

# ESITC MAG'

## RECHERCHE



N° 2

NOVEMBRE 2022

REVUE ANNUELLE DE LA RECHERCHE À L'ESITC PARIS



Construction Agile

Responsible

Et 4.0

L'édition 2022 du « TC Mag'Recherche » de l'ESITC Paris, s'articule autour de 3 parties : la Formation, les Stages & Projets de Recherche, et les Projets d'Initiation à la Recherche.

Dans la rubrique **Formation**, vous découvrirez un article sur des **Travaux de Fin d'Études (TFE)** rédigé par une **étudiante de 5<sup>ème</sup> année** sur l'économie circulaire et le réemploi des matériaux dans la construction, ainsi qu'un autre issu d'un rapport de **VAE<sup>1</sup>** sur le développement d'un processus BIM pour un projet d'infrastructure. Vous y retrouverez des informations sur le cycle des 6 conférences organisées par les ESITC de Paris et de Metz. Enfin, vous est proposée la présentation de la **plateforme expérimentale en chimie environnementale de l'ESITC Paris** développée avec l'EPF Cachan, le « Green Lab ».

Dans la rubrique **Stages et Projets de Recherche**, nos rédacteurs vous proposent 4 articles sur leur **stage de Master 2** encadrés ou co-encadrés par les enseignants chercheurs de l'ESITC Paris. Un de nos étudiants de 4<sup>ème</sup> année nous fait partager son expérience de **stage de recherche de recherche** au sein de l'UGE<sup>2</sup> sur la vulnérabilité des bâtiments aux séismes. Le directeur de la recherche nous parlera des actualités au niveau de la recherche. Joe Tannous nous présentera l'avancement de sa **thèse** (en collaboration entre ESITC Paris – UGE) sur l'incorporation de l'acétate de cellulose dans les mortiers.

Notre enseignante-chercheuse, Christina Khalil nous donnera des nouvelles du projet de recherche LICORNE. Un article sur la participation de nos enseignantes chercheuses et doctorant aux **RUGC2022** et au **3<sup>rd</sup> European Conference on Earthquake Engineering & Seismology** complète ce panorama.

Enfin, dans la rubrique **Projets d'Initiation à la Recherche**, nous vous parlons des 3 types de projets ayant eu lieu l'an dernier, parmi lesquels nous distinguons :

- 2 articles issus des Projets d'Initiation à la Recherche (IR<sup>3</sup>), proposés **aux étudiants de 2<sup>ème</sup> année** qui traitent pour l'un de la gestion des eaux et pour l'autre de l'inconfort l'été au sein d'un logement ;
- 3 extraits des Projets d'Expériences Scientifiques de Recherche (ESR<sup>4</sup>) **des étudiants et les apprentis de 3<sup>ème</sup> année**. Un groupe a fait le choix de créer une capsule sur la modélisation numérique de la réponse sismique d'une structure, un second une capsule pédagogique pour expliquer la précontrainte. Un troisième groupe a décidé de rédiger une revue pour les juniors traitant des granulats recyclés dans le béton ;
- 2 articles sur les Projets de Recherche et d'Innovation (PRI<sup>5</sup>) proposés aux **étudiants et apprentis de 4<sup>ème</sup> année**. Un des projets a donné lieu au développement d'une application pour les gestionnaires de collecteurs d'assainissement et un autre a joué sur l'originalité de ses livrables sous forme de 2 revues pour nous présenter la construction sur Mars.

Bonne lecture !

**Jean-Michel TORRENTI**,  
Directeur de la Recherche  
**Sabrina PERLO**,  
Directrice Enseignement-Recherche

<sup>1</sup> Validation des Acquis de l'Expérience

<sup>2</sup> UGE : Université Gustave Eiffel

<sup>3</sup> Projet consistant à la rédaction d'un article à partir d'un ou deux articles de vulgarisation et d'une recherche bibliographique.

<sup>4</sup> Projet consistant à réaliser un travail de doctorant durant 3 jours

<sup>5</sup> Projet consistant à un travail de recherche bibliographique et à une mise en application des nouvelles connaissances acquises

# Sommaire

## Formation

### TRAVAUX DE FIN D'ÉTUDES

L'économie circulaire : Privilégier le réemploi des matériaux.....	4
Le développement d'un processus BIM pour un projet d'infrastructure.....	7

### CONFÉRENCES RA4.0

Conférences 2021-22.....	10
Prochaines conférences .....	12
<b>Construction Responsable</b> - La rénovation des immeubles de copropriété, un incontournable de la transition écologique des villes.....	13

### PLATEFORME EXPÉRIMENTALE

GREEN LAB : plateforme expérimentale de chimie environnementale .....	14
---	----

## Stages & Projets

## de Recherche

Actualités de la recherche.....	15
---------------------------------	----

### STAGES RECHERCHE

Représentation numérique du comportement du sol à partir des essais en centrifugeuse.....	16
Effect of human hair fibers on the mechanical performance of mortars.....	18
Évaluation du risque sismique des bâtiments : modélisation numérique sur OpenSees .....	20
Potentiel de valorisation de co-produit d'algues dans la construction .....	23
La vulnérabilité des bâtiments aux séismes et la caractérisation des modes verticaux .....	26

### PROJETS DE RECHERCHE

Le Projet LICORNE .....	28
Participation à des conférences.....	30

## Projets d'Initiation à

## la Recherche

### PROJETS D'INITIATION À LA RECHERCHE DES 2<sup>ÈME</sup> ANNÉE

PREAMBULE.....	32
La coopération autour de la gestion des ressources en eau : un instrument essentiel au maintien de la paix .....	33
Faire face à l'augmentation de l'inconfort d'été au sein du logement.....	40

### EXPÉRIENCES SCIENTIFIQUES DE RECHERCHE

La précontrainte .....	46
Les granulats recyclés dans le béton.....	47
Modélisation numérique de la réponse sismique d'une structure.....	48

### PROJETS DE RECHERCHE ET D'INNOVATION (PRI)

Construire sur la Lune.....	50
Réhabilitation des collecteurs d'assainissement non-visibles .....	52



## TRAVAUX DE FIN D'ÉTUDES

### L'économie circulaire : Privilégier le réemploi des matériaux

Le secteur du BTP est le plus grand consommateur de ressources naturelles et le plus important producteur de déchets en France. 16% des déchets générés seraient encore viables [1]. Il s'agit là d'un gisement de produits déjà disponibles. Pourquoi les jeter et produire de nouveaux éléments ? C'est ici qu'intervient le réemploi des matériaux.

#### DÉFINITION

D'après le **Code de l'environnement**, le réemploi désigne toute opération visant à **utiliser de nouveau des substances, matières ou produits, issus de la déconstruction**, pour un **usage identique** à celui pour lequel ils avaient été conçus [2]. Dans le langage courant, on pourrait parler de matériaux d'occasion ou de seconde main.

#### TROIS NOTIONS BIEN DISTINCTES

Il est important de **distinguer le réemploi de la réutilisation**. Ces deux notions se différencient par le passage ou non du matériau par le statut de déchet. En effet, contrairement au réemploi, la réutilisation vise à utiliser de nouveau des substances, matières ou produits, devenus des déchets, en les détournant parfois de leur usage initial [2].

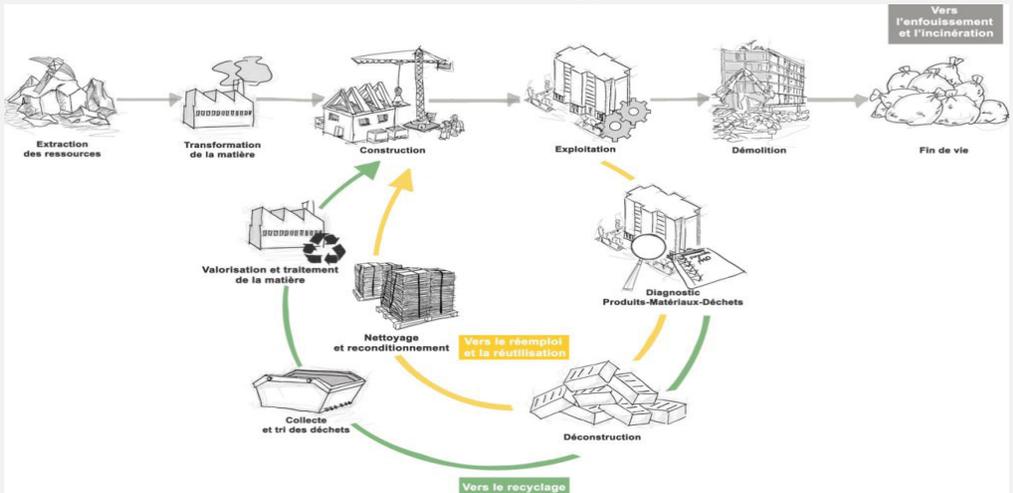


Figure 1 : Représentation des modèles linéaire et circulaire [3]

Le **recyclage** est quant à lui un procédé de traitement des déchets, qui permet de réintroduire certains composants dans la production de nouveaux produits [2].

Pour mieux comprendre la différence entre ces trois notions, prenons l'exemple d'une porte en bois déconstruite sur un projet.

On parle de réemploi si la porte est reposée pour une même fonction. On parle de réutilisation si un ensemble de portes récupérées est exploité en éléments de façade. On parle de recyclage si la porte est réduite en copeaux et sert à la fabrication d'un nouveau produit.

## UNE URGENCE ENVIRONNEMENTALE

Le réemploi, la réutilisation et le recyclage interviennent tous trois dans une **démarche d'économie circulaire**, qui **s'oppose au modèle linéaire** reposant sur l'extraction des matières premières, la production d'un matériau, la construction, l'exploitation, la démolition et enfin l'élimination du déchet (figure 1).

L'économie linéaire se heurte à **deux problématiques écologiques principales** : l'épuisement des ressources naturelles ainsi que la production et l'élimination des déchets.

La transition vers une économie circulaire apparaît comme un moyen d'exploiter les filières de matériaux de manière plus durable.

Aujourd'hui, le modèle circulaire est principalement pensé à travers le recyclage. Pourtant, il s'agit d'un procédé industriel et moins de 50% des déchets de construction sont revalorisés [4]. Le principal levier sur lequel il est primordial de travailler est donc la **diminution des déchets**.

Ainsi, en **allongeant la durée de vie d'un matériau** et en **empêchant la production d'un élément neuf**, le recours au réemploi apparaît comme une solution à ces deux problématiques.

## UN INTÉRÊT FINANCIER

Le réemploi peut également présenter un avantage financier grâce aux économies réalisées sur la gestion et le traitement des déchets de chantier, à celles engendrées par l'achat d'un matériau de seconde main, moins onéreux qu'un produit neuf ou encore aux recettes générées par la commercialisation d'éléments de construction réemployables.

En revanche, il ne faut pas oublier dans la balance financière les **éventuels surcoûts** liés à la déconstruction soignée, au conditionnement et au stockage.

## LES ÉTAPES DU PROCESSUS

Premièrement, il faut élaborer le **diagnostic Produits-Équipements-Matériaux-Déchets** qui référence les éléments jugés propices au réemploi, suivant les critères de qualité, de quantité ou encore de facilité d'accès. Ce document, prévu par la loi anti-gaspillage, est exigible depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2022 pour les opérations de déconstruction et de rénovation significative de plus de 1000 m<sup>2</sup> de surface de plancher cumulée [5].

Ensuite, vient la **déconstruction sélective** : elle désigne une extraction soignée des éléments afin de ne pas dégrader leur état et de rendre possible leur réemploi.

Avant d'être réemployé, l'élément déposé peut nécessiter une **révision**. Ce processus peut prendre plusieurs formes : le nettoyage ou encore le remplacement d'un ou plusieurs composants...

Enfin, plusieurs possibilités de remise en œuvre se présentent :

- Le **réemploi in-situ** : l'élément déconstruit sera incorporé au futur projet ;

- Le **réemploi ex-situ** : il est possible de publier des annonces sur des plateformes de vente en ligne spécialisées, ou de céder ces éléments à d'autres chantiers ou à des associations.

## LE MARCHÉ DU RÉEMPLOI

Des structures professionnelles, entreprises ou associations, voient progressivement le jour partout en France. Cette **filière émergente** propose un accompagnement pour toutes les étapes du processus. On référence **environ 370 acteurs en France métropolitaine** (figure 2), comprenant concepteurs, constructeurs et vendeurs. L'activité se concentre principalement en Ile-de-France avec plus de 110 entreprises et associations [6].

## TRAVAUX DE FIN D'ÉTUDES (SUITE)

### LIMITES ET PERSPECTIVES

Il ne peut être omis les **difficultés assurantielles et logistiques** liées à la mise en place d'une telle démarche. Ces dernières devraient s'atténuer avec la généralisation du réemploi et la création d'une économie d'échelle.

Le **réemploi d'éléments structurels** et l'**émergence d'ouvrages écoconçus** constituent quant à eux des perspectives d'évolution.

### UNE SENSIBILISATION PRIMORDIALE

La massification de l'usage des matériaux de réemploi est indissociable de la **volonté commune de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'oeuvre** ainsi que de l'**investissement de l'entreprise** de déconstruction ou de construction. Une **formation et sensibilisation** sont donc essentielles pour engager les différents acteurs.

Elise GARCIA,

Etudiante de 5<sup>ème</sup> année 2021-22  
en stage chez Legendre IDF

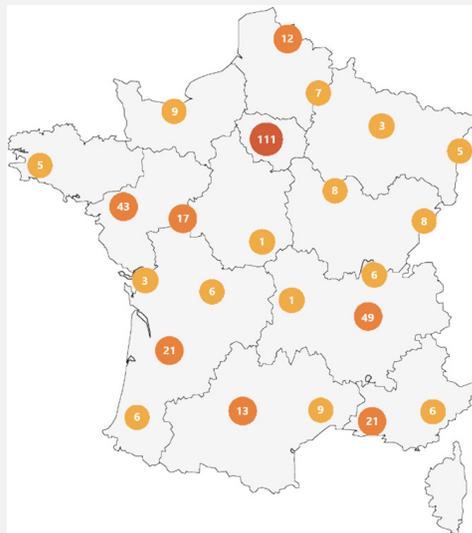


Figure 2 : Répartition des acteurs français en 2022 [6]

### RÉFÉRENCES

- [1] « 36 fiches pratiques pour le réemploi des matériaux », Ordre des architectes, 22 février 2022, en ligne : <https://www.architectes.org/actualites/36-fiches-pratiques-pour-le-reemploi-des-materiaux>.
- [2] « Code de l'environnement, article L541-1-1 », Légifrance, en ligne : [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000042176087](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000042176087).
- [3] « Le diagnostic Produits – Matériaux – Déchets, la version améliorée du diagnostic déchets », Cycle Up, en ligne : <https://site.cycle-up.fr/notre-univers-du-reemploi/reglementations/le-diagnostic-produits-materiaux-dechets-la-version-amelioree-du-diagnostic-dechets/>.
- [4] « Déchets de chantiers ou matériaux de seconde vie : quels nouveaux usages possibles ? », Cercle Promodul INEF4, en ligne : <https://cercle-promodul.inef4.org/publication/dechets-issus-des-chantiers-du-btp-une-nouvelle-vie-possible/>.
- [5] « Décret n° 2021-821 », Légifrance, 25 juin 2021, en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043704853>.
- [6] « La carte des acteurs du réemploi », Matériaux réemploi, mai 2022, en ligne : <https://carte-des-acteurs-du-reemploi.gogocarto.fr/>.

## TRAVAUX DE FIN D'ÉTUDES

### Le développement d'un processus BIM pour un projet d'infrastructure

#### CAS DE PROJET DE TRAVAUX D'ÉLARGISSEMENT ET DE RENFORCEMENT DE LA RP2317 DU PK 33+000 AU PK 38+000 (PROVINCE DE YOUSOUFIA, MAROC)

##### CHOIX DU SUJET POUR LE MÉMOIRE DE CETTE VAE<sup>1</sup>

Comme l'école supérieure d'ingénieurs des travaux de la construction de Paris (l'ESITC) prône continuellement la valorisation des compétences, le partage du savoir-faire, l'ouverture sur des expériences internationales et l'orientation de ses élèves vers les nouvelles technologies et méthodes appliquées dans les multiples branches du BTP, et pour une parfaite transition entre l'exercice professionnelle et la perfection grâce à l'encadrement et l'accompagnement octroyés par l'école, le choix a été fait sur le BIM comme sujet de mémoire.

A travers ce travail, pour profiter des avantages du BIM, nous avons essayé de tracer une première esquisse de la démarche administrative et technique à suivre pour la direction d'un projet d'infrastructure.

##### LE CONTEXTE DU BIM

Le domaine du bâtiment et des travaux publics évolue constamment et devient de plus en plus complexe, poussant à chaque fois les différentes parties prenantes d'un projet à penser à de nouvelles méthodes pour faire face aux difficultés rencontrées. L'avancement de chaque chantier de construction est associé à de nombreuses contraintes : le délai de réalisation, le coût, les adaptations au cours des travaux, les pertes et les erreurs.

Le recours au BIM n'est plus un choix, c'est une nécessité, en effet le dernier CCAG-T (Le cahier des clauses administratives générales - Travaux) appliqué en France depuis 2021 définit clairement le BIM dans son article N°2, le cahier de charge BIM et la convention BIM. Le même CCAG-T rend le BIM contractuel à travers l'article N°4 paragraphe N°1 alinéas N°10 et 11.

##### LA PROBLÉMATIQUE

Les projets routiers englobent plusieurs disciplines. Depuis la planification, la conception, la construction, l'entretien jusqu'à une éventuelle démolition, par leur complexité, ils nécessitent une grande expertise pour assurer la coordination et le partage de l'information entre les différents intervenants.

En raison de cette complexité et les exigences de qualité et de délais, il est nécessaire d'y introduire des solutions innovantes et révolutionnaires pour augmenter la productivité, la qualité, la durabilité, et réduire les coûts et le temps de réalisation grâce à la collaboration et la communication entre les différentes parties prenantes.

##### LE PROCESSUS BIM

Le tronçon routier, objet du mémoire, se situe au Maroc, à 120 Km de la ville de Marrakech, dans la limite entre la commune Ighoud relevant de la province de Youssoufia d'une part et la province de Safi d'autre part.

<sup>1</sup> VAE : Validation des Acquis de l'Expérience. La VAE permet d'obtenir un diplôme correspondant à son expérience professionnelle. Les compétences acquises au fil des années sont ainsi valorisées au même titre que si elles avaient été acquises par une formation équivalente. (Définition Onisep <https://www.onisep.fr/cap-vers-l-emploi/Validation-des-acquis-de-l-experience/La-validation-des-acquis-de-l-experience/qu-est-ce-que-la-vae-validation-des-acquis-de-l-experience>)

## TRAVAUX DE FIN D'ÉTUDES (SUITE)

Avant le début de la modélisation des différentes composantes du projet, un cahier de charge expérimental BIM a été établi, à travers lequel on a déterminé les cas d'usage de la maquette numérique, l'organisation, les responsabilités, le processus et les formats de données.

Les caractéristiques du processus BIM appliqué sont :

- **Niveau de maturité** : à ce stade d'expérimentation du BIM pour un projet routier, le niveau de maturité choisi est (1) : BIM isolé
- **LOD (Level of détails)** : les niveaux de détail des éléments de la maquette numérique oscillent entre le (LOD 200) pour les talus et le (LOD 300) pour les composantes des ouvrages buses et dalots
- **Dimensions** : les dimensions du BIM traitées pour ce projet sont : 3,4,5,6 et 7.

La modélisation du projet est réalisée selon l'ordre chronologique suivant :

- La **réalisation de la maquette 3D** du projet ;
- La modélisation **4D avec la planification** du projet (Figure 1) ;
- La modélisation **5D avec les coûts** (Figure 2) ;
- La modélisation **6D avec l'ajout des notions de développement durable et de l'environnement** appliquées dans le projet ;
- La modélisation **7D avec l'intégration des documents techniques et administratifs** au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

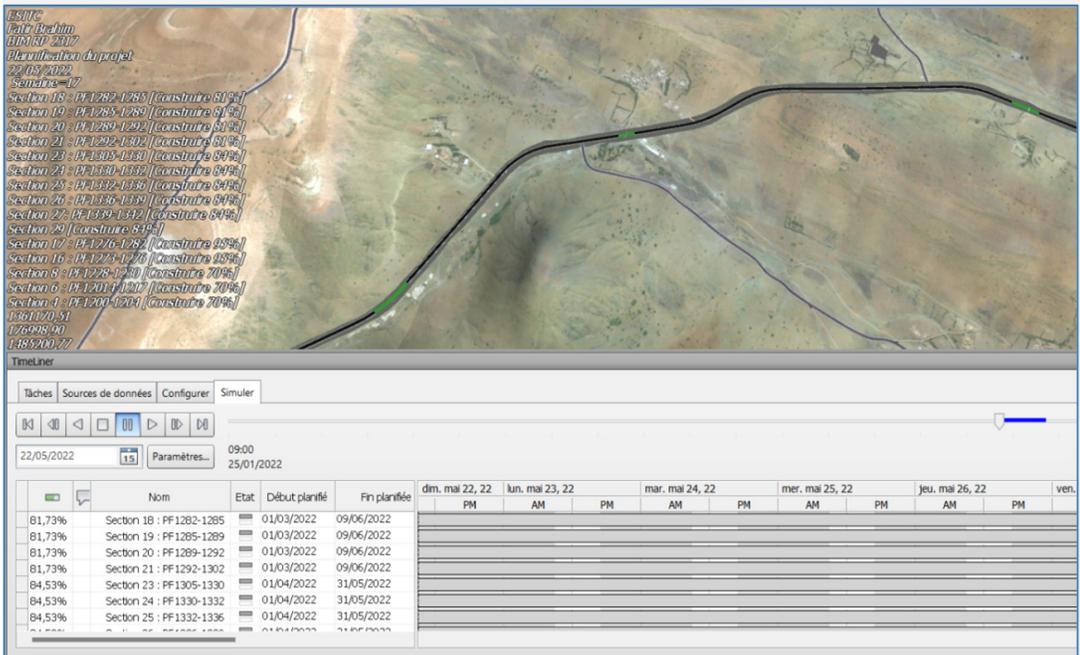


Figure 1 : Planification du projet sous Navisworks

Grâce au processus BIM instauré pour la direction du projet, nous étions en mesure de :

- Suivre minutieusement l'avancement des travaux ;
- Projeter l'avancement du projet sur la durée du chantier ;
- Détecter des conflits dus au chevauchement d'exécution ;
- Prendre les décisions en temps opportun ;
- Maîtriser davantage les phases de réalisation du projet ;
- Améliorer les rendements ;
- Renforcer la collaboration entre les parties prenantes ;
- Diminuer les coûts de traitement d'erreurs et des omissions.

## LA CONCLUSION

Certes le BIM accuse un retard considérable pour les projets d'infrastructure en comparaison avec ceux du bâtiment, mais son utilisation est devenue primordiale.

Il ne se résume pas à une simple maquette 3D, c'est une philosophie de gestion, dont les piliers sont : le travail collaboratif, l'interopérabilité et la communication.

Gérer les projets d'infrastructures par un processus BIM, aidera vraisemblablement à améliorer nos capacités à effectuer des analyses pointues plus rapidement et à arriver à des solutions amplement améliorées en automatisant nos processus de gestion.

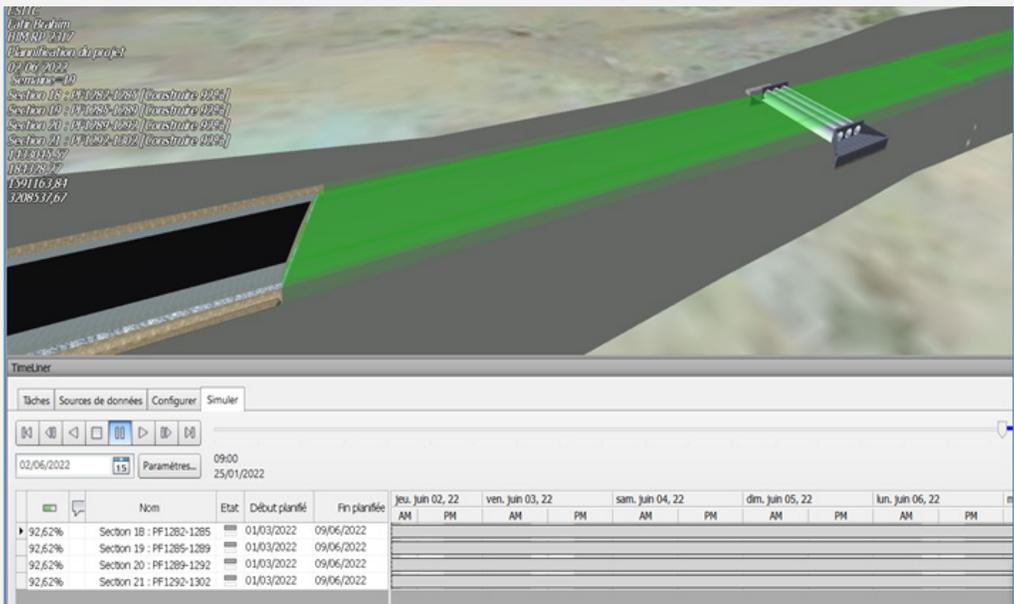


Figure 2 : Simulation de l'avancement des travaux et des coûts (Terrassement - Chaussée - Ouvrages Hydrauliques)

Brahim FATIR,  
 VAE 2022,  
 Directeur des Travaux SGTRA



L'ESITC Paris et Metz ont eu le plaisir de proposer à leurs étudiants, leurs apprentis et leurs différents partenaires, 6 mini-conférences à raison d'une fois par mois entre octobre 2021 et mars 2022. Les 6 conférences s'inscrivent dans les axes piliers de notre formation à savoir la « Construction Responsable », la « Construction Agile » et évidemment la « Construction 4.0 ».

M. Amor BEN FRAJ du Cerema nous a fait l'honneur d'initier ses conférences avec un sujet, ô combien d'actualité, le « **Recyclage du béton dans le béton** » en répondant aux questions suivantes :

- ✓ Quels sont les effets des Granulats Recyclés sur les propriétés des bétons ?
- ✓ Y-a-t-il un intérêt, d'un point de vue CO2 à utiliser des Granulats Recyclés ?
- ✓ Pourrait-on réaliser des ouvrages à base de Granulats Recyclés ?
- ✓ Quelles évolutions normatives en perspective sur ce sujet ?



#### Les réponses à ces questions par :

### Amor BEN FRAJ

- Docteur de l'institut de recherche en Génie civil et Mécanique (GeM) de l'université de Nantes et HDR de l'université Paris-Est
- Responsable adjoint de l'équipe de recherche "Durabilité, Innovation et valorisation des Matériaux Alternatifs" (DIMA), au CEREMA
- Porteur et/ou participant à différents projets : SEDIFLUV, RECYBETON, FastCarb, SeRaMCo, SAND
- Expert dans plusieurs études relatives au recyclage et à l'économie circulaire dans les matériaux cimentaires



Un bel exemple de situation où les besoins techniques devancent les normes, M. Faustin GAUFILLET de l'entreprise Schöck a présenté « **L'armature en fibres de verre Schöck Combar®, une alternative durable et économique à l'acier** » en répondant aux questions suivantes :

- ✓ Que dire de la société Schöck ?
- ✓ Qu'est-ce que l'armature en fibres de verre Combar® ?
- ✓ Quels avantages des armatures en fibres de verre versus celles en acier ?
- ✓ Quel dimensionnement pour ces armatures en fibres de verre ?
- ✓ Quelles applications pour ces armatures en fibres de verre ?



#### Les réponses à ces questions par :

### Faustin GAUFILLET

- Responsable d'affaires Combar®
- *Produits fabriqués et commercialisés par Schöck France : traitement de ponts thermiques et techniques d'armatures pour répondre aux différents défis des constructions*
- *Société Schöck : 206,8 millions d'euros de chiffre d'affaires annuel en 2019 et présente dans plus de 40 pays*



Un spécialiste du BIM de l'Université de Florence, M. Pietro CAPONE a répondu à la question comment « Améliorer la valeur du chantier avec le BIM » en reprenant les points suivants :

- ✓ Comment le BIM peut-il améliorer le chantier ?
- ✓ Comment le BIM peut-il contribuer à la sécurité des compagnons sur les chantiers ?
- ✓ Comment le BIM peut-il améliorer le lien entre le projet de construction et le chantier ?



### Les réponses à ces questions par :

#### Pietro Capone

• Directeur du Mastère Spécialisé "Conception et Sécurité des lieux de travail", Département de Génie Civil et Environnemental (DICeA), Université de Florence, Italie

• Maître de conférence de Gestion de la Construction, Département d'architecture (DIDA), Université de Florence, Italie



*pietro.capone@unifi.it*

Mme Yasmina BOUSSAFIR, chercheuse à l'Université Gustave Eiffel a traité un sujet en plein développement l'« Analyse de Cycle de Vie et Terrassements », en répondant aux questions suivantes :

- ✓ Qu'est-ce que l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) ?
- ✓ Analyse de Cycle de Vie et développement durable, même combat ?
- ✓ Les terrassements ont-ils un Cycle de Vie ?
- ✓ Que retenir pour les pratiques des années à venir



### Les réponses à ces questions par :

#### Yasmina Boussafir

- Chercheuse au Laboratoire Sols, Roches et Ouvrages géotechniques au sein de l'université Gustave Eiffel
- Docteure en géotechnique appliquée aux ouvrages en terre et aux digues fluviales
- Ingénieure Géologue, recrutée comme ingénieure des Travaux Publics de l'Etat en 1994
- Pilote du projet de recherche TerDOUEST (2008-2012)



Du Luxembourg, M. Fabrice BERROIR a exposé « La logistique, réponse aux challenges économiques et environnementaux des chantiers de construction » en répondant aux questions suivantes :

- ✓ Pourquoi la logistique doit-elle changer ?
- ✓ Comment améliorer concrètement la logistique d'un chantier ?
- ✓ Quelle est la valeur ajoutée d'un tel changement ?



### Les réponses à ces questions par :

#### Fabrice Berroir

- Ingénieur Recherche & Développement au LIST (Luxembourg Institute of Science and Technology)
- Expert en Lean Construction



## CONFÉRENCES 2021-22



### Construction



CONSTRUCTION 4.0

MM. Duan HUA & Thomas SCHWARTZ se sont associés pour expliquer comment « Répondre aux challenges de coordination sur chantier, le cas du Last Planner® System » en traitant des questions suivantes :

- ✓ Pourquoi structurer la coordination sur chantier autour d'une méthodologie collaborative ?
- ✓ Quels sont les freins à l'application concrète de ce type de méthodes ?
- ✓ Dans cette perspective, quels sont les apports et les limites de la digitalisation ?



### Les réponses à ces questions par :

**Duan Hua & Thomas Schwartz**

- Ingénieurs Recherche & Développement au LIST (Luxembourg Institute of Science and Technology)
- Responsables de collaboration de recherche sur le Lean Construction et ses outils



## Prochaines conférences

**Le 8 novembre 2022** – **Construction 4.0** : *L'introduction du digital dans le BTP*, présentée par Léo LEFEBVRE, Directeur Produit et Antonin CHRETIEN, Directeur des Opérations chez **Wizzcad**.

La conférence aura lieu à l'**ESITC Paris**.

**Le 6 décembre 2022** – **Construction Agile** : *Construire Hors Site, effet de mode ou solution durable ?*, présentée par Jacques BOUILLLOT, Directeur, Filière sèche et solutions bas carbone et Hervé DHAL, Directeur Commercial **Pôle Solutions Industrialisées** chez **Eiffage Construction**.

La conférence aura lieu à l'**ESITC Paris**.

**3 autres conférences, le 3 janvier, le 7 février et le 14 mars**, seront proposées par l'**ESITC Metz**.

**Pour en savoir plus**, nous vous invitons à consulter notre site Innovation (<https://innovation.esitc-paris.fr/conferences/>), vous pourrez y retrouver des supports et des résumés, ainsi que quelques références complémentaires suggérées par nos orateurs. Ces conférences peuvent être suivies en visio. Inscription gratuites à : [conférences@esitc-paris.fr](mailto:conférences@esitc-paris.fr)

## Construction Responsable - La rénovation des immeubles de copropriété, un incontournable de la transition écologique des villes

Le 4 octobre 2022 – M. DELHOMMEAU de l'Agence Parisienne du Climat nous a fait l'honneur de nous présenter « La rénovation des immeubles de copropriété, un incontournable de la transition écologique des villes ».

M. Frédéric DELHOMMEAU est Directeur Habitat et Rénovation de l'Agence Parisienne du Climat. Urbaniste de formation, il coordonne les activités de l'Agence Parisienne du Climat sur l'habitat durable (en général) et sa rénovation (en particulier afin de répondre aux objectifs du Plan Climat, notamment au niveau des rénovations effectuées, et ce en s'entourant des partenaires appropriés.



### Résumé :

L'agence parisienne du climat (l'APC) est un organisme à but non lucratif créé en 2011 et soutenue par l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie).

L'agence se donne pour mission d'aller au contact du public pour mobiliser, accompagner, conseiller et informer. Elle réalise plusieurs missions comme les rendez-vous avec des particuliers pour répondre aux questions mais surtout trouver des solutions en fonction des besoins.

De plus, elle se spécialise sur un marché en expansion mais malheureusement en manque d'acteurs : la rénovation des copropriétés. Ce marché potentiel représente près de 100 000 copropriétés localisées sur Paris ou petite couronne, soit 2 millions de logements. Ainsi les copropriétés sont devenues la cible majoritaire d'actions de l'APC. Elle se charge aussi de repérer les artisans et entreprises avec les capacités de travailler sur ces bâtiments et les met en relation avec des copropriétés dans le besoin de travaux.

L'agence leur permet un accompagnement de projet qui s'adapte dans le Plan Climat Energie Air Territoriale de Paris, une ville neutre en carbone. Ainsi des travaux ont pu avoir de réels bénéfices tant financiers pour les habitants qu'écologiques pour la planète.

Dans les travaux de rénovation on compte souvent l'isolation (toiture, murs, fenêtres, plancher) et la ventilation (au mieux double flux).

L'isolation est importante car elle permet à un bâtiment de monter en classe énergétique et donc d'économiser des ressources et d'augmenter le confort des usagers. Cependant celle-ci peut être **sujet de discordes sur certains bâtiments parisiens** comme les bâtiments haussmanniens. Une Isolation Thermique par l'Extérieur (ITE) serait premièrement complexe à réaliser car les façades ne sont pas lisses et régulières et deuxièmement car le bâtiment perdrait son architecture si particulière. De plus, la solution d'une isolation intérieure serait rejetée car elle ferait perdre beaucoup de surface habitable dans des appartements où on se bat déjà pour le moindre m<sup>2</sup>. Il faut donc redoubler d'inventivité et trouver des solutions innovantes ou ingénieuses. De ce fait, même si l'ITE à Paris reste complexe sur les façades côté rue, il est possible de traiter un bâtiment entier en agissant seulement sur cour. En réalisant des travaux d'isolation sur un seul côté, cela permet hypothétiquement d'augmenter la classe énergétique E à une classe D. Il s'agit d'une augmentation qui s'avérera obligatoire dans quelques années car les ventes et investissements seront gelés pour les classes énergétiques les plus basses, ce qui pourrait générer une nouvelle crise du logement.

Dans le futur l'agence aspire à renforcer le concept de **négawatt sur Paris**, dont les 3 piliers sont la sobriété, l'efficacité, et la rénovation.

JAUJIN Sarah et ROQUAIN Maxime,  
Etudiants de 4<sup>ème</sup> année 2022-23

## GREEN LAB : plateforme expérimentale de chimie environnementale

Une plateforme expérimentale de chimie mutualisée avec l'EPF a été créée fin 2021 (logo ci-contre). Cette plateforme commune intitulée GREEN LAB est située dans le nouveau campus de l'EPF à Cachan. Elle est dédiée à des problématiques de la chimie environnementale.

La plateforme expérimentale contient les équipements suivants :

- **Chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse (GS/MS-FID)** : détection par ionisation de flamme permettant l'analyse de composés organiques volatils ou semi-volatils ;
- **Analyseur de polarographie** (Tracelab50 POL150) : analyse de polluants métalliques (métaux lourds) ;
- **Spectrophotomètre UV-visible** : analyse de polluants organiques ou inorganiques dans l'eau ;
- **Spectroscopie infra-rouge** (Perkin Elmer Frontier) et UV-visible (Dr Lange-Xion 500) ;
- **Photomètre** (Palintest 8000/Palintest) : analyse des constituants inorganiques de l'eau ;
- **Comparateur de couleur** Nessleriser 2250/Lovibond : pour l'étalonnage des liquides jaune clair, transparents tels que les huiles, les produits chimiques, des produits pétrochimiques et de l'eau ;
- **Colonnes de percolation** : étude de polluants relargués par des matériaux au contact de l'eau ;
- **Banc de précipitation rapide contrôlée et banc électrochimie** Biologic SP200 (voltamétrie cyclique, impédance) ;



- **Banc de mesure gravimétrique à microbalance à quartz** Biologic (entartrage, biofilm) ;
- **Production d'eau ultrapure** (résistivité de 18.3 M $\Omega$ .cm) et **sorbonne de chimie avec bouteille de CO<sub>2</sub>** ;
- **Boucle de traitement de l'eau** : simulation des étapes de coagulation et floculation.

Cette plateforme est utilisée dans le cadre des enseignements de l'ESITC Paris :

- **Pour des travaux pratiques** des élèves-ingénieurs et apprentis de 4<sup>ème</sup> année ;
- **Pour des projets d'initiation à la recherche** et plus spécifiquement les projets de 3<sup>ème</sup> année de l'école qui consistent à réaliser pendant 3 jours un travail similaire à celui d'un doctorant. Les premiers sujets seront proposés cette année.

Le programme et le contenu de ces TP sont liés aux analyses physico-chimiques des eaux. Les mesures suivantes peuvent y être menées :

- Mesures du pH et de la conductivité des solutions aqueuses ;
- Détermination de l'alcalinité dans l'eau ;
- Détermination de la dureté de l'eau par titrage complexométrique ;
- Détermination des ions chlorure dans l'eau par la méthode de Mohr ;
- Dosage conductimétrique des ions sulfates dans l'eau ;
- Dosage des ions nitrate dans l'eau par spectrophotométrie ;
- Dosage des ions nitrite dans l'eau par spectrophotométrie.

Svetlana VUJOVIC,  
Enseignante-chercheuse à l'ESITC Paris

## Actualités de la recherche

Sous l'égide de son conseil scientifique présidé par le professeur Fabrice GATUINGT de l'ENS Paris-Saclay, l'ESITC Paris a clarifié sa politique en matière de recherche.

### PARTICIPATION À LA FORMATION :

Pour ses besoins propres, notamment en imprégnation des étudiants à la recherche, l'école a **en son sein des enseignants chercheurs** qui assurent une part importante des enseignements (cours, TD, TP, suivi des projets et avancement de projets d'initiation à la Recherche – 3 projets sur 5 ans).

### ACTIVITÉS RECHERCHE :

Afin qu'ils puissent développer des activités dans des équipes de recherche, **les enseignants chercheurs développent leur recherche au sein de laboratoires extérieurs** avec lesquels l'ESITC Paris contractualise. Ainsi, deux enseignants chercheurs sont actuellement chercheurs associés avec :

- le **laboratoire LMPS** (commun à l'ENS Paris-Saclay, à CentraleSupélec et au CNRS) sur la thématique « **Risques sismiques et performance des structures** » et
- l'**UMR MCD** (commune à l'Université Gustave Eiffel et au Cerema) sur la thématique « **Matériaux pour une construction durable** ».

Des discussions sont en cours pour deux autres enseignants chercheurs.

### DOCTORATS ET STAGES DE RECHERCHE :

L'école souhaite aussi développer sa recherche en **soutenant des doctorants** (thèse de Joe Tannous) ou **des encadrements de stagiaires** (cf. articles dans ce numéro).

### PARTICIPATION À DES CONTRATS DE RECHERCHE :

Nos enseignants-chercheurs participent à différents contrats de recherche avec **des financements institutionnels** (la région Ile de France pour le projet FreshEcopavers ou le Réseau accélérométrique permanent pour le projet Licorne par exemple).

L'ESITC Paris va continuer dans les années à venir de poursuivre ses efforts de structuration de sa recherche en vue de permettre à la fois un **développement de la carrière de ses enseignants-chercheurs et l'intégration de la recherche dans ses enseignements**.

Jean-Michel TORRENTI,  
Directeur de la Recherche de l'ESITC Paris

## STAGES RECHERCHE ET D'INNOVATION

### Représentation numérique du comportement du sol à partir des essais en centrifugeuse

Charbel Nohra<sup>1</sup>, Christina Khalil<sup>2</sup>, Fernando Lopez-Caballero<sup>3</sup>

#### INTRODUCTION

L'essai en centrifugeuse est une technique de modélisation physique utilisée pour reproduire certains problèmes géotechniques tels que la stabilité des pentes, le comportement des remblais ou des fondations. Cette technique d'expérimentation est réalisée sur des modèles physiques à petite échelle, et son objectif est de recréer au niveau du modèle, l'état de contraintes réel du sol. Cela est réalisé en appliquant une vitesse angulaire qui va amplifier l'accélération gravitationnelle du modèle. Les essais en centrifugeuse sont exacts et très fiables mais nécessitent des travaux de mise en œuvre importants et très chronophages pour respecter au mieux la situation et les similitudes. D'où l'avantage de coupler ces essais expérimentaux avec un modèle numérique (Chakraborty & Popescu, 2012).

L'objectif de ce stage est de **simuler numériquement le comportement de sols sableux sous chargements sismiques**. Pour se faire, une base de données contenant des résultats issus d'essais en centrifugeuse va être analysée et ultérieurement utilisée pour la représentation numérique de deux modèles issus de la base de données.

Ce stage est réalisé dans le cadre du Master Géomécanique et Sous-Sols à CentraleSupélec est financé par CentraleSupélec.

#### BASE DE DONNÉES EXPÉRIMENTALES

Pour pouvoir recréer précisément l'état de contraintes réel du sol lors d'un essai en centrifugeuse, il faut que la vitesse angulaire du modèle  $\omega$  et le facteur d'échelle  $n$  du modèle centrifugé soient reliés par l'équation suivante :

$$n\omega^2 = ng$$

Avec  $r$  le rayon de la centrifugeuse et  $g$  est l'accélération de la pesanteur. La base de données contient **37 résultats d'essais en centrifugeuse**.

Trois types de sable ont été testés : le sable de Ticino et le sable de Pieve di Cento tamisé ou naturel. Les sables ont été testés sous **différentes configurations** : couche de sable homogène, ajout d'une couche d'argile, d'une fondation ou de drains. Ils ont été soumis à plusieurs séismes (Airoidi et al., 2018). La Figure 1 représente un modèle centrifugé qui combine toutes les configurations. Ppti et acci indiquent respectivement les piézomètres et les accéléromètres. Ce modèle va être analysé au regard des surpressions interstitielles.

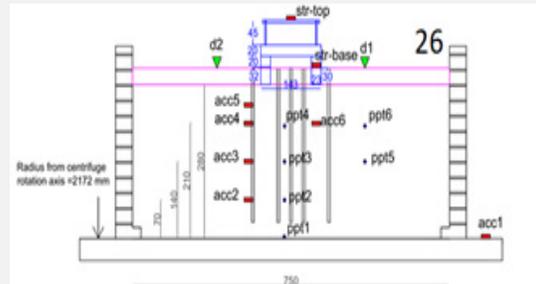


Figure 1 : Modèle en centrifugeuse combinant plusieurs configurations (Özcebe et al., 2021)

#### MODÈLE NUMÉRIQUE

Dans le but de simuler le comportement sismique d'un sol sableux, un modèle numérique développé sur **OpenSees** va être utilisé. Dans ce projet, le profil de sol réel modélisé correspondant à un modèle centrifugé constitué d'une couche de sable sans ajout d'aucun élément (fondation, drains...).

**La géométrie du modèle numérique** correspond à une colonne de sol unidimensionnelle d'épaisseur égale à celle de la couche réelle.

<sup>1</sup> Stagiaire en Master 2, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay, <sup>2</sup> Enseignante-chercheuse, ESITC Paris,

<sup>3</sup> Professeur, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay

Cette colonne est divisée pour le maillage de la modélisation en plusieurs éléments constitués de neuf nœuds chacun. Comme conditions aux limites, le rocher sous la couche de sable est considéré être très rigide avec une vitesse de 5000 m/s. Le modèle de comportement de sol utilisé dans OpenSees est un **modèle élasto-plastique** dans lequel la plasticité se développe dans le plan déviatorique et qui est caractérisé par plusieurs surfaces de charges concentriques emboîtées (Khosravifar, 2012).

## RÉSULTATS

La Figure 2 montre la **variation de la surpression interstitielle** enregistrée au niveau de tous les piézomètres (Figure 1). Les résultats montrent que la surpression interstitielle est minimale au niveau des piézomètres ppt2, ppt3 et ppt4, phénomène dû à leur position entre les drains verticaux. La surpression maximale a été enregistrée aux deux points ppt1 et ppt5. Ces résultats montrent que **le drainage de l'eau se fait du centre vers la périphérie**.

D'autre part, l'enregistrement du piézomètre ppt6 montre une augmentation de la surpression d'eau qui reste constante et se dissipe ultérieurement. L'allure de cette variation peut être expliquée par **la liquéfaction** qui s'est très probablement manifestée. Pour pouvoir valider le modèle et les paramètres, les valeurs d'accélération et de surpression obtenues par la simulation numérique à une profondeur de 2,5 m sont comparées à celles mesurées lors de l'essai en centrifugeuse (Figure 3). **Les résultats numériques et expérimentaux** sont quasiment similaires, ce qui permet de conclure de la pertinence du modèle numérique ainsi que des paramètres choisis pour le sable Ticino.

## RÉFÉRENCES

- Airoldi, S., Fioravante, V., Giretti, D., & Moglie, J. (2018). Report on validation of retrofitting techniques from small scale models. Deliverable D4.2 of Liquefact project, funded under the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme, GA No. 700748.
- Chakraborty, P. & Popescu, R. (2012). Numerical simulation of centrifuge tests on homogeneous and heterogeneous soil models. *Computers and Geotechnics*, 41, 95–105.
- Khosravifar, A. (2012). Analysis and design for inelastic

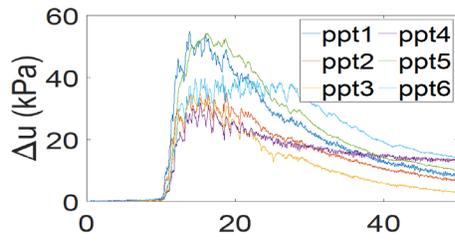


Figure 2 : Variation de la surpression interstitielle au niveau des piézomètres lors de l'essai en centrifugeuse

## CONCLUSION

Dans ce travail, la représentation numérique du comportement d'un sable sous chargement sismique a pu être réalisée en s'aidant des résultats d'essais en centrifugeuse.

En plus de ce qui est présenté dans cet article, l'analyse de la base de données a montré que le déplacement vertical est plus important lorsque la densité du sable est faible, et qu'il est plus faible lorsqu'il y a ajout des drains.

La modélisation numérique a été étendue à des modèles combinant plusieurs configurations avec plusieurs couches de sols pour essayer de comprendre le phénomène de liquéfaction.

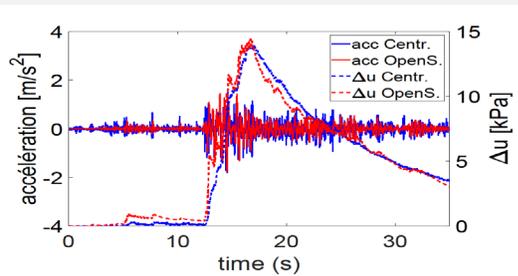


Figure 3 : Valeurs de l'accélération (acc.) et de la surpression interstitielle (deltau) et obtenus par le modèle physique (OpenS) et numérique (Centr.)

structural response of extended pile shaft foundations in laterally spreading ground during earthquakes. *ProQuest Dissertations and Theses*, 310.

Montáns, F. J. & Caminero, M. A. (2007). On the consistency of nested surfaces models and their kinematic hardening rules. *International journal of solids and structures*, 44(14-15), 5027–5042.

Özcebe, A., Giretti, D., Bozzoni, F., Fioravante, V., & Lai, C. (2021). Centrifuge and numerical modelling of earthquake-induced soil liquefaction under free-field conditions and by considering soil–structure interaction. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(1), 47–75.

## STAGES RECHERCHE ET D'INNOVATION

### Effect of human hair fibers on the mechanical performance of mortars

Hussein Nasreddine<sup>1,2</sup>, Thouraya Salem<sup>1,3</sup>, Othman Omikrine Metalssi<sup>1</sup>, Teddy Fen-Chong<sup>1</sup>

#### INTRODUCTION

**Concrete** is one of the most widely used materials in the world [1]. The concrete industry manufactures 10 billion tons of concrete each year [2]. Alternatively, concrete is the most used material in engineering due to its high ability to resist compression forces. Inherently, concrete has microcracks that propagate internally, giving it a low tensile strength due to brittle fracture caused by the propagation of such microcracks. **Different fibers** are used to address this problem, such as steel and synthetic natural fiber [3]. Furthermore, fibers are used in concrete to reduce permeability, which reduces the rate of water seepage. Certain fiber types can also increase the impact, abrasion, and shatter resistance of concrete [4]. Although **human hair fibers** (HHF) have been extensively used in concrete, in this study, human hair has been used as a fiber in mortar. Human hair waste is a significant problem due to population growth. In most parts of the world, hair waste is discarded in open storage facilities and is considered municipal solid waste (MSW), available in nearly every city as municipal waste streams [5]. Human hair thrown into a household sewer pipe can clog the pipe, increase nitrogen concentration in the sewer water, and ultimately cause the sewage water to overflow through utility holes [6]. A large amount of hair waste is dumped in sparsely populated areas, where it will take years to decompose, creating hair dust that can cause discomfort in nearby homes. As a result of the combustion of human hair, hazardous gases are released, such as ammonia, carbonyl sulfide, hydrogen sulfide, sulfur dioxide, phenol, nitrite, pyrrole, and pyridine [3].

Hair on the head grows at a rate of approximately 12.7 mm per month, weighing about 80-100 grams per year [5]. With an estimated world population of 7.7 billion, approximately  $6.9 \times 10^5$  tons of hair is produced every year [7]. Hair threads are cylindrically shaped, highly organized, and composed of inert cells, most of them keratinized and arranged into an exact pattern. Keratin provides the hair with strength, flexibility, durability, and functionality. Aside from that, human hair is a non-biodegradable material found in nature. In this study, human hair (HH) fibers of approximately 2cm in length were collected from male barbershops to enhance mortars' performance. The study aims **to find the optimum dosage of human hair as a fiber in mortars (Figure 1)** in varying percentages like 0%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3%, 4%, and 8% by weight of cement in mortar. In this regard, 96 mortar prism specimens were made and cured after the 7th and 28th days. Using HH fiber in varying percentages, **mortar properties** such as slump, compression, and flexural were investigated.



Figure 1 : Human Hair Fibers

<sup>1</sup> Université Gustave Eiffel, Cerema, UMR MCD      <sup>2</sup> Stagiaire

<sup>3</sup> Enseignante- chercheuse ESITC Paris

## WORKABILITY:

Using NF EN 12350-2, a **slump test** was conducted to determine the workability of fresh mortar. Figure 2 shows the variation in slump values as the content of human hair in mortars increases. The slump was most significant in concrete without hair fibers (39 mm) and lowest in concrete with 8% HHF (around 97% decrease). Generally speaking, as human hair content in mortars increases, workability decreases. Meghwar et al. reported similar findings in an earlier study [6].

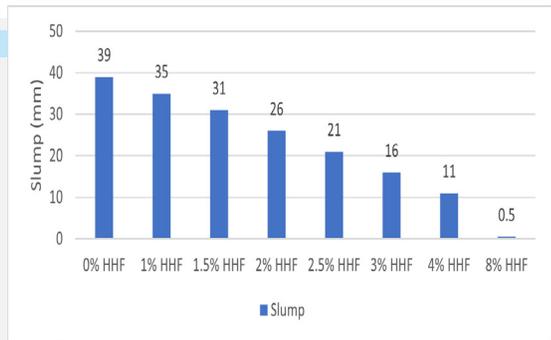


Figure 2 : Slump Test of Mortars

## FLEXURAL AND COMPRESSION:

Following NFEN 196-1, **both flexural and compression tests** were performed on day 7 (Figure 3 and Figure 4). The intensity of flexural strength decreases at 2.5% of human hair but increases at 1%, 1.5%, and 2%. After adding 1%, 1.5%, and 2%, the flexural strength increased by 4.3%, 1.48%, and 0.33% respectively. As hair fiber content increased, the compressive strength decreased. According to the percentages of hair fibers, the maximum and minimum strength were 1.5% (23.75 MPa) and 8% (12.53 MPa), respectively.

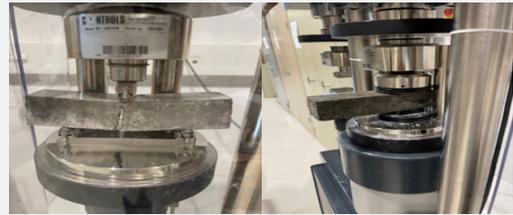


Figure 3 : Flexural Test

Figure 4 : Compression Test

## CONCLUSION:

In order to preserve natural resources, it has become imperative to source for alternative mortar technologies. This study presented a sustainable composite development by using human hair as a fiber in mortars. According to the study, the following conclusions were drawn:

- I. **Workability** of mortars containing no fiber was higher than that of the fiber-reinforced mixture. As the proportion of hair increased, then there was a subsequent drop in workability values.
- II. Using 1%, 1.5%, and 2% of human hair fibers improved **flexural strength** after 7 days by 4.3%, 1.48%, and 0.33% while using 8% of hair fibers decreased strength by 26 %.
- III. There was a decrease in **compressive strength** observed when adding hair fibers. Among the hair percentages, 1.5% HHF achieved the maximum compressive strength of 23.75 MPa, while 8% achieved the minimum of 12.53 MPa.

## RÉFÉRENCES

- [1] N. Bheel et al., "Rice Husk Ash and Fly Ash Effects on the Mechanical Properties of Concrete," Eng. Technol. Appl. Sci. Res., vol. 10, pp. 5402-5405, Apr. 2020, doi: 10.48084/etasr.3363.
- [2] N. Bheel, A. Memon, S. Meghwar, A. Abro, and I. Shar, Millet Husk Ash as Environmental Friendly Material in Cement Concrete. 2019.
- [3] N. Bheel, P. Awoyera, O. Aluko, S. Mahro, A. Vilorio, and C. A. S. Sierra, "Sustainable composite development: Novel use of human hair as fiber in concrete," Case Stud. Constr. Mater., vol. 13, p. e00412, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.cscm.2020.e00412.
- [4] D. Jain and A. Kothari, "Hair Fibre Reinforced Concrete," undefined, 2012, [Online]. Available:

- <https://www.semanticscholar.org/paper/Hair-Fibre-Reinforced-Concrete-Jain-Kothari/d5b376e4e55ab9b26d9a6db366f20ac3230e1a47>
- [5] A. Gupta, "Human Hair 'Waste' and Its Utilization: Gaps and Possibilities," J. Waste Manag., vol. 2014, pp. 1-17, Apr. 2014, doi: 10.1155/2014/498018.
- [6] S. L. Meghwar, G. B. Khaskheli, and A. Kumar, "Human Scalp Hair as Fiber Reinforcement in Cement Concrete," Mehran Univ. Res. J. Eng. Technol., vol. 39, no. 2, Art. no. 2, Apr. 2020, doi: 10.22581/muet1982.2002.20.
- [7] C. S. Gupta, "Clay-traditional material for making Handicrafts," IJTK Vol71 January 2008, Jan. 2008, [Online]. Available: <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/583>

## STAGES RECHERCHE ET D'INNOVATION

### Évaluation du risque sismique des bâtiments : modélisation numérique sur OpenSees

Amr Haylani<sup>1</sup>, Christina Khalil<sup>2</sup>

#### INTRODUCTION

La méthodologie nommée « Performance-Based Earthquake Engineering (PBEE) » a été développée pour évaluer la vulnérabilité sismique des structures. Cette méthodologie prédit la probabilité de dommage d'une structure en fonction de différents paramètres quantitatifs tels que le rapport de déplacement entre les étages ou le déplacement du sol (Porter, 2003).

Cet article décrit les travaux réalisés lors d'un stage de Master 2 Géomécanique et Sous-Sol de CentraleSupélec, stage financé par l'ESITC Paris. Ce stage avait pour but d'évaluer la performance d'une structure soumise aux sollicitations sismiques (Figure 1). Pour cela, différents types d'analyses ont été effectuées avec un logiciel d'éléments finis (OpenSees), considérant d'abord que tous les signaux sismiques sont indépendants (analyse co-sismique). Ensuite, des analyses séquentielles ont été menées, afin d'analyser la performance de la structure à long terme sous l'effet de ces scénarios. Cet article présente quelques résultats des analyses co-sismiques.

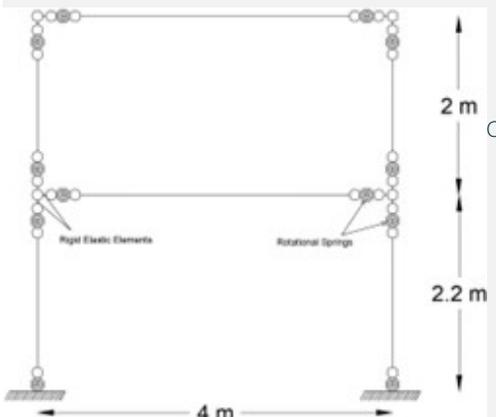


Figure 1 : Human Hair Fibers

#### MODÈLE NUMÉRIQUE

Une structure à deux étages a été modélisée en utilisant deux approches différentes. La première approche est fréquemment utilisée pour représenter le comportement non linéaire pour les chargements dynamiques ; l'approche de plasticité concentrée qui suppose que la non-linéarité est regroupée dans les ressorts aux extrémités des éléments. Généralement, elle surestime la résistance d'une structure (Nguyen and Kim, 2014). En revanche, la deuxième approche de plasticité distribuée suppose que la plastification peut se produire dans n'importe quelle partie de l'élément structural. (Kyakula and Wilkinson, 2004). Par la suite, seuls les résultats de l'approche de plasticité distribuée pour les signaux sismiques indépendants seront présentés.

#### SIGNAUX D'ENTRÉE

Les différents signaux sismiques utilisés dans le cadre de ce travail sont des signaux synthétiques générés à partir du modèle Rezaeian and Der Kiureghian (2010). La Figure 2 montre l'accélération spectrale moyenne en fonction de la période. La magnitude de ces séismes varie entre 4,7 et 7,7, alors que la distance épacentrale varie de 20 à 150 km.

La période fondamentale de la structure ( $T_{str} = 0.19$  sec) a été calculée avec la méthode des forces latérales statiques équivalentes. Le cisaillement de base résultant de l'analyse est réparti sur chaque étage sous la forme d'une force horizontale par étage. La période fondamentale est calculée en considérant uniquement le premier mode de vibration de la structure.

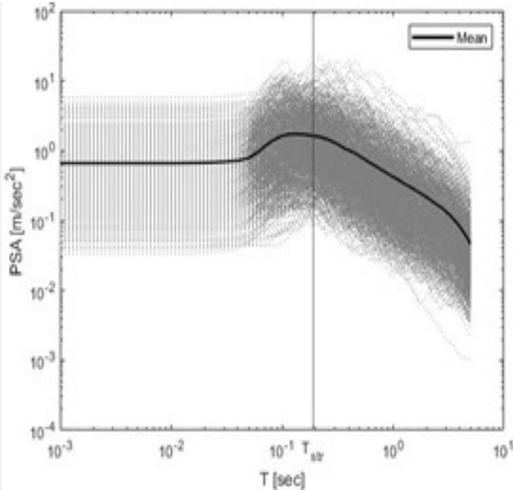


Figure 2 : L'accélération spectrale moyenne

## RÉSULTATS

L'analyse pushover est une procédure statique qui utilise une technique non linéaire simplifiée pour estimer les déformations résultant des séismes. Dans cette analyse, une distribution de force latérale représentant les forces d'inertie est appliquée statiquement à la structure avec une intensité croissante jusqu'à atteindre la condition ultime (la ductilité des matériaux). La réponse globale est généralement représentée par la courbe de cisaillement à la base en termes de déplacement au sommet (Diotallevi and Landi, 2005).

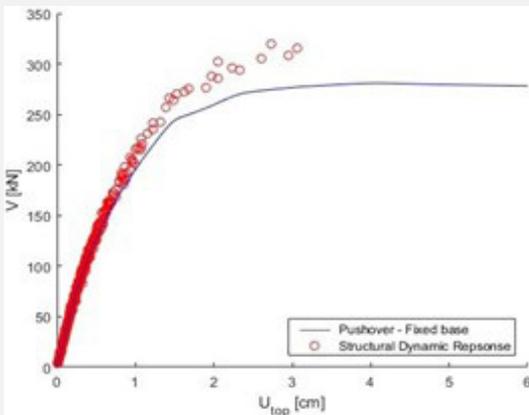


Figure 3 : Comparaison entre l'analyse pushover et l'analyse dynamique

La Figure 3 montre **une comparaison entre la réponse statique non linéaire de la structure et la réponse dynamique** obtenue. On voit que dans la zone élastique les résultats se superposent, c'est-à-dire que pour des faibles niveaux de déplacement les deux analyses sont identiques. En revanche, quand les déplacements augmentent et entrent dans le domaine inélastique, les deux courbes s'éloignent. Ces résultats sont en accord avec Diotallevi and Landi (2005), où la réponse statique a donné une sous-estimation du cisaillement de base. Afin d'appliquer la méthode (PBEE), le paramètre  $\theta$ , rapport de déplacement entre l'étage (i) et l'étage (i-1) est utilisé. Il est calculé en utilisant l'équation suivante :

$$\theta = (U_i - U_{(i-1)})/h$$

où  $U$  est le déplacement de l'étage et  $h$  sa hauteur.

La Figure 4 montre les résultats pour tous les signaux sismiques utilisés avec l'approche de plasticité distribuée. Les deux états limites (0.08% and 0.32%) sont proposés par Del Gaudio et al. (2019) et sont aussi indiqués sur la Figure 4. On voit que pour une accélération spectrale maximale inférieure à 0,3 g, **aucun dommage** n'a lieu. Pour des valeurs comprises entre 0,3 et 0,8 g, deux états d'endommagement sont constatés, **endommagement léger et modéré** selon la distance à l'épicentre. Pour des valeurs supérieures à 0.8 g, toutes les valeurs sont dans l'état de **dommages modérés**.

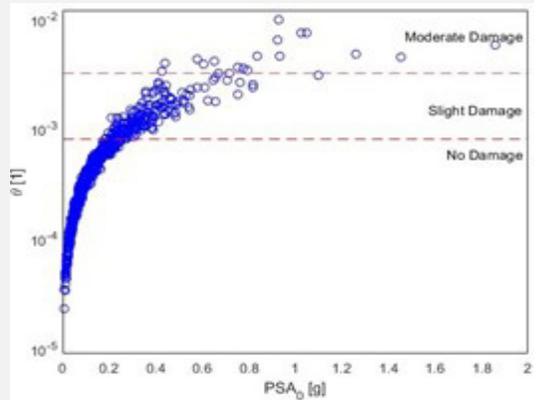


Figure 4 : Variation du déplacement  $\theta$  en fonction de l'accélération spectrale de référence (c'est-à-dire la première période fondamentale de la structure)

1 Stagiaire en Master 2, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay

2 Enseignante-chercheuse, ESITC Paris

## STAGES RECHERCHE ET D'INNOVATION

### CONCLUSION

La comparaison entre l'analyse statique et dynamique a mis en évidence l'importance de cette dernière puisque la première a montré une sous-estimation du cisaillement de base même pour une structure simple. Ce travail ne se limite pas aux signaux indépendants, mais il prend en compte des analyses séquentielles afin d'analyser la performance de la structure à long terme.

### RÉFÉRENCES

- Del Gaudio, C., De Risi, M. T., Ricci, P., & Verderame, G. M.** (2019). Empirical drift-fragility functions and loss estimation for infills in reinforced concrete frames under seismic loading. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(3), 1285-1330.
- Diotallevi, P., and Landi, L.** (2005). "On the pushover analysis as a method for evaluating the seismic response of RC buildings". *WIT Transactions on the Built Environment* 81.
- Kyakula, M., and Wilkinson, S.** (2004). "An improved spread plasticity model for inelastic analysis of R/C frames subjected to seismic loading."
- Nguyen, PC., and Seung-Eock K.** (2014). "Distributed plasticity approach for time-history analysis of steel frames including nonlinear connections". *Journal of Constructional Steel Research* 100, pp. 36–49.
- Porter, K.** (2003). "An overview of PEER's performance-based earthquake engineering methodology". *Proceedings of ninth international conference on applications of statistics and probability in civil engineering*, pp. 1–8.
- Rezaeian, S., and Der Kiureghian A.** (2010). "Simulation of synthetic ground motions for specified earthquake and site characteristics". *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 39.10, pp. 1155–1180.

### Potentiel de valorisation de co-produit d'algues dans la construction

Fructueux Jésugnon SOHOUNME<sup>1</sup>

Encadré par Thouraya SALEM<sup>2</sup>, Othmane BOUCHENAF<sup>3</sup> et Céline FLORENCE<sup>4</sup>

De nos jours, les changements climatiques deviennent de plus en plus évidents. L'enjeu majeur de tous, industriels, ingénieurs, chercheurs..., est de trouver des solutions plus durables afin de **concilier la satisfaction de nos besoins humains avec la sauvegarde de notre planète**.

L'industrie de la construction est responsable de la consommation de beaucoup de ressources naturelles et d'une part significative des émissions de gaz à effet de serre, notamment via l'utilisation du ciment (clinker + ajouts) qui participe à 5% à la production mondiale annuelle du CO<sub>2</sub> par son procédé de fabrication [1]. L'utilisation de nouveaux matériaux de substitution permettrait de réduire l'impact environnemental de ce secteur. De plus, **l'utilisation des déchets dans les matériaux cimentaires en substitution du clinker** a un double intérêt. Elle permet la réduction de l'impact carbone en raison de la réduction du clinker d'une part. D'autre part, elle permet le recyclage du déchet, et ainsi la limitation du recours aux ressources naturelles. Dans ce cadre, l'étude menée au cours de ce stage vise à **valoriser des co-produits d'algues en tant que matériau de substitution dans les matériaux cimentaires**.

Ce stage a été réalisé dans le cadre d'une collaboration entre l'ESITC Paris et l'ESTP Paris. La plupart des essais ont été réalisés au laboratoire de la Chaire Ingénierie des Bétons de l'ESTP.

Dans un premier temps, **des essais de caractérisation physico-chimique**

(granulométrie laser, fluorescence des rayons X, diffraction des rayons X (DRX), analyse thermogravimétrique (ATG), masses volumiques absolues et réelles) ont été réalisés sur le co-produit d'algues (Figure 1) provenant de l'entreprise Algaia. Dans un second temps, **des essais à l'état frais** (consistance normalisée et temps de prise) et **à l'état durci** (résistance mécanique, DRX, ATG) ont été réalisés sur des **pâtes cimentaires avec 0%, 1%, 3%, 5%, et 10% de substitution du ciment par le co-produit d'algues afin d'évaluer son impact sur la pâte cimentaire**.



Figure 1 : Co-produit sec d'algues

<sup>1</sup> Etudiant en Master 1 Génie civil à la faculté des sciences et technologies de l'Université de Lorraine

<sup>2</sup> Enseignante-chercheuse à l'ESITC Paris

<sup>3</sup> Enseignant-chercheur à l'ESTP Paris

<sup>4</sup> Responsable de la Chaire Ingénierie des Bétons, ESTP Paris

## CARACTÉRISATION PHYSICO-CHEMIQUE DU CO-PRODUIT

Des essais de caractérisation physico-chimique ont été réalisés sur le co-produit afin d'évaluer son utilité dans la construction.

- **La spectrométrie de fluorescence des rayons X** montre que le co-produit est majoritairement constitué de silice et d'alumine. Une moyenne sur trois essais donne les oxydes majoritaires suivants :  $\text{SiO}_2=74\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3=9\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}=4\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O}=5\%$ ,  $\text{CaO}=2\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3=2\%$  et  $\text{MgO}=1\%$ . Ces compositions sont très proches de celles données dans la littérature pour les liants pouzzolaniques [2]. Ce co-produit a-t-il un caractère pouzzolanique ? D'autres essais ont été réalisés pour avoir une réponse à cette question.

- **La diffraction des rayons X** sur ce co-produit montre qu'il contient quelques cristaux : calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), quartz ( $\text{SiO}_2$ ) et cristobalite ( $\text{SiO}_2$ ). Les pics correspondants à ces cristaux sont représentés sur la Figure 2. Le quartz et la silice ont été identifiés dans la bibliographie sur des précipités d'algues [3]. Selon L. Rodier [4], c'est la silice amorphe qui est à l'origine de la réaction pouzzolanique.

- La masse volumique réelle du co-produit a été mesurée au **pycnomètre à hélium et au volumétre Le Chatelier** en suivant la norme NF P15-435. Selon cette norme la masse d'échantillon à utiliser pour l'essai doit être comprise entre 50 et 70 g mais compte tenu de la légèreté du co-produit, des échantillons de masse de l'ordre de 40g ont été utilisés. La masse volumique mesurée est de  $1962 \text{ kg/m}^3$  avec le volumétre et est légèrement supérieure à celle mesurée avec le pycnomètre ( $2097 \text{ kg/m}^3$ ). Ces valeurs sont proches de celle des cendres de tronc de bambou [4].

## IMPACT DES CO-PRODUIT D'ALGUES SUR LA PÂTE DE CIMENT

Afin d'étudier l'impact du co-produit sur la pâte de ciment, des pâtes cimentaires avec des pourcentages massiques de substitution du ciment de 0%, 1%, 3%, 5% et 10% ont été testées. Les éprouvettes ont été fabriquées à **consistance normalisée** conformément à la norme NF EN 196-3. Les **rapports Eau/(Ciment + Co-produit)** de 0,314 ; 0,320 ; 0,351 ; 0,370 et 0,430 ont été obtenus pour une consistance normalisée respectivement pour les taux de substitutions (indiqués précédemment). On note **une augmentation de la demande en eau avec la substitution**.

- **L'essai de temps de prise avec un appareil de Vicat automatique** montre que la prise est retardée (début et fin) avec la substitution. Par exemple, avec une substitution de 20%, le temps de début de prise est retardé plus de deux fois et le temps de fin de prise plus de 3 fois par rapport à la référence (0% de co-produit).

- **Les essais de résistance mécanique** montrent que la résistance en compression diminue lorsque le % de substitution augmente, pour toutes les échéances testées (1, 7, 28 jours). A 28 jours, on part de 10% de perte en résistance pour 1% de substitution à 45% de perte pour une substitution de 10%. Le co-produit d'algues étudié n'apporte donc pas une amélioration de la résistance en compression de la pâte cimentaire dans les conditions d'élaboration qui ont été adoptées ici. Cependant, plusieurs pistes sont envisageables dans le but d'améliorer cette résistance.

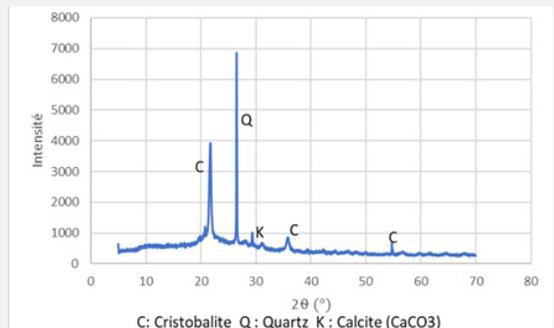


Figure 2 : DRX sur le co-produit

## CONCLUSION

Les caractéristiques physico-chimiques du co-produit sont assez proches de celles des liants pouzzolaniques. Néanmoins les résultats des essais mécaniques montrent une diminution des performances mécaniques avec l'ajout du co-produit. Afin d'améliorer la résistance, il sera utile de faire l'étude des propriétés physico-chimiques de l'algue dont est issu le co-produit, en optimisant d'une part, la méthode de préparation du co-produit (broyage, activation de la silice et de l'alumine) et d'autre part, la formulation (diminution du rapport Eau/Ciment).

## RÉFÉRENCES

- [1] **Bouchenafa, O.** (2019). Mécanosynthèse et matériaux de construction : Optimisation et application pour la clinkérisation et la géopolymérisation. Université Paris-Est.
  - [2] **McCarthy, M.J., and Dyer, T.D.** (2019). Pozzolanas and Pozzolan Materials. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete* 363–467.
  - [3] **Niveditha, C., Sarayu, K., Murthy Ramachandra, A., Ramesh Kumar, V., and Nagesh R., I.** (2014). Marine Algae for Cement Mortar Strengthening. *Journal of Civil Engineering Research* 23-25. <https://doi.org/DOI: 10.5923/c.jce.201401.05>.
  - [4] **Rodier, L.** (2014). Matériaux de construction en zone tropicale humide, Potentialités de sous-produits ou de matériaux naturels locaux en substitution ou en addition à la matrice cimentaire. Université des Antilles et de la Guyane.
- NF EN 196-3**, Méthodes d'essai des ciments - Partie 3 : détermination du temps de prise et de la stabilité, Norme Afnor, septembre 2017.
- NF P15-435**, Méthodes d'essais des ciments - Détermination de la masse volumique, Norme Afnor, octobre 2021.

## STAGES RECHERCHE ET D'INNOVATION

### La vulnérabilité des bâtiments aux séismes et la caractérisation des modes verticaux

Amahel SERMOISE<sup>1</sup>

**Contexte :** les étudiants de l'ESITC Paris ont la possibilité de réaliser, s'ils le souhaitent, un stage de Recherche ou d'Innovation durant l'été entre la 4<sup>ème</sup> et la 5<sup>ème</sup> année. Amahel SERMOISE a tenté l'expérience cette année ...

#### POURQUOI CE STAGE ?

Actuellement en master 1 d'ingénieur de la construction (ESITC Paris), j'ai toujours été passionné par le bâtiment, la réalisation de projet divers et la compréhension du monde qui m'entoure. Au cours de mes études, j'ai eu la chance de réaliser 3 stages distincts, un stage ouvrier, un en conduite de travaux et un en bureau d'étude. Ces stages m'ont confirmé ma passion pour la construction et m'ont appris énormément aussi bien sur le plan personnel, professionnel qu'humain. Malgré cela, ces expériences professionnelles passées ne m'ont jamais complètement comblé et je me suis toujours beaucoup questionné sur ma carrière professionnelle. Après le confinement et de nombreuses interrogations, j'ai réalisé que **mon envie d'apprendre et comprendre le monde** qui m'entoure surpassait le reste. De plus, nous avons eu en 3<sup>ème</sup> année un projet d'initiation à la recherche, puis en 4<sup>ème</sup> année un projet de recherche et d'innovation. Ces deux projets ont confirmé mon envie de continuer dans l'innovation, c'est pourquoi je réalise aujourd'hui un stage au laboratoire SRO<sup>2</sup> de l'Université Gustave Eiffel (UGE).

#### UN STAGE DE RECHERCHE À L'UGE ?

Avant de commencer, j'ai réalisé un entretien avec Céline CHESNAIS, une des co-encadrante du stage. Lors de cet entretien Céline m'a présenté mon sujet de stage. Après avoir accepté, j'ai rejoint l'UGE le 20 juin.

Au sein du laboratoire nous étions **18 stagiaires** avec chacun des sujets d'études et des tuteurs différents.; ainsi, même si les séismes n'étaient pas un sujet de prédilection, d'autres sujets étaient susceptibles de nous intéresser. Au premier abord, les sujets peuvent faire peur et paraître compliqués, cependant, **nous sommes accompagnés tout au long par nos tuteurs chercheurs**. J'ai pu ainsi poser de nombreuses questions et discuter aussi bien avec mes tuteurs qu'avec des doctorants ou des chercheurs, me permettant d'approfondir différents domaines vus à l'école et d'en découvrir de nouveau. Les stagiaires étaient pour la majorité en master 1 ou 2. Je me suis très rapidement intégré au groupe et ai beaucoup apprécié mes relations avec la plupart d'entre eux. L'ambiance était très agréable, nous avons pu jouer au foot ou au billard ensemble et parfois sortir le soir. De plus, lorsque l'un de nous avait des difficultés dans ses recherches nous nous entraisions. Nous étions donc baignés dans une **ambiance de travail plaisante et intéressante**.

<sup>1</sup> Amahel SERMOISE, étudiant de 4<sup>ème</sup> année 2021-22

## MON SUJET DE STAGE RECHERCHE

Mon sujet s'intitule : **La vulnérabilité des bâtiments aux séismes et la caractérisation des modes verticaux**. Lors d'un séisme, différentes ondes sont émises, ces dernières peuvent créer des mouvements horizontaux et verticaux engendrant parfois des efforts de flexion, de torsion ou de cisaillement sur les structures. Ces efforts peuvent causer des dommages, voire la ruine de nos constructions, d'où l'intérêt de les étudier.

Les mouvements horizontaux sont bien connus des spécialistes du bâtiment et nous savons comment renforcer nos structures pour éviter au maximum les dommages. Ce n'est pas le cas pour les mouvements verticaux. En effet, les constructions sont déjà faites pour résister à des chargements verticaux comme le poids propre ou les charges d'exploitations. Ainsi, nous n'imaginions pas que les **mouvements verticaux** pourraient avoir un impact sur nos structures. Or, aujourd'hui, on constate que si ces mouvements atteignent une certaine puissance alors ils peuvent **faire entrer les planchers en résonance et augmenter drastiquement le risques de ruine**.

## MES ACTIVITÉS DURANT CE STAGE

J'ai été chargé **d'analyser les mouvements de la tour Ophite** à Lourdes sous l'effet du bruit ambiant et de deux séismes, en utilisant le logiciel « Geopsy ». J'ai aussi participé à **l'installation de capteurs** pour observer les vibrations causées par le RER A.

Enfin, j'ai étudié les **flexions hors plan des plaques de Love-Kirchov**, cette théorie permet de calculer les déformations et les contraintes dans une plaque. Puis, nous avons comparé notre étude aux résultats obtenus avec le **code de calcul des éléments finis de « CESAR »** afin de vérifier leurs précisions.

Pour finir, **grâce à « MatLab » nous avons caractérisé les déplacements du bâtiment du laboratoire**, le bâtiment « Bienvenue » à Noisy-Champs.

## MON RETOUR D'EXPÉRIENCE

Je ne me suis donc pas ennuyé et ai pu approfondir mes connaissances sur les structures, les séismes et sur les logiciels « CESAR », « MatLab » et « Geopsy ». Cela a pu grandement compléter ma formation à l'ESITC Paris puisque toutes ces études étaient réelles et non théoriques (comme lors de nos TP).

**J'ai passé deux mois riches en expérience et en apprentissage** à l'UGE, et cela m'a conforté dans mon choix de carrière.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Monsieur Jean-François SEMBLAT qui m'a donné les contacts nécessaires afin de rejoindre l'UGE, mais aussi mes deux tuteurs de stages Monsieur Etienne BERTRAND et Madame Céline CHESNAIS pour leurs accompagnements.

**Pour en savoir plus :** Céline Chesnais, Claude Boutin, Stéphane Hans. Effets de la résonance en flexion des planchers sur les vibrations verticales des bâtiments. AFPS 2015 - 9<sup>ème</sup> Colloque National, Nov 2015, CHAMPS SUR MARNE, France. 10p. hal-01382797

## PROJET DE RECHERCHE

### Le Projet LICORNE

Christina Khalil<sup>1</sup>, Julie Régnier<sup>2</sup> et Fernando Lopez-Caballero<sup>3</sup>

Le projet LICORNE<sup>1</sup> (**Liquefaction and Cyclique mObility Representation on Numerical Experiments**) a pour but d'évaluer les incertitudes associées à la représentation numérique de la liquéfaction du sol. Ce phénomène est défini comme la perte de résistance du sol lorsque celui-ci est soumis à des contraintes de cisaillement engendrant une augmentation de la pression interstitielle. Ce phénomène apparaît à la suite de mouvements sismiques généralement brutaux et temporaires.

**La représentation numérique de la liquéfaction** a besoin d'un modèle qui prend en compte le couplage entre les déformations et la génération de la pression interstitielle. L'objectif du projet LICORNE est de répondre à cette demande en mettant en place un banc de simulations numériques de différentes méthodes afin de pouvoir identifier la liquéfaction dans le sol.

**11 équipes volontaires (Cerema, Geoazur, UGE, EDF R&D, EDF TEGG, CEA, EAFIT, Fugro, Tractebel, Aquila)** participent au banc d'essai testant 10 codes. Les données référentes sont inspirées de la thèse de Khalil (2021). Elles sont basées sur le modèle constitutif du sol de Hujieux (1985) et le code d'élément finis GFDyn (Aubry et al., 1986).

Afin de présenter les résultats préliminaires, une réunion d'avancement a eu lieu le 24 juin 2022 au Cerema à Sophia Antipolis. Cette réunion a regroupé toutes les équipes participantes (Figure 1) et a montré que **tous les modèles numériques ne sont pas capables d'identifier le phénomène de liquéfaction**. En effet, par exemple, certaines méthodes numériques appliquées ne prennent pas en compte la dissipation de la pression interstitielle ce qui rend la variabilité des résultats assez importantes.

**Afin de diminuer le nombre des incertitudes des codes numériques, une troisième itération va avoir lieu**, dans laquelle certains paramètres numériques vont être calibrés ou fournis. Les travaux de ce projet ont été publiés et présentés lors d'une conférence européenne<sup>2</sup> (C. Khalil & al., 2022).



Figure 1 : les jeunes chercheurs du projet Licorne

<sup>1</sup> Le projet Licorne a aussi fait l'objet d'un article dans le TC'Mag Recherche N°1 de novembre 2021.

<sup>2</sup> Cité dans l'article sur la participation à des conférences de ce numéro de TC'Mag Recherche

<sup>1</sup> Enseignante-chercheuse, ESITC Paris

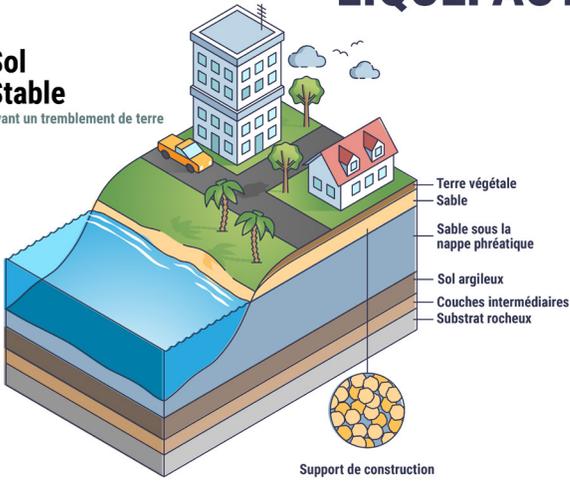
<sup>2</sup> Cerema Méditerranée Agence Sophia-Antipolis

<sup>3</sup> CentraleSupélec, Université Paris-Saclay

# LIQUÉFACTION

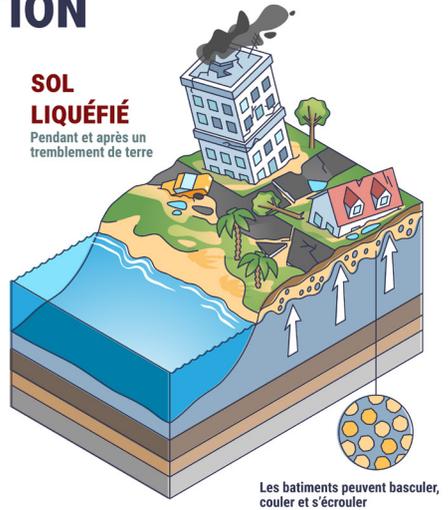
## Sol Stable

Avant un tremblement de terre



## SOL LIQUÉFIÉ

Pendant et après un tremblement de terre



Les bâtiments peuvent basculer, couler et s'écrouler

Constructions fondées sur sable saturé, avant séisme (à gauche) et après séisme (à droite) : Sous l'effet du séisme, la couche de sable saturé perd ses capacités de portance, ce qui conduit au basculement ou à l'écroulement des bâtiments. Figure adaptée de la version anglaise.



## Participation à des conférences

### 40<sup>ÈMES</sup> RENCONTRES UNIVERSITAIRES DE GÉNIE CIVIL

Lors des 40<sup>èmes</sup> Rencontres Universitaires de Génie Civil qui ont eu lieu à Lille du 23 au 25 mai 2022 (Figure 1.a), **Thouraya SALEM**, enseignante-chercheuse en matériaux de l'ESITC Paris, a pu présenter les résultats de travaux de recherche sur

la « **Valorisation des déchets de polyuréthane dans des mortiers** » obtenus dans le cadre du stage M2 de Danah SHEHADEH<sup>1</sup> [1] (Figures 1.b et c).



Figure 1 : Photos de la conférence "40<sup>èmes</sup> Rencontres Universitaires de Génie Civil" de 2022

**Joe TANNOUS** [2] (Figure 1.d), doctorant de l'ESITC Paris et de l'Université Gustave Eiffel, encadré par Thouraya SALEM (ESITC Paris) et Teddy FEN-CHONG et Othman OMIKRINE-METALSSI (UGE<sup>2</sup>),

a, quant à lui, présenté ses premiers résultats de thèse<sup>3</sup> sur les mortiers incorporant de l'acétate de cellulose (cf. son article dans ce numéro P.31).

## 3<sup>RD</sup> EUROPEAN CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING & SEISMOLOGY

Les travaux du **projet Licorne** sur la **liquéfaction des sols** (cf. article dans ce numéro et dans le TC'Mag Recherche N°1 de 2021 et dans ce numéro) ont été publiés et présentés par **Christina KHALIL** (Figure 2), enseignante-chercheuse en Interaction sol-structure de l'ESITC Paris, lors d'une conférence européenne (3<sup>rd</sup> European Conference on Earthquake Engineering & Seismology) à Bucarest (Roumanie) qui s'est déroulé du 4 au 9 septembre 2022.



Figure 2 : Photo de la conférence 3<sup>rd</sup> European Conference on Earthquake Engineering & Seismology de 2022

## 14<sup>TH</sup> FIB PHD SYMPOSIUM



Figure 3 : Photo de la conférence 14th fib PhD Symposium de 2022

De nouveau, **Joe TANNOUS**, doctorant ESITC Paris et de l'Université Gustave Eiffel, qui effectue sa thèse<sup>3</sup> au sein de l'UMR MCD de l'Université Gustave Eiffel et du Cerema sur le thème du **Développement de nouveaux matériaux pour une construction durable**, a présenté à Rome lors du récent PhD symposium de la fib (<https://www.fib-international.org/>) une communication intitulée « **Valorization of Cellulose Acetate Fibers in Mortars** » [4].

<sup>1</sup> Stage de M2 de 6 mois en 2020-21, co-encadré par T. Salem (ESITC Paris), C. Florence, O. Bouchenafa (ESTP). Ce stage a fait l'objet dans article dans le TC'Mag Recherche N°1 en 2021)

<sup>2</sup> UGE : Université Gustave Eiffel

<sup>3</sup> Thèse sur le Développement de nouveaux matériaux pour une construction durable issus du recyclage : optimisation des formulations pour le dimensionnement

mécanique, thermique et acoustique, débuté en octobre 2021, Directeur de thèse O. Omikrine-Metalssi (UGE), co-encadrement : T. Salem (ESITC Paris), T. Fen-Chong (UGE), avec comme partenaires UMR MCD & fournisseurs de matériaux et financé par ESITC Paris et UGE.

Joe TANNOUS a été retenu pour continuer en thèse suite à son stage de M2 qui a fait l'objet dans article dans le TC'Mag Recherche N°1 en 2021.

## RÉFÉRENCES

- [1] Danah SHEHADEH, Thouraya SALEM, Othmane BOUCHENAF, Céline FLORENCE, Valorisation des déchets de polyuréthane dans des mortiers, 40<sup>èmes</sup> Rencontre Universitaire de Génie Civil, Lille, 23- 25 mai 2022.
- [2] Thouraya SALEM, Joe TANNOUS, Sandrine MARCEAU, Othman OMIKRINE-METALSSI, Teddy FEN-CHONG, Effet du stéarate de calcium et d'additions sur l'ouvrabilité et la résistance mécanique de mortiers d'acétate de cellulose, 40<sup>èmes</sup> Rencontre Universitaire de Génie Civil, Lille, 23- 25 mai 2022.
- [3] Christina KHALIL, Julie REGNIER, Fernando LOPEZ-CABALLERO, Licorne : a benchmark on numerical site response analysis involving pore water pressure, 3<sup>rd</sup> European Conference on Earthquake Engineering & Seismology, Bucarest (Roumanie), 4-9 septembre 2022.
- [4] Joe TANNOUS, Thouraya SALEM, Sandrine MARCEAU, Othman OMIKRINE-METALSSI, Teddy FEN-CHONG. Valorization of Cellulose Acetate Fibers in Mortars, Proc. Of the 14th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, sept. 5 to 7, 2022, Rome (Italy). (à consulter sur [www.innovation.esitc-paris.fr](http://www.innovation.esitc-paris.fr))

# Projets d'Initiation à la Recherche

## PREAMBULE

Ces projets favorisent **la créativité et l'esprit d'innovation** chez les élèves-ingénieurs en les mettant dans une situation inconnue, voire déstabilisante, où la solution n'est pas connue. Ils permettent aussi aux élèves-ingénieurs de **côtoyer les différents acteurs de la recherche** (enseignants-chercheurs, chercheurs, doctorants et industriels), de découvrir **les différentes facettes du métier de chercheur et du contexte de la recherche académique en France**. « La formation d'ingénieur et la voie de la recherche se complètent et s'enrichissent mutuellement. La démarche et les outils des chercheurs constituent un viatique précieux pour une carrière d'ingénieur.

Au point que la commission des titres d'ingénieur impose aux écoles d'organiser une initiation à la recherche » écrit « Le Monde »<sup>1</sup>

L'ESITC Paris propose ainsi 3 projets d'initiation à la Recherche (Figure 1) entre la 2<sup>ème</sup> et la 4<sup>ème</sup> année pour les initiaux et 2 dans le cursus par apprentissage se déroulant à partir de la 3<sup>ème</sup> année. Un certain nombre de compétences vont être sollicitées lors de ces projets (Tableau 1).

Comme vous pouvez le constater à la lecture des TC'Mag Recherche, nos étudiants et apprentis font souvent preuve d'ingéniosité et de créativité dans leurs projets.

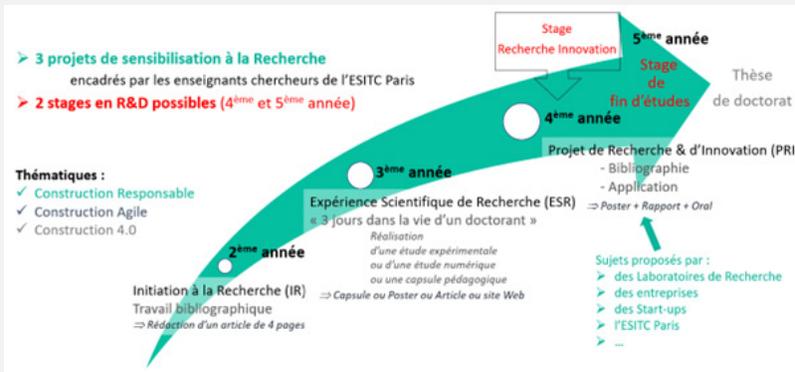


Figure 1 : Synthèse des projets d'initiation à la Recherche

	TC2	TC3	TC4
Recherches bibliographiques	X	X	X
Gestion et utilisation des données bibliographiques	X	X	X
Formulation d'hypothèses	X	X	X
Expérimentations ou modélisation		X	X
Confrontation à des résultats (parfois inattendus)		X	X
Interprétation des résultats obtenus		X	X
Validation ou non des hypothèses		X	X
Proposition de nouvelles pistes à explorer		X	X
<b>Autonomie</b>	X	X	X
<b>Capacité d'adaptation</b>		X	X
<b>Force de proposition</b>	X	X	X
<b>Communication</b>	X	X	X

Tableau 1 : Exemples d'actions mises en œuvre et compétences sollicitées lors des projets de Recherche de l'ESITC Paris

<sup>1</sup> [https://www.lemonde.fr/ingenieurs-sciences/article/2015/11/04/de-l-interet-d-enseigner-la-recherche-en-ecoles-d-ingenieurs\\_4803059\\_4468267.html](https://www.lemonde.fr/ingenieurs-sciences/article/2015/11/04/de-l-interet-d-enseigner-la-recherche-en-ecoles-d-ingenieurs_4803059_4468267.html)

### La coopération autour de la gestion des ressources en eau : un instrument essentiel au maintien de la paix

**Résumé :** La transversalité des Objectifs du Développement Durable nous permet de mettre en avant l'importance de l'eau dans toutes les dimensions de nos vies. L'eau est ainsi étroitement liée à l'accès à l'alimentation et à l'électricité mais surtout aux processus de conflit et de paix. Cet article revient ainsi sur la manière dont l'eau et surtout sa gestion peut être source de conflit et l'importance d'une coopération entre les institutions pour y faire face.

**Mots-clés :** eau, paix, conflit, gestion des eaux, coopération, partage, transfrontalière, barrage, Nil, Égypte, Éthiopie, nexus

**Abstract:** The transversality of the Sustainable Development Goals allows us to highlight the importance of water in all aspects of our lives. Water is closely linked to access to food and electricity, but above all to conflict and peace processes. This article looks at how water, and especially its management, can be a source of conflict and the importance of cooperation between institutions to deal with it.

**Keywords:** water, peace, conflict, water management, cooperation, sharing, transboundary, dam, Nile, Egypt, Ethiopia, nexus

#### INTRODUCTION

« Ko au te awa, ko te awa ko ou »<sup>1</sup>, (Unesco, 2021). Cet adage de la tribu du fleuve Whanganui nous rappelle à quel point l'eau est une ressource précieuse sans laquelle nous ne pourrions pas vivre et à laquelle nous sommes profondément dépendants. En effet, nous sommes dépendants de l'eau pour boire, pour notre hygiène de vie, pour notre santé ou encore pour avoir accès à l'électricité. Cette dépendance place l'eau au rang de ressource convoitée et comme toutes ressources convoitées, son partage et sa gestion peuvent créer des conflits entre les pays qui se disputent son utilisation.

Il est donc intéressant de se demander comment et pourquoi l'eau peut être une source de conflit et comment la coopération entre institutions est essentielle pour maintenir la paix et protéger les populations. Pour cela il est d'abord important de comprendre la place de l'eau dans nos vies et sa raréfaction pour expliquer pourquoi sa gestion peut être source de conflit. L'explication par la suite de l'exemple de la gestion des eaux entre l'Égypte et l'Éthiopie permettra d'illustrer cela et d'appuyer ensuite sur l'importance de la coopération pour maintenir la paix.

<sup>1</sup> « je suis le fleuve et le fleuve, c'est moi »

# Projets d'Initiation à la Recherche

## PROJETS D'INITIATION À LA RECHERCHE DES 2<sup>ÈME</sup> ANNÉE

### 1. LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU COMME MENACE À LA PAIX

L'eau, ressource de plus en plus rare, se place aujourd'hui comme facteur de tensions et d'instabilité dans certaines régions du monde. Sa gestion (et sa répartition) entre deux ou plusieurs pays peut créer de lourdes tensions et mener à des conflits.

#### 1.1 L'EAU : UNE RESSOURCE INDISPENSABLE QUI SE FAIT DE PLUS EN PLUS RARE

Avec la présence quotidienne de l'eau dans nos vies, nous avons tendance à oublier que cette ressource est limitée. D'ailleurs 45% de la population mondiale (soit 3,4 milliards de personnes) n'a pas accès à des infrastructures d'assainissement et d'ici 2030, 40% de l'eau nécessaire à nos besoins sera manquante (Nations Unies, 2016). On notera également qu'aujourd'hui **2 milliards de personnes souffrent de « stress hydrique »** c'est-à-dire que leur demande en eau est supérieure aux ressources disponibles (Centre d'information sur l'eau, 2021) et qu'elles ne peuvent donc pas avoir accès à « une eau sûre en quantité suffisante et à prix abordable qui augmente leur chance de mener une vie propre, saine et productive en veillant à protéger et mettre en valeur l'environnement naturel » (Conseil mondial de l'eau, 2000). **L'eau est ainsi essentielle** pour les services d'eau dont nous avons besoin comme l'accès à l'eau potable, à l'hygiène, à l'assainissement mais revêt aussi une importance primordiale pour l'activité socio-économique puisqu'elle est le moteur de l'agriculture et de facto de l'alimentation, de l'énergie, de l'industrie et génère ainsi du commerce et de l'emploi. On notera également la place très particulière qu'occupe l'eau dans certains pays notamment d'un point de vue historique, culturel ou spirituel (Unesco, 2021).

Le droit à une eau propre, à l'hygiène et à l'assainissement a été ainsi reconnu par l'ONU comme **un droit fondamental humain**,

comme en témoigne le Programme de développement durable à l'horizon 2030 qui définit les Objectifs de Développement Durable (ODD) et qui y consacre l'ODD 6 : « Garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau ». Le sujet de l'eau est ainsi divisé en un panel contenant 6 cibles : accès à l'eau potable, accès aux services d'assainissement d'hygiène, la qualité de l'eau, la gestion durable des ressources en eau, la gestion intégrée des ressources, la protection et restauration des écosystèmes, la coopération et renforcement de capacités et enfin la gestion collective de l'eau (**Agenda 2030 en France, 2019**). L'eau pourrait même être présentée comme un objectif central des ODD puisqu'elle se recoupe avec toutes les autres ODD que ce soit directement ou indirectement (Figure 1).



Figure 1 : Liens entre l'eau et les Objectifs du développement durable (Source : adapté à partir de l'Agence néerlandaise d'évaluation environnementale, 2018)

### 1.2 UNE SOURCE POTENTIELLE DE CONFLITS

Dans un monde de plus en plus instable et qui voit de nombreuses crises et conflits se déclencher, l'eau y occupe une place importante puisqu'elle peut représenter **une menace pour la paix**

tout comme elle peut favoriser la paix et aider à résoudre certains conflits, ce qui explique le rapport qui existe en l'ODD 6 sur l'eau et l'ODD 16 qui porte sur Paix, justice et institutions efficaces. Ce deuxième ODD met en exergue l'importance de vivre dans des sociétés pacifiques qui garantissent la justice et dans lesquelles il existe une réelle coopération entre les institutions qu'elles soient politiques, judiciaires ou que ce soit la société civile pour parvenir à trouver des solutions à toutes tensions qui pourraient aboutir à un conflit et menacer la paix (Nations Unies, 2016). Les conflits autour de la ressource de l'eau existent depuis aussi longtemps qu'il en existe des pénuries et que les Hommes se battent pour son utilisation. Depuis quelques décennies, nos modèles économiques et de production ont fait exploser nos besoins en eau. **La croissance démographique et les impacts du réchauffement climatique** ont exacerbé ces besoins, créant de plus en plus de tensions autour de cette ressource. Toutefois, même si l'eau est considérée comme un facteur déclencheur, les conflits prennent en réalité source sur la question de son partage et son utilisation. Deux visions s'opposent autour de cette question : celle de l'époque Boutros Boutros-Ghali - ancien secrétaire général des Nations unies - qui affirmait à la fin des années 1980 que la prochaine guerre au Proche-Orient serait une guerre de l'eau (Blanc, 2014) et celle de Habib Ayebe qui considérait au début des années 2000 qu'il était peu probable que des affrontements directs apparaissent entre États pour le contrôle exclusif de sources d'eau ou de territoires traversés par des fleuves (Ayebe, 1998). David Blanchon, enseignant chercheur en géographie, explique dans son ouvrage Géopolitique de l'eau : entre conflits et coopération (Blanchon, 2019) que malgré le fait que l'eau ne soit en réalité que rarement la cause du conflit, elle peut être **un terrain de coopération puissant pour faire la paix**. L'eau est en effet une ressource renouvelable et il n'est pas pertinent de lier le volume disponible et la crise en eau. Selon lui, l'enjeu géopolitique est plutôt de sécuriser cette ressource en étudiant les tensions autour d'elle au travers du prisme du « **nexus eau-alimentation-énergie** ». Cette notion de nexus a été développée en 1983 au travers du programme

“nexus alimentation-énergie” de l'Université des Nations Unies. Elle permet de mettre en lumière les enjeux qui existent autour de la question de l'eau. En réalité, nous ne pouvons parler d'eau sans aborder les questions d'alimentation et d'énergie. La dépendance qui existe entre ces trois éléments constitue le cœur de la complexité des défis liés à l'eau (Comair, 2018). L'eau est nécessaire pour produire de l'énergie mais celle-ci est également nécessaire pour pomper l'eau. C'est d'ailleurs ce qui explique pourquoi l'ODD 6 concernant l'eau, l'ODD 2 concernant la faim et l'ODD 7 concernant l'énergie sont étroitement liés et influent sur la paix dans le monde.

## 2. LE CAS DE L'ÉGYPTE ET DE L'ÉTHIOPIE : LA GESTION DES EAUX TRANSFRONTALIÈRES DU BASSIN DU BASSIN DU NIL

Pour mieux appréhender la complexité des enjeux autour de l'eau et ce nexus, il serait intéressant de s'attarder sur le cas de la gestion des eaux transfrontalières du bassin du Nil, entre l'Égypte et l'Éthiopie.

### 2.1 LE NIL BLEU : UNE RESSOURCE CONVOITÉE ET ESSENTIELLE POUR L'ÉGYPTE ET L'ÉTHIOPIE

Le bassin du Nil est le troisième plus grand bassin versant du monde en couvrant une superficie de 3 254 555 km<sup>2</sup>. Elle représente un dixième du continent africain, répartie en deux grands ensembles, le Nil Blanc depuis le lac Victoria et le Nil Bleu ou Abbay (« le père » en amharique) depuis le lac Tana en Éthiopie. En tout, le fleuve du Nil s'étend sur près de 6 671 kilomètres. Les deux Nil se retrouvent au carrefour de Khartoum, capitale du Soudan. Le bassin du Nil s'étend sur les pays que traversent les deux cours d'eau c'est-à-dire la Tanzanie, le Kenya, le Burundi, le Rwanda, l'Ouganda, la République Démocratique du Congo, l'Éthiopie, l'Érythrée, le Soudan, le Soudan du Sud et l'Égypte. Le Nil est également coupé par de nombreux barrages en Ouganda, au Soudan, en Éthiopie et en Égypte. Dans le cadre de cet article, nous nous focaliserons principalement sur le Nil Bleu puis le cours inférieur du Nil après sa jonction avec le Nil Blanc. Ceci nous emmènera depuis sa source en Éthiopie vers le Soudan, jusqu'au Nord de l'Égypte où il se jette dans la Méditerranée orientale par un vaste delta (Comair, 2021).

## PROJETS D'INITIATION À LA RECHERCHE DES 2<sup>ÈME</sup> ANNÉE

Dès 2011, l'Éthiopie a commencé la construction de son barrage Renaissance, proche de la frontière soudanaise. Une fois sa construction finalisée – prévue au cours de l'année 2022 – il s'agira du plus grand barrage d'Afrique. Ce chantier titanesque répond pour l'Éthiopie au besoin de fournir son territoire en électricité mais également de dynamiser son économie en proposant un marché attractif pour les pays voisins. Toutefois, depuis l'annonce de ce projet, de nombreuses tensions se sont éveillées au sein des pays en aval, l'Égypte et le Soudan. La dépendance du premier à l'eau douce du Nil – tant pour son agriculture que pour sa production d'énergie - lui fait craindre une réduction du débit d'eau sur son territoire. En effet, l'Égypte est sujette au risque de sécheresse car soumise à un régime de précipitations très faibles. Son agriculture est fortement dépendante de l'eau du Nil. Le Soudan, quant à lui, exprime également un besoin de développer son économie et surtout de munir sa population d'électricité. A ces différents problèmes nationaux s'ajoutent d'autres thématiques problématiques qui viennent exacerber ces tensions : forte croissance démographique, contextes politiques extrêmement tendus et conséquences du réchauffement climatique (Comair, 2021).

### 2.2 LE BARRAGE DE LA RENAISSANCE : UN OUTIL DE GESTION DES EAUX QUI MENACE LA STABILITÉ DE LA RÉGION

Alors que la gestion des eaux du Nil avait été fixée par l'accord bilatéral Égypte-Soudan de 1959, la construction du barrage Renaissance a bouleversé l'équilibre trouvé. Ces derniers revendiquent l'utilisation depuis cet accord-cadre sur l'exploitation des eaux du Nil tandis que l'Éthiopie semble adopter une gestion davantage unilatérale à l'amont du Nil par l'intermédiaire de ses ouvrages (Blanc, 2014).

Ces derniers temps, le Nil est ainsi au cœur d'un nouvel essor conflictuel autour du barrage de la Renaissance.

Son volume de stockage n'avait pas été validé par le Comité International des Grands Barrages (CIGB) qui le considérait comme surdimensionné et techniquement non acceptable.

Le conflit qui se déroule dans cette région est ainsi multidimensionnel puisque même si l'eau représente un facteur principal, son exploitation et son partage relève en réalité davantage d'un jeu de puissance politique et historique. La nécessité de préservation de l'écosystème du Nil, sa qualité de patrimoine naturel et historique mais également les aspects juridiques forment ensemble une situation extrêmement complexe. L'impact environnemental de la construction de ce barrage et ses répercussions sur le bassin sont également des éléments essentiels qui complexifient les discussions autour de ce dernier. En effet, le réchauffement climatique a un impact direct sur la diminution de la disponibilité des ressources en eau et en nourriture. Tous ces éléments font de la situation du Bassin du Nil une source de préoccupation majeure pour les acteurs régionaux (Comair, 2021). Les multiples tentatives de négociation et d'intermédiation avortées par l'Éthiopie, que ce soit d'abord avec la Banque Mondiale, les États-Unis puis celles de Kinshasa en 2021, ont montré la difficulté de trouver une voie de coopération régionale pérenne (Le Monde, 2021).

Si le président égyptien Al-Sissi avait clamé en mai dernier lors d'une conférence de presse que « Personne ne peut se permettre de prendre une goutte d'eau de l'Égypte, sinon la région connaîtra une instabilité inimaginable » (Le Figaro, 2021) faisant ainsi planer la menace d'une intervention militaire, Gérard Prunier dans le Chapitre V de son ouvrage *Le bassin du Nil: des mythes à l'hydropolitique* (2009) réalise une évaluation du risque de crises lié à l'hydropolitique sur le moyen-terme (2010- 2020) et conclut que, selon lui, un conflit ouvert entre l'Égypte et l'Éthiopie est très peu probable.

Il s'appuie sur quatre facteurs pour tirer cette conclusion. Le premier est que la géographie ne leur permet pas de mener une guerre ou alors qu'elle serait extrêmement coûteuse - ce qui n'est pas dans leurs intérêts.

**Le second facteur est que la réprobation de la communauté internationale joue un rôle prépondérant dans l'évolution de la situation car ils en sont tous les deux très dépendants.**

Le troisième facteur est que selon lui le Nil Basin Initiative (NBI), même si son efficacité n'est pas optimale, demeure un lieu de débat dans lequel les experts peuvent faire entendre leur voix. Enfin, les solutions techniques existantes restent des remparts pour préserver la paix.

Ces problématiques liées à l'eau peuvent être étendue à l'ensemble de la région du monde arabe qui vit une réelle pénurie d'eau douce avec près de 86% de la population (soit 362 millions de personnes) victime de cette pénurie et quatorze pays qui souffrent de stress hydrique c'est-à-dire qui utilisent plus de 100% de leurs ressources en eau. De plus, 2/3 des ressources en eau sont des eaux transfrontalières comme dans le cas de l'Égypte et l'Éthiopie, c'est-à-dire que ces eaux traversent plusieurs États, ce qui nécessite ainsi une coopération entre les États pour maintenir la paix et éviter de déclencher des guerres liées au partage des ressources en eaux. D'ailleurs, le Conseil des ministres de la région arabe chargés de l'eau (AMWC) a adopté la Stratégie arabe pour la sécurité hydrique visant à relever les défis et à répondre aux besoins liés au développement durable 2010-2030 (Conseil des ministres de la région arabe chargés de l'eau, 2012) dont la priorité est la coopération pour la gestion des ressources en eau (Unesco, 2021).

### 3 LES INSTANCES DE COOPÉRATION COMME GARDE-FOU DES CONFLITS ET PROTECTION DES POPULATIONS

Conscients de la valeur de l'eau et des tensions qui peuvent être liées à sa gestion, de nombreux accords de coopération existent pour **prévenir de potentiels conflits.**

#### 3.1 LA COOPÉRATION INTERNATIONALE POUR PRÉVENIR LES CONFLITS LIÉS A L'EAU

Coopérer entre les États concernant les ressources en eau est une **pratique très ancienne** qui remonte à 2500 avant notre ère. Le premier accord connu de coopération internationale a été établi entre deux cités-États sumériennes pour régler un conflit lié au partage de l'eau le long du Tigre. La nécessité de prévenir les conflits liés à l'eau semble prioritaire pour tous puisque **150 traités ont été signés concernant l'eau** alors que seulement 37 conflits graves liés à l'eau ont eu lieu (Unesco 2021). **Des outils mondiaux et régionaux** ont aussi vu le jour dans le cadre du partenariat Eau, Paix et Sécurité (**WPS**) pour prévenir les conflits et favoriser la coopération entre les États. L'Unesco a également mis en place le **Programme hydrologique international (PHI)**, instrument de coopération intergouvernementale consacré à la recherche à la gestion de l'eau. Concernant le cas du Bassin du Nil, un Accord-Cadre sur la coopération dans le Bassin sur le fleuve du Nil existe, mais l'Égypte a refusé de le signer (Organisme Général de l'Information-Égypte 2014).

Le dialogue entre États pour parvenir à une coopération durable en matière de gestion de l'eau peut même devenir un instrument de paix. La coopération menée dans la région du lac Tchad pour améliorer l'état de l'eau du bassin et le développement de ses ressources au profit des populations en est un parfait exemple.

## 3.2 DES INSTRUMENTS ET INSTANCES JURIDIQUES POUR MAINTENIR LA PAIX

**Des instruments juridiques**, plus contraignants donc, existent également. On notera l'existence de la **Convention sur la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontaliers et des lacs internationaux** (convention sur l'eau), instrument juridique international unique et plate-forme intergouvernementale qui vise à assurer l'utilisation durable des ressources en eau transfrontalières en facilitant la coopération (CEE-ONU, 2014). **La Convention sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation - 1997** (Nations Unies, 2014), s'appuie quant à elle sur les "règles d'Helsinki" et repose sur trois principes : l'utilisation et la partition équitable et raisonnable des ressources en eau par les États, l'obligation de ne pas causer de dommages significatifs (art.7) et réparer les dommages et enfin l'obligation générale de coopérer (art.8 et 9) sur la base d'égalité souveraine, d'intégrité territoriale, d'avantage mutuel et de la bonne foi, ainsi que de l'échange régulier d'informations.

Enfin, **la Cour Internationale de Justice a également rendu des arrêts pour litiges entre États liés à la gestion de l'eau**. La jurisprudence *Gabčíkovo-Nagymaros*, concernant un barrage sur le Danube entre la Slovaquie et la Hongrie, condamne la Hongrie pour la prise de contrôle d'une ressource naturelle partagée (Cour Internationale de Justice, 1997).

## CONCLUSION

Ainsi, **la valeur de l'eau est inestimable** tant elle influence de nombreux domaines de nos vies. Nos modèles économiques et nos modèles de production en font une ressource de plus en plus convoitée et sa pénurie est crainte. L'eau devient ainsi **une source potentielle de conflit** dans plusieurs régions du monde. Sa gestion entre les différents États nécessite des institutions justes qui mettent en place **des instruments de coopération et des instruments juridiques** à la hauteur des enjeux à venir pour faire de l'eau un outil de coopération, de développement entre États et donc de paix. On notera également que l'eau a été instrumentalisée et détournée lors de certains conflits pour devenir une arme de guerre (pendant la 2<sup>nd</sup> Guerre mondiale par exemple).

**ATTIA Motaz, BOUARFA Samy,  
DOS SANTOS Anthony, DUFOURTH Thomas**

Etudiants de 2<sup>ème</sup> année 2021-22

## BIBLIOGRAPHIE

- Barrage sur le Nil : «instabilité inimaginable» si on touche à l'eau de l'Égypte, prévient Al-Sissi, Le Figaro, 30 mars 2021. URL : <https://www.lefigaro.fr/flash-actu/barrage-sur-le-nil-instabilite-inimaginable-si-on-touche-a-l-eau-de-l-egypte-previent-al-sissi-20210330>
- Convention sur la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontières et des lacs internationaux, CEE-ONU, 1992, 2014. URL : [https://unece.org/DAM/env/water/documents/brochure\\_water\\_convention\\_french.pdf](https://unece.org/DAM/env/water/documents/brochure_water_convention_french.pdf)
- Convention sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation-1997, Nations unies, 2014. URL : [https://legal.un.org/ilc/texts/instruments/french/conventions/8\\_3\\_1997.pdf](https://legal.un.org/ilc/texts/instruments/french/conventions/8_3_1997.pdf)
- Eau propre et assainissement : pourquoi est-ce important ?, Objectifs de développement durable, 17 objectifs pour transformer notre monde, Nations Unies, 2016
- L'accord cadre du Bassin du Nil, L'Organisme Général de l'Information-Portail pour l'Égypte, 2014. URL : <https://www.sis.gov.eg/Story/50271/L%E2%80%99accord-cadre-du-Bassin-du-Nil?lang=fr>
- ODD6 - Garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau, Agenda 2030 en France, 2019
- Paix, justice et institutions efficaces : pourquoi sont-elles importantes ?, Objectifs de développement durable, 17 objectifs pour transformer notre monde, Nations Unies, 2016.
- Projet Gabčíkovo, Nagymaros (Hongrie/Slovaquie), Cour Internationale de Justice, 1997. URL : <https://www.icj-cij.org/fr/affaire/92>
- Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2021 : la valeur de l'eau, Programme mondial de l'UNESCO pour l'évaluation des ressources en eau, 2021
- Ayeb, H, L'eau au Proche-Orient : la guerre n'aura pas lieu, Karthala-CEDEJ, 1998
- Blanc, P, De l'Égypte à l'Éthiopie, quand la puissance se déplace en Afrique nilotique, Confluences Méditerranée, vol. 90, no. 3, 2014, pp. 123-139.
- Blanchon, D, Géopolitique de l'eau : entre conflits et coopérations, Le Cavalier bleu éditions, 2019.
- Brun et Lasserre, Le Partage de l'eau : Une réflexion géopolitique, Odile Jacob, France, 2018.
- Chacra, E. A., Comment on en est arrivés là !, Lettre d'Addis Abeba #1, Le Point, 2021, 24 novembre  
URL : [https://www.lepoint.fr/afrique/lettre-d-addis-abeba-1-comment-on-en-est-arrives-la-24-11-2021-2453663\\_3826.php](https://www.lepoint.fr/afrique/lettre-d-addis-abeba-1-comment-on-en-est-arrives-la-24-11-2021-2453663_3826.php)
- Comair, F., Hydrodiplomatie et nexus – Eau – Énergie – Alimentation, Editions Johanet, France, 2018.
- Comair, F., Le Bassin du Nil : un enjeu géopolitique majeur, Revue Politique et Parlementaire, 2021
- De Vergès, M., Le conflit au Tigré questionne les espoirs suscités par l'Éthiopie, un temps présenté comme un possible modèle, Le Monde.fr, 6 mai 2021, URL : [https://www.lemonde.fr/idees/article/2021/05/06/le-conflit-au-tigre-questionne-les-espoirs-suscites-par-l-ethiopie-un-temps-presente-comme-un-possible-modele\\_6079295\\_3232.html](https://www.lemonde.fr/idees/article/2021/05/06/le-conflit-au-tigre-questionne-les-espoirs-suscites-par-l-ethiopie-un-temps-presente-comme-un-possible-modele_6079295_3232.html)
- Galland, F. Le Grand jeu. Chroniques géopolitiques de l'eau : Chroniques géopolitiques de l'eau, CNRS, France, 2014.
- Heikal, T., Le conflit autour du barrage de la Renaissance, une menace sous-estimée (4/4), [Série] JeuneAfrique.com, 1 mai 2021, URL : <https://www.jeuneafrique.com/1153218/politique/serie-le-conflit-autour-du-barrage-de-la-renaissance-une-menace-sous-estimee-4-4/>
- Hochet-Bodin, N., Pour l'Éthiopie, le grand barrage de la Renaissance est une cause nationale, Le Monde, 2021. URL : [https://www.lemonde.fr/afrique/article/2021/07/07/pour-l-ethiopie-le-grand-barrage-de-la-renaissance-est-une-cause-nationale\\_6087348\\_3212.html](https://www.lemonde.fr/afrique/article/2021/07/07/pour-l-ethiopie-le-grand-barrage-de-la-renaissance-est-une-cause-nationale_6087348_3212.html)
- Macé, M., Qu'est-ce que le stress hydrique ? Comment y répondre ?, Centre d'information sur l'eau, 2021. URL : <https://www.cieau.com/eau-transition-ecologique/enjeux/quest-ce-que-le-stress-hydrique-comment-y-repondre/>
- Prunier, G. V., Le bassin du Nil : des mythes à l'hydropolitique, Jean-Pierre Raison éd., Des fleuves entre conflits et compromis. Essais d'hydropolitique africaine. Karthala, 2009, pp. 173-237.

## PROJETS D'INITIATION À LA RECHERCHE DES 2<sup>ÈME</sup> ANNÉE

### Faire face à l'augmentation de l'inconfort d'été au sein du logement

**Résumé :** Face au défi d'étés de plus en plus chauds, il est indispensable de trouver des solutions respectueuses de l'environnement pour améliorer le confort thermique des bâtiments. Afin d'y parvenir, il est possible de moduler l'inertie thermique du bâtiment, en utilisant, par exemple, des matériaux à changement de phase, ou encore l'usage de film à poser sur les fenêtres. On peut agir aussi au niveau de la ventilation avec par exemple l'usage de puits canadiens. Mais il existe aussi des solutions simples à mettre en œuvre comme les brises soleil ou encore une meilleure gestion de l'aération de nos logements.

**Mots-clés :** Confort d'été ; Réchauffement climatique ; RITE ; Cerema

**Abstract:** Facing increasingly warmer summer seasons, it is mandatory to find technical solutions taking care of the environment and improving the thermal comfort of housing. To do so, it is possible to adjust the thermal inertia of a building by using phase change materials or even thermal insulation films to be directly installed on windows. We may also modify the ventilation system by using Canadian wells. Very simple solutions may also be considered such as external venetian blinds or a better management of the ventilation system in the housing.

**Keywords:** Summer comfort; Global warming; RITE; Cerema

## INTRODUCTION

Cet article traite **des solutions à mettre en œuvre pour lutter contre le réchauffement climatique au niveau de nos logements**. Après une présentation succincte du **projet « RITE » du Cerema**, sont exposés différentes solutions afin de lutter efficacement contre les épisodes de chaleurs estivales. En effet, il existe de nos jours plusieurs technologies innovantes capables de répondre à cette problématique énergétique et ainsi d'améliorer considérablement le confort thermique au sein de la maison.

## 1. LE PROJET « RITE » DU CEREMA

À la suite de la hausse des températures provoquée par le réchauffement climatique, le Cerema a lancé le **projet « RITE » (Risque d'Inconfort Thermique d'Été)**. Le but de ce projet est de créer des outils capables d'évaluer et de prévoir rapidement le confort d'été d'un logement neuf ou rénové. Ces outils permettent de représenter le niveau de confort des logements pour les situer dans des contextes d'étés futurs plus chauds. Leur but est **de maîtriser et d'améliorer le confort d'été sans climatisation** et, par conséquent, d'améliorer et d'adapter le bâti face au réchauffement climatique, par exemple en proposant des solutions performantes de rénovation du logement.

Pour fonctionner, l'outil se base sur des références obtenues à partir de centaines de simulations thermiques dynamiques. Ensuite, à partir d'algorithmes de calculs de Thermique du Bâtiment, RITE fournit **l'indice de confort d'été en Degrés Heures (DH)**. Cet indicateur a été introduit par la RE 2020 et définit un seuil de confort.

Les données d'entrée pour faire fonctionner l'outil ont été simplifiées au maximum de façon à rendre l'outil accessible au plus grand nombre. Il n'y a aucune donnée technique à rentrer, seulement la description du logement en question.

L'outil « RITE » est seulement utilisable pour de l'habitat, mais sa méthodologie peut être reproduite pour d'autres usages [1]. Avec un tel outil, il sera alors simple d'évaluer ses besoins de se protéger de la chaleur estivale. Il restera désormais à trouver les moyens et matériaux à mettre en œuvre pour le faire correctement.

## 2 LES MATÉRIAUX À CHANGEMENT DE PHASE

### 2.1 INERTIE THERMIQUE : DÉFINITION

Pour pouvoir gérer comme nous le souhaitons la température au sein d'un habitat, il faut impérativement prendre en compte l'inertie thermique du bâtiment. **L'inertie thermique d'un bâtiment** va être sa capacité à stocker et à déstocker de l'énergie thermique dans sa structure (Figure 1).

Elle va définir la vitesse à laquelle le bâtiment va se refroidir ou se réchauffer, et c'est la masse de l'ensemble des éléments d'un bâtiment (murs, plancher...) ainsi que les matériaux les composant qui vont caractériser cette inertie [2].

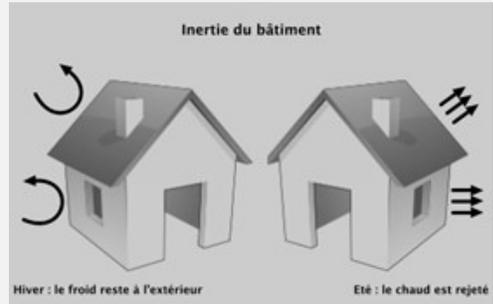


Figure 1 : Inertie du Bâtiment [3]

### 2.2 INERTIE THERMIQUE : ENJEUX

Par conséquent, **il est intéressant de pouvoir augmenter le plus possible l'inertie thermique de notre édifice** de telle façon que la structure mette du temps à emmagasiner la chaleur, et donc que le moment de relâchement de cette chaleur soit lui aussi plus progressif. Sachant que l'inertie thermique de notre bâtiment dépend entièrement de sa structure, il faut alors augmenter la masse de celle-ci, ou alors choisir des matériaux adaptés. Augmenter la taille des parois du bâti n'est probablement pas la bonne solution. En effet, cela augmenterait le coût de construction, ce qui n'est pas une solution écologique, ni économique, et surtout fait perdre de l'espace. En revanche, chaque matériau présente une masse thermique (ou inertie thermique) différente. Par exemple un bloc de béton lourd a une masse thermique de 1200 à 2200 kg/m<sup>3</sup> alors qu'un bloc de béton cellulaire a une masse thermique de 380 à 720 kg/m<sup>3</sup> [4]. Le choix des matériaux de notre bâtiment est donc primordial pour gérer au mieux la température de l'habitat.

## 2.3 MATÉRIAUX À CHANGEMENT DE PHASE : DÉFINITION

Depuis peu, **les MCP (matériaux à changement de phase)** commencent à être utilisés dans le BTP, et pourraient bien être une réponse à notre problème. Les MCP sont des matériaux capables de changer d'état physique en fonction de la température. Cela veut dire que, suivant la plage de température de l'environnement, ces matériaux peuvent se solidifier ou se liquéfier. Durant leurs changements d'état, ils vont céder ou au contraire absorber de l'énergie. Il existe **trois catégories de MCP**, les MCP organiques (paraffines), les MCP inorganiques (sel hydraté) ou les composés eutectiques [4].

## 2.4 MATÉRIAUX À CHANGEMENT DE PHASE : MISE EN ŒUVRE

Ces MCP peuvent **être incorporés dans des enduits, des plaques de finition ou même des blocs de béton**. Cependant, l'utilisation la plus répandue est celle sous forme de panneau [4]. En effet, l'entreprise Dupont de Nemours a créé les panneaux Energain™ (Figure 2) qui fonctionnent à base de MCP. Ces plaques sont installées derrière le revêtement des murs intérieurs et du plafond du bâtiment. Elles contiennent de la paraffine, lorsque ce composé fond, la chaleur ambiante de la pièce est absorbée. Inversement, lorsqu'il se solidifie, il va libérer la chaleur accumulée. Grâce à ce fonctionnement, il est possible de réduire les pics de chaleurs dans un bâtiment de 7°C [5]. Cependant, pour avoir un fonctionnement optimal de ce système, il faut équiper le bâtiment de 60% de son volume en surface de panneaux Energain [5].



Figure 2 : Panneaux de MCP [6]

Ces panneaux de MCP font 5mm de largeur mais ont la même capacité de stockage qu'un mur de béton de 7cm [5]. Cette solution parvient donc à grandement augmenter l'inertie de notre bâtiment tout en prenant le moins de place possible et en étant complètement invisible.

## 3 LA PELLICULE LOW-E

### 3.1 DÉFINITION

Aussi appelée **pellicule à faible émissivité**, la pellicule Low-E est un film incolore que l'on pose sur les fenêtres. Elle permet de retenir la chaleur à l'extérieur ou à l'intérieur selon le mode d'application. En effet, si on applique ce film à l'extérieur, **il empêche les rayons ultraviolets et infrarouges d'entrer** dans la pièce, et donc avec ces rayons, la chaleur (Figure 2). Ainsi, l'impression de chaleur étant diminuée, on obtient un meilleur confort et une utilisation réduite des systèmes de climatisation. Autre avantage, cette barrière contre les rayons du soleil permet de protéger la décoloration des matériaux et tissus à cause justement de ces rayons.

### 3.2 EFFICACITÉ

Une vitre classique, sans pellicule Low-E, laisse passer 84% des rayonnements à une température donnée, elle a donc une émissivité de 0,84. A titre de comparaison, un vitrage doté d'une pellicule Low-E a une émissivité de 0,04 [7]. Cela démontre l'efficacité de cet outil. **Il permet de diminuer de 10% les coûts de climatisation en été [8].**



Figure 3 : Pellicule Low-E [9]

### 3.3 APPLICATION

L'autre avantage de cette pellicule, c'est que son installation se fait **directement sur le vitrage**. Bien que certaines fenêtres soient vendues avec le film Low-E directement intégré, il est tout à fait possible de l'installer sur une fenêtre déjà existante. Son application est très simple : il suffit de plaquer le film sur le verre en veillant à ne pas faire de bulles d'air, avec un couteau à maroufler par exemple.

## 4 LE Puits CANADIEN

### 4.1 CONTEXTE

Lorsque la température extérieure augmente en été pour atteindre 30 à 35 degrés, parfois et par endroits même 40 degrés, il est nécessaire pour le confort que l'intérieur d'un habitat n'augmente pas autant, ou dans des proportions très amoindries. Il est alors commun d'isoler thermiquement l'intérieur de l'extérieur au niveau des menuiseries, de la toiture, des murs etc... Néanmoins, il y a un aspect que l'on ne sait pas « isoler », c'est **la ventilation**. L'air extérieur est, dans notre contexte, très chaud, et réchaufferait les pièces dans lesquelles on l'enverrait. Récemment, avec l'invention du système de climatisation, nous le refroidissons avant de l'envoyer dans l'habitat. Cependant, ce système a ses failles : consommation électrique, pollution... Il faudrait donc un système capable de **réguler la température de l'air puisé dans l'atmosphère sans de trop grosses dépenses d'énergies**. Cette solution a été inventée il y a des siècles en Méditerranée : le « puits canadien » ou « puits provençal ».

### 4.2 DÉFINITION

Le puits canadien est un système qui utilise **la géothermie**, la température du sol, pour réguler l'air. En effet, la terre à une profondeur de 1,50m se trouvera toujours entre 5 et 14°, et à partir de 8m de profondeur, elle reste entre 8 et 10° tout au long de l'année [10]. Il s'agit donc de récupérer l'air extérieur et de le faire transiter dans une canalisation enfouie dans le sol sur une distance assez importante pour permettre un échange d'énergie thermique entre le sol et l'air (Figure 4).

### 4.3 EFFICACITÉ

Un air aspiré à 30° traversant 35m de sol à 13° entrera dans l'habitat à 22° [11]. Nous prenons ici l'exemple d'une utilisation en été mais le même principe fonctionne aussi en hiver pour réchauffer légèrement l'air ventilé. Aussi, cette méthode est **10 fois moins énergivore** par rapport aux systèmes traditionnels [11], ce qui est une des plus grandes préoccupations contemporaines dans la conception.

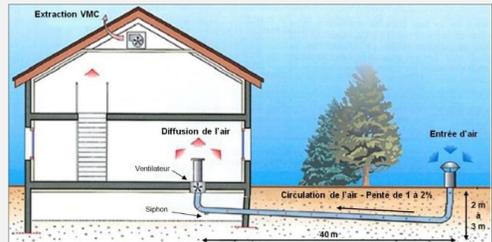


Figure 4 : Puits Canadien [12]

On peut encore augmenter l'efficacité du puits canadien en le couplant à une VMC double flux qui, sur le principe, fonctionne tout comme le puits et permettrait de réduire encore mieux les pertes énergétiques à hauteur de 80% contre 50% pour une VMC simple flux. Le puits canadien est donc un système écologique, économique et relativement efficace. Il est moins efficace que la climatisation énergivore mais avons-nous réellement besoin d'une température au degré près, parfois différente de 20° avec l'extérieur...

## 5 LES SOLUTIONS SIMPLES AU QUOTIDIEN

Plus fondamentalement, il existe **des solutions simples** que l'on peut appliquer au quotidien. Ces solutions doivent devenir un réflexe pour toute personne en période de fortes chaleurs.

### 5.1 BRISES SOLEIL

En effet, dans un premier temps il est important de protéger son habitat du soleil. Pour ce faire, il est recommandé de fermer ses volets le matin avant l'apparition de la chaleur du soleil. L'inconvénient de cette solution est que nous supprimons toute lumière naturelle au sein de l'habitat. C'est pourquoi il est possible d'installer des brises soleil (Figure 5). Les brises soleil sont composés de plusieurs lames parallèles qui peuvent être orientées en fonction de la position du soleil [13]. Ils vont **diminuer considérablement l'arrivée des rayons sur les fenêtres** en créant un ombrage sur celle-ci, tout en conservant de la lumière naturelle dans les pièces. Les rayonnements du soleil sur les vitrages sont une cause importante de l'augmentation de la température intérieure. Ne pas se protéger du soleil peut faire monter la température intérieure jusqu'à 10°C [14]. C'est pourquoi cette solution est plus qu'intéressante tout en restant très esthétique.



Figure 5 : Brises Soleil [15]

### 5.2 AÉRATION

De plus, un autre réflexe à avoir est de **faire circuler l'air dans son logement**. En effet, en journée, la maison doit rester la plus fermée possible pour ne pas faire entrer d'air extérieur qui est bien plus chaud qu'au sein de l'habitation. Pendant la journée, les températures extérieures sont bien plus élevées qu'à l'intérieur de l'habitat. En revanche, durant la nuit, les températures extérieures ont de fortes chances d'être inférieures à celles de l'habitat. C'est à ce moment-là, qu'il est important d'ouvrir les fenêtres pour faire entrer de l'air extérieur plus frais et pour évacuer l'air chaud du logement. Cela va refroidir l'ensemble de l'habitat, y compris les différents éléments structurels de celui-ci [14].

### CONCLUSION

Dans cet article, des solutions pour garder un habitat frais en été pour avoir un certain confort dans cette période ont été présentées. A partir de ces différentes solutions, il est possible de construire des habitats complètement résistants à de hautes chaleurs. Nous avons montré qu'il existe des éléments structurels ou des équipements qui sont capables de diminuer considérablement la température au sein d'un bâtiment. Il est tout de même important de prendre en compte le prix de ces solutions qui peuvent fortement augmenter le prix global d'un bâtiment. Le prix est un facteur limitant à la généralisation de ces méthodes lors de la construction.

Nous avons étudié principalement des bâtiments simples comme des maisons ou des petits appartements. Il serait judicieux de s'intéresser à des bâtiments de grandes ampleurs comme de grandes tours d'habitations ou de bureaux.

BONNAUD Valentin, CORDIER Romain,  
COUPARD Nathan, FERREC Killian  
Etudiants de 2<sup>ème</sup> année 2021-22

## RÉFÉRENCES

- [1] « «RITE» : Un outil d'évolution du Risque d'Inconfort Thermique d'été dans les logements », Cerema, 02 02 2022. [En ligne]. Available: <https://www.cerema.fr/fr/actualites/rite-outil-evaluation-du-risque-inconfort-thermique-ete>
- [2] « Une isolation thermique été comme hiver », t. s. l'isolation, 25 09 2019. [En ligne]. Available: <https://www.toutsurlisolation.com/une-isolation-thermique-ete-comme-hiver> (consulté en mai 2022)
- [3] « Isolation Thermique » [En ligne]. Available: <https://isolation-thermique.org/conseils-isolation-thermique/linertie-du-batiment-et-le-confort-thermique/>. [Accès le 02 05 2022].
- [4] « Type de matériaux », G. B. Durable, 28 09 2016. [En ligne]. Available: <https://www.guidebatimentdurable.brussels/inertie-murs-interieurs/type-materiaux>.
- [5] « Fonctionnement et performances des MCP », Econology, 19 02 2010. [En ligne]. Available: <https://www.econology.fr/le-blog/dossier-mcp-fonctionnement-et-performances-des-materiaux-a-changement-de-phase>.
- [6] « E-architect » [En ligne]. Available: <https://www.e-architect.com/products/wealdon-district-council>. [Accès le 02 05 2022].
- [7] « Ecohabitation », Ecohabitation, 27 08 2012. [En ligne]. Available: <https://www.ecohabitation.com/guides/2662/les-vitrages-basse-emissivite-ou-low-e/>. [Accès le 04 05 2022].
- [8] « Rue du verre » Date de publication inconnue. [En ligne]. Available: <https://www.rueduverre.com/definitions/low-e.html>. [Accès le 04 05 2022].
- [9] « EcoloSynergy » [En ligne]. Available: [https://ecolosynergy.com/wp-content/uploads/2021/04/Effet\\_Ete-Enduit-et-Membrane-pour-fenetres.jpg](https://ecolosynergy.com/wp-content/uploads/2021/04/Effet_Ete-Enduit-et-Membrane-pour-fenetres.jpg). [Accès le 02 05 2022].
- [10] T. Gallauziaux et D. Fedullo, « Le grand livre de l'isolation », Eyrolles, 2011.
- [11] M.-P. Dubois-Petroff, « Isoler sa maison », Ulmer, 2010.
- [12] « Architecture Bois » [En ligne]. Available: <https://www.architecturebois.fr/wp-content/uploads/2014/11/puitcanadien.jpg>. [Accès le 02 05 2022].
- [13] « Le Brise soleil », fiabitat, 2020. [En ligne]. Available: <https://www.fiabitat.com/le-brise-soleil/>.
- [14] « Guide confort d'été de l'ADEME », ADEME, 19 08 2011. [En ligne]. Available: <https://presse.ademe.fr/2011/08/profiter-dun-ete-au-frais-en-suivant-le-guide-confort-dete-de-lademe.html>.
- [15] « ArchiExpo » [En ligne]. Available: <https://www.archiexpo.fr/prod/alumil-sa/product-66438-1345003.html>. [Accès le 15 05 2022].

# Projets d'Initiation à la Recherche

## PROJETS D'EXPÉRIENCE SCIENTIFIQUE DE RECHERCHE

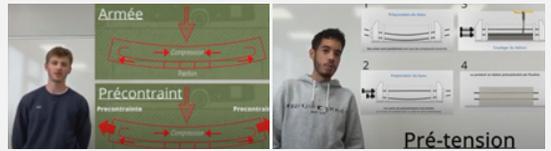
### La précontrainte

Quatre apprentis de TC3A, ont relevé le défi de réaliser une capsule pédagogique pour la première fois afin d'expliquer la « **précontrainte** » dans le cadre de leur projet d'initiation à la recherche « Expérience Scientifique de Recherche. En moins de 5 minutes, ils présentent :

L'intérêt de la précontrainte, son histoire, des exemples d'ouvrages



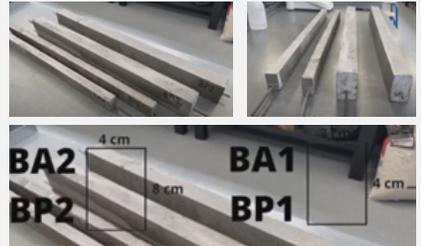
Son principe



Leur réalisation de poutres en béton armé et en béton précontraint afin de les comparer



Leur mise en œuvre de la précontrainte



Mise en flexion 3 points

*(Un grand merci à M. Colin de l'ESTP pour la réalisation de ces essais)*



CQFD<sup>1</sup>

Pour une même section,  
Résistante BP > Résistante BA

<b>BA1</b> <b>BP1</b>	 4 cm 8 cm	<b>BA2</b> <b>BP2</b>	 4 cm 8 cm
Béton armé A1 = 2.37 KN		Béton armé BA2 = 4.04 KN	
Béton Précontraint P2 = 2.62 KN		Béton Précontraint BP2 = 4.62 KN	



1 Ce Qu'il Fallait Démontrer

Vous voulez en savoir plus ?  
Consulter la capsule !



Extrait du projet de BOUDART Paul, MOUGHAOUI Amine,  
TERRACHE Rygan et THEAULT Antoine,  
Etudiants de TC3A 2021-22

# Les granulats recyclés dans le béton

Le projet consistait à s'intéresser à l'intégration de granulats recyclés issus de la démolition dans le béton. Ce groupe a fait le choix de présenter leur projet d'Expérience Scientifique et de Recherche de 3<sup>ème</sup> année sous forme d'une revue à destination des juniors. (Figure 1)



Figure 1 : Page de couverture de la revue

### OBJECTIFS

Pour ce projet, nous avons plusieurs objectifs afin d'essayer de répondre au problème posé :

- Le premier est de déterminer la granulométrie de notre échantillon de granulats recyclés
- Le second est de déterminer l'absorption d'eau des granulats recyclés
- Le troisième est de comparer ces résultats avec la littérature sur les granulats naturels.
- Le dernier de nos objectifs est de proposer des solutions pour modifier la quantité d'eau nécessaire pour les granulats recyclés dans un but environnemental et écologique

### HYPOTHESES & RESULTATS

Tout d'abord nous nous attendons à ce que les granulats recyclés soient beaucoup plus poreux que les granulats naturels.

Ayant des granulats de tailles différentes nous allons les séparer en 2 groupes de tailles afin d'avoir des résultats en fonction de la taille et de comparer ces derniers.

Nous pensons également que les plus petits granulats absorbent plus d'eau que les plus gros.

Concernant les expériences nous en allons en réaliser deux.

Ces dernières seront des expériences expérimentales avec du matériel prêt ou même adapté avec lequel nous ne pourrions pas contrôler tous les facteurs (température, pression, humidité dans l'air).

Nous allons donc devoir interpréter ces résultats.

Figure 2 : Objectifs, Hypothèses & résultats de ce travail d'ESR

### EXPERIENCE ?

#### GRANULATS AJUS DIAMETRE, RRM, DMS DE "GRASSE TAILLE"

Temps (min)	Poids Mouillé (g)	Poids Mouillé (g)	Poids après séchage (g)	Masse d'eau présente (g)	Pourcentage d'absorption
0	0	0	0	0	0
5	304,8	291,2	289,7	5,2	3,95
10	305,2	291,1	289,7	5,3	3,98
15	305,9	292,0	290	6	4
20	306,8	292,7	290,3	5,8	4,3

On remarque que le pourcentage d'absorption le plus élevé est de 4,3 %

#### COURSE DE L'ABSORPTION D'EAU EN FONCTION DU TEMPS D'IMMERSION DANS L'EAU (4000)

On analysant la courbe on remarque que l'absorption d'eau sur les granulats se fait principalement pendant les 10 premières minutes où les granulats absorbent jusqu'à presque 6g de leur volume en eau.

Au bout d'une demi heure l'absorption tendance à se stabiliser puis s'aggrave aux alentours de 45%.

Figure 3 : Exemple de résultats obtenus

### A VOUS DE TENTER L'EXPERIENCE A LA MAISON !

Ce dont j'ai besoin :

- une balance
- un bocal de grande ou petite taille
- une Règle à 10cm
- un verre
- une spatule ou cuillère
- du papier essuie-tout
- de l'eau distillée
- des gants blancs
- un chronomètre ou montre
- Un verre

#### ETAPE 1 - Prélever des échantillons

Prenez les granulats à prêter (20g) de granulats naturels ou de granulats recyclés, à l'aide de la balance et d'un récipient pesé de votre taille.

#### ETAPE 2 - Introduire l'eau

Afin de mesurer la saturation des granulats en eau, il faut immerger complètement les granulats dans l'eau. Pour cela, il faut utiliser un récipient plus grand que les granulats. Pour cela, il faut utiliser un récipient plus grand que les granulats. Pour cela, il faut utiliser un récipient plus grand que les granulats.

#### ETAPE 3 - Séchage des granulats

Pour cela, il faut sécher les granulats dans un récipient plus grand que les granulats. Pour cela, il faut sécher les granulats dans un récipient plus grand que les granulats.

#### ETAPE 4 - Exploitation des résultats

Après avoir obtenu vos résultats, vous devez les interpréter et les présenter. Pour cela, il faut utiliser un récipient plus grand que les granulats.

Figure 4 : Indications pour faire une expérience à la maison

Ils proposent à leurs lecteurs de faire une expérience chez eux, comme l'indique l'extrait sur la Figure 4. Et leur revue se termine par un jeu de 3 mots mêlés. (Figure 5)

### Mots mêlés

Retrouve le vocabulaire des expériences menées

J L O S Y V M H E T N U K O A  
 G U I R F U J G Q A O T P P D  
 N C G A R T A E H T I P Z J  
 I O R K N L J U Q I E P A T U  
 V B C O C T A N B S M B M P V  
 R D Y A B S O P T I O N A R  
 N E C C U S Z H C V Y T G N  
 P E I A A E T I U D N K A R T  
 R B D H I M Z T M V R A X  
 H L Q C A E R W G A E C V I  
 E V L L N R A E W F I I L I R  
 P O R T L A N D V Y H T L L K  
 A C R E G A T S A A J R A L W  
 S T A L U N A R G P M O O R  
 O R O M Q X G D V F V C M V N J

affaiblir    sécher    balle  
 évaluer    peser    mesure  
 échauffé    prélever    matière  
 échauffé    échauffé    échauffé  
 échauffé    échauffé    échauffé  
 échauffé    échauffé    échauffé  
 échauffé    échauffé    échauffé

Figure 5 : Mots mêlés sur la thématique des granulats recyclés dans le béton

Vous voulez en savoir plus ?  
Consulter la capsule !



Extrait du projet de Pierre LENOUY, Maxence RODES, Doryan LIEGARD & Thomas KLIEBER, Etudiants de TC3 2021-22

# Projets d'Initiation à la Recherche

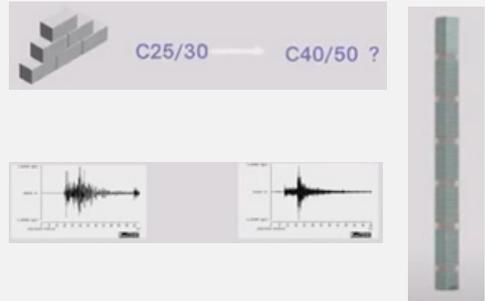
## Modélisation numérique de la réponse sismique d'une structure

Quatre étudiants de TC3 ont décidé de présenter leur travail d'initiation à la Recherche « Expérience Scientifique de Recherche » sous la forme d'une **capsule d'un peu moins de 10 minutes** comprenant des films illustrant plusieurs résultats numériques et expérimentaux.

Nous découvrons, entre autres, dans cette capsule :

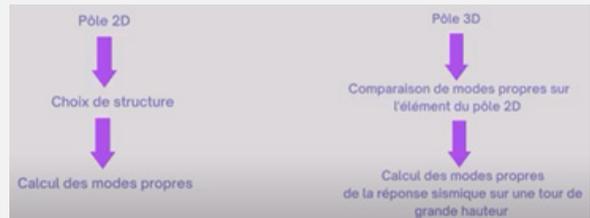
### Des films montrant l'impact d'un séisme sur les bâtiments

**La typologie du bâtiment théorique étudié**, c'est-à-dire une tour de grande hauteur et le choix des matériaux



**Le choix des accélérogrammes** pour les séismes et **le choix des solveurs** utilisés dans le logiciel aux éléments Finis CESAR LCPC (SUMO ou DYNI)

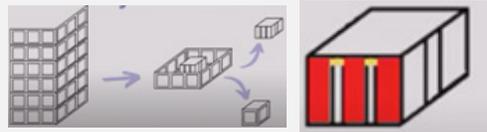
### La méthode de recherche



### Modélisation en 2D du noyau central

**Etude des 3 voiles et de 2 linteaux**

10 modes étudiés

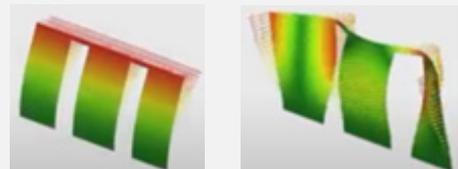


### Exemples de déformées modales :

• obtenues en 2D



• obtenues en 3D



## PROJETS D'EXPÉRIENCE SCIENTIFIQUE DE RECHERCHE

### Structure réelle

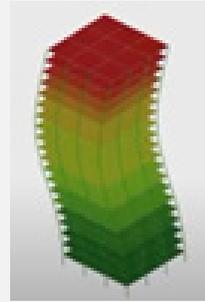
« Le gratte-ciel du 432 Park Avenue à New York »  
85 étages et 3 niveaux de sous-sol

Béton Haute Performance  
Acier HA20

Dernier séisme marquant : magnitude 5,9 à l'échelle  
de Richter en 2011



**Exemple de déformée calculée** illustrant la  
« Réponse sismique d'1/3 de la tour avec le  
solveur DYN1 » avec l'accélérogramme du séisme  
de Nice 2001 (magnitude 4,6)



Vous voulez en savoir plus ?  
Consulter la capsule !



Extrait du projet de Sarah JAULIN, Athéna JONVEL,  
Maxime ROQUAIN, Alexandre VASSALO FERNANDES  
Etudiants de TC3 2021-22

## Construire sur la Lune

Deux étudiants de l'ESITC Paris ont proposé leur propre sujet de PRI (Projet de Recherche et d'Innovation). Ils ont choisi de se pencher sur la **conquête de l'Espace** et de nous faire partager le fruit de leur travail par **l'édition de deux numéros de leur revue « Science & Recherche » des éditions « Sermoise & Coppens »** (Figure 1).



**Extrait du préambule du numéro 1 :** Depuis l'aube des temps, les humains regardent le ciel. Pendant l'antiquité, les Grecs nomment les étoiles et créent les constellations, les Romains utilisent les noms des planètes pour appeler leurs dieux. Puis, avec le temps nous avons commencé à comprendre comment fonctionne le système solaire. Peu à peu nous nous sommes servis des étoiles pour nous repérer lors de navigation, et la lune pouvait servir à se repérer dans le temps. Les temps modernes et l'arrivée des nouvelles technologies ont permis de commencer les conquêtes spatiales (Figure 2).

Aujourd'hui de nombreux organismes spatiaux souhaitent s'installer durablement dans l'espace. La Chine, l'Europe ou les Américains veulent retourner sur la lune afin d'y créer des colonies lunaires, alors qu'Elon MUSK, le PDG de SpaceX veut s'installer durablement sur Mars.

Nous réalisons donc ce projet dans ce contexte d'innovation spatiale. Nous relaterons les prémices de la conquête spatiale en énonçant les différentes avancées technologiques et la rivalité entre les USA et l'URSS. Puis nous expliquerons les intérêts et les avantages des colonies interplanétaires comme une colonie lunaire. Enfin, nous nous pencherons sur la vie dans l'espace grâce à l'ISS (International Space Station). Pour finir, nous énumérerons les contraintes d'une construction interplanétaires ainsi que les solutions existantes.

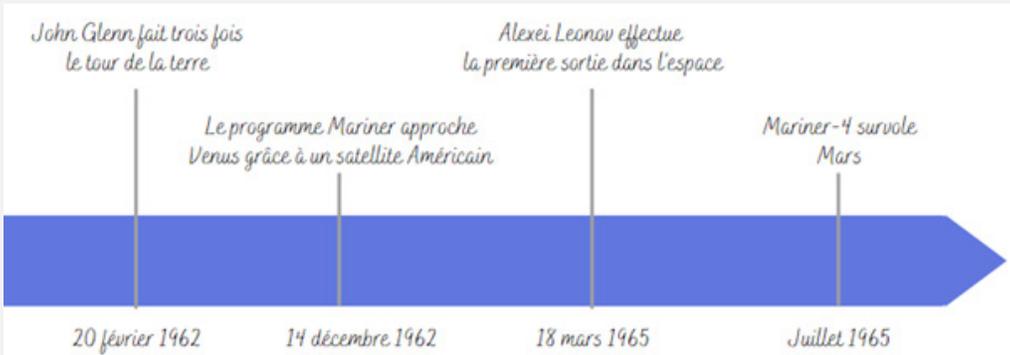


Figure 2 : Le début de la conquête de l'Espace

**Extrait du préambule du numéro 2 :** Dans cette seconde édition Sermoise & Coppens, nous nous attarderons sur l'un des projets les plus ambitieux qui constitue un des plus grands rêves de l'Homme depuis son premier pas sur la Lune : la construction d'une base lunaire. Dans ce contexte, nous allons détailler en intégralité le lancement et la mise en place de ce type projet (Figure 3). Dans un premier temps, nous nous attarderons sur la base en elle-même, c'est-à-dire, sa situation géographique et les plans qui l'accompagnent. Puis, nous expliquerons comment nous extrairons les matériaux bruts nécessaires ainsi que leur transformation en matériaux utiles à la construction (Figure 4). Enfin, dans une troisième partie, nous expliquerons la méthode de construction de la structure, mais aussi la manière dont nous installons et mettons en service les équipements nécessaires. Par la suite, nous présenterons le fruit de notre collaboration avec un chercheur, Jean-Luc Roth, afin de pouvoir mettre au point un outils permettant de transformer les matériaux bruts en matériaux utiles sur la Lune.

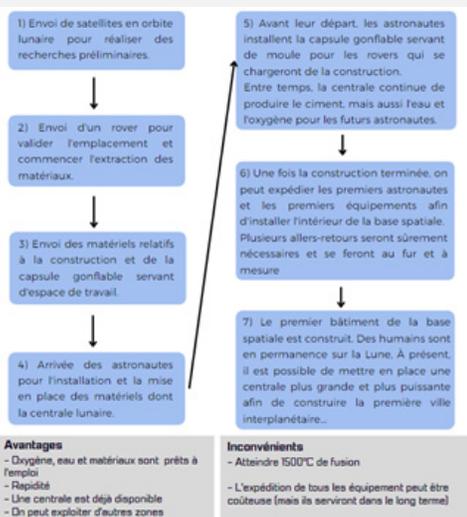


Figure 3 : Les grandes étapes de la construction de la base lunaire

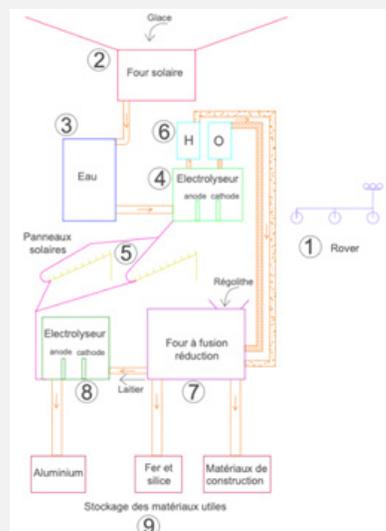


Figure 4 : Les différents modules de la centrale lunaire

### Réhabilitation des collecteurs d'assainissement non-visitables



#### SERVICES

#### LE PROJET :

**Le réseau d'assainissement français est vieillissant**, en effet, une partie de ces collecteurs atteint presque l'âge de 100 ans ! L'allongement de la durée d'utilisation de nos canalisations, complété par un manque cruel d'entretien laisse apparaître un grand nombre de pathologies rendant les réseaux peu performants voir obsolètes.

Aujourd'hui, plusieurs techniques existent pour **l'entretien et la réhabilitation de ces collecteurs** sans contrainte d'un changement de réseau en lieu et place.

**Notre premier objectif a donc été de comprendre les problématiques de durée de vie des collecteurs d'assainissement, les causes de leur détérioration et les différentes techniques de réhabilitation afin de garantir au mieux leur pérennité.** Ce travail s'est caractérisé par une recherche bibliographique approfondie mais surtout par la rencontre d'acteurs du milieu. Chargés d'affaires dans des collectivités ou encore entreprises majeures dans la réhabilitation de réseaux sur le territoire français.

Qui d'autre de mieux placés que des professionnels du milieu pour nous parler de leur métier ? Ce regard de terrain était essentiel pour mieux comprendre les enjeux.

Ensuite, nous avons choisi de créer un outil d'aide aux choix des techniques de réhabilitation pour les collectivités qui, très souvent, ne disposent pas des compétences techniques nécessaires. Pour cela, nous avons imaginé **la création d'un outil mais également d'un site internet permettant un accès rapide à l'outil et à une multitude d'informations.** L'outil développé sur Excel, permet aux collectivités, en renseignant des données d'entrées basiques sur le réseau impacté, d'avoir en un clic la technique de réhabilitation la plus adaptée au réseau (Figure 1). De plus, après obtention du résultat, nous redirigeons l'utilisateur vers notre site internet (Figure 2). Ce site comprend des pages avec pour chacune des techniques de réhabilitation et un explicatif de la mise en œuvre, les avantages et inconvénients des techniques ainsi que, lorsque cela est possible, une estimation des coûts.

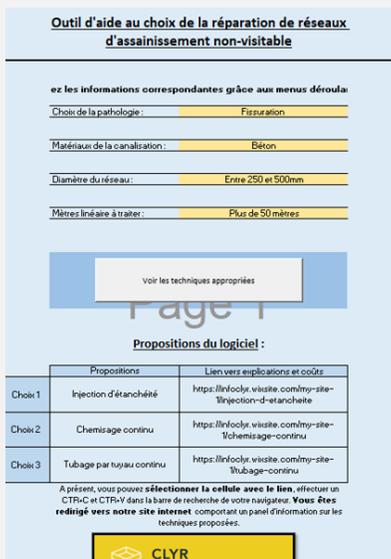


Figure 1 : Exemple de réponse de l'outil d'aide aux choix des techniques de réhabilitation

Le fichier Excel est d'ailleurs téléchargeable directement sur notre site, accessible sur tout support **via un simple QR Code (Figure 2). Tout utilisateur, novice ou expérimenté, est donc en mesure de l'utiliser.**

Nous avons cherché à créer un écosystème ergonomique, ludique et didactique.



Figure 2 : QR code pour accéder au site internet CLYR

## Ressenti des étudiants :

En choisissant ce sujet, nous voulions découvrir un milieu peu connu mais qui pourtant s'avère essentiel.

Travailler sur un projet de ce genre a été un plaisir pour nous. En effet, le fait qu'il se déroule sur une année tout en étant accompagné par un enseignant chercheur était une nouveauté.

D'après nous, la partie application fût la plus plaisante et instructive, nous avons été assez libre sur la direction que nous voulions prendre pour notre projet. Il nous avait été suggéré la création d'un document d'aide aux collectivités mais sans plus de précisions. **Notre seule limite a donc été notre investissement, le temps que nous voulions y consacrer et l'idée que nous faisons du résultat final au fil de nos avancements.**

Cette idée d'outil lié à un site internet n'est pas venu tout de suite, c'est le fruit d'un cheminement de quelques mois de recherche, de rencontres et de dialogues qui, progressivement, nous a fait penser qu'un rendu de ce type était intéressant. C'est à partir de là que le projet a pris une tournure plus captivante.

Au départ, la motivation venait du sujet en lui-même. Nous trouvions cela intéressant car assez méconnu. Les rendez-vous mensuels avec l'enseignant-chercheur, tuteur pour ce projet, permettaient de nous cadrer et de nous aiguiller dans nos recherches bibliographiques. Puis, à partir de la partie application, le projet a pris une nouvelle forme, plus nous avançons, plus il était captivant de travailler sur celui-ci car les idées prenaient vie : le document Excel commençait à être automatisé, le site internet se développait de manière intuitive...

Nous sommes fiers de notre projet et des réactions positives et enthousiastes qu'il a pu susciter.

Extrait du projet de Louis RENAC & Yaé CHATENET, Apprentis de 4<sup>ème</sup> année 2021-22



ESITC PARIS  
79 avenue Aristide Briand  
94 110 Arcueil

✉ [contact@esitc-paris.fr](mailto:contact@esitc-paris.fr)

☎ +33 (0)1 81 80 15 15

🌐 [www.esitc-paris.fr](http://www.esitc-paris.fr)

