

# Programme de recherche HEIA-FR

# Sommaire

---

Éditorial	3
Instituts de recherche	4
Domaines de recherche	6
Recherche interdisciplinaire	7
Impact	8
Futur bâtiment du Smart Living Lab	10
Regards externes	12
Thématiques de recherche	16
Projets	18

“ Un centre de compétences  
en lien étroit avec l'évolution  
des besoins et des marchés. ”

# Éditorial

---

## Jean-Philippe Bacher

Professeur – Smart Living Lab HEIA-FR Manager

De par son intégration au Smart Living Lab, la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR) a su renforcer son positionnement comme centre de compétences dans les domaines de l'énergie, de la construction, de l'architecture et de l'environnement.

Après une phase de création et la mise en place de premières activités de recherche, le centre de compétences est entré dans une phase de croissance. Le programme de recherche de la HEIA-FR au sein du Smart Living Lab a pu soutenir une série de projets novateurs, qui ont permis de consolider et ancrer le savoir des chercheuses et chercheurs. Ces compétences forment la base indispensable à une réponse pertinente aux enjeux et aux défis posés par la crise climatique, la transition énergétique et les objectifs de neutralité carbone.

Ce faisant, la HEIA-FR joue pleinement son rôle de courroie de transmission entre la recherche fondamentale et les milieux professionnels. En se positionnant durablement comme soutien à l'innovation, elle accompagne ses partenaires dans le développement de solutions qui répondent aux attentes et besoins des entreprises, des collectivités publiques et de la société.

Qu'il s'agisse d'économie circulaire, de digitalisation, de bilan carbone ou encore de rénovation, les chercheuses et chercheurs participent au développement de technologies, de solutions et de processus qui accompagnent les changements de paradigmes marquants de notre époque.

Grâce au programme de recherche, les projets atteignent une maturité leur permettant d'obtenir un soutien financier issu d'autres fonds. Ceci leur permet de poursuivre le développement vers des solutions adoptées par le marché. L'acquisition de projets d'envergure et la concrétisation des ambitions du Smart Living Lab par la construction de son nouveau bâtiment constituent la prochaine étape clé de cette « success story ».

“ Une recherche appliquée au service de l'économie, de la société et de la formation. ”

## ENERGY

### Institut de recherche appliquée en systèmes énergétiques

L'institut ENERGY contribue activement à la recherche appliquée dans le domaine de la gestion et de l'approvisionnement en énergie à l'échelle du bâtiment et du quartier. En particulier, il traite de questions de recherche telles que l'analyse du cycle de vie et le bilan carbone, l'intégration des énergies renouvelables et du stockage, ainsi que le monitoring et l'évaluation post-occupation. Il étudie aussi l'influence du comportement sur la performance énergétique.

L'Institut ENERGY, fort de ses compétences interdisciplinaires, contribue à l'évolution vers une société énergétiquement sobre, développant l'utilisation rationnelle de sources d'énergie peu émettrices de gaz à effet de serre.



« Les bâtiments et quartiers sont au cœur de la transition énergétique et de l'objectif de neutralité carbone. »

—  
Jean-Philippe Bacher – responsable de l'institut ENERGY

# TRANSFORM

## Institut d'architecture – patrimoine, construction et usages

L'institut TRANSFORM contribue à la recherche appliquée dans le domaine de la transformation en architecture et en urbanisme. Composé d'architectes – chercheurs et praticiens – d'urbanistes, d'historiens, de géographes et de physiciens du bâtiments, l'institut développe une expertise interdisciplinaire contribuant à imaginer et créer un cadre bâti futur durable.

L'institut traite de multiples échelles depuis l'assemblage d'éléments de construction jusqu'à la planification territoriale. Le processus de création du bâti est considéré dans son ensemble, avec la conception notamment via des outils digitaux BIM, la construction, l'utilisation du bâti et ses valeurs culturelles, la rénovation et la transformation en fin de cycle de vie.



« La majorité de la ville du futur est déjà là, le défi est de la transformer et d'adapter le bâti existant pour mieux vivre ensemble en respectant les ressources planétaires. »

—  
Séréna Vanbutsele – responsable de l'institut TRANSFORM

# iTEC

## Institut des Technologies de l'Environnement Construit

L'institut iTEC s'occupe de tous les aspects des technologies de l'environnement construit, de l'échelle du territoire (réseaux et infrastructures, dangers naturels) jusqu'aux éléments de construction et aux matériaux utilisés (bâtiments).

Ses chercheur-euses, du domaine du génie civil (construction et mobilité) et de l'environnement (sols et eaux), sont spécialisé-e-s dans la conception, la modélisation physique et numérique, ainsi que la vérification expérimentale à petite et à grande échelle. Les solutions développées contribuent à la diminution des impacts environnementaux de la construction, mais aussi à des effets positifs sur le climat local, urbain et régional.



« L'environnement construit n'est pas seulement une charge dans le net-zéro carbone, mais peut aussi fournir des solutions cruciales. »

—  
Daia Zwicky – responsable de l'institut iTEC

# Domaines de recherche

---

Les activités de recherche du Smart Living Lab sont articulées autour de quatre domaines complémentaires.



## Bien-être et comportements

Améliorer la santé et le confort humain en optimisant la qualité de l'environnement intérieur et en influençant positivement les comportements.



## Technologies de la construction

Evaluer l'efficacité de l'utilisation des ressources et accélérer les processus de changement dans la construction.



## Systèmes énergétiques

Développer des technologies et des systèmes intelligents à haut rendement énergétique, améliorer leur gestion et prévoir les impacts juridiques et économiques.



## Interactions et processus de conception

Comprendre et structurer le dialogue entre les parties prenantes du cycle de vie du bâtiment afin de développer des outils pour concevoir, modéliser et exploiter les bâtiments.

# Recherche interdisciplinaire

---

## Le programme de recherche de la HEIA-FR a fait émerger des thèmes fédérateurs de collaboration entre les différents instituts.

### **La transformation digitale du secteur de la construction**

Le secteur de la construction est touché par la transformation digitale, au même titre que les autres secteurs de l'économie. L'émergence et l'adoption de technologies clés comme le BIM (Building Information Modeling) et l'IoT (Internet Of Things) transforment les processus-métier et offrent de nouvelles opportunités de services à l'échelle du bâtiment, de la ville et du territoire.

### **La durabilité à l'échelle du quartier**

Le quartier au travers des différents réseaux qui le composent constitue une échelle de réflexion et d'intervention pertinente pour atteindre des objectifs de durabilité ambitieux. Les sujets traités englobent les systèmes de gestion de l'information, les liens entre les tissus urbain et social, ou encore l'utilisation des ressources naturelles et énergétiques.

### **Confort et performance du bâtiment**

Toute optimisation de performance d'un bâtiment doit prendre en considération le confort des occupants dans toutes ses dimensions. La prise en compte des occupants et de leur interaction avec leur environnement est indispensable à toute amélioration, qu'il s'agisse d'usage des espaces, de consommation énergétique ou de qualité de l'air.

### **Transformation et rénovation du parc immobilier**

Le bâti existant joue un rôle prépondérant dans la mise en œuvre des politiques énergétiques et du développement territorial. Les objectifs ambitieux fixés par les autorités en termes d'efficacité énergétique et de densification imposent de développer de nouvelles stratégies et logiques d'intervention.

### **Les nouveaux systèmes constructifs**

La diminution de l'impact environnemental du secteur de la construction passe par l'évolution des solutions constructives actuellement employées. Cette diminution peut passer par le développement et l'implémentation de nouveaux systèmes constructifs à faible impact environnemental ou par la réutilisation d'éléments de construction existants.

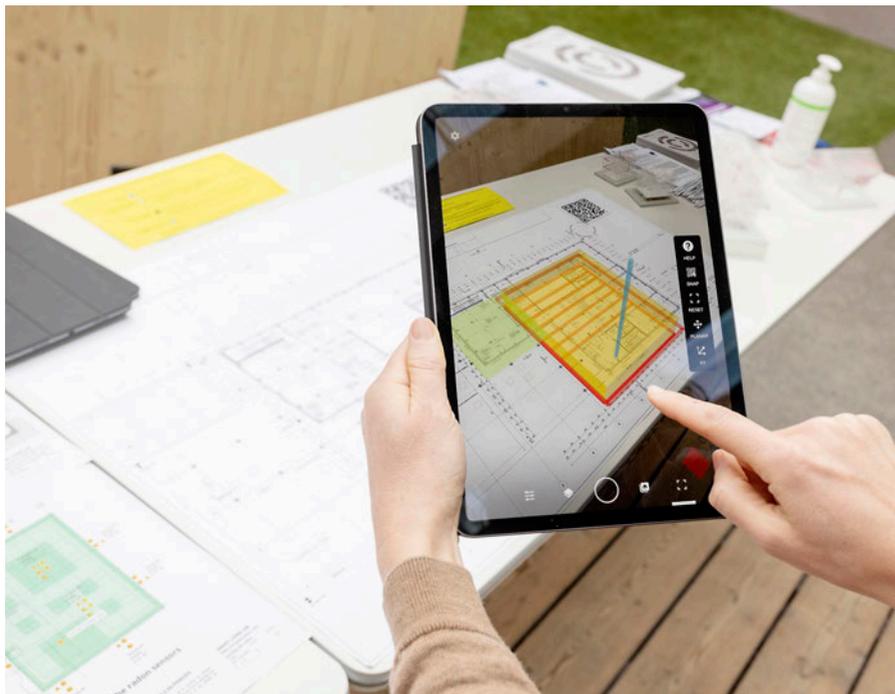
# Impact

---

Le Smart Living Lab a un impact durable à la fois sur la HEIA-FR et sur l'écosystème d'innovation régional. A l'interne, il favorise la collaboration inter-instituts et renforce la pertinence des formations et projets proposés aux étudiantes et étudiants. A l'externe il renforce le positionnement de l'école et ouvre de nouvelles opportunités de collaboration avec les institutions et entreprises. Il fait le lien entre la recherche fondamentale et sa concrétisation au travers de prototypes, puis de produits et services.

Le positionnement et la mission des Hautes écoles spécialisées implique deux voies de valorisation des activités de recherche, l'une par le biais de publications scientifiques et l'autre par la mise en œuvre de solutions développées via les milieux professionnels. Ces solutions tiennent compte de différentes échelles, allant du développement de composants à des interventions au niveau de l'urbanisme. D'autres recherches contribuent à donner des bases facilitant la prise de décision et l'évolution des politiques publiques, en particulier au niveau régional.





Le programme de recherche mené au sein du Smart Living Lab par la HEIA-FR permet d'initier des thématiques de recherche et de développer des compétences indispensables à un transfert de connaissance et de technologies vers les partenaires. Le programme de recherche pose ainsi les bases de futurs projets de la Nouvelle politique régionale (NPR) au niveau cantonal et, entre autres, Innosuisse au niveau fédéral.

La HEIA-FR se réjouit de constater que les projets initiés il y a quelques années portent leurs fruits et contribuent à faire du Smart Living Lab un centre de compétences qui œuvre en lien étroit avec l'évolution des besoins et des marchés.

Il offre des solutions et des réponses à des besoins urgents de la société sur le plan de la transition énergétique et de la neutralité carbone. Plus largement, il vise à préserver et améliorer durablement le cadre de vie.

“ Des solutions et des réponses  
à des besoins urgents de la société. ”



## Futur bâtiment du Smart Living Lab

---

Mis en œuvre par bluefactory Fribourg-Freiburg SA (BFF SA), ce projet est le fruit d'un partenariat entre le Canton de Fribourg et le Smart Living Lab. Il s'est concrétisé, en 2018, par le lancement d'un Mandat d'Etudes Parallèles (MEP) collaboratif et innovant. Les étapes successives ont permis de répondre aux besoins des utilisateur-trices au travers d'un processus itératif avec le soutien du Groupe Building 2050.

Sur une surface d'environ 5'000m<sup>2</sup>, le bâtiment du Smart Living Lab accueillera dès 2024, 130 personnes issues de 11 groupes de recherche de l'EPFL, de la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg et de l'Université de Fribourg. Conçu pour atteindre sur le long terme les objectifs de la Stratégie énergétique 2050 de la Confédération, ce bâtiment en bois local s'inscrit dans une démarche environnementale qui tient compte de l'ensemble de son cycle de vie.

“ Conçu pour atteindre  
sur le long terme les objectifs de  
la Stratégie énergétique 2050  
de la Confédération. ”



## “ L’outil d’expérimentation principal du Smart Living Lab. ”

En plus d’être un espace de travail confortable et performant, il sera l’outil d’expérimentation principal du Smart Living Lab. Pluridisciplinaire et catalyseur de progrès, ce «laboratoire vivant» de 5 étages (ou Rez+4) sera un terrain propice aux travaux menés en conditions réelles.

L’édifice proposera une palette d’aménagements permettant diverses activités de recherche. De nombreux capteurs permettront de mesurer les paramètres liés à la consommation énergétique, la qualité environnementale ou l’occupation des espaces.

Ce monitoring permanent du bâtiment alimentera une base de données commune et une maquette numérique BIM (Building Information Modeling).

Une fois construit, le bâtiment du Smart Living Lab ne cessera d’évoluer afin de servir la recherche, améliorer ses performances, assurer sa longévité et rester à la pointe de l’innovation.

# Regards externes

---

## AETERNUM

Les recherches réalisées au Smart Living Lab ont servi de base à la création de notre startup, qui propose de produire et commercialiser des bâtiments modulaires, réutilisables et adaptables.

—  
**Alex Muresan**

Fondateur et CEO

## JPF

Nous nous réjouissons de poursuivre notre collaboration avec la HEIA-FR et construire le futur bâtiment du Smart Living Lab qui permettra d'expérimenter et valider des idées développées dans le cadre de projets de recherche.

—  
**Jean-Marc Ducret**

Directeur

## BFF SA

La présence du Smart Living Lab contribue fortement à l'attractivité et au positionnement du site de bluefactory.

—  
**Philippe Jemmely**

Directeur général

## OFFICE FÉDÉRAL DE LA SANTÉ PUBLIQUE

Avec le Smart Living Lab, la HEIA-FR a développé un centre de compétences fort sur la thématique de la qualité de l'air intérieur. Il permet de faire avancer l'état des connaissances dans le domaine.

—  
**Martha Palacios**

Suppléante du chef de section

Risques radiologiques

**Roger Waeber**

Responsable de la section

Polluants de l'habitat

## CSD INGÉNIEURS

Les activités de la HEIA-FR au sein du Smart Living Lab touchent le cœur de nos métiers et nous permettent de faire évoluer nos pratiques.

—

**Fabio Sicurella**

Responsable Département  
Physique du bâtiment

## SOTTAS SA

Participer à la recherche de la HEIA-FR nous permet de d'explorer de nouvelles technologies en vue d'une intégration dans nos produits et systèmes.

—

**Daniel Schaad**

Chef de projet

## W&T AG

Avec la HEIA-FR et le soutien du Smart Living Lab et Innosuisse, nous avons pu développer une solution innovante répondant aux besoins du marché.

—

**Marcel Broch**

Co-Directeur

## GROUPE E

Le partenariat que nous développons avec la HEIA-FR, en particulier avec le Smart Living Lab, est un pilier important de notre collaboration avec les hautes écoles.

—

**Jacques Mauron**

Directeur général

## VILLE DE FRIBOURG

La collaboration avec la HEIA-FR nous a permis de sensibiliser la population à la thématique des îlots de chaleur urbain et de tester des solutions de mitigation.

—

**Dominique Riedo**

Chef du secteur de la transition  
écologique





# Thématiques de recherche

---



idées  
performance  
maquette numérique  
intelligence artificielle BIM  
City Pulse SIM data  
cloud  
**Digitalisation**

futur FACILITY 4.0  
intégrée PaNBIM  
analyse transformation  
technologie

durable  
patrimoine  
habitat densification  
générations futures  
Assainissement 4.0  
**Rénovation**

RenoBAT-FR  
réflexion transformation  
évolution performant  
tissu urbain  
énergie

objectifs climatiques  
blueCAD stratégie  
transformation  
planification ressources DEMO- Mi2  
local énergie  
**Durabilité**  
BlueEnergy  
Setup Pro déchets  
réemploi ressources naturelles  
recyclage consommation  
quartier bilan carbone  
mobilité

# Bilan Carbone du secteur de la construction

---



**Thomas Jusselme**

Professeur  
Institut ENERGY

**Le changement climatique est une préoccupation majeure de notre société. Avec 38% des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>, il est indispensable de mesurer et réduire le bilan carbone des constructions.**

## **Neutralité carbone en 2050 : rêve ou réalité ?**

Je dirais plutôt obligation, si l'on ne veut pas subir les conséquences dramatiques d'un réchauffement planétaire de plus de 2 degrés. Près de la moitié de la population mondiale ressent déjà les effets de ce réchauffement estimé à seulement 1.09 °C. Par ailleurs, on a aujourd'hui les moyens techniques d'atteindre cette neutralité carbone, qui sont beaucoup plus simples que d'envoyer des humains dans l'espace ! La question est de savoir comment les mettre en œuvre et si l'on est prêt à accepter les changements socio-économiques nécessaires.

## **Qu'est-ce que cela implique pour le secteur de la construction ?**

Le secteur de la construction est un contributeur majeur du changement climatique avec 38 % des émissions mondiales. C'est donc à la fois un problème et une opportunité. Il existe des leviers majeurs dont la mise en œuvre permettrait des réductions significatives, comme la conservation des structures existantes plutôt que la démolition, la densification, l'utilisation d'énergies renouvelables ou encore de matériaux décarbonés. Sur ce dernier point, on sait que l'on n'atteindra pas la neutralité carbone sans augmenter nos capacités de séquestrations, et le secteur du bâtiment représente un gros puits de carbone potentiel.

## **Comment vos recherches contribuent-elles à l'atteinte de ces objectifs ?**

Nous concentrons nos travaux de recherche sur la décarbonation du secteur du bâtiment. Nous intervenons de l'échelle urbaine à celle du matériau, avec un impact sur divers secteurs, tels que l'industrie de la construction, l'énergie, la mobilité, les services... Nous sommes donc impliqués dans le développement de nouveaux matériaux de construction éco-conçus, d'outils d'aides à la décision pour les architectes et ingénieur-e-s ou encore de méthodes de définition du budget carbone d'un quartier. Nous publions nos résultats pour les partager avec la communauté scientifique internationale et nous impliquons également des partenaires locaux pour transférer ce savoir dans l'opérationnel.

# Setup Pro

Opérationnalisation d'un concept de planification pour la mise en place d'objectifs spécifiques de la performance carbone d'un quartier.



Pour contenir le réchauffement climatique à 1.5°C, la planification des territoires se doit d'intégrer l'objectif de neutralité carbone au plus tôt. Ce projet consiste à proposer une méthode de déclinaison de l'objectif de neutralité de l'échelle mondiale à l'échelle d'un quartier. Il s'agit ensuite d'adapter la méthodologie à la réalité du processus de planification urbaine.

Une collaboration avec l'ETH Zürich a permis d'établir une proposition méthodologique pour définir ce qu'est le budget carbone d'un quartier avec une trajectoire neutre en carbone. Il a pu mettre en évidence une stratégie climatique suisse qui se situe entre 1.5°C et 2°C de réchauffement et ses conséquences sur le secteur de la construction, en termes d'objectifs ou des solutions constructives compatibles.

Pour identifier les défis liés à la mise en œuvre de cette méthode, des ateliers réguliers ont pu être réalisés incluant des représentant-e-s de la chaîne de valeur du secteur de la construction. Les réalités opérationnelles auxquelles elles et ils font face ont pu être identifiées pour tenter de proposer des solutions appropriées.

**Durée du projet :**  
2020 - 2022

**Partenaires :**  
OPL, Climate Services,  
urbaplan, BFF SA, CSD,  
Nuesch

# Adaptation au changement climatique

---



**Marc Vonlanthen**

Professeur  
Institut ENERGY

**Le changement climatique pose de nombreux défis à nos villes. Notre pavillon climatique y apporte quelques réponses simples en réinventant les fonctions du mobilier urbain.**

**Quelles sont les conséquences majeures du changement climatique pour la Suisse dans les prochaines décennies ?**

En Suisse, les températures ont augmenté en moyenne de 2 °C depuis 150 ans, soit beaucoup plus vite que la moyenne globale d'environ 1 °C. Les conséquences sont multiples et impactent autant la santé des êtres humains, la biodiversité et les milieux naturels ou encore l'économie. Au niveau climatique, cela se traduit par des étés plus secs, des épisodes de précipitation plus rares mais plus intenses, davantage de journées tropicales et des hivers moins enneigés. Les villes sont principalement touchées. La concentration des activités humaines produit de la chaleur et de la pollution qui dégradent les conditions environnementales. Ces phénomènes sont accentués par le changement climatique. Mais ce contexte permet aussi de repenser l'aménagement urbain et de trouver des solutions. C'est ce que nous avons voulu montrer avec notre pavillon climatique.

**Comment l'environnement construit peut-il s'adapter ?**

L'environnement urbain joue un rôle fondamental dans notre adaptation aux changements climatiques qui doivent être intégrés à tous les niveaux : perméabilité des sols, extension et densification des surfaces végétalisées notamment en toitures et en façades, arborisation, choix des matériaux, points d'eau, etc. Dans une précédente étude sur les îlots de chaleur en ville, nous avons pu montrer par simulation numérique à l'horizon 2050 qu'une mise en place généralisée de telles mesures à l'échelle d'un quartier pouvait presque complètement absorber l'augmentation des températures dues au changement climatique. Les solutions existent donc bel et bien.

**Quels sont les principaux facteurs qui créent les îlots de chaleur urbains ?**

Le principal facteur est l'urbanisation sous l'angle du choix des matériaux, de la conception et de la planification. Les conditions de cette urbanisation font que l'énergie solaire est plus ou moins piégée dans le bâti. Par exemple, les arbres offrent de l'ombre et rafraîchissent l'air par évapotranspiration. À l'inverse, le goudron stocke la chaleur pour la rejeter lors de nuits qui peuvent devenir tropicales. Les rejets de chaleur produits par les activités humaines (mobilité, industrie, système de refroidissement) jouent également un rôle.

## DEMO-Mi<sup>2</sup>

Conception, réalisation et expérimentation d'un démonstrateur mobile de mesures de mitigation microclimatique estivale à l'échelle de la rue.



Le pavillon climatique prétend démontrer l'efficacité du mobilier urbain dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques. Différentes mesures simples y ont été concentrées telles que la végétalisation de la toiture et des façades, des matériaux à changement de phase, des écoulements d'eau et de la brumisation, une optimisation de l'ombrage ou encore des vases poreux en céramique diffusant de la vapeur d'eau.

De plus, une réflexion conceptuelle importante a été menée pour réaliser une construction modulaire en permettant l'exposition en différents endroits de la ville de Fribourg particulièrement touchés par les îlots de chaleur tout en garantissant un confort thermique optimal et des conditions de rencontre favorables.

Par le financement participatif dont a fait l'objet le démonstrateur DEMO-Mi<sup>2</sup>, la collaboration avec de nombreuses entreprises locales, les sponsors, le partenariat avec la Ville et le Canton de Fribourg, ainsi que différents milieux culturels pour le choix des emplacements, le lien de la HEIA-FR avec toutes ces entités a pu être renforcé. Un public important a également pu être sensibilisé à cette thématique.

**Durée du projet :**  
2020 - 2022

**Partenaires :**  
Ville et Canton  
de Fribourg,  
TRANSFORM

# Production et distribution d'énergie dans les réseaux de chauffage urbain

---



**Malick Kane**

Professeur  
Institut ENERGY

## **Concevoir des réseaux de chauffage et de refroidissement urbains (DHC) plus intelligents et optimiser leur design et opération en fonction des ressources renouvelables disponibles localement.**

### **Quelle est l'importance des réseaux de chauffage à distance pour la transition énergétique en Suisse ?**

L'urbanisation est une tendance majeure et, d'ici 2050, les deux tiers de la population vivront probablement dans des zones urbaines où la demande de services énergétiques est très dense. Les opportunités de synergies énergétiques entre les bâtiments sont importantes. Ainsi, le chauffage et le refroidissement urbains (DHC-District Heating and Cooling) prendront donc une importance croissante pour limiter la pollution, à la fois locale et globale, tout en maintenant ou en développant davantage les services énergétiques.

### **A quelle évolution des réseaux de chauffage à distance peut-on s'attendre ?**

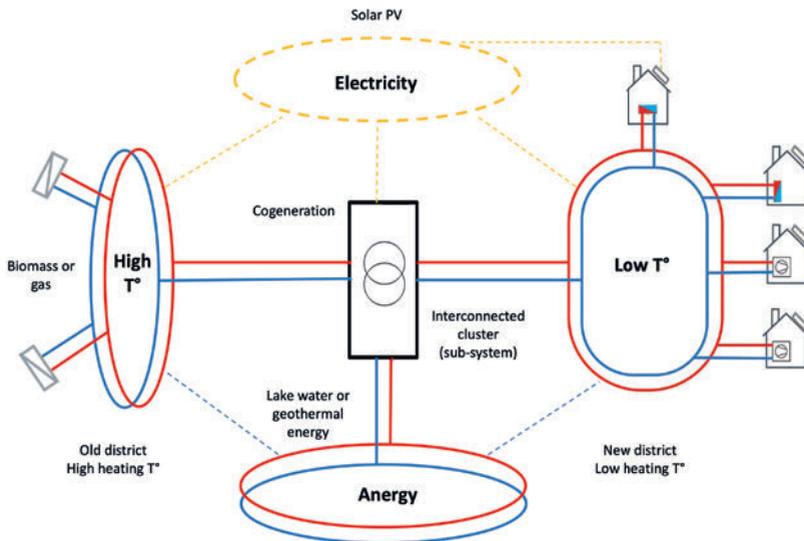
Une transition progressive des réseaux haute température vers des réseaux plus intelligents de 5<sup>ème</sup> génération (anergie ou type CO<sub>2</sub>) est essentielle pour augmenter le taux d'énergie renouvelable dans les réseaux. Ce sont des réseaux bidirectionnels exploités proches des températures du niveau du sol et satisfaisant à la fois au chauffage par pompes à chaleur locales et au froid soit directement par des groupes frigorifiques locaux. Avec la tendance croissante à l'électrification, la trigénération (chauffage, refroidissement et production d'électricité) est un aspect important de notre recherche.

### **Comment votre recherche peut-elle être utilisée par les praticiens ?**

Le Laboratoire Thermique et Énergétique (LTE) vise à fournir aux entreprises des outils de modélisation permettant de simuler, dimensionner et optimiser simultanément des réseaux thermiques et électriques, afin d'optimiser l'efficacité énergétique dans la planification et l'exploitation des installations industrielles. Les praticiens peuvent ainsi choisir et proposer des concepts de réseaux avancés capables de maximiser la production d'énergies renouvelables mais également sur la base d'un compromis permettant de minimiser les coûts de production.

# blueCAD

## Concept d'intégration et optimisation de réseaux avancés d'échange thermique intelligent appliqué au quartier de bluefactory, Fribourg.



Le projet BlueCAD a permis de développer une approche systémique permettant d'évaluer et de comparer les performances énergétiques, économiques et environnementales de différents types de réseaux avancés. L'optimum de température d'opération d'un réseau peut être déterminé selon les ressources renouvelables disponibles sur le site. Cette méthodologie offre ainsi une information précieuse aux exploitants des réseaux tant en phase d'exploitation qu'en phase de conception. Son application pour le quartier de bluefactory a permis de proposer, en collaboration avec les partenaires, un nouveau concept de réseaux avancés de chauffage urbain à basse température qui fonctionne avec un niveau de température choisi convenablement entre les saisons.

Il permet d'utiliser une centrale de régulation intelligente capable d'intégrer et de maximiser l'autoconsommation électrique, en mutualisant d'avantage les besoins et les ressources disponibles et en favorisant un transfert efficace d'énergie thermique avec des réseaux de niveaux de températures différents.

**Durée du projet :**  
2018 - 2021

**Partenaires :**  
Groupe E Celsius, BFF SA,  
Service de l'Énergie du  
Canton de Fribourg

# Technique du bâtiment

---



**Jacques Robadey**

Professeur  
Institut ENERGY

**Les Matériaux à Changement de Phase (PCM) peuvent créer du stockage thermique mais leur production reste problématique. Le projet IL-PCM en a produit de nouveaux de manière simple, durable et respectueuse de l'environnement.**

## **Quel est l'intérêt des PCM dans le domaine de la construction ?**

Les matériaux PCM n'ont rien de particulier mis à part qu'ils passent de l'état solide à liquide à des températures proches de celles de confort. Ces matériaux absorbent, respectivement restituent de grandes quantités de chaleur en fondant ou en se solidifiant. Ils peuvent donc stocker les surproductions d'énergie thermique ou/et solaire et restituer l'énergie thermique au moment voulu. Ils sont utilisés de manière passive en intégrant des microbilles de PCM aux matériaux de construction : crépis, éléments de parois ou faux plafonds. Pour une gestion active de la température des bâtiments, des conteneurs de PCM étanches et liés au système de chauffage sont nécessaires.

## **Une utilisation pour du stockage d'énergie thermique à moyen/long terme est-elle envisageable ?**

Le contexte climatique actuel et la forte dépendance aux énergies fossiles rendent le stockage thermique à gestion active nécessaire avec des sondes géothermiques, de grosses citernes d'eau ou du PCM. Les sondes géothermiques stockent partiellement la chaleur, réduisent la consommation hivernale, mais sont interdites dans une grande partie de la Suisse. Les citernes d'eau ne sont pas envisageables à grande échelle dû à un volume 5 fois plus grand que celui du PCM. Les perspectives d'utilisation du PCM sont donc réelles à court terme pour l'eau chaude sanitaire (système développé par le projet Innosuisse 32485.1 IP-EE déjà en vente) et à moyen terme pour le contrôle des températures du bâtiment.

## **Y a-t-il de nouveaux matériaux prometteurs dans ce domaine ?**

Le problème des PCM est leur prix. La production est trop faible et les matériaux doivent être très purs. Les candidats les plus importants sont les paraffines et les sels hydratés. Les défauts des premiers sont leur inflammabilité et les seconds sont corrosifs pour la majeure partie des métaux. Les avantages qu'ils proposent sont cependant suffisants pour des utilisations dans des bâtiments novateurs. Pour une utilisation généralisée, le prix doit être réduit. Si les défauts cités plus haut sont solutionnés en utilisant des conteneurs appropriés, une utilisation des PCM à grande échelle pourra être envisagée.

# IL-PCM

**Les liquides ioniques durables comme matériaux à changement de phase pour le stockage d'énergie dans les bâtiments intelligents.**



Le projet IL-PCM répond à ce manque de candidats PCM à un prix attractif avec une non inflammabilité et une corrosion faible des métaux. L'idée du projet est de produire et utiliser des liquides ioniques. Ces matériaux sont des sels organiques uniquement constitués de cations et d'anions et obtenus par une synthèse chimique simple. Leur température de fusion est proche de la température ambiante. Un grand nombre de PCM à base de liquides ioniques, toujours basés sur des matériaux durables et simples, ont été préparés et testés. Une nouvelle série de PCM aux propriétés très intéressantes a été découverte.

Un démonstrateur mesurant 25 ml de PCM a été développé. Il a montré des températures de fusion de 42 à 46 °C avec des chaleurs latentes de fusion > 300 J/K.

Pour la solidification, un phénomène de «subcooling» est apparu rendant les mesures de chaleur latente imprécises. Des tests ont montré que les produits ne sont pas inflammables. De plus, ils ne sont pas corrosifs pour l'aluminium et l'acier inoxydable, mais provoquent une légère oxydation de surface pour le cuivre.

La collaboration avec Dr. Roger Marti de l'institut ChemTech va se poursuivre afin de mener une recherche supplémentaire pour trouver des liquides ioniques sans «subcooling».



**Durée du projet :**

2019 - 2021

**Partenaire :**

ChemTech

# Data Science et bâtiments

---



**Jean Hennebert**

Professeur  
Institut iCoSys

## **Le Data Science et les dernières tendances de l'Intelligence Artificielle ouvrent des perspectives intéressantes dans toutes les étapes de la vie des bâtiments, de leur conception à leur exploitation.**

**Les outils du Data Science sont-ils mûrs pour être utilisés dans le monde du bâtiment ?** Clairement oui, mais avec certaines nuances. Poussée par la digitalisation des processus, par la démocratisation des capteurs, la quantité des données décrivant nos bâtiments, nos quartiers et nos villes a littéralement explosé ces quinze dernières années. En parallèle à cela, les techniques et outils du Data Science ont mûri, et plus particulièrement les approches « data-driven » de type Machine Learning, qui consistent à inférer des modèles et donc de la connaissance à partir de données collectées. Les premiers contextes d'application du Data Science dans le cadre des bâtiments seront donc ceux pour lesquels il y a des quantités importantes de données digitales à disposition.

### **Que peuvent-ils apporter ?**

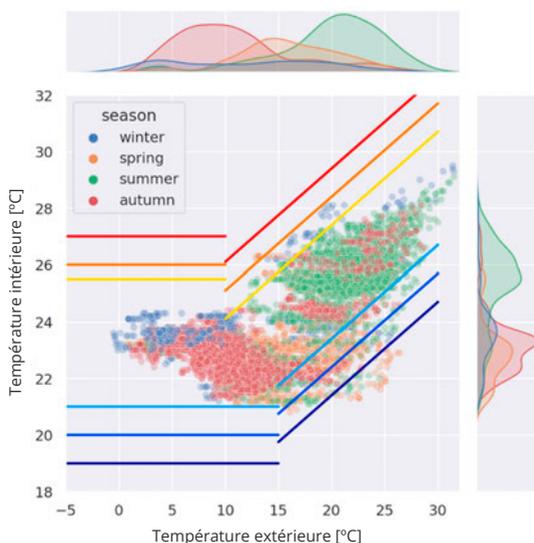
Les modèles issus du Data Science ont trois niveaux d'utilité. Le premier niveau est celui des systèmes de diagnostic amenant une compréhension de l'état actuel d'un bâtiment. Les techniques d'estimation rapide des performances énergétiques ou structurelles rentrent dans cette catégorie. Ensuite, les systèmes prédictifs permettent d'estimer l'état futur d'un bâtiment en fonction de facteurs externes, par exemple pour anticiper des besoins en apport énergétique ou en terme de ventilation. L'analyse des déviations entre prédictions et observations permet également la détection d'anomalies, de pannes. Finalement les modèles prescriptifs ont la capacité de proposer des modifications des réglages des équipements techniques.

### **Comment vos projets de recherche contribuent-ils au transfert de connaissances ?**

L'utilisation du Data Science dans les projets liés aux bâtiments permet de sensibiliser le secteur important de l'économie, où l'adoption de nouvelles technologies est probablement plus complexe que dans d'autres secteurs. Nos projets dans ce domaine se font systématiquement avec des spécialistes de la branche, afin d'aligner nos travaux vers des cas d'utilisation concrets et d'augmenter les chances de transfert technologique. Inversement, le fait de pouvoir appliquer ces technologies sur des cas concrets nous permet de sensibiliser les étudiant-e-s qui suivent les cursus ISC-Ingénierie des Données en Bachelor et MSE-Data Science en Master. De nombreux travaux d'étudiant-e-s ont en effet racine dans des cas et des données en lien avec les bâtiments.

# FACILITY 4.0

Gestion 4.0 des bâtiments – services innovants pour le « monitoring » de la performance et le « facility management ».



Le projet FACILITY 4.0 a permis de développer des services innovants de monitoring et de Facility Management (FM) basés sur les apports récents de l'informatique et du Data Science, dont l'Internet des Objets, le Big Data et le Machine Learning. Guidé par un processus de co-crétion avec des partenaires de terrain, tels que Groupe E, Estia et Losinger Marazzi, une priorité a été mise sur des cas concrets de diagnostic, de maintenance préventive et de détection d'anomalies.

Outre les résultats positifs, dont certains ont abouti à des publications scientifiques, trois démonstrateurs ont été mis en place et utilisés dans le cadre de données « live » remontant du terrain.

Le graphique illustre un des démonstrateurs visant la composition d'outils d'analyse du confort et l'identification d'écart de performances énergétiques dans des habitations. Dans ce cas précis, la distribution des températures intérieures en hiver est calculée et montre un clair potentiel d'optimisation pour l'habitation considérée.

**Durée du projet :**

2019 - 2021

**Partenaires :**

ENERGY, Groupe E, Estia, Losinger Marazzi

# Qualité de l'air intérieur

---



**Joëlle Goyette Pernot**

Professeure  
Institut TRANSFORM

## **Rendre visible l'imperceptible ! Une crise sanitaire qui éveille au besoin d'air frais dans le bâtiment.**

**La pandémie a mis en évidence l'importance de la qualité de l'air intérieur, qu'en pensez-vous ?**

La pandémie de COVID-19 a mis en évidence l'importance du renouvellement de l'air dans les espaces clos et occupés. Elle a rendu intelligible pour tout le monde, la notion de confinement. Nous avons pris subitement conscience que l'air dont nous avons besoin 100 % du temps et dont nous consommons environ 12000 litres par jour, peut être vecteur de maladies et qu'il est donc important de le renouveler régulièrement afin d'en garantir la qualité. Depuis, nombreux sont les cercles scolaires qui ont réagi en équipant les salles de classe de capteurs de CO<sub>2</sub> que l'on utilise comme indicateur de qualité de l'air intérieur.

**Concrètement, quels sont les principaux risques auxquels la population est exposée ?**

Dans les bâtiments, l'air est sous influence de sources de polluants multiples, certaines extérieures au bâtiment d'autres intérieures, voire même d'origine naturelle comme pour ce qui est du radon. Les occupant-e-s sont les principaux pollueurs de l'air intérieur. Leurs activités et mode de vie vont être à la source de différents produits émis dans l'air. Plus ces sources sont nombreuses, plus le mélange que composent tous ces polluants risque d'être problématique. Nous passons par ailleurs plus de 80 % de notre temps à l'intérieur, nous y sommes donc exposés sur de longues périodes, ce qui dans le cas où la qualité sanitaire n'est pas assurée, peut induire des problèmes de santé allant du mal de tête au cancer.

**Comment votre recherche adresse-t-elle ces questions ?**

La recherche menée par croqAIR place l'occupant-e au cœur de ses préoccupations et vise à comprendre et valoriser les conditions favorables à sa bonne santé. Le contexte dans lequel nous vivons, que ce soit celui du changement climatique sous l'angle particulier du confort thermique estival ou de la pénurie de ressources qui poussent à bâtir des bâtiments toujours plus sobres et efficaces en énergie est source de questionnement en termes d'impact sur les conditions de vie dans le bâtiment. L'amélioration de l'isolation ou de l'étanchéité à l'air du bâtiment par souci d'économie d'énergie ne doit pas se faire au dépend de la santé des occupant-e-s. Un bâtiment bien ventilé est gage de qualité. Le mieux ne doit devenir l'ennemi du bien.

# Scol'Air-FR

## Une bonne qualité de l'air dans les écoles primaires du canton de Fribourg : enjeux et conditions.



Ce projet a pour ambition initiale de faire un état des lieux de la qualité de l'air et du confort dans les écoles primaires fribourgeoises, mais aussi d'apporter une évaluation technique et des solutions d'usage en cas de besoin. Il résulte d'un partenariat au sein de l'observatoire romand et tessinois de la qualité de l'air intérieur ([www.ortqai.ch](http://www.ortqai.ch)).

24 écoles, représentatives de conditions observées dans le canton (géographie, environnement proche, âge des bâtiments...), ont été sélectionnées en assurant une répartition égale du nombre de bâtiments ventilés ou aérés par ouverture manuelle des fenêtres. Dans chacun des bâtiments, deux salles de classe et un point extérieur font l'objet de mesures à répétition. Les paramètres mesurés sont le CO<sub>2</sub>, les particules fines, les composés organiques volatiles, le radon, la température et l'humidité relative.

Les mesures sanitaires liées à la pandémie ont forcé un changement des attitudes vis-à-vis de l'aération qui impacte favorablement les premiers résultats obtenus. L'étude de l'évolution de ce comportement est dorénavant incluse dans le projet avec une campagne de mesures additionnelle prévue en 2023 pour en attester.



**Durée du projet :**  
2021 - 2022

**Partenaires :**  
ORTQAI, QUALIVENTIL,  
EPFL HOBEL, SUPSI,  
MINERGIE, OFSP,  
Service de l'Énergie du  
Canton de Fribourg

# Rénovation

---



**Stefanie Schwab**

Professeure  
Institut TRANSFORM

## **Une approche globale pour des rénovations énergétiques durables du parc immobilier existant**

### **Quelle est l'importance de la rénovation au vu des objectifs climatiques de la Suisse ?**

Plus de 45 % de l'énergie finale consommée en Suisse et près d'un tiers des émissions de CO<sub>2</sub> concernent le secteur du bâtiment. La rénovation énergétique du parc de bâtiments existants est un enjeu majeur de la stratégie énergétique de la Confédération. A court-terme, il est notamment visé de rendre obligatoire l'optimisation de l'exploitation énergétique des bâtiments. A moyen-terme, il est prévu de réduire la consommation d'énergie finale de 60 % par rapport à 2010 et de remplacer ou supprimer les systèmes de chauffage basés sur les énergies fossiles et sur l'électricité directe.

### **Selon vous, quels sont les enjeux principaux liés à la rénovation du parc immobilier ?**

Malgré la volonté politique, la consommation énergétique du parc immobilier suisse reste largement au-dessus des objectifs et les interventions ponctuelles, sans vision d'ensemble, sont la règle. Les projets se résument souvent à une mise à jour des installations techniques, une isolation périphérique et un remplacement des fenêtres. Ces solutions, peut-être valables sur le plan énergétique, sont souvent discutables du point de vue de la construction, du patrimoine, de la physique du bâtiment ou encore de la durabilité. Les travaux sont généralement réalisés sans planification, la complexité est sous-estimée et les études globales de rénovation sont négligées.

### **Qu'est-ce que la recherche peut apporter dans ce domaine ?**

L'institut de recherche TRANSFORM étudie les problématiques en relation avec les rénovations énergétiques globales. Comment le nombre de rénovations peut-il être augmenté tout en garantissant la qualité et la durabilité des interventions ? Quelles sont les typologies constructives des bâtiments et quels sont les scénarios de rénovation les plus adaptés ? Quelle approche méthodologique permet de réaliser cet objectif ?

Le projet ProREN, qui a identifié les enjeux et obstacles à la rénovation énergétique au niveau cantonal, soulève le besoin d'accompagnement des propriétaires dans leurs démarches (coaching rénovation), le besoin d'outils concrets (feuille de route rénovation) et la nécessité de trouver des stratégies interdisciplinaires avec les services concernés.

# RenoBAT-FR

## Outils pour la rénovation globale du bâti fribourgeois.



Le projet RenoBAT-FR propose d'établir une typologie des bâtiments d'habitation de la ville de Fribourg, de définir des indicateurs permettant de décrire l'état actuel du bâti en termes de performances thermiques, énergétiques et structurelles et développer une feuille de route pour des rénovations énergétiques durables.

La typologie des bâtiments d'habitation servira comme outil de travail aux professionnels. Elle permettra une approche par quartier issu de la même époque de construction.

Le développement d'une feuille de route pour la rénovation de maisons individuelles et d'immeubles locatifs vise à favoriser des rénovations durables et optimisées en rapport avec l'enveloppe, les installations techniques, l'intégration d'énergies renouvelables et les impacts environnementaux en tenant compte

des spécificités architecturales des bâtiments et de la vétusté des éléments. Une collaboration avec l'observatoire du logement et immobilier Fribourg permettra d'analyser des combinaisons pertinentes avec des indicateurs, tels que le taux de vacance ou le loyer moyen.

Les outils développés en collaboration avec le CCRB constitueront une base de travail pour les professionnel-le-s et serviront à conseiller les propriétaires dans leur démarche de rénovation (coaching rénovation).

**Durée du projet :**

2021 - 2022

**Partenaires :**

iTEC, ENERGY, CCRB,  
Observatoire du  
logement et immobilier  
Fribourg

# Urbanisme

---



**Florinel Radu**

Professeur  
Institut TRANSFORM

## **La Suisse s'urbanise ! La durabilité, la densification, la qualité de vie et la digitalisation sont en train de s'intégrer dans la conception de l'habitat du futur.**

### **Quelles sont les tendances majeures observées actuellement en matière d'urbanisme ?**

L'urbanisme se trouve actuellement face à des enjeux majeurs liés à la durabilité et au changement climatique. La modification des modes de vie exigée par ces défis ne peut que passer par un changement du cadre de vie urbain. Les urbanistes et les autres acteurs concernés doivent offrir aux habitant-e-s des quartiers et des infrastructures favorisant, entre autres, la réduction de la consommation des ressources, la mobilité douce, le maintien de la biodiversité et une mixité fonctionnelle et sociale. Or, pour atteindre ce but, il faut changer l'ensemble des pratiques et mettre en place des formes de collaboration impliquant tous les partenaires.

### **Densification et qualité de vie sont-elles compatibles ?**

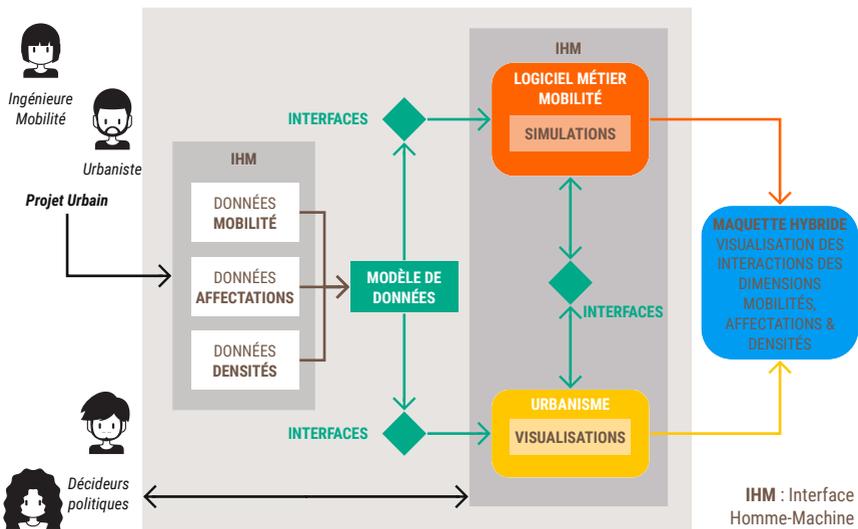
La forte densification des villes après l'adoption de la Loi de l'aménagement du territoire en 2014 engendre des craintes de perte de qualité de vie de la part de la population. Néanmoins, il y a de plus en plus d'exemples de nouveaux quartiers qui présentent à la fois une densité et une habitabilité élevées. Car la densification amène non seulement plus d'habitant-e-s, mais aussi la possibilité d'offrir plus de services de proximité comme l'accès aux transports publics et des opportunités de rencontre. Mais les clés d'une densification qualitative sont la prise en compte de la diversité des préférences résidentielles et la possibilité d'appropriation des espaces intérieurs et surtout extérieurs.

### **Qu'est-ce que la pandémie a changé dans votre domaine ?**

L'isolement et le télétravail pendant la pandémie ont démontré que l'habitat ne se résume pas à l'appartement. Nous avons également besoin d'espaces de qualité tant dans le bâtiment où on habite que dans le voisinage. Deux exemples peuvent illustrer la satisfaction de ce besoin : la possibilité de partager un bureau ou un atelier avec un petit groupe et l'accès à des espaces extérieurs où la nature est présente. Dans mon domaine, cela signifie que l'urbanisme et l'architecture doivent être pensés conjointement. Tout comme le fait que la digitalisation de la société dans son ensemble doit également couvrir la gestion de la ville (« Smart City »).

# City Pulse SIM

Outil de simulation des interactions urbanistiques : affectations, densités, mobilités.



City Pulse SIM est justement une contribution à la digitalisation dans les projets urbains. Réalisé par les instituts TRANSFORM, iSIS (Sandy Ingram) et iTEC (Marc-Antoine Fénart), il offrira aux personnes concernées la possibilité de comprendre plus facilement les projets et de faire des choix éclairés. Il est une alternative à la représentation usuelle en visualisant sur un écran les flux des différents types de mobilité induits par le nouveau quartier.

L'outil permettra de modifier en temps réel les paramètres de densité et d'affectation et d'observer l'impact sur la mobilité. Pour arriver à ce résultat, il a fallu trouver un langage et une logique de travail communs entre les trois disciplines, un défi de taille !

L'équipe de projet a bénéficié du soutien de la Ville de Fribourg qui lui a mis à disposition les données, assurant ainsi la compatibilité de l'outil avec le système actuel de gestion.

La Ville pourra l'utiliser dans son potentiel projet « Fribourg - Smart City » et l'Agglomération pour son futur développement territorial.

#### Durée du projet :

2020 - 2022

#### Partenaires :

iSIS, iTEC,  
Ville de Fribourg

# Processus de numérisation dans la construction

---



**Redouane Boumaref**

Professeur  
Institut TRANSFORM

**La numérisation bouscule le domaine de la construction : Simple outils ou révolution méthodologique, risques ou rationalisation des ressources métier ? La réalité se trouve probablement au croisement de ces réflexions.**

## **Où en est l'adoption du BIM (Building Information Modeling) en Suisse ?**

La numérisation du domaine de la construction continue à avancer à grand pas en Suisse. Le message fort porté par la Confédération dans « Suisse numérique », adopté par le conseil fédéral en 2020, montre clairement l'orientation et les moyens à mettre en œuvre pour favoriser une adoption généralisée des méthodes numériques efficaces. Malgré certaines appréhensions, le plus souvent suscitées par un manque de connaissances, les méthodes BIM sont de plus en plus exigées par les mandant-e-s. De ce fait, les mandataires s'alignent aux exigences, se renseignent ou se forment.

## **Quels sont les principaux enjeux actuels ?**

La conscientisation des acteurs est probablement l'enjeu principal pour l'implémentation du BIM. Elle nécessite une stratégie d'information, d'évaluation et d'action. Les représentations factuelles peuvent jouer un rôle central en organisant par exemple une communication précise et efficace orientée métiers. Connaître la situation réelle de ses capacités et compétences en BIM est le premier pas proactif de cette démarche, qu'elle soit en auto-évaluation ou en accompagnement, elle nécessite des outils de mesure contextuels, crédibles et précis. Un plan de formation spécifiquement développé pour réduire l'écart entre les niveaux d'expertise audités et ceux visés par les spécialistes du domaine doit être mis en place.

## **Quels sont vos collaborations avec les partenaires régionaux ?**

Qu'il s'agisse du Smart Living Lab, du Building Innovation Cluster, de l'Etat de Fribourg par sa nouvelle politique régionale (NPR) ou encore du Conseil de l'architecture, de l'urbanisme et de l'environnement de la Haute-Savoie en France, nous avons développé des relations proches avec nos partenaires. Notre but étant d'avancer conjointement sur des projets de recherche s'intéressant à la question de la numérisation dans le domaine de l'architecture, la construction et l'ingénierie. De par leur expertise ou leur financement, des partenaires privés s'impliquent également sur ces projets.

# PaNBIM

## Valorisation des données numériques BIM en patrimoine numérique.

L'intégration du BIM dans le domaine de la construction amène son lot de problématiques connexes. La question de la pérennité d'usage et de la disponibilité des données est une question posée par toutes les disciplines amenées à gérer un volume de données, elle n'est donc pas spécifique au domaine de la construction. L'enjeu majeur de cette étude est de définir les conditions nécessaires pour garantir l'accessibilité et l'usage d'un flux de données dans un périmètre temporel correspondant à la durée de vie de l'actif bâti.

**Durée du projet :**

2019 - 2021

**Partenaire :**

H-FR

---

# BIM-UP

## Etat de maturité BIM et mesures de soutien à la transition numérique.

Le projet collaboratif BIM-UP poursuit un double objectif, celui d'identifier le niveau de maturité BIM et de définir les cibles à atteindre par les entreprises du domaine de la construction du canton de Fribourg. Cette identification est la résultante de l'analyse d'un échantillon significatif d'entreprises sondées. Le but étant de proposer un référentiel de mesures de soutien, ainsi que des outils d'accompagnement pour réduire l'écart entre le niveau BIM constaté et le niveau BIM visé. Ce niveau est requis pour satisfaire les exigences d'un projet de construction et de gestion selon la méthode BIM.

**Durée du projet :**

2020 - 2022

**Partenaires :**

HEG Fribourg, État de Fribourg – NPR, Building Innovation Cluster (BIC), Fédération fribourgeoise des entrepreneurs (FFE), Union patronale du canton de Fribourg (UPCF), EPFL Building2050, Antiglio, Abvent, BFF SA, Element Ag, Grisoni Zaugg, Groupe e, Objectif BIM, SINEF.

# Structures et rénovation

---



**Mylène Devaux**

Professeure  
Institut ITEC

**Fin 2020, on recensait en Suisse 1,77 million de bâtiments à usage d'habitation (OFS); de ces bâtiments, une large majorité doivent être assainis pour respecter les objectifs de la stratégie énergétique 2050 et répondre aux nouveaux standards des normes en vigueur.**

**Quelle est la part du gros œuvre dans l'impact environnemental de la construction ?**

À l'heure actuelle, construire un bâtiment impacte l'environnement négativement et de manière plus ou moins importante selon l'impact écologique des matériaux mis en œuvre qui dépend des matières premières exploitées (conditions d'extraction, etc.), de l'énergie consommée pendant la phase de la fabrication/transformation du matériau, des substances polluantes utilisées, etc. Bien que la construction d'un bâtiment génère un impact environnemental négatif, il est important de mentionner que la démolition d'un bâtiment génère également un impact significatif sur l'environnement qui est d'autant plus important si les matériaux ne sont pas recyclés.

**Quelles sont les pistes les plus prometteuses pour la diminuer ?**

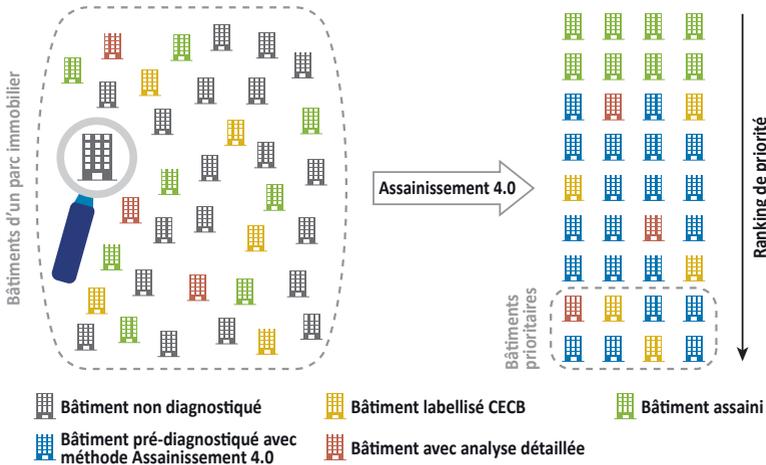
En considérant le cycle de vie d'un bâtiment dans sa globalité, qu'il s'agisse d'un futur ouvrage ou d'un bâtiment existant, on peut réduire significativement son impact écologique. En effet, le gros œuvre pèse lourd dans le bilan écologique d'une construction, mais le second œuvre ainsi que l'implémentation du bâtiment dans son environnement peuvent également impacter négativement l'empreinte écologique d'un bâtiment. Dès lors, dans le cadre du bâti existant, comme le gros œuvre pèse généralement le bilan écologique d'une construction, la solution qui s'avère souvent la plus durable est d'assainir le bâtiment et de le surélever le cas échéant.

**Lesquelles explorez-vous dans vos recherches ?**

Dans le cadre du bâti existant, conserver et assainir le bâtiment est souvent une alternative plus durable que la démolition. Néanmoins, les bâtiments existants sont confrontés à de nombreux problèmes de conformité plus ou moins importants par rapport aux normes actuelles. La mise en conformité du bâti étant une nécessité, il est judicieux de s'intéresser à l'ensemble de ces problématiques afin de projeter une intervention globale au lieu d'une série de petites interventions non coordonnées. Une telle analyse globale est néanmoins complexe, car pluridisciplinaire ; les compétences nécessaires étant réunies au sein du SLL, des travaux de recherche ambitieux avec une approche globale du bâti sont actuellement en cours avec d'excellents résultats.

# Assainissement 4.0

Analyse rapide de parcs de bâtiments par IA et systèmes experts pour estimer leurs performances énergétique et structurelle afin de définir des stratégies d'assainissement adaptées et un bilan carbone favorable.



Poussé par la stratégie énergétique 2050 décidée par le Conseil Fédéral et l'évolution récente des conditions d'approvisionnement en énergie, les projets d'assainissement de bâtiments vont devoir s'intensifier dans les prochaines décades. Sachant que le parc immobilier suisse compte environ 1 million de bâtiments d'habitation construits avant 1980 et qu'une large majorité de ces bâtiments ne sont pas encore partiellement ou totalement assainis, il n'est financièrement pas raisonnable de traiter tous les bâtiments un par un.

Dans ce contexte, le projet Assainissement 4.0 vise le développement d'un outil d'estimation des performances énergétiques et structurelles d'un parc immobilier basé sur le Machine Learning pour accélérer et réduire le coût d'élaboration de plans stratégiques d'intervention à l'échelle d'une ville ou de parcs entiers de bâtiments en exploitant les données numériques disponibles. L'objectif final est d'établir une classification des bâtiments selon leur potentiel d'amélioration en combinant le traitement des problématiques énergétiques et structurelles.

**Durée du projet :**

2020 – 2022

**Partenaires :**

ENERGY, TRANSFORM

# Structures et économie circulaire

---



**Dario Redaelli**

Professeur  
Institut ITEC

## **Des systèmes porteurs modulaires et réutilisables pour contribuer à la réduction de l'impact environnemental du secteur de la construction.**

### **Economie circulaire : réelle opportunité ou vœux pieu ?**

L'adoption de stratégies d'économie circulaire dans l'ingénierie des structures est une nécessité incontournable si l'on veut réduire l'impact environnemental du secteur de la construction. Actuellement, la stratégie circulaire courante consiste à utiliser des matériaux issus du recyclage pour la construction de nouvelles structures. Une approche nettement plus efficace consiste à éviter de construire de nouvelles structures en augmentant la durée de vie des structures existantes ou en utilisant des systèmes porteurs réutilisables. Cette dernière option, encore peu répandue dans la pratique, représente une réelle opportunité d'un point de vue économique et environnemental.

### **Comment développer cette pratique ?**

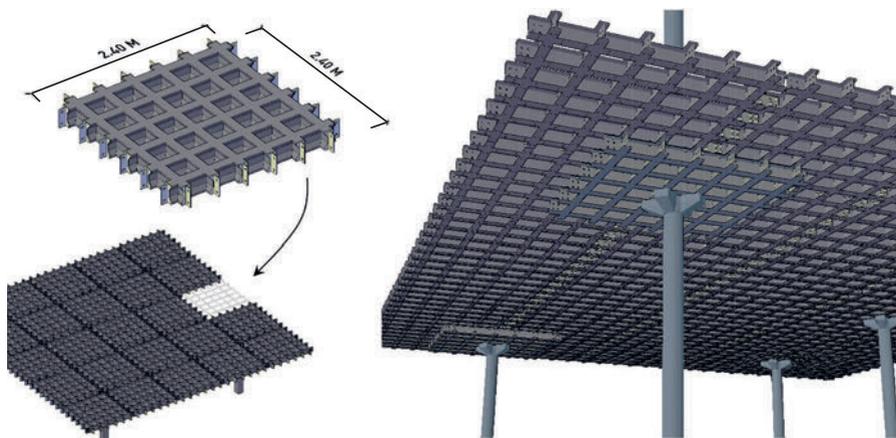
Considérons le cas des systèmes porteurs réutilisables. En premier lieu, il faut concevoir et développer de nouvelles solutions pour des éléments démontables et transportables qui respectent les exigences de sécurité et services requises pour les structures porteuses. De plus, ces dernières doivent rester intéressantes d'un point de vue environnemental et financier. Il faut également fournir aux ingénieurs de la pratique des guides, des normes et des exemples construits réels desquels s'inspirer. Pour cela, le soutien de maîtres d'ouvrage sensibles aux enjeux environnementaux et prêts à implémenter des solutions innovantes dans des projets « pilotes » est souvent un élément clé de succès.

### **Quelles conséquences pour le métier d'ingénieur en structures ?**

La réutilisation d'éléments porteurs nécessite d'adapter les méthodes : on passe du dimensionnement « sur mesure » de structures qui répondent à un cahier de charges particulier et qui sont à chaque fois uniques, à un mode de construction par assemblage de pièces pré-existantes, de géométrie et résistance données. Un peu comme dans un jeu de construction ! Cela crée des nouveaux défis et opportunités : par exemple, concevoir les connexions entre des modules porteurs, qui doivent être démontables, mais en même temps ajustés, très solides et durables ; ou encore, définir des procédures automatisées pour trouver l'arrangement spatial optimal des éléments.

# ReuSlab

Un système porteur de bâtiment modulaire, réutilisable et adaptable, qui concilie de manière optimale les exigences statiques, architecturales, écologiques et économiques.



L'idée d'étudier des systèmes porteurs réutilisables a été lancée au SLL par le professeur Corentin Fivet (SXL, EPFL). Dans le projet Build-Unbuild-Repeat (2017-2019), ITEC et SXL ont développé ensemble un concept novateur de plancher de bâtiment modulaire, réversible, démontable et extrêmement versatile. Le concept a été breveté et a donné naissance à la start-up Aeternum Technologies SA.

En 2019, un deuxième projet de recherche, ReuSlab, a été lancé pour finaliser le développement technico-constructif du système porteur, en vue de son industrialisation et en tenant compte des exigences statiques, fonctionnelles et architecturales.

Trois variantes ont été étudiées en détail (bois, acier, BFUP). Celle en acier a été retenue de par son efficacité statique. En collaboration avec l'entreprise Stephan SA, le projet a permis d'établir les bases du dimensionnement système du système, de démontrer sa faisabilité technique et d'évaluer son coût de fabrication et ses avantages environnementaux.

**Durée du projet :**  
2019 - 2021

**Partenaires :**  
TRANSFORM, SeSi,  
EPFL SXL, Stephan SA

# Matériaux à faible impact

---



## Ricardo Serpell

Adjoint scientifique  
Institut ITEC

### **Transformer efficacement les déchets en matériaux est un défi majeur pour la gestion durable de notre environnement bâti.**

#### **Que faire pour diminuer l'impact environnemental des matériaux de construction ?**

La construction de bâtiments et d'infrastructures mobilise une énorme quantité de matériaux. Leur production nécessite une grande quantité de ressources primaires et leur élimination finale génère une quantité équivalente de déchets. Dans le contexte d'une économie linéaire, l'impact environnemental de ces deux processus s'additionne. La circularisation du cycle de vie des matériaux a le potentiel de réduire simultanément ces deux impacts, grâce à la réutilisation et au recyclage des matériaux. L'utilisation de déchets d'autres industries comme ressource pour la fabrication de matériaux de construction a un potentiel similaire.

#### **Y a-t-il un espace pour innover dans ce domaine ?**

Sans aucun doute. Les déchets de construction et de démolition sont de loin le plus grand flux de déchets au monde. En Suisse, ils représentent plus de 20 % de tous les déchets produits. En visant une économie circulaire, la réglementation exige une démolition sélective pour préparer les matériaux à la réutilisation et au recyclage. Cependant, bien que les technologies de séparation soient bien établies, le recyclage des déchets spécifiques reste un défi. Dans le cas des déchets de type minéral (déchets de béton, briques, céramiques, etc.), il existe encore des défis technologiques majeurs qui empêchent leur réutilisation efficace dans des matériaux de valeur similaire à ceux d'origine.

#### **Quelles recherches menez-vous dans ce domaine ?**

Mes recherches portent sur le développement de nouveaux matériaux composites à partir de déchets de construction et d'autres industries. Une étude approfondie des caractéristiques et de la microstructure des matières premières et de leurs assemblages, associée à un plan d'expériences conçu pour identifier clairement leurs effets sur les propriétés des matériaux, permet d'optimiser efficacement les performances des nouveaux matériaux, non seulement en réponse aux exigences de l'industrie, mais aussi en ce qui concerne leur impact environnemental.

# ECon-BioLA

Nouveaux bétons écologiques basés sur des agrégats légers artificiels à base de déchets de biomasse à faible consommation d'énergie.



Le projet vise à contribuer à la réduction de l'empreinte carbone des bâtiments légers en bois. Cette réduction passe par une optimisation multidimensionnelle des matériaux en béton coulé utilisés dans ces bâtiments à des fins physiques et structurelles. Il tient compte d'une évaluation holistique de la contribution du matériau à la performance du cycle de vie complet du bâtiment dans des scénarios d'application réels.

Le développement de ces bétons optimisés implique le réglage fonctionnel et la validation de prototypes de nouveaux granulats légers à faible consommation d'énergie. Ils ont récemment été élaborés à l'institut ITEC par la liaison à froid de sous-produits de l'industrie locale. Des matrices de liants compatibles ont simultanément été développées, afin d'obtenir les améliorations attendues de l'empreinte carbone au niveau du matériau, du composant et du bâtiment, tout en respectant les objectifs de performance des matériaux définis par l'application envisagée.

**Durée du projet :**

2021 - 2022

**Partenaires :**

ENERGY, ChemTech

# Cycle de l'eau

---



**Michaël Pfister**

Professeur  
Institut ITEC

**L'eau joue un rôle important en milieu urbain : Elle représente à la fois une utilité et un danger. Aujourd'hui, les agglomérations et le climat évoluent, ce qui pose de nouveaux défis pour la gestion durable des eaux urbaines.**

## **Quels sont les enjeux liés à l'utilisation de l'eau en milieu construit ?**

D'un point de vue historique, la population a optimisé l'utilisation de l'eau et en a écarté les risques. Elle a rendu l'eau potable accessible, transporté des déchets à l'aide de l'eau et évacué les crues. Cette approche n'était malheureusement pas durable, car les eaux urbaines ont été polluées et leur régime hydraulique modifié. La protection légale des eaux et l'épuration des eaux usées sont des approches plutôt récentes.

## **Le changement climatique fait-il apparaître de nouveaux enjeux ?**

Le changement climatique a un impact sur le cycle de l'eau. Les données et les modélisations actuelles indiquent notamment une augmentation des pluies abondantes. Celles-ci ont une double influence sur l'eau en ville. Premièrement, le système d'évacuation des eaux urbaines doit faire face à des pics d'écoulement plus importants. Celles-ci doivent être évacuées en toute sécurité hors de la ville ou, mieux encore, s'infiltrer localement. Deuxièmement, même si le volume des précipitations reste similaire, moins d'eau peut globalement s'infiltrer et s'ajouter à la nappe phréatique. Les fortes pluies forment un ruissellement de surface et ne bénéficient pas du temps nécessaire à l'infiltration.

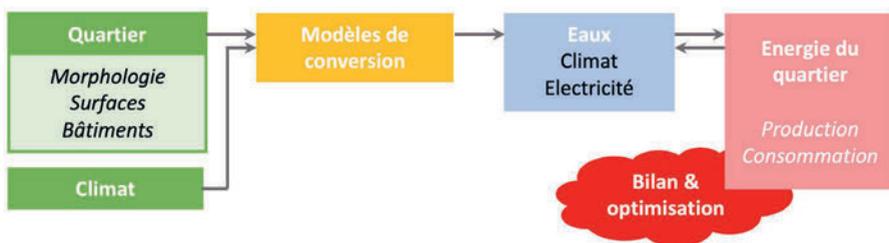
## **En quoi vos recherches peuvent-elles faire évoluer la pratique ?**

Nous essayons de comprendre comment les cycles de l'eau sont impactés par le changement climatique pour en déduire ensuite des mesures.

Dans un projet, nous avons observé une source en milieu urbain dont nous connaissons les écoulements des 70 dernières années. Durant cette période, le bassin versant est passé d'un caractère rural à un caractère urbain et le changement climatique a commencé. Au moyen d'un modèle, nous avons pu reproduire le bilan hydrique et faire des estimations pour le rendement futur. Il s'en est suivi une recommandation sur l'infiltration future du ruissellement de surface afin de maintenir le rendement.

# BlueEnergy

Valorisation du potentiel énergétique et climatique des eaux locales pour l'habitat du futur.



L'urbaniste développe des concepts qui, entre autres, garantissent le bien-être et intègrent autant que possible l'environnement naturel. Le cycle de l'eau fait partie de cet environnement naturel.

L'étude se concentre sur le potentiel thermique de l'eau "captée" dans les quartiers, c'est-à-dire notamment l'eau pluviale, l'eau potable et l'eau usée. Dans le projet, ces eaux sont, dans un premier temps, quantifiées pour trois quartiers existants de la Ville de Fribourg et analysées quant à leur potentiel thermique, qui est comparé aux besoins en chaleur des quartiers.

Un modèle générique, représenté de manière simplifiée dans l'illustration, a été développé pour décrire les liens significatifs. Il est suivi d'indicateurs qui, dans un deuxième temps, seront appliqués à l'exemple du quartier projeté de bluefactory. Parallèlement, les indicateurs démontrent également un potentiel possible qui, on l'espère, pourra être mieux exploité dans les futurs plans directeurs.

**Durée du projet :**  
2021 - 2022

**Partenaires :**  
ENERGY, TRANSFORM,  
SINEF

## **Impressum**

RÉDACTION  
Jean-Philippe Bacher  
Violaïne Coard  
Responsables de projets

RELECTURE  
Laure Thorens

TRADUCTIONS  
Nina May Vicente

GRAPHISME  
Gabriel Demierre

PHOTOS  
Alain Wicht / La Liberté  
BFF SA / Behnisch Architekten  
Charly Rappo / La Liberté  
Guillaume Perret / Lundi 13  
Horsform / Nicolas Brodard  
Shutterstock  
Thomas Delley

IMPRESSION  
HEIA-FR, service de reprographie

©2022  
Haute école d'ingénierie et d'architecture  
de Fribourg (HEIA-FR)



The mark of  
responsible forestry

