ESTP
PARIS
L'ÉCOLE DES GRANDS PROJETS

RAPPORT D'ACTIVITÉ DE LA RECHERCHE

2017
2018

INSTITUT DE RECHERCHE EN CONSTRUCTIBILITÉ

ESTP PARIS

L'ÉCOLE DES GRANDS PROJETS

INSTITUT DE RECHERCHE EN CONSTRUCTIBILITÉ

Rapport d'activité de la recherche 2017-2018

L'ÉDITORIAL

CHRISTOPHE GOBIN
Président du Conseil de la Recherche
de l'ESTP Paris

Il y a huit ans l'ESTP Paris décidait d'organiser sa Recherche sous l'égide de la « Constructibilité ». À l'époque cette démarche n'a pas manqué de surprendre autant les acteurs académiques que les professionnels du secteur qui y voyaient avant tout un effet rhétorique.

Le contexte actuel justifie pourtant pleinement ce choix délibéré. Tous les intervenants de l'acte de construction qui ne pratiquent pas la doxa admettent désormais que l'attente d'ouvrages de « bonne facture » est de plus en plus marquée et que le marché ne se satisfait plus des pratiques habituelles. La Constructibilité est bien le moyen de cette quête exigeante « faire mieux avec moins ».

L'IRC qui se devait de relever un challenge ambitieux a bien avancé durant la période 2017-2018. Tous ses membres doivent en être remerciés. Néanmoins des progrès sont encore à accomplir pour asseoir cette nouvelle discipline.

Ce rapport traduit la progression sur plusieurs fronts :

- Un regroupement des forces autour d'une problématique commune ;
- La constitution progressive d'un corpus spécifique ;
- Un travail de transversalité qui se déploie peu à peu.

Cette démarche recèle un fort potentiel qui justifie pleinement son inscription dans la feuille de route ESTP 2030.

LE MOT DU DIRECTEUR

Éric CROQUESEL
Directeur de la Recherche de l'ESTP Paris - Directeur
de l'Institut de Recherche en Constructibilité

En 2017 et 2018, l'IRC a conforté son positionnement dans son écosystème, notamment en assurant une relation forte avec l'Université Paris-Est et son École Doctorale de rattachement SIE (Sciences Ingénierie et Environnement) ; tous les nouveaux sujets de thèse de la période y sont inscrits. Les relations avec les partenaires industriels ont été maintenues avec des propositions d'accompagnement graduelles, depuis les PIER aux TFE Recherche et aux possibilités de Doctorats. L'IRC cherche à intégrer le plus possible les élèves ingénieurs de l'ESTP Paris dans ses études en développant la communication vers la communauté des élèves et en leur soumettant des sujets de recherche dans l'actualité de la profession et de leur formation.

Les thématiques de référence de l'Institut ont par ailleurs été confirmées et développées en établissant les verrous scientifiques des trois échelles d'étude de la constructibilité : matériaux constructifs, construction durable et systèmes urbains. Le fonctionnement de l'Institut évolue progressivement vers le mode projet où des thématiques transverses aux disciplines scientifiques sont traitées avec plusieurs enseignants-chercheurs et les plateformes techniques de l'école.

D'un point de vue résultats, les travaux de l'IRC sont stables par rapport à l'année précédente en termes de dissémination scientifique et technique. De même, les enseignants-chercheurs et doctorants de l'Institut maintiennent leur contribution dans les conférences internationales.

Enfin, les séminaires de recherche en constructibilité permettant un échange entre les différents acteurs et les chercheurs s'intègrent comme des évènements clefs de la vie de l'IRC.

SOMMAIRE

9 L'ÉCOSYSTÈME DE LA RECHERCHE DE L'ESTP PARIS

13 Les chiffres clefs de la recherche sur la période 2017-2018
14 La thématique de Constructibilité
16 Les verrous de l'IRC
17 Les chaires d'Enseignement et de Recherche
18 La Chaire Génie Civil Nucléaire (GCN)
19 La Chaire Ingénierie des Bétons (IdB)

21 LES PROJETS DE RECHERCHE

22 ÉCHELLE 1 : LES MATÉRIAUX CONSTRUCTIFS

24 Traitement et valorisation de sols par des méthodes de type géopolymérisation
25 Recherche de solutions constructives pour limiter l'érosion de piles de pont en présence de sédiment cohésif
26 Méthodes d'ingénierie pour l'étude du tassement et de la liquéfaction sismo-induits
27 Bétons de déconstruction de plus de 50 ans et leur réutilisation
28 Valorisation des fibres végétales dans des matériaux cimentaires
29 Clinkérisation et géopolymérisation par mécanosynthèse
30 Évaluation performancielle des matériaux bitumineux
32 Valorisation de matériaux alternatifs dans les techniques bitumineuses
34 Intégration de la chaussée dans des projets globaux et nouvelles fonctionnalités. Pour une gestion coordonnée : routes et réseaux enterrés
36 *Thèses de doctorat en cours à l'échelle du matériau*
36 *Thèses de doctorat soutenues à l'échelle du matériau*
37 *Nouvelles thèses à l'échelle du matériau démarrées en 2017 et 2018*

40 ÉCHELLE 2 : LA CONSTRUCTIBILITÉ DES OUVRAGES

42 Constructibilité et évaluation de la performance : processus et innovation
43 Constructibilité et commissionnement des systèmes de ventilation : qualité du climat intérieur et efficacité de ventilation
44 RENON : Mécanique des structures - Génie Civil Nucléaire
45 Étude des phénomènes d'ébranlement des structures sous chargement transitoire

46 Aléa sismique et géotechnique
47 Analyse du comportement linéaire équivalent en ingénierie sismique
48 Méthodes de dimensionnement et qualification de procédés et matériaux de construction innovants
49 *Thèses de doctorat en cours à l'échelle des ouvrages*
49 *Thèses de doctorat soutenues à l'échelle des ouvrages*

50 ÉCHELLE 3 : LA CONSTRUCTIBILITÉ DES SYSTÈMES URBAINS

52 Gestion de chantiers de construction en prenant en compte les risques et les catastrophes naturels
53 Homogénéité des espaces urbains et évacuation de la foule en utilisant le BIM et le SIG
54 Modélisation des écoulements fluides multiphasiques avec une approche SPH
55 Modélisation 3D CIM de l'Environnement et Simulation Numérique : Constructibilité et Application à l'Étalement Urbain
56 Gestion intégrée des risques
58 *Thèses de doctorat en cours à l'échelle des systèmes*
58 *Thèses de doctorat soutenues à l'échelle des systèmes*

61 LA VALORISATION DE LA RECHERCHE

62 Les séminaires de la Constructibilité
65 Les publications dans des journaux à comité de lecture 2017/2018
67 Les contributions à des conférences internationales 2017-2018

69 LES STAGES DE RECHERCHE

70 Liste des stages Master de l'année 2017-2018
71 Liste des PIER encadrés par l'IRC en 2017-2018

L'ÉCOSYSTÈME DE LA RECHERCHE DE L'ESTP PARIS

L'Institut de Recherche en Constructibilité (IRC) a été créé en 2009 par l'École Spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de l'Industrie de Paris (ESTP Paris). L'IRC est le département recherche de l'ESTP Paris et partage le statut de l'école en tant qu'Etablissement d'Enseignement Supérieur Privé d'Intérêt Général (EESPIG), reconnu par l'État depuis 1921, et géré par une association sans but lucratif régie par la loi du 1er juillet 1901. L'ESTP-Paris est membre associé de la Communauté d'Universités et Établissements Université Paris-Est (COMUE UPE).

L'IRC, centre de recherche appliquée et de compétences du secteur de la construction, déploie deux missions principales dans l'objectif de devenir un centre d'excellence en recherche pour la constructibilité :

- Le développement de connaissances dans les domaines du Bâtiment et des Travaux Publics ;
- L'initiation et la formation à la recherche par la recherche dans ces mêmes domaines.

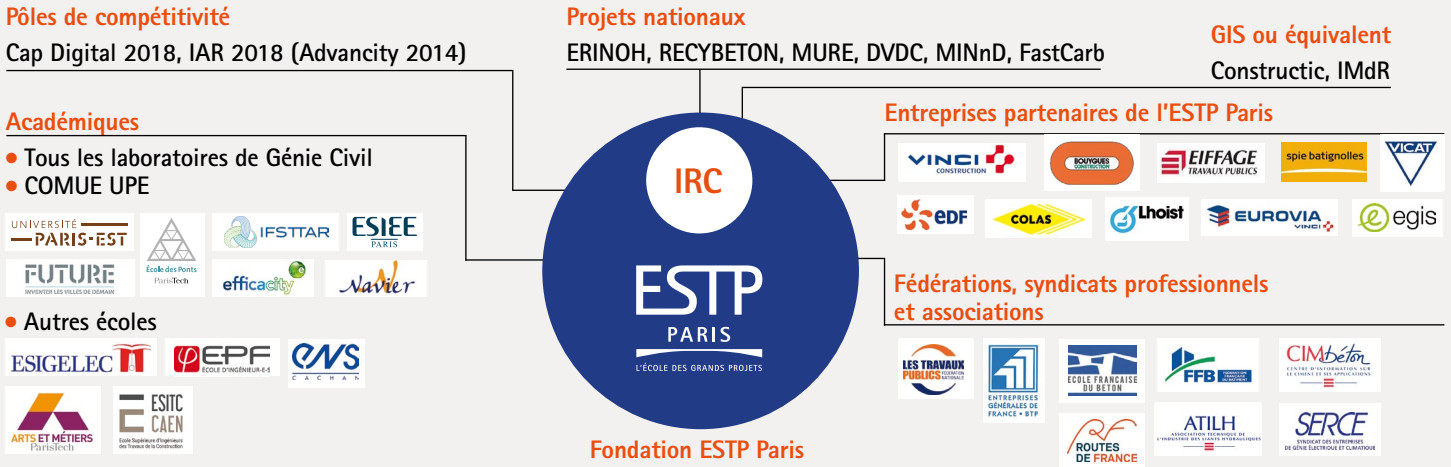
L'IRC a été évalué en 2014 par le Haut Conseil de l'Évaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur (HCERES) validant son statut d'Unité de Recherche liée à un établissement d'enseignement supérieur dans le domaine du génie civil. En 2016, l'IRC devient équipe d'accueil de l'École Doctorale Sciences, Ingénierie et Environnement (SIE) de l'Université Paris-Est qui regroupe des recherches à caractère fondamental et appliqué, théorique, numérique ou expérimental avec comme principal objectif de répondre à des enjeux sociétaux majeurs tels que : l'énergie, notamment renouvelable, les nouveaux matériaux, les structures innovantes, les questions liées à la qualité de l'environnement. L'IRC est par conséquent intégré à un réseau de 17 entités de recherche, regroupant 600 chercheurs et près de 300 doctorants.

L'IRC se compose d'une cinquantaine de collaborateurs : 24 enseignants-chercheurs, 5 enseignants-chercheurs HDR et du personnel technique et administratif (6). Le laboratoire accueille un potentiel d'une vingtaine de doctorants, environ 25 stagiaires de Master ou TFE Recherche et encadre une vingtaine de Projets Industriels d'Entreprenariat et de Recherche (PIER) par an.

L'IRC présente l'avantage de regrouper des enseignants-chercheurs maîtrisant des disciplines variées : matériaux, génie civil et structures, génie mécanique, génie hydraulique, génie thermique, maquette numérique, SIG, management des risques. Afin de mettre à profit ces connaissances multidisciplinaires internes, des sujets de recherche transverses sont favorisés et un fonctionnement en mode projet utilisé. Ainsi sont mises en œuvre des études croisées touchant par exemple les réseaux de la voirie des villes et la maintenance des chaussées, les structures du génie civil nucléaire et les matériaux cimentaires, la maquette numérique de la ville et les informations sémantiques qu'elle pourrait contenir.

L'IRC possède des structures de recherche propres sur le campus de Cachan de l'ESTP Paris partagées avec la direction des études de l'école. Une dizaine de plateformes techniques accueille des activités de recherche et d'enseignement pour favoriser les échanges entre les enseignants-chercheurs et les élèves de l'école : Laboratoire Ingénierie des Bétons, Laboratoire Matériaux de Chaussées, Laboratoire de Géotechnique, Laboratoire d'Hydraulique, Laboratoire de Mécanique, Laboratoire de Topographie, Laboratoire de Mesure Physique, Laboratoire de Génie Énergétique de la Construction Durable, Laboratoire de Génie Électrique, espace BIM. Les laboratoires disposent de moyens expérimentaux de mise en œuvre, d'essai, de mesure et de caractérisation utilisés pour la formation lors des séances de travaux pratiques des élèves de l'ESTP Paris. L'IRC s'est par ailleurs doté d'outils scientifiques avancés utilisables

REPRÉSENTATION DE L'ÉCOSYSTÈME AUTOUR DE L'IRC



Partenaires internationaux

Académiques : Polimi, ETS Montréal, GCU, ENSTP Alger, Mohammed V, INP HB – ESTP Yamoussoukro

Ouverture potentielle sur les 88 partenaires de l'ESTP Paris

Territoires : 2 campus Cachan et Troyes (3 avec Dijon)

Régions Ile de France, Champagne-Ardenne (Grand-Est)

en transverse pour tous les domaines d'étude. Parmi les plus novateurs et intéressants pour le domaine de la construction, citons : un érodimètre EFA (Érosion Function Apparatus), équipement unique en Europe pour caractériser les phénomènes d'érosion, un analyseur par Diffractométrie de Rayons X (DRX), un Spectromètre InfraRouge, un Analyseur ThermoGravimétrique couplé à un Calorimétre à Balayage Différentiel (TGA/DSC), un Granumomètre Laser, une station météorologique... Les approches expérimentales, en laboratoire ou in situ, sont complétées par des simulations numériques portées par un cloud et des stations de calcul.

La gouvernance de l'IRC s'inspire des grands instituts de recherche modernes. Sous l'impulsion du directeur de l'IRC, en relation avec toutes les directions de l'école (études, relations internationales, entreprises, communication, campus), les enseignants-chercheurs définissent les objectifs de recherche dans un plan pluriannuel. Un Conseil de la Recherche, constitué d'experts, de professionnels et de personnalités académiques du secteur, se réunit deux fois par an pour proposer des orientations stratégiques et thématiques. Des instances internes permettent de conduire les projets, d'impliquer et d'informer le personnel.

L'IRC contribue à des Projets collaboratifs Nationaux comme : MUlti-Recyclage des Enrobés tièdes (MURE), Durée de Vie Des Chaussées (DVDC), Modélisation des INformations INteropérables pour les INfrastructures Durables (MINnD), est partenaire du projet FUI 19 « Risk intelligence and Decisions » (RiD) labellisé par ADVANCITY et participe activement aux travaux de recherche de l'Institut pour la Transition Énergétique EFFICACITY. Des projets ANR sont déposés chaque année (MOVEDVDC, CO2NCRETE, ATLANTE).

L'écosystème de l'IRC s'intègre dans celui de l'ESTP Paris. Ainsi de nombreux partenariats existent avec :

- les entreprises de la construction et de l'énergie ;
- les fédérations et associations nationales des métiers de la construction ;
- les laboratoires de recherche académiques du secteur (IFSTTAR, NAVIER, ENS, ENSAM...).

Les chiffres clefs de la recherche sur la période 2017–2018

41
membres à fin décembre 2018

24
enseignants-chercheurs, 5 enseignants-chercheurs habilités à Diriger des Recherches (HDR)

10
laboratoires d'enseignement et de recherche sur une surface de plus de 1500 m²

20
projets Industriels d'Entreprenariat et de Recherche (PIER) encadrés par les enseignants-chercheurs de l'IRC – auxquels participent près de 60 élèves ingénieurs de l'ESTP Paris

25
stages de TFE ou de Master Recherche d'une durée moyenne de 4 mois

7
personnels techniques et administratifs

1,8
budget recherche d'environ 1,8 million d'euros

5
thèses en co-direction ou co-tutelle avec des partenaires académiques internationaux

3
séminaires de recherche en Constructibilité

3
programmes de recherche, regroupant une vingtaine de projets

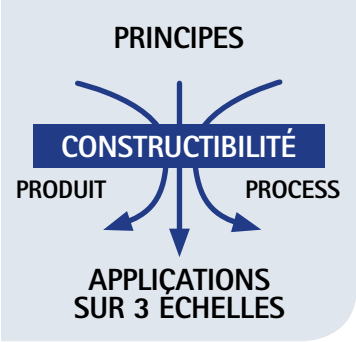
2
chaires d'enseignement et de recherche, Génie Civil Nucléaire (2009) et Ingénierie des Bétons (2014)

10
4 thèses soutenues en 2017, 8 thèses en 2018, 10 thèses en cours

20
partenaires parmi les plus grands comptes et industriels de la construction finançant les travaux de recherche de l'IRC à hauteur de 75 %

La thématique de Constructibilité

La constructibilité est le champ disciplinaire commun à tous les travaux développés au sein de l'IRC.



Ce positionnement répond à un enjeu majeur du secteur de la construction, à savoir étudier les stratégies de construction afin d'optimiser la valeur de l'objet construit, tout en anticipant les évolutions technologiques, écologiques et sociétales.

DÉFINITION

La constructibilité est définie comme l'optimisation de la conception et de la réalisation d'un projet de construction, de déconstruction ou d'aménagement, afin d'en garantir et de maintenir ses performances d'usage. Tous les aspects relatifs au produit, procédé et processus de l'acte de construire sont inclus dans une étude de constructibilité.

La constructibilité ou « constructibility » se différencie des concepts Anglo-Saxon de la « buildability » (mise en œuvre/réalisation d'un concept) et de la « constructability » (prise en compte du cycle de vie de l'ouvrage).

OBJECTIF

Assurer la « performance » du produit de la construction sur ses diverses composantes et permettre l'introduction rapide d'innovations technologiques pour faire face à un besoin croissant d'infrastructures dans un milieu urbain complexe.

PRINCIPES

- La constructibilité ne se substitue pas aux diverses disciplines ;
- La constructibilité facilite la transversalité des différentes expertises ;
- La constructibilité concerne l'amont des projets et non l'aval puisqu'elle l'anticipe ;
- La constructibilité s'applique à toutes les échelles du cadre bâti et toute la durée de vie du produit.

ARCHITECTURE

- La constructibilité s'apparente à une approche systémique du produit à faire mis en œuvre par son projet, le système pour faire, tout en prenant en compte l'ensemble des parties prenantes. Le couple produit/process de la construction est ainsi pris en compte dans une approche globale ;
- Elle croise les trois étapes du cycle de vie d'un projet de construction (programmation, projétation, production) avec ses composantes principales (consistance/performances du produit considéré, procédés mobilisés/procédure/écosystème) ;
- Elle s'assure de la cohérence des outils mobilisés pour instruire chaque moment du projet ;
- Elle doit permettre de mesurer la performance à chacune des étapes de la chaîne de valeur du projet et d'appréhender le rôle des interventions humaines dans le processus.

REPRÉSENTATION

Une représentation de la constructibilité est donnée par un double cycle en V : le développement produit sur lequel se superpose la prise en compte du processus de mise en œuvre.

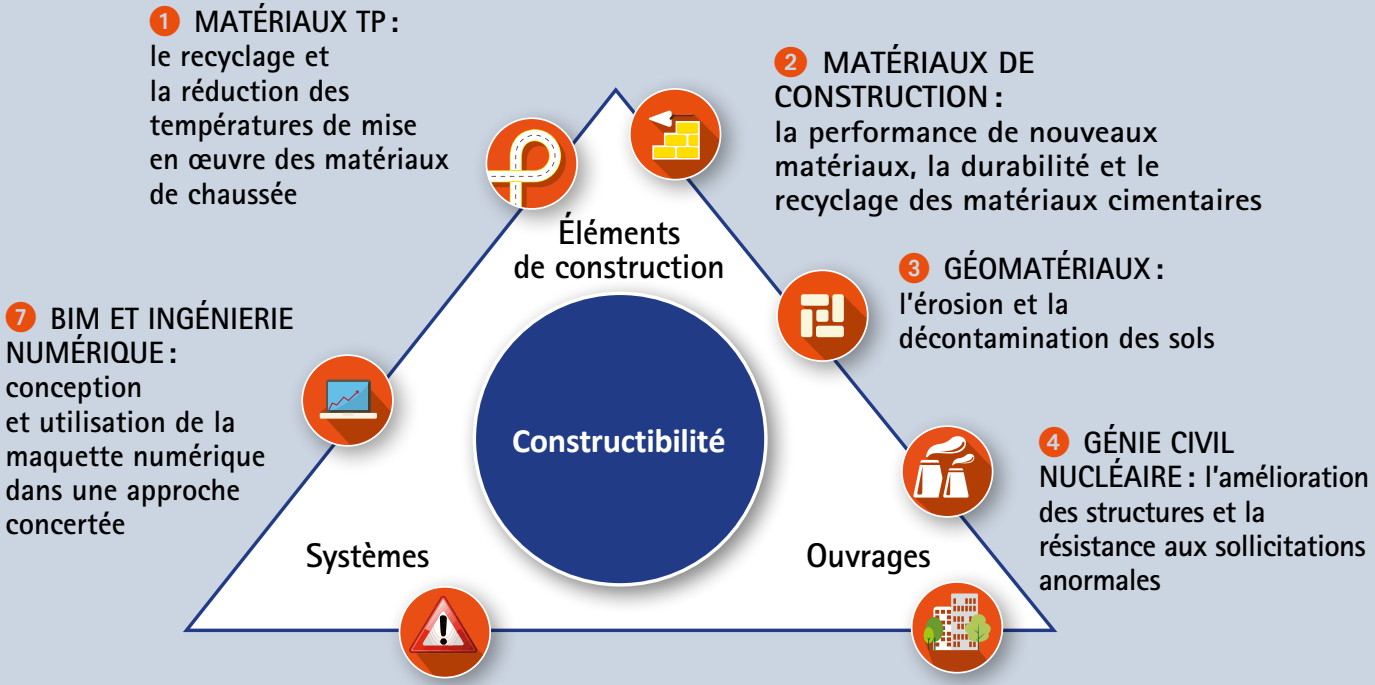
L'IRC étudie les principes de la constructibilité et les déploie sur l'ensemble de la chaîne de valeur d'un ouvrage : du composant, le matériau, constitutif de l'ouvrage à réaliser et lui-même environné dans un système en évolution. Les projets de recherche de l'IRC présentés dans ce rapport d'activité s'inscrivent dans chacun de ces niveaux au sein d'un programme d'application.

MOTS-CLEFS

Conception amont, performance, optimisation projet, qualité/coût/délai, ingénierie système, multicritère, transversalité, couple produit/process, chaîne de valeur, analyse fonctionnelle, cycle en V.

LES ÉCHELLES ET DOMAINES D'APPLICATION DE LA CONSTRUCTIBILITÉ À L'IRC

La représentation des disciplines scientifiques de l'IRC en lien avec les trois échelles de la constructibilité



1 MATÉRIAUX TP : le recyclage et la réduction des températures de mise en œuvre des matériaux de chaussée

2 MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION : la performance de nouveaux matériaux, la durabilité et le recyclage des matériaux cimentaires

3 GÉOMATÉRIAUX : l'érosion et la décontamination des sols

4 GÉNIE CIVIL NUCLÉAIRE : l'amélioration des structures et la résistance aux sollicitations anormales

5 CONSTRUCTION DURABLE : l'efficacité énergétique et le confort thermique

6 MANAGEMENT INTÉGRÉ ET MANAGEMENT DES RISQUES : l'aide à la décision par l'analyse des risques

7 BIM ET INGÉNIERIE NUMÉRIQUE : conception et utilisation de la maquette numérique dans une approche concertée

Les verrous de l'IRC

L'IRC vise à lever les verrous scientifiques suivants à travers trois programmes de recherche finalisée :

- **Matériaux constructifs :** amélioration de la valeur et de la recyclabilité des matériaux de construction, prédiction du comportement du matériau sur son cycle de vie y compris son ouvrabilité ;
- **Ouvrages durables :** moyens de garantie de la performance et de la conformité du fonctionnement d'un ouvrage ;
- **Systèmes urbains :** confrontation de l'inscription territoriale, conditions d'une transition numérique et digitalisation.

Ces verrous sont détaillés dans la matrice de lecture ci-dessous précisant l'approche propre de l'IRC : le développement de sujets transverses, leur analyse sur plusieurs échelles, la prise en compte des aspects produit et process et l'intégralité de la chaîne de valeur considérée. Le programme scientifique de l'IRC vise à lever progressivement ces différents verrous.

CONSTRUCTIBILITÉ

THÉMATIQUES	PRODUIT	PROCESS
MATÉRIAUX CONSTRUCTIFS	**Performance des Géomatériaux et Écomatériaux** ● Couplages multi-physiques et leur impact sur la performance des matériaux et des ouvrages de génie civil ● Conception et caractérisation de matériaux biosourcés, valorisation des déchets (industriels, végétaux...)	**Recyclabilité et Ouvrabilité** ● Développement d'outils innovants de caractérisation des déchets du BTP en vue d'une meilleure recyclabilité ● Interaction géomatériaux / modes constructifs et ouvrabilité dans un objectif de réduction de consommation des ressources naturelles
OUVRAGES DURABLES	**Performance du bâti et de l'infrastructure** ● Interactions matériaux / composants / ouvrage pour la caractérisation de la performance globale ● Définition d'indicateurs de performance associés aux fonctions d'ouvrage (nouvelles et existantes)	**Conception et Conformité** ● Méthodologies systémiques de garantie de la performance (dont la gestion intégrée des risques) ● Modélisation du comportement de l'ouvrage et de son processus de construction, simulation et mesure de sa performance (dont BIM)
SYSTÈMES « URBAINS »	**Inscription dans le territoire** ● Articulation avec l'aménagement des réseaux et des villes ● Influence des paramètres d'étude du système urbain (ex. : gestion de l'eau)	**Gestion et Résilience** ● Modélisation de systèmes complexes ● Outils de représentation et gestion du territoire (SIG, big data, digitalisation)

Les chaires d'enseignement et de recherche

L'ESTP Paris bénéficie de deux chaires Formation-Innovation-Recherche s'inscrivant dans la thématique de la constructibilité :

- La Chaire Génie Civil Nucléaire (GCN).
- La Chaire Ingénierie des Bétons (IdB).

Liées par des conventions de recherche avec des partenaires ou des contrats avec des entreprises, les chaires créent un continuum entre Recherche et Enseignement en permettant un focus spécifique sur la thématique ciblée par la création de programmes d'enseignement et de recherche et d'une gouvernance dédiée.

Les chaires d'enseignement et de recherche de l'ESTP Paris ont quatre objectifs principaux :

- Développer à l'ESTP Paris l'enseignement (initial et continu) et la recherche dans la discipline de la chaire ;
- Renforcer le corps enseignant et les moyens pédagogiques ;
- Favoriser les contacts des étudiants de l'ESTP Paris avec les professionnels, et leur information sur les divers métiers ;
- Valoriser l'activité de la chaire et ses partenaires par des actions de communication.

Les travaux scientifiques de chacune des chaires de l'ESTP Paris s'inscrivent dans la constructibilité. On s'intéresse plus particulièrement à l'élément de construction dans le cadre de la Chaire IdB et à l'échelle du bâtiment dans le cadre de la Chaire GCN, cependant, comme l'approche le suggère, des changements d'échelle sont également appréhendés. La description des chaires ainsi que les travaux s'y rapportant sont décrits dans les sections suivantes.

La Chaire Génie Civil Nucléaire (GCN)

La Chaire Génie Civil Nucléaire (GCN), constituée à l'ESTP Paris en 2009 autour des parties prenantes du secteur, est la première structure dédiée à la formation et à la recherche en génie civil nucléaire.

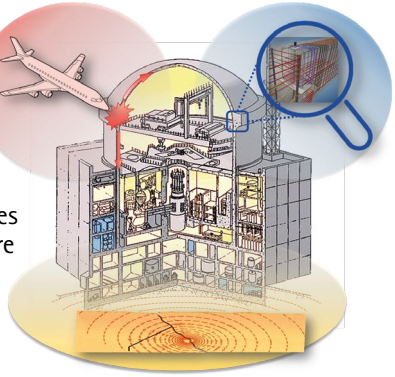
VOLET ENSEIGNEMENT

Le programme d'enseignement de 210 h est destiné aux étudiants de formation initiale français et étrangers de niveau master (cours en anglais). Il est proposé aux élèves ingénieurs de l'ESTP Paris en option de 3e année. Des professionnels partenaires assurent l'enseignement. Un Master international GCN a démarré à la rentrée 2015.

VOLET RECHERCHE

La recherche en GCN est coordonnée au travers du pôle de Recherche pré-Normatif en construction Nucléaire (RENON). Ce pôle de recherche, pour l'amélioration des codes et normes de génie civil pour favorablement impacter la constructibilité des structures nucléaires, a été mis en place conjointement avec l'IFSTTAR et les partenaires souhaitant le rejoindre. Dans ce cadre, la seconde thèse de doctorat relative au GCN a été soutenue en janvier 2016 et 5 thèses sont en cours.

Il convient de noter également que le pôle RENON a vocation à constituer la recherche du master vient s'adosser à vocation de constituer un vecteur de dissémination internationale des innovations françaises et des solutions techniques proposées par notre industrie. Il pourra aussi s'appuyer sur les actions de communication et dissémination de la chaire GCN telles que les conférences TINCE (Technological Innovations in Nuclear Civil Engineering) et la Section Technique Génie Civil et Architecture de la SFEN qui a été recréée dans ce cadre.



Ce pôle de recherche doit, par ces travaux, alimenter des dossiers robustes de démonstration des propositions d'évolution des normes sur des sujets divers et défendre la construction « à la française ».

Pour répondre à ces objectifs, RENON est bâti à ce jour autour de trois thématiques principales :

- La dynamique transitoire des structures : impact et explosion ;
- L'analyse des structures sous chargement sismique ;
- L'optimisation des méthodes de dimensionnement et la qualification de procédés et matériaux de construction innovants.

PARTENAIRES

AREVA, EDF, EGIS INDUSTRIE, NUVIA STRUCTURE, RAZEL-BEC, SPIE BATIGNOLLES, TRACTEBEL ENGINEERING, IFSTTAR (RENON)

CONTACT

Pierre Labbé
(Directeur RENON)
pierre.labbe@edf.fr

La Chaire Ingénierie des Bétons (IdB)

La Chaire Ingénierie des Bétons (IdB) a été créée en 2014 sous l'impulsion de l'industrie cimentière pour permettre une réflexion croisée entre le secteur industriel et le secteur académique de la construction et du génie civil

OBJET ET ORIENTATIONS DE LA CHAIRE

Le projet scientifique de la Chaire Ingénierie des Bétons vise à positionner l'ESTP Paris comme un acteur et un partenaire privilégié pour l'industrie cimentière. Les objectifs de la Chaire sont de développer une expertise dans la maîtrise des propriétés de nouveaux bétons et de leurs applications au travers de la mise en place d'un programme pédagogique nouveau et d'un programme de recherche.

MISSIONS DE LA CHAIRE

La Chaire IdB s'attache à comprendre et à suivre les évolutions en lien avec le béton :

- Pour proposer une formation toujours à la pointe dans les enseignements de l'ESTP Paris : les nouveaux matériaux, les nouvelles techniques de construction, les nouveaux métiers du béton ;
- Pour élaborer des programmes de recherche et de formation novateurs pour le secteur concerné ;
- Pour faire avancer la recherche académique et appliquée ;
- Pour créer de l'innovation autour du matériau béton.

VOLET ENSEIGNEMENT

Le programme de cours spécifique à la Chaire comprend un ensemble de modules approfondissant les notions correspondant à la maîtrise par les élèves Ingénieurs des connaissances dans le domaine des ciments et bétons ainsi qu'une approche métier renforcée. Ont été mis en place des cours uniques, en ligne avec la vision des professionnels et industriels de la construction, préparant les élèves Ingénieurs de l'ESTP Paris aux défis de la construction de demain dans un contexte complexe de transitions énergétique, environnementale et numérique. Ces cours portent, au-delà de la formation initiale, sur les matériaux et procédés constructifs innovants, l'approche performantielle, l'économie circulaire, l'analyse du cycle de vie des ouvrages et l'intégration au BIM sans oublier une ouverture sur l'international avec l'organisation d'une « Summer School » et d'enseignements en langue anglaise. Les cours sont assurés par des enseignants et des professionnels.

VOLET RECHERCHE

Le programme de recherche proposé est en adéquation avec les attentes de l'industrie cimentière partenaire portées par les associations représentatives de la filière (ATILH, CIMBETON, EFB). Un laboratoire Ingénierie des Bétons a été créé à l'ESTP Paris pour accueillir les activités de la chaire. Il est relié à l'Institut de Recherche en Constructibilité et accueille des stagiaires en Master II, TFE Recherche et des étudiants en Doctorat sur des thématiques inscrites dans la constructibilité telles que :

- Étude du comportement à l'état frais des bétons ;
- Matériaux et système constructifs de conception innovante ;
- Valorisation des ressources pour le bâtiment, les travaux publics et les routes ;
- Approche performantielle globale.

CONTACTS

Éric Croquesel
(Responsable de la Chaire IdB)
ecroquesel@estp-paris.eu

Johan Colin
(Responsable du Laboratoire IdB)
jcolin@estp-paris.eu

Sandrine Mansoutre
(Directeur EFB)
s.mansoutre@efbeton.com

Horacio Colina
(Directeur de la Recherche ATILH)
h.colina@atilh.fr

PARTENAIRES

VICAT, ÉCOLE FRANÇAISE DU BÉTON (EFB), ATILH, CIMbéton, FONDATION ESTP PARIS

LES PROJETS DE RECHERCHE

ÉCHELLE 1

LES MATÉRIAUX CONSTRUCTIFS

Objectifs

Accompagner et faciliter la mise au point du couple « Matériau / Contexte » ou d'éléments de construction compte tenu de leur contexte d'utilisation.

Verrous scientifiques

Les verrous scientifiques sont déclinés en deux types : verrous type « produit » et verrous type « process ». Les premiers sont liés à l'objet d'étude, c'est-à-dire les matériaux, tandis que les seconds rendent compte de la façon dont les recherches sont conduites. Les verrous « produit » sont d'une part les couplages multiphysiques et leur impact sur la performance des matériaux et des ouvrages de génie civil et, d'autre part, la conception et la caractérisation de matériaux biosourcés ainsi que la valorisation des déchets du BTP. Les verrous « process » sont le développement d'outils innovants de caractérisation des déchets du BTP en vue d'une meilleure recyclabilité et l'interaction matériaux/modes constructifs et ouvrabilité.

Axes scientifiques

L'approche de constructibilité implique implicitement la prise en compte de l'étude du comportement et des performances des matériaux dans leur environnement, de l'optimisation de leur processabilité et ouvrabilité ainsi que de leur cycle de vie et empreinte environnementale.

Objets d'étude

Les activités de recherche regroupées sous ce thème portent sur les sols, les matériaux routiers et les matériaux cimentaires et peuvent être étendues à tous types de matériaux de construction rentrant dans une démarche de constructibilité, élargissant les possibilités d'action de l'IRC à l'ensemble des éléments rentrant dans un projet de construction.

Les géomatériaux

Ce sont les études portant sur les ouvrages en terre et les interactions sol/structures. Elles ont pour but la caractérisation des géomatériaux rencontrés dans divers environnements par l'utilisation de méthodes géotechniques, physiques ou hydrauliques et l'étude des performances des ouvrages dans un objectif d'amélioration et d'optimisation de la conception, de la construction et de la maintenance des ouvrages. Les travaux concernent deux principaux axes : l'érosion interne et l'affouillement d'ouvrages hydrauliques et le traitement et la valorisation des sols et sédiments pollués.

Les matériaux de chaussées

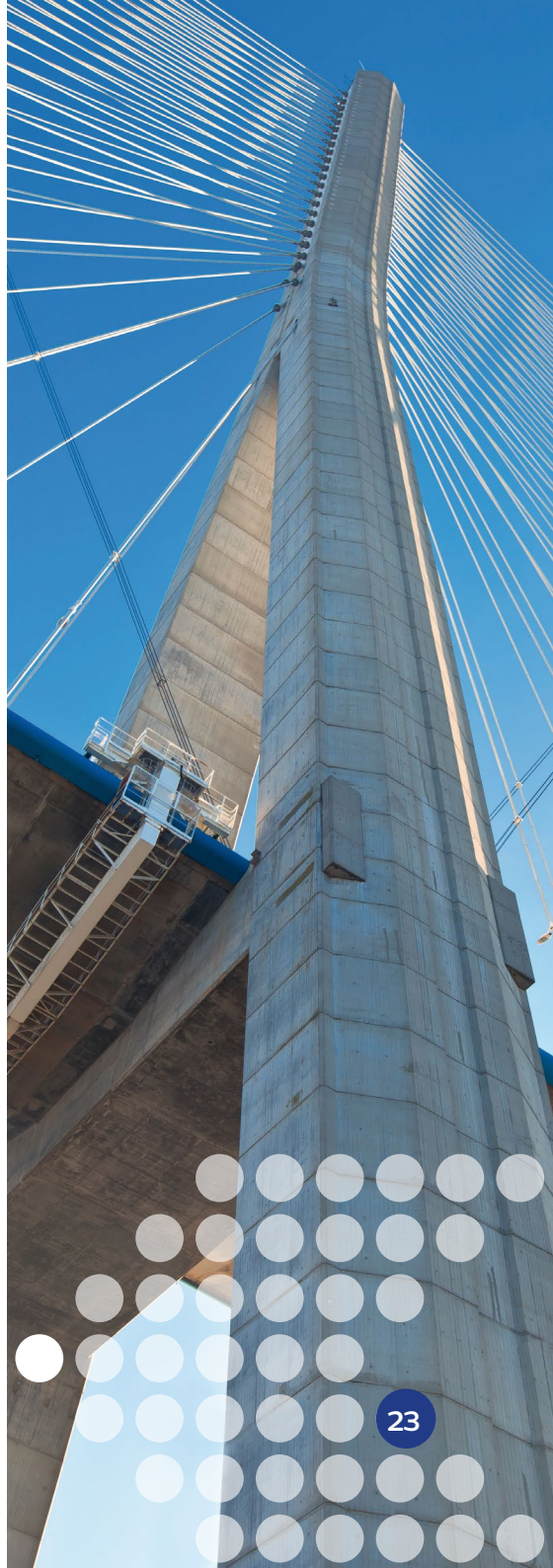
Les objectifs sont la valorisation de matériaux alternatifs à l'échelle des matières premières (liants bitumineux, granulats) ou des produits finis (matériaux bitumineux) pour assurer les économies d'énergie et de ressources naturelles en technique routière, que ce soit par des techniques traditionnelles ou par abaissement des températures de fabrication et mise en œuvre. Ces deux axes répondent aux préoccupations industrielles et scientifiques avec une forte orientation développement durable et « constructibilité » en alliant optimisation de la mise en œuvre (« ouvrabilité »), performances finales et durabilité des matériaux bitumineux. Les matériaux de chaussées sont également étudiés à l'échelle des systèmes urbains dans des projets plus globaux.

Les matériaux cimentaires

Sont à l'étude de nouveaux matériaux de substitution au ciment réduisant les émissions de CO_2 des processus de production actuels, la durabilité de matériaux renforcés en fibres naturelles ou encore la formulation de béton produit à base de matériaux de déconstruction pour garantir un impact environnemental limité.

Mots-clefs

Analyse fonctionnelle, analyse du cycle de vie, prise en compte des critères sociétaux (recyclage), établissement des performances intermédiaires, modélisation process, prototypage, critères normatifs (essais), économie circulaire, analyse de la valeur, « commissioning » (recette).



Traitement et valorisation de sols par des méthodes de type géopolymérisation

CONTACTS

Baba Hassane Ahmed Hisseini
bahmedhisseini@estp-paris.eu

Rabah Hamzaoui
rhamzaoui@estp-paris.eu

Abdelkrim Bennabi
abennabi@estp-paris.eu

PARTENAIRES

L'encadrement de la thèse est assuré par Rabah Hamzaoui (directeur de thèse) et Abdelkrim Bennabi (co-directeur). Les principaux partenaires du projet sont SAGA Ingénierie, DTP Terrassement et Glasgow Caledonian University.

CONTEXTE

Ce projet s'inscrit dans la continuité des travaux de recherche en géomatériaux et du traitement des sols et sédiments en particulier. Le contexte général est celui de la prise en compte de l'impact des activités de construction, et notamment de la construction routière, sur l'aménagement du territoire qui joue un rôle essentiel sur de possibles effets néfastes sur l'environnement naturel ainsi que sur les budgets d'investissement.

OBJECTIFS

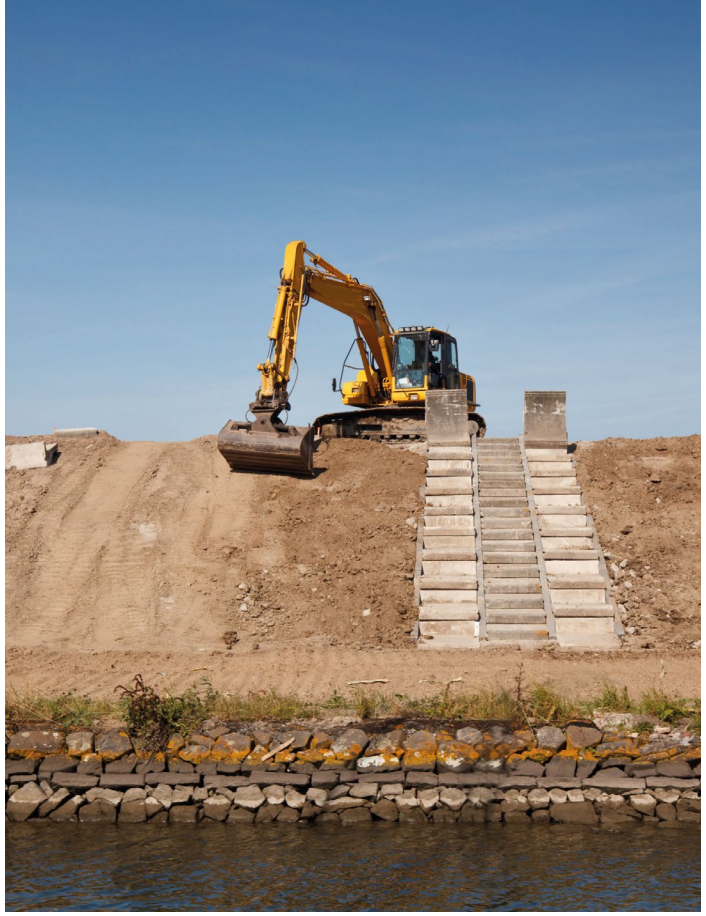
Ces préoccupations, tant écologiques qu'économiques, sont à l'origine de ce projet dont l'objectif est de développer des méthodes de traitement innovantes utilisables pour des sols pour lesquels les traitements classiques sont peu ou pas efficaces, voire néfastes et coûteux.

ACTIONS DE RECHERCHE

La thèse a commencé à l'automne 2017. La méthode de traitement envisagée est une méthode de type géopolymérisation et la première partie de la thèse, en plus de l'étude bibliographique consacrée à l'étude des traitements de sol, a porté et porte encore sur la formulation de géopolymères avec différents constituants (cendres volantes, métakaolin, laitiers) et différents activateurs (hydroxde de sodium, hydroxyde de potassium).

FAITS MARQUANTS ET RÉSULTATS

Une application concrète est en cours de réalisation et consiste à utiliser ce nouveau traitement à un sol naturel (limons des plateaux - Ile de France) rendu artificiellement impropre à un traitement traditionnel à la chaux ou aux liants hydrauliques, par incorporation de



sulfates. Le traitement est réalisé avec des cendres volantes activées à l'hydroxyde de sodium. Cette étude liminaire comprend la caractérisation physico-chimique et géotechnique du sol choisi, avant et après traitements (traitement classique, à la chaux et au ciment et traitement au géopolymère) et permet de donner les premières indications sur l'efficacité d'un tel traitement. Le programme de recherche va se poursuivre par l'étude de nouvelles formulations utilisant des laitiers ou du métakaolin et le traitement de différents types de sols pour lesquels les traitements classiques sont a priori inefficaces.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. Ces travaux ont fait l'objet de trois communications internationales (International Conference on Environmental Science and Technology, ICEST2016, Houston, USA).

Recherche de solutions constructives pour limiter l'érosion de piles de pont en présence de sédiment cohésif

CONTEXTE

Le sujet proposé s'inscrit dans la continuité des travaux de recherche entrepris à l'IRC depuis quelques années dans la thématique de l'érosion interne des sols et dans le cadre de sa participation au projet national ERINOH (ERosion INterne des Ouvrages Hydrauliques).

OBJECTIFS

La recherche visée porte sur l'analyse, à différentes échelles d'observation, des phénomènes responsables de l'affouillement autour des piles de pont. Elle repose sur la complémentarité avec d'autres types d'expérimentation telle que celle utilisant l'érodimètre EFA (Érosion Function Apparatus) ou de modélisations numériques.

ACTIONS DE RECHERCHE

L'objet de cette recherche est de pouvoir faire une comparaison des résultats avec des outils prédictifs de caractérisation des sols. Une méthode de prédiction de l'érosion locale autour des piles de pont ou de l'érosion due à la contraction sera appliquée grâce à l'utilisation de l'érodimètre EFA et du logiciel SRICOS (Scour Rate In COhesive Soils, Briaud et al., 2005). Les résultats de l'application de cette méthode particulièrement adaptée aux sols cohésifs et permettant d'obtenir une estimation de la vitesse d'érosion, seront comparés aux résultats obtenus à l'expérimentation sur le canal hydro-sédimentaire.

L'utilisation d'autres tests d'érosion pour caractériser le sol pourrait également être intéressante. Nous pourrions par exemple envisager de soumettre nos échantillons de sol au Jet Érosion Test (JET), celui-ci modélisant parfaitement l'écoulement descendant amont au droit de la pile de pont.

La PIV pourra être utilisée à la fois pour décrire le sillage de la pile de pont en réalisant des champs de vitesse sur des plans horizontaux

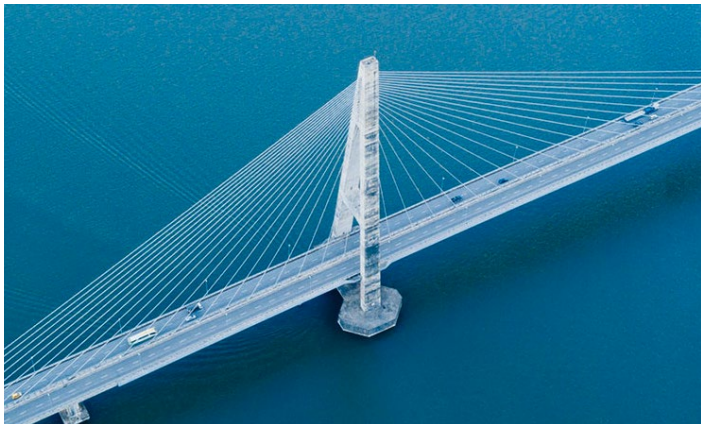
En outre, nous serons amenés à utiliser différents types de sol renforcés ou non et à considérer différents dispositifs pour permettre au système « pile de pont » d'être moins sensible au phénomène d'érosion de surface.

FAITS MARQUANTS ET RÉSULTATS

Un stage a démarré sur ce projet et devrait aboutir à la réalisation d'une thèse. Elle débutera au mieux en septembre 2018 et au plus tard en septembre 2019 selon notre avancement pour la recherche d'un partenaire et d'un directeur de thèse dans l'institut de recherche partenaire. En outre, l'EFA a fait l'objet de nombreuses prestations pour des industriels mais a aussi été utilisé pour la recherche (A. Bennabi et al., 2016).

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. A. Bennabi, G. Herrier, D. Lesueur, Lime treated soil erodibility investigated by EFA erosion testing, 8th International Conference on Scour and Érosion (ICSE 2016), 12-15 septembre 2016, Oxford (Royaume-Uni).



CONTACTS

Abdelkrim Bennabi
abennabi@estp-paris.eu

PARTENAIRES

L'IFSTTAR, coordinateur du projet national SSHEAR, serait un partenaire naturel pour réaliser cette thèse en cotutelle. Celle-ci bénéficiera de l'appui d'experts en géotechnique tel que le professeur Jean-Louis Briaud de l'Université A&M. du Texas.

Méthodes d'ingénierie pour l'étude du tassement et de la liquéfaction sismo-induits

CONTACTS

Pierre Labbé
(Encadrant et responsable du projet)
pierre.labbe@estp.fr

Abdelkrim Bennabi
(Co-encadrant)
abennabi@estp-paris.eu

PARTENAIRES

La thèse est réalisée dans le cadre du pôle de recherche prénormative RENON (cotutelle Université Paris-Est - IFSTTAR) sous encadrement de P. Labbé (ESTP Paris) et J-F. Semblat, Diecteur de thèse (IFSTTAR), avec la participation d'E. Javelaud (EDF) et A. Bennabi (ESTP Paris)

CONTEXTE

Aujourd'hui, l'analyse du risque de liquéfaction des digues sous séisme utilise des méthodes d'ingénierie assez rustiques qui procurent des marges à la conception. Pour exploiter ces marges en situation de réévaluation, on a recours à des calculs transitoires non linéaires sophistiqués pour modéliser finement la loi de comportement du sol et mettre en évidence les montées de pression interstitielle. Il n'existe pas de méthode intermédiaire entre approche 'rustique'et approche 'sophistiquée'. Cette situation est similaire à celle rencontrée pour l'étude du tassement sous séisme de sols en place ou d'ouvrages comme les digues.

OBJECTIFS

L'objectif des travaux de recherche est de développer une méthode d'ingénierie qui, sans nécessiter le recours à des calculs transitoires non linéaires, permettrait de prédire le résultat d'un tel calcul avec une bonne fiabilité. La méthode repose sur un comptage du nombre de cycles attendus sous séisme et une description statistique de leurs amplitudes, ainsi que sur une interprétation de la loi de comportement du sol qui permet de calculer la contribution d'un cycle élémentaire au tassement ou à la montée de pression interstitielle.

ACTIONS DE RECHERCHE

Les travaux de recherche sont en cours d'achèvement. Une première partie de ces travaux a porté sur le choix d'un ouvrage et de son modèle de comportement permettant la restitution des phénomènes de tassement et de montée de pression interstitielle sous séisme. La méthode a ensuite été développée par exploitation des résultats d'une étude systématique de la réponse de l'ouvrage choisi à une série de signaux sélectionnés et en parallèle par la mise au point

d'une méthode de prédiction de la réponse de l'ouvrage (tassement et pression interstitielle). Enfin, le caractère prédictif de la méthode a été testé sur un site et un évènement sismique particuliers.

FAITS MARQUANTS ET RÉSULTATS

La méthode développée a été utilisée pour simuler la liquéfaction sismique et les tassements volumétriques survenus dans la ville d'Urayasu au Japon lors du tremblement de terre de 2011. Les résultats obtenus, concernant notamment les zones calculées de liquéfaction ou de non-liquéfaction, sont en bon accord avec les valeurs relevées sur site. Les valeurs prédites des tassements concordent également bien avec les valeurs mesurées *in situ* sur les sites non liquéfiés.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

6 communications internationales.
2 communications nationales entre 2016 et 2018.

Bétons de déconstruction de plus de 50 ans et leur réutilisation

CONTEXTE

Les bétons de déconstruction sont des matériaux majoritairement dédiés au recyclage, vu l'intérêt économique ainsi qu'environnemental qu'ils représentent. Cependant, ces matériaux peuvent contenir des teneurs en métaux lourds toxiques et dangereux pour l'être humain ainsi que pour l'environnement dans lequel ils sont présents (comme déchets ou matériaux recyclés). Pour cela une étude approfondie en approche environnementale dans le cadre de la faisabilité de leurs recyclages est fortement recommandée. Il a été reporté que plusieurs bétons de déconstruction des années 50 et 60 sont susceptibles de contenir des teneurs importantes de chrome et plus précisément du chrome hexavalent. Cet élément représente un danger pour l'environnement et l'être humain et a fait l'objet de plusieurs études auparavant. La directive européenne EU 2003/53/CE a fixé la teneur du chrome hexavalent dans les ciments utilisés de nos jours à 2 mg/kg ce qui n'était pas le cas dans le passé ; des valeurs excédents les 100 mg/kg ont été reportées.

OBJECTIFS

Dans ce travail de thèse qui rentre dans le cadre du projet nationale RCYBETON s'intéresse à l'étude de l'influence de la carbonatation sur la lixiviation des métaux lourds de la matrice cimentaire des anciens bétons de déconstruction.

ACTIONS DE RECHERCHE

Les essais de lixiviation sont principalement réalisés sur des matrices monolithiques ainsi que granulaires, afin de comprendre le mécanisme du relargage du chrome hexavalent de la matrice cimentaire carbonatée ou non. Cependant, il est donc nécessaire de balayer les différentes formes de matrices étudiées (broyée, granulaire et monolithique) afin de mieux cerner le mécanisme de relargage. Une étude structurale approfondie a été menée.

FAITS MARQUANTS ET RÉSULTATS

Cette étude nous a permis de montrer que le CrVI est bien emprisonné dans la matrice cimentaire. Les anciens bétons de déconstructions sont inertes du point de vue du CrVI et ils peuvent être réutilisés.

PERSPECTIVES

Finaliser de la thèse doctorale et continuer sur la thématique de la caractérisation environnementale.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. O. Ben Maaouia, R. Hamzaoui, A. Bennabi, J. Colin, H. Colina, Étude de la stabilisation du chrome hexavalent dans les matrices cimentaires de bétons de démolition anciens, 35es Rencontres de l'AUGC, ECN/UN, Nantes, 22 au 24 mai 2017.

2. O. Ben Maaouia, R. Hamzaoui, A. Bennabi, J. Colin, H. Colina, Chromium trapping in the cement matrix : potential of leaching from RCA and stabilization, 2nd International RILEM/COST Conference on Early Age Cracking and Serviceability in Cement-based Materials and Structures - EAC2 12–14 September 2017, ULB-VUB, Brussels, Belgium.

CONTACTS

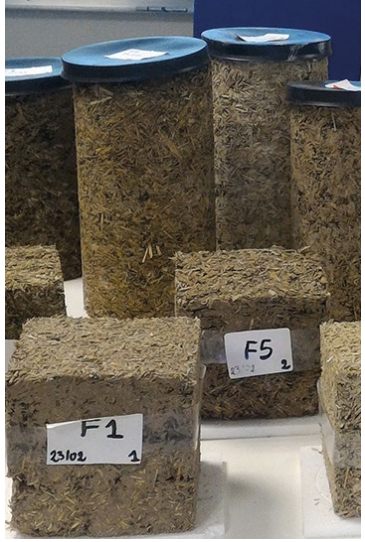
Rabah Hamzaoui
rhamzaoui@estp-paris.eu

Abdelkrim Bennabi
abennabi@estp-paris.eu

Johan Colin
jcolin@estp-paris.eu

PARTENAIRES

EFB (École Française du Béton qui finance la thèse), ATILH.



Valorisation des fibres végétales dans des matériaux cimentaires

CONTACTS

Rabah Hamzaoui
rhamzaoui@estp-paris.eu

PARTENAIRES

INRA, ENS CACHAN, VICAT, FRD.

CONTEXTE

La valorisation des fibres végétales est une alternative prometteuse dans le secteur de la construction. Les fibres synthétiques habituellement utilisées pour renforcer les matrices minérales sont, en général, d'origine organique comme les fibres de polypropylène ou de polyester. Les fibres d'acier, de fonte, de verre ou de carbone sont privilégiées pour améliorer considérablement les caractéristiques mécaniques des liants, des mortiers et des bétons. La laine de verre, les panneaux en polystyrène seuls ou combinés avec une matrice minérale ou organique sont autant de matériaux recommandés pour assurer l'isolation thermique des constructions. Cependant, la fabrication de ces renforts fibreux ou l'industrialisation de produits finis servant à l'isolation thermique, nécessitent d'une part des investissements parfois très coûteux et d'autre part, peuvent nuire à l'environnement par le dégagement de gaz polluants. Certaines productions de fibres synthétiques et artificielles peuvent constituer un risque avéré pour la santé. En combinant tous les aspects environnementaux, économiques et de durabilité, la recherche, dans le secteur du génie civil, s'oriente vers des matériaux et des renforts à fibres végétales en substitution ou en complément aux matériaux et aux renforts synthétiques et artificiels existants. Ces fibres peuvent répondre à la demande croissante et spécifique du secteur de la construction.

OBJECTIFS

L'objectif de ce travail consiste à utiliser des bétons ou mortiers fibrés à fibre végétale issus de productions locales.

ACTIONS DE RECHERCHE

Une étude sur le chanvre a pour but de trouver le pourcentage optimal de fibres de chanvre, de chènevotte ou du mélange des deux afin d'améliorer les propriétés mécaniques et thermiques des bétons fibrés.

FAITS MARQUANTS ET RÉSULTATS

Dans cette étude, nous avons montré que la combinaison entre les fibres de chanvre et de la chènevotte peut améliorer les propriétés mécaniques et permet l'augmentation du pourcentage d'utilisation de fibres végétales dans les bétons (mortiers).

PERSPECTIVES

Proposition de cette étude dans un projet national type ANR ou de région type Ademe.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. N. Mostefai, Contribution à l'élaboration et à la caractérisation de composites modifiés par des biopolymères, thèse soutenue le 3 juillet 2017 à l'université de Médéa Algérie.

2. R. Hamzaoui S. Guessasma, K. Abahri, Mechanical performance of mortars modified with hemp fibres, shives and milled fly ashes, 2nd International RILEM/COST Conference on Early Age Cracking and Serviceability in Cement-based Materials and Structures - EAC2 12–14 September 2017, ULB-VUB, Brussels, Belgium.

Clinkérisation et géopolymérisation par mécanosynthèse

CONTEXTE

Le ciment est le plus important constituant du béton, matériau le plus utilisé dans le monde après l'eau. Sa fabrication est cependant source de nombreux problèmes environnementaux du fait d'émissions très importantes de dioxyde de carbone (CO_22), 60 % lors de la fabrication du clinker (décarbonatation) et 40 % du fait de l'utilisation des combustibles. Aujourd'hui pour une tonne de clinker fabriqué, environ 0,8 tonne de CO_2 est émise dans l'atmosphère. Il est donc nécessaire de trouver des alternatives telles que la réduction de l'énergie fossile ou la substitution du ciment par d'autres matériaux moins émetteurs de CO_2 comme les géopolymères. La mécanosynthèse est une technique qui permet l'obtention de matériaux nanostructurés et nanocristallins. Il s'agit d'un processus de broyage à haute énergie utilisant des outils de broyage à billes et / ou barres conduisant à des transformations structurales et morphologiques. De plus, un raffinement des particules avec modification de la forme et une réduction de la taille des cristallites à l'échelle nanométrique se produisent. Tous ces effets conduisent à la mise au point d'un produit final constitué de poudres élémentaires mélangées pendant le processus de broyage et à la fabrication d'alliages amorphes thermiquement stables, de matériaux nanocristallins / nanostructurés et de matériaux nanocomposites à température ambiante.

OBJECTIFS

Élaboration d'un matériau de construction innovant respectueux de l'environnement. L'approche consiste à fabriquer un clinker équivalent et un produit géopolymère par mécanosynthèse.

ACTIONS DE RECHERCHE

Clinkérisation par mécanosynthèse : à partir d'un mélange de matières premières (calcaire et argile), fabrication d'un clinker équivalent plus respectueux de l'environnement à l'aide d'un broyage à très haute énergie. La géopolymérisation par mécanosynthèse consiste à fabriquer un produit géopolymère (poudre d'aluminosilicates alcali-activée) par broyage à haute énergie réagissant juste avec de l'eau.

FAITS MARQUANTS ET RÉSULTATS

Démonstration de l'adéquation de la technique de mécanosynthèse par la mise au point d'un clinker équivalent et d'un géopolymère réagissant directement avec de l'eau.

PERSPECTIVES

Étude approfondie : optimisation des conditions de broyage et caractérisation multicritères des deux produits développés.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. A. Bouaziz, R. Hamzaoui, S. Guessasma, R. Lakhal, D.I Achoura, N. Leklou, Experimental investigation on the influence of milling high energy on the structure and activity of granulated blast furnace slag, Powders Technology Volume 308, 15 February 2017, Pages 37-46.

2. O. Bouchenafa, R. Hamzaoui, A. Bennabi, J. Colin, Influence of PCA on structure of fly ashes and slag obtained by mechanosynthesis. Applications : Mechanical performance of substituted paste (CEMI + 50 % slag /or fly ashes), 2nd International RILEM/COST Conference on Early Age Cracking and Serviceability in Cement-based Materials and Structures - EAC2 12–14 September 2017, ULB-VUB, Brussels, Belgium.

CONTACTS

Rabah Hamzaoui
rhamzaoui@estp-paris.eu,

Abdelkrim Bennabi
abennabi@estp-paris.eu

Johan Colin
jcolin@estp-paris.eu

Othmane Bouchenafa
obouchenafa@estp-paris.eu

PARTENAIRES

EFB, ATILH, Université de Biskra, laboratoire GEM

Évaluation performancielle des matériaux bitumineux

CONTACTS

Anne Dony
adony@estp-paris.eu

Layella Ziyani
lziyani@estp-paris.eu

PARTENAIRES

INGEVITY, MALET, TOTAL, PN DVDC (GT1-3), ANR MOVEDVDC

CONTEXTE

L'utilisation de techniques répondant au développement durable (enrobés tièdes et/ou recyclés) devient classique voire indispensable en technique routière. Dans un concept de constructibilité, elle doit amener à des réflexions sur leur faisabilité technique, à différents stades de réalisation du projet : dans l'étape de la mise en œuvre (maniabilité/compactabilité), importante et essentielle, dans la chaîne d'élaboration d'un matériau pour infrastructure routière puis dans l'évaluation de la performance du produit fini sollicité par les cycles climatiques et le trafic. Déterminée très souvent au jeune âge, son évolution dans le temps permettrait de mieux appréhender la durabilité et l'entretien des chaussées. Elle soulève plusieurs questionnements, tels que le choix des outils technologiques ou scientifiques d'évaluation (adaptation ou développement) ou la pertinence des résultats de laboratoire par rapport au terrain.

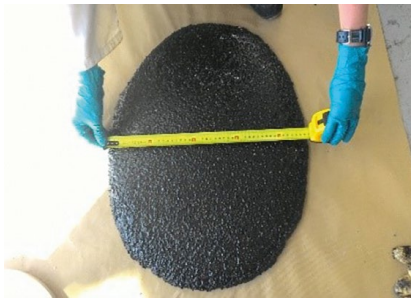
OBJECTIFS ET ACTIONS DE RECHERCHE

Les actions de recherche sont menées sur deux axes avec des niveaux d'avancement et de maturités différents.

- **Évaluation du matériau en place :** deux actions de recherche majeures collaboratives dans le cadre du projet national DVDC (Durée de vie des Chaussées) administré par l'IREX :

1. sur les interfaces de chaussées, développement d'un essai réalisable sur chantier afin de quantifier le collage de deux couches de chaussées dans la limite de sa pertinence (trois partenaires académiques et trois industriels),
2. sur les matériaux d'assises de chaussée, étude à différentes échelles (bitume/enrobé, expérimental/modélisation, labo/chantier) du comportement de matériaux afin d'évaluer leur état de vieillissement et d'endommagement. Le travail de l'IRC portera sur la caractérisation rhéologique et physico-chimique des liants (ANR MOVEDVDC : quatre partenaires académiques et quatre industriels).

- **Évaluation de la mise en œuvre :** par une action de recherche commencée depuis 2008 et toujours active sur la problématique de maniabilité (i.e. facilité de mise en œuvre non mécanisée sur chantier). Elle s'appuie notamment sur une approche expérimentale multi-échelle (liant bitumineux, mastic et enrobé), sur une large gamme de températures, avec des approches rhéologiques et technologiques, notamment l'étude du maniabilimètre normalisé de la profession routière. En 2017, une comparaison de différents outils et méthodologies d'essais sur enrobé a été amorcée dans le cadre du PN MURE par le biais d'un groupe de travail piloté par l'ESTP. Des travaux sur la maniabilité en partenariat (Ingevity en 2016 et Total en 2017) ont été poursuivis sur les asphaltes coulés. Utilisés sur des trottoirs urbains,



ces revêtements de chaussées, comportant une proportion importante de filler et un bitume spécifique ou additivé, sont appliqués manuellement à des températures très élevées (entre 160 et 210 °C). L'approche multi-échelle développée sur les enrobés a été transposée aux asphaltes. Une adaptation du maniabilimètre normalisé pour enrobés ainsi que l'utilisation d'un essai technologique dédié aux asphaltes et développé par la profession routière ont été étudiées.

FAITS MARQUANTS ET RÉSULTATS

- MOVEDVDC : Démarrage de l'ANR (montage projet, répartition tâches) avec huit partenaires académiques et industriels
- Résultats techniques et scientifiques sur la maniabilité des asphaltes :
- Mise en place de l'essai de maniabilité au seau au laboratoire : simple et représentatif de l'étalement de l'asphalte sur chantier.
- Difficulté d'adaptation du maniabilimètre normalisé pour les asphaltes (trop collants et denses et maîtrise difficile de la haute température)
- Intérêt de l'approche à l'échelle du mastic mais nécessité de considérer d'autres phénomènes que la viscosité du mélange (notamment interfaces) pour l'interprétation du comportement rhéologique
- Évaluation du comportement d'asphalte de trottoir avec différents liants bitumineux.

PERSPECTIVES

- Au niveau méthodologique : définition d'essais pertinents pour la maniabilité des enrobés (PN MURE notamment) et pour le collage des couches de chaussée (PN DVDC)
- Au niveau compréhension du comportement : évaluation de l'évolution des matériaux bitumineux en fonction des sollicitations thermique et mécanique (laboratoire/chantier) (ANR MOVEDVDC).

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. A. Dony ; I. Koutiri, E. Godard ; B. Pouteau ; A. Millien ; S. Ollier. Rapport de recherche/livrable DVDC/R/014, Vers une caractérisation performantielle in situ des interfaces des couches de surface-État de l'art ; juillet 2018
2. A. Daoudi ; A. Dony ; L. Ziyani ; N. Picard ; J. Buisson, How to evaluate with relevance the compactability of warm mixes using the gyratory compactor ?, Rilem 252-CMB Symposium, Braunschweig, septembre 2018.

Valorisation de matériaux alternatifs dans les techniques bitumineuses

CONTACTS

Anne Dony
adony@estp-paris.eu

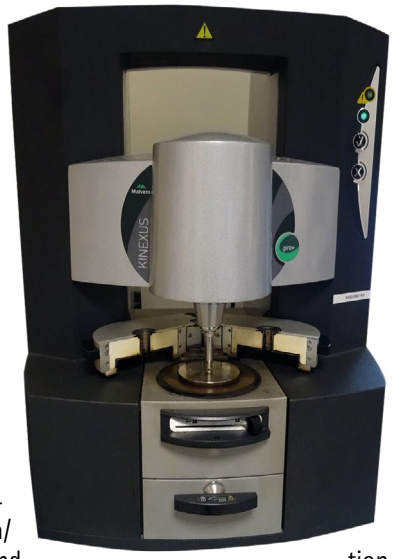
Layella Ziyani
lziyani@estp-paris.eu

PARTENAIRES

EUROVIA, CEREMA Méditerranée, ETS, PROBINORD, ONDULINE, ENSTP, USTHB

CONTEXTE

Le recyclage des enrobés bitumineux est une technique pratiquée depuis des décennies afin d'économiser les ressources naturelles non renouvelables et répondre aux exigences actuelles du développement durable. Couramment réalisé à chaud en France, ce recyclage est relativement bien maîtrisé lorsqu'il est effectué à faible taux, mais soulève quelques interrogations vis-à-vis de la remobilisation du liant vieilli des matériaux fraisés de la chaussée, appelés agrégats d'enrobés (AE), ou de la durabilité des enrobés recyclés, notamment à basse température et à fort taux d'AE. Conduit à froid en couplage aux procédés à l'émulsion de bitume, le recyclage est intéressant tant au niveau économique qu'environnemental, mais requiert une bonne connaissance des phénomènes physico-chimiques aux interfaces émulsion/matière minérale. Dans le domaine routier, on entend également par recyclage le fait d'incorporer des matériaux issus de déchets, comme les pneumatiques, les fibres végétales... dans les enrobés. L'intérêt d'une telle valorisation doit être vérifié au niveau technique ; l'influence de ces additifs à l'échelle de l'enrobé est donc à déterminer.



Rhéomètre.

OBJECTIFS ET ACTIONS DE RECHERCHE

- Recyclage à fort taux des enrobés (projet EVER) : une thèse CIFRE en partenariat avec Eurovia et le Cerema Méditerranée a démarré en mars 2017 et vise à étudier l'impact des additifs dits « régénérants » sur la durabilité des enrobés recyclés, notamment en évaluant les caractéristiques rhéologiques et physico-chimiques de mélanges liant vieilli/additif et en mesurant les propriétés mécaniques d'enrobés avec AE à des dosages en additif définis.
- Couplage recyclage/enrobé à froid : l'effet de cycles gel-dégel sur la résistance à l'abrasion des enrobés coulés à froid neufs et recyclés et les propriétés rhéologiques des liants récupérés a été considéré lors d'un stage Master en accompagnement d'une thèse avec ETS Montréal. Un second stage avait pour but de formuler des émulsions de bitume compatibles pour granulats et AE et déterminer les propriétés mécaniques des Bétons Bitumineux à l'Emulsion (BBE) neufs et recyclés au jeune âge et après mûrissement.
- Valorisation de fibres végétales dans les enrobés : dans le cadre d'une thèse avec l'ENSTP d'Alger, l'influence des fibres de palmier sur les caractéristiques thermomécaniques des liants et des enrobés est évaluée. En outre, un travail de stage Master en partenariat avec Onduline a porté sur la caractérisation physico-chimique de fibres cellulosiques imprégnées de bitume et issues de toitures et la détermination des propriétés mécaniques d'enrobés SMA (Stone Mastic Asphalt) à différentes teneurs en fibres.

FAITS MARQUANTS ET RÉSULTATS

Projet EVER

- Implémentation d'essais rhéologiques à basse température (plan-plan 4 mm).
- Obtention de caractéristiques conventionnelles et rhéologiques de mélanges liant vieilli/additif semblables à celles du bitume de référence selon la nature et le dosage en additif.

Viabilité de la combinaison recyclage/enrobé à l'émulsion :

- Bonnes propriétés de maniabilité et compactabilité des BBE neufs et recyclés, en comparaison avec les exigences normatives et tenue à l'eau satisfaisante après mûrissement.
- Nécessité de maîtriser la méthode accélérée de mûrissement en laboratoire pour obtenir une résistance à l'orniérage conforme aux spécifications.

Impact de l'ajout de fibres dans les enrobés :

- Existence d'une teneur optimale en fibres imprégnées permettant d'améliorer la compactabilité, la résistance en compression et la résistance à l'orniérage des SMA, en comparaison avec un SMA de référence sans fibres.
- Diminution de la pénétrabilité, augmentation de la température bille-anneau, de la viscosité et du module de rigidité du bitume avec l'augmentation de la teneur en fibres de palmier. Accroissement de la température critique des liants via des critères rhéologiques utilisés pour prédire la résistance aux déformations permanentes des enrobés.

PERSPECTIVES

- Valorisation de matériaux alternatifs contenant des fibres végétales, tels que les bardeaux d'asphalte ou les membranes bitumineuses, dans les enrobés neufs et recyclés avec AE (thèse en partenariat avec ETS).
- Développement du couplage recyclage/enrobé à l'émulsion dans un contexte africain (thèse en cotutelle avec l'INP-HB Yamoussoukro).

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. C. Tamburini ; L. Ziyani ; A. Dony ; C. Rohart ; E. Toraldo, Promotion of Bitumen-Impregnated cellulose fibres from lightweight roofing tiles in stone mastic asphalt, Rilem 252-CMB Symposium, Braunschweig, septembre 2018.

Intégration de la chaussée dans des projets globaux et nouvelles fonctionnalités

Pour une gestion coordonnée : routes et réseaux enterrés

CONTACTS

Anne Dony
adony@estp-paris.eu

Patricia Bordin
Patricia.Bordin@GeoSpective.fr

Antonin Pavard
apavard@estp-paris.eu

PARTENAIRES

Université Paris I – Panthéon Sorbonne, Université Paris VII – Denis Diderot, GRTgaz, Eurovia, Valentin, J.-P. Christory Consultant

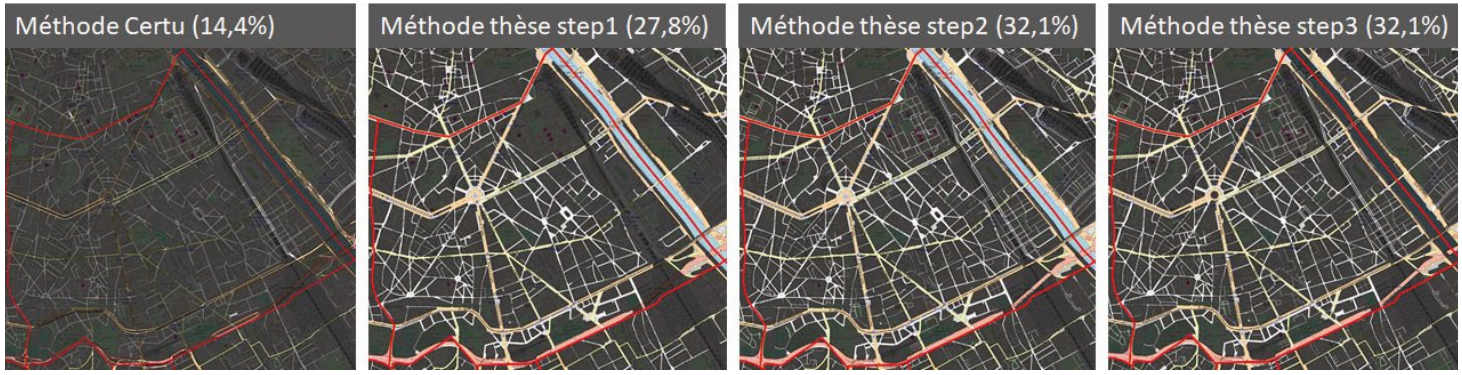
CONTEXTE

La densification des sous-sols urbains avec de nouveaux réseaux (tels que la fibre optique) et la réfection des plus vétustes (tels que l'assainissement) conduisent à une croissance des interventions.

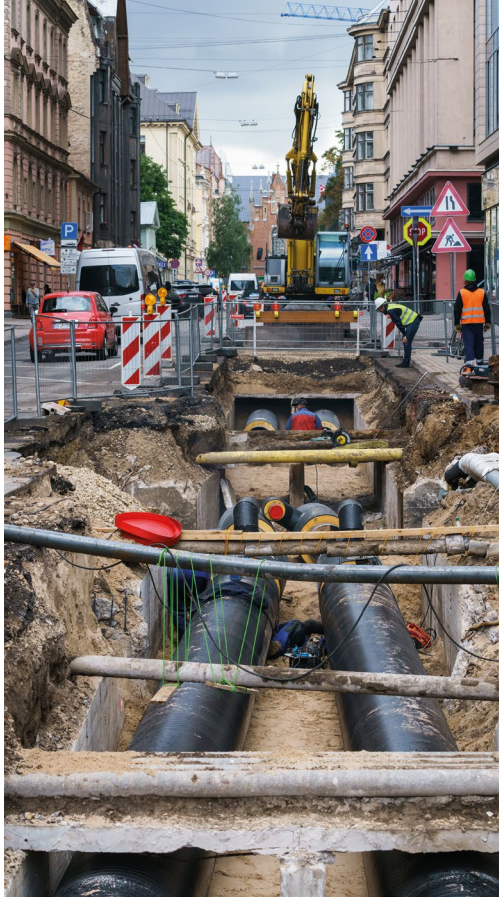
La gestion et la maintenance avec tranchées engendrent des gènes aussi bien pour les riverains et usagers que pour les gestionnaires de voirie et de réseaux. Leurs conséquences sont multiples : structurelles (ex. fragilisation de la structure de la voirie), esthétiques (couche de roulement en « patchwork »), économiques et sociétales (ex. coûts de réfection). Les méthodes sans tranchées réduisent ces aspects négatifs mais nécessitent une connaissance précise des sous-sols et des réseaux. Cependant l'ancienneté de certains réseaux s'accompagne d'un manque d'information, et d'un manque de documentations relatifs à leur maintenance (ex. imprécision des récolements). Des erreurs peuvent alors conduire à des coûts élevés voire à des accidents majeurs. Une gestion optimisée des interventions est un prérequis pour limiter ces inconvénients. Le développement d'une approche systémique de la voirie, intégrant routes et réseaux, visant la mise en place d'une démarche de coordination et d'organisation des interventions, permettrait conceptuellement d'apporter des éléments de solution.

OBJECTIFS ET ACTIONS DE RECHERCHE

Des recherches rapprochant routes et réseaux ont été commencées à l'IRC en 2013, à partir des travaux d'A. Dony (matériaux de chaussée) et de P. Bordin (modélisation des informations géographiques). S'intéressant aux impacts des interventions, leurs recherches se sont concentrées sur les relations entre maintenance de la voirie urbaine et présence de réseaux de distribution. Un premier état de l'art sur les matériaux et pratiques de gestion des réseaux sur le territoire national et à l'international a été réalisé lors de stages d'étudiants (2013 : 1 projet avec Paris VII, 2014-2017 : 7 stages longs, 2013-2015 : 4 courts, et 6 étudiants en projet recherche en 2015-2016 avec Paris VII et l'ENSG).



Méthode de calcul de l'emprise de la voirie, ex. 13e arr. de Paris (A. Pavard, 2018)



Une thèse portant sur une démarche de co-maintenance des routes et réseaux en milieu urbain a démarré en octobre 2017 avec un financement de la Fondation ESTP Paris. Elle vise à étudier les conditions de mise en œuvre d'une telle approche. Après une étude des processus de maintenance de la voirie et des réseaux de distribution, il s'agira de rapprocher les deux pour concevoir une démarche de constructibilité dans le but d'optimiser le système de maintenance voiries-réseaux.

À cette occasion, une synthèse de l'existant concernant la gestion de la voirie et celle des réseaux de distribution est menée. Elle intégrera une étude approfondie des outils et données utilisés pour la gestion de ces réseaux tels que les systèmes d'information géographique (SIG). Ces outils étant considérés ici comme structurant les connaissances et les données.

FAITS MARQUANTS ET RÉSULTATS

- Communications en 2013 et 2015 à la conférence internationale INFRA (Canada) spécialisée sur les pratiques associées aux infrastructures urbaines et à leur gestion.
- Validation et financement d'une thèse par la fondation de l'ESTP Paris sur une démarche de co-maintenance des routes et réseaux en milieu urbain.
- Premières estimations de l'espace voirie en milieu urbain.
- Comparaison de méthodes existantes, élaboration en cours d'une méthode originale.

PERSPECTIVES

- Au niveau de la gestion coordonnée routes et réseaux enterrés :
- Étude des conditions de réalisation d'une co-maintenance (élaboration d'un processus de mise en œuvre en identifiant les freins techniques et sociologiques).
- Conception d'un outil support basé sur un SIG permettant d'élaborer et tester une modélisation systémique voiries-réseaux, dans un objectif de co-maintenance.
- Au niveau général de la sous- thématique, intégration de la dimension 3D dans la modélisation de la structure de voirie (passage SIG au BIM / CIM)

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. A. Pavard, P. Bordin, A. Dony, Modélisation SIG de la voirie, communication au congrès INFRA 2018, 20/11/2018, Québec (Canada).

Thèses de doctorat en cours à l'échelle du matériau

« Zeolite treatment in heavy metal contaminated sediment with the use of Solidification and Stabilization ».
➜ Dafni Stavraka, Abdelkrim Bennabi, Nicholas Hytiris.

« Traitement et valorisation de sédiments pollués par des méthodes de type géopolymérisation »,
➜ Baba Hassane Ahmed Hisseini, Abdelkrim Bennabi, Rabah Hamzaoui.

« Impacts d'hétérogénéités granulaires sur l'érosion interne par suffusion de sols constitutifs d'ouvrages hydrauliques : programme expérimental et modélisation ED / SPH/stochastique »,
➜ Jean Bruce Nataniel Gboga Ouaga, Abdelkrim Bennabi, Adrien Poupardin, Jean-Claude Dupla, Athanas Konin.

« Optimisation d'une méthode de production de fines pouzzolaniques par Mécano-Alkali-Activation et leur ouvrabilité dans les matériaux cimentaires ».
➜ Othmane Bouchenafa, Abdelkrim Bennabi, Johan Colin, Rabah Hamzaoui.

« Étude de l'impact physico-chimique des liants dits « régénérants » sur la constructibilité (performance et durabilité) des enrobés recyclés ».
➜Faycal Lahjiri, Anne Dony, Virginie Mouillet.

« Comportement rhéologique des bitumes modifiés par des fibres de palmiers ».
➜Youcef Bellatrache, Layella Ziyani, Mohamed Taki, Smail Haddadi.

« Étude de choix constructifs pour garantir la mise en œuvre et la durabilité des enrobés recyclés à l'émulsion de bitume ».
➜ Yacouba Konate, Anne Dony, Layella Ziyani, Xavier Château, Athanas Konin.

« Étude du comportement thermomécanique des enrobés contenant des granulats bitumineux et des bardeaux d'asphalte recyclés ».
➜ Abdeljalil Daoudi, Anne Dony, Alan Carter.

« Élaboration et caractérisation de liants géopolymères à base de cendres volantes, de laitiers et d'argiles marocaines ».
➜ Maroua Zerzouri, Layella Ziyani, Rabah Hamzaoui, Saliha Alehyen.

« Constructibilité à l'interface entre voirie et réseaux enterrés. Interactions entre voirie et réseaux. »
➜ Antonin Pavard, Patricia Bordin, Anne Dony, Bruno Tassin

Thèses de doctorat soutenues à l'échelle du matériau

« Évaluation de l'évolution des performances et du comportement des enrobés coulés à froid notamment avec matériaux recyclés ».
➜ Arbia Garfa, Anne Dony, Alan Carter ; 14/03/2018.

« Impact de la rhéologie des matériaux cimentaires sur l'aspect des aprements et les procédés mis en place ».
➜ Edgar Chuta, Jena Jeong, 26/06/2018

« Aptitude des granulats issus des bétons de déconstruction à la réutilisation, vis-à-vis du CrVI : Impact des propriétés de la matrice cimentaire et identification des mécanismes de relargage ».
➜Oumeima Ben Maaouia, Abdelkrim Bennabi, Rabah Hamzaoui, 14/12/2018.

Nouvelles thèses à l'échelle du matériau démarrées en 2017 et 2018

« Impacts d'hétérogénéités granulaires sur l'érosion interne par suffusion de sols constitutifs d'ouvrages hydrauliques : programme expérimental et modélisation ED/SPH/stochastique »

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Les projets de construction d'ouvrages hydrauliques, tels que les digues par exemple, nécessitent souvent d'associer les phases de conception et de réalisation, de façon à intégrer dans la phase de conception des éléments liés spécifiquement à la phase de réalisation. D'une manière générale, il faut tenir compte du mode de construction et des systèmes constructifs de l'entrepreneur et la façon dont ils peuvent influer sur le projet, cela concerne par exemple l'accès au site, le contrôle des flux d'eau et des dérivations, les séquences d'intervention sur site, les fenêtres météo et la manipulation des matériaux.

Ces ouvrages sont dimensionnés en tenant compte des risques d'érosion interne qui se manifeste de plusieurs manières dans les sols constitutifs des ouvrages hydrauliques.
Il est possible de distinguer quatre grandes classes de phénomènes : l'érosion régressive, l'érosion de contact, l'érosion de trou et l'érosion interne par suffusion.

La suffusion, comme les autres phénomènes, a fait l'objet de nombreuses recherches. Ces dernières trouvent leurs justifications dans la nécessité de mieux contrôler le comportement des sols soumis à des écoulements pouvant provoquer leur instabilité et risquant de conduire à la ruine des ouvrages. Même s'il existe de nombreuses références portant sur différents aspects liés à la suffusion, certains phénomènes physiques, à l'origine d'instabilités des sols par suffusion, n'ont pas été suffisamment étudiés. Il s'agit de phénomènes liés à des hétérogénéités, telles que celles provoquées par la ségrégation des sols au moment de leur mise en œuvre. Ségrégés, les sols constitutifs d'ouvrages hydrauliques ne se comportent pas nécessairement comme des sols homogènes vis-à-vis des phénomènes d'érosion interne et il devient alors indispensable d'étudier leur comportement et d'évaluer les performances des ouvrages, dimensionnés sur la base d'une hypothèse d'homogénéité des sols.

Sur le plan de la méthodologie, cette thèse peut être décomposée en deux parties complémentaires :

- une partie expérimentale :
  - essais de suffusion en colonnes avec différentes configurations de sols hétérogènes ;
  - essais sur sols ségrégés lors de la mise en place ;
  - essais mécaniques (à l'essai triaxial) destinés à une corrélation avec les résultats des essais de suffusion.

- Une partie modélisation :
  - modèle spatialement distribué afin de représenter l'hétérogénéité granulaire du milieu ;
  - modélisation de l'écoulement diphasique eau–particules avec prise en compte des hétérogénéités granulaires.

VERROUS SCIENTIFIQUES

Les verrous scientifiques sont les couplages multiphysiques et leur impact sur la performance des matériaux et des ouvrages. En effet, la présence simultanée des particules solides mises en mouvement par un fluide nécessite le recours à des modélisations couplant les comportements respectifs des deux phases.

FINANCEMENT

Contrat de Désendettement et de Développement (C2D), Côte d'Ivoire, Institut National Polytechnique Felix Houphouët Boigny (INP HB)

CONTACTS

Directeurs de thèse : **Jean-Claude Dupla, Athanas Konin**

Co-encadrants : **Abdelkrim Bennabi, Adrien Poupardin**

Doctorant : **Jean-Bruce Nataniel Gboga Ouaga**

PARTENAIRES

ESTP YAMOUSSOUKRO, SIE UPE (co-tutelle)

« Traitement et valorisation de sédiments pollués par des méthodes de type géopolymérisation »

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le contexte dans lequel s'inscrit ce travail de recherche est celui de la préservation de la durabilité des ouvrages, du respect de l'environnement et de la maîtrise économique des projets de construction.
Depuis une dizaine d'années, on note un engagement des professionnels vers une gestion rationnelle des sols excavés.
Des efforts de recherche restent cependant nécessaires pour la valorisation de matériaux locaux marginaux pour lesquels les traitements traditionnels sont inopérants

VERROUS SCIENTIFIQUES

Les techniques de traitement de sols et sédiments, malgré leur diversification depuis quelques années et l'utilisation de produits innovants à base de coproduits industriels par exemple, restent incapables de traiter tous les sols rencontrés dans des conditions économiques satisfaisantes. Il y a alors besoin d'une part d'expérimentations en laboratoire pour vérifier les résultats de formulations innovantes de traitement et pour comprendre les processus physico-chimiques susceptibles d'améliorer les propriétés d'usage des sols traités (résistance, durabilité) ainsi que les propriétés environnementales.

FINANCEMENT

Contrat industriel

CONTACTS

Directeur de thèse : **Rabah Hamzaoui**
Co-encadrants : **Abdelkrim Bennabi**
Doctorant : **Baba Hassane Ahmed Hisseini**

PARTENAIRES

Entreprise BEC (Tchad), SIE UPE.

« Étude de l'impact physico-chimique des liants dits « régénérants » sur la constructibilité (performance et durabilité) des enrobés recyclés »

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Garantir la durabilité des enrobés bitumineux recyclés.
Pour ce faire, il est nécessaire d'évaluer leurs propriétés chimiques et mécaniques à long terme et de caractériser les liants d'apport.

VERROUS SCIENTIFIQUES

- Peu d'informations sur le mécanisme d'action des régénérants, composés destinés à remobiliser le liant des agrégats d'enrobés ;
- Loi actuelle de mélanges liant neuf/ liant vieilli ne tient compte que des propriétés conventionnelles des liants.

FINANCEMENT

CIFRE

CONTACTS

Directeurs de thèse : **Virginie Mouillet, François Hénin**
Co-encadrants : **Anne Dony, Layella Ziyani**
Doctorant : **Faycal Lahjiri**

PARTENAIRES

EUROVIA, CEREMA

« Étude de choix constructifs pour garantir la mise en œuvre et la durabilité des enrobés recyclés à l'émulsion de bitume »

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Dans une démarche de vaste réhabilitation des chaussées en Côte d'Ivoire, la technique d'enrobé à l'émulsion de bitume couplée avec du recyclage est une voie de développement intéressante mais pointue.

L'objectif est de comprendre et maîtriser les différents phénomènes physico-chimiques et mécaniques avec les matériaux ivoiriens à différents stades d'évolution du matériau.

VERROUS SCIENTIFIQUES

- Compatibilité chimique entre émulsions de bitume et matériaux granulaires ivoiriens.

- Détermination de la mouillabilité d'une émulsion sur granulats et agrégats d'enrobés en fonction de paramètres de composition et formulation et paramètres hydrique et de température.

- Influence des molécules tensioactives sur les propriétés au jeune âge et à long terme des enrobés à l'émulsion neufs et recyclés.

FINANCEMENT

Contrat de Désendettement et de Développement (C2D), Côte d'Ivoire, Institut National Polytechnique Felix Houphouët Boigny (INP HB)

CONTACTS

Directeurs de thèse : **Xavier Château, Athanas Konin**
Co-encadrants : **Anne Dony, Layella Ziyani**
Doctorant : **Yacouba Konate**

PARTENAIRES

ESTP YAMOUSSOUKRO, SIE UPE (co-tutelle)

ÉCHELLE 2

LA CONSTRUCTIBILITÉ DES OUVRAGES

Objectifs

Accompagner et faciliter la mise au point des objets constitutifs du cadre de vie en conformité avec les attentes des utilisateurs finaux.

Verrous scientifiques

L'objectif commun des projets afférents au programme de recherche Ouvrages Durables est d'aider, d'accompagner et de faciliter l'innovation technologique afin de réaliser des ouvrages plus performants dans les volets : efficacité énergétique, bilan carbone et qualité interne, gestion des risques, à travers la démarche de la constructibilité.
Les verrous à lever concernent à la fois le process (de conception, de réalisation, de gestion) et le produit (les composants aussi bien que l'ouvrage).
Au niveau du process les verrous concernent, les manques de la prise en compte des diverses fonctions de l'ouvrage ; du comportement systémique du bâtiment ; la méconnaissance du comportement thermo-physique des sous-systèmes composant l'ouvrage, des mutuelles interdépendances sur les performances globales de l'ouvrage.
Tout ce qui se reflète (et qui peut être synthétisé) dans l'absence de méthodes de conception et procédés adaptés à une approche systémique à l'ouvrage tout au long de son cycle de vie.
Les verrous au niveau du procès sont liés à ceux qui concernent le produit, l'ouvrage :

- La méconnaissance du comportement thermo physique de systèmes innovants qui peuvent améliorer la performance de l'ouvrage ;
- Une définition et une représentation inadéquates ou non satisfaisantes de la performance ;
- La méconnaissance des relations entre la performance du composant et la performance globale de l'ouvrage tout au long de son cycle de vie.

Plus en synthèse, les verrous à lever au niveau produit concernent la caractérisation de la performance systémique de l'ouvrage et de ses composants.

Axes scientifiques

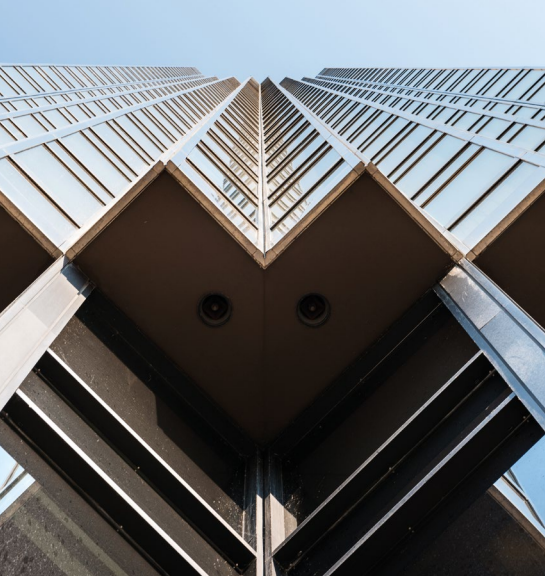
Cette échelle concerne les études de structures du génie civil nucléaire, leurs interactions externes ou internes ; l'efficacité énergétique des bâtiments ; les études sur le confort thermique et les composants de façade et d'enveloppe.
L'analyse fonctionnelle d'un besoin, la maîtrise des risques d'un projet de construction et les méthodes de représentation d'un ouvrage en BIM sont plus spécifiquement déployées à l'échelle de l'ouvrage mais en fonction des sujets d'étude, les dimensions de l'élément ou du territoire peuvent être considérées.

Objets d'étude

Le programme de recherche Ouvrages Durables se concentre à la fois sur les constructions au service de la collectivité, comme les logements et les bâtiments tertiaires, et sur les ouvrages stratégiques comme les bâtiments des sites nucléaires ou les systèmes de barrages ou digues.

Mots-clefs

Cohérence du CDCF, traitement des données (scénarisation), gestion des compétences, gestion qualité, gestion risques, simulation des performances, représentation de l'ouvrage, ouvrabilité (pénibilité et sécurité), gestion des interfaces, réduction des pertes, commissionnement.



Constructibilité et évaluation de la performance : processus et innovation

CONTACTS

Andrea Kindinis
akindinis@estp-paris.eu

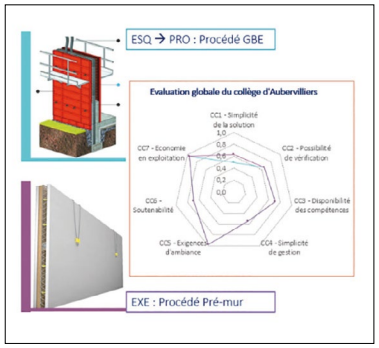
Francesca Contrada
fcontrada@estp-paris.eu

PARTENAIRES

eErg Research Group – Politecnico di Milano ; COST TU1403 ; Laboratoire BestLab EDF ; Faculty of Architecture and Fine Art ; NTNU, Norwegian University of Science and Technology. PMG ; Università di Firenze ; Efficacity.

CONTEXTE

Le secteur de la construction est en évolution rapide, poussé par les exigences d'efficacité énergétique et de haute qualité du confort intérieur. Des nouvelles solutions d'enveloppe transparentes et opaques à comportement dynamique, aussi bien que des nouveaux terminaux de systèmes de chauffage/refroidissement, apparaissent sur le marché. L'IRC a pour objectif d'accompagner la gestion de ces technologies, ainsi que leur développement, à l'aide de la constructibilité.



ACTIONS DE RECHERCHE

Les actions concernent l'évaluation de la performance du bâtiment et l'intégration des solutions de façade innovantes dans le processus de construction. La problématique est traitée à l'échelle du composant d'enveloppe et du système bâtiment. L'évaluation de la performance de composants dynamiques se fait ainsi à travers plusieurs méthodes.

Une étude a porté sur les procédures expérimentales et de simulation pour la caractérisation des indicateurs de performance des nouveaux systèmes d'enveloppe. Les procédures expérimentales ont été étudiées à travers une modélisation numérique et ensuite vérifiées à travers les tests effectués sur des cellules-test de nouvelle conception. Un stage a concerné l'évaluation de la performance énergétique et du niveau de confort obtenu à travers des planchers rayonnants associés à diverses stratégies de ventilation. Une autre étude a proposé une nouvelle méthode de caractérisation des composants d'enveloppe intégrant des matériaux à changement de phase. La méthode prévoit d'évaluer les nouvelles solutions technologiques à travers une analyse technologique concernant le processus (mise en œuvre, production, maintenance) et une simulation énergétique. Une dernière étude a porté sur la proposition d'une nouvelle méthode permettant d'optimiser les paramètres thermo-optiques caractérisant les vitrages à adaptation solaire. La méthode prévoit l'association d'un algorithme d'optimisation à un outil de simulation afin de réaliser une optimisation des deux paramètres en post-traitement.

À l'échelle du système bâtiment, le lien entre les critères de constructibilité et les performances intrinsèques du bâtiment a été analysé sur le plan de l'interopérabilité entre les outils de simulation énergétique et les outils de gestion du projet (tel que le BIM), ainsi que sur le plan méthodologique. Ces analyses ont permis de proposer une nouvelle méthode d'évaluation permettant de vérifier la pertinence du pré-design vis-à-vis des spécifications programmatiques et de la faisabilité technique de l'ouvrage. L'évaluation proposée repose sur l'analyse de sept critères. Chacun des critères permet la prise en compte de l'ensemble des étapes du cycle de vie du bâtiment.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. G. Cattarin, L Pagliano, F. Causone, A. Kindinis, F. Goia, S. Carlucci, C. Schlemminger. Empirical validation and local sensitivity analysis of a lumped parameter thermal model of an outdoor test cell (2018) Building and Environment, 130, pp. 151-161.

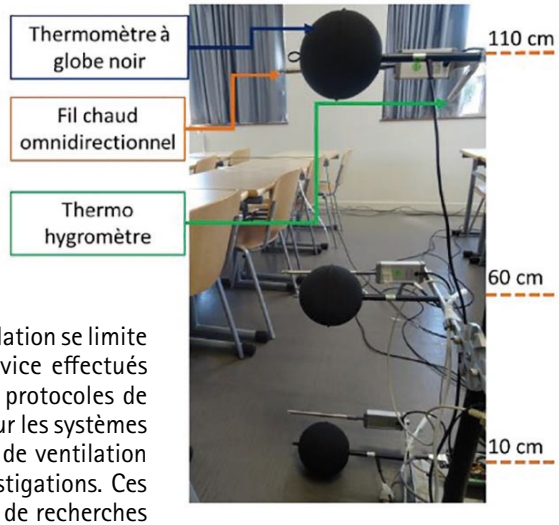
2. G. Cattarin, L. Pagliano, F. Causone, A. Kindinis. Empirical and comparative validation of an original model to simulate the thermal behaviour of outdoor test cells (2018) Energy and Buildings, 158, pp. 1711-1723.

3. L. Pagliano, G. Cattarin, F. Causone, A. Kindinis. Improved methods for the calorimetric determination of the solar factor in outdoor test cell facilities (2017) Energy and Buildings, 153, pp. 513-524.

Constructibilité et commissionnement des systèmes de ventilation : qualité du climat intérieur et efficacité de ventilation

CONTEXTE

Le commissionnement est un processus permettant de garantir les performances définies en phase de conception, conformément aux exigences fixées par les normes ainsi qu'aux besoins opérationnels du client. Il s'inscrit dans une démarche de constructibilité qui vise à définir la performance dès l'amont d'un projet. Le commissionnement de la ventilation se limite aujourd'hui à des tests de mise en service effectués lors de la livraison de l'ouvrage. Si des protocoles de commissionnement sont bien définis pour les systèmes de ventilation mécanique, les systèmes de ventilation naturelle nécessitent d'ultérieures investigations. Ces problématiques font l'objet des travaux de recherches menés à l'IRC qui consistent à analyser et développer des nouvelles méthodes et des protocoles d'évaluation expérimentale adaptés aux systèmes de ventilation naturelle et mécanique.



ACTIONS DE RECHERCHE

Les actions de recherche portent sur les performances globales de la ventilation pour les espaces confinés et concernent donc la caractérisation de la qualité environnementale des espaces internes.

Concernant les performances globales, une des actions consiste à identifier les limites des méthodes d'évaluation du confort thermique en fonction du type de ventilation, à travers le test des différentes théories et indices d'évaluation. Ces tests permettent d'estimer l'écart entre le confort thermique calculé à partir des mesures physiques (selon les théories statique et adaptative) et celui perçu par les occupants (à travers des indices dérivés de questionnaires sur la sensation et la perception subjective).

Quant aux performances intrinsèques traduites par les taux de ventilation et les indices d'efficacité de ventilation (capacité d'un système de ventilation à dépolluer ou approvisionner en air neuf un local), notre action concerne le développement d'une méthode de mesure basée sur les techniques de gaz traceurs, valable en ventilation naturelle. Cela consiste à proposer une combinaison robuste de techniques utilisées en ventilation mécanique pour la mesure des paramètres et des indices d'efficacité de renouvellement d'air : les âges moyens (temps entre l'entrée d'une particule d'air et son arrivée à un point donné du local).

Une comparaison entre plusieurs méthodes expérimentales a permis d'estimer l'erreur commise par la mise en place de protocoles de commissionnement employant outils de mesure et protocoles plus abordables et plus facilement utilisables.

Une dernière action a concerné la réalisation d'un état de l'art sur la qualité de l'air en termes d'indication et relevance fournis par les standards français et par les labels internationaux et nationaux ; d'indicateurs permettant son évaluation et d'outils et de méthodes de mesure expérimentale.

PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES

1. Y. Allab, M. Pellegrino, X. Guo, E. Nefzaoui, A. Kindinis. Energy and comfort assessment in educational building, case study in a French university campus (2017). Energy and Buildings 143, 202-219.

CONTACTS

Andrea Kindinis
akindinis@estp-paris.eu

PARTENAIRES

Efficacity ; École Nationale des Arts et Métiers ; eErg Research Group – Politecnico di Milano ; Laboratoire Mécanique de Lille ; Università di Pisa ; Lhirr Paris.

RENON
Mécanique des structures – Génie Civil Nucléaire

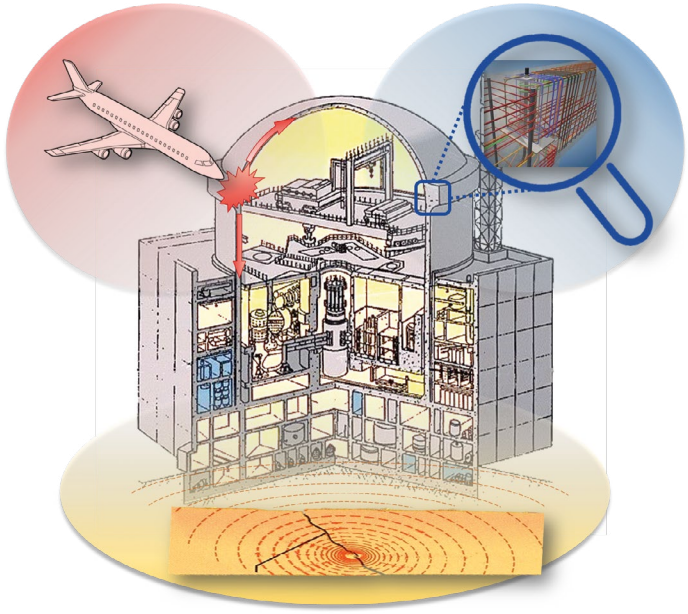
CONTACTS

Pierre Labbé (Directeur)
pierre.labbe@estp.fr

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Dans le cadre de la chaire de Génie Civil Nucléaire de l'ESTP Paris, un pôle REcherche pré-Normative en cOnstruction Nucléaire (RENON) a été créé associant l'ESTP Paris et l'IFSTTAR. Son objectif est de contribuer à l'amélioration des codes et normes de génie civil pour favorablement impacter la constructibilité des structures nucléaires.

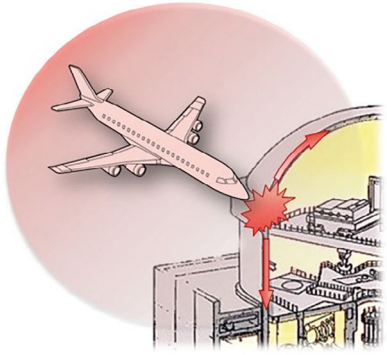
Il convient de noter également que le pôle RENON, auquel la recherche du master vient s'adosser, a vocation à constituer un vecteur de dissémination internationale des innovations françaises et des solutions techniques proposées par notre industrie. Il pourra aussi s'appuyer sur les actions de communication et dissémination de la chaire GCN telles que les conférences TINCE (Technological Innovations in Nuclear Civil Engineering) et la Section Technique Génie Civil et Architecture de la SFEN qui a été recréée dans ce cadre.

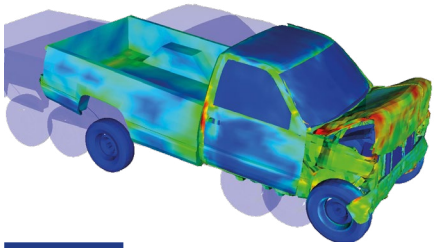


Ce pôle de recherche doit, par ces travaux, alimenter des dossiers robustes de démonstration des propositions d'évolution des normes sur des sujets divers et défendre la construction « à la française ». Pour répondre à ces objectifs, RENON est bâti à ce jour autour de quatre thématiques principales :

- La dynamique transitoire des structures : impact et explosion,
- L'aléa sismique et la géotechnique,
- L'analyse des structures sous chargement sismique,
- L'optimisation des méthodes de dimensionnement et la qualification de procédés et matériaux de construction innovants.

Étude des phénomènes d'ébranlement des structures sous chargement transitoire





CONTEXTE ET VERROUS SCIENTIFIQUES

Dans le processus de conception d'une Installation Nucléaire de Base, la sûreté des structures présente un aspect primordial. Le dimensionnement du génie civil ainsi que la qualification des matériels aux sollicitations dynamiques doivent tenir compte des accélérations qu'ils subissent. Ces accélérations doivent intégrer les mouvements sismiques, et ceux, à plus hautes fréquences, engendrés par des impacts d'avions. Les méthodologies actuelles permettant d'évaluer cet ébranlement reposent sur des analyses numériques de type éléments finis qui présentent plusieurs inconvénients. Pour parvenir à une représentation pertinente du contenu vibratoire, il convient de mettre en place un raffinement de maillage difficilement compatible avec la taille des structures étudiées, et par ailleurs les phénomènes dissipatifs sont représentés au travers d'amortissement de type Rayleigh. Ce modèle d'amortissement repose sur une hypothèse, peu réaliste en situation d'impact, de dissipation de l'énergie répartie dans la structure et il se traduit par un amortissement élevé, sans justification physique à l'heure actuelle, des modes à hautes fréquences. Pour compenser les insuffisances des modèles industriels employés, et garantir le respect des principes de sûreté, des marges de dimensionnement sont mises en place. L'évaluation des vibrations induites présente donc un enjeu fort vis-à-vis de la constructibilité des installations.

OBJECTIFS ET ACTIONS DE RECHERCHE

Afin d'enrichir les méthodologies industrielles et permettre une meilleure représentation du comportement de la structure avec un objectif de constructibilité, une démarche couplant une analyse temporelle et non linéaire de la zone de choc avec une approche fréquentielle de traitement de l'ébranlement par l'utilisation de la TVRC (Théorie Variationnelle des Rayons Complexes) a été entreprise au travers de la thèse de C. Rouzaud (2015) et dont plusieurs travaux (1, 2) issus ont été publiés sur 2016-2017. L'efficacité numérique de la stratégie a ainsi pu être éprouvée et appliquée pour la qualification les structures nucléaires à l'impact d'avion.

La caractérisation et la représentation des phénomènes dissipatifs viennent alors compléter ces travaux de recherche du pôle RENON. Pour cela, l'organisation du benchmark international IRIS Phase 3 de l'OCDE (3) et l'ouverture en octobre 2016 d'une thèse en partenariat avec EDF SEPTEN et R&D sur cette problématique ont été mises en place. L'objectif sera alors d'exploiter les campagnes d'essais récentes (VTT Impact et IRIS Phase 3) de définir une démarche scientifique systématique pour caractériser la dissipation au cours du temps et par bande de fréquences. L'implantation dans le code de calcul Europlexus des valeurs caractérisées sera ensuite testée au travers d'un benchmarking de résultats d'essais divers. La démarche utilisée a par ailleurs pu être appliquée dans le domaine des ponts [4].

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. C. Rouzaud, F. Gatuingt, G. Hervé et O. Dorival (2017), A new multi-frequency approach based on Padé Approximants for the treatment of Transient dynamics problems with the variational theory of complex rays, Journal of Sound and Vibration - Elsevier (Vol.392 - pp.170-186)

2. C. Rouzaud, F. Gatuingt, G. Hervé, O. Dorival et N. Moussallam (2016), Influence of the aircraft crash induced local nonlinearities on the overall dynamic response of a RC Structure through a parametric study, Nuclear Engineering and Design - Elsevier (Vol.298 - pp.168-182)

3. C. Rouzaud, T.A. Nguyen, N. Vacca, G. Hervé-Secourgeon, M. Galan et A. Darraba (2017), IRIS III Benchmark Phase A – Benchmark Synthesis presentation and report, OECD IRIS Phase 3 – Workshop, 13-15/06/2017, EDF Lab Saclay, France.

4. T.T. Tran, B.A. Le, V.H. Hoang, T.A. Nguyen, V.H. Pham et C. Rouzaud (2017), Dynamic and static behavior of light weight concrete slab on steel-girders railway bridges, CIGOS 2017 - 4e Conf. Int. de Géotechnique, des Ouvrages et Structures, 26-27/06/2017, Ho-Chi-Minh-Ville, Vietnam.

CONTACTS

Guillaume Hervé-Secourgeon
guillaume.herve-secourgeon@edf.fr

Nunziante Valoroso
nvaloroso@estp-paris.eu

PARTENAIRES

IFSTTAR, ENS Cachan, ISAE Toulouse (Académiques), AREVA, EDF (Industriels)

Aléa sismique et géotechnique

CONTACTS

Pierre Labbé
pierre.labbe@estp.fr

Abdelkrim Bennabi
abennabi@estp-paris.eu

PARTENAIRES

IFSTTAR (Académique), EDF (Industriel), University of California Berkeley (UCB).

CONTEXTE

Comme l'a montré le séisme qui a touché la centrale de Kashiwasaki-Kariwa en 2007, un des enjeux pour les installations nucléaires, et pour les installations à risques d'une façon générale, est le niveau de séisme auxquelles elles peuvent être exposées. En outre, dans une région donnée ce niveau peut varier d'un endroit à un autre du fait que la réponse du site en fonction de ses caractéristiques géotechniques, et le site peut être affecté par des effets induits (glissements de terrains, tassements, liquéfaction…) qui, au regard des normes internationales, peuvent être des causes de non-constructibilité.

OBJECTIFS ET ACTIONS DE RECHERCHE

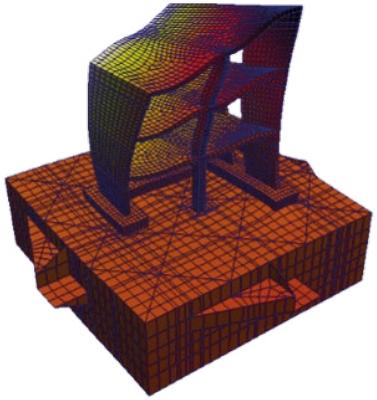
Le premier objectif, en collaboration avec EDF R&D est de procéder, à l'échelle du territoire français à une évaluation du risque sismique observé historiquement et de confronter cette évaluation aux cartes d'aléa disponibles de façon à estimer la pertinence de ces cartes [1]. L'évaluation du risque observé historiquement est basée sur l'analyse exhaustive d'un siècle de sismicité (XXe siècle) et sur l'interprétation des « événements extrêmes » des siècles antérieurs. La confrontation aux cartes d'aléa se fait via les courbes de fragilité du bâti courant qui fournissent la probabilité qu'un bâtiment d'une classe de vulnérabilité donnée subisse un dommage de niveau donné pour un séisme de niveau donné (mesuré en accélération).

Le second objectif fait l'objet d'une thèse financée EDF-DI-TEGG qui a permis de nouer des échanges avec EDF R&D et avec UCB. L'objectif est de produire une méthode facile à utiliser par l'ingénierie pour évaluer le risque de liquéfaction d'un site pour un séisme caractérisé par l'amplitude et la durée de la phase forte du mouvement sismique (la liquéfaction, souvent observée in situ pour des terrains faiblement drainés, est une perte de la capacité portante du sol, consécutive à la montée de pression interstitielle engendrée par le tassement sous séisme des grains qui forment le squelette du sol). La méthode permettra également de fournir une estimation prédictive du tassement induit sur un site n'ayant pas atteint la liquéfaction [2, 3, 4]. Elle sera étendue à l'étude du tassement et de la liquéfaction des digues et barrages en enrochement [5]. La méthode développée repose en partie sur la technique de linéarisation équivalente largement utilisée en géotechnique sismique depuis les années 70 et que le thème de recherche suivant vise à étendre au cas des structures.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. P. Labbé (2017), PSHA testing against historical seismicity, Example of France, 16th World Conf. on Earthquake, Santiago Chile, Jan. 2017.
2. Z. Kteich, P. Labbé, J-F. Semblat, E. Javelaud, A. Bennabi (2016), Engineering methods for evaluating earthquake induced settlements and liquefaction prediction, TINCE 2016 – Paris– France
3. Z. Kteich (2016), Estimation du tassement et de la montée de pression interstitielle dans un profil de sol 1D Journées géotechniques CEREMA et IFSTTAR, Erquy, France.
4. Z. Kteich, P. Labbe. Engineering simplified method for calculating earthquake induced settlements and liquefaction ratio in 1D soil profile under seismic loading 3rd meeting of the ICOLD (Int. Conf. On Large Dams) European Club Working Group on Dams and Earthquakes. Roma, Italy
5. Z. Kteich, P. Labbé, J-F. Semblat, E. Javelaud, A. Bennabi (2017) Engineering simplified method for calculating earthquake induced settlements and pore pressure rise. 85th Annual Meeting of ICOLD, Prague, Czech Republic.

Analyse du comportement linéaire équivalent en ingénierie sismique



CONTEXTE ET VERROUS SCIENTIFIQUES

Un des problèmes récurrents pour la constructibilité du génie civil est le comportement non-linéaire des structures sous chargements sismiques. Dans le cadre de l'amélioration des méthodes de calcul, les géotechniciens utilisent industriellement une méthode de linéarisation équivalente qui, pour des déformations limitées, rend compte des effets de comportement non-linéaire des sols. Le développement de ce concept reste à développer pour le rendre applicable aux structures, en particulier en béton armé, et équipements, en particulier aux équipements mécaniques.

OBJECTIFS ET ACTIONS DE RECHERCHE

L'objectif est de mettre à disposition de l'ingénierie au travers de deux thèses sous partenariat EDF SEPTEN une méthode permettant de rendre compte par linéarisation équivalente des comportements non-linéaires des structures endommageantes (béton armé) ou à comportement plastique (charpente métallique, tuyauteries).

Une première thèse dédiée aux voiles en béton armé sous chargement de cisaillement propose un calcul itératif qui rend compte du comportement non-linéaire en actualisant les valeurs caractéristiques des voiles (fréquence et amortissement) en fonction de son endommagement. À chaque itération, le drift maximal du voile (indicateur de dommage) est calculé par la méthode spectrale. Le modèle du voile est actualisé en conséquence, en exploitant pour cela des courbes empiriques résultant d'essais en laboratoire, qui fournissent la dégradation de rigidité et l'augmentation d'amortissement en fonction du drift. Cette méthode a été appliquée et validée sur les voiles de la campagne SAFE [1]. Elle est en cours de test sur les résultats d'essais de la maquette SMART.

La seconde thèse s'intéresse à une approche plus générale d'analyses systématiques de réponses des structures sous chargement sismique. L'identification des systèmes linéaires équivalents est alors effectuée dans le domaine fréquentiel [2, 3]. Plusieurs configurations ont pu être testées telles que différents modèles de comportements (élasto-plastique à endommageant). Un résultat particulièrement intéressant pour l'industrie est que les résultats s'accordent sur l'observation expérimentale selon laquelle les fréquences linéarisées des systèmes plastiques restent proches de la fréquence élastique (contrairement à une approche répandue qui fait appel à la rigidité sécante) [4]. De plus, les systèmes linéaires équivalents trouvés permettent d'établir les spectres transférés intégrant les non-linéarités. La thèse, soutenue en décembre 2017 [5], doit déboucher sur des articles de fond expliquant les raisons de certaines contre-performances des méthodes en vigueur (type ATC 40) et proposant leur amélioration.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

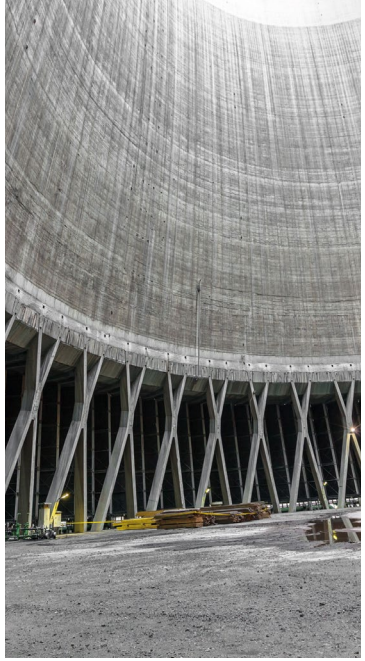
1. M-B. Hocine, P. Labbé, G. Hervé-Sécourgeon, F. Toutlemonde, (2017), Equivalent Linear response of reinforced concrete structures under seismic loading ; SMiRT Conf., Busan, Korea
2. T.A. Nguyen, P. Labbé, J.-F. Semblat, G. Hervé-Sécourgeon ; (2016). Systematic analysis of the concept of equivalent linear behavior in seismic engineering by minimization in frequency domain ; TINCE Conf., Paris, France
3. T.A. Nguyen, P. Labbé, J.-F. Semblat, G. Hervé-Sécourgeon ; (2017). Equivalent linearization using transfer function, COMPDYN Conf., Rhode Island, Greece,
4. T.A. Nguyen, P. Labbé, J.-F. Semblat, G. Hervé-Sécourgeon ; (2017). Equivalent linearization using transfer function applied to piping systems in seismic engineering, SMiRT Conf., Busan, Korea.
5. T.A. Nguyen, Analyse systématique du comportement linéaire équivalent en ingénierie sismique, thèse soutenue le 20-12-2017, Université Paris-Est, École Spéciale des Travaux Publics.

CONTACTS

Pierre Labbé
pierre.labbe@estp.fr

PARTENAIRES

IFSTTAR (Académique),
EDF (Industriel)



Méthodes de dimensionnement et qualification de procédés et matériaux de construction innovants

CONTACTS

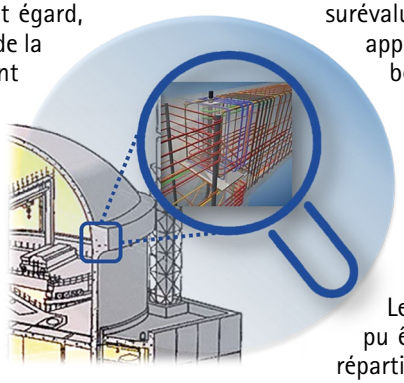
Nunziante Valoroso
nvaloroso@estp-paris.eu

PARTENAIRES

IFSTTAR, ENS Cachan (Académiques), EDF, Géodynamique et Structure (Industriels)

CONTEXTE ET VERROUS SCIENTIFIQUES

Les enjeux économiques liés au nucléaire s'accompagnent toujours d'exigences de fonctionnement élevées pour garantir la sûreté de ces installations et en particulier, dans le génie civil, où structures et éléments importants pour la protection (EIP) doivent faire preuve de stabilité, résistance et intégrité. À cet égard, de nombreux cas accidentels sont envisagés lors de la conception des infrastructures. Ces derniers incluent notamment des accidents spécifiques à l'industrie nucléaire tels que l'accident grave. Si les solutions classiques de construction en béton armé parviennent à répondre à ces exigences croissantes, de véritables défis en termes de constructibilité apparaissent avec des infrastructures toujours plus complexes à bâtir, ce qui se traduit par des coûts élevés. C'est pourquoi d'une part l'optimisation et l'adaptation du calcul de ferraillage vis-à-vis de ces structures complexes restent des enjeux majeurs dans le dimensionnement de nouvelles installations et d'autre part de nouveaux procédés constructifs se développent avec parmi eux, la construction modulaire préfabriquée à l'aide d'éléments sandwiches.



OBJECTIFS ET ACTIONS DE RECHERCHE

Les actions de recherche liées à cette thématique sur les dispositions constructives pour le génie civil nucléaire se concentrent autour d'une thèse en partenariat avec le bureau d'études Géodynamique et Structure sur l'optimisation du calcul de ferraillage.

Le contexte industriel de l'ingénierie de conception en génie civil nucléaire a conduit à privilégier la production massive de cartes de ferraillage. Les modèles aux éléments de bâtiment particulièrement volumineux donnent la priorité à des mailles de l'ordre de 50 cm à 1 m. Dans ce domaine, les algorithmes associés sont basés sur un équilibre des efforts au travers de modèles coques de type éléments finis. Cette méthodologie conduit dans ces zones de discontinuité, ou zones massives de béton, à une approximation pouvant amener à une surévaluation notamment en termes de ferraillage. D'autres approches plus représentatives de la phénoménologie du béton armé existent telles que les méthodes bielle-tirant. Ces méthodes restent néanmoins coûteuses et trop dépendantes du sens de l'ingénieur. La recherche porte sur l'automatisation de la définition d'un schéma bielle-tirant optimisé. La méthodologie a pu démontrer son caractère fiable et industrialisable sur des exemples 2D [2] de support de pont polaire et a été étendue à des modèles entièrement 3D [1]. Le modèle défini est alors mécaniquement stable et a pu être vérifié en termes d'énergie de déformation, de répartition des contraintes et de résistance des matériaux. Dans le contexte industriel, la méthode présente des gains significatifs et permet de s'inscrire dans le cadre automatique et donc auditable dans le contexte de qualité nucléaire imposé.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. G. Mendoza-Chavez, G. Hervé-Secourgeon, P. de Buhan, C. Rouzaud, P.-A. Nazé, (2017), Comparative analysis of strut-and-tie models generated through locally weighted regressions applied over the stress (preliminary results), SMiRT Conf., Busan, Korea

2. G. Mendoza-Chavez, G. Hervé-Secourgeon, P. de Buhan, C. Rouzaud, P.-A. Nazé, (2016), Assessment of Strut-and-Tie models through locally weighted regressions applied over the stress fields - Preliminary results, TINCE Conf., Paris, France.

Thèses de doctorat en cours à l'échelle des ouvrages

« Linéarisation du comportement sous séisme de structures à voiles en béton armé ».
➜ Mohamed-Bachir Hocine, Guillaume Hervé-Secourgeon, Pierre Labbé, François Toutlemonde.

« Caractérisation des phénomènes dissipatifs à haute fréquence des structures en béton armé industrielles – De la structure à l'ancrage des équipements »
➜ Nicolas Vacca, Guillaume Hervé, Christophe Rouzaud, Pierre Argoul.

« Évaluation de la performance systémique d'un bâtiment en phase de programmation : constructibilité et intégration de volumes fonctionnels ».
➜ Francesca Contrada, Andrea Kindinis, Christophe Gobin, Jean-François Caron.

Thèses de doctorat soutenues à l'échelle des ouvrages

« Experimental characterization of innovative envelope elements ».
➜ Giulio Cattarin, Andrea Kindinis, Lorenzo Pagliano (09/02/2017).

« Confort thermique et optimisation énergétique des espaces confinés avec stratégies de ventilation hybride ».
➜ Yacine Allab, Andrea Kindinis, Olivier Coutier (12/12/2017).

« Analyse systématique du concept de comportement linéaire équivalent en ingénierie sismique ».
➜ Anh Thuong Nguyen, Guillaume Hervé-Secourgeon, Pierre Labbé, Jean-François Semblat (20/12/2017).

« Conception de structures massives en béton armé par treillis bielles-tirants générés automatiquement ».
➜ Gustavo Mendoza Chavez, Guillaume Hervé-Secourgeon, Christophe Rouzaud, Patrick De Buhan (10/07/2018).

« Méthode d'ingénierie pour l'étude du tassement et du risque de liquéfaction des digues sous séisme ».
➜ Ziad Kteich, Pierre Labbé, Abdelkrim Bennabi, Jean-François Semblat (07/11/2018).

ÉCHELLE 3

LA CONSTRUCTIBILITÉ DES SYSTÈMES URBAINS

Objectifs

Accompagner et faciliter la mise au point de l'inscription de l'ouvrage dans son environnement et de la conception des outils pour la gestion et l'aménagement des territoires.

Verrous scientifiques

Les verrous scientifiques sont déclinés en deux types : verrous type « produit » et verrous type « process ». Les premiers sont liés à l'objet d'étude, c'est-à-dire l'inscription de l'ouvrage dans le territoire, tandis que les seconds rendent compte de la gestion des territoires et la prise en compte de la résilience urbaine. Les verrous « produit » sont d'une part l'articulation avec l'aménagement des réseaux et des villes et, d'autre part, l'influence des paramètres d'étude du système urbain (ex. : gestion de l'eau). Les verrous « process » sont la modélisation de systèmes complexes et la conception des outils de représentation et de gestion du territoire (SIG, big data, digitalisation).

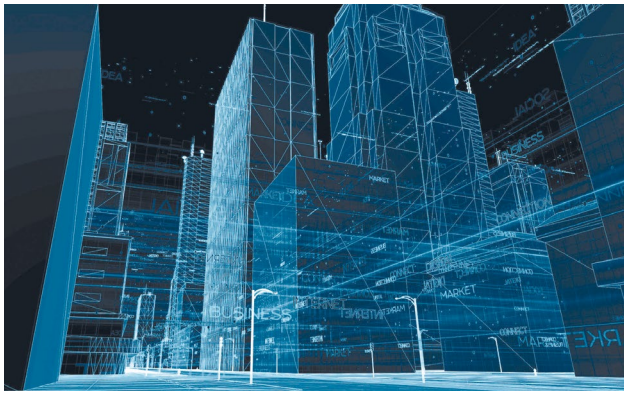
Axes scientifiques

On retrouve à cette échelle les travaux qui portent sur la confrontation de l'inscription territoriale et les conditions de la transition numérique et la digitalisation, sur l'aménagement et la résilience des systèmes urbains et des dynamiques urbaines ; sur la conception des outils d'aide à la gestion des chantiers de constructions en fonction des aléas et enfin sur la modélisation de systèmes complexes.

Objets d'étude

Les activités de recherche regroupées sous ce thème portent sur :

- La modélisation 3D CIM de l'environnement et la simulation numérique ainsi que sur l'application de la constructibilité lié à l'étalement urbain. Cette étude a pour but l'analyse du comportement de l'étalement urbain, la classification des types des bâtiments, la génération des modèles d'utilisation des terres, le développement d'un modèle 3D de la croissance urbaine afin de contrôler les effets de la croissance démographique sur l'occupation du sol et la consommation d'énergie.



- La gestion des chantiers de construction en fonction des aléas. Cette étude a pour but de proposer une disposition optimale des installations sur un chantier de construction, de faciliter le processus d'évacuation lors de situations d'urgence, d'analyser l'influence des configurations spatiales sur la variabilité spatiale du risque au sein d'un chantier de construction et, enfin, d'identifier le chemin le plus court et le plus sûr pour évacuer le chantier rapidement et sans risque pendant la présence des aléas.

- La constructibilité à l'interface entre voirie et réseaux enterrés. Cette étude a pour objectif de simplifier la vision de l'infrastructure routière des différents acteurs pour faciliter la communication, d'étudier les avantages et limites des données existantes pour la gestion de l'infrastructure, de proposer une modélisation SIG de l'infrastructure (verticale et horizontale) pour aider les collectivités à la production de données ; et enfin d'analyser les interactions spatiales entre voirie et réseaux, pour nourrir les discussions sur les choix constructifs.

Mots-clefs

Constructibilité, étalement urbain, automate cellulaire, SIG, CIM, aléas, gestion des risques naturels, réseaux enterrés, voirie, outils d'aide à la décision, SPH, simulation numérique.

Gestion de chantiers de construction en prenant en compte les risques et les catastrophes naturels

CONTACTS

Rani el Meouche
relmeouche@estp-paris.eu

PARTENAIRES

Université Paris EST, Lille1/ Polytech'Lille, An-Najah National university (Palestine)

CONTEXTE ET OBJECTIFS

La gestion des chantiers de construction est une tâche complexe et importante pour les gestionnaires et les planificateurs du projet. Il faudra faire face à l'apparition de dangers potentiels. Cependant, réduire les dommages résultants de risques naturels ou technologiques est encore un défi scientifique. En fait, peu d'efforts ont été consacrés à l'organisation de l'aménagement des chantiers pour minimiser le risque des dangers potentiels. Dans cette recherche, une nouvelle méthodologie est développée afin d'évaluer les risques dans un chantier de construction basée sur : (1) les composants de chantier ; (2) une matrice d'interaction de danger composants/distance ; (3) une matrice d'interaction de la vulnérabilité ; (4) une fonction d'utilité : elle vise à générer un plan de site optimisé avec un risque minimal ; et (5) une analyse spatiale. Comme le processus d'évacuation est pris en compte dans l'évaluation et la visualisation du risque, le risque réel est amplifié en utilisant le facteur de pénalité appelée profondeur moyenne. Le SIG est utile pour la visualisation de la variabilité spatiale du risque au sein du site. Il intègre l'impact potentiel total des installations avec la configuration de l'espace selon les résultats de la profondeur moyenne. Un algorithme d'évolution différentielle est adopté pour minimiser le risque global au sein du site.

ACTIONS DE RECHERCHE

Si un danger survient dans un site, les travailleurs doivent être évacués en toute sécurité, à travers des zones de passage avec moins de risques, pour minimiser les pertes. Dans ce travail, l'évacuation est basée sur l'intégration ou la séparation de chaque position par rapport aux autres au sein du site. Les facteurs de pénalité pertinents sont effectivement adoptés afin de générer des cartes de risques. Cette recherche vise à améliorer le plan d'aménagement du chantier en développant de nouveaux modèles, qui tiennent compte des risques et de la vulnérabilité des interactions entre les installations. En outre, après avoir obtenu la disposition optimale des installations, l'analyse spatiale appelée « space syntax » est utilisée pour analyser l'influence des configurations spatiales sur la variabilité spatiale du risque au sein d'un chantier de construction.

Les résultats ont montré que la méthode proposée est efficace, en raison de sa capacité de gérer l'agencement général du chantier avec un environnement de travail plus sûr. Cela conduit à minimiser les accidents de travail, les blessures graves et le nombre de victimes. En outre, le modèle est capable de mettre en évidence les zones les plus à risque dans un chantier de construction.

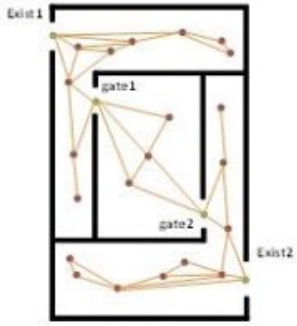
PRODUCTION SCIENTIFIQUE

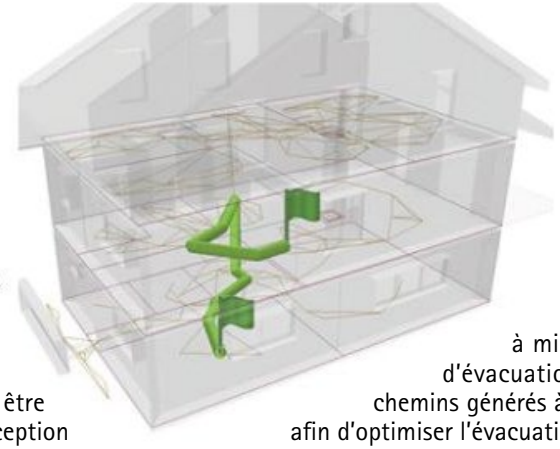
1. R. El Meouche, M. Abunemeh, I. Hijaze, A. Mebarki, I. Et Shahrour, (2017). Developing Optimal Paths for Evacuating Risky Construction Sites. Journal of Construction Engineering and Management, 144 (2), 04017099.
2. M. Abunemeh, R. El meouche, I. Hijaze, A. Mebarki, I. Shahrour (2017). Hazards, vulnerability and interactions at construction sites : spatial risk mapping, ITcon Vol. 22, pg. 63-79, http://www.itcon.org/2017/4
3. R. El Meouche, M. Abunemeh, I. Hijaze, A. Mebarki, I. Shahrour. Developing Optimal Paths for Evacuating Risky Construction Sites, (2018) Journal of Construction Engineering and Management, 144 (2).
4. Thèse soutenue : M. Abune'meh (2017). Optimisation de l'aménagement d'un Chantier de Construction en Fonction des Risques Naturels et Technologiques, Utilisation du SIG (Doctoral dissertation, Paris Est).

Homogénéité des espaces urbains et évacuation de la foule en utilisant le BIM et le SIG

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Afin de préserver le tissu urbain ou les caractéristiques dans des quartiers spécifiques, il est souvent nécessaire de modifier l'homogénéité du tissu urbain lors de l'insertion de nouveaux bâtiments. L'évaluation de la forme de tissu urbain est fondamentalement importante pour les architectes et les urbanistes pour l'évacuation en cas d'urgence et l'élaboration des politiques pertinentes. Cependant, les tentatives sont rares en raison de l'absence de méthodes disponibles. Pour combler à ce défaut, ce projet présente une méthode basée sur le SIG pour mesurer l'homogénéité du tissu urbain en extrayant les attributs directement à partir de la géométrie 2D. La méthode peut être utilisée pour informer de façon interactive les urbanistes comment les nouvelles propositions de conception affecteraient l'homogénéité d'un quartier. En outre, la méthodologie peut être utilisée pour synthétiser de nouvelles variantes de conception avec une homogénéité définie pour améliorer la constructibilité dans le cadre des nouveaux projets. En outre, ce travail cherche à calculer un jeu de données réseau pour l'espace intérieur d'un bâtiment à l'aide de ses plans de niveau 2D et l'information sémantique, combinée avec une méthode d'évacuation optimale. En effet, cette dernière ne repose pas sur l'issue la plus proche pour une personne, mais repose sur le tri optimal de la foule à chaque issue de la salle pour être évacuée.





ACTIONS DE RECHERCHE

La méthodologie pour détecter l'homogénéité des configurations spatiales utilise l'analyse d'images. La logique formelle d'analyse d'images est connue et traite une configuration spatiale comme une surface continue avec une valeur spécifique à chaque emplacement. Le but de cette recherche est de développer une méthode exécutable et automatique qui pourrait générer le réseau de chemin intérieur pour les plans de niveau architecturaux. En outre, la recherche vise à (1) générer efficacement le réseau en utilisant des algorithmes basés sur les dessins 2D de plan de niveau (CAO) ; et (2) découvrir une méthode de génération de chemin pour le plan d'étage 2D en utilisant des fonctions SIG communes. En outre, un nouvel algorithme qui vise à minimiser le temps d'une durée d'évacuation couplé avec le réseau de chemins générés à l'intérieur sera mis au point, afin d'optimiser l'évacuation complète de la pièce et les portes de sortie extérieures du bâtiment.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. I. Hijazi, X. Li, R. Koenig, G. Schmit, R. El Meouche, Z. Lv, et M. Abune'meh, (2017). Measuring the homogeneity of urban fabric using 2D geometry data. Environment and Planning B : Urban Analytics and City Science, 44 (6), 1097-1121.

CONTACTS

Rani El Meouche
relmeouche@estp-paris.eu

PARTENAIRES

Université Paris EST, Lille1/ Polytech'Lille, An-Najah National university (Palestine)

Modélisation des écoulements fluides multiphasiques avec une approche SPH

CONTACTS

Rani El Meouche
relmeouche@estp-paris.eu

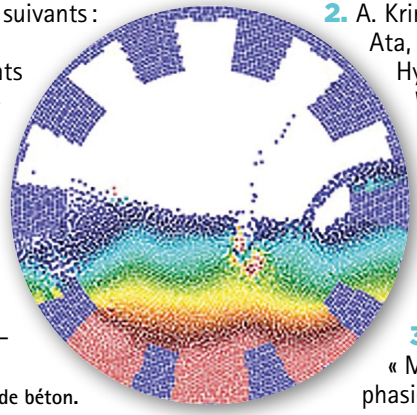
CONTEXTE ET OBJECTIFS

Dans le cadre de ce travail de recherche, il est question de répondre aux besoins de simulation numérique des phénomènes multi-physiques (Interactions Fluide-Structure) de nature complexe (écoulements multiphasiques et à surface libre). Une application dans le domaine du génie civil est envisagée. Le choix s'est porté sur la méthode langrangienne « SPH » (Smoothed Particle Hyrdonynamics). Le développement de cette méthode s'est basé principalement sur deux aspects. Le premier s'intéresse à l'amélioration de la méthode des points de vue précision, consistance et applicabilité pour des simulations numériques multi-échelles. Le deuxième aspect est lié directement à la performance de calcul par le biais de l'application de stratégies de calcul parallèle sur plusieurs processeurs centraux CPU (Central Processing Unit) ainsi que graphiques GPU (Graphic Processing Unit).

ACTIONS DE RECHERCHE

Le travail réalisé à ce jour peut être résumé en les points suivants :

- Modélisation et simulation numériques des écoulements à surface libre et confinés : Un développement numérique a été apporté sur la méthode SPH afin qu'elle s'adapte au mieux à la simulation des écoulements à surface libre ainsi qu'internes (confinés). Ce développement consiste principalement en l'augmentation de la précision à travers l'amélioration des conditions aux limites liées aux parois solides, ainsi que l'addition de terme de diffusion numérique afin d'éliminer les incertitudes de la pression provenant de l'hypothèse d'écoulement faiblement compressible.



Champ de pression 2D d'un malaxeur de béton.

- Modélisation et simulation numériques des interactions Fluide-Structure : Un couplage faible entre les équations régissant le mouvement fluide (Navier-Stokes) et la cinématique des solides a été réalisé par le biais de champ de pression.

- Accélération du code de calcul par l'application des stratégies de calcul haute performance sur CPU : Une technique de parallélisme sur CPU a été proposée pour améliorer les performances. La technique repose dans son principe sur la méthode de décomposition du domaine sur l'ensemble des processeurs. La communication entre les processeurs est assurée par le paradigme MPI (Message Passing Interface).

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. A. Krimi, S. Khelladi, R. Ata, X.Nogueira, M. Deligant, M. Rezoug, « A Multiphase SPH Approach to Model Soil-Water interactions », 14th U.S. National Congress on Computational Mechanics July 17-20, 2017, Montréal, Quebec, Canada.

2. A. Krimi, S. Khelladi, X. Nogueira, M. Deligant, R. Ata, M.Rezoug, "Multiphase Smoothed Particle Hydrodynamics approach for modeling Soil-Water interactions", Submitted to the Advances in Water Resources, 2017. L. Ramírez, X. Nogueira, S. Khelladi, A. Krimi, I. Colominas, "A very accurate Arbitrary Lagrangian-Eulerian meshless method for Computational Aeroacoustics", Submitted to the Journal of Computational physics, 2017.

3. Thèse soutenue le 24 janvier 2018, A. Krimi « Modélisation des écoulements fluide multiphasiques avec une approche SPH ».

Modélisation 3D CIM de l'Environnement et Simulation Numérique : Constructibilité et Application à l'Étalement Urbain

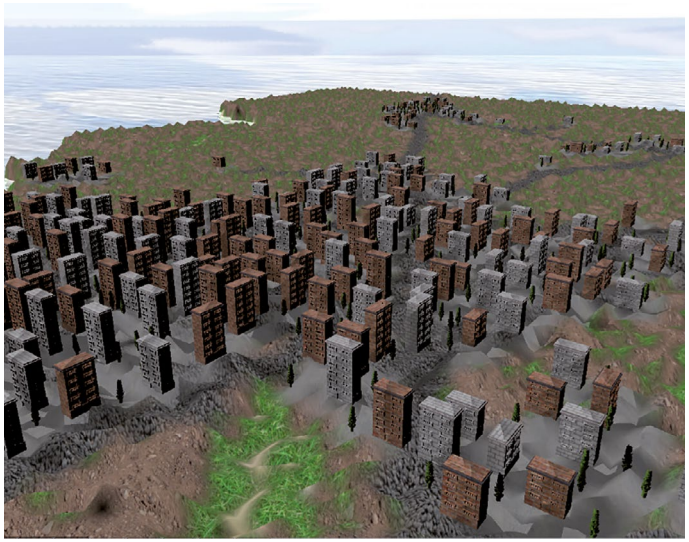
CONTEXTE ET OBJECTIFS

De nombreuses études, utilisant différentes approches de modélisation et outils de simulation, ont été réalisées dans le domaine de l'étalement urbain. Une multitude de modèles, avec des caractéristiques communes ou spécifiques, a été développée pour reconstruire spatialement l'occupation et les changements dans l'utilisation des terres. Les modèles d'expansion urbaine peuvent être considérés comme deux types principaux de modèles économiques basés sur l'utilisation interactive des modèles de transport terrestre et spatial, en particulier les modèles de changement d'occupation et l'utilisation des terres. Chacun peut être classé en tant que modèle basé sur un processus ou sur un modèle.

Malgré toutes ces recherches, le rôle de la modélisation dans le processus d'urbanisme et de prise de décision n'en est encore qu'à ses balbutiements. Parmi tous les modèles dynamiques et spatialement explicites, ceux basés sur les Automates Cellulaires (CA) sont les plus courants pour leurs applications dans les zones urbaines. Cela peut s'expliquer par le caractère spatialement explicite et le comportement dynamique des modèles d'automates cellulaires. Le modèle SLEUTH est l'un des modèles d'automates cellulaires, qui modélisent la simulation dynamique de l'expansion urbaine et pourraient être adaptés à la modélisation 3D de l'environnement urbain. De plus, le Building Information Model (BIM) peut être une source de données de plus intégrée aux SIG afin d'ajouter une nouvelle couche de données au niveau du bâtiment.

ACTIONS DE RECHERCHE

L'objectif de la recherche est de trouver un moyen de simuler l'étalement urbain sans perte d'information sémantique. De plus, la recherche proposée vise à produire une représentation 3D pour soutenir les scientifiques et les autorités en charge de la prévention des risques à travers la planification urbaine et la gestion de crise. SLEUTH utilise des automates cellulaires, la cartographie du terrain et la modélisation du deltatron de la couverture terrestre pour faire face à la croissance urbaine. Différents scénarios pour les automates cellulaires de croissance urbaine SLEUTH 2D sont définis et SLEUTH basé sur des scénarios est modélisé pour la zone urbaine de Toulouse.



Les différents modèles d'utilisation des sols urbains sont visualisés et prédéfinis et des schémas actifs sont appliqués sur la zone d'étude de Toulouse. Les modèles d'utilisation des terres sont faits en tenant compte de la hauteur du bâtiment et les cellules urbaines sont classées selon les modèles d'utilisation des terres urbaines. Le processus est appelé classification des correctifs urbains ou pondération des correctifs urbains, ce qui représente une étape importante dans la modélisation urbaine en 3D.

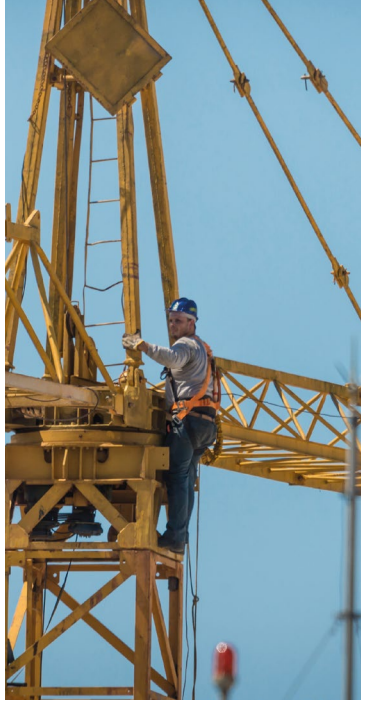
PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. M. Eslahi, R. El Meouche, O. Doukari, A. Ruas, "Contribution to IFC-Bridge Development : Application on Raymond Barre Bridge" ; (Soumission en cours)

2. G. Da Silva, M. Eslahi, O. Doukari, R. Aguejdad, "Vers une modélisation 3D de l'expansion urbaine : application au modèle SLEUTH basé sur un automate cellulaire" ; (Edubim), 2018.

CONTACTS

Rani El Meouche
relmeouche@estp-paris.eu



Gestion intégrée des risques

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Tous les professionnels de la construction ont l'expérience de projets qui ont subi des retards ou des dépassements de budget dans des proportions considérées comme inadmissibles. Cette situation, même si elle est regrettable, représente une certaine récurrence. Avec des matrices conséquences-probabilités, les risques sont valorisés en moyenne et ne sont pas pleinement identifiés. Dès lors, il apparaît particulièrement utile que le management de projet intègre dans sa globalité « l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs », le risque pour l'ISO 31000 quantifié :

- en termes d'écarts par rapport aux objectifs de qualité, de coûts, de délais de réalisation, de santé, de sécurité au travail et de réputation ;
- en termes d'écarts par rapport aux objectifs en performance d'usage, de sûreté des usages, et de performance environnementale du bâtiment ou de l'infrastructure.

OBJECTIFS

Un axe de R&D de conception innovante permettant aux entreprises du secteur de disposer :

- de processus structurés de quantification et de management des risques (niveau projets et portefeuille de projets) ;
- de programme de R&D innovants non dissociables des risques et de la complexité orientée contrôle des expositions et pilotage du résultat et de la création de valeur (projet et portefeuille de projets).

ACTIONS DE RECHERCHE

- Projet du Fond Unique Interministériel N° 19, RiD© Project Management (Risk intelligence & Decision for Complex Project Management) qui propose une solution innovante pour réconcilier les visions économiques et financières (incertaines) avec les attentes comptables des projets complexes. Budget : 2,30 M€, Durée du projet : 36 mois, du 15 septembre 2015 au 24 octobre 2018. Ce projet de R&D a été soutenu par le Conseil régional d'Ile-de-France et la Banque Publique d'investissement, l'Agence Verte (chef de file), CadIm, Vinci Construction France, Bouygues Bâtiment Ile-de-France, l'IRC-ESTP Paris.

Deux axes de recherche qui regroupent, ensemble, 18 actions de recherches associées à des livrables du projet, notamment la production de logiciels avec :

Axe N° 1 : le management intégré des risques qui s'inscrit dans la constructibilité dans la mesure où il doit fournir une assurance raisonnée quant au pilotage de la performance du projet.

Axe N° 2 : la robustesse des systèmes qui s'inscrit aussi dans la constructibilité dans la mesure où elle doit fournir une assurance raisonnée quant au respect des performances d'usage attendues du Produit (le bâtiment, l'ouvrage à bâtir). La robustesse est abordée comme l'intégration des deux significations de la qualité (les caractéristiques du produit à bâtir répondent aux besoins des usagers - l'absence d'anomalies compte tenu des fonctions d'usage spécifiées).

FAITS MARQUANTS ET RÉSULTATS

Réalisation de deux plateformes logicielles :

- Management intégré des risques (projet et portefeuille de projets). RiD© Construction
- Programme de quatre formations dans le domaine au sein de la formation continue de l'ESTP Paris.
- Robustesse des systèmes (produit et portefeuille de produits). Quasar Online.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

1. F. Claude (2015). Management global des risques et performance – Du contrôle interne à l'ERM. c8106. Techniques de l'Ingénieur. Editions TI.

2. F. Claude (2015). Management global des risques et performance – Prescriptions et pratiques. c8107. Techniques de l'Ingénieur. Editions TI.

3. F. Claude, S. Nouet (2016). Critique des matrices de risques pour le secteur de la construction. c8109. Techniques de l'Ingénieur. Editions TI.

4. F. Claude, K. Kayvantash, C. Gobin (2018). Proposition de gestion de la complexité des projets de construction. c8116. Techniques de l'ingénieur. Editions TI

5. G. Thing Léo, A. Mebarki, F. Claude, El Meouche. (2018. On the Quality of Buildings and Construction Projects : Metrics and Process Dynamics. (en cours de traduction avant soumission à Automation and Construction)

6. Claude, F. Nouet, S. (2016). Les matrices conséquences-probabilités pour décider de l'acceptabilité du risque : un paradoxe économique. Actes du Congrès Lambda Mu 20 (11-13 oct. 2016), de l'Institut de maîtrise des Risques (IMdR), St-Malo

7. Thing Léo, G., Mebarki, A., Claude, F., El Meouche. (2018). Performances d'usage des systèmes bâtis et aide à la décision : Modélisation des perturbations induites par les projets de construction. Actes du Congrès Lambda Mu 21, (16-18 oct. 2018), de l'Institut de maîtrise des Risques, Reims.

8. F. Claude (25 juin 2018) L'interaction Homme – Machine en temps réel pour un management intégré des risques. Le logiciel RiD© Construction : projet et portefeuille de projets complexes Institut de Maîtrise des Risques. Rencontres inter-GTR : vers une vision systémique de la maitrise des risques. Palais Brongniart.

CONTACTS

Francis Claude
fclaude@estp-paris.eu

PARTENAIRES

Institut de Maîtrise des Risques (IMdR), Pôle de Compétitivité Finance Innovation et Advancity, laboratoire MSME (Modélisation et Simulation Multi-Echelle– Université Paris-Est Marne-la-Vallée.

Thèses de doctorat en cours à l'échelle des systèmes

« Modélisation 3D CIM de l'Environnement et Simulation Numérique : Constructibilité et Application à l'Étalement Urbain »
➜ Mojtaba Eslahi, Rani El Meouche, Anne Ruas ;

« Constructibilité à l'interface entre voirie et réseaux enterrés. Interactions entre voirie et réseaux. »
➜ Antonin Pavard, Patricia Bordin, Anne Dony, Bruno Tassin

Thèses de doctorat soutenues à l'échelle des systèmes

« Gestion du site de construction, processus de constructibilité et l'analyse des risques. L'utilisation du BIM et SIG technologies ».
➜ Mohammed Abu Nemeh, Rani El Meouche, Ahmed Mebarki ; 24/05/2017

« Développement des méthodes numériques de simulation basées sur le Calcul Haute Performance « HPC ». Application pour les problématiques de risques en Génie Civil ».
➜ Abdelkader Krimi, Mehdi Rezoug, Sofiane Kheladdi ; 24/01/2018

« Analyse systémique des facteurs de risque aux interfaces fonctionnelles du bâti. Modélisation en termes de critères de constructibilité et de performance d'usage ».
➜ Gilles Thing Leo, Francis Claude, Christophe Gobin, Ahmed Mebarki ; 28/09/2018

« Étude de la constructibilité d'un ouvrage multi-services en milieu urbain. Application au cas du métro ».
➜ Nicolas Ziv, Andrea Kindinis, Christophe Gobin ; 29/11/2018

LA VALORISATION DE LA RECHERCHE

Les séminaires de la Constructibilité

Dans le cadre des activités transversales de l'IRC il a été décidé en 2016 de lancer des séminaires d'approfondissement du champ de la constructibilité. Cette organisation s'est déployée en deux temps : le premier a été consacré aux concepts fondateurs, le second concerne les avancés découlant des nouvelles technologies.

La phase initiale a porté sur trois aspects : l'analyse fonctionnelle, la notion de performance, et les risques. Ces trois séminaires qui ont regroupé les membres de l'Institut et des intervenants extérieurs ont permis d'asseoir la relation entre la Constructibilité et des disciplines annexes comme l'ingénierie système ou le commissioning.

- **Le séminaire sur l'analyse fonctionnelle** a été articulé sur le travail de trois doctorants dont les recherches ont abouti en fin d'année 2018. Il est apparu que l'AF malgré son peu de reconnaissance était un vecteur de fort potentiel pour articuler Recherche et Pratique opérationnelle de construction. Ceci renvoie également aux travaux relevant du génie industriel.

- **Le séminaire sur la performance** a abordé les deux volets de ce concept. Le premier a porté sur la nécessité d'organiser une onthologie approfondie qui puisse autoriser à terme une modélisation. Son pendant industriel a traité des démarches performancielles à la fois pour les entreprises de construction et les bureaux d'études (contrats de performance énergétique).
- **Le séminaire sur les risques** a été amené à porter des travaux entrepris dans le cadre du projet RiD auquel participe l'IRC (financement FUI). Il a permis d'approfondir une nouvelle approche du sujet qui articule deux démarches : le management du risque et la dégradation des performances (robustesse des offres).

La seconde vague des séminaires initiée à la rentrée 2018 a pour objectif de préciser la relation de la constructibilité avec l'apparition des techniques de numérisation. Le plan de travail couvre un cycle de deux années.

- **Le séminaire sur l'impression 3D** a mobilisé de nombreux professionnels qui testent chacun dans leurs pratiques de nouvelles solutions. Il est apparu que les questions de robotique étaient au cœur de la problématique du fait même de la particularité de la construction à savoir le site de production. La constructibilité apparaît ainsi comme centrale pour structurer les efforts actuels.
- **Les deux séminaires à venir** vont porter sur deux échelles : le numérique au service de la voirie,, le smart building et l'apport de la robotique dans la construction. L'objectif sera de réfléchir avec des professionnels de la construction sur le potentiel économique dégagé par le numérique sur la spécification des ouvrages et les gains de productivité. Il est alors clair que ces séminaires participent à la mise en place du nouveau programme « construire 4.0 » et qu'ils seront confortés par le lancement du club « constructic ».

SÉMINAIRE 1

Analyse fonctionnelle et constructibilité

Programme de la journée
L'analyse fonctionnelle, intro et débat
Répartition des travaux de thèse
Restitution des travaux
Plan de travail pour le prochain séminaire

SÉMINAIRE 2

La Performance

Programme de la journée
Éric Croquesel,
Andrea Kindinis

PREMIÈRE SESSION

La performance des matériaux et des produits

« Analyse performantielle dans le domaine des matériaux routiers » Anne Dony, ESTP Paris

« Une introduction au projet national PERFDUB » Patricia Brédy-Tuffé, ESTP Paris-Chaire IdB

« Performance des géo matériaux et des ouvrages » Abdelkrim Bennabi, ESTP Paris

« Mesure de la performance thermique des isolants » Guillaume Pandraud, Isover

DEUXIÈME SESSION

La performance Projet

« Performances et projets », Vincent Cousin

« La performance pour l'entreprise » Laurent Grall, Spie Batignolles

« Performance projet et produit : les apports de la Constructibilité » Nicolas Ziv, Egis Rail, ESTP Paris

« Les dégradations de la performance » Francesca Contrada, ESTP Paris

TROISIÈME SESSION

Les méthodes et les outils d'évaluation de la performance

« Optimisation des structures en béton armé » Gustavo Mendoza ESTP Paris, Chaire GCN

« La garantie de la performance : une étude de cas » Thierry Delisle, Bouygues Construction

« Le commissionnement de la performance énergétique » 'Jean-Baptiste Raphanaud, ARTELIA

« Mesure de la performance thermique des bâtiments » Guillaume Pandraud, ISOVER

La performance en Constructibilité

Débat et esquisse d'une première synthèse.

SÉMINAIRE 3

Risque, Décision et Constructibilité des systèmes bâtis

Programme de la journée

PREMIÈRE SESSION

Système à faire

« Le risque sismique », Pierre Labbé, EDF/ISMIA

« Avion et centrale nucléaire, problématique d'impact », Christophe Rouzaud, ESTP Paris/Renon

« Vulnérabilité, risques et résilience du système bâti », Ahmed Mebarki, UPEM/MSME

DEUXIÈME SESSION

Système pour faire et système de contrôle

« Organisation spatiale d'un chantier après analyse du risque », Rani El Meouche, ESTP Paris

« État de l'art et critique des matrices Probabilités/Impact », Sébastien Nouet, ESTP Paris–FUI RiD

« Attitude individuelle par rapport au risque et profil de risque de l'opération », Francis Claude, ESTP Paris–FUI RiD

TROISIÈME SESSION

Complexité et décision

« Évaluation multicritère de la performance environnementale : théorie des perspectives et pratique » Romain Bonnet, BOUYGUES Construction et Francis Claude, ESTP Paris – FUI RiD

« Analyse systémique des facteurs de risque aux interfaces du système bâti » Gilles Thing Leo, ESTP Paris – FUI RiD

« Entropie et mesure de complexité » Kambiz Kayvantash, Cadlm – FUI RiD

Bilan et perspectives

Débat et esquisse d'une première synthèse de la journée

SÉMINAIRE 4

Impression additive et constructibilite

Programme de la journée
Ouverture des travaux

PREMIÈRE SESSION

Matériaux

« Rhéologie des matériaux cimentaires et simulation d'écoulement » Jena Jeong/Johan Colin, IRC-ESTP Paris

« Fabrication additive et préfabrication » Kais Mehiri, Cerib, Epernon

« Impression 3D Sika : de l'état frais a durci » Fabrice Decroix, SIKA France

DEUXIÈME SESSION

Robotique et Impression 3D

« Mise en place d'un dispositif simplifié pour une impression 3D des matériaux Cimentaires »

Kaci Abdelhak, Université de Cergy-pontoise

« Design et systèmes constructifs » Alain Guillen, XtreeE

« Robotisation des tâches répétitives, pénibles ou potentiellement dangereuses des métiers du BTP : difficultés, retour d'expérience et perspectives » Francis Kalmbacher, Vinci construction

TROISIÈME SESSION

Produit final et Performance

« Réalisation du premier habitat social par impression 3D robotisée avec la technologie Batiprint3D TM » Nordine Lekou, Université de Nantes

« Quel rôle de l'impression 3D dans la révolution « Construction 4.0 » : stratégie et vision »

Zoubeir Lafhaj, École Centrale de Lille

QUATRIÈME SESSION

Organisation du chantier/Impacts sur les modes constructifs

« De la Préfabrication au chantier » Alban Mallet, XtreeE

« Verrous, besoins et perspectives : point de vue d'un concepteur-constructeur », Romaric Quentin, Vinci-Construction

Bilan et perspectives

Débat et esquisse d'une première synthèse de la journée

Les publications dans des journaux à comité de lecture 2017-2018

2017

MATÉRIAUX CONSTRUCTIFS

- Ziyani, L., Boulangé, L., Nicolaï, A., Mouillet, V., « Bitumen extraction and recovery in road industry : A global methodology in solvent substitution from a comprehensive review », Journal of Cleaner Production, Volume 161, 10 September 2017, Pages 53-68.
- Jeong, J., Ramézani, H., Leklou, N., "Porous-micro-dilatation theory for random crystallization : Monte Carlo simulation for delayed ettringite formation", Acta Mechanica, September 2017, Volume 228, Issue 9, pp 3223 – 3249.
- Bouaziz, A., Hamzaoui, R., Guessasma, S., Lakhal, R., Achoura, D., Leklou, N., « Efficiency of high energy over conventional milling of granulated blast furnace slag powder to improve mechanical performance of slag cement paste », Powder Technology, Volume 308, 15 February 2017, Pages 37-46.
- Bennabi, A., « Méthodologie de caractérisation expérimentale », Guide ERINOH, Vol 1 (IREX), 2017.

OUVRAGES DURABLES

- Rouzaud, C., Gatuingt, F., Hervé, G., Dorival, O., « A new multi-frequency approach based on Padé approximants for the treatment of transient dynamics problems with the variational theory of complex rays », Journal of Sound and Vibration, Volume 392, 31 March 2017, Pages 170-186.
- Allab, Y., Pellegrino, M., Guo, X., Nefzaoui, E., Kindinis, A., « Energy and comfort assessment in educational building : Case study in a French university campus », Energy and Buildings, Volume 143, 15 May 2017, Pages 202-219.
- Pagliano, L., Cattarin, G., Causone, F., Kindinis, A., « Improved methods for the calorimetric determination of the solar factor in outdoor test cell facilities », Energy and Buildings, Volume 153, 15 October 2017, Pages 513-524.

SYSTÈMES URBAINS

- Abunemeh, M., El Meouche, R., Hijaze, I., Mebarki, A., Shahrour, I., "Hazards, Vulnerability and interactions at construction sites : spatial risk mapping", Journal of Information Technology in Construction, ITcon Vol. 22, January 2017, pg. 63-79.
- Hijazi, I., Li, X., Koenig, R., Schmit, G., El Meouche, R., Lv, Z., Abune'meh, M., « Measuring the homogeneity of urban fabric using 2D geometry data », Environment and Planning B : Urban Analytics and City Science, Volume : 44 issue : 6, page(s) : 1097-1121, November 1, 2017.
- Arafat, AN., R Ghodieh, A., Abdelhamid, A., Hijazi, I., El Meouche, R., Qasim, S., "Assessing the Business Needs and Readiness of Palestinian Municipalities to Adapt GIS to Promote Public Services", An-Najah University Journal for Research - A (Natural Sciences), Vol., 31 (1), 2017.
- Gobin, C., "La constructibilité-Une approche duale de la construction", Technique de l'ingénieur, November 2017.

2018

MATÉRIAUX CONSTRUCTIFS

- Poupardin, A., Heinrich, P., Hébert, H., Schindelé, F., Jamelot, A., Reymond, D., Sugioka, H., « Traveltime delay relative to the maximum energy of the wave train for dispersive tsunamis propagating across the Pacific Ocean : the case of 2010 and 2015 Chilean Tsunamis », Geophysical Journal International, Volume 214, Issue 3, 1 September 2018, Pages 1538 – 1555.
- Ben Maaouia, O., Hamzaoui, R., Bennabi, A., Colin, J., Colina, H., « Chromium stabilization and trapping in the cement matrix of RCA », Construction and Building Materials, Volume 191, 10 December 2018, Pages 667-678.
- Elandaloussi, R., Bennabi, A., Dupla, J.-C., Canou, J., Benamar, A., Gotteland, P., « Effectiveness of lime treatment of coarse soils against internal erosion », Geotechnical and Geological Engineering, June 2018, Volume 37, Issue 1, pp 139 – 154.

OUVRAGES DURABLES

- Cattarin, G., Pagliano, L., Causone, F., Kindinis, A., « Empirical and comparative validation of an original model to simulate the thermal behaviour of outdoor test cells », Energy and Buildings, Volume 158, 1 January 2018, Pages 1711-1723.
- Cattarin, G., Pagliano, L., Causone, F., Kindinis, A., Goia, F., Carlucci, S., Schlemminger, C., « Empirical validation and local sensitivity analysis of a lumped parameter thermal model of an outdoor test cell », Building and Environment, Volume 130, 15 February 2018, Pages 151-161.

SYSTÈMES URBAINS

- El Meouche, R., Abunemeh, M., Hijaze, I., Mebarki, A., Shahrour, I., "Developing Optimal Paths for Evacuating Risky Construction Sites", Journal of Construction Engineering and Management, Volume 144 (2), art. no. 04017099, February 2018.
- Krimi, A., Rezoug, M., Khelladi, S., Nogueira, X., Deligant, M., Ramírez, L., "Smoothed Particle Hydrodynamics : A consistent model for interfacial multiphase fluid flow simulations" Journal of Computational Physics, Volume 358, 2018, pp.53-87.
- Krimi, A., Khelladi, S., Nogueira, X., Deligant, M., Ata, R., Rezoug, M., "Multiphase smoothed particle hydrodynamics approach for modeling soil – water interactions", Advances in Water Ressources, Vol 121, Pages 189-205, Novembre 2018.
- Ramírez, L., Nogueira, X., Khelladi, S., Krimi, A., Colominas, I., "A very accurate Arbitrary Lagrangian-Eulerian meshless method for Computational Aeroacoustics", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol 342, December 2018, Pages 116-141.
- Gobin, C., "La signature : l'affichage du bâti", Technique de l'ingénieur, November 2018.
- Hijazi, I., Isikdag, U., Abunemeh, M., Li, X., Hashash, M., El Meouche, R., Cansiz, S., "Mapping the Processes of Donor-Funded Construction Projects", Sustainability (2071-1050), Vol. 10, Issue 7, July 2018.
- Claude, F., Kayvantash, K., Gobin, C. (2018). « Proposition de gestion de la complexité des projets de construction. » c8116. Techniques de l'ingénieur. Editions TI.

LIVRE

- Gobin, C., « Successful Building Using Ecodesign », Sustainable Cities Resarch series 2 Taylor & Francis Group, 2018.

Les contributions à des conférences internationales 2017-2018

2017

- Hamzaoui, R., Guessasma, S., Abahri, K. "Mechanical performance of mortars modified with hemp fibres, shives and milled fly ashes", 2nd International RILEM/COST Conference on Early Age Cracking and Serviceability in Cement-based Materials and Structures - EAC2, ULB-VUB, septembre 2012-14, 2017 in Brussels, Belgium.
- Bouchenafa, O., Hamzaoui, R., Bennabi, A., Colin, J., "Influence of PCA on structure of fly ashes and slag obtained by mechanosynthesis. Applications : Mechanical performance of substituted paste (CEMI + 50 % slag/or fly ashes)", 2nd International RILEM/COST Conference on Early Age Cracking and Serviceability in Cement-based Materials and Structures - EAC2, ULB-VUB, septembre 2012-14, 2017 in Brussels, Belgium.
- Ben Maaouia, O., Hamzaoui, R., Bennabi, A., Colin, J., Colina, H., "Chromium trapping in the cement matrix : potential of leaching from RCA and stabilization", 2nd International RILEM/COST Conference on Early Age Cracking and Serviceability in Cement-based Materials and Structures - EAC2, ULB-VUB, septembre 2012-14, 2017 in Brussels, Belgium.
- Mendoza-Chavez, G., de Buhan, P., Hervé-Secourgeon, G., Rouzaud, C., Nazé, P., « Comparative analysis of strut-and-tie models through locally weighted regressions applied over the stress fields », 24th international conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, SMiRT 24, August 20-25, 2017 in Busan, Republic of Korea.
- Kteich, Z., Labbe, P., « Engineering simplified method for evaluating Earthquake induced settlements and liquefication ration in 1D soiil profile under seismic loading », Third meeting of the ICOLD European Club Working Group Dam and Earthquakes, february, 2017 in Roma, Italy.
- Kteich, Z., Labbe, P., Semblat, J-F., Javelaud, E., Bennabi, A., « Engineering simplified method for calculating Earthquake induced settlements and pore pressure rise », Symposium of the 85th annual meeting of ICOLD, Juillet, 2017 in Prague, CZECH REPUBLIC ;
- Kteich, Z., Labbe, P., « A new method for predicting liquefaction risk and induced settlements applied on the Urayasu city hit by 2011 Earthquake », The first international conference on Seismic design of structure and fundations, December, 2017, in Croydon United Kingdom.
- Labbé, P., « PSHA testing against historical seismicity Example of France », 16th World Conference on Earthquake, January, 2017, in Santiago Chile.
- Labbé, P., « On categorization of seismic load as primary or secondary », ASME 2017 PVP, July, 2017 in, Waikoloa, Hawai, USA.
- Tran, T-T., Le, B-A., Hoang, V-H., Nguyen, T-A., Pham, V-H., Rouzaud, C., « Dynamic and static behavior of light weight concrete slab on steel-girders railway bridge », 4th international conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, CIGOS 2017, October 26-27, 2017 in Ho-Chi-Minh-City, Vietnam.
- Hocine, M-B., Labbe, P., Hervé-Sécourgeon, G., Toutlemonde, F., "Equivalent linear response of reinforced concrete structures under seismic loading", SMIRT conf., Busan, Korea (2017).
- Nguyen, T-L., Labbé, P., Semblat, J-F., Hervé-Sécourgeon, G., "Equivalent linearization using transfer function", COMPDYN Conf., Rhode Island, Greece, (2017).
- Nguyen, T-L., Labbé, P., Semblat, J-F., Hervé-Sécourgeon, G., "Equivalent linearization using transfer function applied to piping system in deismic engineering", SMIRT conf., Busan, Korea (2017).
- Kteich, Z., Labbe, P., Semblat, J-F., Javelaud, E., Bennabi, A., « Dynamic and static behavior of light weight concrete slab on steel-girders railway bridge », Geotehcnical Earthquake engineering and soil dynamicsV conference, ASCE, June 1rst, 2017 in Austin, Texas USA.
- Kteich, Z., Labbe, P., Semblat, J-F., Javelaud, E., Bennabi, A., « Estimating Earthquake induced pore pore pressure in Urayasu city during 2011 East Japan earthquake », 16 ECEE, June 1rst, 2017, Thessaloniki Greece.
- Veyron, J., Becue, V., El Meouche, R., Barroca, B., « Resilience and risk management in the urban project », EGU General Assembly Conference Abstracts, Avril 2017.
- Krimi, A., Khelladi, S., Ata, R., Nogueira, X., Deligant, M., Rezoug, M., "A Multiphase SPH Approach to Model Soil-Water interactions", 14th U.S. National Congress on Computational Mechanics July 17-20, 2017, Montreal, Quebec, Canada.

2018

- Bouchenafa, O., Hamzaoui, R., Bennabi, A., Colin, J., « Mechanosynthesis and geopolymerazation of coproducts (fly ash and slag) », EMI Conference 2018, MIT, May 29, 2018 in BOSTON, USA.
- Hamzaoui, R., Bouchenafa, O., Bennabi, A., Colin, J., « Mechanosynthesis and their applications in civil engineering », EMI Conference 2018, MIT, May 29, 2018 in BOSTON, USA.
- Ouali, A., Bouchenafa, O., Hamzaoui, R., « Durability of cement based materials containing fly ashes and slag obtained by mechanosynthesis and modified by PCA », EMI Conference 2018, MIT, May 29, 2018 in BOSTON, USA.
- Bennabi, A., Hytiris, N., Hamzaoui, R., « Treatment method of soils or sediments contaminated based on the use of pozzolanic materials structurally modified », EMI Conference 2018, MIT, May 29, 2018 in BOSTON, USA.
- Hytiris, N., Bennabi, A., Hamzaoui, R., « Solidification/stabilization (S/S) treatment of zinc contaminated soil using commercial stabilizer and nanostructured-zeolite », », EMI Conference 2018, MIT, May 29, 2018 in BOSTON, USA.
- Ben Maaouia, O., Hamzaoui, R., Bennabi, A., Colin, J., Colina, H., « Leaching assessment of Recycled Concrete Aggregates (RCA) containing hexavalent chromium », 10th International Conference on the Environmental and Technical Implications of Construction with Alternative Materials, June 5, 2018 in Tampere FINLANDE.
- Tamburini C., Ziyani L., Dony A., Rohart C., Toraldo E., « Promotion of bitumen-impregnated cellulose fibres from lightweight roofing tiles in Stone Mastic Asphalt », Rilem 252-CMB Symposium, 2018 in Braunschweig (Allemagne).
- Daoudi A., Dony A., Ziyani L., Picard N., Buisson J., « How to evaluate with relevance the compactability of warm mixes using the gyratory compactor (GC) ? », Rilem 252-CMB Symposium, September 17, 2018 in Braunschweig (Allemagne).
- Jeong J., « Modélisation analytique et numerique de la carbonatation du béton recyclé : cinétique de réaction et expérimentation, Congrès Matériaux, novembre 19 2018 ».
- Aboul Hosn, R., Benahmed, N., Nguyen CD., Sibille, Luc., Philippe, P., Chareyre, B., « Effects of suffision on the soil's mechanical behavior : Experimental Investigations », 26th Annual meeting of European working group on internal erosion, September 10-13, 2018 in Milan, Italy.
- Labbé, P., « Statistical treatment of a comprehensive set of isoseismals observed in France during one century », 16th European Conf. on Earthquake Engineering, June 1rst 2018 in Thessaloniki, Grèce.
- Labbé, P., « Outlines of the revision of the Eurocode 8, Part 1, generic clauses », 16th European Conf. on Earthquake Engineering, June 1rst, 2018 in Thessaloniki, Grèce.
- Veylon, G., Jellouli, M., Fry, J.-J., Boutonnier, L., Kteich, Z., Durand, C., Carjaval, C., Labbé, P., Luu. L, « Nouvelles Approches simplifiées pour l'evaluation de la performance sismique des barrages en remblai », 26e Congrès Des Grands Barrages, July 1rst 2018, Vienne, Austria.
- Labbé, P., « On categorization of seismic load as primary or secondary for piping systems with hardening », ASME 2018, July 16, 2018, Pressure Vessel and Piping, Prague.
- Vacca N., Hervé-Segourgeon G., Argoul P., Labbe P., « Wavelet analysis of soft impact responses of a reinforced concrete mock-up (Projet OECD/NEA IRIS phase 3 Project) », TINCE'18 - Technological Innovations in Nuclear Civil Engineering, August 29, 2018 in France, Paris-Saclay.
- Mendoza-Chavez G., deBuhan P., Rouzaud C., Hervé-Secourgeon G., Nazé PA., « Handling appropriately the reinforcement of massive RC pieces by means of automatized strut and tie method », TINCE'18 - Technological Innovations in Nuclear Civil Engineering, August 29, 2018 in France, Paris-Saclay.
- Labbé P., Hervé-Secourgeon G., Banci F., El-Bahi H., « Equivalent linear method for robust and efficient seismic margin assessment », TINCE'18 - Technological Innovations in Nuclear Civil Engineering, August 29, 2018 in France, Paris-Saclay.
- Nguyen TA., Semblat JF., Labbé P., Hervé-Segourgeon G., « Transferred signal through a structure within non-linearity using the concept of equivalent linear behavior in seismic engineering », TINCE'18 - Technological Innovations in Nuclear Civil Engineering, August 29, 2018 in France, Paris-Saclay.
- Claude, F., « L'interaction Homme – Machine en temps réel pour un management intégré des risques. Le logiciel RiD© Construction : projet et portefeuille de projets complexes Institut de Maîtrise des Risques » Rencontres inter-GTR : vers une vision systémique de la maitrise des risques, June 25, 2018, Palais Brongniart, France.
- Da Silva, G., Eslahi, M., Doukari, O., Aguejdad, R., "Vers une modélisation 3D de l'expansion urbaine : application au modèle SLEUTH basé sur un automate cellulaire"; (Edubim), 2018.
- Hendel, M., Bobée, C., Berthe, A., Parison, S., Bordin, P., Royon, L., « Developing a GIS Tool for Emergency Urban Cooling in Case of Heat-Waves », ICUC10 & 14thSymposium on Urban Environment, August 6-10, 2018, New-York, USA .
- Pavard, A., Bordin, P., Dony, A., « Définition et modélisation de la voirie routière sous SIG », 24e congrès INFRA du CERIU, November 19, 2018, Québec, Canada.

LES STAGES DE RECHERCHE

Liste des stages Master en 2017-2018

2017

- Élaboration de revêtements constructifs 'capteur du gaz polluant'sur les surfaces du béton.
- Comportement des BFUP soulis à des environnements agressifs de cycles gel degel. Orientation du sujet vers impression 3D.
- Étude de la cinétique de mûrissement des bétons bitumineux à l'émulsion (BBE) recyclés.
- Optimisation du procédé du broyage d'un mélange binaire ou ternaire (calcaire, laitier, cendres volantes, metakaolin) et leurs utilisations dans les matériaux cimentaires.
- Modélisation numérique en régime transitoire de la ventilation.
- Évaluation de la qualité de l'air intérieur et de la performance des systèmes de ventilation.
- Modélisation numérique en régime transitoire de la ventilation.
- Veille technologique de l'utilisation des BFUP pour la constructibilité des structures du Génie Civil Nucléaire.
- Prédiction de la morphologie du fond érodé, à l'aval d'un évacuateur de crue d'un barrage : Approche Numérique et Expérimentale.

2018

- Dédoublement des mesures d'érodabilité d'un sol par déploiement de la technique PIV sur un érodimètre EFA.
- Érosion de digue soumise à diverses sollicitations hydrauliques.
- Amélioration de la procédure statique non-linéaire en utilisant la linéarisation équivalente par la rigidité sécante et le déplacement maximal.
- L'intégration de la 5 S dans le processus de sécurité à l'IRC.
- Impression 3D par fabrication additive.
- Étude du comportement rhéologique des bitumes modifiés par des fibres de palmier.
- Impression 3D des bétons : Mise au point des formules imprimables.
- Clinkérisation obtenue par mécanosynthèse.
- Modification d'un incubateur de CO_2 en vue d'analyser l'impact de gaz multi-composants sur des bétons recyclés.
- Étude sur l'utilisation de l'additif anti-carbonatation dans le béton.
- Simulaiton moléculaire du phénomène d'adsorption de CO_2 (et du gaz nocif) dans le béton anti-polluant.
- Étude de sensibilité du risque de liquéfaction et du tassement sismo-induits sur des cas de barrages en remblais.
- Comparaison de différentes approches du risque sismique en France et en Italie.
- Conception d'une maquette numérique « intelligente » pour les routes ».
- Interaction réseaux enterrés et chaussées.

Liste des PIER encadrés par l'IRC en 2017-2018

2017

- Optimisation du processus IPCS (Installation Permanente de Contre Sens / banalisation) pour une portion de ligne ferroviaire comportant deux voies.
- Utilisation du processus IPCS dans la mise en oeuvre de chantiers mobiles destinés à la réfection de voies ferroviaires SNCF.
- Sensibilisation au modèle social du handicap : concevoir une Ville pour tous.
- L'ingénieur du futur : design universel, innovation et accessibilité (diagnostic et propositions pour améliorer l'accessibilité).
- Les objets connectés : une gestion améliorée des réseaux dans l'habitat Concept de Smart City.
- Modélisation 3D et archivage numérique des œuvres d'art par photogrammétrie.
- Problématiser les ouvrages d'art à l'aide des sciences sociales : cas du TGV AVE-Espagne.
- Le Droit à l'Energie dans l'habitat éphémère.
- Étude et réalisation d'un robot industriel à motorisation électrique.
- Évaluation de la rigidité des Senrobés bitumineux : mise en route et calage du dispositif expérimental.
- Développement durable, accessibilité et société.
- L'architecture dans le cinéma. Le cinéma dans l'architecture.
- La deuxième vie du béton.
- Espace architectural, espace pictural : la peinture murale au XX^{e} siècle.
- Étude et réalisation d'un chariot tracteur à énergie solaire pour avion de tourisme.
- Mobility in Highrise Buildings.
- Génération d'énergie renouvelable localisée dans les sites classés au Patrimoine Mondial de l'Unesco.
- Évaluation qualitative des relevés en lasergrammétrie
- Mise en place d'un service de soutien scolaire dispensé par des étudiants
- Prise de connaissance de la méthodologie « ICS » (Intégration Conception et Soutien) pour adaptation aisée aux Entreprises partie-prenantes

- Étude du développement d'une culture de sécurité dans les grandes entreprises industrielles.
- Application de la méthode LSPIV pour la mesure de champs de vitesse d'un écoulement en rivière et/ou en zone urbaine sur modèle réduit.
- Techniques d'entretien pour couches de surface : évaluation du vieillissement UV et thermique pour l'ECF (enrobé coulé à froid).
- Road builder.
- Projet Roadcell : valorisation de la technologie Onduline dans des enrobés bitumineux.
- Identification des aléas techniques et organisationnels d'un projet de bâtiment.
- Utilisation d'un logiciel d'architecture systèmeApplication au cas du métro du Grand Paris Express.
- Le confort extérieur en milieu urbain : rôle et efficacité énergétique des revêtements de voiries.
- Possible applications of nanotechnologies in Civil engineering - Contribution to seismic prevention.
- The HIGHWAY of tomorrow.
- Les Méta-Matériaux, application de ces nouvelles théories aux systèmes parasismiques.
- The X-Seed 4000 the tallest building ever fully envisioned in Tokyo bay Area.
- Architecture et Utopie.
- Caractérisation des paramètres spatiaux et temporels des « niches » d'espaces publics parisiens.
- Généalogie des principes structurels dans l'architecture à ossature bois française.
- Rénovation énergétique et Impression 3D des façades.
- Mise au point d'un prototype de faisabilité d'impression 3D des bétons.
- Les bétons biosourcés.
- Création d'une maquette numérique « intelligente » pour les routes.
- Lampadaire intelligent.
- Casque de vélo anti-pluie.
- Application smartphone : géolocalisation en temps réel des places de stationnement disponible dans les grandes villes.
- Conception de thermes.
- Repas express de qualité en 20 secondes.
- Étude et réalisation d'un simulateur dynamique 6 axes.

Note : Le détail des projets PIER est consultable dans le Rapport Annuel d'Innovation 2016-2017.

2018

- Recherche de minimisation des retards des trains circulant sur une ligne ferroviaire « 2 voies » et dont une section est limitée à une voie, ce qui nécessite un alternat de passage.
- Commande en temps réel d'un hacheur sous Labview.
- Construire une ville pour tous : repenser l'inclusion des personnes en situation de handicap.
- L'ingénieur du futur : Universal Design Thinking (innovation et accessibilité universelle).
- Les objets connectés : une gestion améliorée des réseaux dans l'habitat Développement de Smart City.
- Stabilité à l'érosion interne d'un sol hétérogène.
- Étude et réalisation d'un robot industriel à motorisation électrique.
- Production d'un cahier des charges de système de gestion du retour d'expérience dans le domaine ferroviaire.
- Développement durable, accessibilité et société.
- L'architecture dans le cinéma. Le cinéma dans l'architecture.
- La deuxième vie du béton.
- Étude et réalisation d'un chariot tracteur à énergie solaire pour avion de tourisme.
- Micro Energie pour site classé Patrimoine Historique.
- Récupération d'énergie vibratoire.
- Méthodologie d'aide à la décision pour la conception de matériels durables et réparables avec prise en compte des performances technico-logistiques, de la sûreté de fonctionnement et du coût de possession.

- Création d'une maquette numérique « intelligente » pour les routes.
- Le parapluie électrostatique.
- Conception de thermes.
- Approche théorique de l'étude du confinement nucléaire statique d'un bâtiment : étude, modélisation, recherche des solutions techniques et analyse des performances obtenues.
- Réflexion sur l'utilisation de l'impression 3D pour un ouvrage en béton armé.
- Building Integrated PhotoVoltaics (BIPV).
- Illustration de phénomènes physiques en mécanique des fluides incompressibles.
- La fumée de silice en 2018 : État des lieux.
- Modélisation et Visite de laboratoires virtuels_#1 le laboratoire mortiers.
- Développement d'un matériel d'impression 3D à base de BFUP.
- Application Smartphone pour TD/TP Formulation des Bétons.
- Visite virtuelle des Campus de l'ESTP Paris.
- Prospective de la Mobilité dans le cadre de PARIS JO 2024.
- Les vibrations des Bâtiments : source potentielle d'Energie ?

- Optimisation de l'énergie photovoltaïque en milieu urbain.
- Le bois : nouvelle source de matériau pour la construction ? Les plaques de pâte à bois : substitut de l'acier ?
- Méthodologie active pour réduire les pertes thermiques des Bâtiments.
- Les villes du futur : l'inclusion et l'accessibilité vues par le cinéma Sci-Fi.
- La voirie dans l'aménagement urbain : développement d'une méthode originale de calcul de sa surface par traitement d'image aérienne.
- Valorisation de bardeaux d'asphalte dans les enrobés bitumineux Possibilités et limites du marché français et européen par rapport au marché canadien.
- Comportement des enrobés vis-à-vis de la résistance au poinçonnement.
- Caractérisation de l'évolution du bitume par analyse calorimétrique différentielle (DSC) classique et modulée.
- Généalogie des enveloppes bioclimatiques dans l'architecture contemporaine française.
- Construction d'un outil informatique de gestion de patrimoine.
- Géopolymérisation élaborée par mécanosynthèse (cendres volantes).
- Géopolymérisation élaborée par mécanosynthèse (laitier).
- Système d'information géolocalisé d'aide à la décision pour le risque industriel.
- Mise au point et caractérisation d'un géopolymère pour le traitement des sols.
- Recherche de solutions de collecte, de tri et de traitement des déchets avec prise en compte des contraintes et des exigences qualité des industries du groupe Saint Gobain.
- IGH en bois et intégration du verre en façade – Développement d'une alternative.
- Développement direction train arrière camion pour maquette 1/14e.
- Création d'un outil de chiffrage automatique et optimisé des vitrages à partir d'une maquette BIM d'un bâtiment.
- The Moox Project.
- Utilisation des drones dans le milieu du bâtiment et des travaux publics.

Mai 2019
Direction de la Communication ESTP Paris
Conception graphique : xavier.jacobi@orange.fr

Crédits photographiques :
Adobe Stock; IStock ; ESTP Paris ; 123 RF.

ESTP
PARIS
L'ÉCOLE DES GRANDS PROJETS

28, avenue du Président Wilson
94234 Cachan Cedex
Tél. : +33 (0)1 49 08 03 20
ecroquesel@estp-paris.eu

www.estp.fr