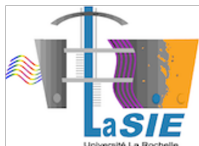


12<sup>èmes</sup> journées de fiabilité des matériaux et structures

La Rochelle, 7-8 juin 2023





# JFMS 2023

Depuis 1994, les journées de fiabilité des matériaux et structures, JFMS, sont un lieu d'échanges sur les dernières avancées des approches fiabilistes et probabilistes, pour la conception, l'évaluation et la maintenance des structures, des ouvrages et des systèmes industriels. Les notions de fiabilité, de sûreté, de robustesse et de résilience, s'appuient sur la maîtrise des incertitudes au moyen d'une modélisation adéquate des données, du système et de son environnement.

Les JFMS2023 portent principalement sur les réponses apportées par les approches fiabilistes **vers un environnement bâti durable, intelligent et fiable face aux enjeux du changement climatique et aux spécificités locales** (littoral, montagne, ...). Les approches fiabilistes apportent des réponses pertinentes à cet enjeu sociétal, en :

- évaluant les risques de défaillance des habitations, des infrastructures et des systèmes en intégrant plusieurs sources d'aléa affectant leur résistance (dégradation) ainsi que leurs sollicitations (charges extrêmes ou plus fréquentes) ;
- utilisant des données (issues du monitoring, contrôles non-destructifs, inspections, stations météorologiques, ...) qui modifieront à terme les méthodes traditionnelles de conception et de gestion des constructions ; et
- formulant des solutions fiables pour la gestion du patrimoine et l'adaptation au changement climatique dans un contexte incertain.

Les communications sont regroupées dans les sessions thématiques ci-dessous :

- **Thème 1** : Fiabilité et sûreté des systèmes
- **Thème 2** : Aléa et vulnérabilité des structures et des systèmes industriels
- **Thème 3** : Dégradation des matériaux, des structures et des ouvrages
- **Thème 4** : Gestion du patrimoine, modélisation et surveillance du cycle de vie
- **Thème 5** : Propagation d'incertitudes et méthodes de fiabilité
- **Thème 6** : Analyse, conception et optimisation fiabilistes des structures et des ouvrages





## Programme

Mardi 06/06/2023   Journée doctorale « Fiabilité et Résilience des Structures »   Lieu : Amphi 100		
09:00	10:30	Introduction aux approches fiabilistes Emilio BASTIDAS-ARTEAGA (La Rochelle Université)
10:30	11:00	Pause
11:00	12:30	Dégradation et maintenance des structures Luc CHOUINARD, (McGill Université) et David CONCIATORI, (Université de Laval)
12:30	14:00	Déjeuner libre
14:00	15:30	Résilience des structures Zhiguo ZENG (CentraleSupélec)
15:30	16:00	Pause
16:00	17:30	Optimisation fiabiliste des structures en tenant compte de la dégradation et du vieillissement Younes AOUES (INSA de Rouen)

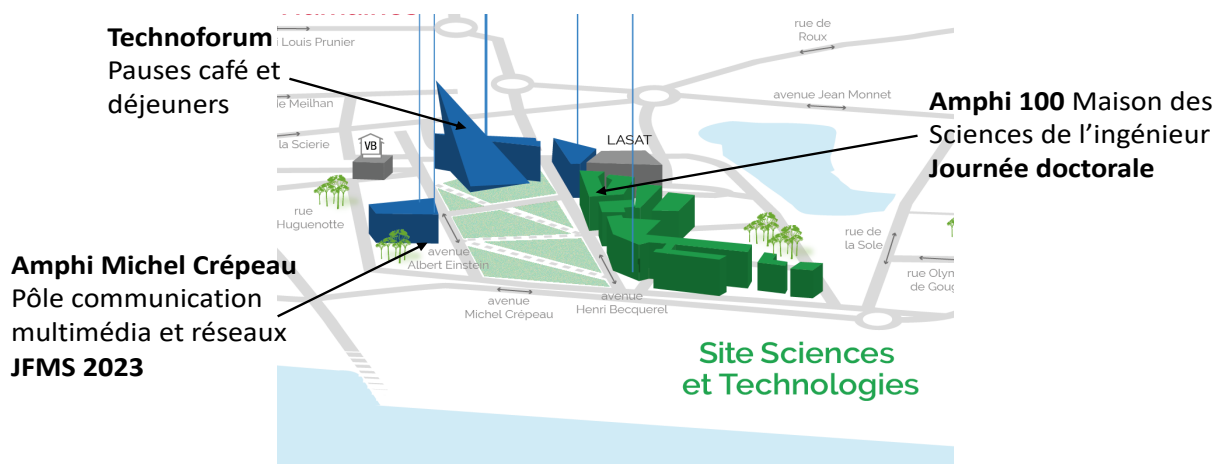
Mercredi 07/06/2023   JFMS 2023   Lieu : Amphi Michel Crépeau		
08:15	09:00	Accueil des participants
09:00	09:15	Mots d'accueil
09:15	10:15	<b>Conférence plénière</b>   Résilience des systèmes/infrastructures au changement climatique : cas d'études et actions Fabien Palhol et André Orcesi (Cérema)
<b>Dégradation des matériaux, des structures et des ouvrages</b>   Présidents : Frédéric DUPRAT et David CONCIATORI		
10:15	10:30	Analyse statistique de la capacité portante d'un quai de port maritime <u>Franziska SCHMIDT</u> , Silvia Ientile, Bruno Godart, Jean-Bernard Kovarik
10:30	10:45	Optimization-based maintenance scheduling for prestressed concrete bridges using Markov chains models. The state of Indiana, U.S. <u>Luis Francisco Rincon Prada</u> , Erica Arango, Maria Nogal, Emilio Bastidas-Arteaga, Hélder S. Sousa, Yina F. Muñoz, José C. Matos
10:45	11:00	Évaluation de la vulnérabilité sismique d'un réservoir surélevé en béton armé due à la corrosion induite par la pénétration des ions chlorure Nassima MILOUDI, Karima BOUZELHA, Hocine HAMMOUM, <u>Younes AOUES</u> , Ouali AMIRI
11:00	11:30	Pause   Technoforum
<b>Aléa et vulnérabilité des structures et des systèmes industriels</b>   Présidents : Frédéric DUPRAT et David CONCIATORI		
11:30	11:45	Analyse probabiliste de l'aléa sismique – le cas de la Roumanie <u>Alexandru Aldea</u> , Radu Văcăreanu, Florin Pavel, Cristian Arion
11:45	12:00	Shock Degradation Process in The Framework of Bridge Transportation Serviceability Bassel HABEEB, Emilio Bastidas-Arteaga, Erwan Liberge, Boulent Imam
12:00	12:15	Convolutional Neural Network Based Damage Detection of IASC-ASCE Benchmark by Encoding Time-series into Images <u>Chen Shi</u> , Younes Aoues, Renata Troian, Didier Lemosse
12:15	14:00	Déjeuner   Technoforum

Propagation d'incertitudes et méthodes de fiabilité   Présidents : Younes AOUES et André ORCESI			
14:00	14:15	Proposition d'une nouvelle métrique de validation des modèles mécaniques dans un cadre probabiliste	Thomas LANGLADE, Thomas HEITZ, <u>David BOUHJITI</u> , Benjamin RICHARD
14:15	14:30	Fragility analysis of degraded structures considering soil-structure interaction	<u>Victor Randy Medina Mordan</u> , Younes Aoues, Didier Lemosse
14:30	14:45	Calcul de la fragilité fonctionnelle des enceintes de confinement des réacteurs nucléaires par couplage thermo-mécano-probabiliste	<u>David BOUHJITI</u> , Julien CLEMENT, Guillaume KIOSEYIAN, Nadia RAHNI
14:45	15:00	Bayesian Networks Prediction of Compressive Strength of Recycled Aggregate Concrete	<u>Tien-Dung Nguyen</u> , Emilio Bastidas-Arteaga, Rachid Cherif, Pierre-Yves Mahieux
15:00	15:15	Probabilistic analysis based on combination of polynomial chaos and smart truncation schemes: application to fatigue crack growth.	Stephanie Chahine, <u>Hassen Riahi</u> , David Bigaud
15:15	15:45	Pause   Technoforum	
Gestion du patrimoine, modélisation et surveillance du cycle de vie   Présidents : Franziska SCHMIDT et Humberto YAÑEZ-GODOY			
15:45	16:00	Réfléchir à la gestion du risque inondation par un jeu de rôle informatisé basé sur la simulation multi-agent	Franck Taillandier, Annabelle Moatty, Pénélope Brueder, Bruno Beullac, Pascal Di Maiolo, <u>Corinne Curt</u>
16:00	16:15	Analyse des problématiques liées à l'évaluation structurale des ouvrages existants par ajustement des coefficients partiels – cas des	<u>Midula Alam</u> , Silvia Ientile, Francis Lavergne, Franziska Schmidt, André Orcesi
16:15	16:30	Système d'évaluation et de gestion des ponts du réseau routier	Abdoul Salam Bah, Kotaro Sasai, Nathalie Kamileris, <u>David Conciatori</u> , Luc E. Chouinard, Gabriel Power, Nicolas Zufferey, Thomas Sanchez
16:30	16:45	Analyse du coût de cycle de vie d'une structure en détérioration pour un plan d'inspection/réparation optimal	<u>Bouchra Kouddane</u> , Zoubir Mehdi Sbartai, Sidi Mohammed Elachachi, Nouzha Lamdouar
16:45	17:30	<b>Conférence plénière</b>   Jumeaux numériques et adaptation des infrastructures dans un contexte de changement climatique.	Peter El Hajj (KPMG, UK)
17:30	18:00	<b>Table ronde</b>   Jumeaux numériques et adaptation des infrastructures dans un contexte de changement climatique.	Animateur : Frédéric Duprat (INSA de Toulouse)
20:00	23:00	Dîner de gala	

Jeudi 08/06/2023   JFMS 2023   Lieu : Amphi Michel Crépeau			
09:00	10:00	<b>Conférence plénière</b>   Contribution des approches probabilistes pour la durabilité des ouvrages existants : cas d'étude d'un pont en béton à Montréal	David Conciatori (Université de Laval) et Luc Chouinard (McGill University)
Fiabilité et sûreté des systèmes   Présidents : Corinne CURT et Sidi Mohammed ELACHACHI			
10:00	10:15	Influence des modèles d'efficacité de maintenance sur l'optimisation des révisions des systèmes réparables	<u>Lamia MAY</u> , Radouane LAGGOUNE
10:15	10:30	Gestion de l'intégrité des pipelines enterrés basée sur la fiabilité sous l'effet combiné de l'encrassement et les pertes de métal	<u>Yacine Sahraoui</u> , Mourad Nahal, Alaa Chateaufeuf
10:30	10:45	Estimation de la durée de vie résiduelle des pipelines corrodés	<u>AIT MOKHTAR EI Hassene</u> , Yettou Anis, Amari Celia
10:45	11:00	Modélisation du temps de carbonatation d'un matériau exposé à la carbonatation naturelle	<u>Franck Antelme KOUASSI</u> , Jean-Yves DAUXOIS, Frédéric DUPRAT, Thomas de LARRARD, Fabrice DEBY
11:00	11:30	Pause   Technoforum	
Analyse, conception et optimisation fiabilistes des structures et ouvrages   Présidents : Aurélie TALON et Alexandru ALDEA			
11:30	11:45	Reliable design optimization of a cantilever beam structure by using Dirlik fatigue approach	<u>Nouha Lyagoubi</u> , Younes Aoues, Leila Khalij
11:45	12:00	Statistical analysis for reliability assessment of corroded structures: A pipeline case study	<u>Hicham BOUFKHEDE</u> , Radouane LAGGOUNE, Emilio Bastidas-Arteaga
12:00	12:15	La Prédiction de la corrosion induite par des chlorures marins dans des structures en béton armé par utilisation de la méthode FORM	<u>Paulo Claude</u> , Frédéric Duprat, Thomas De Larrard, Jonathan Mai-Nhu, Patrick Rougeau, Louis Marracci, Pascal Guedon
12:15	12:30	Fiabilité et viabilité de polymères renforcés de fibres de lin pour la réparation d'ouvrages en béton armé	<u>David Bigaud</u> , Hassen Riahi, Karim Benzarti
12:30	14:00	Déjeuner   Technoforum	

14:00	14:45	<b>Conférence plénière</b>   Évolutions des normes de conception dans un contexte de changement climatique	Emmanuel Bozonnet et Emilio Bastidas-Arteaga (La Rochelle Université)
<b>Dégradation des matériaux, des structures et des ouvrages</b>   Présidents : Hassen RIAHI et Claudio CARVAJAL			
14:45	15:00	Synthèse bibliographique pour l'évaluation de la fiabilité des réseaux enterrés de gaz exposés au phénomène de mouvement de terrain dans la perspective d'un usage pour le transport d'hydrogène	<u>Mariam Joundi</u> , Rasool Mehdizadeh, Olivier Deck
15:00	15:15	Influence des incertitudes des données d'inspection CND sur la cartographie d'alarme de corrosion des armatures: modèle de prévision du risque de corrosion avec un réseau bayésien	<u>Sam Ang Keo</u> , Thomas De Larrard, Frédéric Duprat, Sandrine Geoffroy
15:15	15:30	Évaluation et analyse de la dégradation des chambres électriques souterraines	<u>Luc Chouinard</u> , Aly Almasry, Siakndar Sajid, Bouchra Berrissoul, Georges Abdul Nour, Raynal Vaillancourt, Livius Jinga
15:30	16:00	Pause   Technoforum	
<b>Dégradation des matériaux, des structures et des ouvrages</b>   Présidents : Luc CHOUIARD et David BIGAUD			
16:00	16:15	Simulation of sandy soil degradation due to static liquefaction along with the uncertainty in soil properties	<u>Wenhao Huang</u> , Yousse Shamas, Khai Hoan Trần, Saber Imanzadeh, Said Taibi, Edu Souza de Cursi
16:15	16:30	Surveillance de la santé structurale par apprentissage profond basé sur la matrice de covariance de la réponse temporelle stochastique	Rafic FADDOUL, <u>Alaa CHATEAUNEUF</u>
16:30	16:45	Time series analysis for database completion and forecast of sensors measurements: application to concrete structures	<u>Luis Rincon Prada</u> , Bassel Habeeb, Emilio Bastidas-Arteaga, Elsa Eustáquio, Ameer Hamami, João Marcelino, Luís Oliveira Santos, Jose C. Matos, Yina F. Muñoz
16:45	17:00	Identification et localisation des défauts dans les ponts à l'aide de l'apprentissage profond	<u>Douaa BENHADDOUCHE</u> , Alaa CHATEAUNEUF, Vincent BARRA
17:00	17:15	Clôture	

Les JFMS 2023 se tiendront dans les locaux de La Rochelle Université (Site Sciences et Technologies)  
Avenue Albert Einstein, 17000 La Rochelle







# Table des matières

JFMS 2023	1
7 Juin 2023	11
Conférence plénière   Résilience des systèmes/infrastructures au changement climatique : cas d'études et actions ( <i>Fabien Palhol et André Orcesi (Cérema)</i> ) . . . . .	11
Analyse statistique de la capacité portante d'un quai de port maritime ( <i>Franziska SCHMIDT, Silvia Ientile, Bruno Godart, Jean-Bernard Kovarik</i> ) . . . . .	11
Optimization-based maintenance scheduling for prestressed concrete bridges using Markov chains models. The state of Indiana, U.S. ( <i>Luis Francisco Rincon Prada, Erica Arango, Maria Nogal, Emilio Bastidas-Arteaga, Hélder S. Sousa, Yina F. Muñoz, José C. Matos</i> ) . . . . .	12
Évaluation de la vulnérabilité sismique d'un réservoir surélevé en béton armé due à la corrosion induite par la pénétration des ions chlorure ( <i>Nassima MILOUDI, Karima BOUZELHA, Hocine HAMMOUM, Younes AOUES, Ouali AMIRI</i> ) . . . . .	12
Analyse probabiliste de l'aléa sismique – le cas de la Roumanie ( <i>Alexandru Aldea, Radu Văcăreanu, Florin Pavel, Cristian Arion</i> ) . . . . .	13
Shock Degradation Process in The Framework of Bridge Transportation Serviceability ( <i>Bassel HABEEB, Emilio Bastidas-Arteaga, Erwan Liberge, Boulent Imam</i> ) . . . . .	13
Convolutional Neural Network Based Damage Detection of IASC-ASCE Benchmark by Encoding Time-series into Images ( <i>Chen Shi, Younes Aoues, Renata Troian, Didier Lemosse</i> ) . . . . .	14
Proposition d'une nouvelle métrique de validation des modèles mécaniques dans un cadre probabiliste ( <i>Thomas LANGLADE, Thomas HEITZ, David BOUHJITI, Benjamin RICHARD</i> ) . . . . .	14
Fragility analysis of degraded structures considering soil-structure interaction ( <i>Victor Randy Medina Mordan, Younes Aoues, Didier Lemosse</i> ) . . . . .	15
Calcul de la fragilité fonctionnelle des enceintes de confinement des réacteurs nucléaires par couplage thermo-mécano-probabiliste ( <i>David BOUHJITI, Julien CLEMENT, Guillaume KIOSEYIAN, Nadia RAHNI</i> ) . . . . .	15
Bayesian Networks Prediction of Compressive Strength of Recycled Aggregate Concrete ( <i>Tien-Dung Nguyen, Emilio Bastidas-Arteaga, Rachid Cherif, Pierre-Yves Mahieux</i> )	16
Réfléchir à la gestion du risque inondation par un jeu de rôle informatisé basé sur la simulation multi-agent ( <i>Franck Taillandier, Annabelle Moatty, Pénélope Brueder, Bruno Beullac, Pascal Di Maiolo, Corinne Curt</i> ) . . . . .	16
Analyse des problématiques liées à l'évaluation structurale des ouvrages existants par ajustement des coefficients partiels – cas des ponts en béton armé et béton précontraint ( <i>Midula Alam, Silvia Ientile, Francis Lavergne, Franziska Schmidt, André Orcesi</i> ) . . . . .	16

Système d'évaluation et de gestion des ponts du réseau routier ( <i>Abdoul Salam Bah, Kotaro Sasai, Nathalie Kamileris, David Conciatori, Luc E. Chouinard, Gabriel Power, Nicolas Zufferey, Thomas Sanchez</i> ) . . . . .	17
Analyse du coût de cycle de vie d'une structure en détérioration pour un plan d'inspection/réparation optimal ( <i>Bouchra Kouddane, Zoubir Mehdi Sbartai, Sidi Mohammed Elachachi, Nouzha Lamdouar</i> ) . . . . .	17
Conférence plénière   Jumeaux numériques et adaptation des infrastructures dans un contexte de changement climatique. ( <i>Peter El Hajj (KPMG, UK)</i> ) . . . . .	18
Table ronde   Jumeaux numériques et adaptation des infrastructures dans un contexte de changement climatique. ( <i>Animateur : Frédéric Duprat (INSA de Toulouse)</i> ) . . . . .	18
<b>8 Juin 2023</b>	<b>19</b>
Conférence plénière   Contribution des approches probabilistes pour la durabilité des ouvrages existants : cas d'étude d'un pont en béton à Montréal ( <i>David Conciatori (Université de Laval) et Luc Chouinard (McGill University)</i> ) . . . . .	19
Influence des modèles d'efficacité de maintenance sur l'optimisation des révisions des systèmes réparables ( <i>Lamia MAY, Radouane LAGGOUNE</i> ) . . . . .	19
Gestion de l'intégrité des pipelines enterrés basée sur la fiabilité sous l'effet combiné de l'encrassement et les pertes de métal ( <i>Yacine Sahraoui, Mourad Nahal, Alaa Chateaufneuf</i> ) . . . . .	20
Estimation de la durée de vie résiduelle des pipelines corrodés ( <i>AIT MOKHTAR El Hassene, Yettou Anis, Amari Celia</i> ) . . . . .	20
Modélisation du temps de carbonatation d'un matériau exposé à la carbonatation naturelle ( <i>Franck Antelme KOUASSI, Jean-Yves DAUXOIS, Frédéric DUPRAT, Thomas de LARRARD, Fabrice DEBY</i> ) . . . . .	20
Reliable design optimization of a cantilever beam structure by using Dirlik fatigue approach ( <i>Nouha Lyagoubi, Younes Aoues, Leila Khalij</i> ) . . . . .	21
Statistical analysis for reliability assessment of corroded structures : A pipeline case study ( <i>Hicham BOUFGHED, Radouane LAGGOUNE, Emilio Bastidas-Arteaga</i> ) . . . . .	21
La Prédiction de la corrosion induite par des chlorures marins dans des structures en béton armé par utilisation de la méthode FORM ( <i>Paulo Claude, Frédéric Duprat, Thomas De Larrard, Jonathan Mai-Nhu, Patrick Rougeau, Louis Marrassi, Pascal Guedon</i> ) . . . . .	22
Fiabilité et viabilité de polymères renforcés de fibres de lin pour la réparation d'ouvrages en béton armé ( <i>David Bigaud, Hassen Riahi, Karim Benzarti</i> ) . . . . .	22
Conférence plénière   Évolutions des normes de conception dans un contexte de changement climatique ( <i>Emmanuel Bozonnet et Emilio Bastidas-Arteaga (La Rochelle Université)</i> ) . . . . .	22
Synthèse bibliographique pour l'évaluation de la fiabilité des réseaux enterrés de gaz exposés au phénomène de mouvement de terrain dans la perspective d'un usage pour le transport d'hydrogène ( <i>Mariam Joundi, Rasool Mehdizadeh, Olivier Deck</i> ) . . . . .	23
Influence des incertitudes des données d'inspection CND sur la cartographie d'alarme de corrosion des armatures : modèle de prévision du risque de corrosion avec un réseau bayésien ( <i>Sam Ang Keo, Thomas De Larrard, Frédéric Duprat, Sandrine Geoffroy</i> ) . . . . .	23
Évaluation et analyse de la dégradation des chambres électriques souterraines ( <i>Luc Chouinard, Aly Almasry, Siakndar Sajid, Bouchra Berrissoul, Georges Abdul Nour, Raynal Vaillancourt, Livius Jinga</i> ) . . . . .	24

Simulation of sandy soil degradation due to static liquefaction along with the uncertainty in soil properties ( <i>Wenhao Huang, Yousse Shamas, Khai Hoan Tran, Saber Imanzadeh, Said Taibi, Edu Souza de Cursi</i> ) . . . . .	24
Surveillance de la santé structurale par apprentissage profond basé sur la matrice de covariance de la réponse temporelle stochastique ( <i>Rafic FADDOUL, Alaa CHATEAUNEUF</i> ) . . . . .	25
Time series analysis for database completion and forecast of sensors measurements : application to concrete structures ( <i>Luis Rincon Prada, Bassel Habeeb, Emilio Bastidas-Arteaga, Elsa Eustáquio, Ameer Hamami, João Marcelino, Luís Oliveira Santos, Jose C. Matos, Yina F. Muñoz</i> ) . . . . .	25
Identification et localisation des défauts dans les ponts à l'aide de l'apprentissage profond ( <i>Douaa BENHADDOUCHE, Alaa CHATEAUNEUF, Vincent BARRA</i> ) . . . . .	26



# 7 Juin 2023

## Conférence plénière | Résilience des systèmes/infrastructures au changement climatique : cas d'études et actions

Fabien Palhol et André Orcesi (Cérema)

7 juin  
09 :15

---

## Analyse statistique de la capacité portante d'un quai de port maritime

Franziska SCHMIDT, Silvia Ientile, Bruno Godart, Jean-Bernard Kovarik

7 juin  
10 :15

Le gestionnaire du quai Hermann du Pasquier du port du Havre souhaite ausculter et évaluer son ouvrage : en effet, cet ouvrage précontraint a subi des pertes de précontrainte et la résistance à la compression du béton est inconnue. Par ailleurs, les charges attendues sont en augmentation. Cette auscultation a été réalisée par inspection du béton et des aciers, ainsi que par des essais destructifs sur prélèvements (fils d'acier et carottes de béton). Des essais à l'arbalète ont permis d'estimer la tension résiduelle dans les câbles, qui a pu être analysée en termes de pertes : d'un côté, les pertes de précontrainte mesurées ont été comparées aux formules de l'Eurocode 2. De l'autre, leur caractère gaussien -proposé par le JCSS- a été testé. De plus, des essais de compression réalisés sur carottes ont permis de déterminer la résistance caractéristique à la compression telle qu'utilisée dans les calculs aux Eurocodes, tout en étudiant la variabilité de ses valeurs. Cette évaluation d'un ouvrage existant aux Eurocodes a nécessité le recueil de données sur ouvrage. Les données recueillies ont été analysées statistiquement, et des valeurs ont dû être proposées pour les calculs déterministes (voire semi-probabilistes) réalisés par les bureaux d'étude.

---

7 juin  
10 :30

## **Optimization-based maintenance scheduling for prestressed concrete bridges using Markov chains models. The state of Indiana, U.S.**

Luis Francisco Rincon Prada, Erica Arango, Maria Nogal, Emilio Bastidas-Arteaga, Hélder S. Sousa, Yina F. Muñoz, José C. Matos

Road transport infrastructures have high strategic importance for nations' economic and social development. Bridges are considered as critical assets for road network functionality i.e., any damage can have disastrous social repercussions. However, bridges are one of the most exposed assets; their deterioration can be attributed to material properties, load, and climatic factors, or catastrophic events. As a result, maintenance, rehabilitation, and repairs of existing structures account for about 50% of construction sector spending in most developed nations, and this percentage is projected to rise. Establishing a network-level budget and maintenance schedule is particularly complex due to the heterogeneity of bridge configurations and functions. Deterioration models are established in this sense to determine asset performance and cost-effective and efficient planned maintenance solutions to ensure continuous and correct operation. Markov chains are one of the most used models in this sense, i.e., to assess structure deterioration. The stochastic nature of Markov chains allows for taking into account the uncertainty of complex phenomena as well as their ease of application and compatibility. This study analyzed box beam and girder prestressed concrete bridges in the state of Indiana, U.S. Markov chains degradation models were implemented using National Bridge Inventory data of the last thirty-one years. Annual maintenance costs and budgets were established, and a genetic optimization algorithm was applied to determine the minimum annual maintenance cost for a period of eleven years. The results of the study demonstrate the contribution of the proposed methodology to ensure proper infrastructure maintenance and reduce costs.

---

7 juin  
10 :45

## **Évaluation de la vulnérabilité sismique d'un réservoir surélevé en béton armé due à la corrosion induite par la pénétration des ions chlorure**

Nassima MILOUDI, Karima BOUZELHA, Hocine HAMMOUM, Younes AOUES, Ouali AMIRI

Pour assurer les conditions convenables de pression dans les réseaux de distribution d'eau potable, les réservoirs en béton armé sont souvent réalisés sur les sommets de collines ou des monticules. C'est la raison pour laquelle, ces structures sont soumises à des actions climatiques extrêmement agressives. En Algérie, la plupart de ces réservoirs ont été construits à partir des années 1970, et plusieurs dégradations dues à la corrosion de leurs armatures ont été observées. Par ailleurs, l'action sismique provoque la fissuration des éléments de structure en béton armé, ce qui accélère la pénétration des ions chlorure et donc la corrosion des armatures, ce qui affecte la durée de service et la sécurité de ces structures. Dans le cadre de cette recherche, nous présentons une analyse fiabiliste en fonction du temps d'un réservoir surélevé soumis à la corrosion par piqûres induite par la pénétration des ions chlorure et à l'action sismique. Pour l'estimation de l'étendue de la corrosion des armatures dans les environnements contaminés par les chlorures, le modèle de Liu and Weyers est adopté. La probabilité de défaillance de l'ouvrage est évaluée à l'aide des simulations de Monte Carlo. Les courbes de fragilité du réservoir en fonction du temps sont réalisées pour plusieurs accélérations sismiques, et pour différents taux d'agressivité de la corrosion.

---

## Analyse probabiliste de l'aléa sismique – le cas de la Roumanie

7 juin  
11 :30

Alexandru Aldea, Radu Văcăreanu, Florin Pavel, Cristian Arion

La mise à jour de l'analyse probabiliste de l'aléa sismique en Roumanie est nécessaire non seulement pour la réglementation parasismique nationale, mais aussi à cause de l'impact régional de la source sismique de profondeur intermédiaire Vrancea. Les recherches sur l'aléa sismique européen montrent des valeurs élevées de l'accélération du sol sur des larges surfaces qui dépassent les frontières du pays. Les principes de l'analyse probabiliste de l'aléa sismique ont été énoncés dans le célèbre article de Cornell (1968). La méthodologie actuelle intègre les incertitudes aléatoires et épistémiques. L'article ne se concentre pas sur les aspects sismologiques, mais sur la présentation de l'utilisation des statistiques et probabilités dans l'analyse : traitement des données des catalogues sismiques, densité de probabilité des magnitudes, occurrence des événements sismiques, etc. Une équation de prédiction des valeurs spectrales des mouvements sismiques caractéristiques à la source intermédiaire de Vrancea est décrite avec des éléments sur l'analyse des résidus. Les résultats sont présentés sous la forme de courbe d'aléa sismique au site et de carte de zonage probabiliste.

---

## Shock Degradation Process in The Framework of Bridge Transportation Serviceability

7 juin  
11 :45

Bassel HABEEB, Emilio Bastidas-Arteaga, Erwan Liberge, Boulent Imam

Infrastructure assets are designed to ensure a certain level of reliability. However, climate change may impact infrastructure assets in several ways affecting their reliability and availability. In the particular case of bridges crossing rivers, climate change may have a direct impact on the river discharge, leading to an increase in the frequency and magnitude of flooding events. This, in turn, is likely to result in an increased risk of bridge failure due to local scour, which is the removal of the bed material around the bridge's pier. The significance of the scouring phenomenon is related to its impact on the reliability of the bridge, as a result, the structure's capacity will rapidly decrease leading to a sudden failure. Consequently, it is essential to consider the impact of climate change on local scour when assessing the reliability of bridges crossing rivers, which can be represented by considering various Representative Concentration Pathways scenarios from climate models. This problem is addressed in this paper by proposing a Lévy process shock degradation model to study the impact of climate change on the structure's durability due to local scour. The results show the impact of climate change on the structure's long-term availability, an expected lifetime before failure, and the probability of failure. The outcome of the results indicates that the expected lifetime of the structure decreases by considering climate change.

---

7 juin  
12 :00

## Convolutional Neural Network Based Damage Detection of IASC-ASCE Benchmark by Encoding Time-series into Images

Chen Shi, Younes Aoues, Renata Troian, Didier Lemosse

Civil engineering structures are essential to the infrastructure and directly impact people's lives and safety. Notably, many structures are in worrisome working conditions, with damage deterioration and occasionally collapse. Combining deep learning with structural health monitoring can provide unprecedented tools for structural damage detection and identification. This paper explores the use of acceleration features to predict the damage state of a structure using time-series acceleration data collected from the Phase I IASC-ASCE Structural Health Monitoring (SHM) benchmark model, where the primary identified damage is the removal of diagonal braces and beam connections. In this study, to overcome the limitations of using neural networks hampered by the small amount of data collected in shaker tests, three methods were used to encode time-series acceleration data as images, i.e., two-dimensional numerical matrix (2D Matrix), Short-Time Fourier Transform (STFT), and Wavelet Transform (WT). The encoded images were then used as input to the Convolutional Neural Networks (CNN) model. Two training/test scenarios are used to show the efficiency of the proposed method of structural damage recognition. The results show that the WT combined with the CNN is the best approach regarding accuracy and efficiency.

---

7 juin  
14 :00

## Proposition d'une nouvelle métrique de validation des modèles mécaniques dans un cadre probabiliste

Thomas LANGLADE, Thomas HEITZ, David BOUHJITI, Benjamin RICHARD

Dans le domaine nucléaire, la validation de résultats prévisionnels du comportement des structures obtenus par simulations numériques est une tâche cruciale qui repose (encore) bien souvent sur les connaissances, appréciations et dires des experts. Aucun des guides ou corpus réglementaires publiés au cours des dernières décennies ne propose une méthode claire, simple et opérationnelle permettant de quantifier objectivement la validité (écart satisfaisant entre les résultats du modèle et l'observable mesuré) des modèles utilisés ou des résultats obtenus. Pour répondre à ce besoin, le présent papier propose une démarche générale et surtout une nouvelle métrique destinée à la quantification de la validité d'un modèle dans son domaine de définition initiale (échelle de l'éprouvette ou de la maquette par exemple) et au-delà par extrapolation (échelle de la structure faisant l'objet de calcul prévisionnel). La métrique est inspirée des travaux de Roy et Oberkampf (2011) avec les améliorations suivantes : formulation probabiliste de la métrique et décomposition de la métrique en deux variables ; une associée au risque de surestimer la réponse réelle et une autre associée au risque de la sous-estimer. Ce travail s'inscrit dans une perspective de développement d'outils d'ingénieur facilitant la déclinaison opérationnelle dans un cadre industriel (Langlade T. et al., 2022) du guide ASN N°28 (ASN, 2017).

---



# **Fragility analysis of degraded structures considering soil-structure interaction**

7 juin  
14 :15

Victor Randy Medina Mordan, Younes Aoues, Didier Lemosse

The fragility curve plays an important role in estimating the structural vulnerability under an earthquake disaster. The zone of the most interest is the fragility curve where failure rarely occurs. Due to the lognormal hypothesis, the classical approach is limited by a considerable quantity of epistemic uncertainty. A second approach, the nonparametric one overcomes this problem. However, it requires Monte Carlo Simulations to estimate the probability of exceedance of the limit state, which can be computationally intensive, to estimate the interest zone of the fragility curve. To overcome this drawback, this work aims to reduce the number of nonlinear response evaluations of the pushover analysis, to estimate the fragility curve by using surrogate modeling updated by adding new samples that best represent the system's response, also known as Active Learning Approach. This paper proposes a methodology for calculating failure probabilities of the seismic fragility curve with a considerable reduction of the computational cost.

---

## **Calcul de la fragilité fonctionnelle des enceintes de confinement des réacteurs nucléaires par couplage thermo-mécano-probabiliste**

7 juin  
14 :30

David BOUHJITI, Julien CLEMENT, Guillaume KIOSEYIAN, Nadia RAHNI

Dans le cadre des études probabilistes de sûreté (EPS) de niveau 2, l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) analyse le comportement structural et fonctionnel des enceintes de confinement des réacteurs nucléaires (troisième et dernière barrière du dispositif de défense en profondeur des réacteurs à eau sous pression) dans des conditions d'accident grave. Plusieurs scénarii sont envisagés faisant suite à une séquence impliquant la perte totale des sources en alimentation électrique externe et conduisant à une forte montée en température et en pression à l'intérieur de l'enceinte. Dans de telles conditions, l'objectif des études EPS2 est de quantifier les risques liés aux exigences de sûreté fondamentale attribuée aux enceintes de confinement et de hiérarchiser les modes de défaillance. Dans ce papier, nous nous intéressons particulièrement aux calculs de fragilité (probabilité conditionnelle de défaillance à des chargements thermomécanique d'accident grave donné) alimentant les EPS2 précédentes. Ainsi, ce papier présente une démarche générale de propagation d'incertitudes lors de la prévision du comportement thermomécanique des enceintes de confinement à double parois via une modélisation non linéaire du comportement du béton armé et précontraint ; avant de détailler ensuite la démarche de calcul des probabilités conditionnelles par un recours à des techniques de méta modélisation.

---

## **Bayesian Networks Prediction of Compressive Strength of Recycled Aggregate Concrete**

7 juin  
14 :45

Tien-Dung Nguyen, Emilio Bastidas-Arteaga, Rachid Cherif, Pierre-Yves Mahieux

Many studies proposed machine learning approaches for prediction models analysing the impact factors on recycled aggregate concrete (RAC) compressive strength. However, most machine learning algorithms require a large dataset size for the model's generalisation capability. Few studies have used Bayesian Networks (BNs) based probabilistic inference techniques towards this aim. This paper uses BNs to predict the compressive strength of recycled aggregate concrete. The BNs approach utilised available data of three input parameters : water-to-cement ratio, aggregate-to-cement ratio, and recycled aggregate replacement ratio to compute the output's prior and posterior probability of RAC's compressive strength. The results highlight the potential applicability of BNs in predicting the compressive strength of RAC.

---

## **Réfléchir à la gestion du risque inondation par un jeu de rôle informatisé basé sur la simulation multi-agent**

7 juin  
15 :45

Franck Taillandier, Annabelle Moatty, Pénélope Brueder, Bruno Beullac, Pascal Di Maiolo, Corinne Curt

La gestion des inondations est un enjeu majeur pour de nombreux territoires. Cependant, les stratégies de gestion de ce risque sont souvent peu performantes car elles ne sont pas pensées dans un cadre multicritère, sur le long-terme et en impliquant les citoyens. Pour répondre à cet enjeu, nous avons conçu un jeu sérieux Sim-MANA basé sur un modèle multi-agent (MANA-Flo) visant à sensibiliser le grand public à la gestion de ce risque en intégrant une grande variété de solutions structurelles (digue, noues, végétalisation, délocalisation...). Les joueurs, qui incarnent chacun un rôle, doivent discuter et négocier pour choisir des projets sur leur territoire qui sont alors évalués sur plusieurs critères au travers du modèle MANA-Flo qui permet de simuler une inondation. Différents éléments matériels tels qu'une maquette 3D du territoire permettent de renforcer l'immersion des joueurs. Un dispositif d'évaluation des apprentissages du jeu a été conçu et des ateliers test seront menés en 2023.

---

## **Analyse des problématiques liées à l'évaluation structurale des ouvrages existants par ajustement des coefficients partiels – cas des ponts en béton armé et béton précontraint**

7 juin  
16 :00

Midula Alam, Silvia Ientile, Francis Lavergne, Franziska Schmidt, André Orcesi

Le vieillissement des ouvrages d'art, soumis à des environnements agressifs et à des conditions d'exploitation pouvant évoluer, fait de la préservation de ce patrimoine un enjeu majeur. Pour des considérations environnementales et économiques, la gestion d'un patrimoine d'ouvrages implique de connaître les structures et de pouvoir les évaluer pour déterminer le besoin de réparation et d'entretien. La connaissance de l'état du patrimoine permet de cibler des typologies d'ouvrages présentant des pathologies récurrentes. Il est alors possible de proposer une classification des ouvrages types regroupant les pathologies courantes, les particularités de calcul et les modes de

défaillance associés. Dans cet article, l'analyse de ces éléments permet de mettre en avant les problématiques liées à l'évaluation structurale d'ouvrages existants en identifiant des familles de ponts en béton armé et béton précontraint concernées en se basant sur les guides d'applications et les cas d'études dans la littérature.

---

## **Système d'évaluation et de gestion des ponts du réseau routier**

Abdoul Salam Bah, Kotaro Sasai, Nathalie Kamileris, David Conciatori, Luc E. Chouinard, Gabriel Power, Nicolas Zufferey, Thomas Sanchez

7 juin  
16 :15

La congestion du réseau routier et les pertes de service sont associées aux activités d'entretien et de réparation du réseau. Ce phénomène est fréquent dans les zones urbaines densément peuplées où la congestion des ponts, des autoroutes ou des petites rues a une incidence négative sur les coûts et la pollution liés à l'utilisation d'un véhicule (usure des pneus, entretien, carburant, émissions) et sur les temps de déplacement en raison des détours. Les systèmes actuels de gestion des ponts (par exemple Pontis, Bridgit, Kuba, Danbro, FINNRA) sont basés sur des chaînes de Markov et l'optimisation numérique pour évaluer l'évolution de l'état d'un pont et utilisés pour planifier les activités d'entretien et de réparation sur des structures individuelles indépendamment les unes des autres. Ils négligent les impacts négatifs de ces activités sur le réseau et ses utilisateurs. Cet article présente une procédure pour évaluer l'état d'un réseau routier en fonction de l'état des ponts individuels et de l'impact des fermetures partielles ou complètes des ponts et de l'augmentation des temps de parcours par les utilisateurs. L'impact des fermetures est évalué au moyen d'une procédure qui réaffecte le trafic sur la base de l'équation de Wardrop pour une analyse locale origine-destination des détours de trafic pour chaque pont et évalue les impacts sur les coûts pour les utilisateurs du réseau. L'état général du réseau est déterminé comme une somme pondérée de l'état de chaque pont et des niveaux de trafic. Les évaluations du réseau peuvent être utilisées par les décideurs pour planifier les activités d'entretien et de réparation qui maximisent l'efficacité globale du réseau. La procédure proposée est démontrée pour un réseau de référence de trois ponts à Montréal et divers scénarios de réparation et d'entretien.

---

## **Analyse du coût de cycle de vie d'une structure en détérioration pour un plan d'inspection/réparation optimal**

Bouchra Kouddane, Zoubir Mehdi Sbartaï, Sidi Mohammed Elachachi, Nouzha Lamdouar

7 juin  
16 :30

En général, au cours de leurs durées de service, les systèmes tels que les bâtiments, les ponts et les plates-formes offshore deviennent moins fiables et nécessitent des procédures d'inspection/entretien appropriées. Les décideurs sont souvent confrontés au défi de choisir entre des solutions moins coûteuses et d'autres plus efficaces. Pour y parvenir, une meilleure stratégie d'inspection/maintenance doit être élaborée à l'aide d'une méthode d'optimisation de coût de cycle de vie. L'objectif de ce travail est d'aider à la prise de décision en choisissant une solution équilibrant les performances de la structure et son coût de cycle de vie. La stratégie d'optimisation s'applique aux dommages dont l'évolution peut être modélisée au fil du temps. En minimisant le coût total du cycle de vie et en maintenant une fiabilité admissible, la meilleure stratégie d'inspection/réparation est définie. Les variables de décision dans l'optimisation sont le temps auquel les inspections/réparations sont effectuées et le nombre d'inspections, au cours de la durée de vie de

la structure. L'effet de plusieurs facteurs est mis en évidence, telles que la qualité de la technique d'inspection, le coût attendu d'une défaillance structurelle, ainsi que les effets des intervalles de temps de contrôle uniformes et non uniformes.

---

7 juin  
16 :45

**Conférence plénière | Jumeaux numériques et adaptation des infrastructures dans un contexte de changement climatique.**

Peter El Hajj (KPMG, UK)

---

7 juin  
17 :30

**Table ronde | Jumeaux numériques et adaptation des infrastructures dans un contexte de changement climatique.**

Animateur : Frédéric Duprat (INSA de Toulouse)

---

# 8 Juin 2023

## **Conférence plénière | Contribution des approches probabilistes pour la durabilité des ouvrages existants : cas d'étude d'un pont en béton à Montréal**

David Conciatori (Université de Laval) et Luc Chouinard (McGill University)

8 juin  
09 :00

---

## **Influence des modèles d'efficacité de maintenance sur l'optimisation des révisions des systèmes réparables**

Lamia MAY, Radouane LAGGOUNE

8 juin  
10 :00

Afin d'améliorer leur disponibilité et de prolonger leur durée de vie, les systèmes sont sujet à des révisions partielles (maintenance imparfaite) qui ont un impact sur leur fiabilité en fonction de l'effort de la maintenance effectuée, ce qui affecte ensuite l'intensité de défaillance. Pour la modélisation de l'état du système après une action de maintenance, deux approches sont couramment utilisées, à savoir la réduction d'âge virtuel et la réduction d'intensité, la combinaison des deux modèles génère les modèles hybrides. Nous considérons la politique où le système reçoit des révisions partielles périodiques, et les défaillances survenant entre les révisions partielles sont corrigées par des réparations minimales. Après un certain nombre de révisions partielles, le système subit un renouvellement. L'objectif est de trouver la périodicité des révisions ainsi que leur nombre, avant de procéder au renouvellement du système, en minimisant le coût par unité de temps. Pour résoudre le problème d'optimisation ainsi formulé, nous avons utilisé la fonction `fminsearch` de MATLAB. Les calculs ont montré que les deux modèles d'efficacité mènent à des résultats proches avec un avantage pour le modèle de réduction d'âge. En effet, l'application numérique a montré que ce dernier est moins coûteux pour un cycle de vie plus long, par la suite les résultats des deux approches ont été comparés à ceux des modèles hybrides.

---

8 juin  
10 :15

## **Gestion de l'intégrité des pipelines enterrés basée sur la fiabilité sous l'effet combiné de l'encrassement et les pertes de métal**

Yacine Sahraoui, Mourad Nahal, Alaa Chateauneuf

La gestion de l'intégrité des pipelines souffre souvent de plusieurs formes de dégradation qui varient dans le temps et dans l'espace, principalement l'encrassement (dépôts et tartre) et les pertes de métal (corrosion). Dans ce cadre, le présent travail a pour objet de développer une méthode probabiliste pour évaluer la fiabilité du système de canalisation en fonction du temps, en tenant compte de l'intersection des deux modes de défaillance courants : le colmatage et les fuites des tubes dues à l'encrassement et à la corrosion localisée respectivement. La décomposition de Karhunen-Loève a été utilisée pour modéliser la variabilité spatiale de la corrosion, des contraintes résiduelles et de l'encrassement dans les différentes zones irrégulières (Segments, coudes de tuyau avec brides et joints soudés). Dans ce travail, le pipeline est modélisé par un système en série et les probabilités de défaillance du système sont calculées par la méthode de Monte-Carlo. La démarche méthodologique proposée est appliquée à un pipeline enterré, afin de montrer les effets des principaux paramètres du système.

---

8 juin  
10 :30

## **Estimation de la durée de vie résiduelle des pipelines corrodés**

AIT MOKHTAR El Hassene, Yettou Anis, Amari Celia

La durée de vie résiduelle pourrait être un indicateur important pour la planification de l'inspection et de la maintenance des structures se dégradant. Dans ce travail, nous proposons une approche pour l'estimation et l'actualisation de la durée de vie résiduelle d'une section de pipeline soumis à la dégradation par corrosion. Cette approche s'appuie sur un modèle prédictif modélisant la perte d'épaisseur par corrosion pour estimer la durée de fonctionnement avant la défaillance. Afin de prendre en considération les éventuelles évolutions des facteurs agissant sur le processus de dégradation (i.e. corrosion), l'approche proposée permet la mise à jour de la durée de vie résiduelle lorsque de nouvelles mesures de dégradation sont disponibles.

---

8 juin  
10 :45

## **Modélisation du temps de carbonatation d'un matériau exposé à la carbonatation naturelle**

Franck Antelme KOUASSI, Jean-Yves DAUXOIS, Frédéric DUPRAT, Thomas de LARRARD, Fabrice DEBY

Nous avons mené une étude sur le temps de carbonatation à partir d'une base de données de mesures de carbonatation recueillies sur des structures soumises à la carbonatation naturelle. Nous avons utilisé l'analyse de survie pour identifier les principaux facteurs influençant le temps de carbonatation et proposer un modèle à risques proportionnels. Ce modèle a ensuite été utilisé pour évaluer la fiabilité d'un matériau soumis à la carbonatation selon différents scénarios de réchauffement climatique.

---

## **Reliable design optimization of a cantilever beam structure by using Dirlik fatigue approach**

8 juin  
11 :30

Nouha Lyagoubi, Younes Aoues, Leila Khalij

Reliability-Based Design Optimization (RBDO) is a widely used approach for optimizing engineering structures, but it often neglects the effects of fatigue. In this article, we propose an RBDO methodology that combines the Reliability Index Approach (RIA) with Dirlik spectral method for fatigue damage assessment. The RIA approach is utilized to estimate the reliability index (RI) of the structure, while Dirlik fatigue approach is employed to assess the fatigue damage. Fatigue damage is introduced as a hard constraint in the optimization process. A case study is presented to demonstrate the effectiveness of the proposed methodology. The results show that the RBDO approach, incorporating fatigue phenomenon using RIA and Dirlik spectral method, can lead to reliable and fatigue-informed optimal designs for enhanced performance and durability of cantilever beam structures. Further research can explore the applicability of the proposed methodology to other types of structures and loading conditions.

---

## **Statistical analysis for reliability assessment of corroded structures : A pipeline case study**

8 juin  
11 :45

Hicham BOUFGHED, Radouane LAGGOUNE, Emilio Bastidas-Arteaga

Corrosion defects are a major concern for pipeline operators, and in-line inspections (ILI) are essential to detect and identify such defects and to optimize maintenance actions to avoid costly losses. However, it is crucial to conduct statistical analysis to estimate and monitor the corrosion evolution over time and enhance the accuracy of pipeline reliability assessments. This paper presents a statistical study of corrosion defect parameters (length and depth) obtained from ILI. The study evaluates statistical moments, considers the Pearson correlation coefficient, and determines the probability of failure using the Monte Carlo method based on the burst criterion. Moreover, we examine the influence of the coefficient of variation of corrosion defects on the probability of bursting by analyzing the sensitivity of key design parameters, such as operating pressure and the depth-to-wall thickness ratio. The paper employs a real case study of a corroded gas pipeline in Algeria to illustrate these findings. The results of this study can provide crucial information to pipeline operators to make informed decisions regarding maintenance activities throughout the pipeline's operational life.

---

8 juin  
12 :00

## **La Prédiction de la corrosion induite par des chlorures marins dans des structures en béton armé par utilisation de la méthode FORM**

Paulo Claude, Frédéric Duprat, Thomas De Larrard, Jonathan Mai-Nhu, Patrick Rougeau, Louis Marracci, Pascal Guedon

La corrosion des armatures en acier dans les structures en béton est une cause majeure de leur détérioration. En particulier, la pénétration des ions chlorure est une problématique majeure pour la durabilité des ouvrages en béton situés en bord de mer car elle peut entraîner un développement de corrosion par piqûre. Le cas d'un quai en béton armé soumis à l'action des chlorures marins est détaillé dans cette étude. Un modèle d'élément fini spécifique (FEM) a été développé dans le but d'estimer le temps de dépassivation des armatures. Ainsi, l'étude vise à estimer la probabilité d'initiation de la corrosion lorsque la quantité de chlorure à la surface de l'armature dépasse une valeur seuil. La détermination du temps correspondant à ce dépassement, avec une probabilité prédéfinie, est une étape importante pour la maintenance d'un ouvrage. Les propriétés du béton, l'environnement externe (pression partielle de CO<sub>2</sub>, teneur en chlorures, humidité relative) sont considérés comme des variables aléatoires dans l'étude. Afin de surmonter la charge numérique du modèle dans les calculs probabilistes, un modèle de substitution basé sur un chaos polynomial est utilisé. Une analyse de sensibilité de Sobol est effectuée sur les paramètres pour observer leur influence sur le résultat.

---

8 juin  
12 :15

## **Fiabilité et viabilité de polymères renforcés de fibres de lin pour la réparation d'ouvrages en béton armé**

David Bigaud, Hassen Riahi, Karim Benzarti

Les polymères renforcés de fibres (PRF) à base de fibres de carbone ou de verre sont des solutions efficaces pour la réparation des ouvrages de génie civil. Afin d'apporter une solution plus responsable sur le plan environnemental, nous étudions la durabilité et la fiabilité de PRF à base de fibres de lin (PRF-L). Une campagne d'essais de dégradation accélérée à deux facteurs, température et humidité, sur une période de trois ans a été menée. Des modèles de dégradation des caractéristiques en traction, cisaillement et arrachement considérant la compétition de deux mécanismes physiques sont développés. Sur cette base, les coefficients de réduction environnementale et de sécurité, présents dans le formalisme de trois guides de conception internationaux, sont calibrés en tenant compte de l'influence des conditions climatiques. La conclusion majeure consiste à démontrer la comparabilité des coefficients de réduction environnementale des PRF-L par rapport aux fibres de carbone et de verre.

---

8 juin  
14 :00

## **Conférence plénière | Évolutions des normes de conception dans un contexte de changement climatique**

Emmanuel Bozonnet et Emilio Bastidas-Arteaga (La Rochelle Université)

---



## **Synthèse bibliographique pour l'évaluation de la fiabilité des réseaux enterrés de gaz exposés au phénomène de mouvement de terrain dans la perspective d'un usage pour le transport d'hydrogène**

Mariam Joundi, Rasool Mehdizadeh, Olivier Deck

8 juin  
14 :45

Cet article présente une synthèse bibliographique pour l'évaluation de la réponse des réseaux enterrés exposés aux mouvements de terrain, en mettant particulièrement l'accent sur l'approche fiabiliste. Tout d'abord, les différents types de mouvements de terrain qui affectent les conduites enterrées et qui sont abordés dans la littérature sont identifiés. Ensuite, les différentes approches pour évaluer la réponse des conduites aux mouvements de terrain sont exposées, en soulignant leurs avantages et limites, ainsi que leurs pertinences en contexte d'incertitude. Finalement, les approches probabilistes visant à évaluer la fiabilité des réseaux enterrés sont abordées, en détaillant les sources d'incertitudes prises en compte, les méthodes de propagation d'incertitudes utilisées, les fonctions de défaillance adoptées et les principaux types de sorties de ces travaux. En résumé, cette synthèse bibliographique permet de prendre connaissance des avancées déjà effectuées sur le sujet, tout en identifiant les lacunes à combler.

---

## **Influence des incertitudes des données d'inspection CND sur la cartographie d'alarme de corrosion des armatures : modèle de prévision du risque de corrosion avec un réseau bayésien**

Sam Ang Keo, Thomas De Larrard, Frédéric Duprat, Sandrine Geoffroy

8 juin  
15 :00

L'article présente une méthodologie pour établir une cartographie d'alarme de corrosion liée aux niveaux de corrosion des armatures de la première couche dans des structures en béton armé (RC). Les données d'inspection par contrôle non destructif (CND) obtenues à partir de campagnes d'inspection sur différentes structures RC sont utilisées pour construire un modèle prédictif basé sur un réseau bayésien (RB). La méthodologie consiste en trois étapes principales : la construction de la base de données à partir des données d'inspection CND, l'apprentissage de la structure du RB et de ses paramètres à partir des données CND, et l'utilisation du RB pour avoir la cartographie des alarmes de corrosion. L'incertitude des mesures sur site est prise en compte dans ce modèle prédictif pour améliorer la précision des probabilités d'alarme de corrosion obtenues. Les paramètres de la structure RB physiquement optimale sont le potentiel de corrosion, le taux de corrosion, la résistivité électrique et l'alarme de corrosion. Les données d'inspection CND d'une face de pile d'un pont sont utilisées comme nouvelles informations pour mettre à jour le RB dans la dernière étape. La méthodologie permet d'estimer la probabilité d'alarme de corrosion lorsque les indicateurs ne sont pas disponibles simultanément (en raison des contraintes de mesures CND sur site). La cartographie obtenue à partir du modèle prédictif RB peut être utilisée comme un outil efficace pour la stratégie de maintenance en indiquant les zones les plus critiques de la structure inspectée vis-à-vis de la corrosion.

---

## Évaluation et analyse de la dégradation des chambres électriques souterraines

8 juin  
15 :15

Luc Chouinard, Aly Almasry, Siakndar Sajid, Bouchra Berrissoul, Georges Abdul Nour, Raynal Vaillancourt, Livius Jinga

Dans les grands centres urbains, les distributeurs électriques enfouissent leur réseau pour alimenter leurs clients. À cet effet, ils utilisent des structures bétonnées pour installer leurs équipements ou le passage des câbles dont des chambres de transformation, de raccordement et de sectionnement. Ces chambres souterraines sont susceptibles à subir des dégradations comme la désagrégation, la fissuration et le délaminage. Le réseau souterrain d'Hydro-Québec Distribution (HQD) compte plus de 16000 structures. La majorité de ces structures ont été construites après 1950. Toutefois, plusieurs datent de la période 1900 à 1950. Afin de connaître leur état, HQD a développé une stratégie d'inspection de ces chambres. Cette stratégie vise à identifier les structures ayant besoin de réparation ou de remplacement. De nombreuses conséquences peuvent résulter de la désignation de la dégradation et du vieillissement des chambres désignées dans cette étude sur le plan logistique et également financier. Afin de contrôler la dégradation de ses structures souterraines, Hydro-Québec a eu recours à une stratégie de maintenance qui rentre dans un cadre de gestion des actifs (GDA). Cette stratégie est fondée sur la méthodologie d'inspection basée sur la gestion prédictive du risque, qui se fait par une approche hybride utilisant la cueillette des données quantitatives et qualitatives pour déterminer l'état de dégradation de la structure et le niveau de risque associé. Une méthodologie est proposée pour évaluer plus précisément la condition et la vie résiduelle des structures afin d'optimiser les fréquences d'inspection ainsi que les périodes pour les reconstructions et démolitions. Cette méthodologie est basée sur analyse et modélisation des données d'inspection sur une période de plusieurs années, un diagnostic basé sur les résultats de tests nondestructifs et une modélisation des processus de détérioration. Les analyses effectuées ont pu identifier que les structures les plus vulnérables sont à proximité des réseaux routiers et que les sels de déglacage utilisés sur les routes jouent un rôle déterminant sur la dynamique des processus de détérioration. Les toits des structures sont les composants principalement affectés et un essai non-destructifs par impulsion (impulse response) est proposé pour évaluer l'étendue et la sévérité des délaminations.

---

## Simulation of sandy soil degradation due to static liquefaction along with the uncertainty in soil properties

8 juin  
16 :00

Wenhao Huang, Yousse Shamas, Khai Hoan Tran, Saber Imanzadeh, Said Taibi, Edu Souza de Corsi

For loose saturated sand, when subjected to static loading in undrained condition, the pore water pressure inside the soil tends to increase and the effective stress tends to decrease to zero resulting in the degradation of the soil structure, this phenomenon is called static liquefaction. Although static liquefaction has been studied for decades, it is still necessary to have a better understanding about this kind of soil behavior and its effect on the structure safety. In this research paper, the NorSand model was used to evaluate the static liquefaction of Hostun sand RF. The input parameters of the model were determined based on the experimental data. After that, the triaxial paradigm was built to modelized the triaxial experimental test. And then, the modeling sample was subjected to static loading until reaching the axial strain of 30%. This process gives the clear observation of the degradation of the modeling sample with the variation of deviator stress,

pore water pressure in function of deformation development. The results show that under static loading, the deviator stress of the modeling sample reaches the maximum at very small axial strain, after that, the deviator stress decreases to almost 0 corresponding to degradation of soil structure. The modeling sample was liquefied at the end of loading process with zero effective stress condition. The results also present the input parameters for NorSand model which give the suitable fitting between the modeling and experimental results. Thereafter, the effect of relative density uncertainties on the soil degradation was studied. The model predictions show that for fully saturated loose sandy soil, maybe there is a critical value for the relative density, and when the relative density is greater than this value, the degradation on the soil structure will not occur. Finally, NorSand model can provide a theoretical basis for the design of structures with considering the uncertainties on soil parameters.

---

## **Surveillance de la santé structurale par apprentissage profond basé sur la matrice de covariance de la réponse temporelle stochastique**

Rafic FADDOUL, Alaa CHATEAUNEUF

8 juin  
16 :15

Cet article propose une approche innovante pour l'identification des désordres structuraux au sein des infrastructures de génie civil, soumises aux excitations ambiantes stochastiques. L'ouvrage est modélisé par éléments finis, afin de permettre la création de la base de données, comprenant les rigidités aléatoires des éléments, d'une part, et les matrices de covariance correspondantes, d'autre part. Ces matrices de covariance sont calculées à partir de la réponse temporelle de la structure sous les conditions normales de trafic. L'ensemble d'apprentissage permet l'entraînement du réseau de neurones, qui est composé de six couches convolutives suivies de deux couches totalement connectées. Etant entraîné et validé, ce réseau de neurones permet l'identification, la localisation et la quantification des désordres dans l'ouvrage. La capacité prédictive du modèle est démontrée au moyen de l'analyse du pont de Longues au département du Puy-de-Dôme, sous différentes conditions de trafic et d'ampleur des désordres. Les résultats montrent le grand potentiel du modèle élaboré dans la surveillance de la santé structurale.

---

## **Time series analysis for database completion and forecast of sensors measurements : application to concrete structures**

Luis Rincon Prada, Bassel Habeeb, Emilio Bastidas-Arteaga, Elsa Eustáquio, Ameer Hamami, João Marcelino, Luís Oliveira Santos, Jose C. Matos, Yina F. Muñoz

8 juin  
16 :30

Despite the high durability level associated with reinforced concrete bridges, they are nonetheless susceptible to natural hazards and extreme events can impair their performance and serviceability throughout their lifespan. For that reason, maintenance, rehabilitation, and repair actions on existing structures are projected to rise and currently account for about 50% of the construction sector spending in most developed nations. To establish long-term maintenance schedules, it is vital to know the state of a structure and its degradation over time. Therefore, the monitoring of structures has become a necessary task to guarantee their use throughout their lifespan. Maintenance and inspection schemes depend on these systems that periodically or continuously collect information using chemical, optical, sound sensors, among others. However, the reliability of these sensors depends on environmental factors, durability, and even power outages. When any of these

factors affect the sensors, their acquisition of information can be interrupted temporarily or permanently. This paper focuses on the competition of this missing data. The study uses one year of data from sensors monitoring a reinforced concrete structure that suffered interruptions in the acquisition processes. To reduce possible uncertainties that affect the analysis of the degradation of the materials and the reliability of the structures, the database of concrete electrical resistivity and concrete temperature of the sensors were analyzed, and time-series analysis method, artificial neural network models and generalized linear and non-linear models were used specifically to fill in the missing database values and perform predictions. Finally, the results are discussed, and recommendations are established for the application of this methodology for the analysis of the sensors used.

---

## **Identification et localisation des défauts dans les ponts à l'aide de l'apprentissage profond**

8 juin  
16 :45

Douaa BENHADDOUCHE, Alaa CHATEAUNEUF, Vincent BARRA

Avec l'évolution de la technologie des réseaux de capteurs et l'émergence des méthodes de l'intelligence artificielle pour l'analyse des grandes masses de données, la surveillance de la santé structurale est devenue un outil pratique pour évaluer la sécurité et la performance des structures. Les variations dans les conditions environnementales et opérationnelles sont les facteurs principaux qui causent l'apparition des défauts structuraux. Un effort considérable a été investi dans les approches basées sur les vibrations et l'apprentissage profond. Selon le type de données utilisées pour alimenter le modèle d'apprentissage profond, les approches de détection proposées sont regroupées en deux familles : les approches non paramétriques, et les approches paramétriques. L'approche paramétrique emploie les accélérations pour déterminer les paramètres inconnus de la structure, comme les fréquences propres et les courbures modales. Dans ce cadre, nous avons développé une méthode qui utilise les courbures modales pour entraîner un auto-encodeur profond ; les erreurs de reconstruction du modèle sont exploitées pour identifier et localiser les défauts. La méthode a été validée sur le modèle numérique d'un pont réel. Plusieurs scénarios de défauts avec différents niveaux de gravité ont été testés. Les résultats de détection ont montré que l'auto-encodeur profond entraîné sur les courbures modales de l'état intact, est capable d'identifier et de localiser les désordres lorsque le bruit de mesure est maîtrisé.

---