

# PANORAMA DE PRESSE

HORS SERIE N °2  
La Recherche à l'ESITC Paris



MAI 2021

Les problématiques environnementales, l'adaptation des bâtiments et des infrastructures à leur environnement et la digitalisation font une entrée en force dans le domaine du BTP. C'est pourquoi, l'ESITC Paris a choisi d'axer sa recherche, ses projets d'initiation à la recherche et ses enseignements d'ouverture, sur les constructions intelligentes, agiles et responsables, pour un développement durable et décarboné. L'école a donc identifié les trois axes prioritaires (appelés aussi « mineurs ») :

- La Construction Responsable qui s'intéresse, entre autres, à l'économie circulaire, à l'incorporation de déchets ou de végétaux dans les bétons, à l'ACV<sup>1</sup>, aux polluants produits par l'interaction entre l'eau et les matériaux de construction soit par ruissellement, soit par percolation ;
- La Construction Agile qui cherche à s'intégrer à l'environnement au sein de la ville ou de son quartier : gestion des transports (écomobilité), de l'énergie, de l'eau ou à l'adaptation à des sollicitations extrêmes (séismes...) ;
- La Construction 4.0 que permet le digital au service de la construction (réalité virtuelle, BIM, intelligence artificielle...).

Pour développer la recherche et la sensibilisation des étudiants et apprentis de l'ESITC Paris à ces thématiques, 4 enseignants chercheurs ont été recrutés sur ces 2 dernières années : 1 enseignant-chercheur en matériaux, 1 en chimie environnementale, 1 en mathématiques et 1 en géotechnique et en interaction dynamique sol-structure. En outre, plusieurs partenariats se développent : avec des équipes de chercheurs d'UGE (Université Gustave Eiffel) et de l'ESTP Paris sur l'intégration de déchets dans les bétons ou le développement de bétons biosourcés, avec une équipe de l'EPF sur l'eau comme vecteur de polluants, avec Eiffage sur la thématique de la Ville durable ou encore avec JB-SMARTINFRA sur la Smart construction, l'infrastructure intelligente, l'intégration des IOT et des Data dans la construction... Des start-ups, dont cer-

1 Analyse du Cycle de Vie (évaluation des impacts environnementaux de différentes natures et de toutes les étapes du cycle de vie)

taines issues de l'incubateur commun de l'ESITC Paris et l'ESITC Metz (ESI 1<sup>3</sup>) contribuent aussi à nos projets d'initiation à la recherche.

Des modules d'enseignement en anglais, dispensés généralement sur une semaine, feront un focus sur ces thématiques innovantes et seront dispensés dès la rentrée prochaine aux étudiants et apprentis de 4<sup>ème</sup> année.

Plusieurs conférences sur ces thématiques seront régulièrement proposées avec nos partenaires à nos étudiants et à nos apprentis dès la rentrée prochaine.

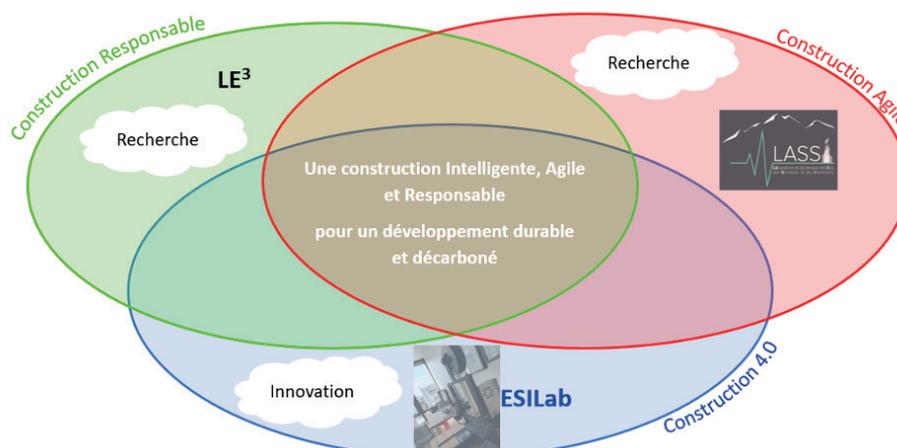
Enfin, pour développer ces études, deux plateformes expérimentales<sup>2</sup> (LE<sup>3</sup> – Laboratoire Eco-matériaux, Eau et Environnement et LASSi – Laboratoire de dynamique des Sols, des Structures et Interactions) et le FabLab (ESILab) de l'incubateur (ESI 1<sup>3</sup>) sont mis à la disposition des enseignants chercheurs, des étudiants et des apprentis de l'ESITC Paris.

Dans ce panorama hors-série Recherche vont vous être présentés des articles sur des bétons innovants et plus respectueux de l'environnement dans le cadre de travaux de stages de Master II et d'une thèse réalisée à l'ESITC, du rôle des revêtements de sol pour lutter contre les îlots de chaleur et enfin dans le cadre des projets de sensibilisation à la recherche, une synthèse et deux excellents travaux et interview d'étudiants et d'apprentis de TC4 de l'an dernier.

Bonne découverte...

Sabrina Perlo,  
Directrice Recherche Enseignement

2 La plateforme expérimentale LE<sup>3</sup> repose sur deux laboratoires : le laboratoire de matériaux et le laboratoire de Chimie environnementale. Le premier est présenté dans ce panorama, le second le sera dans le # 4 d'octobre 2022, le LASSi dans le prochain numéro et l'ESILab dans le # 5 d'octobre 2023.



# SOMMAIRE

---

Edito 2



Sommaire 3

Stage M2 2019-2020 : Préparation et caractérisation de déchets industriels d'éponges synthétiques végétales pour applications dans le bâtiment 4

Matériaux alternatifs : la construction de demain 5

Thèse de Sylvain Louvel sur l'optimisation d'un Matériau à Activation Alcaline (MAA) 6

Des revêtements de sol pour lutter contre les îlots de chaleur 7

Plateformes expérimentales (1/4) : le Laboratoire de Matériaux 9

Les projets de sensibilisation à la Recherche 10

Projet de Recherches et d'Innovation (PRI) 2019 - 2020 11

Exemple #1 de PRI 2019-2020 : Performances mécanique, thermique et acoustique des bétons biosourcés 12

Exemple #2 de PRI 2019-2020 : L'enjeu de la technologie pour la construction de demain (BIM) 14

# Stage M2 2019-2020 : Préparation et caractérisation de déchets industriels d'éponges synthétiques végétales pour applications dans le bâtiment

**Face aux difficultés croissantes d'approvisionnement en agrégats d'origine minérales et aux conséquences sur le développement durable, l'utilisation de granulats d'origine végétale dans le béton suscite l'intérêt de plusieurs organismes de recherche ainsi que de plusieurs entreprises industrielles.**

En plus d'être renouvelables et de faible coût, leur utilisation est susceptible d'améliorer les caractéristiques thermique, hygroscopique, voire mécanique, et acoustique du béton. C'est dans ce contexte que s'inscrivait ce stage de master 2019-2020 qui avait pour objectif la préparation et la caractérisation de déchets industriels d'éponges synthétiques végétales pour les intégrer dans des matériaux cimentaires en substitution partielle au sable.

La préparation des particules d'éponges (broyage et lavage simultanés suivi de séchage) a été effectuée au laboratoire FM2D du département MAST de l'Université Gustave Eiffel (Figures 1 et 2). Ensuite, des essais de caractérisation physico chimique (composition chimique, masse volumique apparente et réelle, teneur en eau, absorption d'eau, etc) ont été effectués à l'ESITC Paris et au laboratoire CPDM du département MAST (UGE). En raison de la situation sanitaire liée à la Covid, l'étude de formulation et de fabrication de mortiers incorporant des particules d'éponges n'a pas pu être réalisée. Une étude numérique consistant en l'application de modèles numé-

riques existants dans la littérature permettant la prédiction de la conductivité thermique, sur les résultats expérimentaux de conductivité thermique de mortiers à base d'éponges dans (Salem et al., 2020) a été ainsi effectuée. Les résultats expérimentaux ont montré que les particules d'éponges industrielles utilisées dans cette étude : i) sont à base de cellulose, ii) possèdent une faible masse volumique et iii) une faible teneur en eau initiale en comparaison avec d'autres granulats végétaux (bois, chènevottes, tournesol, balles de riz). Toutefois, leur capacité d'absorption d'eau est plus élevée que celle des autres matières végétales étudiées dans la littérature. L'étude numérique a mis en évidence que les modèles choisis dans la littérature ne peuvent pas être appliqués sur les mortiers étudiés à base de ces éponges synthétiques végétales.

Thouraya Salem,  
Enseignante-Chercheure à l'ESITC Paris

## Références :

T. Salem, M. Fois, O. Omikrine-Metalssi, R. Manuel, T. Fen-Chong, Thermal and mechanical performances of cement-based mortars reinforced with vegetable synthetic sponge wastes and silica fume, *Construction and Building Materials*, 264, (2020), <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120213>



Figure 1. Eponges brutes.



Figure 2. Particules d'éponges après broyage, lavage et séchage.

# Matériaux alternatifs : la construction de demain

**Les matériaux alternatifs, connus aussi sous le nom de déchets sont de nos jours des matériaux réutilisés dans le domaine de la construction, afin à la fois de réduire le prélèvement de ressources naturelles et de diminuer les déchets en les utilisant. Ils peuvent être entre autres d'origine végétale, issus de sous-produits industriels, ou de déconstruction (granulats recyclés).**

Le béton est aujourd'hui le matériau le plus utilisé au monde dans le domaine de la construction en raison de sa haute résistance, de sa durabilité et de ses caractéristiques mécaniques et physiques.

L'augmentation de la population et la demande croissante de construction dans le monde ont conduit à une utilisation accrue du béton, entraînant un risque d'épuisement des ressources naturelles de ses composants. Ainsi, à l'échelle mondiale sont coulés 190 m<sup>3</sup> de béton chaque seconde ! (Magnien & Marie-Victoire, 2020)

De ce fait, la recherche de matériaux substituant en partie ou totalement les matériaux naturels, tout en limitant l'altération des propriétés des bétons, voire en les améliorant, s'est développée au XXI<sup>ème</sup> siècle

## Différents types de matériaux alternatifs

Dans ce processus d'intégration de matériaux, plusieurs études et recherches ont eu lieu au cours de ces dernières années et ont permis d'élargir les connaissances dans ce domaine.

Des résultats marquants ont été obtenus, entre autres, pour les matériaux bio-sourcés (chanvre, bois, fibres de lins, ...), le plastique, le caoutchouc, les granulats recyclés, la poudre d'acier, la poudre de verre, les balles de riz, les coquilles d'œufs, la poussière de cuivre, les cendres volantes, le bois, les déchets industriels, les déchets électroniques, les déchets agricoles (huile de palme, noix de coco, canne à sucre, fibres de lin ...) (Vasoya & Varia, 2015 et Meng & al., 2018)

## Influence des matériaux alternatifs sur le béton et sur son coût de production

Les propriétés sont variables selon le type de matériau utilisé et leur taux d'incorporation dans la composition du béton, en comparaison à un béton classique :

- L'incorporation de matériaux bio-sourcés, surtout le

chanvre<sup>1</sup>, permet d'améliorer l'isolation thermique, hygrothermique et acoustique, allège le composite, réduit les émissions de CO<sup>2</sup> dans l'atmosphère et offre aux agriculteurs un débouché industriel.

- L'incorporation de granulats recyclés, issus des bétons de démolition<sup>2</sup> (Figure 1), permet une économie des ressources naturelles, une réduction du volume devant être mis en décharge et une diminution d'énergie de transport et de fabrication, tout en conservant des résistances mécaniques satisfaisantes.

- La poudre de verre améliore la performance mécanique du béton, permet une transmission élevée de lumière qui favorise les propriétés photo-catalytiques de dépollution<sup>3</sup> (Martinez, 2012) et peut être utilisée comme substituant partielle du ciment.

L'incorporation des déchets recyclables favorise l'économie circulaire, permettant ainsi d'optimiser la consommation d'énergie et de matières premières en valorisant divers types de déchets. Des normes de construction doivent être modifiées afin de faciliter leur incorporation dans le béton.

Danah Shehadeh et Joe Tannous,  
Stagiaires en Master 2 à l'ESITC Paris

1 La France étant la première productrice de chanvre avec 15000 hectares cultivés.

2 13,2 millions de tonnes/an.

3 Activées qu'en présence de lumière grâce à un catalyseur (TiO<sub>2</sub>, ...)



Figure 1 : Granulats recyclés issus de la démolition d'une ancienne école

# Thèse de Sylvain Louvel sur l'optimisation d'un Matériau à Activation Alcaline (MAA)

Dans le cadre de sa thèse débutée en octobre 2017, Sylvain Louvel étudie l'optimisation d'un Matériau à Activation Alcaline (MAA) à base de laitier et de sol argileux. Financée par l'ESITC Paris, et hébergée par le laboratoire de l'ESITC Caen, cette thèse est codirigée par son Directeur de la R&D Mohamed Boutouil et par Moussa Gomina, chargé de recherche au Crismat<sup>1</sup> à Caen.

Le coût carbone de la production de ciment Portland est, à l'heure actuelle, de 900 kg CO<sub>2</sub>/t. Ce fort impact environnemental est principalement dû à la décarbonatation du cru et à la haute température de cuisson (1450 °C) nécessaire à la fabrication du clinker. De nombreuses recherches visent donc actuellement à limiter l'impact environnemental des matériaux de construction à base de matériaux cimentaires. L'une de ces voies est l'activation alcaline.

L'activation alcaline a été étudiée dès les années 1950 par Glukhovsky. Pour les ciments Portland, la prise du liant nécessite un apport d'eau pour former des C-S-H, hydrates responsables des résistances mécaniques. L'activation alcaline, quant à elle, utilise des éléments poudreux principalement composés de silice (SiO<sub>2</sub>) et

1 Unité Mixte de Recherche placée sous la tutelle du CNRS, de l'École d'Ingénieurs (ENSICAEN) et de l'Université de Caen Normandie (UNICAEN)



Figure 1 Éprouvettes 4x4x16cm de MMA avec substitution par un sol argileux après rupture en flexion.

d'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) appelé précurseur, et une solution de silicate de sodium ou de potassium (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, ou K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), pour former une phase liante. La plupart des précurseurs actuellement utilisés sont des sous-produits industriels, tels que les laitiers de hauts fourneaux issus des aciéries, ou des cendres volantes issues des centrales électriques thermiques. La valorisation de ces déchets permet de diminuer l'emprunte carbone de ces types de matériaux (Pouhet, 2015).

Dans le cadre de cette thèse, deux objectifs principaux ont été définis :

- L'étude d'utilisation de sols argileux en substitution des sables dans ces mortiers et présenté en figure 1 ;
- L'optimisation de la phase liante à base de laitiers de hauts fourneaux sur des mortiers de MAA.

La figure 1 présente des éprouvettes obtenues dans le cadre des études sur les substitutions des sables par des sols argileux dans les mortiers. Sur cette photographie, on peut distinguer la phase liante en noir vitreux, les grains de sable en blanc et des blocs argileux de teinte ocre. Tous les échantillons avec sols argileux ont montré une baisse des résistances mécaniques. Les mécanismes à l'origine de ces baisses de résistances n'ont pas été clairement définis. Mais plusieurs pistes de poursuite de recherche ont été ouvertes.

L'optimisation de la phase liante a, quant à elle, été réalisée à l'aide d'un plan d'expérience factoriel centré réduit (Box and Hunter, 1956), afin de limiter le nombre d'expériences à réaliser. Vingt formulations de mortier faisant varier trois paramètres d'une solution d'activation non-industrielle ont été réalisées. Leurs performances mécaniques ont été mesurées à plusieurs échéances après la prise. L'influence de la température de cure après coulage a aussi été testée. Ces essais ont permis de créer plusieurs équations prédictives sur les performances mécaniques et environnementales de ces matériaux à activation alcaline. L'utilisation d'une telle technique est encore peu présente dans la littérature scientifique et dans le domaine du génie civil, mais les résultats obtenus sont très encourageants.

Sylvain Louvel,  
Doctorant de l'ESITC Paris

## Références :

- Box, G.E.P., and Hunter, J.S. (1956). Multi-factor experimental designs for exploring response surfaces. The Annals of Mathematical Statistics.
- Pouhet, R. (2015). Formulation and durability of metakaolin-based geopolymers. Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.

# Des revêtements de sol pour lutter contre les îlots de chaleur

## Un îlot de chaleur urbain : qu'est-ce que c'est ?

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) est la manifestation climatique qui se traduit par le contraste des températures diurnes et nocturnes entre les centres urbains et celles en périphérie ou dans les zones rurales (Figure 1). Les villes absorbent la chaleur du rayonnement solaire la journée et la restituent la nuit (Figure 2). Les ICU ont des impacts négatifs sur l'environnement et sur la santé, particulièrement en période estivale. Les facteurs urbains identifiés comme amplificateur de la formation des ICU sont, entre autres, la profondeur du canyon urbain<sup>1</sup>, l'orientation des rues, l'importance des surfaces imperméables, la diminution des espaces verts, la production de chaleur d'origine anthropique et la diminution des surfaces d'eau. Il a été démontré que les propriétés des matériaux employés comme revêtement de sol en milieu urbain ont un rôle très important.

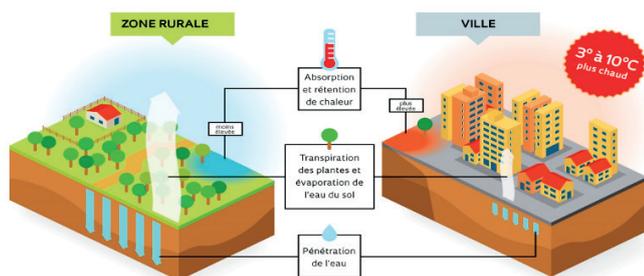


Figure 1 : Îlot chaleur urbain (Gautier, 2006)

## Contribution des revêtements de sol à la formation de l'ICU

L'intensification de l'urbanisation des dernières décennies a modifié les types de revêtement des sols. Ainsi les sols naturels ont été remplacés par des matériaux imperméables ne pouvant plus assurer les fonctions de filtration et d'absorption de l'eau, en modifiant de ce fait, le parcours naturel des eaux pluviales. Par conséquent, les processus naturels rafraîchissants par l'évaporation de l'eau contenue dans les sols en milieu urbain s'en trouvent limités (Giguère, 2009).

Les revêtements de sol traditionnels sont principalement

sombres avec un faible albédo<sup>2</sup> et une inertie thermique<sup>3</sup> élevée absorbant ainsi plus d'énergie solaire et stockant de manière importante de la chaleur pendant la journée qu'ils rediffusent pendant la nuit, provoquant un réchauffement de l'air (A'urba, 2019), influençant ainsi le microclimat urbain. La quantité de chaleur accumulée ainsi que le stockage/déstockage de l'énergie solaire par les revêtements de sol dépend du comportement thermique des matériaux de surface des revêtements et des sous-couches sur lesquelles ils reposent ; les matériaux de surfaces peuvent jouer le rôle de capteurs de l'énergie solaire et les matériaux de sous-couches le rôle de réservoirs de l'énergie (APUR, 2017).

## « Chaussées froides »

Aujourd'hui, nous pouvons utiliser d'autres revêtements en milieu urbain afin de réduire les ICU telles que ceux connus sous le nom de « chaussée froides » (en anglais : « cool pavement »). Le principe des chaussées froides est majoritairement fondé sur le choix des matériaux avec un albédo, une émissivité<sup>4</sup> élevée (chaussées réfléchissantes) et une porosité favorisant l'évaporation de l'eau pour diminuer la température de surface (chaussées perméables ou chaussées rétention d'eau) (Osmond et Sharifi, 2017).

## Projet Fresh-Ecopavers

Le projet FRESH-ECOPAVERS est un projet cofinancé par l'ADEME, la Région Normandie et la Région Île-de-France regroupant 4 partenaires : l'ESITC Caen (coordinateur du projet), l'ESITC Paris, l'Agence Parisienne du Climat et la ville d'Alençon. Dans le cadre du projet FRESH-ECO-

2 L'albédo correspond au pouvoir de réflexion d'une surface exposée à la lumière, soit le rapport de l'énergie lumineuse réfléchie sur l'énergie lumineuse incidente. C'est une grandeur sans dimension, comprise entre 0 et 1 : un matériau qui reflète 100 % du rayonnement solaire a un albédo de 1, alors qu'un matériau qui l'absorbe complètement a un albédo égal à 0.

3 L'inertie thermique qualifie la vitesse à laquelle le matériau s'échauffe et se refroidit. Dans un matériau à fort inertie thermique, la circulation de la chaleur est ralentie et la température met plus de temps pour devenir uniforme.

4 L'émissivité est la propriété d'un matériau à diffuser l'énergie qu'il accumule. Elle caractérise en particulier la capacité des matériaux à rayonner la nuit et par conséquent à se refroidir. L'énergie qui n'est pas diffusée contribue au réchauffement des surfaces. Le coefficient d'émissivité d'un matériau est exprimé par une valeur située entre 0 et 1.

1 rue relativement étroite avec des bâtiments hauts et continus de part et d'autre.

PAVERS, il est prévu de concevoir un éco-pavés poreux à base de coproduits coquilliers, en combinant les avantages des chaussées réfléchissantes et des chaussées perméables, afin de réduire l'effet de l'ICU. Avant la phase d'expérimentation sur chantiers (3 prévus), des essais en laboratoire seront programmés pour définir la composition et la formulation du béton drainant constituant ces pavés et étudier les paramètres favorisant le rafraîchissement des îlots de chaleur. L'objectif de cette étude est d'étudier le potentiel de cet éco-pavé coquillage drainant dans la lutte contre le phénomène et d'identifier des terrains d'expérimentation où son implémentation serait bénéfique, entre autres, dans la région parisienne.

Svetlana Vujovic,  
Enseignante-Chercheuse à l'ESITC Paris

## Références :

- Atelier Parisien d'Urbanisme (APUR), « Influence climatique des revêtements de sol à Paris », Les îlots de chaleur urbains à Paris Cahier n°4, Juillet 2017. [en ligne]. Disponible sur : <https://www.apur.org/fr/nos-travaux/ilots-chaleururbains-paris-cahier-ndeg4-influenceclima>

tique-revetements-sol-paris. Consulté le 21/01/2021.

- A'urba (Agence d'URBANisme Bordeaux Aquitaine), « Adapter les tissus urbains de la métropole bordelaise au réchauffement climatique », Septembre 2019, [en ligne] Disponible sur : <https://www.aurba.org/productions/adapter-les-tissus-urbains-au-rechauffement-climatique/>. Consulté le 21/01/2021.

- Gautier É. Maîtrise des Îlots de Chaleur Urbains, les solutions béton (2006). Disponible sur : [https://bybeton.fr/grand\\_format/maîtrise-ilots-de-chaleur-urbains-solutions-beton](https://bybeton.fr/grand_format/maîtrise-ilots-de-chaleur-urbains-solutions-beton). Consulté le 07/04/2021.

- Giguère, M. (2009), « Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains », Institut national de santé publique du Québec, Canada, 95 pages.

- Météo-France (site), « Pourquoi fait-il plus chaud en ville qu'à la campagne la nuit ? », Avril 2020. [en ligne]. Disponible sur : <https://météofrance.com/actualites-et-dossiers/magazine/pourquoi-fait-il-plus-chaud-en-ville-qua-la-campagne-la-nuit>. Consulté le 07/04/2021.

- Osmond, P., Sharifi, E., « Guide to Urban Cooling Strategies ». Low carbon living CRC- Australie/Australie. July 2017. [en ligne]. Disponible sur : <https://iifir.org/fr/fridoc/guide-2017-des-strategies-en-matiere-de-rafraichissement-urbain-4775>. Consulté le 22/01/2021.

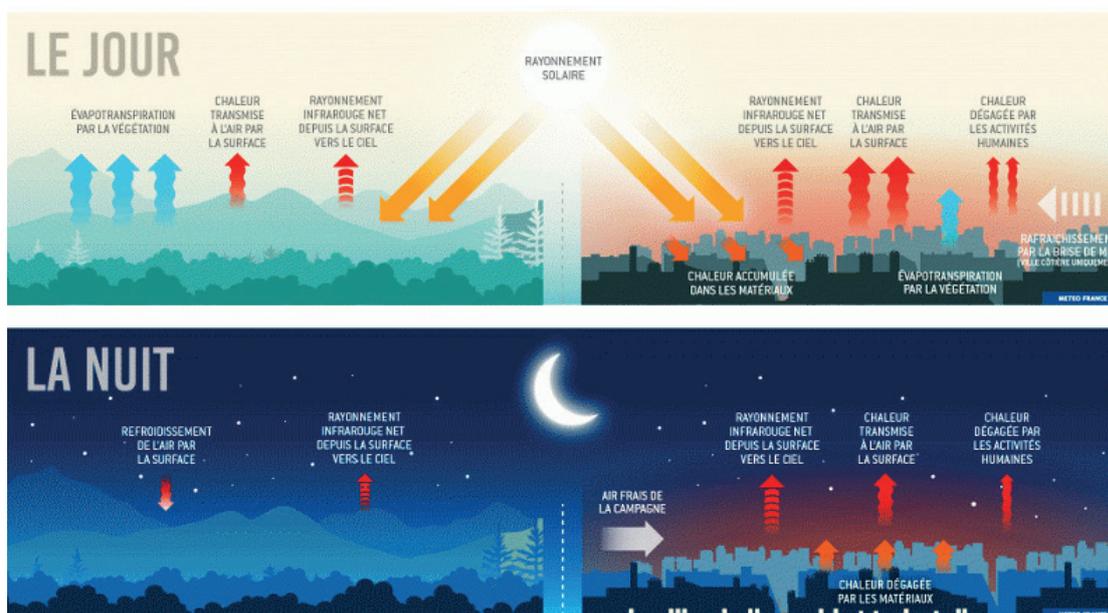


Figure 2 : Le mécanisme d'îlot de chaleur urbain (Météo-France, 2020)



# Plateformes expérimentales (I/4) : le Laboratoire de Matériaux

En 2019, l'ESITC Paris a investi dans la réalisation d'une plateforme expérimentale sur les matériaux.

L'équipement permet :

- La caractérisation physique de matériaux (analyse granulométrique, coefficient d'aplatissement, teneur en eau, absorption d'eau, masse volumique) ;
- La caractérisation de la finesse par la méthode de Blaine ;
- La fabrication de mortiers (malaxeurs avec distributeur de sable) ;
- La caractérisation de la pâte de ciment et du mortier frais (consistance normalisée, temps de début et de fin de prise par la méthode de Vicat, consistance par la méthode d'étalement) ;
- La fabrication d'éprouvettes de mortier.

Cette plateforme expérimentale est mise à disposition :

- Des TP matériaux :
  - o Pour les étudiants de première année :
    - > TPM1. Caractérisation des granulats,
    - > TPM2. Caractérisation du ciment,
    - > TPM3. Caractérisation du mortier à l'état frais.
  - o Pour les étudiants de troisième année :
    - > TPM1. Propriétés des granulats
    - > TPM2. Consistance normalisée et temps de prise de la pâte du ciment.
- Des projets d'initiation à la recherche de troisième année :
  - o Caractérisation des granulats naturels et recy-

clés,

- o Consistance de mortiers à base de déchets végétaux (liant : ciment + fumée de silice),
- o Temps de prise de mortiers à base de déchets végétaux (liant : ciment + fumée de silice),
- o Teneur en air et résistance mécanique de mortiers à base de déchets végétaux (liant : ciment),
- o Teneur en air et résistance mécanique de mortiers à base de déchets végétaux (liant : ciment + fumée de silice).

- De la Recherche dans le cadre de stages de Master 2, des exemples de sujets traités ou en cours de traitement :
  - o En 2019-2020, « Préparation et caractérisation de déchets d'éponges végétales pour applications dans le bâtiment »<sup>1</sup> ;
  - o En 2020-2021<sup>2</sup> :
    - > « Élaboration et évaluation des performances de nouveaux matériaux cimentaires à base de granulats recyclés »
    - > Valorisation de déchets végétaux dans des matrices cimentaires »
    - > « Béton préfabriqué avec intégration de matériaux locaux, renouvelables ou recyclés »

Sabrina Perlo,  
Directrice Recherche Enseignement

- 1 Voir article de Thouraya Salem, en page 4 de ce panorama
- 2 des articles sur les travaux de ces stages seront présentés dans le panorama #3 d'octobre 2021



Etudiants en TP dans laboratoire de Matériaux

# Les projets de sensibilisation à la Recherche

Nos étudiants et apprentis doivent pouvoir s'adapter à tous les futurs changements, en ce qui concerne les techniques, les approches, les matériaux, les méthodes, mais aussi les enjeux sociétaux, qu'ils devront comprendre. Ils devront ainsi adopter un rôle proactif face aux questions de gestion de l'énergie, de l'eau, des ressources naturelles, de la mobilité... en utilisant des nouvelles techniques de communication, de nouveaux outils numériques, de gestion des données, de diffusion des connaissances et être prompts à l'innovation et à l'entrepreneuriat.

Les thématiques ciblées par l'ESITC Paris pour ces projets de sensibilisation à la recherche initient nos étudiants et nos apprentis à ces nouveaux enjeux. En effet, nous y traitons :

- La Construction Responsable ;
- La Construction Agile ;
- La Construction 4.0

Des sujets peuvent évidemment être commun à deux ou trois thématiques.

Les activités de formation à la recherche proposées aux étudiants, intégrant nos 3 thématiques, sont de différentes natures :

- **Des projets d'initiation à la recherche**, encadrés par les enseignants chercheurs de l'école et de complexité croissante au cours de la formation :

o En deuxième année : à partir d'un ou plusieurs articles (fournis généralement par les enseignants chercheurs), rédaction d'un article comprenant un résumé mettant en lumière l'intérêt scientifique et technique, et la réalisation d'une recherche bibliographique permettant de mieux comprendre le sujet ou de le compléter.

o En troisième année : réalisation d'une activité de recherche expérimentale ou numérique. Le livrable de ce travail peut prendre différentes formes, au choix du groupe : une capsule pédagogique, un « roman-photo », un article, un site Web ou encore un poster (travail sur la communication et la diffusion des connaissances).

o En quatrième année : une étude comprenant une recherche bibliographique, la rédaction d'un état de l'art et une mise en application de cette connaissance nouvellement acquise à l'initiative des élèves ingénieurs.

- **Des stages** possibles en recherche et innovation : les étudiants peuvent réaliser un stage de recherche et d'innovation entre la quatrième et la cinquième année ou encore lors de leur projet de fin d'études en 5<sup>ème</sup> année.

- **Des conférences** reprenant nos 3 thématiques seront présentées aux étudiants :

o 6 miniconférences, 2 par thématique, communes avec l'ESITC Metz (à partir de la rentrée 2021),

o Une conférence sur la « Ville durable » (proposée depuis 2020 dans le cadre du partenariat avec Eiffage),

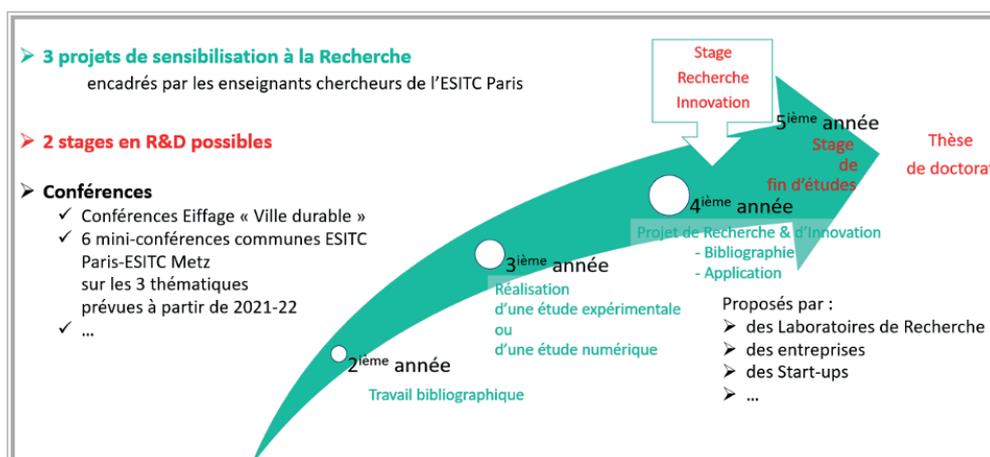
o Des conférences au gré des opportunités.

- **Des modules d'enseignements** en anglais durant le second semestre de 4<sup>ème</sup> année sur des sujets innovants ou spécifiques.

L'école a une volonté d'intégrer dans ses actions de formation à la recherche (projets ou conférences), des laboratoires de recherche, des entreprises innovantes, des tart-ups ou écoles partenaires.

Sabrina Perlo,

Directrice Recherche Enseignement



# Projets de Recherche et d'Innovation 2019 - 2020

N°	Sujet	Classe	Organisme / Entreprise
1	Retour d'expérience des séismes au Japon (de 1995 à aujourd'hui) : impact sur les sols, solutions et innovations de la recherche.	TC4A	Cerema
2	Eolienne offshore sur fondation profonde : dimensionnement et impact des sollicitations environnementales sur la structure	TC4A	Cerema
3	Eolienne offshore sur fondation flottante : quels challenges sur la structure et son dimensionnement ?	TC4A	Cerema
4	Valorisation des déchets de BTP : des enjeux environnementaux aux défis techniques	TC4A	Cerema
5	Utilisation des granulats recyclés dans les bétons : aspect normatif et défis techniques	TC4A	Cerema
6	Armatures composites : avantages et inconvénients au niveau de son utilisation et de sa mise en œuvre	TC4A	IFSTTAR
7	Comment recycler le béton issu de démolition dans les nouvelles structures durables soumises à un environnement agressif ?	TC4A	IFSTTAR
8	Comment bouge ... et s'endommage un bâtiment pendant un séisme ?	TC4A	IFSTTAR
9	Etat de l'art sur les documents/textes et normes relatives aux précisions et tolérances dans le BTP	TC4A	IREX Minnd - ESITC
10*	Digitalisation du BTP : comment les chantiers se tournent vers le futur / vers les technologies pour améliorer la productivité ?	TC4A	
11	L'utilisation de déchets industriels dans le béton	TC4A	
12	Le BIM et le terrassement, peut-on inclure une démarche d'analyse de cycle de vie dans la stratégie du projet ?	TC4	IFSTTAR
13*	Performances thermique et mécanique des bétons bio-sourcés	TC4	CERTES
14	Les amortisseurs résonants pour la dissipation des vibrations dans les bâtiments	TC4	IFSTTAR
15	Le retrait-gonflement sur les routes : comment prendre en compte le phénomène de retrait-gonflement dans la conception des Parties Supérieures des Terrassements des infrastructures de transport ?	TC4	IFSTTAR
16	Etude comparative technico-économique : Étude d'une configuration en béton armé (sous sollicitations) dans le cadre d'un ouvrage en milieu maritime/fluviale donc en milieu corrosif	TC4	Schöck
17	Fibre optique pour les mesures de contraintes et déformations en génie civil : Etat de l'art.	TC4	Sixense
18	Technique d'amélioration des sols pour réduire les mouvements de terrain et la sinistralité sur les constructions	TC4	IFSTTAR
19	La fatigue des structures en béton armé, quels phénomènes et comment le prendre en compte dans l'évaluation de la durée de vie, la fiabilité et la résilience ?	TC4	IFSTTAR
20	Zones humides artificielles aménagées pour le traitement des eaux usées	TC4	
21	Analyse du cycle de vie de bâtiments réalisés avec des éco-matériaux de construction	TC4	
22	Les parois moulées de grande profondeur, qu'est-ce ça change ?	TC4	
23	Y a-t-il une renaissance des techniques de construction d'autrefois ?	TC4	
24	La construction de l'habitat aux Etats-Unis, un comparatif avec nos méthodes françaises	TC4	

\* un résumé et une interview des auteurs sont présentés dans les pages suivantes de ce Panorama hors-série Recherche

# Exemple #1 de PRI 2019-2020 : Performances mécanique, thermique et acoustique des bétons biosourcés



Par le Projet de Recherche et d'Innovation, l'ESITC Paris nous propose de sortir du cadre classique de notre cursus où le design strict et le calcul prédominent. Ce projet nous a demandé de la rigueur et de la méthode car l'enjeu est de réaliser, une étude pointue dans un domaine spécifique que nous ne connaissions pas avant et que nous avons pu approfondir sérieusement.

Notre sujet devait établir les performances mécanique, thermique et acoustique des bétons biosourcés. Nous nous sommes intéressés aux perspectives innovantes de ces matériaux, en approfondissant notre étude sur la compréhension des propriétés intrinsèques afin d'essayer de démontrer que les matériaux biosourcés peuvent être une alternative sérieuse aux bétons dit "traditionnels".

Ce projet nous a permis de mettre en évidence que l'ajout de végétaux sont l'une des réponses possibles pour la création de nouveaux bétons. Différents programmes de recherche fournissent des résultats pour progresser dans la compréhension de ces phénomènes complexes et aujourd'hui un nouveau défi se présente : la maîtrise des caractéristiques des pores dans ces bétons biosourcés, c'est-à-dire, entre autres, leurs dimensions, leur connec-

tivité, leur organisation, leurs propriétés de surface, afin d'optimiser les performances de ces matériaux, en fonction de leurs usages.

Au cours de ce travail de recherche mené en lien avec l'UPEC<sup>1</sup> et un de ses centres de recherche, le CERTES<sup>2</sup>, nous avons notamment rencontré notre tutrice Mme FOIS, enseignante-chercheuse travaillant sur les applications des matériaux biosourcés. Nous avons ainsi pu démystifier le monde de la recherche en découvrant les enjeux de ces matériaux. Notre référente nous a particulièrement transmis son ambition de "pouvoir construire sa propre maison avec les matériaux de son jardin".

Alexandre Derely et Baptiste Mekari,  
Etudiants TC5 en 2020-2021

---

1 Université Paris-Est Créteil

2 Centre d'Etudes et de Recherche en Thermique, Environnement et Systèmes



## Quelle était la problématique de votre sujet ?

« Dans quelle mesure, nous pouvons certifier les bétons biosourcés innovants ? »

## Qu'avez-vous particulièrement apprécié dans la réalisation de ce projet ?

Pouvoir sortir des règles. Nous nous sommes rendu compte que chaque règle ou formule établie dans notre milieu découle en amont d'un travail de recherche et qu'au cours de nos études, nous avons dû respecter ces différentes règles. Or, avec ce sujet, il fut à notre tour d'essayer d'aller plus loin pour en établir de nouvelles dans une optique d'innovation.

## Comment s'est organisé votre travail au cours de ce projet ?

Le projet nous a tout d'abord été présenté par M. Aucouturier. Puis, nous avons dû établir un état de l'art afin de nous l'approprier. Nous avons dû cibler une problématique autour de laquelle développer le sujet.

Pour cela, nous avons été aidés par Mme Salem, notre tutrice école sur ce projet, ainsi que par Mme Fois, spécialiste des bétons biosourcés à l'UPEC.

## Quels étaient pour vous les enjeux d'un tel projet ?

Notre génération d'ingénieurs de la construction a une responsabilité envers la société, ses défis environnementaux et économiques. Ce projet de recherche nous a poussé à prendre de la hauteur tout en approfondissant un sujet qui est actuellement en développement dans les plus grands laboratoires de recherche (ex : l'entreprise Karibati et le groupe de travail Sable Vert, ayant pour objectif le déploiement de ces matériaux innovants).

## Quelle vision de la recherche aviez-vous avant de réaliser ce projet ? Et après ?

Nous avons tous deux une vision du chercheur en blouse blanche, isolé dans son laboratoire, passant son temps à développer des projets théoriques très éloignés du concret. Mais nous avions tout faux. Grâce à ce PRI, nous nous sommes rendu compte que certains sujets de recherche sont en fait très concrets et recouvrent des enjeux très actuels comme, par exemple, l'enjeu écologique.

## Qu'auriez-vous donc envie de dire aux étudiants qui viendront après vous ?

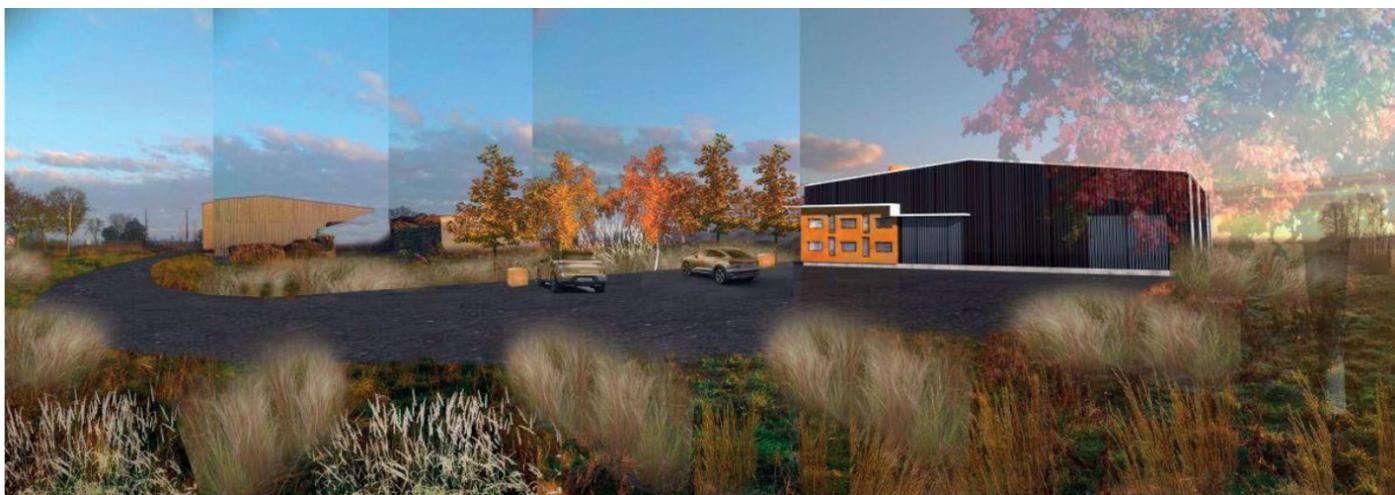
Il est vrai qu'il y a pas mal de réticence de la part des étudiants face à ce projet de recherche. Mais il fait partie de notre cursus à juste titre car il y a vraiment moyen de s'amuser. Au départ, nous sommes comme face à un terrain de jeu vide où tout est à construire. Les possibilités de développement d'un sujet sont réellement infinies et plus on en apprend, plus on a envie d'en découvrir davantage. C'est un cercle vertueux.

## Un dernier mot ?

Afin d'illustrer notre propos, nous aimerions finir sur cette fable :

« Mon grand-père avait pour coutume de dire : "Si tu ne parviens pas à trouver ce que tu cherches, ne le cherche pas ! Attends de le trouver sans chercher." Mais cet adage simpliste est sans ambition ni vision ... Pour répondre à mon grand-père, nous dirions que pour devenir chercheur, il ne faut pas que chercher à comprendre, il faut comprendre ce que l'on cherche. Osez, la réussite de la Recherche est à ce prix ! »

Alexandre Derely et Baptiste Mekari



Vitrine des façades en bois de chanvre, l'usine Wall'up lancera leur industrialisation à Aulnoy (Seine-et-Marne).  
- © Philippe Lamarque

# Exemple #2 de PRI 2019-2020 : L'enjeu de la technologie pour la construction de demain

**La construction est avant tout un savant mélange d'humains et de machines. C'est d'ailleurs ce qui rend ce secteur si complexe et passionnant à la fois...**

Au cours des dernières décennies, les matériaux et les machines ont fait de grands progrès, mais ils ne reflètent pas le BTP vieillissant auquel nous faisons face. En effet, le secteur semble figé dans le temps : les procédures des entreprises sont longues et fastidieuses, et les procédés de construction, bien que maîtrisés de tous les bâtisseurs, n'ont jamais évolué en productivité. D'après un rapport de l'INSEE, la productivité du travail dans le secteur de la construction a diminué de 6 % depuis 1995 [1]. Le BTP accuse un retard important dans la digitalisation des processus par rapport à d'autres secteurs de l'industrie, où les tâches les plus difficiles sont dorénavant robotisées. Une étude réalisée par McKinsey annonce par ailleurs qu'un projet de construction dure généralement 20 % plus longtemps que prévu, ou encore que 80 % des chantiers sont hors budget. [2]

Il faut, dès maintenant, trouver des solutions concrètes. Les entreprises ont plus que jamais besoin de la technologie pour rester des acteurs pertinents dans un secteur où les enjeux sont nombreux.

Aujourd'hui, le BIM prend une place de plus en plus importante dans les projets, mais son intérêt ne reste pas encore bien saisi par tous les acteurs. Demain, il sera pourtant au cœur de cette digitalisation. De la conception à la maintenance de l'ouvrage, toutes les métadonnées de chaque élément le constituant seront exploitées depuis cette maquette numérique 3D. [3]

On observe également de nouveaux acteurs prendre place aux côtés des entreprises pour simplifier, voire automatiser, toutes les tâches de gestion de chantier qui peuvent l'être, et finalement pouvoir se concentrer sur celles à plus forte valeur ajoutée. Pointage du planning, levée de réserves, comptes-rendus de réunion sont autant de points sur lesquels s'attaquent les start-ups. Parmi elles, on trouve la française du French Tech 120 Finalcad, ou encore la belgo-danoise Letsbuild. Dans les années à venir, elles deviendront même des plateformes de communication à part entière, simplifiant ainsi les échanges entre les nombreux intervenants d'une même opération. Elles utiliseront également les précieuses données de la maquette numérique pour proposer des solutions de gestion encore plus poussées. [4]

Alors quelles seront les innovations majeures qui rythmeront le futur de la construction ? Qu'il s'agisse de l'intelligence artificielle, des drones, de la réalité virtuelle,



Masque à réalité virtuelle

ou encore de l'impression 3D, une chose est certaine : l'ingénieur aura un rôle prépondérant dans cette transformation. [5]

Florian Barrere et Bruno Dias Fernandes,  
Apprentis TC5 2020-2021

## Références :

[1] F.Bergé, « Etude McKinsey : la transformation numérique dans le BTP », Octobre 2019.  
<<https://bfmbusiness.bfmtv.com/01-business-forum/etude-mc-kinsey-la-transformation-numerique-dans-le-btp-1-5-627574.html>>

[2] McKinsey Global Institute, "Reinventing construction: a route to higher productivity", 2017.  
<<https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Business%20Functions/Operations/Our%20Insights/Reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/MGI-Reinventing-Construction-Executive-summary.pdf>>

[3] Bee Engineering, « Tout savoir sur le BIM », 2018.  
<<https://bee-eng.com/tout-savoir-sur-le-bim-building-information-modeling/>>

[4] Letsbuild, « 5D BIM: How it will help the construction industry », Juin 2019.  
<<https://www.letsbuild.com/blog/5d-bim-in-construction>>

[5] Gartner, « 5 Trends Appear on the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2019 », 2019.  
<<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-appear-on-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2019/>>

# Interview

- **Comment s'est organisé votre travail au cours de ce projet ?**

Notre projet a été réalisé en deux temps : une première partie destinée à un état de l'art autour de notre sujet et à la réalisation d'une bibliographie, une deuxième consacrée à l'expérimentation et la conceptualisation de solutions innovantes.

Tout au long de ce projet, notre référente école était Mme Svetlana Vujovic. Cependant, ayant nous-même proposé notre propre sujet, nous avons pu être très indépendants dans notre travail de recherche. Notre référente école nous a ainsi davantage soutenu d'un point de vue méthodologique.

Nous avons également eu la chance de pouvoir échanger à de nombreuses reprises avec un commercial de chez Let's Build contacté sur Linked'in, ce qui nous a vraiment donné un plus. Malgré son but initial, à savoir, intégrer Let's Build chez Demathieu Bard, il a pris le temps d'échanger avec nous sur le sujet d'une manière objective et constructive.

- **Quelle vision de la recherche aviez-vous avant de réaliser ce projet ? Et après ?**

Nous avons tout de suite appréhendé la recherche de manière très concrète dans la mesure où nous avons vraiment choisi un projet dans l'air du temps et que nous avons, dès le départ, été alertés sur la phase d'application qui était très importante dans ce projet. Cependant, nous pensions que la théorie aurait été plus présente au détriment de la pratique ce qui n'était pas le cas.

Par ailleurs, le fait d'avoir pu choisir notre sujet nous a aidé à nous investir et il était très intéressant de pouvoir

rentrer en profondeur dans le sujet. Cela a été très enrichissant pour nous.

- **Qu'auriez-vous donc envie de dire aux étudiants qui viendront après vous ?**

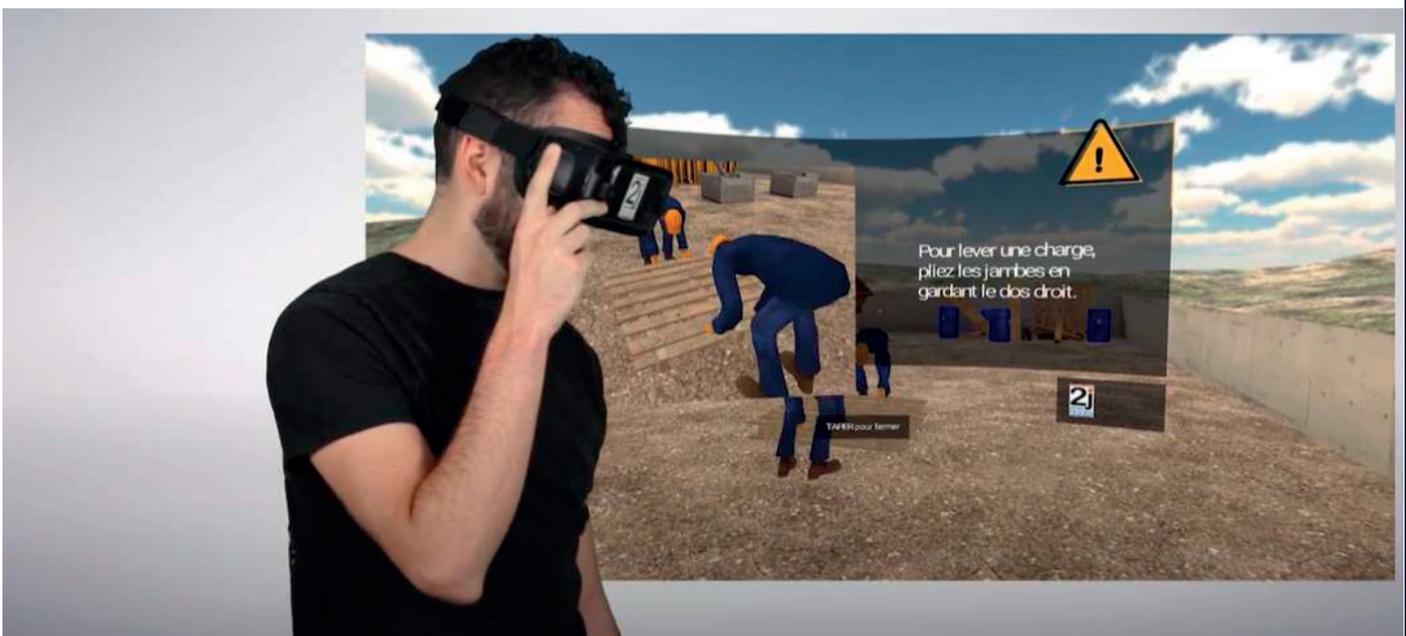
Qu'il ne faut pas voir ce projet comme une contrainte mais, au contraire, comme la chance de pouvoir s'intéresser à un sujet d'avenir. Par ailleurs, plus on s'intéresse à un sujet, plus on a envie de s'y intéresser et c'est l'occasion de s'ouvrir l'esprit, de creuser vers quelque chose d'autre, en sortant du cadre purement scientifique de nos études. De plus, nous faisons tout de même preuve d'une plus grande liberté.

Nous aimerions également souligner qu'il est important de laisser la possibilité aux étudiants de pouvoir proposer leur propre sujet afin de sortir des sentiers battus ou de sujets trop spécifiques. Cependant, il ne faut pas non plus se retrouver piégé par un sujet qui serait trop vaste.

- **Un mot de la fin ?**

Nous sommes heureux de pouvoir participer à la valorisation de ces projets, c'était une très bonne expérience pour nous, et nous avons été très contents d'en constater le résultat. Par ailleurs, il ne faut pas hésiter, à travers ce projet, à sortir de sa zone de confort et à aller à la rencontre de nouvelles personnes car le milieu du BTP, c'est un ensemble de relations humaines au sein desquelles il est important de faire des rencontres afin de se constituer un vaste réseau.

Florian Barrere et Bruno Dias Fernandes,  
Apprentis chez Demathieu Bard



*Le collaborateur est plongé dans une situation à risques avec explications*



- **ESITC Paris** -  
79 avenue Aristide Briand  
94 110 Arcueil  
01.81.80.15.15  
contact@esitc-paris.fr

Rejoignez-nous sur les réseaux :



Les reproductions que le cocontractant effectue doivent faire apparaître les références de chaque oeuvre reproduite. La dénomination générique «Panorama de Presse» doit apparaître sur chaque exemplaire de panorama réalisé par la cocontractant. Le cocontractant doit faire figurer sur chaque exemplaire d'un panorama de presse la mention «Reproductions effectuées par ESITC Paris avec l'autorisation de CFC (20 rue des Grands Augustins 2006 Paris). Les articles reproduits dans le présent panorama de presse sont des oeuvres protégées et ne peuvent être à nouveau reproduits sans l'autorisation préalable du CFC.»