

**RÉDACTION**

**Rédacteur en chef**  
François BUYLE-BODIN,  
université de Lille

**Représentant l'Union  
des Associations Françaises  
de Génie Civil**  
Jean-Marc TANIS (EGIS), Président

**Représentant  
l'Association Française  
de Génie Civil AFGC**  
Bruno GODART (IFSTTAR),  
Président du CA  
Patrick GUIRAUD (Cimbéton),  
Président du Comité des Affaires Générales  
Thierry KRETZ (IFSTTAR),  
Président du Comité Scientifique et Technique

**Représentant l'Association  
Universitaire de Génie  
Civil AUGC**  
Olivier PLÉ,  
Président du CA  
Sofiane AMZIANE (Université de Clermont-  
Ferrand), Président du Conseil Scientifique  
Hélène CARRÉ (université de Pau),  
chargée du prix jeunes  
chercheurs René Houpert

**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 :**  
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@wanadoo.fr

**PUBLICITÉ** - À la rédaction

**IMPRESSION :**  
Imprimé en France

# sommaire

## éditorial

### PROJET EvaDéOS

#### Évaluation non destructive pour la prédiction de la Dégradation des Structures et l'Optimisation de leur Suivi

Présentations faites lors de la journée de conclusion du projet  
le 14 janvier 2016 ..... 5

### Les routes en Afrique (1)

#### Propositions du comité éditorial

Intégration de la cause de détérioration des routes  
en Afrique subsaharienne ..... 27  
*Integration of the cause of deterioration of roads in Sub-Saharan Africa*  
*Bienvenu Thierry MBOG TOWADA, Gabriel J. ASSAF*

### Gestion des Ouvrages d'Art Ferroviaires en Égypte

#### Propositions du comité éditorial

Gestion des Ouvrages d'Art Ferroviaires en Égypte ..... 40  
*Management of Railway Bridges of Egypt*  
*Hussein ABBAS, Maha M. HASSAN*

abstracts — résumés .....	4
annonces de colloques .....	49
bulletin d'abonnement .....	2
recommandations aux auteurs .....	couv 3



## 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 2016 (6 numéros/an) à la revue « *Annales du BTP* » :

☐ Tarif FRANCE individuel (TTC) : **264 €**      ☐ Tarif ETRANGER individuel (HT) : **318 €**

☐ Tarif FRANCE institution (TTC) : **330 €**      ☐ Tarif ETRANGER institution (HT) : **380 €**

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

\* 3/2016

### LISTE DES ANNONCEURS

ANNONCES DE COLLOQUES :      AFTES, p. 49-52

AUGC, p. 53-56







## éditorial

Chers lecteurs, chères lectrices,

Comme j'ai pu vous le dire dans le précédent numéro des Annales, la revue continue sa réflexion sur son évolution, et à l'issue des rencontres 2016 de l'AUGC de Liège, il a été convenu que les universitaires du Génie Civil allaient s'impliquer plus directement dans la revue, entre autres dans le renforcement de son comité éditorial.

Un accent particulier sera porté dans les numéros de la fin d'année 2016 sur la contribution des doctorants au développement de notre secteur ainsi que sur les activités des universitaires qui contribuent à l'innovation et au renom du Génie Civil français.

La dimension francophone n'est pas oubliée, et ce numéro de transition est l'occasion de présenter des travaux de collègues égyptiens et togolais, qui illustrent la réalité de la mise en œuvre des technologies du Génie Civil dans des pays aux conditions climatiques difficiles, aux ressources limitées, ou amenés à maintenir en état de service des ouvrages stratégiques hérités du passé.

Par ailleurs la revue continue à mettre en avant les innovations dans le domaine de l'auscultation des ouvrages. En attendant des articles plus aboutis, nous vous proposons dans ce numéro une sélection de présentations faites à l'occasion de la restitution du projet EvaDéOS le 14 janvier 2016, dont l'objectif était d'optimiser le suivi des ouvrages de Génie Civil à partir de données d'auscultation obtenues par essais non destructifs END.

Le lecteur pourra faire le lien entre la présentation sur les ponts ferroviaires en Egypte et le projet EvaDéOS. Il comprendra alors tout l'intérêt qu'il y a à informer les ingénieurs francophones des avancées de la recherche, et des gains qu'elle peut apporter en termes économiques et de fiabilité. Nous touchons là un des rôles importants de la revue.

Bonne lecture.

**Le rédacteur en chef,  
François BUYLE-BODIN**



## PROJET EVADÉOS ÉVALUATION NON DESTRUCTIVE POUR LA PRÉDICTION DE LA DÉGRADATION DES STRUCTURES ET L'OPTIMISATION DE LEUR SUIVI

Présentations faites lors de la journée de conclusion  
du projet le 14 janvier 2016

Résumés détaillés dans les prochains numéros des Annales

## INTÉGRATION DE LA CAUSE DE DÉTÉRIORATION DES ROUTES EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE

BIENVENU THIERRY MBOG TOWADA  
& GABRIEL J. ASSAF

Cet article développe une approche simple permettant d'identifier la cause de détérioration des chaussées flexibles en Afrique subsaharienne dans le but d'aider les ingénieurs à choisir les interventions les plus appropriées. Cette approche permet d'associer à chaque défaut de surface l'ensemble des causes possibles, de choisir les essais de confirmation pertinents et les interventions appropriées. Le choix du type de réhabilitation à effectuer tiendra alors compte de la solution optimale tout en respectant des niveaux de qualité acceptable au point de vue technique, environnemental et sociétal. Afin d'illustrer l'approche proposée, une étude au nord du Sénégal est effectuée. Cette étude vise à comparer l'option d'intervention retenue par l'ingénieur-conseil selon un dimensionnement structural conventionnel sur un tronçon de près de 120 km de la route RN2 au Sénégal à l'approche proposée dans cet article. L'approche proposée repose sur l'évaluation de la cause de détérioration, la confirmation de celle-ci par des vérifications d'essais, suivie d'une analyse des courbes de détérioration avec l'outil HDM-4 de l'AIPCR (Association Mondiale des routes) en support pour le choix de la solution optimale.

## INTEGRATION OF THE CAUSE OF DETERIORATION OF ROADS IN SUB-SAHARAN AFRICA

*This paper presents a simple approach to identify the cause of deterioration of flexible pavements in Sub-Saharan Africa (SSA) in order to help engineers select the most appropriate interventions. This approach associates each distress to potential causes, in order to select relevant tests so that the cause may be confirmed and then appropriate interventions representing the cheapest long-term solution while meeting acceptable levels from a technical, environmental and societal point of views. A 120 km highway section in the north of Senegal was analysed with the proposed approach. This study compares the intervention option chosen by the consulting engineer according a conventional structural design with the approach proposed in this paper. The proposed approach is based on the assessment of the cause of deterioration, and the confirmation of the cause with tests, followed by the HDM-4 flexible pavement deterioration models of PIARC (World*

*Road Association) to support the choice of the optimal solution.*

## GESTION DES OUVRAGES D'ART FERROVIAIRES EN ÉGYPTÉ

HUSSEIN ABBAS & MAHA M. HASSAN

La présente communication a pour objet, la détermination de la consistance et la pathologie des ponts métalliques rivés de portée moyenne gérés par l'ENR (Egyptian National Railways). Elle décrit les inspections et les expérimentations en cours dans le cadre d'une mission d'expertise confiée au bureau d'ingénierie EHAF Consulting Engineers. Le groupe de travail en charge de l'opération s'est fixé un programme d'évaluation de l'état de dégradation de ces anciens ponts métalliques, dont leur moyenne d'âge ressort à 80 ans. Ce programme consiste à :

- Recherche, recensement et examen des documents, plans et rapports existants dans les archives de l'ENR.
- Inspection visuelle préliminaire permettant d'identifier les principales déficiences rencontrées.
- Inspection et reconnaissance détaillée à l'aide d'une campagne d'essais non destructive (ultrasons, carottage, Radiographie...) afin de détecter les dégradations.
- Essais de chargement statiques et des épreuves dynamiques.
- Analyse des ouvrages par éléments finis et comparaison des résultats obtenus avec les mesures collectées des essais de chargement.

En conclusion l'étude propose une procédure d'inspection régulière et systématique des ouvrages d'art afin de prévenir tout risque de rupture et aussi pour détecter les dégradations avant qu'elles ne soient visibles et importantes.

## MANAGEMENT OF RAILWAY BRIDGES OF EGYPT

*This paper aims at determining the consistency and pathology of riveted metal bridges of medium range spans managed by the Egyptian National Railways (ENR). It describes the inspections and ongoing experiments in the context of a task entrusted to the expertise of EHAF Consulting Engineers engineering office. The relevant working group of the operation has established a program of evaluation of the state of degradation of these old steel bridges, of which the average age stood at 80 years. This program includes:*

- Research, identification and examination of documents, plans and existing reports available in the archives of the ENR.*
- Preliminary visual inspection to identify the major defects encountered.*
- Inspection and detailed reconnaissance using a non-destructive testing campaign (ultrasound, coring, radiography...) to detect damage.*
- Static loading and dynamic tests.*
- Analysis of structures by finite elements and comparison of the results with the measurements collected from the loading tests.*

*In conclusion, the study proposes a systematic and regular inspection procedure of structures to prevent any risk of failure and also to detect degradations before they become visible and important.*



# PROJET EvaDéOS

## Évaluation non destructive pour la prédiction de la Dégradation des Structures et l'Optimisation de leur Suivi

1

# EvaDéOS

## Journée de restitution

14 janvier 2016 - Campus EDF - Chatou

### Objectifs du projet

JP Balayssac   F Duprat

LMDC Toulouse







2

## Fiche d'identité du projet

- Début du projet : 01/11/2011
- Fin du projet : 31/12/2015
- Budget consolidé : 2561 k€
- Subvention ANR : 770 k€
- Labellisé par le pôle de compétitivités **Advancity** et par le pôle **Novabuild** (suivi par le GIS LirGeC et le GIS MRGenCi)
- Dans le prolongement de projets ANR SENSO, APPLeT
- En lien avec projet ACDC (2010-2013)
- 2 thèses financées par la subvention, 2 thèses en contrat CIFRE (Phimeca et EDF), des contributions par des thèses sur financements propres aux partenaires (IFSTTAR, LMA, I2M)



3

## Partenariat

- Maîtres d'ouvrages
  - ☐ **EDF R&D** : infrastructures et ouvrages liés à la production d'énergie
  - ☐ **Nantes Habitat** : EPIC, bailleur social de la métropole de Nantes
  - ☐ **SETRA/Cerema** : représentant de gestionnaires d'infrastructures de transport
- PME
  - ☐ **OXAND** : prise de décision, gestion de patrimoine
  - ☐ **Phimeca** : approches probabilistes, fiabilité
- Centres de recherche
  - ☐ **CEA** : modélisation des dégradations
  - ☐ **IFSTTAR** : évaluation non destructive
- Laboratoires
  - ☐ **GeM** : prise de décision, évaluation non destructive
  - ☐ **I2M** : évaluation non destructive, prise de décision
  - ☐ **LMA** : évaluation non destructive, traitement et fusion de données
  - ☐ **LMDC** : évaluation non destructive, modélisation des dégradations



## Contexte du projet



La corrosion est une des principales causes d'endommagement des structures en béton → objectif du projet

L'amorçage de la corrosion nécessite que la carbonatation ou les chlorures arrivent jusqu'à l'armature ce qui est généralement très long.

Quand les premiers signes de corrosion apparaissent les dommages sont bien souvent irréversibles.

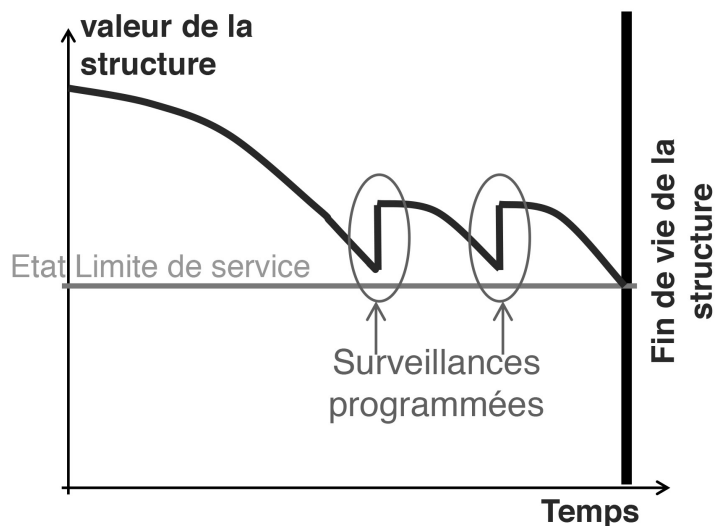
## Contexte du projet



Réparations coûteuses



Vers une gestion anticipative et un suivi optimisé des ouvrages



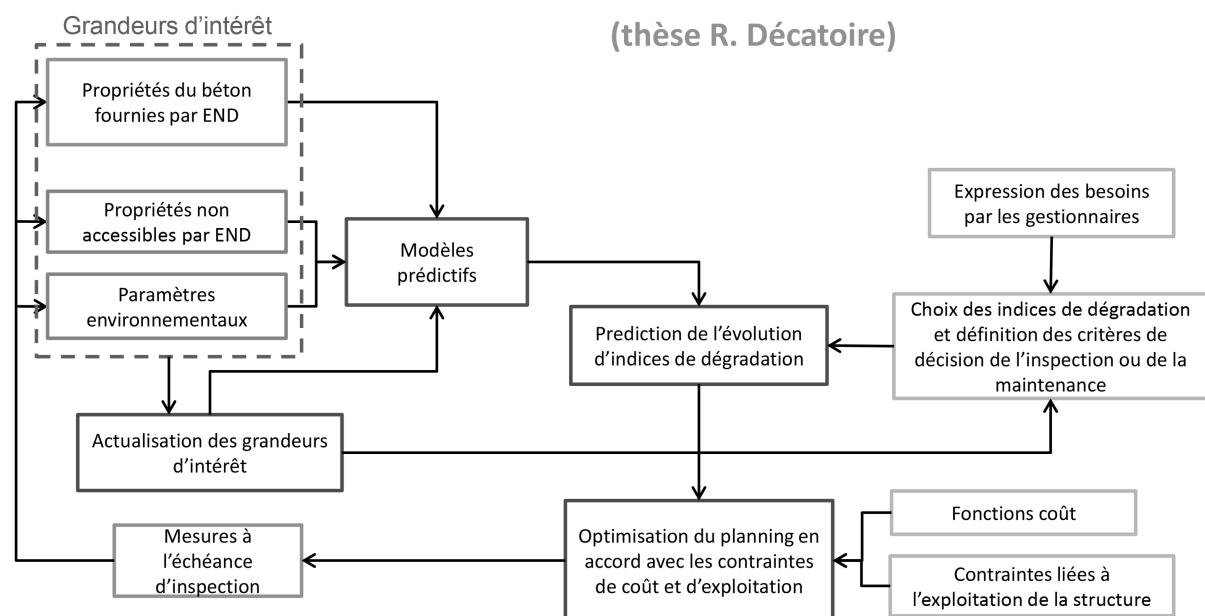


## Optimisation du suivi des ouvrages

Produire une méthodologie d'optimisation intégrant les paramètres technico-économiques identifiés sous un certain nombre de contraintes :

- panel d'actions possibles et coûts associés, contraintes du gestionnaire;
- mesures disponibles de CND et leur performance (erreur de mesure, sensibilité à des effets locaux, sensibilité et/ou correction des conditions climatiques);
- modèles sélectionnés pour (1) intégrer les données CND, (2) transférer les incertitudes, (3) aboutir à des temps de calcul courts pour les simulations sur des grandes durées intégrant des mises à jour à partir d'inspection et des opérations de maintenance.

## Méthodologie d'optimisation proposée



## Des verrous scientifiques et techniques

- (1) Disposer de modèles de propagation des pathologies pouvant être mis à jour
- (2) Mettre en place une méthode d'actualisation associée
- (3) Intégrer la variabilité spatiale notamment pour la stratégie d'inspection
- (4) Intégrer les erreurs de mesure et évaluer leur incidence sur les décisions.

## Des verrous opérationnels

- Les spécialistes de la mesure ne sont pas toujours des experts en diagnostic et en prédiction
- Les experts en modélisation ne sont pas nécessairement bien informés des difficultés liées à l'extraction des grandeurs d'intérêt de la mesure et de leurs incertitudes (en particulier par END)
- Les spécialistes en fiabilité ne prennent pas toujours correctement en compte les besoins réels et les moyens des gestionnaires
- L'ensemble des acteurs impliqués dans la gestion des ouvrages ne partagent pas toujours le même point de vue sur la problématique globale

➔ Comment faire dialoguer ces différents acteurs?

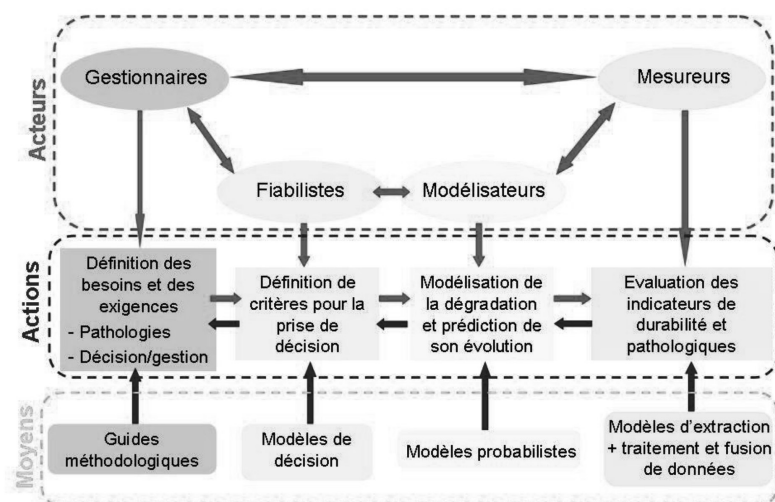
## Objectifs du projet

Créer une synergie entre les acteurs (O1)

- Prendre en compte les besoins des gestionnaires et les traduire en termes d'indicateurs et de critères respectant des contraintes techniques et économiques
- Utiliser des données (en particulier CND) comme entrées des modèles de dégradation
- Acquérir des données pour valider les sorties des modèles prédictifs ou pour actualiser leur prédiction
- Utiliser les résultats des modèles prédictifs comme un outil d'optimisation de la surveillance de l'ouvrage

## Objectifs du projet

Créer une synergie entre les acteurs (O1)





## Objectifs du projet

### Evaluer les grandeurs d'intérêt sur site par CND (O2)

- Améliorer et développer les techniques de CND
- Evaluer leur sensibilité à la caractérisation de la carbonatation et aux gradients
- Prendre en compte la variabilité spatiale des grandeurs d'intérêt
- Proposer une méthode de combinaison des mesures CND pour accéder à la profondeur carbonatée

### Choisir et calibrer des modèles de dégradation (O3)

- Comparer les modèles en fonction de leur capacité de prédiction, quantité et coûts des données, aptitude à intégrer la variabilité spatiale
- Combiner les modèles de différents niveaux de raffinement en fonction de la précision des inspections et des prévisions attendues

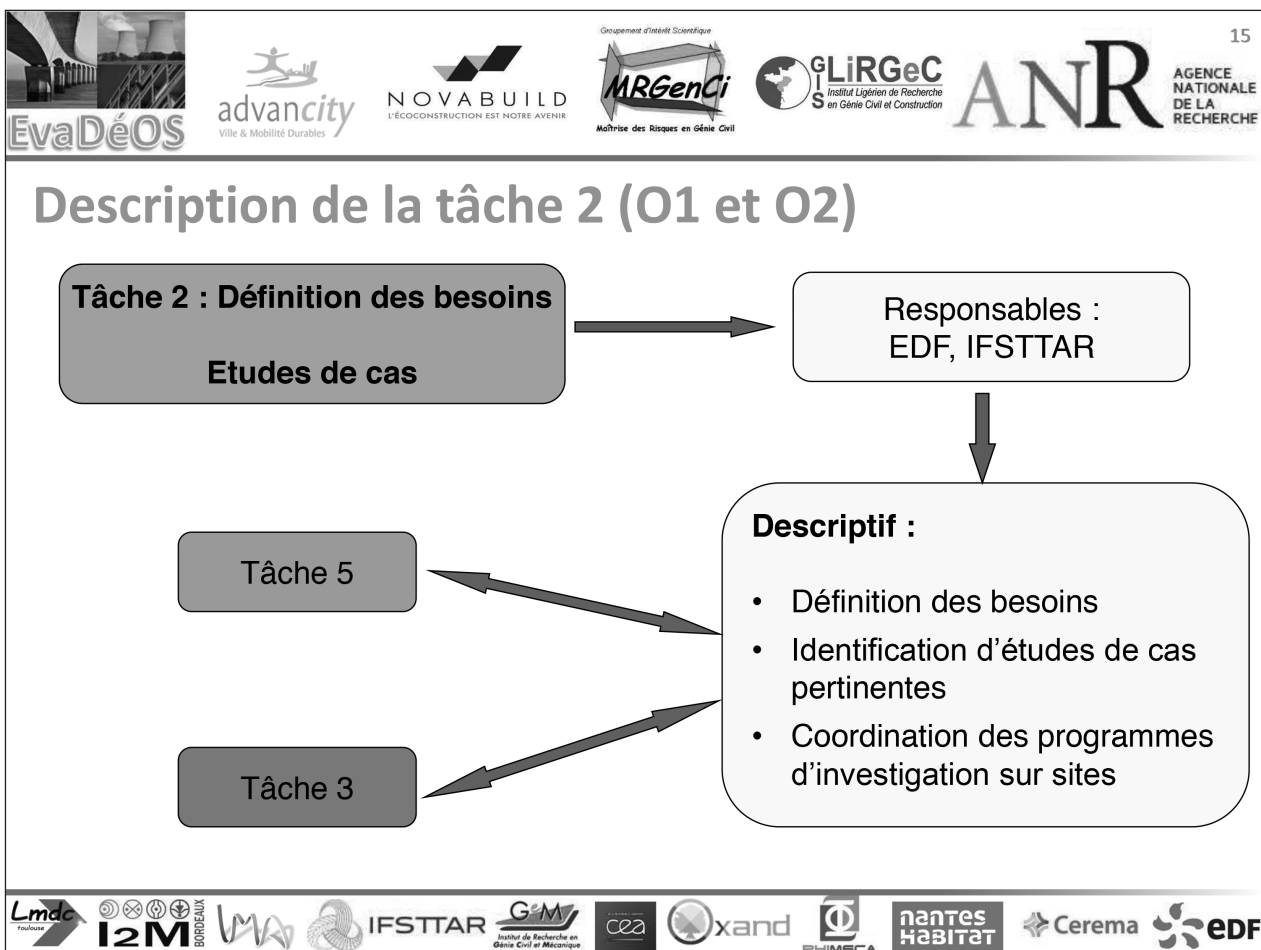
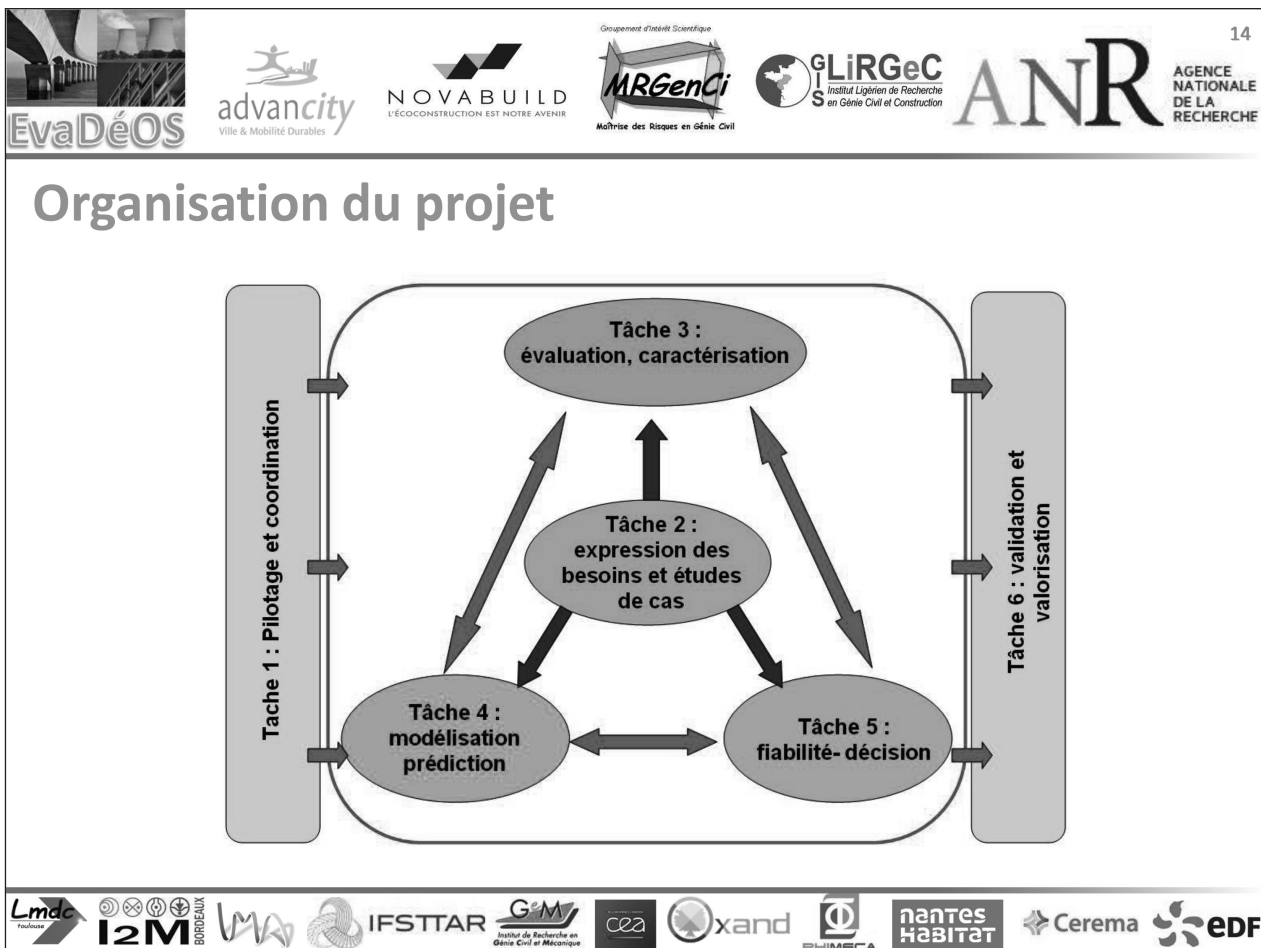
## Objectifs du projet

### Estimer et prendre en compte la variabilité spatiale (O4)

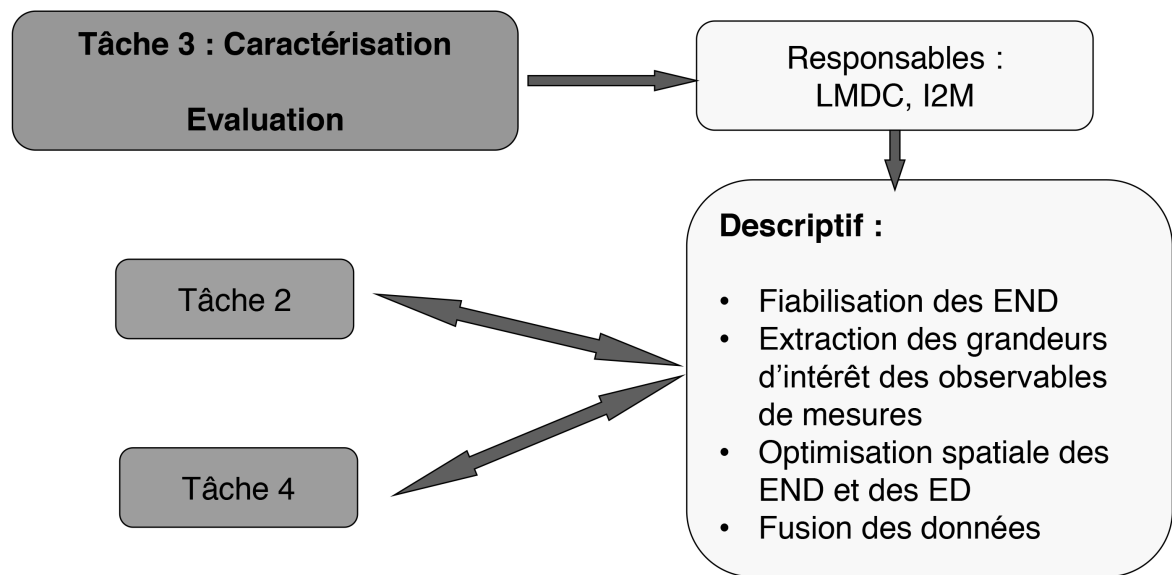
- Optimiser la collecte des données en fonction de la variabilité spatiale
- Evaluer la structure de corrélation des données
- Prendre en compte la variabilité spatiale dans la démarche d'optimisation de la maintenance

### Proposer une démarche d'optimisation de la maintenance (O5)

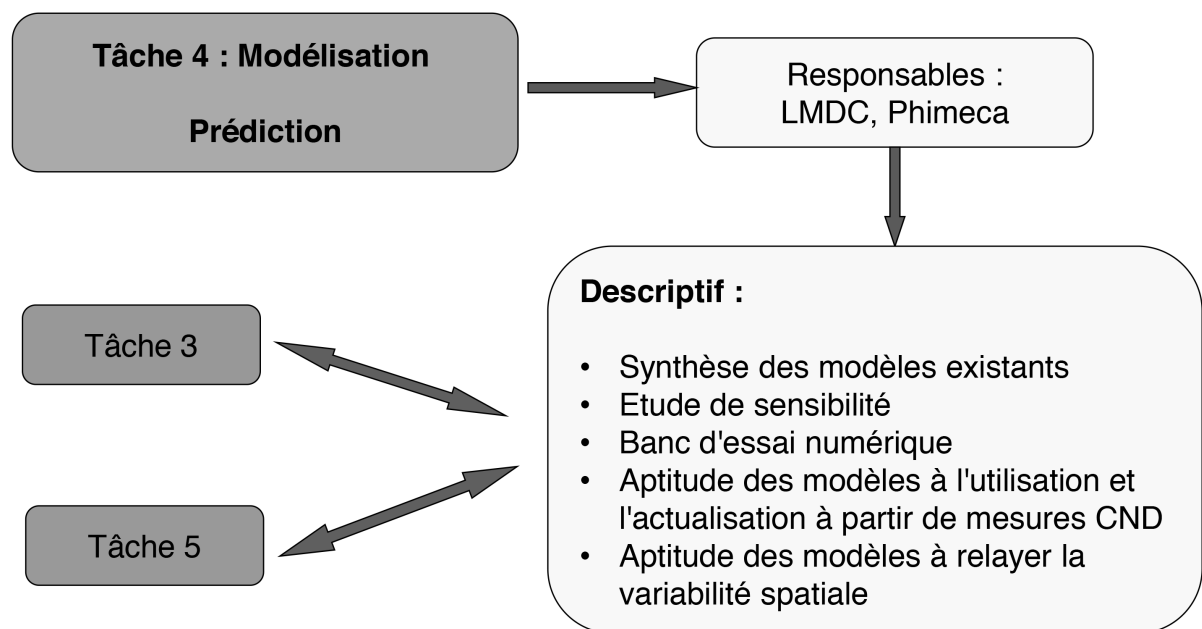
- Collecter les contraintes et besoins des gestionnaires
- Définir un indice de dégradation et prévoir son évolution temporelle
- Définir un schéma global de maintenance
- Etablir un planning optimal en contexte incertain



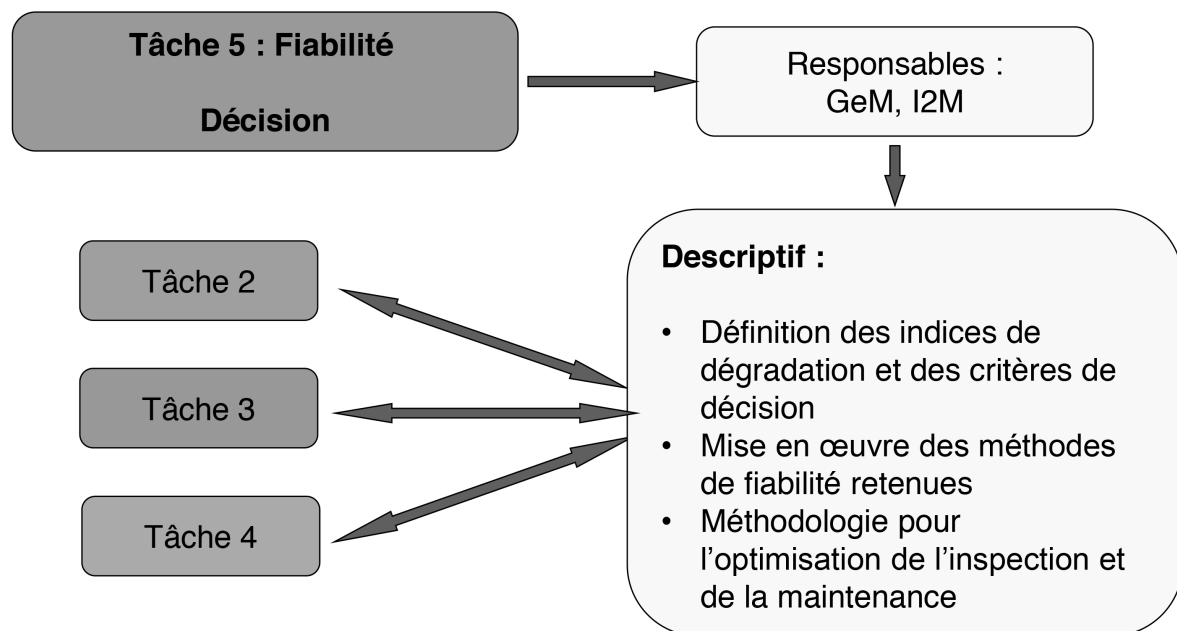
## Description de la tâche 3 (O1, O2, O4)



## Description de la tâche 4 (O1, O3, O4)



## Description de la tâche 5 (O1, O4, O5)



## Publications et communications

- Publications internationales : 2
- Communications internationales : 9
- Communications nationales : 10

Site du projet : [www-lmdc.insa-toulouse.fr/evadeos/accueilevadeos.htm](http://www-lmdc.insa-toulouse.fr/evadeos/accueilevadeos.htm)



# EvaDéOS

## Journée de restitution

14 janvier 2016 - Campus EDF - Chatou

### Enjeux des END pour les ouvrages de production d'EDF

Alexandre BOULE

EDF / DIPNN / CEIDRE / TEGG



## Sommaire

Les contraintes de l'Exploitant

La surveillance des ouvrages

- Les objectifs
- Les exigences – les moyens
- Les différents volets de la surveillance

Les besoins d'EDF en END

Perspectives





## Les contraintes du Maître d'Ouvrage - Exploitant



Conditions climatiques & catastrophes naturelles

### Image & opinion publique



### Rentabilité économique



### Autorités



Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

## La surveillance des ouvrages de production

### Les objectifs :

- Pour garantir une sûreté optimale: vérifier que les hypothèses de dimensionnement sont toujours valides (ex: précontrainte, fissuration, étanchéité)
- Dans une stratégie de maintenance du patrimoine, le coût de réparation est d'autant plus faible que l'on intervient tôt
- Dans une stratégie de prolongation de la durée de fonctionnement, anticiper et contrôler les phénomènes de vieillissement

## La surveillance des ouvrages de production

- Une longue tradition à EDF (Barrages), reconduite dans le nucléaire
- Une surveillance des ouvrages dès la fin de construction
- Un Programme de Base de Maintenance Préventive (PBMP) qui intègre largement la surveillance
- Un historique conservé et disponible

La surveillance comprend 2 volets :

- Volet observation : l'inspection visuelle périodique
- Volet mesure : l'auscultation, suivi des déformations, suivi de l'étanchéité (nucléaire)

## La surveillance : Exigences et moyens

### Des exigences

+ Longue durée de vie des ouvrages  $\Rightarrow$  besoin de faire face :

- A l'obsolescence ou perte de matériels
- A la pérennité hypothétique des fournisseurs et du savoir faire des personnels

### Des moyens

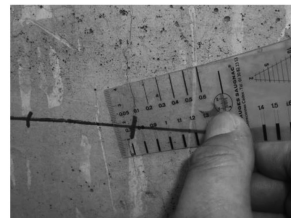
- EDF perpétue une Ingénierie et une R&D intégrées, archives
- Conserve une part de « Faire » et reste en mesure de s'approprier tout résultat de prestation pour l'exploiter dans ses modèles et rendre compte aux autorités

**Les procédés employés par EDF, ou mis en œuvre sous son contrôle ne peuvent pas être des « boîtes noires »**

## La surveillance des ouvrages de production

### Volet « observations » - L'inspection Visuelle :

- Liner (corrosion, cloquage)
- Revêtements (adhérence, cloquage)
- Peintures (adhérence)
- Soudures
- Béton (RGI, fissuration, corrosion)
- Têtes d'ancrage...



### Volet « mesures » - Topographie

## La surveillance des ouvrages de production

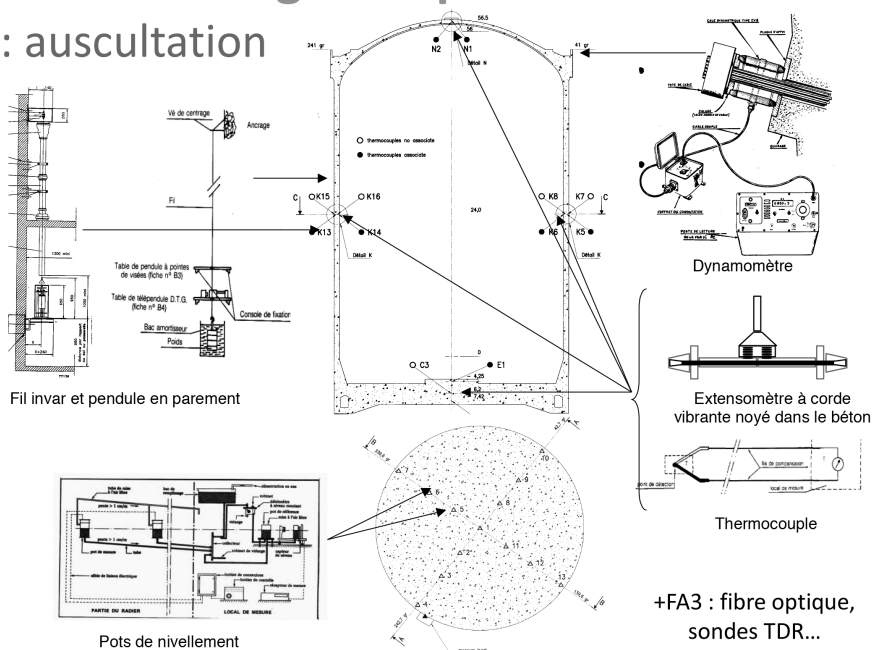
### Volet mesures : auscultation



Suivi de débit de drainage



Dispositif « Vinchon »





## De la surveillance ... aux END

Au-delà de la surveillance des thématiques restent à couvrir et le recours aux END ne peut que s'accroître dans le cadre d'une extension de la durée de fonctionnement :

- Pour pallier les éventuelles défaillances des systèmes ;
- Pour rechercher des pathologies non envisagées à la construction ;
- Pour optimiser la maintenance (pronostic)

## Les besoins d'EDF (1/3)

Problématiques spécifiques aux ouvrages :

- Détection (hétérogénéités, armatures, ...) dans les structures épaisses (> 50 cm) et très ferraillées ;
- Caractérisation de vides derrière des revêtements, liners ou blindages (nucléaire : piscines, hydraulique : CF...) ;
- Problématique de la détection « fiable » et à grande échelle (grand rendement) de la corrosion des armatures dans le béton (ex. aéroréfrigérants, CBAT...) ;
- Détection / caractérisation / quantification d'une altération superficielle sous l'effet d'une agression (chimique : lixiviation, thermique / mécanique : microfissuration...)

## Les besoins d'EDF (2/3)

Problématiques spécifiques aux ouvrages :

- Détection de fuites locales ;
- Mesures de tension dans les tirants, les câbles injectés au coulis de ciment ;
- Mesure des teneurs en eau, en chlorures (voire Sulfates, alcalins...) ;
- Zones difficilement accessibles : grande hauteur / ouvrages enterrés, encombrement, rayonnement : intérêt pour l'utilisation de robots déportés

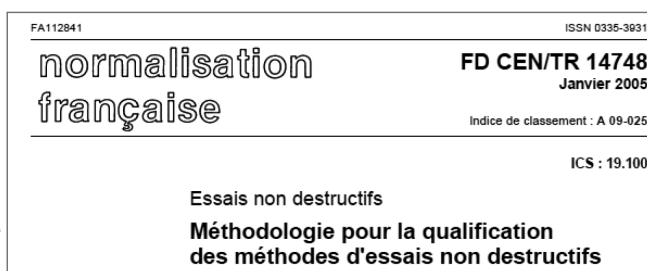


## Les besoins d'EDF (3/3)

Disposer d'un référentiel technique et normatif fiable et partagé par l'ensemble des acteurs incluant :

- La qualification des techniques ;
- La qualification de leur mise en œuvre ;
- La qualification des entreprises prestataires ;
- La capitalisation du REX

Un document de référence général... à décliner au cas par cas.



Perspectives EDF

- ✓ Mise à disposition d’outils de validation

✓ Projets de recherche R&D (CIWAP, ...)

✓ Création d’un Groupe de Travail inter-unités (R&D, Ingénieries de la mesure, du nucléaire, de l’hydraulique) dédié aux END du GC

• Rassemblement des corps d’épreuve, maquettes

• Organisation de benchmark ;

• Formation interne ;

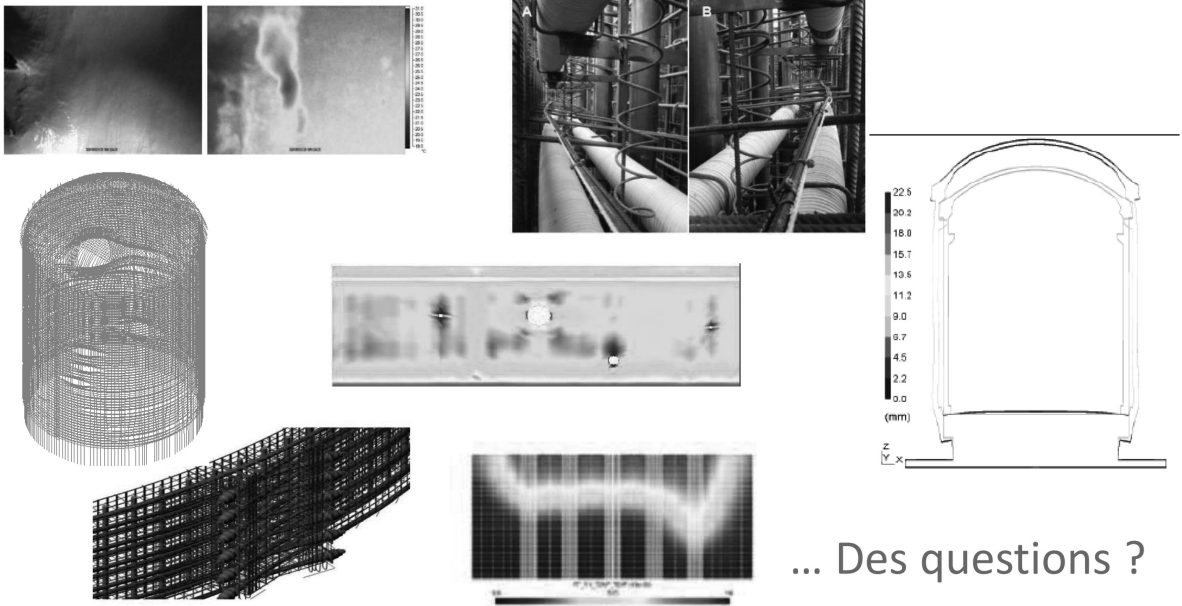
• Test / qualification de méthodes / de prestataires

• Mieux définir, formaliser et partager nos besoins

• Organiser la capitalisation du REX interne et des projets (SENSO, ACDC, APPLET, EVADEOS...)



Merci de votre attention...



... Des questions ?

EvaDéOS

Journée de restitution

14 janvier 2016 - Campus EDF - Chatou

Bilan & Perspectives

JP Balayssac F Duprat

LMDC Toulouse

Comparaison objectifs/réalisations

Objectif O1 : créer une synergie entre acteurs

	Objectif	Réalisation
O1	Prendre en compte les besoins des gestionnaires	Réalisé dans le périmètre du projet auprès des gestionnaires partenaires
	Utiliser des données (en particulier CND) comme entrées des modèles de dégradation	Partiellement réalisé. Difficulté pour trouver des modèles compatibles avec les données d'entrée disponibles en END
	Acquérir des données pour valider les sorties des modèles prédictifs ou pour actualiser leur prédiction	Partiellement réalisé. Difficulté pour estimer les témoins de durabilité sorties de modèles (profondeur carbonatée)
	Utiliser les résultats des modèles prédictifs comme un outil d'optimisation de la surveillance de l'ouvrage	Réalisé pour l'inspection des balcons de Nantes



## Comparaison objectifs/réalisations

### Objectif O2 : évaluer les grandeurs d'intérêt par CND

	Objectif	Réalisation
O2	Améliorer et développer les techniques de CND	Réalisé et développements prometteurs en ANL et pour la caractérisation des gradients
	Evaluer la sensibilité des CND à la caractérisation de la carbonatation et aux gradients	Réalisé pour la carbo, MAIS sensibilité faible pour certains indicateurs Réalisé partiellement pour les gradients, reste à traiter les gradients de séchage
	Prendre en compte la variabilité spatiale des grandeurs d'intérêt	Réalisé dans le périmètre du projet : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Méthodologie pour optimiser le positionnement des mesures</li> <li>- Propagation des incertitudes de la fusion</li> </ul>
	Proposer une méthode de combinaison des mesures CND pour accéder à la profondeur carbonatée	Réalisé dans le périmètre du projet mais peu robuste compte tenu de la faible sensibilité des observables. Nécessité de proposer une méthode de recalage.

## Comparaison objectifs/réalisations

### Objectif O3 : choisir et calibrer les modèles

	Objectif	Réalisation
O3	Comparer les modèles en fonction de leur capacité de prédiction, quantité et coûts des données	Réalisé par une étude de sensibilité et la proposition d'une démarche de hiérarchisation. A affiner avec plusieurs échéances de prévision
	Comparer les modèles en fonction de leur aptitude à intégrer la variabilité spatiale	Réalisé partiellement sur des données peu corrélées. A poursuivre sur d'autres données et sans hypothèse de stationnarité.
	Combiner les modèles de différents niveaux de raffinement en fonction de la précision des inspections et des prévisions attendue	Non réalisé.

## Comparaison objectifs/réalisations

### Objectif O4 : Estimer et prendre en compte la variabilité spatiale

	Objectif	Réalisation
O4	Optimiser la collecte des données en fonction de la variabilité spatiale	Réalisé dans le cadre de l'objectif O2 , et de façon théorique pour améliorer le calcul des probabilités associées à l'arbre de décision
	Evaluer la structure de corrélation des données	Réalisé pour le cas stationnaire gaussien. A étendre au cas non stationnaire.
	Prendre en compte la variabilité spatiale dans le démarche d'optimisation de la maintenance	Réalisé dans le cas stationnaire.

## Comparaison objectifs/réalisations

### Objectif O5 : Proposer une démarche d'optimisation de la maintenance

	Objectif	Réalisation
O5	Collecter les contraintes et besoins des gestionnaires	Réalisé dans le cadre de l'enquête des gestionnaires
	Définir un indice de dégradation et prévoir son évolution temporelle	Réalisé vis-à-vis du risque de dépassement des armatures et grâce à une procédure d'actualisation
	Définir un schéma global de maintenance	Réalisé sur la base de l'enquête et de la définition d'un arbre de décision
	Etablir un planning optimal en contexte incertain	Réalisé théoriquement avec des données fictives. A transposer vers des données réelles

## Perspectives

### Développements des techniques d'END

Méthodes émergentes : acoustique non linéaire, CODA → transposer sur site

Caractérisation des gradients : activité à poursuivre sur la base des résultats déjà obtenus (projet ANR CONTINUS)

Optimisation des campagnes d'essai : à valider sur d'autres ouvrages avec des critères multi-objectifs

Fusion : tester l'association de la théorie des possibilités et réseaux de neurones

## Perspectives

### Liens END/modèles

Nécessité de poursuivre des activités autour de cette thématique

Les modèles les plus performants nécessitent des données d'entrée sophistiquées difficilement accessibles par END

Les grandeurs d'intérêt atteignables par END sont davantage compatibles avec les sorties des modèles → intérêt pour le recalage

Initier une réflexion pour proposer une instrumentation des ouvrages pour un suivi des grandeurs d'intérêt → variabilité temporelle (projet FUI DIAMOND)



9

## Perspectives

### Validation sur un ouvrage réel

Suivi d'un ouvrage réel avec la possibilité de réaliser plusieurs campagnes d'essais à différentes échéances → réflexion initiée en début de projet avec IMGIC et GIS MRGenCi

L'ouvrage doit être accessible et des prélèvements doivent être possibles

Association avec le gestionnaire qui doit énoncer ses besoins et ses contraintes







Les routes en Afrique (1)  
*Proposition du comité éditorial*

# INTÉGRATION DE LA CAUSE DE DÉTÉRIORATION DES ROUTES EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE

## INTEGRATION OF THE CAUSE OF DETERIORATION OF ROADS IN SUB-SAHARAN AFRICA

**Bienvenu Thierry MBOG TOWADA & Gabriel J. ASSAF**

Université du Québec, École de Technologie Supérieure, 1100, Notre-Dame Ouest, Montréal,  
Québec, Canada H3C 1K3  
E-mail : thierrybog@yahoo.fr

### 1. INTRODUCTION

#### 1.1. Problématique

Étant donné que la plupart des routes en Afrique subsaharienne sont bosselées, ravinées, mal entretenues, la Banque Mondiale principal bailleur de fonds dans le secteur estimait qu'il faudrait investir 5 milliard de dollars chaque année pendant au moins dix ans pour les réhabiliter (Heggie, 1995). Elle veut depuis des années coordonner la recherche de la conception des routes et établir les normes d'entretien et de réhabilitation en vue de comparer des projets d'investissement des routes dans les différents pays. C'est pour cette raison que cet article propose une approche logique qui repose sur la prémisse que la meilleure intervention doit être celle qui répond et traite la cause de détérioration au moindre coût possible à long terme (Assaf, 1993). Cet article fait d'abord ressortir l'état de l'art dans lequel il sera question d'une revue de la littérature et de l'état actuel des routes en Afrique subsaharienne. Dans un deuxième temps, il présente une approche simple en pointant

les causes de détérioration des chaussées dans ces pays ainsi que les tableaux des différentes dégradations et les causes couramment rencontrées sur ces chaussées. Enfin il présente une validation de l'approche sur un tronçon de près de 120 km de la route RN2 au Sénégal.

#### 1.2. État de l'art

##### 1.2.1. Revue de la littérature

Le développement économique d'une nation passe entre autres par l'état de ses routes. L'entité responsable de la gestion de celles-ci se doit de mettre en œuvre des programmes qui assurent la pérennité des infrastructures afin qu'elles demeurent profitables à la société (Assaf, 1998). Ces programmes reposent sur la connaissance de l'état des sections du réseau, le diagnostic des causes de détériorations relevées et la prédiction de l'évolution de chacun des tronçons dans le but de prioriser les interventions (Pehlivanidis, 1994). En passant en revue la littérature dans le domaine de l'évaluation des chaussées flexibles, on constate rapidement que les



ouvrages de référence tel que Robert Tessier (Tessier, 1990) portent surtout vers trois secteurs qui sont: le relevé des dégradations, l'évaluation de la capacité portante et l'analyse de la durée de vie d'une structure. Une approche louable pour l'époque puisqu'elle repose sur les mêmes principes qui régissent la conception d'une structure flexible au niveau projet (Bruxelles, 2005). Les revues spécialisées qui traitent des sujets qui touchent de près ou de loin au diagnostic de la causes de détérioration des chaussées flexibles, des essais réalisables et leur potentiel de vérification sont très rares à l'exception de l'OCDE (OCDE, 1978), du SHRP (SHRP, 1990), des travaux de Gabriel Assaf (Assaf, 1993), du MTQ (MTQ, 1993) et des travaux de Pehlivanidis (Pehlivanidis, 1994). Les recherches approfondies pour mieux gérer les chaussées flexibles démontrent qu'au 21<sup>e</sup> siècle, le développement de logiciels utiles et pragmatiques représente la solution préconisée pour rentabiliser le budget d'entretien d'un réseau entier (Boucher, 1994). Objectivement, il est tout à fait impossible d'optimiser la rentabilité des sommes nécessaires à la correction des défauts sur l'ensemble d'un réseau routier sans avoir recours à un système de gestion des chaussées (SGC) (Haas et Hudson, 1978). Les innombrables possibilités engendrées par la diversité des caractéristiques de chacun des tronçons, ainsi que le nombre toujours grandissant d'options d'entretien réalisables, demandent une approche systémique pour en assurer l'analyse complète car l'étendue des possibilités offertes par les systèmes est impressionnante (Systematics et al., 2006). Force est toutefois d'admettre que les modèles doivent être calibrés (St-Laurent, 2004) pour bien refléter la réalité des mécanismes de détérioration issus du climat par exemple dans un contexte québécois (MTQ, 2006). Les essais à réaliser pour confirmer la présence d'une cause relèvent d'un procédé d'évaluation qualitative, quantitative ou typologique des caractéristiques et des propriétés physico-chimiques des matériaux (Assaf, 2010). D'après Gabriel Assaf (Assaf, 1993) et Claude Bruxelles (Bruxelles, 2005), les symptômes ou défauts sont intimement liés aux causes qui engendrent les mécanismes de détérioration grâce aux agents comme le trafic. L'apparition de défauts à la surface d'un tronçon est due à la présence de certains agents qui agissent sur la structure de la chaussée. Cet état engendre les causes qui déclenchent le mécanisme de détérioration produisant ainsi la dégradation de surface initialement relevée (Assaf, 1987). L'action d'une cause permet d'affirmer la présence du mécanisme responsable de l'éruption des défauts (Bruxelles, 2005). Malgré l'exécution d'essais spécifiques à l'affirmation des causes, la diversité des résultats est accentuée en raison du caractère spécifique d'une structure flexible et des changements internes en cours (St-Laurent, 2004). En effet, l'imprécision des résultats accroît l'incertitude de l'analyse cognitive et provoque le doute sur la fiabilité du diagnostic rendu (Cook et al., 2004). Pour y remédier, il est primordial de contre-vérifier l'affirmation de la cause par l'identification du lien de causalité entre les causes présentes et les défauts originellement ciblés par l'analyse (Bruxelles, 2005). Alors, le procédé systémique doit comprendre: l'observation des défauts, l'analyse permettant de cibler les causes possibles, l'affirmation de la présence de chaque cause par la réalisation d'essais ainsi que la validation de ces dernières auprès des défauts qui ont conduit à leur réalisation en laboratoire ou sur site (Assaf, 1993). Enfin, le regroupement des causes

par famille entraîne une importante réduction du nombre de liens inductifs qui ciblent, affirment et valident les causes de détérioration à travers un projet (Assaf, 1993). D'après la littérature, les études sur l'intégration de la cause de détérioration des routes ont fait leur chemin dans les pays développés mais restent encore absente dans les pays d'Afrique Subsaharienne (Assaf, 2010). D'où l'importance dans cet article de proposer une intégration de la cause de détérioration des routes dans ces pays d'Afrique Subsaharienne afin d'aider les ingénieurs à choisir les interventions appropriées.

### 1.2.2. État actuel des routes des pays d'Afrique subsaharienne

Le système routier des pays en Afrique subsaharienne est principalement composé de routes à faible débit. Ce type de route représente plus de 75 % du réseau routier (Pinard et al., 2003). De façon générale les routes peuvent être réparties en quatre catégories : routes nationales, routes principales, routes secondaires et routes de desserte. Le choix des caractéristiques de ces routes est généralement fonction de la circulation (Zilioniene et al., 2007).

- Routes nationales: généralement plus de 5 000 véhicules par jour.
- Routes principales : de 100 à 5 000 véhicules par jour.
- Routes secondaires : de 50 à 800 véhicules par jour.
- Route de desserte : moins de 100 véhicules par jour.

Alors que les chaussées flexibles représentent un actif important qu'il faut préserver, force est d'admettre que l'absence d'entretien demeure le principal ennemi de la durée de vie de ces chaussées. L'évolution des dégradations de surface se fait alors suivant un processus accéléré dès lors qu'on atteint un certain niveau de détérioration par suite de l'action généralement conjuguée de l'eau, qui fait chuter la portance des couches constitutives. Ceci est d'autant plus grave que les charges lourdes qui s'exercent sur ces chaussées sont extrêmement élevées puisqu'elles ne répondent pas toujours aux standards de l'UEMOA (Union Économique Monétaire Ouest Africaine) (Trade et Hub, 2012) et de la CEMAC (Communauté Économique et Monétaire de l'Afrique Centrale) (Cabanus, 2003) qui recommandent de limiter les charges sur essieux.

### 1.2.3. État futur des routes dégradées des pays d'Afrique subsaharienne

Si l'adaptation économique des modèles des pays développés aux besoins du développement des pays émergents est une nécessité, l'adaptation des techniques en est tout autant. En effet, les ingénieurs ont à rechercher comment ils peuvent adapter et utiliser au mieux les éléments qu'ils ont à leur disposition. Les analyses des données de dégradation des chaussées routières dans les pays d'Afrique subsaharienne ont fait ressortir de graves endommagements, précoces et coûteux pour l'administration et les usagers (Pampou, 2013). Ces observations ont révélé les limites des outils utilisés pour le dimensionnement structural des chaussées et la compréhension du comportement rhéologique des matériaux utilisés. Aujourd'hui, vu le prix très variable du pétrole, les défis économiques, les enjeux environnementaux et l'épuisement des gisements naturels de granulats, il devient important pour les pays d'Afrique subsa-

harienne de recourir au revêtement en béton qui peut être produit avec des granulats de moindre qualité (França et Corté, 1994). En ce qui concerne cette technique du revêtement en béton, l'introduction de la dalle de béton a contribué à l'amélioration des capacités portantes des structures de chaussées (Huang, 1993). Pour une même épaisseur de revêtement, les travaux de Shackel cités par (Pierre, Bresson et Juneau, 2008) ont révélé que la couche en béton (cas des pavés) présente une résistance largement supérieure par rapport à celle de l'enrobé bitumineux. De nombreux documents dont le guide technique des chaussées rigides du LCPC (França et Corté, 1994) et le Pavement Analysis and Design (Huang, 1993) présentent les avantages indéniables des chaussées en béton pour soutenir les poids lourds. Ceci est d'autant plus utile qu'en Afrique subsaharienne l'essieu de référence est de 13 tonnes au lieu de 8 tonnes comme en Amérique du Nord et que les surcharges atteignant 15 voire 20 tonnes par essieu sont courantes tel qu'au Sénégal (Assaf, 2010).

## 2. MÉTHODOLOGIE

En général, avant de mettre sur pied une méthodologie pour le choix de l'intervention des chaussées en Afrique subsaharienne, il convient dans un premier temps de ressortir les causes de dégradations couramment rencontrées sur ces chaussées. Ces dégradations et leurs causes sont illustrées dans les **Tableaux 1 à 4** qui ont été créés à partir du manuel de Conception Routier pour l'Évaluation des Techniques d'Entretien (CRETE) (Assaf, 1986) et du manuel du Ministère des transports du Québec (MTQ) (Jean et al., 2007).

Tel que montré dans les tableaux 1 à 4, les dégradations couramment rencontrées en Afrique subsaharienne sont souvent dues en grande partie à l'eau laquelle ne s'évacue pas facilement du corps de la chaussée. Ceci est dû au fait que les matériaux utilisés renferment généralement beaucoup de matériaux fins. En effet, il est courant que des teneurs en matériaux fins se situant entre 5% à 15% voire beaucoup plus, soient observées

**Tableau 1 : Défauts de fissuration**

Symptôme	Description	Mécanismes de détérioration possible
Fissure en mailles	Fissures en forme de peau de crocodile formant une série de petits polygones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mouvement thermique de retrait du mélange,</li> <li>- mouvement hydraulique de retrait des couches stabilisées,</li> <li>- rupture par fatigue du mélange bitumineux,</li> <li>- oxydation et vieillissement naturel du bitume,</li> <li>- surchauffage du bitume lors de l'épandage.</li> </ul>
Fissure rectiligne	Fissure simple longitudinale dans le sens du trafic.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- retrait thermique des couches inférieures,</li> <li>- mauvaise construction du joint longitudinal.</li> </ul>
Fissure dans les traces de roues	Fissure simple ou polygonale accompagnée d'ornièrre dans les traces de roues.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rupture par fatigue du mélange bitumineux,</li> <li>- retrait thermique des couches inférieures,</li> <li>- mauvaise construction du joint longitudinal.</li> </ul>
Fissures en rives	Fissure simple ou polygonale en bordure.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- infiltration d'eau par les côtés,</li> <li>- mouvement vertical des couches mal compactées,</li> <li>- tassement causé par un glissement de terrain,</li> <li>- instabilité latérale en rive et largeur étroite,</li> <li>- mauvais fonctionnement du système de drainage.</li> </ul>
Fissure transversale	Fissure simple ou polygonale perpendiculaire au sens du trafic.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mouvement thermique de retrait du mélange,</li> <li>- mouvement hydraulique de retrait des couches stabilisées.</li> <li>- retrait thermique des couches inférieures.</li> </ul>

**Tableau 2 : Défauts touchant à la sécurité**

Symptôme	Description	Mécanismes de détérioration possible
Présence d'eau en surface	Présence d'eau stagnante sur la chaussée trop longtemps après une pluie.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- succion de l'eau du sol vers la structure,</li> <li>- infiltration d'eau à travers les fissures,</li> <li>- infiltration d'eau par les côtés,</li> <li>- mauvais fonctionnement du système de drainage,</li> <li>- devers insuffisants, dénivellations.</li> </ul>
Ressuage	Remontée localisée de liant à la surface de la chaussée donnant un aspect noir et brillant.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bitume trop mou,</li> <li>- surdosage en bitume.</li> </ul>
Glaçage	Usure de la couche de roulement par arasement progressif des gravillons au niveau du mastic fines-bitume, sans arrachement de ceux-ci.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- granulats trop polissables.</li> <li>- usure du revêtement.</li> </ul>

**Tableau 3 : Défauts de cohésion de surface**

Symptôme	Description	Mécanismes de détérioration possible
Désintégration et trou	Perte progressive de matériaux de la chaussée. Désenrobage ou séparation du bitume en présence d'eau.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- succion de l'eau du sol vers la structure,</li> <li>- infiltration de l'eau à travers les fissures,</li> <li>- infiltration de l'eau par les côtés,</li> <li>- couche latéritique comprenant trop de fins,</li> <li>- rupture par fatigue du mélange bitumineux,</li> <li>- oxydation et vieillissement naturel du bitume,</li> <li>- dosage déficient en bitume,</li> <li>- surchauffage du bitume lors de l'épandage,</li> <li>- séparation du bitume et des granulats par l'eau.</li> </ul>
Pelade	Arrachement par plaques de mélange bitumineux.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- épaisseur insuffisante de la couche d'usure,</li> <li>- manque d'adhérence à l'interface.</li> </ul>

**Tableau 4 : Défauts de déformation**

Symptôme	Description	Mécanismes de détérioration possible
Affaissement	Abaissement ou enfoncement localisé du niveau de la chaussée pouvant créer des dénivélés importants et brutaux.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- succion de l'eau du sol vers la structure,</li> <li>- infiltration de l'eau à travers les fissures,</li> <li>- infiltration de l'eau par les côtés,</li> <li>- couche latéritique comprenant trop de fins,</li> <li>- mouvement vertical des couches mal compactées,</li> <li>- rupture d'une canalisation souterraine,</li> <li>- tassement causé par un glissement de terrain,</li> <li>- instabilité latérale en rive et largeur étroite.</li> </ul>
Ornière	Dépression dans les traces.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- couche latéritique comprenant trop de fins,</li> <li>- mouvement vertical des couches mal compactées,</li> <li>- granulats du mélange trop arrondis (peu anguleux),</li> <li>- usure du mélange,</li> <li>- bitume trop mou en été,</li> <li>- dosage déficient en bitume,</li> <li>- surdosage en bitume.</li> </ul>
Soulèvement	Soulèvement très localisé de la chaussée.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- succion de l'eau du sol vers la structure,</li> <li>- infiltration de l'eau à travers les fissures,</li> <li>- infiltration de l'eau à travers les côtés,</li> <li>- gonflement à l'eau d'une latérite argileuse,</li> <li>- rupture d'une canalisation souterraine.</li> </ul>
Ondulation	Vagues ou succession de vagues, transversales, régulières et rapprochées.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- freinages fréquents,</li> <li>- mauvaise mise en œuvre du mélange bitumineux,</li> <li>- surdosage en bitume,</li> <li>- bitume trop mou,</li> <li>- inadhérence à l'interface.</li> </ul>

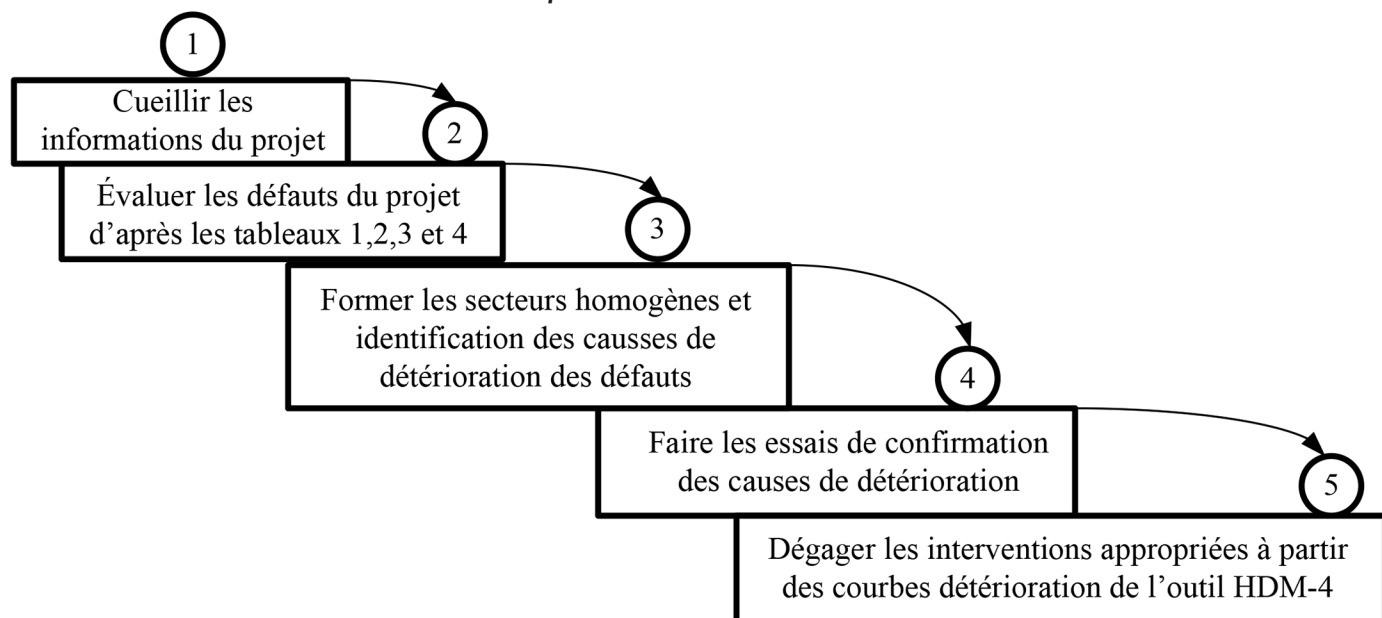
dans cette zone, comparativement au Canada où la norme de matériaux fins est généralement de l'ordre de 7%. Le **Tableau 5** nous donne le pourcentage des matériaux fins recommandé en Afrique subsaharienne selon Osti (Osti, 1993). L'eau joue un rôle important dans l'affaiblissement de la portance des couches qu'elle imbibe. Elle peut s'infiltrer à travers un revêtement fissuré ou à travers des accotements non revêtus. Elle peut aussi remonter des couches profondes de la plateforme par capillarité. Cet accroissement du taux d'humidité est d'autant plus grave que le revêtement gêne l'évaporation. Il convient donc au moment de la construction, de choisir impérativement les matériaux de fondation en fonction de leur capacité à drainer et de leur faible susceptibilité à l'eau. Il faut également rendre les revêtements étanches et écarter l'eau stagnante des abords de la chaussée. Lors d'une étude de réhabilitation, il est alors essentiel de bien caractériser les propriétés des différentes couches de la chaussée dégradée à traiter, de définir la cause de dégradation observée et de dimensionner une réhabilitation économiquement optimale à long terme.

**Tableau 5 : Pourcentage de particules fines autorisées en fondation supérieure**

Tamis (mm)	Pourcentage total en masse de passage au tamis. Taille maximale de particules nominale		
	37,5 mm	20 mm	10 mm
50	100	-	-
37,7	80-100	100	-
20	60-80	80-100	100
10	45-65	55-80	80-100
5	30-50	40-60	50-70
2,36	20-40	30-50	35-50
0,425	10-25	12-27	12-30
0,075	5-15	5-15	5-15



#### Étapes d'une étude de réhabilitation



Dans le cas d'une gestion préventive, il faut définir les zones à traiter dès la manifestation des premiers défauts par l'application des solutions d'entretien périodique à moindre coût telles que le tapis mince lequel va redonner à la chaussée sa souplesse et un bel uni.

Pour réhabiliter une chaussée en assurant son confort au roulement (un bon IRI) tout au long du cycle de vie de la route, il faut identifier la cause de détérioration et trouver les solutions appropriées. Cette méthodologie s'articule comme suit:

- I. Cueillir les informations du projet.
- II. Évaluer parmi la liste des défauts présentée aux tableaux 1, 2, 3 et 4, les défauts de la route à réhabiliter et sectionner la route en zones homogènes de trafic, topographie, état de la route et profil en travers type.
- III. Identifier la cause de détérioration la plus probable qui revient le plus fréquemment à partir des tableaux 1, 2, 3 et 4.
- IV. Confirmer la cause de détérioration par des vérifications d'essais appropriés qui s'imposent afin de confirmer la cause tel que :
  - 1- caractérisation de la formule du bitume (% bitume, % de filler, résistance à la déformation, pénétration résiduelle, angularité des granulats) ;
  - 2- remontée des fissures sur carottes d'un ancien revêtement ;
  - 3- qualité du drainage ;
  - 4- test d'arrachement sur l'enrobée de surface ;
  - 5- essai de portance déflectomètre à boulet ou à la poutre benkelman ;
  - 6- accotements non revêtus permettant l'infiltration d'eau.
- V. Dégager les interventions qui seront retenues après avoir confirmé la cause de détérioration par des vérifications d'essais, suivie d'une analyse des courbes de détérioration avec l'outil HDM-4 de l'AIPCR (Association Mondiale des routes) en support pour le choix de la solution optimale c'est-à-dire, la solution qui traite la cause de détérioration et qui assure tout au long de la durée de vie de la route un très grand confort au roulement (un bon IRI).

Le schéma ci-dessus représente les étapes d'une étude de réhabilitation d'une chaussée flexible en Afrique Subsaharienne en mettant l'accent sur l'identification de la cause de détérioration afin de choisir l'intervention la plus appropriée.

## 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 3.1. Étude au Nord du Sénégal

#### 3.1.1. Données du projet

Dans le cadre de la mise en œuvre d'un nouveau programme d'aide aux pays émergents qui répondent à certains critères (Soederberg, 2004), le gouvernement des États-Unis d'Amérique a créé le Millennium Challenge Corporation (MCC), le 23 janvier 2004. La mission du MCC consiste à réduire la pauvreté en appuyant la croissance économique durable et transformative dans les pays en voie de développement. Le 16 septembre 2009, le MCC et le gouvernement du Sénégal ont signé un accord de subvention de cinq (5) ans d'un montant de 540 millions de dollars US, pour financer un programme conçu pour réduire la pauvreté à travers des interventions ciblées portant sur l'agriculture, le transport et les infrastructures sociales. C'est ainsi que pour l'exécution de ce Compact, le Millennium Challenge Account – Sénégal (MCA-Sénégal) a été créé pour mettre en œuvre les travaux de réhabilitation de la route RN2 entre les villes de Richard Toll et de N'Dioum d'un linéaire de près de 120 km.

Les principaux acteurs de ce projet sont :

- Le Millennium Challenge Account – Sénégal (MCA-Sénégal) à titre de Maître d'Ouvrage.
- L'Agence des Travaux et de Gestion des Routes (AGEROUTE) à titre d'Assistant technique du Maître d'Ouvrage.
- Le Bureau d'Études qui a fait les études d'ingénierie.





- L'entreprise qui a exécuté les travaux.
- Le MCC qui a financé l'opération par un don.

### 3.1.2. Option retenue pour l'appel d'offres par le bureau d'études

L'option proposée par le bureau d'études est l'option 1. Elle consiste à un élargissement de la chaussée existante par un décaissement de 40 cm de matériaux puis un apport de 15 cm de nouveaux matériaux de caractéristique d'une couche de fondation, la mise en œuvre d'une couche de base de 20 cm de latérite-ciment sur la largeur de la plateforme et la mise en œuvre d'un revêtement en béton bitumineux de 5 cm. Dans cette option, le bureau d'études a utilisé la méthode CEBTP (Dione, 2011) combinaison des indices de qualités avec le trafic pour déterminer une structure de renforcement. Les vérifications ont été faites par le logiciel Alizé (Duhamel et al., 2005) pour s'assurer que les contraintes ainsi que les déformations enregistrées sont inférieures aux limites admissibles. Un entretien périodique est prévu au moins tous les 10 ans dépendamment de la dégradation de la chaussée.

### 3.1.3. Option résultant de l'application de l'approche proposée dans cet article

Dans cet article trois options ont été proposées en dehors de l'option de base (option de non intervention majeure) pour l'application de l'approche proposée à savoir l'option 2, 3 et 4. Rappelons que l'option 1 est celle du bureau d'études.

En ce qui concerne l'option de base, elle consiste à faire un entretien courant durant toute la durée de vie de la chaussée en réalisant les réparations mineures telles que la réparation des rives, le scellement des fissures et le rapiéçage des nids de poules sur la chaussée.

L'option 2 quant à elle consiste à pulvériser sur une épaisseur de l'ordre de 35 cm, valoriser les matériaux retirés sur la route avec un ajout de 2,5% à 3% de ciment sur 30 cm avec ou sans correction granulométrique pour réduire la teneur des fines au besoin par l'apport de la pierre nette. Ceci aura pour conséquence de stabiliser 30 cm de couche de base afin d'augmenter la résistance structurale de la route. Le CBR amélioré à 95% OPM doit être supérieur ou égal à 160 pour la couche de base et le module entre 1000 et 2000 Mpa max (CEBTP, 1984). Un nouveau revêtement de 5 cm de béton bitumineux est posé à la fin. Un entretien périodique est effectué tous les 10 ans dès l'apparition de dégradation sur la surface de la chaussée.

L'option 3 consiste à maintenir la structure existante comme fondation, puis de mettre une couche de 20 cm de béton de ciment (dalles courtes goujonnées) comme revêtement. Selon les modèles de comportement développés par Luc Rens (Rens, 2013) du centre de recherche routière en Belgique, cette opération peut jusqu'à tripler la durée de vie de la route à cause des lois de comportement de béton et son entretien sera réduit selon les observations rapportées.

Enfin l'option 4, consiste à enlever 5 cm d'enrobé au maximum sur la route principale, réparer les trous, corriger le profil et faire un rechargement d'enrobé neuf de 5 cm. Un entretien périodique qui va consister à procéder au renouvellement du revêtement en béton bitumineux selon une épaisseur qui dépendra du trafic ou tous les 10 ans dès l'apparition de dégradations prononcées sur la surface de la chaussée.

### 3.1.4. Méthode utilisée pour l'étude

Pour réaliser cette étude sur la RN2, nous avons utilisé le logiciel HDM-4 (Kerali, Odoki et Stannard, 2005) dans le but d'étudier les variantes de réhabilitation les plus économiques et environnementalement saines pour la société en général et les usagers routiers en particulier. Pour justifier le choix de la méthodologie de réhabilitation des chaussées, une comparaison a été effectuée entre diverses options retenues pour ce projet de réhabilitation à l'option de base (option de non intervention majeure) et à l'option 1 (option retenue initialement par le bureau d'études).

### 3.1.5. Données d'identification du projet avant la réhabilitation

Le **Tableau 6** ci-dessous fournit les données d'identification du projet avant la réhabilitation, à savoir par exemple que la longueur est de 120 km, la largeur est de 4 à 6 m, le nombre de voies est de 2 et l'IRI moyen est de 2,9 m/km. Cet IRI a été mesuré avec un analyseur du profil en long (APL) et étalonné par huit sections de 200m à la mire et au niveau. L'exactitude et la répétabilité sur l'APL sont de moins de 10%.

**Tableau 6 : Données d'identification du projet avant la réhabilitation**

Identification du projet	RN2
Longueur du projet	120 km
Largeur de la chaussée sur tout le projet	4 à 6 m
Nombre de voies	2,00
Nombre de trottoirs	2 x 1,00 m
TJMA (2009), véhicules par jour	876
Sens du trafic	2 sens
Vitesse limite	80 km/h
Climat de type sahélien	9 à 10 mois (octobre-Juillet) saison sèche
	2 à 3 mois (fin Juillet-Début octobre) saison pluvieuse
Pluviométrie moyenne annuelle	265 mm
Pluviométrie maximale journalière	47 mm
IRI moyen	2.9 m/km
Épaisseur des couches de la chaussée existante	Fondation : 400 mm
	Base : 200 mm
	Revêtement : 50 mm
Capacité de portance du sol, CBR	Sol de plateforme : CBR 21%

### 3.1.6. Données d'identification du projet après la réhabilitation

Le **Tableau 7**, fournit quelques données du projet après la réhabilitation, par exemple que la largeur moyenne en section courante est de 7,20 m et celle en agglomération est de 11 m et l'IRI moyen est de 1,5 m/km. L'IRI a été mesuré avec un

**Tableau 7 : Données d'identification du projet après la réhabilitation**

Caractéristique de la nouvelle route à aménager et à réhabiliter	RN2
Vitesse de référence	80 km/h et (60 km/h en agglomération)
Pente minimale des talus en remblais	3/2 (3 horizontale, 2 verticale)
Pente minimale des talus en déblais	1/2 (1 horizontale, 2 verticale)
Charge maximale à l'essieu	13t (tonnes)
Mise hors d'eau	obligatoire
Largeur de la chaussée en section courante et en agglomération	2 x 3,60 m = 7,20 m
Largeur des accotements	Section courante : 2 x 1,50 m = 3 m
	En agglomération : 2 x 2,00 m = 4 m
Largeur de la chaussée dans l'agglomération de N'Dioum	4 x 2,75 m = 11 m
Largeur des accotements dans l'agglomération de N'Dioum	2 x 1,75 m = 3,5 m
IRI post-travaux	1,5 m/km
Longueur de la chaussée	Section courante : 110,5 km
	En agglomération : 6,45 km
Longueur de la chaussée dans l'agglomération de N'Dioum	3,05 km
Taux de croissance	Trafic normal : 3,5% - 4,55%
	Trafic induit : 30% (15% grâce au projet routier RN2 et 15% grâce à d'autres projets dans la zone du projet.
Période d'analyse du projet	20 ans
Durée des travaux de réhabilitation du projet	24 mois
Date du début des travaux de réhabilitation du projet	13 janvier 2013
Date de mise en œuvre du projet	13 janvier 2015

analyseur du profil en long (APL) et étalonné par huit sections de 200m à la mire et au niveau. L'exactitude et la répétabilité sur l'APL sont de moins de 10%.

### 3.1.7. Les paramètres de l'analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité a été réalisée pour examiner la robustesse des conclusions de l'étude : le coût d'investissement des travaux, la croissance du trafic normal des véhicules et le trafic moyen journalier annuel (TJMA) post-travaux. Pour le choix des paramètres, la méthode utilisée a été la méthode essai-erreur qui est caractérisée par des essais divers qui sont continus jusqu'au succès de la recherche. Les scénarios examinés ici font varier les paramètres suivants, pris individuellement :

- Coûts d'investissement des travaux (+/- 25%).
- Croissance du trafic normal (+/- 70%).
- TMJA du trafic normal post-travaux (+/- 25%).

### 3.1.8. Les différents défauts et les causes de détériorations du projet de la RN2

En accord avec la méthodologie proposée dans cet article à la section 2, notre projet a été divisé en 11 sections dépendamment des dégradations et des profils en travers types de chaque section. Le **tableau 8** tabule les différentes sections, leurs dégradations ainsi que leurs profils en travers type. Les profils en travers types PT1, PT2 et PT3 correspondent aux cas ci-après :

PT1 : Profil en travers à deux voies en rase campagne (chaussée: 2 x 3,60 m et accotements: 2 x 1,50 m) ;

PT2 : Profil en travers à deux voies en agglomération (chaussée: 2 x 3,60 m et accotements: 2 x 2,00 m) ;

PT3 : Profil en travers en 4 voies en agglomération (Chaussée: 4 x 2,75 m et accotements: 2 x 1,75 m).

Concernant les causes de détérioration qu'il est nécessaire d'établir conformément à la section précédente, celles-ci sont dues en grande partie à l'eau qui s'infiltre à travers le revêtement ou les accotements dont l'étanchéité est défectueuse et remonte dans les couches profondes de la plateforme par capillarité et à l'érosion causée par l'eau de pluie mal drainée en pluie hivernale (période de pluie en Afrique subsaharienne).

### 3.1.9. Les hypothèses prises en compte lors de notre simulation sur HDM-4

Un appel d'offres pour effectuer les travaux selon l'option 1 proposée par le bureau d'étude a permis de sélectionner un entrepreneur général. Les niveaux de prix pratiqués au Sénégal et spécifiquement dans la zone du projet ont également permis au consultant d'arrêter les prix unitaires qui seront utilisés dans le cadre de l'estimation des travaux. Les coûts de la réhabilitation proposée ont été estimés à partir des quantités de l'avant métré détaillé des travaux sortis du logiciel de conception du projet (Piste) et des plans présentés dans le dossier des pièces graphiques du dossier d'appel d'offres (APD). Les différents aménagements des autres options retenues dans cet article ont été évalués d'abord quantitativement, ensuite nous avons appliqué les prix unitaire de l'entrepreneur retenu pour le projet y compris pour le béton pour aboutir à un coût global pour l'aménagement de chaque option :

- Option 1 (option du bureau d'étude) : le prix du km de route est de 601 682 \$ ;



**Tableau 8 : Les différentes sections de la route, leurs dégradations et leurs profils en travers type**

PKi	PKf	Profil en travers type	section	Dégradations
0+000	29+350	PT1	1	Bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages fins à mailles larges sans arrachements, faïençages, fissures transversales, âge (plumage ponctuel), épaufrures de rive.
29+350	30+550	PT2	2	Affaissement, fissures longitudinales, faïençages, pelade, âge (plumage ponctuel), épaufrures de rive, fissures transversales, désenrobage, peignage, plumage.
30+550	48+750	PT1	3	Orniérage, bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
48+750	50+200	PT2	4	Orniérage, bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
50+200	62+550	PT1	5	Orniérage, bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
62+550	64+750	PT2	6	Bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
64+750	89+050	PT1	7	Bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
89+050	90+650	PT2	8	Bourrelets, affaissement, flaches, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
90+650	111+700	PT1	9	Affaissement, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
111+700	114+750	PT3	10	Affaissement, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.
114+750	120+000	PT1	11	Affaissement, fissures longitudinales, faïençages, fissures transversales, nid de poule, désenrobage, pelade, plumage, ressuage, épaufrures de rives.

- Option 2 (option de pulvo-stabilisation/correction granulométrique et ressurfaçage) : le prix du km de route est de 592 170 \$ ;
- Option 3 (option béton de ciment): le prix du km de route est de 718 952 \$ ;
- Option 4 (option surfaçage direct): le prix du km de route est de 464 446 \$.

## 3.2. Résultats de l'étude au nord du Sénégal

### 3.2.1. Identification de la démarche et explication de l'outil HDM-4

En accord avec la méthodologie proposée pour le choix de l'intervention dans cet article à la section précédente, les courbes de détérioration des **Figures 1 à 7** sont analysées. Celle qui traite la cause de détérioration et qui assure tout au long de la durée de vie de la route, un très grand confort au roulement (un bon IRI) est retenue.

HDM-4 un outil flexible qui permet de modéliser la détérioration des chaussées dans le temps selon les interventions qui y

sont appliquées, d'évaluer la viabilité économique de diverses alternatives de réhabilitation et les stratégies d'entretien des chaussées à moyen et long termes (Watanatada et al., 1987). Il a été développé par la Banque Mondiale et diverses autres organisations sous l'égide de l'Association Internationale Permanente des Congrès de la Route (AIPCR) par l'équipe de l'Université de Birmingham. Il a permis d'utiliser les modèles empiriques basés sur des expériences réelles réalisées sur la route RN2 au Sénégal pour simuler l'évolution du comportement des chaussées selon diverses options de réhabilitation. Il a aussi permis d'effectuer une analyse de sensibilité pour voir l'effet de l'écart entre les données fournies au système ainsi que des hypothèses retenues, par rapport aux données réelles. De mesurer la robustesse des recommandations qui demeurent sujettes aux estimations des paramètres d'entrées significatifs, et cela par rapport à chacun des paramètres, tels le coût d'investissement des travaux, la croissance du trafic normal des véhicules et le trafic moyen journalier annuel (TJMA) post-travaux.

### 3.2.2. Présentation et interprétation des résultats

Les critères à considérer pour l'évaluation des résultats porte sur les modèles des courbes d'exploitation des véhicules sur







**Tableau 9 : La variation de l'IRI dans les différentes options du projet**

IRI	Option de base	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4
Figure 1	2.9m/km à 6.1m/km	2.9m/km à 3.6m/km	2.9m/km à 3.4m/km	2.9m/km à 2.1m/km	2.9m/km à 3.5m/km
Figure 2	2.9m/km à 6.1m/km	2.9m/km à 3.6m/km	2.9m/km à 3.4m/km	2.9m/km à 2.1m/km	2.9m/km à 3.5m/km
Figure 3	2.9m/km à 6.1m/km	2.9m/km à 3.6m/km	2.9m/km à 3.4m/km	2.9m/km à 2.1m/km	2.9m/km à 3.5m/km
Figure 4	2.9m/km à 5.9m/km	2.9m/km à 3.4m/km	2.9m/km à 3.1m/km	2.9m/km à 2.0m/km	2.9m/km à 3.3m/km
Figure 5	2.9m/km à 6.6m/km	2.9m/km à 4.2m/km	2.9m/km à 3.9m/km	2.9m/km à 2.1m/km	2.9m/km à 4.1m/km
Figure 6	2.9m/km à 5.9m/km	2.9m/km à 3.4m/km	2.9m/km à 3.2m/km	2.9m/km à 2.0m/km	2.9m/km à 3.3m/km
Figure 7	2.9m/km à 6.4m/km	2.9m/km à 4.0m/km	2.9m/km à 3.8m/km	2.9m/km à 2.1m/km	2.9m/km à 3.9m/km

la route RN2 au Sénégal entre Richard Toll et N'Dioum en se basant sur l'uni exprimé en IRI. Les critères de qualification de l'uni retenus pour cette route nationale sont les suivantes :

- IRI < 1,6 m/km      Excellent
- 1,6 < IRI < 2,6 m/km      Bon
- 2,6 < IRI < 3,6m/km      Moyen
- 3,6 < IRI < 4,6 m/km      Pauvre
- 4,6 < IRI      Très pauvre

Pour maintenir la chaussée toujours en bon état, il faut que l'IRI reste inférieur à 2,6 m/km jusqu'au prochain entretien périodique en choisissant une option optimale de réhabilitation qui sera rentable sur le cycle de vie.

Dans cette étude, on a fait ressortir les 7 figures des courbes d'évolution de l'uni en fonction du temps pour les différentes options de réhabilitation. On ne retient que dans chaque figure, l'option qui est la plus rentable en terme d'IRI à comparer à celle de base et aux autres options parmi les simulations qui ont été faites. Le **Tableau 9** nous donne la variation de l'IRI dans les différentes options du projet.

D'après les valeurs de l'IRI des **Figures 1 à 7** présentées au **tableau 9**, il ressort que les valeurs de l'IRI montrent pour chaque option la progression annuelle des différentes dégradations sur la période d'analyse. Ces figures affichent l'uni moyen annuel pour chaque option. Ainsi chaque figure permet d'apprécier l'évolution et les années de déclenchement des travaux. Ce qui nous permet de constater que d'après les critères de qualification de l'uni retenus pour cette route nationale, seule l'option 3 a un IRI inférieur à 2,6 m/km sur tout l'ensemble de projet et sur les différentes figures de l'analyse de sensibilité. D'où la nécessité de faire la conclusion suivante : pour maintenir la chaussée en bon état durant tout le cycle de vie de la route, il faut utiliser l'option 3 (route en béton).

Les courbes d'évolution de l'uni (IRI) pour les quatre options de réhabilitation simulées et retenues sur le projet de la route RN2 au Sénégal entre Richard Toll et N'Dioum et ceux des différentes analyses de sensibilités sont présentées dans les **Figures 1 à 7**.

D'après la **Figure 1**, l'option de base à un IRI qui varie entre 2.9m/km à 6.1m/km ce qui maintient à un état médiocre la chaussée tout au long du projet. Les options 1, 2 et 4 ont un IRI qui décroît de 2.9m/km avant le début des travaux jusqu'à presque 1.2m/km pour l'option 1, 1m/km pour l'option 2 et 1.1m/km pour l'option 4 après les travaux et il croît au fil des années pour atteindre 3.6m/km pour l'option 1, 3.4m/km pour l'option 2 et 3.5m/km pour l'option 4. En ce qui concerne l'option 3, il a un IRI qui décroît de 2.9m/km avant le début des travaux jusqu'à presque 1m/km après les travaux et il croît au fil des années pour atteindre 2.1m/km.

D'après la **Figure 2**, l'option de base à un IRI qui varie entre 2.9m/km à 6.1m/km ce qui maintient à un état médiocre la chaussée tout au long du projet. Les options 1, 2 et 4 ont un IRI qui décroît de 2.9m/km avant le début des travaux jusqu'à presque 1.2m/km pour l'option 1, 1m/km pour l'option 2 et 1.1m/km pour l'option 4 après les travaux et il croît au fil des années pour atteindre 3.6m/km pour l'option 1, 3.4m/km pour l'option 2 et 3.5m/km pour l'option 4. En ce qui concerne l'option 3, il a un IRI qui décroît de 2.9m/km avant le début des travaux jusqu'à presque 1m/km après les travaux et il croît au fil des années pour atteindre 2.1m/km.

D'après la **Figure 3**, l'option de base à un IRI qui varie entre 2.9m/km à 6.1m/km ce qui maintient à un état médiocre la chaussée tout au long du projet. Les options 1, 2 et 4 ont un IRI qui décroît de 2.9m/km avant le début des travaux jusqu'à presque 1.2m/km pour l'option 1, 1m/km pour l'option 2 et 1.1m/km pour l'option 4 après les travaux et il croît au fil des années pour atteindre 3.6m/km pour l'option 1, 3.4m/km pour l'option 2 et 3.5m/km pour l'option 4. En ce qui concerne l'option 3, il a un IRI qui décroît de 2.9m/km avant le début des travaux jusqu'à presque 1m/km après les travaux et il croît au fil des années pour atteindre 2.1m/km.

D'après la **Figure 4**, l'option de base à un IRI qui varie entre 2.9m/km à 5.9m/km ce qui maintient à un état médiocre la chaussée tout au long du projet. Les options 1, 2 et 4 ont un IRI qui décroît de 2.9m/km avant le début des travaux jusqu'à presque 1.2m/km pour l'option 1, 1m/km pour l'option 2 et 1.1m/km pour l'option 4 après les travaux et il croît au fil des



Figure 1 : Évolution de l'uni de chaque option par rapport au scénario de base

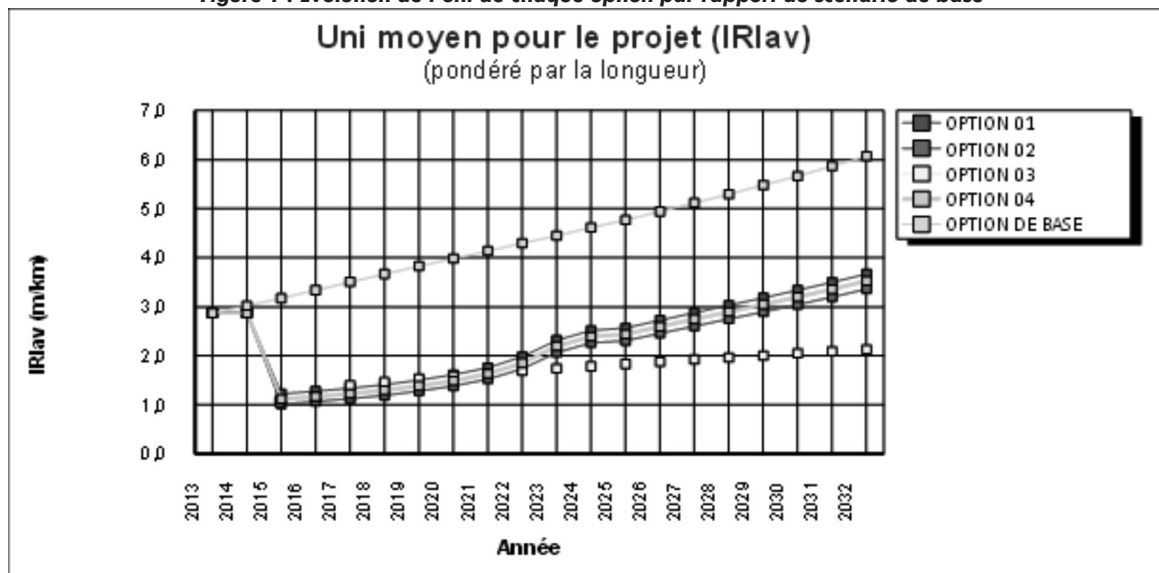


Figure 2 : Évolution de l'uni selon le scénario du coût d'investissement +25%

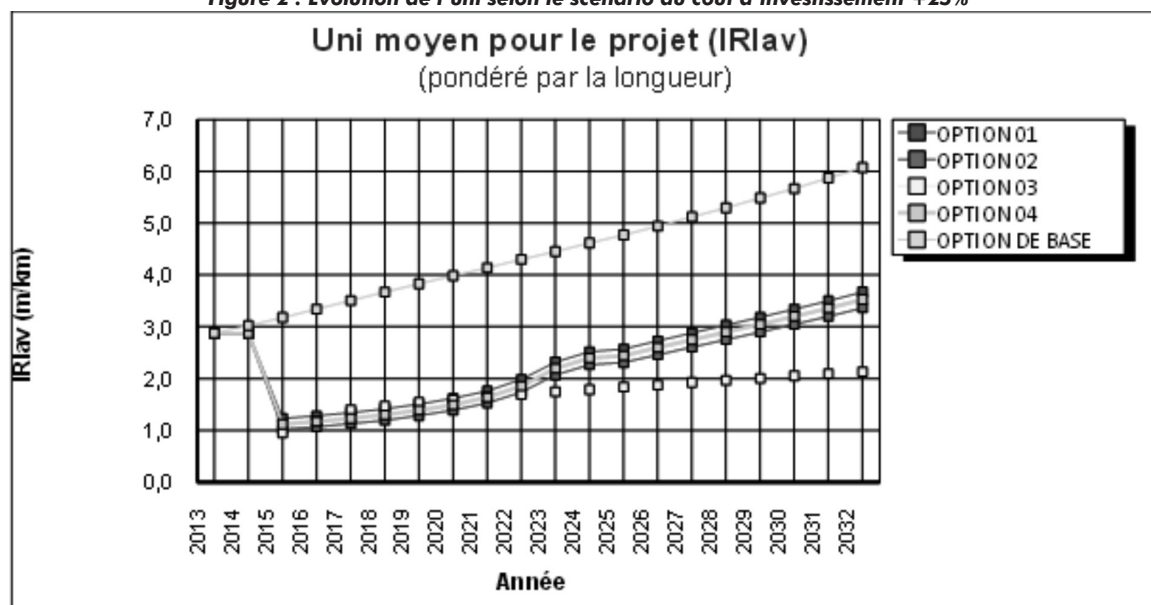


Figure 3 : Évolution de l'uni selon le scénario du coût d'investissement -25%

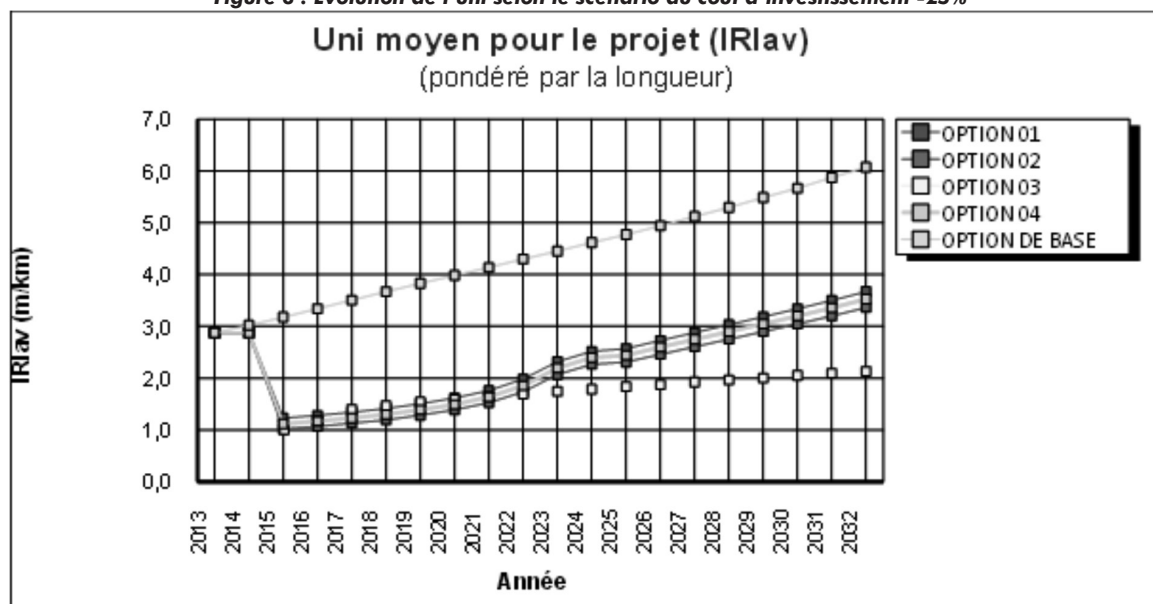




Figure 4 : Évolution de l'uni selon le scénario de croissance du trafic faible -70%

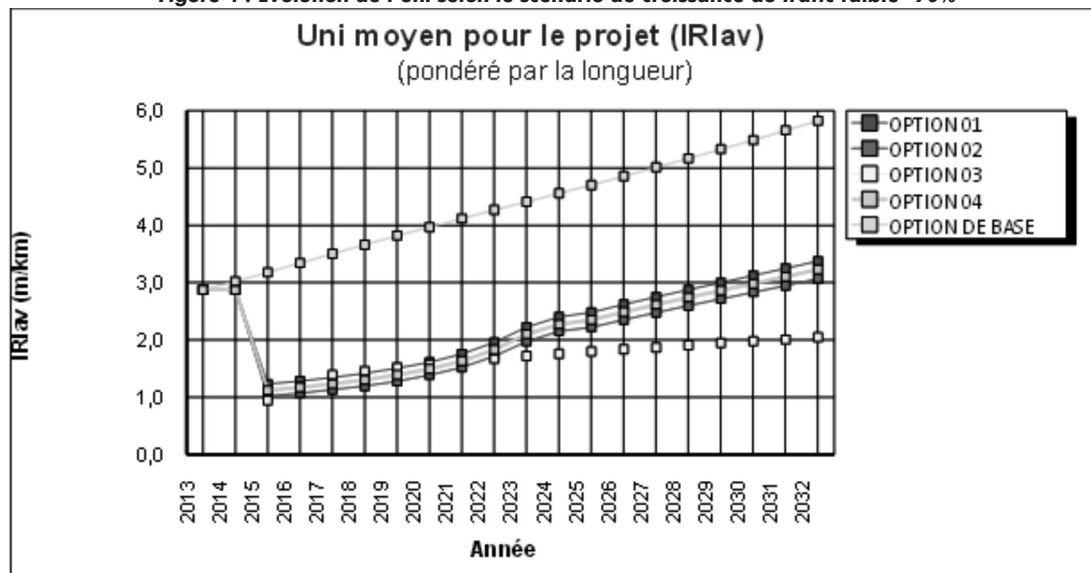


Figure 5 : Évolution de l'uni selon le scénario de croissance du trafic fort +70%

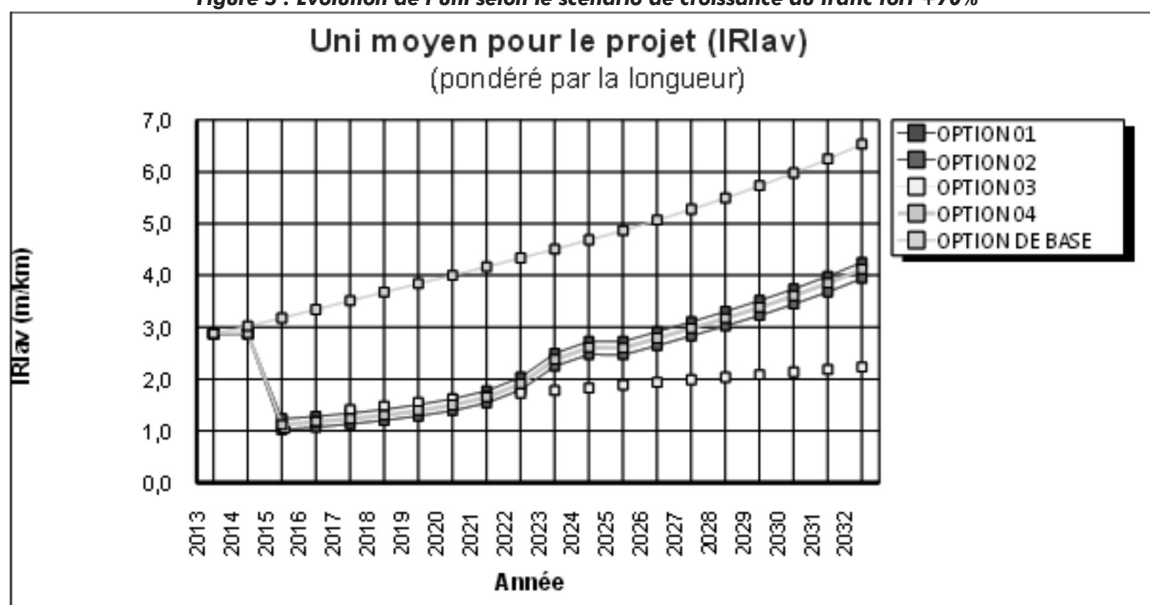


Figure 6 : Évolution de l'uni selon le scénario du TJMA faible -25%

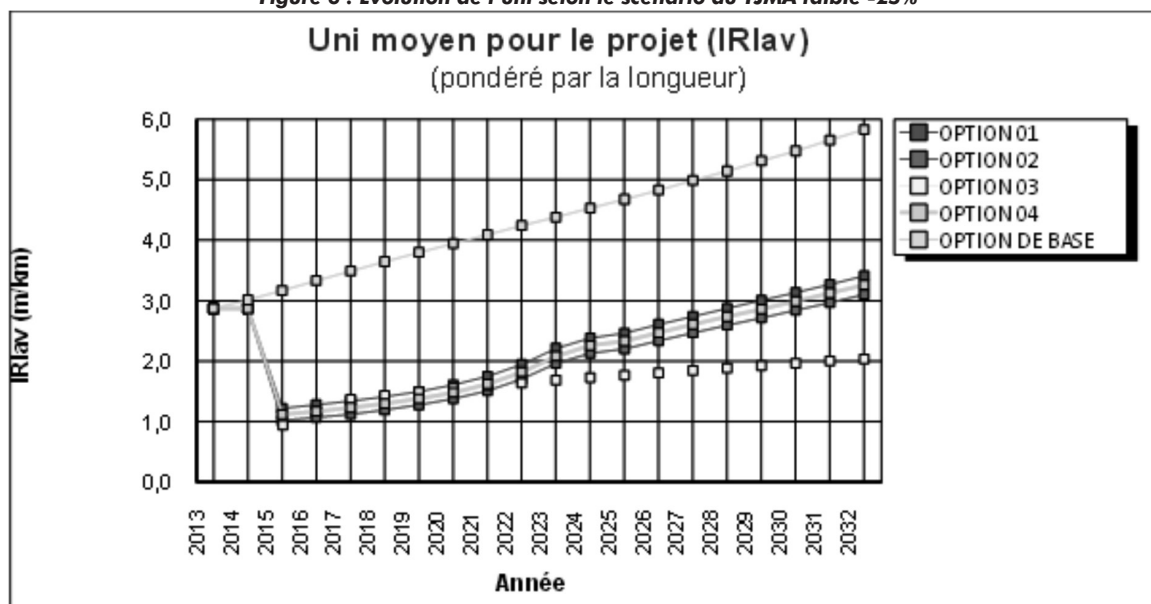
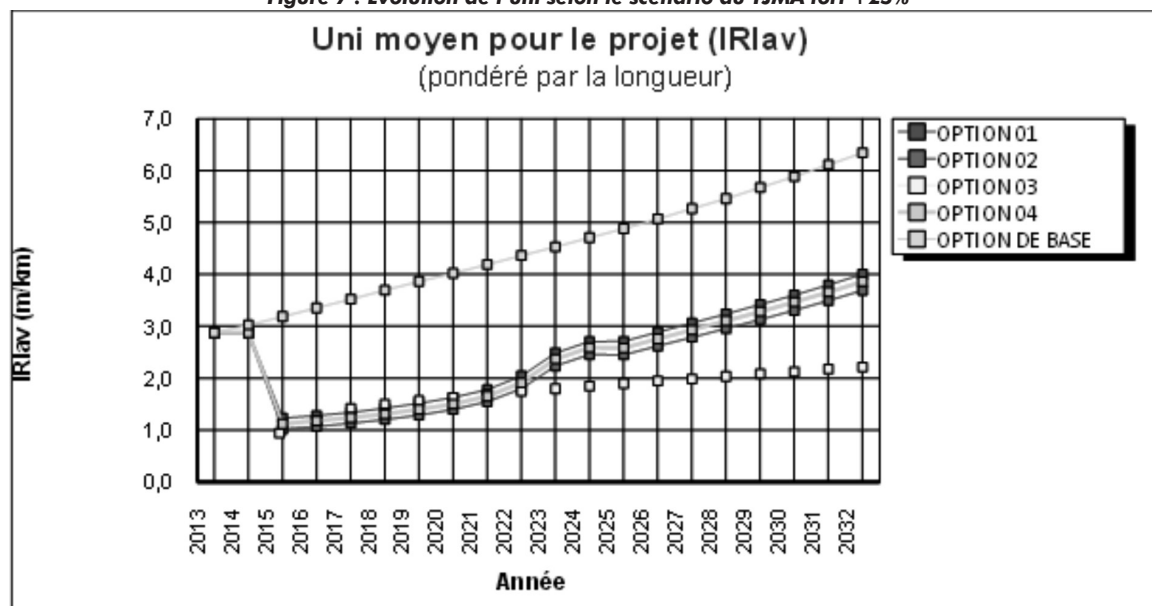




Figure 7 : Évolution de l'uni selon le scénario du TJMA fort +25%



années pour atteindre 3.4m/km pour l'option 1, 3.1m/km pour l'option 2 et 3.3m/km pour l'option 4. En ce qui concerne l'option 3, il a un IRI qui décroît de 2.9m/km avant le début des travaux jusqu'à presque 1m/km après les travaux et il croît au fil des années pour atteindre 2.0m/km.

D'après la **Figure 5**, l'option de base à un IRI qui varie entre 2.9m/km à 6.6m/km ce qui maintient à un état médiocre la chaussée tout au long du projet. Les options 1, 2 et 4 ont un IRI qui décroît de 2.9m/km avant le début des travaux jusqu'à presque 1.2m/km pour l'option 1, 1m/km pour l'option 2 et 1.1m/km pour l'option 4 après les travaux et il croît au fil des années pour atteindre 4.2m/km pour l'option 1, 3.9m/km pour l'option 2 et 4.1m/km pour l'option 4. En ce qui concerne l'option 3, il a un IRI qui décroît de 2.9m/km avant le début des travaux jusqu'à presque 1m/km après les travaux et il croît au fil des années pour atteindre 2.1m/km.

D'après la **Figure 6**, l'option de base à un IRI qui varie entre 2.9m/km à 5.9m/km ce qui maintient à un état médiocre la chaussée tout au long du projet. Les options 1, 2 et 4 ont un IRI qui décroît de 2.9m/km avant le début des travaux jusqu'à presque 1.2m/km pour l'option 1, 1m/km pour l'option 2 et 1.1m/km pour l'option 4 après les travaux et il croît au fil des années pour atteindre 3.4m/km pour l'option 1, 3.2m/km pour l'option 2 et 3.3m/km pour l'option 4. En ce qui concerne l'option 3, il a un IRI qui décroît de 2.9m/km avant le début des travaux jusqu'à presque 1m/km après les travaux et il croît au fil des années pour atteindre 2.0m/km.

D'après la **Figure 7**, l'option de base à un IRI qui varie entre 2.9m/km à 6.4m/km ce qui maintient à un état médiocre la chaussée tout au long du projet. Les options 1, 2 et 4 ont un IRI qui décroît de 2.9m/km avant le début des travaux jusqu'à presque 1.2m/km pour l'option 1, 1m/km pour l'option 2 et 1.1m/km pour l'option 4 après les travaux et il croît au fil des années pour atteindre 4.0m/km pour l'option 1, 3.8m/km pour l'option 2 et 3.9m/km pour l'option 4. En ce qui concerne l'option 3, il a un IRI qui décroît de 2.9m/km avant le début des travaux jusqu'à presque 1m/km après les travaux et il croît au fil des années pour atteindre 2.1m/km.

D'après l'interprétation des courbes de détérioration de l'IRI de ce projet, il ressort de cela que, les différentes options de bitumage améliorent l'uni à la date des travaux, avec par la suite une lente détérioration. L'option 3 est en termes de confort au roulement (IRI), l'option la plus avantageuse techniquement et la plus rentable sur les 7 figures de la courbe d'évolution de l'uni avec un IRI variant de 1m/km après la fin des travaux à 2.1m/km au fil des années d'analyse du projet. Cette option est chère par rapport aux autres options, mais donne bien un IRI plus faible et moins d'entretien ce qui est un avantage considérable pour l'Afrique Subsaharienne car selon la banque mondiale, le problème des routes en Afrique Subsaharienne est le manque d'entretien (Heggie, 1995).

## CONCLUSION

L'approche développée dans cet article permet de mettre en évidence une méthodologie de réhabilitation des chaussées en Afrique Subsaharienne basé sur l'identification de la cause de détérioration. Celle-ci vise à choisir la meilleure intervention qui traite la cause de détérioration au moindre coût possible à long terme. Grâce à l'étude effectuée sur la route RN2 au Sénégal à l'aide de l'outil HDM-4 pour comparer les options d'intervention retenues, il en ressort que l'option 3 est la plus rentable en terme de confort au roulement (un bon IRI). Le béton représente une excellente solution dans le cadre de revêtements routiers pour soutenir les poids lourds en Afrique Subsaharienne car dans ces pays, les surcharges atteignent souvent 15 voire 20 tonnes par essieu contre 13 tonnes pour l'essieu de référence. Il est aussi important de noter que cette option du béton est chère par rapport aux autres options, mais donne bien un IRI plus faible et moins d'entretien ce qui est un avantage considérable pour l'Afrique Subsaharienne car selon la banque mondiale, le problème des routes en Afrique Subsaharienne est le manque d'entretien.





## RÉFÉRENCES

- Assaf, Gabriel J. 1986. *Manuel de Conception Routier pour l'Évaluation des Techniques d'Entretien* 146 P.
- Assaf, Gabriel J. 1987. « A.G.I.R Project (Auscultation et gestion des infrastructures routière or Road infrastructure inspection and management) ». (Québec : ministère des Transports du Québec).
- Assaf, Gabriel J. 1993. *Sub-network Level Analysis in Pavement Management: the CODE and MAREE Systems*.
- Assaf, Gabriel J. 1998. *Programme de financement des travaux de réhabilitation des routes 2000-2003. Banque mondiale*. 148 P.
- Assaf, Gabriel J. 2010. « Conception et réhabilitation des chaussées: note de cour MGC 840. École de Technologie Supérieure. ». 220 p.
- Boucher, Martin. 1994. *Revue générale et comparaison de systèmes de gestion des chaussées*. 192 p.
- Bruxelles, Claude. 2005. « Construction et dimensionnement des chaussées »
- Cabanius, Philippe. 2003. « Amélioration du transport de transit dans la Région d'Afrique Centrale ». *Première session du comité intergouvernemental préparatoire de la conférence ministérielle internationale sur la coopération en transport de transit, New York*.
- CEBTP. 1984. *Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux*.
- Cook, Mike, Stephen Seeds, Haiping Zhou et R Gary Hicks. 2004. « Guide for Investigating and Remediating Distress in Flexible Pavements: California Department of Transportation's New Procedure ». *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n° 1896, p. 147-161.
- Dione, Adama. 2011. « Dimensionnement routier au Sénégal, quelles perspectives? ».
- Duhamel, Denis, Armelle Chabot, Philippe Tamagny et Larbi Harfouche. 2005. « Logiciel de modélisation viscoélastique des chaussées bitumineuses ». *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées*, vol. 258, p. 259.
- França, et Jean-François Corté. 1994. *Conception et dimensionnement des structures de chaussée: guide technique*.
- Haas, Ralph, et W Ronald Hudson. 1978. *Pavement management systems*. Monograph.
- Heggie, Ian G. 1995. « Commercializing Africa's roads: transforming the role of the public sector ». *Transport Reviews*, vol. 15, n° 2, p. 167-184.
- Huang. 1993. « Pavement analysis and design ». *University of Kentucky. Prentice Hall, inc. USA*.
- Jean, Carrier, Chartrand Luc, Durand Jean-Marie, Flon Paul, Grondin Mathieu et Marcel Nicolas. 2007. *Guide de mesures et d'identification des dégradations des chaussées souples*.
- Kerali, Henry GR, JB Odoki et Eric E Stannard. 2005. « Vue d'ensemble de HDM-4 ».
- Koubikana P. 2013. « Développement d'un catalogue de conception des chaussées pour les pays Sub-Sahariens ». École de technologie supérieure.
- MTQ. 1993. *Manuel d'identification des dégradations des chaussées flexibles*. Québec: Gouvernement du Québec, Ministère des transports.
- MTQ. 2006. *Contexte Particulier des chaussées au Québec*.
- OCDE. 1978. *Manuel de dégradations des chaussées souple*
- Osti, Durga Prasad. 1993. « Choice of Bituminous Otta Seal Surfacing an Economic Pavement Surfacing for Low Volume Roads ». *Transport and communications bulletin for asia and the pacific*, p. 23.
- Pehlivanidis, M. 1994. « ARC : An Expert Inspection System for Road Repairs. Québec (QC): Université de Montréal, Centre de Recherche sur les Transports. Ouvrage inédit. ». In Pierre, Pascale, Alexa Bresson et Sylvain Juneau. 2008. « Suivi structural saisonnier de chaussées municipales en région nordique ».
- Pinard, MI, SD Ellis, R Johansen, T Toole, R Beger, ME Gumbie, HJ Lotter et AR Quimby. 2003. « Guideline low-volume sealed roads ».
- Rens, Luc. 2013. « La route en béton une solution économique et de qualité ». In *FEBELCEM*.
- SHRP. 1990. « Distress identification manual for the Long Term Pavement Performance studies ».
- Soederberg, Susanne. 2004. « American empire and 'excluded states': the millennium challenge account and the shift to pre-emptive development ». *Third World Quarterly*, vol. 25, n° 2, p. 279-302.
- St-Laurent, Denis. 2004. « Analyse mécanique des chaussées et rétrocalcul des modules ».
- Systematics, Cambridge, Texas Transportation Institute, National Cooperative Highway Research Program, Parsons Brinckerhoff, American Association of State Highway et Transportation Officials. 2006. *Performance measures and targets for transportation asset management*, 551p. Transportation Research Board.
- Tessier, Robert 1990. « Guide de Construction et d'Entretien des Chaussées. Québec ». *Association québécoise du transport et des routes*, 393 p.
- Trade, Rapport Technique du West Africa, et N Hub. 2012. « Coûts de Transport et de Logistique sur le Corridor Lomé-Ouagadougou ».
- Watanatada, T, WD Paterson, A Bhandari, CG Harral, AM Dhareshwar et K Tsunokawa. 1987. « The highway design and maintenance standards model. volumes 1 and 2 ».
- Zilioniene, Daiva, Donatas Cygas, Antanas Aloyzas Juzenas et Algirdas Jurgaitis. 2007. « Improvement of functional designation of low-volume roads by dust abatement in Lithuania ». *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1989, n° 1, p. 293-298.





## Gestion des Ouvrages d'Art Ferroviaires en Égypte *Proposition du comité éditorial*

# GESTION DES OUVRAGES D'ART FERROVIAIRES EN ÉGYPTÉ

## MANAGEMENT OF RAILWAY BRIDGES OF EGYPT

**Hussein ABBAS & Maha M. HASSAN**  
EHAF Consulting Engineers, Cairo - Egypt  
habbas@ehaf.com

### INTRODUCTION

Dans ce rapport technique un nombre de ponts métalliques ferroviaires rivés seront examinés. Ces ouvrages d'art sont d'une moyenne portée qui varie entre 60 et 80 m, ils sont situés au dessus du fleuve Nil, la voie navigable la plus importante du pays. Les trois ponts datent du siècle dernier, le pont de Zifta fut construit en 1907, et le plus récent date de 1965, les ponts ont donc entre 108 et 60 ans d'âge. La procédure d'inspection envisagée pour ces anciens ouvrages, ainsi que la méthode mise en place sont décrites, par la suite un aperçu des dégradations observées sera présenté. Des essais non destructifs seront effectués ainsi que des chargements statiques et dynamiques seront appliqués. Enfin des vérifications théoriques et des modélisations par éléments finis seront développées afin de comparer leurs résultats avec les mesures expérimentales ainsi obtenues.

La mission complète confiée par ENR à EHAF comporte la révision de 75 ouvrages d'art métalliques. Elle fera l'objet, dans un premier temps d'une vérification complète du bon comportement de ces ouvrages sous les conditions actuelles d'exploitation et compte tenu du trafic futur. Ensuite les résultats de ces vérifications serviront à établir un programme d'inspection routinier en service. Un des buts de cette étude est d'initialiser une base de donnée ouvrage d'art à partir du diagnostic sur l'état des ouvrages inspectés, dans le but de l'entretien et le suivi régulier de ceux-ci suivant les conditions d'exploitation envisagées. La mise en œuvre d'une base de

données sur les pathologies affectant les ponts métalliques ainsi que sur les remèdes apportés est nécessaires voire indispensable. Les vérifications de tous les éléments de la structure ont été conduites suivant les règles Egyptiennes de calcul [1].

### DESCRIPTION DES OUVRAGES

Trois ouvrages d'art seront considérés dans cette étude, à savoir: Zifta, Marazeek et Edfina. Les ouvrages retenus pour cette communication présentent quelques caractéristiques communes et des traits particuliers. A titre d'exemple les trois ponts sont en acier doux Thomas, un matériau d'une excellente ductilité, très répandu pour les ouvrages métalliques construits à partir des années 1900. Notons aussi que le tracé des trois ponts est parfaitement rectiligne. Deux des trois ponts sont calculés comme une suite de travées isostatiques pour permettre un changement rapide des travées défectueuses et/ou défaillantes. Le concept des travées isostatiques est un concept simple basé sur l'indépendance des travées (figures 1, 2 et 3). Le pont de Zifta a été mis en service en 1907, un ouvrage centenaire par excellence, d'une longueur totale de 420 m, composé de 5 travées isostatiques fixes identiques de 70 m chacune et une travée mobile de la même portée, du type tournant, car le gabarit au dessus de l'eau n'est que de 1 m. L'entreaxe des poutres latérales est de 8,808 m, et d'une hauteur variable allant de 6,56 m au centre à 3,25 m aux appuis. Les pièces de pont sont espacées tous les 5,30 m. Le pont supporte une voie



Figure 1 : Pont de Zifta (1930).



Figure 2 : Pont de Marazeeq (1959).



Figure 3 : Pont d'Edfina (1907).

ferrée et une chaussée pour circulation routière d'une largeur 3,60 m, ainsi que 2 trottoirs d'environ 2,8 m chacun.

Le plus récent de ces trois ponts, le pont de Marazeeq, date de 1959, il est d'une longueur totale de 810 m, décomposé en 9 travées toutes fixes et identiques de 90 m chacune. L'entreaxe des deux poutres principales est de 12,50 m, et d'une hauteur constante de 11 m. Les pièces de pont sont espacées de 9 m. Il est dépourvu d'une travée mobile car il offre un passage libre d'un gabarit de 14.6 m pour les bateaux ce qui est relativement suffisant pour le fonctionnement du trafic maritime. Il comprend une seule voie ferrée et une chaussée pour les voitures de 6 m ainsi que deux trottoirs de 1,50 m de largeur pour les piétons placés en encorbellement et complètement isolés de la circulation routière (figures 4-a, 4-b, 4-c, 5-a, 5-b, 6-a et 6-b).

Le pont d'Edfina est d'une longueur totale de 293 m, construit en 1930, il est composé de 3 travées isostatiques identiques et fixes de 80,5 m de portée et une travée mobile de 53,30 m du type tournant compte tenu du manque du gabarit qui n'est

que de 0,8 m au dessus des plus hautes eaux navigables. Le profil en travers de ce pont-rails comprend une voie ferrée et deux chaussées de largeur 4,0 m chacune, placées en encorbellement et deux petits passages pour piétons. L'entreaxe des poutres latérales est de 5,3 m, et la hauteur de la poutre latérale en partie centrale est de 12 m, ce qui donne un rapport (h/L) hauteur/portée de 1/6,7. Quant aux pièces de pont elles sont espacées tous les 8 m.

Du point de vue système statique, les trois ponts sont composés de deux poutres latérales parallèles à treillis type Warren ou Pratt munies d'un système de contreventement supérieur. Le tablier à pose de voie directe est constitué de longerons et des pièces de pont entièrement assemblés par rivets aux deux poutres latérales. Les poutres latérales sont soit continues sur trois travées pour le cas du pont de Marazeeq, soit simplement appuyées pour les deux autres ponts. Les rapports (h/L) hauteur/portée des poutres latérales se situent entre 1/6,7 à 1/8,1 pour les ponts Edfina et Marazeeq respectivement, et 1/7,3 pour le pont de Zifta. Ces rapports sont situés dans des

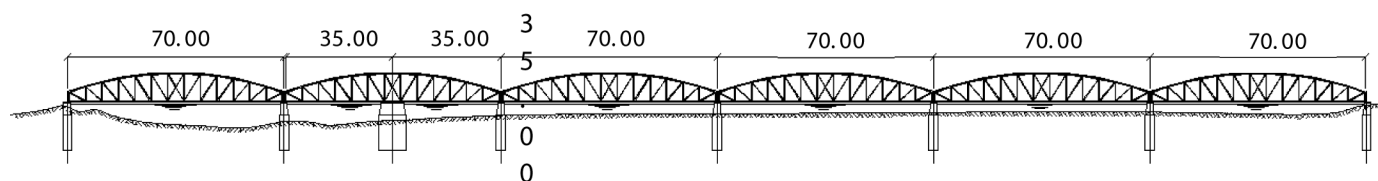


Figure 4-a : Elévation et coupe longitudinale du pont-rails de Zifta.



Figure 4-b : Plaque d'inauguration du pont en 1907.



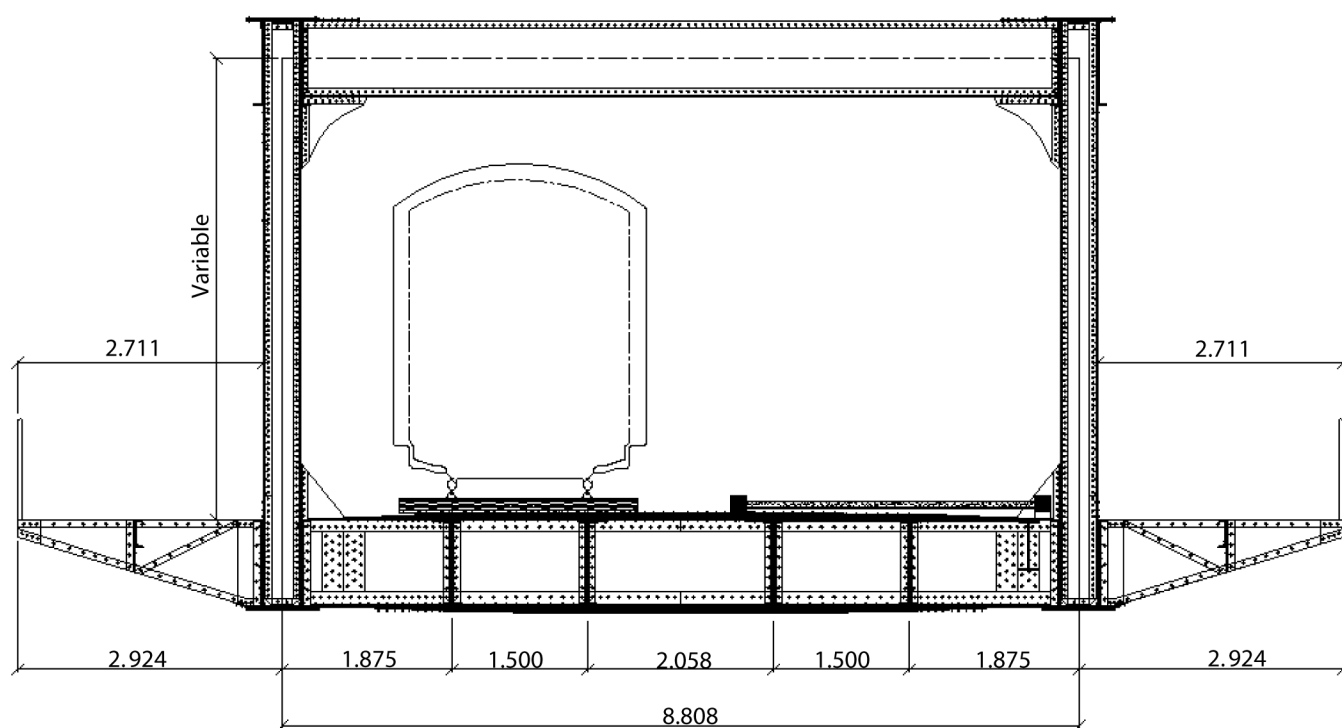


Figure 4-c : Coupe transversale du pont-rails de Zifta.

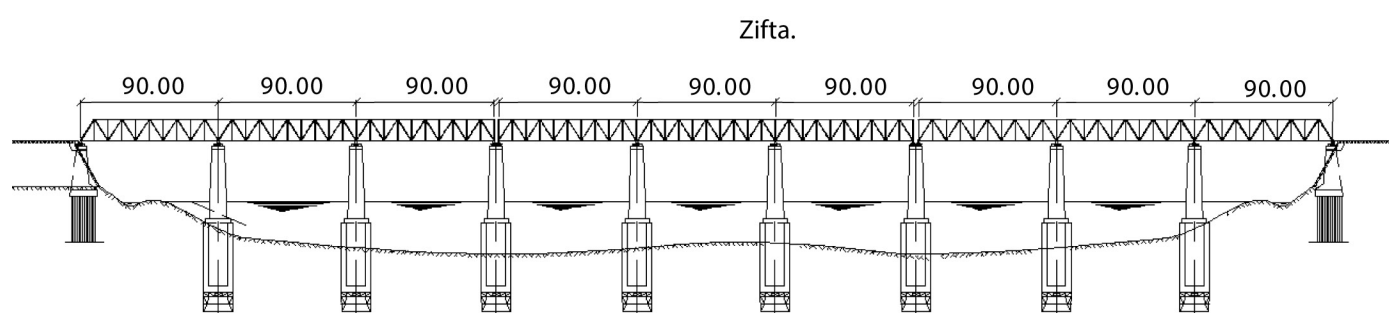


Figure 5-a : Elévation et coupe longitudinale du pont-rails de Marazeek.



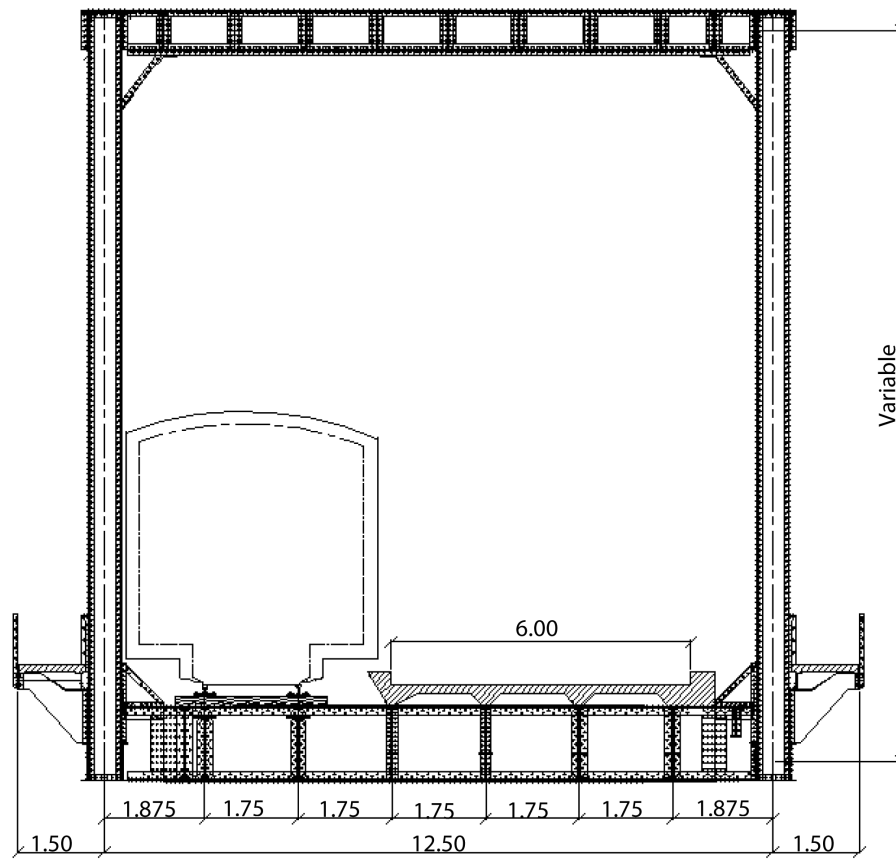


Figure 5-b : Coupe transversale du pont-rails de Marazeeek.

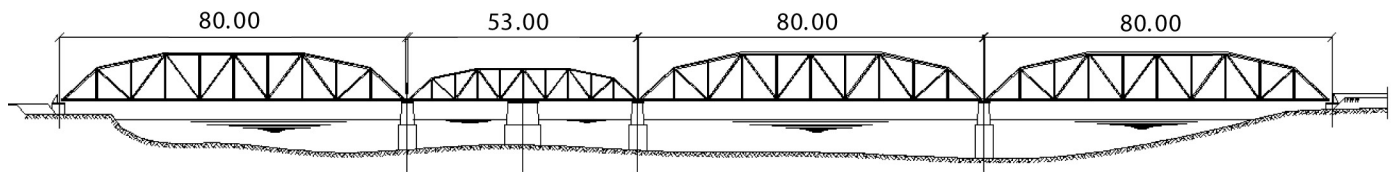


Figure 6-a : Elévation et coupe longitudinale du pont-rails d'Edfina.





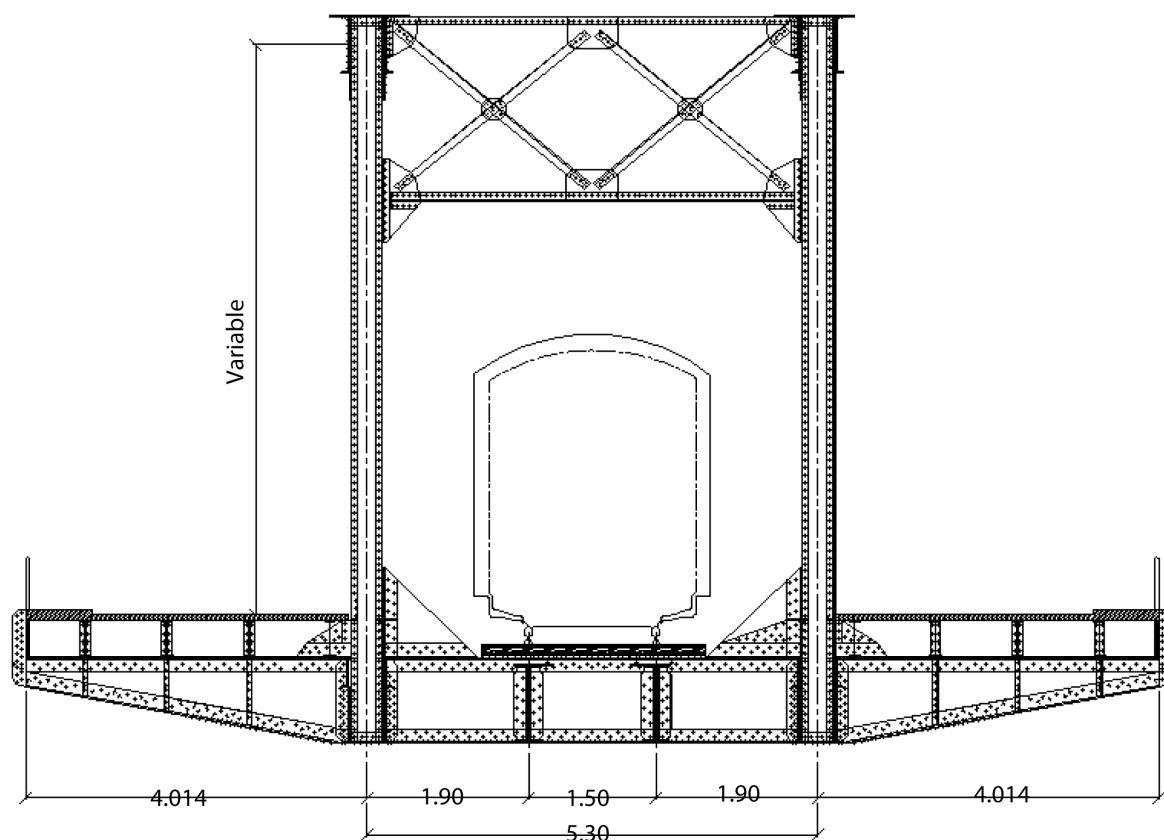


Figure 6-b : Coupe transversale du pont-rails d'Edfina.

limites acceptables à même de donner des déplacements verticaux des poutres latérales réglementaires. La conception de ces ponts est tout à fait conforme aux connaissances et aux pratiques du début du siècle dernier.

## TRAVÉES MOBILES DES OUVRAGES

La configuration des travées mobiles des deux ponts est du type tournant symétrique, reposant sur une pile centrale et soumis à un trafic routier et ferroviaire dans le cas fermé. La

situation de ces travées en manœuvre et en service est donc bien déterminée. La largeur du pertuis à franchir n'excédant pas 30 m. A noter que les travées mobiles sont en raison de leurs manœuvres beaucoup plus sujettes à l'apparition de phénomène de fatigue que les travées fixes. Les travées mobiles du type tournant sont en treillis d'une hauteur 6,5 m et 8,0 m, pour les ponts Zifta et Edfina respectivement. La commande de rotation du tablier est obtenue par un dispositif hydraulique et manuel en cas de nécessité (figures 7 et 8).

La rénovation et l'amélioration de ces ponts demeurent une tâche essentielle compte tenu du fait que certains de ces ponts



Figure 7 : Positionnement de la travée tournante du pont de Zifta.

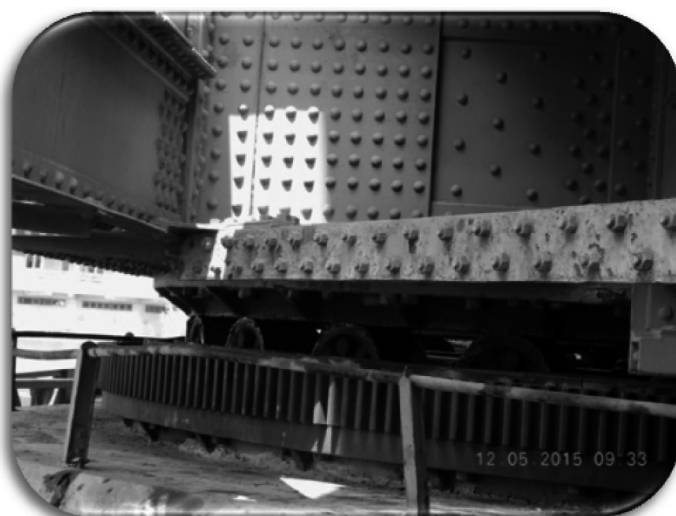


Figure 8 : Le pivot de la travée mobile du pont d'Edfina.





ne fonctionnent plus depuis de longues années. La rénovation comprend l'ajout d'une cabine de commande, une armoire d'appareillage électrique et la peinture et la patine. A noter que le pont mobile El Ferdan qui enjambe le canal de Suez près d'Ismaïlia, est le plus important dans cette catégorie, il fait 640 m de longueur totale en trois travées (150+340+150 m). Les deux travées mobiles ont été soumises à une inspection détaillée qui comprend les pivots, les chaînes, les câbles, les rails, le système de graissage et de lubrification ainsi que l'état des moteurs. Il s'agit, bien entendu, de relever tous les défauts apparents, sans démontage ou destruction des parties de l'ouvrage existant ni de son mécanisme.

## DÉSORDRES ET DÉGRASATIONS CONSTATÉES

Les principales déficiences rencontrées suite à cette campagne exhaustive d'inspection seront présentées et commentées. En effet, les dégradations constatées sont catégorisées en 4 groupes, à savoir :

- Désordres des éléments structuraux
- Désordres des parties sous tablier et fondations et défauts d'étanchéité
- Désordres des attaches des rails et traverses
- Désordres des éléments non structuraux (figures 9, 10 et 11).

Le groupe (a) engendre des détériorations dues à la corrosion, des fissurations par fatigue du métal soumis à des cycles de contraintes dynamiques, des assemblages à rivets perdus, des ovalisations exagérées des trous, des appareils d'appui descellés, des effets de chocs dus au déraillement des trains en excès de vitesse ou à l'impact direct externe des véhicules et des vibrations excessives. Quant au groupe (b) nous remarquons des fissures et fractures horizontales et verticales des culées et des piles, des aciers apparents, des dégradations avancées des dalles en béton. Le groupe (c) présente des attaches perdues rails-traverses, des traverses en bois pourri et fracturé, un serrage inefficace des rails Vignole. Le groupe (d) concernant les éléments non structuraux, comprend la dalle et les équipements du tablier, les désordres du revêtement inexistant ou détérioré des chaussées et trottoirs, ruissellement des eaux, manque d'éclairage nocturne de l'ouvrage.

Aucune solution standardisée ne sera prescrite. Chaque cas de dégradation sera traité à part avec toutes les règles de l'art.

Il conviendrait de prendre en compte tous les désordres dont peut souffrir l'ouvrage liés aux quatre groupes ci-haut cités compte tenu du type de la structure du pont, son degré de sollicitation par le trafic et son âge.

## COMMENTAIRES

L'inspection de ces ouvrages a nécessité la visite des parties internes de l'ouvrage. Des échelles, échelons, escaliers et des marches ont été utilisés pour cette circulation et y arriver aux zones difficiles d'accès. L'aide des plongeurs a été sollicitée pour ausculter les parties submergées de l'ouvrage. Notons aussi que les plans d'archives mis à notre disposition n'étaient pas dans beaucoup de cas conformes à l'exécution, ce qui a nécessité un effort supplémentaire et des relevés géométriques indispensables pour conduire notre mission à terme. L'ENR adopte des solutions et des conceptions des ouvrages métalliques des tabliers à poutres latérales triangulées. Un tel choix nous paraît justifié notamment pour les ponts-rails de moins de 100 m de portée.

Les principales déficiences rencontrées dans les tabliers métalliques des trois ponts occultés sont dues à la corrosion et aux détériorations produites par les charges roulantes, notamment la fatigue du métal. La corrosion ou oxydation du métal résulte de l'attaque par atmosphère humide ou par infiltration de l'humidité entre les pièces mal plaquées entre elles. En conséquence, des réductions d'épaisseur ou une augmentation de volume importante sont visibles. Le phénomène de fatigue provoque aussi des fissurations généralement dans les zones tendues où il y a une forte concentration de contraintes ou une variation brusque de section et effet d'entraille [2].

Le mode d'assemblage des attaches de ces ouvrages est uniquement par rivets qui fonctionnent par cisaillement. Quant aux boulons HR, ils transmettent leurs efforts par frottement. Il est donc illusoire de vouloir associer deux de ces moyens pour transmettre un même effort. Remplacer un rivet par un boulon HR n'apporte quasiment rien à la résistance d'un assemblage ; le seul mérite d'une telle pratique est d'empêcher la corrosion de se développer au droit du trou [13] (figures 12 et 13).

Les analyses statiques ont été conduites dans un premier temps, sur un modèle bidimensionnel de l'ouvrage. Par la suite, il est apparu nécessaire de procéder à une modélisation plus précise en 3-D.



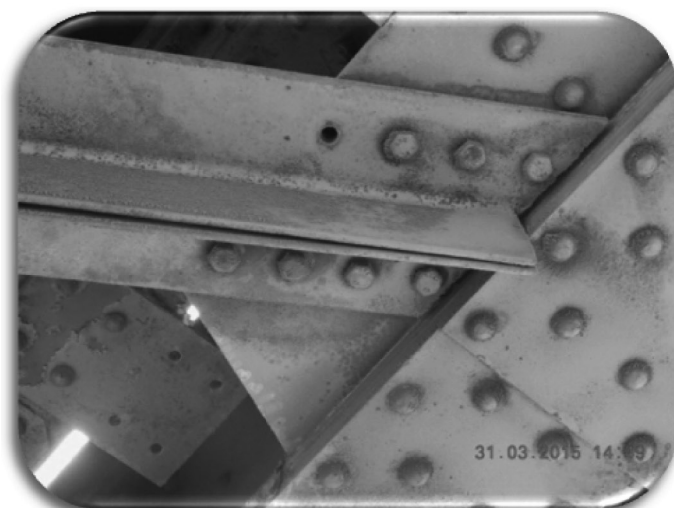
Figure 9 : Corrosion sévère d'une attache.



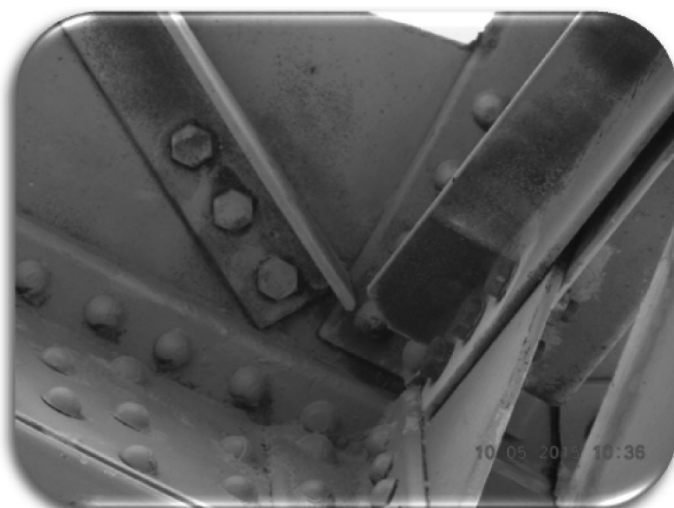
Figure 10 : Etanchéité inefficace sous dalle.



Figure 11 : Traverse en bois fracturé et des attaches perdues.



**Figure 12 : Trou d'un rivet à remplacer.**



**Figure 13 : Remplacement des rivets par des boulons.**

## FONDACTIONS EN MILIEU AQUATIQUE

Les piles des travées enjambant le fleuve sont pour une bonne partie des massifs en béton de chaux coulé. Les fondations sous l'eau, sont des pieux battus ou des caissons sans fond. L'inspection des parties immergées des ouvrages a été faite par des plongeurs spécialisés.

Le confortement des fondations anciennes en site aquatique est vital afin d'assurer la pérennité et la sécurité des ouvrages. En effet, ces fondations sont sujettes à de nombreux facteurs entraînant le vieillissement, et risquent de mener à terme à la ruine (figures 14 et 15).

Il convient toutefois de signaler que l'abaissement des lignes d'eau du Nil survenu suite à la construction du haut barrage d'Assouan, a entraîné le pourrissement des divers éléments ainsi exposés à l'air. L'étude de l'évolution du cours d'eau au voisinage des fondations et des piles des ouvrages en milieu aquatique s'avère donc indispensable.

## LECTURE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Nous pouvons retenir de ce rapport que les causes et la nature des désordres sont les suivantes :

L'inventaire et l'inspection périodique des ouvrages d'art sont en retard sur les besoins. La connaissance du comportement et les conditions actuelles de ces anciens ouvrages est nécessaire voire fortement recommandée.

La corrosion est de loin la principale cause de détérioration voire même la ruine de ces anciens ponts métalliques. L'endommagement par fatigue dû à l'application des cycles d'efforts d'un très grand nombre de répétitions, ce qui peut conduire à la rupture des pièces de l'ouvrage d'une manière progressive étalée sur le temps ou brutale. La modélisation probabiliste des fissures de fatigue d'éléments et d'assemblages est indispensable pour les structures métalliques compte tenu du vieillissement de ces ouvrages d'art gérés par l'ENR.



**Figure 14 : Plongeur en action.**



**Figure 15 : Accès par bateau.**



**Figure 16 : Amorce d'une rupture à la fatigue d'une attache longeron/pièce de pont.**

Le béton du tablier présente, d'une manière générale, des dégradations relativement avancées du béton, cela en outre de celles initiales liées à une qualité moindre d'exécution d'antan. D'assez nombreux défauts de parements du béton par ségrégation, de perte de laitance, coffrages défectueux, inclusions diverses (pièces des bois, etc.), reprises de bétonnage peu soignées, etc., avec le temps sont observés. Les parements ont aussi pris un aspect très délavé et poreux avec de fréquentes efflorescences blanchâtres de calcite voire formation de stalactites humides. Des éclatements ainsi que des effritements des surfaces sont nombreux. Les éclatements du béton résultent aussi de la corrosion des armatures, la perte de section des armatures dénudées est parfois notable [2]. Toutefois, l'état de cet élément non structurel de la structure n'affecte en rien ni la stabilité ni le comportement global du pont (figure 16).

Les dalles et les couvertures en béton qui équipent les trottoirs et les chaussées manquent généralement d'une chape efficace d'étanchéité d'où des infiltrations d'eau entraînant la corrosion des pièces métalliques en contact avec les dalles. Il faut aussi empêcher les accumulations de poussières et de débris qui retiennent l'humidité et favorisent la corrosion de l'acier. Les travaux de peinture et la remise en état suite au traitement des surfaces au jet d'abrasif est essentiel. Suite à cette intervention, une deuxième inspection s'avère nécessaire afin de localiser les micro fissures non identifiées lors de la première inspection et vue la quantité et la densité d'oxydation. L'attache des pièces de pont avec les treillis principales est systématiquement calculée comme une travée isostatique, or les essais ont démontré que cette attache est partiellement fixe, et que son degré de fixation varie entre 10 et 35% [4]. Cette fixation imprévue provoque l'apparition de moments de flexion qui sollicitent les têtes de rivets à l'arrachement. Notons d'autre part que le remplacement des rivets corrodés travaillant au cisaillement est indispensable. Quant aux rivets travaillant en traction, donc à l'arrachement, la corrosion des têtes devient un dommage à réparer pas nécessairement à remplacer. Ajoutons à cela que la bonne tenue des pièces secon-

dares du tablier (longerons et pièces de pont), s'explique par l'usage des méthodes de calcul simples mais conservatives qui négligeaient les effets hyperstatiques favorables à la résistance. En conclusion, il est admis de remplacer les rivets par des boulons, sous réserve que les rivets subsistants soient seuls, capables de reprendre l'effort appliqué [5].

Le trop grand entraxe des rivets permet à l'humidité de pénétrer entre deux tôles et de développer de la corrosion due aux pièges à eau ainsi obtenus, d'entretien quasiment impossible. Les joints des ponts-rails et de leurs appareils d'appui négligés laissent l'eau ruisseler sur la charpente métallique. La corrosion et aussi l'accumulation de sable entre les balanciers des appareils d'appui fixes conçus pour permettre des rotations et empêcher les déplacements entravent donc leur bon fonctionnement. Le seuil entre l'ouvrage et ses accès bétonnés ainsi que les joints ont montré des signes de faiblesse. Les tassements du remblai des culées à l'approche de l'ouvrage ont créé des ouvertures, ce qui aurait certainement comme conséquences de majorer les efforts dynamiques d'une grande ampleur non prévus par le concepteur de l'ouvrage.

Les épreuves dynamiques qui ont fait suite aux épreuves statiques avaient pour objectif de restituer les principaux modes de vibration de l'ouvrage. Les épreuves ont eu lieu les nuits et les jours fériés. Les mesures et les analyses effectuées sont actuellement en cours de traitement.

## CONCLUSIONS

La présente communication dresse l'état des lieux tel qu'il ressort lors de nos visites de la première tranche d'ouvrages. ENR doit consentir un effort considérable de rattrapage pour assurer la pérennité de son parc d'ouvrages d'art, et plus particulièrement des ouvrages métalliques et des fondations en site aquatique. Cette opération d'auscultation débouchera sur une estimation des coûts d'entretien. Elle permet aussi de sensibiliser les connaissances techniques des personnels chargés de l'entre-





tien de la surveillance des ouvrages. Les instruments permettant d'atteindre cet objectif sont la systématique des inspections.

## REMARQUE FINALE

Le pont de Zifta construit en 1907 est un pont unique de son genre. Il est à ce jour parfaitement opérationnel et fonctionnel. Je propose vue sa valeur culturelle exceptionnelle, que le gouvernement dépose un dossier pour son inscription au patrimoine de l'UNESCO, à l'instar des ponts ferroviaires en Inde de Nilgiri qui fut achevé en 1908 et le pont de Darjeeling Himalaya Railway et le pont de Pamban.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à exprimer ici leurs remerciements à toutes les personnes qui leur ont permis de disposer des infor-

mations sur les inspections, les essais et les mesures relevées des ouvrages cités dans cette communication. La réussite n'a été possible que par l'excellente collaboration de tous les participants.

## RÉFÉRENCES

- "Egyptian Code for Practice for Steel Construction and Bridges (ASD)", Arab Republic of Egypt, Ministry of Housing, Utilities and Communities. 2001.
- "Gestion des Ouvrages d'Art", Actes du Colloque Organisé par ENPC, Paris, Octobre 1994.
- "Maintenance et Réparation des Ponts", Jean-Armand Calgaro & Roger Lacroix, Presse ENPC, 1997.
- "Static and Dynamic Testing of Through-Truss Bridge", AAR Technical Center, Chicago, Illinois, 1992.
- "Development of System Reliability Models for Railway Bridges", University of Nebraska-Lincoln, 2012.

---


NDLR : Les figures 1, 2, 3, 5-a, 6-a et 7 sont illustrées en couleur en première de couverture

---

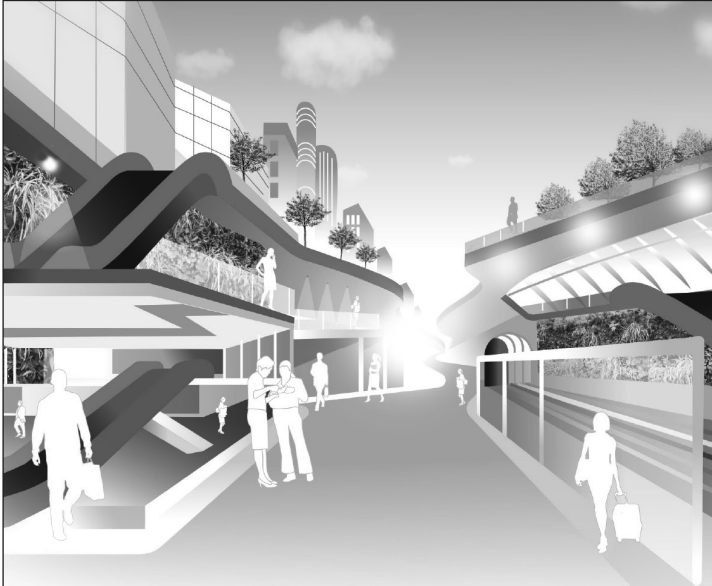




## annonces de colloques



CONGRÈS  
INTERNATIONAL  
DE L'AFTES [www.aftes.asso.fr](http://www.aftes.asso.fr)





### L'ESPACE SOUTERRAIN *NOTRE RICHESSE*


Bulletin n°1 - Avril 2016

**PARIS**  
PALAIS DES CONGRÈS  
du 13 au 15 nov 2017 +


16 nov.  
Construire  
l'avenir

15 nov.  
ITA TUNNELING  
AWARDS 2017

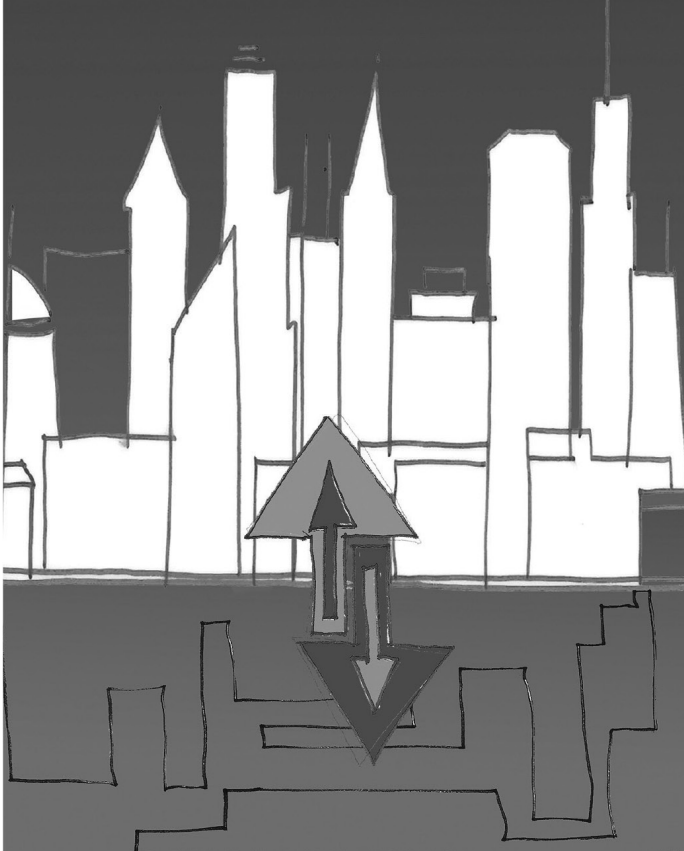




CONCOURS D'ARCHITECTURE  
DE L'AFTES




### AFTES ARCHITECTURE COMPETITION



«Le sous-sol, respiration de la ville de demain»  
«Underground, breathing space for cities of tomorrow»

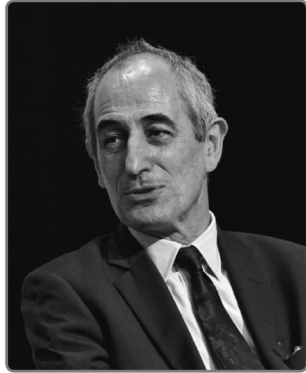
Toutes informations :  
<http://www.aftes.asso.fr/congres-aftes.html>







Philippe MILLARD,  
Président du Comité du Congrès



Yann LEBLAIS,  
Président de l'AFTES

## INVITATION

L'Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain (AFTES) organise son 15<sup>ème</sup> Congrès International qui se tiendra au Palais des Congrès de la Porte Maillot à Paris du 13 au 16 novembre 2017.

Le thème général du congrès est **"L'espace souterrain, notre richesse"**. Il met l'accent sur la valeur latente que représente le sous-sol dans le développement de nos espaces de vie, en particulier si l'aménagement des villes s'en empare en une symbiose entre le dessus et le dessous. Il illustre aussi le foisonnement et la nécessaire imbrication des savoirs et des métiers mis en jeu pour une vie durable de ces espaces.

Le thème sera développé au cours des trois premières journées par des conférences mettant l'accent sur l'optimisation des projets et l'innovation dès leur conception, dans leur construction et leur équipement, en vue d'une exploitation optimale des ouvrages souterrains eux-mêmes et des services et entreprises qu'ils hébergent. La quatrième journée sera consacrée à

② AFTES 2017 - BULLETIN N° 1

l'urbanisme souterrain et à l'architecture des ouvrages du sous-sol. De plus, un concours sera ouvert pour les étudiants architectes et ingénieurs sur le thème **« le sous-sol, la respiration des villes de demain »**.

Au long des trois premiers jours, une place importante sera aussi dédiée à l'exposition réservée aux professionnels où pourront échanger tous les acteurs de la profession, maîtres d'ouvrage, aménageurs, ingénieurs, architectes, urbanistes, entrepreneurs, universitaires, constructeurs, fournisseurs et exploitants. Les représentants des collectivités participeront activement à cette édition sous-tendue par le lancement des chantiers du Grand Paris qui seront largement visités. Une forte participation étrangère est attendue, encore renforcée par la tenue au sein de notre Congrès de la **cérémonie des ITA Tunneling Awards 2017**.

L'AFTES vous invite à participer à ce congrès et à suivre régulièrement les informations sur cet événement, notamment les détails du programme et de la logistique, sur le site internet de l'AFTES. Il vous propose de vous y associer sous forme de sponsoring ou de parrainage pendant toute la durée du congrès pour une meilleure visibilité et une mise en valeur de vos activités.

Nous espérons vous voir très nombreux à notre congrès qui est aussi et surtout le vôtre.



BULLETIN N° 1 - AFTES 2017 ③





## L'ESPACE SOUTERRAIN

NOTRE RICHESSE

### PROGRAMME

#### Samedi 11 et dimanche 12 novembre 2017

- Aménagement des espaces d'exposition, agora, salle de conférences et équipements des stands

#### Lundi 13 novembre 2017

- **Matin** : cérémonie d'ouverture, table ronde, animation et inauguration exposition
- **14h00 à 17h30** : conférences et visites
- **17h30 à 18h30** : concours étudiants, présentation des projets et remise des prix
- **19h00 à 22h00** : réception de bienvenue à l'espace restauration du Palais des Congrès

#### Mardi 14 novembre 2017

- **9h00 à 16h00** : conférences et visites
- **16h00 à 18h30** : session spéciale / table ronde

#### Mercredi 15 novembre 2017

- **9h00 à 17h00** : conférences et visites - présentation des dossiers en compétition pour les ITA Tunneling Awards 2017
- **18h30 à 20h30** : cocktail avec remise des Awards aux lauréats
- **20h30 à 22h30** : soirée de gala commune AFTES-AITES

#### Jeudi 16 novembre 2017

- Journée architecture et urbanisme du sous-sol

### THEMES

#### Thème A

##### Aménager le sous-sol, une richesse à conquérir et à valoriser

Démontrer la pertinence et l'utilité d'un projet est primordial, d'autant plus lorsqu'il s'agit d'espaces souterrains qui représentent un investissement élevé. Ce thème s'adresse donc à la fois aux décideurs et aux concepteurs, qui sont invités à exposer leur vision et leurs réponses pour

④ AFTES 2017 - BULLETIN N° 1

faire face aux contraintes et réticences auxquelles ils sont confrontés : insertion des ouvrages dans un environnement complexe, qualité des constructions, agrément de l'espace souterrain créé, rentabilité des projets. Les sous-thèmes suivants peuvent être déclinés en s'appuyant aussi bien sur des études d'opportunité, sur des projets ou sur des retours d'expérience :

- Insérer une infrastructure de transport en site urbain
- Créer et offrir des espaces souterrains de qualité, sûrs et durables, en apportant des réponses innovantes aux contraintes du site
- Démontrer les bénéfices socio-économiques et environnementaux de la construction en souterrain

#### Thème B

##### Optimiser les projets, faire émerger les richesses de demain

Ce thème s'adresse aux acteurs de la conception dont le rôle est de proposer des réponses adaptées aux défis posés par la construction en souterrain. L'optimisation des projets passe aussi bien par l'étude des sites (reconnaitances de la géologie comme des avoisinants), par la conception (optimisation des espaces et des ouvrages : méthodes d'excavation, soutènements, revêtements) que par les aspects contractuels ou le management des projets. La problématique particulière du coût global est soulignée, car la vision des maîtres d'ouvrage doit dépasser le seul stade de la construction initiale. L'optimisation qui s'intègre dans une vision à long terme répond en partie aux exigences de développement durable. Les sous-thèmes suivants peuvent être déclinés :

- Planifier les projets en intégrant les reconnaissances et les contraintes de l'environnement
- Optimiser la conception des espaces et des ouvrages
- Favoriser les opportunités et gérer les risques (management du risque, assurances)
- Maîtriser les coûts dans une vision à long terme : coût global

#### Thème C

##### Capitaliser la richesse des retours d'expérience et innover

Les entreprises, urbanistes, architectes, maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage sont invités à partager les expériences vécues, qu'il s'agisse de réussites mais également de difficultés rencontrées lors de la construction des ouvrages souterrains. En particulier, les solutions innovantes seront mises en évidence. Les thèmes suivants peuvent être déclinés :

- Défis particuliers liés aux travaux souterrains en site urbain
- Solutions innovantes en travaux souterrains
- Retours d'expérience sur les villes souterraines dans le monde
- L'architecte – urbaniste et l'ingénieur face à l'innovation en matière d'espaces souterrains

BULLETIN N° 1 - AFTES 2017 ⑤





### Thème D

#### Exploiter et préserver la richesse du patrimoine souterrain

Les ouvrages souterrains constituent un patrimoine très précieux. Ils doivent être équipés de systèmes complexes pour garantir une exploitation efficace et sûre. Les acteurs impliqués dans leur maintenance et leur exploitation sont invités à partager d'une part les stratégies d'exploitation, d'entretien, de renouvellement, de surveillance et de maintenance, d'autre part les solutions innovantes qui peuvent être mises en œuvre pour surveiller, réhabiliter et préserver cette richesse.

- Equiper et exploiter la ville souterraine
- Surveiller et entretenir les ouvrages souterrains
- Réhabiliter les ouvrages, diversifier et faire évoluer leurs usages

## CALENDRIER

Ouverture des inscriptions à l'exposition technique	2 juin 2016
Ouverture au sponsoring, parrainage et publicité	18 mai 2016
Appel à résumés	2 mai au 20 septembre 2016
Choix des résumés pour communications par le comité scientifique	21 septembre au 15 janvier 2017
Information aux auteurs	16 janvier 2017
Rédaction des communications par les auteurs	16 janvier au 15 mai 2017
Lectures et corrections des communications par le comité scientifique	16 mai au 13 juillet 2017
Choix des oraux, information aux auteurs	26 juillet 2017
Limite de réception des oraux	13 octobre 2017

## CONCOURS D'ARCHITECTURE DE L'AFTES

Concours d'idées « **le sous-sol, respiration de la ville de demain** » portant sur l'exploration d'une vision prospective, voire utopique de l'évolution, de la reconquête ou de la réappropriation des espaces souterrains urbains.

Les candidats devront s'attacher tout particulièrement à favoriser les liens entre le sous-sol et l'espace superficiel.

Lettre d'information sur les réseaux des écoles	septembre 2016
Envoi de l'appel à candidatures	12 octobre 2016
Limite de remise des candidatures	29 novembre 2016
Envoi du dossier de concours aux candidats admis à concourir	17 janvier 2017
Limite de remise des rendus de concours à l'organisateur	18 septembre 2017
Limite de réception des oraux	13 octobre 2017
Jury des projets	17 octobre 2017
Exposition de tous les rendus de concours au Congrès AFTES	13 au 16 novembre 2017
Présentation orale des 3 projets lauréats	13 novembre 2017

## ITA TUNNELING AWARDS 2017

Le congrès accueillera également la remise des ITA Tunneling Awards 2017 dans les catégories suivantes :

- Projet majeur de l'année - plus de 500 M€
- Projet de réalisation remarquable de tunnel de l'année - entre 50 et 500 M€
- Projet exceptionnel de l'année - jusqu'à 50 M€
- Projet Rénovation / Mise à niveau de l'année
- Innovation technique de l'année
- Initiative environnementale de l'année
- Initiative de sécurité de l'année
- Utilisation innovante de l'espace souterrain
- Jeune entreprise de l'année



BULLETIN N° 1 - AFTES 2017 (7)



Génie Civil = construction + infrastructures + environnement

www.augc.asso.fr



# LA LETTRE D'INFORMATION DE L'AUGC

## Juillet 2016

### EDITO – LE MOT DU PRESIDENT

Chères et chers collègues,

Les rencontres AUGC 2016 qui se sont déroulées à Liège du 24 au 27 mai 2016 ont connu, comme les années précédentes, un vif succès. Tous les acteurs universitaires ont confirmé, par leur présence, leur intérêt pour ces rencontres avec 246 participants dont 90 doctorants et près de 60 collègues Belges. Un public nombreux était présent dans les salles de conférence et les ateliers, jusqu'à la dernière session. Au-delà des aspects scientifiques, chacun a pu apprécier les facettes culturelles et architecturales de la ville de Liège. L'équipe organisatrice a œuvré pour un accueil de qualité et un très beau succès scientifique (128 communications et 50 posters). Qu'ils en soient ici remerciés.

Les rencontres sont aussi l'occasion de procéder au renouvellement des instances de l'association. Au Conseil d'Administration, vous avez renouvelé votre confiance à Gille ESCADEILLAS et élu Catherine DAVY et Amir SI LARBI comme nouveau membre. Les rencontres ont été marquées par la fin des mandats d'Hélène CARRE et de Pascal PERROTIN que je tiens ici à remercier pour leur implication au sein de la communauté Génie Civil.

Le nouveau CA de l'AUGC travaillera dans la continuité avec un renouvellement complet de notre site internet dès la fin de l'année 2016 et une attention toujours plus grande portée à nos doctorants et jeunes collègues. Nous souhaitons en particulier mettre en avant les plus jeunes d'entre nous pour leurs qualités scientifiques reconnues. De nombreux événements scientifiques jalonnent notre communauté l'année prochaine avec toujours le soutien de l'association. Ensemble CS et CA avons voulu, en accord avec François Buyle-Bodin, redynamiser les annales du BTP c'est désormais sur la bonne voie avec la création d'une ligne éditoriale et d'un comité scientifique. Enfin, nous réfléchissons en collaboration avec l'Ifsttar et l'AFGC à l'organisation du Ph-D symposium de la fib à Paris en 2020.


Comme vous le constatez, le travail ne manque pas... D'ici là, je vous souhaite mes chères collègues de bonnes et reposantes vacances et vous retrouve à la rentrée pour des nouvelles sur la lettre d'information de l'AUGC et le fil Twitter de notre association.

Bien à tous.

Olivier Plé.

1

AUGC - Newsletter Juillet 2016



Génie Civil = construction + infrastructures + environnement

www.augc.asso.fr




## SOMMAIRE

- 1 – Retour sur les dernières rencontres de Liège
- 2 – Elections du conseil d'administration
- 3 – Prochaines rencontres
- 4 – Aides pour congrès et missions
- 5 – Adhésions individuelles et groupées
- 6 – Mise à jour des fiches individuelles
- 7 – Appel à la mise en place de journées thématiques labellisées par l'AUGC
- 8 – Renouvellement du dispositif des projets nationaux
- 9 – Relation avec nos partenaires
- 10 - Rubrique emploi du site internet
- 11 – Communication de l'association – Site WEB
- 12 – Prix et distinctions
- 13 – Annonces de congrès, colloques et séminaires (rubriques : événements et actualités)

2


AUGC - Newsletter Juillet 2016





Génie Civil = construction + infrastructures + environnement

www.augc.asso.fr




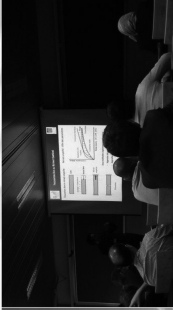

Génie Civil = construction + infrastructures + environnement

www.augc.asso.fr

### 1 – RETOUR SUR LES DERNIERES RENCONTRES DE LIEGE

Les 34<sup>ème</sup> rencontres de l'AUGC se sont déroulées sur le campus de l'université de Liège entre le 25 et le 27 Mai 2016 sur la thématique de « la construction de la ville du futur ».

Cet événement, rendez-vous marquant de l'année pour l'association « externalisé » pour la seconde fois, a permis de réunir près de **246 participants** dont **90 doctorants** et **près de 60 collègues Belges**. Les rencontres ont permis de pouvoir s'informer et échanger sur l'actualité scientifique nationale et internationale dans le domaine du Génie Civil au travers des **128 communications** orales et **50 posters** présentés.




Comme chaque année, les rencontres ont hébergé le concours jeune chercheur «Prix René Houpert ». Pour la première fois, c'est Ouali Amiri qui a organisé ce prix. Cette année, 18 candidats ont pu exposer leurs travaux. Les membres du jury ont souligné la qualité des travaux présentés et ont choisi de récompenser **Joanna Eid** comme lauréate du prix jeune chercheur de l'année 2016. Voici le palmarès complet du concours :

### Prix René Houpert 2016

Classement	Prénom NOM	Laboratoire	Sujet
1	Joanna Eid	LOMC (Le Havre)	Elaboration d'un Eco-matériau à base de terre crue
2	Brice DELSAUTE	Université Libre de Bruxelles	Study of the development of the mechanical properties of concrete at very early age
3	Thomas PARENT	LMDC - INSA Toulouse	Méthodologie de diagnostic de structures maçonnées anciennes
4	Khadim NDIAYE	LMDC – INSA Toulouse	Etude expérimentale et numérique du stockage d'énergie par les matériaux cimentaires
	Marie BISOFFI-SAUVE	Université de Bordeaux	Etude des ouvrages maçonnés en pierre par la méthode des éléments discrets - Caractérisation et modélisation du comportement cohésif des joints
	Nicolas BLAISE	Université de Liège	Principal static wind loads within a rigorous methodology to the envelope reconstruction problem


AUGC - Newsletter Juillet 2016

3



Génie Civil = construction + infrastructures + environnement

www.augc.asso.fr



Génie Civil = construction + infrastructures + environnement

www.augc.asso.fr

Les meilleurs posters ont également été primés par un vote de l'ensemble des participants du congrès. Le travail récompensé est le suivant :

L'Etude de l'influence des granulats recyclés sur le comportement des bétons réalisé par Zine-el-Abidine TAHAR, Adrien BOUVET, El-Hadj KADRI, Tien Tung NGO et Abdelhak KACI du laboratoire L2MGC de l'Université Cergy-Pontoise.

Les rencontres ont été précédées d'une journée de formation doctorale portant sur les méthodes géophysiques appliquées au Génie Civil et sur le comportement des structures soumises au feu le 24 Mai. Les vidéos des cours ont été captées et mises en ligne aux adresses suivantes :

Thomas Gernay (*comportement des structures soumises au feu*) : [Lien 1](#)

Frédéric Nguyen (*Méthodes géophysiques*) : [Lien 2](#)

Un grand merci aux organisateurs qui ont œuvré pour le succès de cette édition !

### 2 – ELECTIONS DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

Pour commencer, nous souhaitons saluer les membres sortant du conseil d'administration **Hélène Carré** et **Pascal Perrotin** pour avoir donné de leur temps et de leur énergie à l'association et pour avoir contribué à la vie de l'association et de son conseil pendant 6 ans. Merci à Hélène d'avoir organisé le prix René Houpert pendant de nombreuses années.

Le vote de renouvellement des membres du CA a vu la réélection de Gille ESCADEILLAS et les entrées de Catherine DAVY et d'Amir SI LARBI.

La composition du nouveau CA est donc la suivante (par ordre alphabétique) : Ouali Amiri, Pierre Breul, Frédéric Cherqui, Catherine Davy, Gilles Escadeillas, Emmanuel Ferrier, Philippe Galimard, Laurent Molez, Arnaud Perrot, Olivier Plé, Sandrine Rosin-Paumier, Amir Si Larbi.

Si nous félicitons les élus, nous tenions également à remercier les candidates malheureuses Naïma BELAYACHI et Fazia FOUCHAL. Nous vous encourageons ainsi que d'autres à redéposer votre candidature pour apporter votre contribution à la vie de l'association

La confiance au bureau a été renouvelée par le nouveau CA réuni le 26 Mai. Pour rappel, il est constitué d'Olivier Plé, président de l'association, Emmanuel Ferrier, vice-président, Philippe Galimard, trésorier et Arnaud Perrot, secrétaire.

Pour le CS, il n'y avait pas de poste à pourvoir cette année.

AUGC - Newsletter Juillet 2016

4



**Association Universitaire de Génie Civil**  
www.augc.asso.fr

*Génie Civil = construction + infrastructures + environnement*

La composition du nouveau CS est donc la suivante (par ordre alphabétique) : Sofiane Amziane (président), Rafik Belarbi, Alexandra Berton, Olivier Deck, Daniel Dias, Nordine Leklou, Alex Li, Sébastien Remond, Claire Silvani, Frank Taillander et Evelyne Toussaint (secrétaire).

### 3 – PROCHAINES RENCONTRES

**Pour 2017, c'est le binôme Nantes/Saint-Nazaire** qui aura la tâche de succéder à Liège pour organiser les 35<sup>ème</sup> Rencontres Universitaires du Génie Civil. Les dates retenues sont les **lundi 22, mardi 23 et mercredi 24 Mai 2017**. La journée de formation doctorale est prévue le dimanche 21 mai. Les rencontres auront pour thématiques : « Génie Civil Environnemental: gestion durable des bâtiments et ouvrages ».

Les journées du lundi et du mercredi se déroulent l'Ecole Centrale de Nantes et la journée du mardi sur le site de Gavy à Saint-Nazaire.

Pour 2018, les Rencontres seront organisées par les collègues de l'ENISE à Saint-Etienne.

### 4 – AIDES POUR CONGRES ET MISSIONS – PROCHAINE DATE LIMITE 26/09/2016

Le CA met en place 2 dates pour l'examen des demandes d'aides financière (congrès, missions, participation aux comités internationaux...) : fin février et fin septembre pour une réponse dans le mois qui suit. Les montants alloués par l'association à cette aide doivent nous permettre de financer tous les ans **4 jeunes chercheurs et 4 chercheurs confirmés**.

- Jeunes chercheurs (moins de 10 ans d'expérience y compris doctorants) : 300 à 500 euros (limité à 50% du montant de la mission)
- Chercheurs confirmés (séniors) : 500 euros (limité à 50 % du montant de la mission).

Contrepartie demandée : remerciement de l'AUGC dans les documents produits, mise à disposition du diaporama sur le site de l'AUGC, mise en ligne via HAL de l'article.

Le document décrivant les modalités de demande est téléchargeable sur le site ([lien vers le document](#)). Attention, les demandes doivent être adressées à l'association **6 mois** avant la date du congrès.

L'AUGC a proposé de se joindre à l'AUGC pour apporter une aide aux doctorants de 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> année se rendant dans des congrès internationaux organisés par des sociétés savantes internationalement reconnues (dont la RILEM, la fib et l'IABSE) dans le but d'augmenter la visibilité de la recherche Française dans le domaine du Génie Civil. Le document décrivant les modalités de demande est téléchargeable sur le site ([lien vers le document](#)).

Dans ce cas, les remerciements des deux associations devront apparaître sur les documents produits. La procédure de demande d'aide reste la même que la procédure classique, les demandes étant traitées en même temps.

AUGC - Newsletter Juillet 2016

5

**Association Universitaire de Génie Civil**  
www.augc.asso.fr

*Génie Civil = construction + infrastructures + environnement*

### 5 – ADHESIONS INDIVIDUELLES ET GROUPEES

Si vous n'êtes pas encore adhérent, il est encore possible de rejoindre l'association. Pour cela, plusieurs démarches sont possibles :

- Adhésion automatique lors de l'inscription aux prochaines rencontres
- Inscriptions individuelles
- Inscriptions groupées pour les membres d'un même laboratoire (cette démarche est vivement recommandée)

Vous trouverez les liens vers les documents d'adhésions en cliquant sur les liens suivants ([Formulaires pour adhésion individuelle](#)) ([Formulaire pour adhésion groupée](#)).

**N'oubliez pas de profiter de votre adhésion ou de votre renouvellement pour mettre votre fiche à jour sur le site !**

### 6 – MISE À JOUR DES FICHES INDIVIDUELLES

Afin de continuer à apparaître sur l'annuaire de l'AUGC, pensez à mettre à jour vos propres fiches en cliquant sur le lien suivant ([mise à jour des fiches individuelles](#)) même si vous êtes à jour de la cotsation.

Pour les correspondants territoriaux, mettez à jour les informations de vos laboratoires, formations et écoles doctorales. Cette procédure permet de vérifier les données personnelles et de les mettre à jour et optimise l'efficacité de notre annuaire.

### 7 – APPEL A MISE EN PLACE DE JOURNEES THEMATIQUES LABELISEES PAR L' AUGC

L'AUGC propose de labelliser et de sponsoriser (pour un montant maximum de 1500 €) des journées thématiques en lien avec le Génie Civil. L'association espère pérenniser deux rendez-vous, un au printemps l'autre à l'automne, afin de rythmer la vie scientifique de la communauté hors de la période des rencontres.

Les demandes de labellisation sont à envoyer à l'AUGC, en suivant la procédure disponible en fin de Newsletter ou sur le site ([lien vers le formulaire](#)). Le CA souhaite rappeler que ces aides s'adressent à des manifestations courtes (1 ou 2 jours) favorisant la formation des doctorants et l'échange entre les chercheurs à l'échelle nationale. Ces manifestations doivent être de préférence gratuites (au moins pour les doctorants).

De ce fait, les congrès et colloques internationaux ne rentrent pas dans le cadre de ces labellisations.

AUGC - Newsletter Juillet 2016

6

**Association Universitaire de Génie Civil**  
Génie Civil = construction + infrastructures + environnement  
www.augc.asso.fr

## 8 – RENOUELEMENT DU DISPOSITIF DES PROJETS NATIONAUX

L'I'REX a tenu son Assemblée Générale 2016 le vendredi 3 juin au siège de la FNTP. Ce fut l'occasion de présenter l'organisation renouvelée du dispositif des projets nationaux. L'AUGC a participé à la table ronde dont l'objectif a été d'alimenter les réflexions sur les besoins de la communauté en matière de recherche collaborative et d'innovation. Tous ont reconnu l'AUGC comme un acteur incontournable du développement des activités scientifiques du secteur du génie civil. Le dispositif renouvelé des projets nationaux sera l'occasion de mettre en avant l'excellence de notre recherche. En attendant le compte rendu du conseil d'administration de l'I'REX, vous pouvez visiter le site web de cette association pour des renseignements complémentaires (<http://www.irex.asso.fr/seminaires-et-colloques/assemblee-generale-2016/>).

## 9 – RELATION AVEC NOS PARTENAIRES

La première réunion du nouveau comité des affaires internationales (CAI) de l'AUGC s'est tenue à Paris le 23 juin dernier. Ce fut l'occasion de faire le bilan de la présence française dans les commissions et groupes de travail de la RILEM, de la Fib, de l'ACI et de l'IABSE. La communauté AUGC est particulièrement bien représentée dans ces différents comités et ainsi montre son rayonnement à l'Internationale.

Le comité des affaires internationales est désormais composé de 4 collèges (Universités, Entreprises, Ingénieries, administrations) dont le collège universités et écoles représenté par Elhem GHOUBEL (IUT Cergy-Pontoise), Karim AIT-MOKHTAR (Université de La Rochelle), Emmanuel FERRIER (Université Lyon 1) et Olivier PLE (Université de Savoie Mont Blanc).

## 10 – RUBRIQUE EMPLOI DU SITE INTERNET

Le site internet de l'AUGC propose une rubrique EMPLOI où il est possible de consulter ou de déposer des offres d'emploi.

Cette rubrique vous permet de déposer des offres de stages (Master recherche), de bourses de thèse, de postes d'ATER ou encore d'informer sur la mise en place d'un concours pour le recrutement d'un enseignant-chercheur. N'hésitez pas à utiliser cette plateforme en utilisant le lien suivant ([rubrique emploi de l'AUGC](#)) qui vous permet de toucher un grand nombre de candidats potentiels.

## 11 – COMMUNICATION DE L'ASSOCIATION – SITE INTERNET

Le conseil d'administration a validé le cahier des charges proposé par le groupe de travail dirigé par Frédéric Cherqui. Un appel d'offre a été lancé et plusieurs prestataires (dont l'actuel) ont été sollicités. Les prestataires ont jusqu'au 18 juillet pour envoyer leur proposition.

AUGC - Newsletter Juillet 2016

7

**Association Universitaire de Génie Civil**  
Génie Civil = construction + infrastructures + environnement  
www.augc.asso.fr

Le but est la mise en place d'un site WEB plus moderne, plus ergonomique et plus souple avant la fin de l'année.

**Vous pouvez aussi d'ores et déjà vous inscrire pour suivre l'association via twitter @augc\_France.**

## 12 – PRIX ET DISTINCTIONS

L'appel à candidature pour le "2017 fib Achievement Award for Young Engineers" est lancé. Ce prix peut récompenser un jeune ingénieur (<40 ans) et un jeune chercheur ayant soutenu récemment son PHD pour leurs travaux de recherche remarquables ou leurs participations à la réalisation d'ouvrages remarquables.

Les dossiers à préparer selon les instructions disponibles sur le site sont à adresser au secrétariat de la fib avant le 1er novembre 2016. Le Prix sera remis lors du Symposium fib de Maastricht en juin 2017.

## 13 – ANNONCES DE CONGRES, COLLOQUES ET SEMINAIRES (EVENEMENTS ET ACTUALITES)

Des annonces de congrès, de colloques et séminaires sont régulièrement mises en ligne dans la rubrique « événements » et « actualités » de l'AUGC. Les événements les plus récemment ajoutés sont les suivants :

Du 7 juillet 2016 au 8 juillet 2016 - JNGG 2016 - Nancy.

Du 29 août 2016 au 31 août 2016 - JAUM 2016 – Annecy.

Du 29 août 2016 au 31 août 2016 - 11th fib PHD Symposium 2016 - Tokyo, JAPAN

Du 26 septembre 2016 au 27 septembre 2016 - 3ème Congrès International sur la Technologie et la Durabilité du Béton CITEDUB 3 - Alger, Algérie.

Du 12 octobre 2016 au 14 octobre 2016 - 13ème Journées d'Études des Milieux Poreux – Anglet.

Du 25 octobre 2016 au 27 octobre 2016 - 18èmes Journées Internationales de Thermique - Monastir, Tunisie.

Du 15 décembre 2016 au 16 décembre 2016 - 4eme Séminaire International INVACO'16 - Hammamet, Tunisie.

Du 15 mars 2017 au 16 mars 2017 - GC'2017 - ESTP Cachan.

Du 21 juin 2017 au 23 juin 2017 - Premier appel à communication ECOGRAFI/ICBBM 2017 - Clermont-Ferrand.

Du 2 octobre 2017 au 4 octobre 2017 - BFUP 2017 - **Appel à communications 15 septembre 2016** - Montpellier (France).

Pour plus d'informations, merci de vous rendre sur notre site internet ([événements](#)).