

# 2023

Rapport  
annuel



## Impressum

### Concept et rédaction

Martin Gonzenbach  
Emilien Schenker

### Avec la contribution de

Marilyne Andersen  
Véronica Cubarle  
Teresa Messina  
Claudia Gil  
Corentin Fivet  
Dolaana Khovalyg  
Dusan Licina  
Andrew Sonta  
Sergi Aguacil  
Jean-Philippe Bacher  
Violaine Coard  
Patrick Favre-Perrod  
Séréna Vanbutsele  
Fabienne Favre  
Hans-Georg Fill  
Sofia Martin Caba  
Denis Lalanne  
Martin Beyeler

### Relecture

Martin Gonzenbach  
Emilien Schenker  
Christine Aebischer  
Eloïse Singer  
Michaël Pfister  
Barbara Smith

### Graphisme

Aline Deschenaux

### Images

Nicolas Brodard  
Thomas Delley  
Sebastian Duque  
Alain Herzog  
Marc Reidy  
STEMUTZ  
Artur Tumasjan  
Sonia Villegas

### Impression

Centre d'impression EPFL  
Imprimerie climatiquement neutre certifiée myclimate  
© Smart Living Lab, 2024 | [www.smartlivinglab.ch](http://www.smartlivinglab.ch)

# Sommaire

4	Éditorial
5	Centre de recherche dédié au futur de l'environnement bâti
6	Comité de pilotage conjoint
7	Comité directeur
8	Commission scientifique
9	Domaines de recherche
10	Groupes de recherche
12	<b>EPFL - une institution de classe mondiale qui fait rayonner Fribourg à l'international</b>
14	Laboratoire d'exploration structurale   SXL   EPFL
16	Laboratoire d'ingénierie du confort intégré   ICE   EPFL
18	Laboratoire de l'environnement construit orienté sur l'humain   HOBEL   EPFL
20	Ingénierie civile et technologie pour la durabilité orientée sur l'humain   ETHOS   EPFL
22	Groupe Building2050   BUILD   EPFL
24	<b>HEIA-FR – un lien vital entre la recherche fondamentale et la pratique</b>
26	Institut de recherche appliquée en systèmes énergétiques   ENERGY   HEIA-FR
28	Institut d'architecture : patrimoine, construction et usages   TRANSFORM   HEIA-FR
30	Institut des technologies de l'environnement construit   ITEC   HEIA-FR



## 32 Unifr - interdisciplinarité et innovation



34	Institut Human-IST   Unifr
36	Institut pour le droit suisse et international de la construction   LAW   Unifr
38	Groupe Aide à la décision & recherche opérationnelle   DS&OR   Unifr
40	Groupe Numérisation et systèmes d'information   DIGITS   Unifr
42	Événements
44	Un vivier de talents internationaux pour l'industrie suisse
46	Stimuler l'innovation de la recherche jusqu'au marché
48	Chiffres-clés

# Une année de transformations et d'innovations pour le climat et l'environnement bâti

L'année 2023 a marqué un tournant décisif sur le front climatique, avec des avancées significatives à l'échelle locale, nationale et mondiale. Le 18 juin, le peuple suisse a approuvé la loi fédérale sur le climat et l'innovation, fixant des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour le secteur du bâtiment dont le zéro net en 2050 et encourageant le remplacement des chauffages à mazout et à gaz. De plus, le 30 juin, le Grand Conseil de Fribourg a adopté une loi cantonale ambitieuse visant une réduction de 50% des émissions directes d'ici 2030. Sur la scène internationale, la COP28, tenue en décembre 2023, a mis en lumière l'empreinte carbone des bâtiments et de la construction. L'UNEP et la Global Alliance for Buildings and Construction y ont réuni les principaux acteurs du secteur pour lancer de nouvelles initiatives visant la circularité et les objectifs net zéro.

Ces évolutions confirment que l'environnement bâti est à la fois cause et victime du dérèglement climatique, et que les innovations scientifiques sont plus que jamais nécessaires pour en relever les défis. Le Smart Living Lab rassemble recherche fondamentale et appliquée, éducation et innovation menées par l'EPFL, la Haute école d'ingénierie et d'architecture et l'Université de Fribourg. De fait, il se positionne comme un moteur essentiel dans le domaine de la construction durable. Avec des partenariats de premier plan au niveau local, national et européen, il se distingue par son approche expérimentale, allant du développement de prototypes à des solutions prêtes pour l'industrialisation.

Ce rapport d'activités présente une sélection du vaste spectre de travaux menés au Smart Living Lab en 2023 : ceux-ci incluent des pratiques constructives fondées sur la circularité et les matériaux biosourcés, des développements sur l'équilibre délicat entre performance énergétique et qualité environnementale intérieure et les effets de celle-ci sur la santé et le bien-être humain, et s'étend également aux habitus liés à l'environnement bâti, sa transformation et sa rénovation, ainsi qu'à l'usage de la réalité augmentée et des jumeaux numériques au service de la durabilité.

Parallèlement, il est réjouissant de constater que les talents internationaux formés au Smart Living Lab répondent à la demande de l'industrie suisse. Ce rapport présente les portraits de deux doctorants lauréats de bourses européennes qui ont achevé leurs thèses en étroite collaboration avec des entreprises de la région : Honeywell / Saia-Burgess Controls à Givisiez et Estia, référence romande de la physique du bâtiment implantée à l'EPFL Innovation Park. Nestlé et Siemens Suisse bénéficient aujourd'hui de leurs compétences.

Finalement, deux start-up continuent de démontrer la capacité du Smart Living Lab à transformer des recherches de pointe en solutions concrètes pour le marché. Aeternum, qui développe des systèmes de construction circulaires, a construit son premier prototype et démonstrateur grandeur nature. Quant à Vizcab, qui offre les outils pour l'évaluation de l'empreinte carbone des projets de construction, elle a bouclé une nouvelle levée de fonds de 9 millions d'euros, anticipant ainsi une vaste expansion à l'international en 2024.

**Marilyne Andersen, directrice académique**  
**Martin Gonzenbach, directeur opérationnel**

# Centre de recherche dédié au futur de l'environnement bâti

**Le Smart Living Lab est un projet commun du Canton de Fribourg, de l'EPFL, de la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg et de l'Université de Fribourg. Chacun des partenaires académiques y participe avec ses propres moyens et reçoit un soutien financier spécifique de la part du Canton.**

En outre, le Canton de Fribourg met à disposition les locaux situés à Bluefactory et finance la construction du bâtiment du Smart Living Lab. Le Smart Living Lab dispose d'un budget annuel pour la communication et les événements, alimenté par les quatre partenaires.

La conduite stratégique du Smart Living Lab est assurée par un Comité de pilotage conjoint aux institutions partenaires. Quant à la mise en œuvre, elle est l'affaire du Comité directeur. La Commission scientifique réunit les responsables académiques des groupes de recherche du Smart Living Lab. Les équipes administratives et techniques du Smart Living Lab réalisent au quotidien les tâches de fonctionnement du centre de recherche.

## Administration et technique

### EPFL

#### Véronica Cubarle

Assistante administrative

#### Claudia Gil

Assistante administrative

#### Adeline Guélat

Responsable communication ad interim

#### Claude-Alain Jacot

Responsable technique

#### Teresa Messina

Assistante administrative

#### Stéphane Pilloud

Spécialiste technique

#### Laure Thorens

Responsable communication

### HEIA-FR

#### Chantal Blanc

Assistante administrative

#### Violaine Coard

Adjointe coordination

#### Charles Riedo

Collaborateur technique

### Unifr

#### Sofia Martin Caba

Responsable coordination

#### Jenny Imboden

Responsable coordination ad interim



De gauche à droite : Stéphane Pilloud, Violaine Coard, Adeline Guélat, Laure Thorens, Charles Riedo, Teresa Messina, Claude-Alain Jacot, Véronica Cubarle.

# Comité de pilotage conjoint

## Canton de Fribourg



**Olivier Curty**  
Conseiller d'Etat,  
Direction de l'économie,  
de l'emploi et de la formation professionnelle,  
Co-président du comité de pilotage conjoint



**Sylvie Bonvin-Sansonnens**  
Conseillère d'Etat,  
Direction de la formation et des affaires culturelles



**Jerry Krattiger**  
Promotion économique PromFr, Département de l'économie, de l'emploi et de la formation professionnelle

## EPFL



**Matthias Gäumann**  
Vice-président pour les opérations,  
Co-président du comité de pilotage conjoint



**Jan Hesthaven**  
Vice-président académique



**Ursula Oesterle**  
Vice-présidente pour l'innovation



**Claudia Binder**  
Doyenne de la Faculté de l'environnement naturel, architectural et construit (ENAC)

## HEIA-FR



**Jean-Nicolas Aebischer**  
Directeur

## Unifr



**Astrid Epiney**  
Rectrice

# Comité directeur

## EPFL



**Marilyne Andersen**  
Directrice académique du Smart Living Lab | Co-présidence du comité directeur



**Martin Gonzenbach**  
Directeur opérationnel EPFL Fribourg et Smart Living Lab | Co-présidence du comité directeur



**Corentin Fivet**  
Directeur du Laboratoire d'exploration structurale (SXL)

## HEIA-FR



**Jean-Philippe Bacher**  
Responsable Smart Living Lab pour la HEIA-FR

## Unifr



**Hans-Georg Fill**  
Directeur du groupe Numérisation et systèmes d'information (DIGITS) | Responsable Smart Living Lab pour l'Unifr

## Canton de Fribourg



**Jerry Krattiger**  
Promotion économique PromFr, Département de l'économie, de l'emploi et de la formation professionnelle



# Commission scientifique

## EPFL



**Marilyne Andersen**  
Directrice académique du Smart Living Lab, Présidence de la Commission scientifique



**Corentin Fivet**  
Directeur du Laboratoire d'exploration structurale (SXL)



**Dolaana Khovalyg**  
Directrice du Laboratoire d'ingénierie du confort intégré (ICE)



**Dusan Licina**  
Directeur du Laboratoire de l'environnement construit orienté sur l'humain (HOBEL)



**Andrew Sonta**  
Directeur du Laboratoire d'ingénierie civile et technologie pour la durabilité orientée sur l'humain (ETHOS)



**Sergi Aguacil**  
Responsable du Groupe Building2050 (BUILD)

## HEIA-FR



**Jean-Philippe Bacher**  
Responsable Smart Living Lab pour la HEIA-FR



**Patrick Favre-Perrot**  
Responsable de l'Institut ENERGY



**Séréna Vanbutsele**  
Responsable de l'Institut TRANSFORM



**Fabienne Favre**  
Responsable de l'Institut ITEC

## Unifr



**Hans-Georg Fill**  
Directeur du groupe Numérisation et systèmes d'information (DIGITS) | Responsable Smart Living Lab pour l'Unifr



**Denis Lalanne**  
Directeur de l'Institut Human-IST



**Martin Beyeler**  
Professeur, Institut pour le droit suisse et international de la construction



**Bernard Ries**  
Directeur du groupe Decision Support & Operations Research (DS&OR)

# Domaines de recherche

## 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

Évaluer 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 les outils pour concevoir, modéliser et exploiter les bâtiments.

# Groupes de recherche



## RÉEMPLOI

- ▶ Laboratoire d'exploration structurale (SXL)  
**Prof. Corentin Fivet**

**EPFL**



## RECHERCHE

- ▶ Directrice académique du SmartLiving Lab, Présidente de la Commission scientifique  
**Prof. Marilyne Andersen**



## INTERDISCIPLINARITÉ

- ▶ Groupe Building2050 (BUILD)  
**Dr. Sergi Aguacil**



## AIR INTÉRIEUR

- ▶ Laboratoire de l'environnement construit orienté sur l'humain (HOBEL)  
**Prof. Dusan Licina**



## VILLE HUMAINE

- ▶ Laboratoire d'ingénierie civile et technologie pour la durabilité orientée sur l'humain (ETHOS)  
**Prof. Andrew Sonta**



## CONFORT PERSONNALISÉ

- ▶ Laboratoire d'ingénierie du confort intégré (ICE)  
**Prof. Dolaana Khovalyg**



## ÉNERGIE DURABLE

- ▶ Institut de recherche appliquée en systèmes énergétiques (ENERGY)  
**Prof. Patrick Favre-Perrot**



## ENVIRONNEMENT BÂTI

- ▶ Responsable de l'Institut iTEC  
**Prof. Fabienne Favre**



## TRANSFORMATION

- ▶ Institut d'architecture : patrimoine, construction et usages (TRANSFORM)  
**Prof. Sérena Vanbutsele**



## AIDE À LA DÉCISION

- ▶ Groupe Decision Support and Operations Research (DS&OR)  
**Prof. Bernard Ries**



## INTERACTION

- ▶ Institut d'interactions centrées sur l'humain - Sciences et Technologie (Human-IST)  
**Prof. Denis Lalanne**



## RÈGLES

- ▶ Institut pour le droit Suisse et international de la construction (LAW)  
**Prof. Martin Beyeler**



## NUMÉRISATION

- ▶ Groupe numérisation et systèmes d'information (DIGITS)  
**Prof. Hans-Georg Fill**

**UNI  
FR**  
UNIVERSITÉ DE FRIBOURG  
UNIVERSITÄT FREIBURG



# EPFL - une institution de classe mondiale qui fait rayonner Fribourg à l'international

Le Smart Living Lab a été fondé lors de l'implantation du campus permanent de l'EPFL à Fribourg en 2014. Il constitue aujourd'hui le cœur de ses activités dans le canton. L'EPFL assure la direction académique, la direction opérationnelle et l'administration de ce centre de recherche sur le futur de l'environnement bâti. Les activités de l'EPFL sont installées dans des bâtiments provisoires du quartier de Bluefactory en attendant la réalisation du bâtiment du Smart Living Lab.

Le Smart Living Lab comprend quatre chaires de l'EPFL, dirigées chacune par une professeure ou un professeur, affiliées à l'Institut d'ingénierie civile ou à l'Institut d'architecture de la faculté de l'environnement naturel, architectural et construit (ENAC). Alors que l'enseignement au niveau bachelor et master a toujours lieu sur le campus principal à Lausanne, l'EPFL mène à Fribourg des travaux scientifiques de recherche fondamentale et appliquée. Doctorant-e-s, postdoctorant-e-s, collaboratrices et collaborateurs scientifiques sont engagé-e-s à Fribourg pour ces missions, selon les processus de sélection usuels de l'EPFL, fondés sur l'excellence et ouverts à l'international.

En complément, et pour répondre aux besoins spécifiques du Smart Living Lab, l'EPFL a créé un groupe de soutien

à la recherche, nommé Building2050, spécialisé dans l'approche expérimentale dans le bâtiment, notamment en vue de l'utilisation du futur bâtiment du centre de recherche comme laboratoire vivant à échelle réelle, ou « living lab ». Le groupe Building 2050 a permis, depuis le tout début du projet Smart Living Lab, d'assurer l'intégration des besoins de la recherche dans le processus de conception du futur bâtiment du Smart Living Lab. Il offre par ailleurs un soutien spécialisé, des conseils scientifiques et un support à la coordination des efforts dans le cadre de projets de recherche collaboratifs à toute la communauté du Smart Living Lab, en gérant notamment les données partagées et les modèles numériques du bâtiment.

Une équipe technique très polyvalente fournit des prestations en lien avec l'expérimentation, l'acquisition de données, la fabrication de prototypes et l'enseignement. Des ateliers d'enseignement par le projet nécessitant des espaces de prototypage sont ainsi régulièrement organisés à Fribourg, où les étudiantes et les étudiants bénéficient d'une grande halle, l'Atelier PopUp et des espaces extérieurs propices à la construction sur le site de Bluefactory.

**Martin Gonzenbach, directeur opérationnel EPFL Fribourg et Smart Living Lab**



Laboratoire SXL



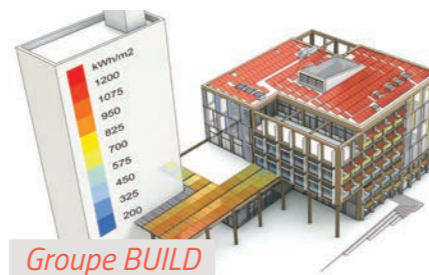
Laboratoire ICE



Laboratoire HOBEL



Laboratoire ETHOS



Groupe BUILD

# EPFL

## Temps forts 2023

### Enseignement

#### Enseignement par le projet

La halle de prototypage de l'Atelier Pop-up est un lieu unique pour l'apprentissage par la pratique. Des étudiantes et des étudiants EPFL des sections d'architecture, de génie civil et des sciences et ingénierie de l'environnement y viennent pour des ateliers leur permettant de se familiariser avec la réalité des matériaux et des procédés de construction. Des semaines de projets, des cours hebdomadaires et une académie d'été ont été complétés en 2023 par deux semaines de construction pour toutes les 242 étudiantes et étudiants de première année d'architecture, lors desquelles des prototypes ont été conçus et construits en terre crue.

### Événementiel

#### Conférence CISBAT

La conférence scientifique internationale CISBAT sur l'environnement bâti en transition a connu une édition record en 2023. Organisée tous les deux ans depuis plus de 30 ans, elle l'était pour la première fois sous l'égide du Smart Living Lab et avec la présidence de la professeure Marilyn Andersen. En format hybride sur une durée de trois jours, elle a accueilli environ 400 participant-es et donné lieu à près de 300 articles publiés. La communauté scientifique internationale présente à la visite du Smart Living Lab a une nouvelle fois exprimé un vif intérêt pour les recherches menées à Fribourg et les possibilités de collaboration.

#### Focus innovation

Dans le cadre de son programme KNOVA, l'EPFL offre chaque année à une cohorte d'entreprises l'opportunité d'explorer l'écosystème d'innovation gravitant autour des sites affiliés au [Switzerland Innovation Park Network West](#). La journée de visite à Fribourg présente non seulement le Smart Living Lab aux industriels intéressés, mais aussi les autres centres de recherche basés à Bluefactory et sur les sites d'innovation de canton.



### Animation

#### Neighborhub, 5 ans d'activation de quartier

Le [Neighborhub](#), la maison solaire conçue et réalisée par des étudiantes et des étudiants qui a remporté la compétition du Solar Decathlon aux Etats-Unis en 2017, sert depuis déjà 5 ans de maison de quartier et de démonstrateur dans le quartier d'innovation de Bluefactory. Lieu de vie, véritable activateur de quartier, le Neighborhub constitue un lieu inédit. Grâce à un partenariat entre Bluefactory Fribourg-Feiburg SA et l'EPFL, il continue d'accueillir une large palette d'activités ouvertes à tous les publics.

### Recherche

#### Relève scientifique

Quatre thèses de doctorat ont été achevées avec succès au sein des laboratoires de l'EPFL à Fribourg en 2023, un record. Deux d'entre elles ont été réalisées en partenariat avec l'industrie et avec le soutien d'une bourse de la Commission européenne, grâce au programme [EPFL innovators](#).

#### Recherche transdisciplinaire

Afin de renforcer les collaborations avec les entreprises et institutions du canton de Fribourg, la faculté ENAC a lancé un [appel à projets](#) pour des projets de recherche interdisciplinaires menés avec une entité partenaire non académique de Fribourg. Les projets sélectionnés seront connus à l'été 2024.

## Le potentiel de réutilisation du béton scié

Depuis quelques années, le Structural Xploration Lab (SXL) concentre ses recherches sur l'identification de nouvelles opportunités permettant d'équiper les pratiques architecturales et d'ingénierie structurale avec des outils facilitant la réutilisation de matériaux récupérés à partir de bâtiments soigneusement « déconstruits ». Après avoir développé des outils d'optimisation pour la réutilisation d'éléments en bois et en acier dans de nouvelles structures et s'appuyant sur le succès du prototype de passerelle « re:crete », le laboratoire démontre que l'utilisation de composants issus de la découpe de structures en béton armé est non seulement techniquement faisable mais aussi efficace sur le plan environnemental et économiquement viable.

Le béton est un matériau de construction extrêmement polyvalent et constitue l'ingrédient magique tant dans les structures techniquement conventionnelles que non conventionnelles. Grâce à ces nombreuses qualités, le béton est devenu une composante omniprésente de notre environnement bâti et le matériau de construction le plus largement utilisé en Suisse et dans le monde. Cependant, des tonnes de béton sont démolies chaque jour en raison de stratégies d'investissement agressives et d'une obsolescence incontrôlée. Ce processus souligne encore davantage l'impact dévastateur de l'industrie du béton sur l'environnement. Pourtant, dans bon nombre de ces cas de démolition prématurée, les propriétés mécaniques des éléments en béton restent intactes.

Face à cette incohérence et à la probabilité que le cycle démolition-construction-démolition continue de façonner l'évolution de l'environnement bâti, de nouvelles opportunités de développement doivent être explorées. Une alternative particulièrement prometteuse consiste à extraire (par exemple par sciage) des éléments en béton provenant de bâtiments obsolètes et à les réassembler pour créer de nouvelles structures. La réutilisation du béton est une approche pionnière de l'économie circulaire qui offre des avantages considérablement supérieurs aux techniques de construction conventionnelles et à la réutilisation d'autres matériaux. Cette pratique peut encourager de nouvelles façons de penser la matière, être financièrement avantageuse et conduire à la création et/ou au maintien d'emplois locaux et durables. Le seul inconvénient est que l'industrie a été très réticente à adopter cette approche.

Le SXL travaille actuellement sur plusieurs projets de recherche visant à démystifier et à promouvoir la réutilisation de dalles, murs, poutres et colonnes en béton. Cela comprend l'identification et l'analyse des précédents historiques, ainsi que l'établissement et le test de protocoles d'évaluation de réutilisabilité ou de nouveaux systèmes de construction. Nous développons et évaluons également l'impact de techniques d'assemblage ad-hoc, numérisons les processus industriels et construisons des prototypes. Jusqu'à présent, chaque nouveau résultat est une nouvelle raison de ne pas éviter de découper et de réutiliser les éléments en béton des bâtiments obsolètes.



## Projets phares

### ► Nouveaux systèmes de planchers extrêmement bas carbone avec réutilisation du béton

L'extraction minutieuse des éléments en béton armé provenant de structures sur le point d'être démolies et leur réutilisation directe comme éléments porteurs dans de nouveaux bâtiments est une stratégie émergente de gestion des ressources circulaire et à faible émission de carbone. En nous concentrant sur la construction des planchers, nous avons conçu un nouveau système de plancher pour immeubles de bureaux qui exploite les propriétés structurales des matériaux couramment jetés et est conçu pour être démontable, favorisant ainsi une réutilisation ultérieure. Une maquette de 30 m<sup>2</sup>, FLO, a été construite et testée pour ses performances structurales et environnementales, montrant des réductions substantielles (de 80% à 94%) des émissions de carbone par rapport aux planchers traditionnels. Cette étude met en lumière le potentiel inexploité de la réutilisation du béton armé pour une construction durable.

### ► Réutilisation d'éléments en béton armé dalle-poteau pour le pavillon rebâti

### ► Ajouts numériques pour la réutilisation de gravats de béton dans les murs porteurs



Corentin Fivet  
Directeur du  
Laboratoire SXL

« Le matériau de construction le moins polluant est celui qui est déjà mis en œuvre. Ne le gaspillons pas. »

### PUBLICATIONS CLÉS

► Computational Conceptual Design - Typological Exploration Of Spatial Truss Systems Through Optimization <https://doi.org/10.20898/j.iass.2023.026>

► From concrete waste to walls: An investigation of reclamation and digital technologies for new load-bearing structures <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2600/19/192019>

► Building structures made of reused cut reinforced concrete slabs and walls: A case study <https://doi.org/10.1201/9781003323020-18>

EN  
SAVOIR  
PLUS



### PARTENAIRES

Eindhoven University of Technology (TU/e)  
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment  
Bellastock  
University of Cambridge  
Ecole des Ponts ParisTech  
Tampere University

Technical University of Munich  
Medair  
University of Juba  
Haute Ecole d'Ingénierie et d'Architecture de Fribourg (HEIA-FR)  
SCOP2401  
ETH Zürich



# Améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments grâce à des stratégies de confort centrées sur la personne

Actuellement, les bâtiments privilégient l'évitement de l'inconfort plutôt que l'adaptation à des environnements intérieurs diversifiés, en négligeant la diversité humaine dans la conception et l'exploitation des systèmes thermiques. En conséquence, les occupants des bâtiments contemporains exploitent rarement leurs capacités d'adaptation pour supporter une large gamme de températures, ce qui pose des risques dans un contexte de changement climatique et d'événements météorologiques extrêmes.

La dépendance croissante aux systèmes de climatisation intérieure à forte consommation d'énergie exacerbe le réchauffement climatique en contribuant de manière significative aux émissions de gaz à effet de serre. Cela perpétue un cycle préjudiciable qui compromet les efforts nationaux et internationaux pour atténuer le réchauffement climatique. Ainsi, la réduction des émissions de gaz à effet de serre des bâtiments nécessite avant tout de diminuer la demande en énergie en favorisant l'adaptation des occupants à des plages de températures intérieures plus larges.

Cela peut être réalisé grâce à l'adoption de technologies intelligentes et personnalisées qui alignent l'offre d'énergie sur la demande humaine, réduisant ainsi le gaspillage d'énergie. Étant donné le rôle crucial des occupants dans la performance énergétique des bâtiments, nous préconisons la recherche sur le conditionnement thermique personnalisé. Cela implique le développement de systèmes de contrôle environnemental personnalisés, de capteurs de confort non intrusifs et de cadres de contrôle centrés sur l'occupant qui équilibrent les différents objectifs du bâtiment (par exemple, confort, efficacité énergétique et bien-être). Notre approche de recherche intègre les fondamentaux de la physique du bâtiment, la modélisation basée sur les données et l'expérimentation humaine, jetant les bases d'une durabilité accrue des bâtiments et d'un meilleur confort et bien-être des occupants.

## PUBLICATIONS CLÉS

► Chatterjee A., Khovalyg D. (2023) **Dynamic indoor environment using Reinforcement Learning- based controls: the opportunities and challenges**, Building and Environment, 244, 110766 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110766>

► Rida M., Abdelfattah M., Alahi A., Khovalyg D. (2023) **Toward contactless human thermal monitoring: A framework for Machine Learning-based human thermo-physiology modeling augmented with computer vision**, Building and Environment, 110850 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110850>

► Khovalyg D., Berquand C., Barthelmes V. M., Chatterjee A., Becchio C., Licina D. (2023) **Energy, SBS symptoms, and productivity in Swiss open-space offices: economic evaluation of standard, actual, and optimum scenarios**, Building and Environment, v. 242, 110565 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110565>

EN  
SAVOIR  
PLUS



## Projets phares

► **Dépense énergétique des êtres humains - modélisation à l'aide de capteurs greenteg** (Jeremy Di Dio, Thomas Srouf, Dolaana Khovalyg / Innosuisse)

Le projet visait à explorer les capacités des capteurs portables dans l'estimation de la dépense énergétique humaine. Il s'appuyait sur des données expérimentales du laboratoire ICE pour évaluer l'exactitude de différentes combinaisons de 16 capteurs greenteg positionnés sur différents sites du corps. Des modèles d'apprentissage automatique tels que Random Forest et LSTM ont été utilisés pour prédire la dépense énergétique mesurée via un calorimètre indirect. Grâce à des méthodes de prédiction personnalisées et généralisées, l'étude a identifié les paramètres essentiels pour l'estimation de la dépense énergétique et a suggéré des stratégies efficaces pour aborder les variations interindividuelles.

► **Contrôleur DIET : Environnement intérieur dynamique à l'aide de l'apprentissage par renforcement profond**

► **Adaptations aux environnements froids : Une étude comparative des modes de vie nomades actifs et sédentaires modernes**



*L'efficacité énergétique, dans l'environnement bâti, peut être atteinte en tenant compte de la demande des divers occupants des bâtiments. »*



Dolaana Khovalyg  
Directrice du  
Laboratoire ICE

## PARTENAIRES

Princeton University  
University of Pennsylvania  
Eindhoven University of Technology  
Politecnico di Torino  
Maastricht University  
Greenteg AG

# Construire vert, respirer propre : découvrir la qualité de l'air dans les bâtiments

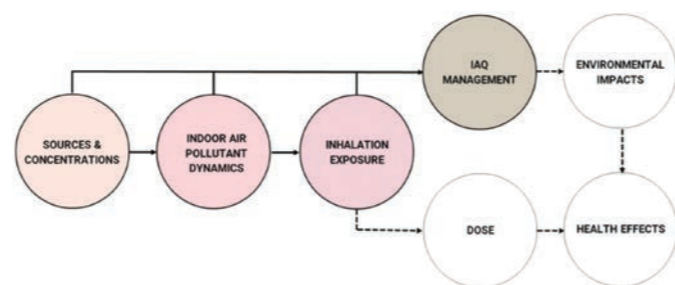
Le Human-Oriented Built Environment Lab (HOBEL) s'efforce de faire progresser les connaissances sur les interactions entre les personnes et les bâtiments, avec un accent principal sur l'assurance d'une haute qualité de l'air intérieur et du bien-être des occupants tout en minimisant la consommation d'énergie. Étant donné la nature intrinsèquement interdisciplinaire de la qualité de l'air intérieur, les recherches de HOBEL s'inscrivent dans les disciplines de la science du bâtiment, de la pollution de l'air et de l'exposition environnementale.

La mission de HOBEL est d'améliorer les connaissances dans les domaines des sources, des concentrations, des dynamiques et du devenir des polluants de l'air dans les bâtiments, des expositions humaines par inhalation, et plus largement, de la détection et de la gestion de la qualité de l'air intérieur, tout en étant conscients de l'efficacité énergétique. Collectivement, ces domaines de recherche forment un cadre cohérent pour aborder les défis multiformes associés à la qualité de l'air intérieur. HOBEL vise à apporter des perspectives et des solutions précieuses qui peuvent informer les meilleures pratiques en matière de conception, d'exploitation et de gestion des bâtiments, favorisant ainsi des environnements intérieurs plus sains et plus durables en assurant une haute qualité de l'environnement intérieur pour les occupants des bâtiments avec une consommation minimale d'énergie.

Les recherches de HOBEL se concentrent sur l'ingénierie de la qualité de l'air intérieur, en mettant l'accent sur quatre principaux thèmes de recherche interconnectés représentés dans le schéma ci-dessous par des cercles colorés. Ces thèmes englobent une compréhension complète des sources et des concentrations de polluants de l'air intérieur, de leurs transformations physiques et chimiques, et de leurs effets sur l'exposition humaine et la performance des bâtiments. Ces quatre thèmes de recherche sont fortement liés à la santé et au bien-être des occupants des bâtiments à travers une dose de pollution de l'air, ainsi qu'à la performance environnementale des bâtiments eux-mêmes (chaque thème représenté par des cercles blancs).

## Les quatre thèmes de recherche sont les suivants :

- Sources et concentrations des polluants de l'air dans les bâtiments
- Dynamique et devenir des polluants de l'air intérieur
- Exposition humaine par inhalation aux polluants de l'air
- Détection et gestion de la qualité de l'air intérieur



## PUBLICATIONS CLÉS

► Yun S, Licina D. (2023) [Investigation of indicators for personal exposure and occupancy in offices by using smart sensors](#), Energy and Buildings, 298, 113539

► Jhang H-Y, Yang S, Licina D. (2023) [Deposition of inhalable particles onto human clothing: A manikin-based chamber study](#), Building and Environment, 246, 110986

► Licina D, Boor B. (2023) [Size-resolved inhalation intake fractions for particles released from human activities in residential indoor environments](#), Building and Environment, 244, 110763

EN SAVOIR PLUS



## Projets phares

### ► ICARUS

La croissance démographique rapide et l'urbanisation sont actuellement confrontées à deux problèmes opposés : d'une part, le changement climatique et la crise énergétique exigent que des efforts sérieux soient déployés pour réduire la consommation d'énergie. À l'échelle mondiale, les bâtiments sont responsables de 40% de la consommation d'énergie et de 33% des émissions de gaz à effet de serre. La majorité de cette empreinte est attribuée au contrôle du climat intérieur par le chauffage, la climatisation et la ventilation. D'autre part, la pandémie de COVID-19 a mis l'accent sur l'importance de maintenir un air intérieur bien ventilé et/ou purifié pour réduire la transmission aérienne de SARS-CoV-2 et d'autres maladies telles que la grippe ou la rougeole. Une ventilation extensive, cependant, entraîne une consommation d'énergie et un coût élevé. Dans ce projet interdisciplinaire, nous avons appliqué une approche combinée expérimentale et de modélisation pour comprendre la dynamique et la persistance des pathogènes aériens respiratoires intérieurs, et pour identifier des stratégies qui optimisent le contrôle du climat intérieur à faible coût énergétique. Les résultats seront utiles aux chercheurs pour modéliser la dynamique des pathogènes intérieurs et évaluer l'exposition et les risques pour la santé des occupants, et pour les concepteurs et exploitants de bâtiments afin de rendre les stratégies de contrôle de la pollution et de ventilation plus efficaces, offrant ainsi un environnement bâti durable et sain.

### ► SWICE

► Exploration de la dynamique des nanoparticules et de la chimie en phase gazeuse dans les environnements intérieurs et son influence sur la charge d'inhalation humaine



Dusan Licina  
Directeur du  
Laboratoire HOBEL

« Les bâtiments du futur ne doivent pas seulement être efficaces sur le plan énergétique, mais aussi offrir une qualité de l'air « étoilée au guide Michelin. »

## PARTENAIRES

Denmark Technical University  
Max-Planck Institute for Chemistry  
University of California Berkeley  
Yale University  
Purdue University  
EURAC research  
University of Perugia  
University of Southern Denmark

Tsinghua University  
IVL Swedish Environmental Research Institute  
Technical University of Novi Sad  
Laboratory for Biomimetic Membranes and Textiles, EMPA  
Honeywell Building Technologies  
Siemens Building Technologies  
ESTIA SA



# Intégrer les objectifs sociaux et environnementaux pour un environnement bâti durable

La vision d'ETHOS est de tirer parti des données modernes et de l'informatique pour concevoir des interventions à l'échelle de notre environnement bâti qui répondent à nos objectifs sociaux et environnementaux. Les recherches d'ETHOS se concentrent sur le développement d'une meilleure compréhension de l'interaction homme-bâtiment pour la durabilité, en commençant par l'occupant individuel dans les bâtiments et en élargissant le champ d'application aux communautés dans les villes.

Lorsque nous aurons une image plus claire de la manière dont les gens utilisent et interagissent avec l'environnement bâti, nous pourrions élaborer des stratégies pour concevoir et gérer notre monde bâti de manière à améliorer à la fois nos expériences et les objectifs de durabilité environnementale. Par exemple, l'utilisation de capteurs pour comprendre comment les gens utilisent les espaces dans les bâtiments peut conduire à des suggestions simples ou à des améliorations qui favorisent une collaboration organisationnelle plus efficace tout en économisant de l'énergie dans le fonctionnement du bâtiment. À l'échelle urbaine, les techniques basées sur les données peuvent nous aider à découvrir comment un aménagement urbain économe en énergie et propice à la marche influence la capacité des communautés à former des réseaux sociaux cohésifs.

Les premiers projets d'ETHOS ont été lancés en 2023 :

- **Un jumeau numérique urbain centré sur l'humain**  
ETHOS développe des outils informatiques basés sur l'apprentissage automatique qui informent mieux les parties prenantes urbaines sur les impacts humains de la réponse à la demande et de la performance énergétique des bâtiments.
- **Conception et exploitation des bâtiments centrées sur l'occupant**  
À l'intérieur du bâtiment, nous développons des modèles et des cadres qui fournissent des informations plus détaillées sur les interactions homme-bâtiment, y compris le confort thermique et les interactions avec les commandes et les fonctionnalités du bâtiment.
- **Conception de villes pour soutenir la mobilité active**  
Nous travaillons à comprendre comment la conception des villes impacte les comportements de marche et les activités piétonnes, et comment cette mobilité active peut influencer des résultats centrés sur l'humain comme la cohésion sociale.



## Projets phares

### ► 15minESTATES

Le projet examine le nexus de (1) l'espace urbain, (2) les options de transport, et (3) les besoins et capacités des personnes en tant que dimensions clés pour les transitions vers une mobilité durable. Avec un accent particulier sur les grands domaines immobiliers (LHE), environnements urbains complexes qui abritent de nombreux habitants dans toute l'Europe, le projet vise à co-créer des stratégies et interventions spatiales localement adaptées et acceptées pour une mobilité juste et durable. Le projet adoptera une approche d'étude de cas comparative, en se concentrant sur cinq LHE en Bulgarie, Hongrie, Allemagne, Pays-Bas, et Lettonie. ETHOS dirige les efforts pour modéliser et développer des interventions urbaines qui améliorent l'accessibilité dans les 15minESTATES

### ► UrbanTwin

### ► (Apprentissage automatique) Étude des impacts économiques des politiques de construction de logements écologiques en Suisse



Andrew Sonta  
Directeur du  
Laboratoire ETHOS

« Nos recherches se concentrent sur le développement d'une meilleure compréhension de l'interaction entre l'humain et le bâtiment, au service de la durabilité. »

## PUBLICATIONS CLÉS

► Sonta, A. and Jiang, X. (2023). Rethinking walkability: [Exploring the relationship between urban form and neighborhood social cohesion](#). Sustainable Cities and Society, 99, 104903

► Zhang, Y. and Sonta, A. (2023). [OccuVAE: Integrating unsupervised occupancy inference in data-driven energy modeling for human-centric operation](#). In Proceedings of the 10<sup>th</sup> ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation (BuildSys '23). Istanbul, Turkey

► Xia, S., Wei, P., Liu, Y., Sonta, A., Jiang, X. (2023) [RECA: A multi-task deep reinforcement learning-based recommender system for co-optimizing energy, comfort and air quality in commercial buildings](#). In Proceedings of the 10<sup>th</sup> ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation (BuildSys '23), Istanbul, Turkey [Best paper award]

EN  
SAVOIR  
PLUS



## PARTENAIRES

- Eawag
- University of Lausanne
- University of Zurich
- Entreprise for Society (E4S)
- Riga Technical University
- Delft University of Technology
- Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development
- Budapest University of Technology and Economics
- University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy
- National Institute of Technology Tiruchirappalli



# Innovation dans la construction et l'urbanisme grâce au développement des Living Labs

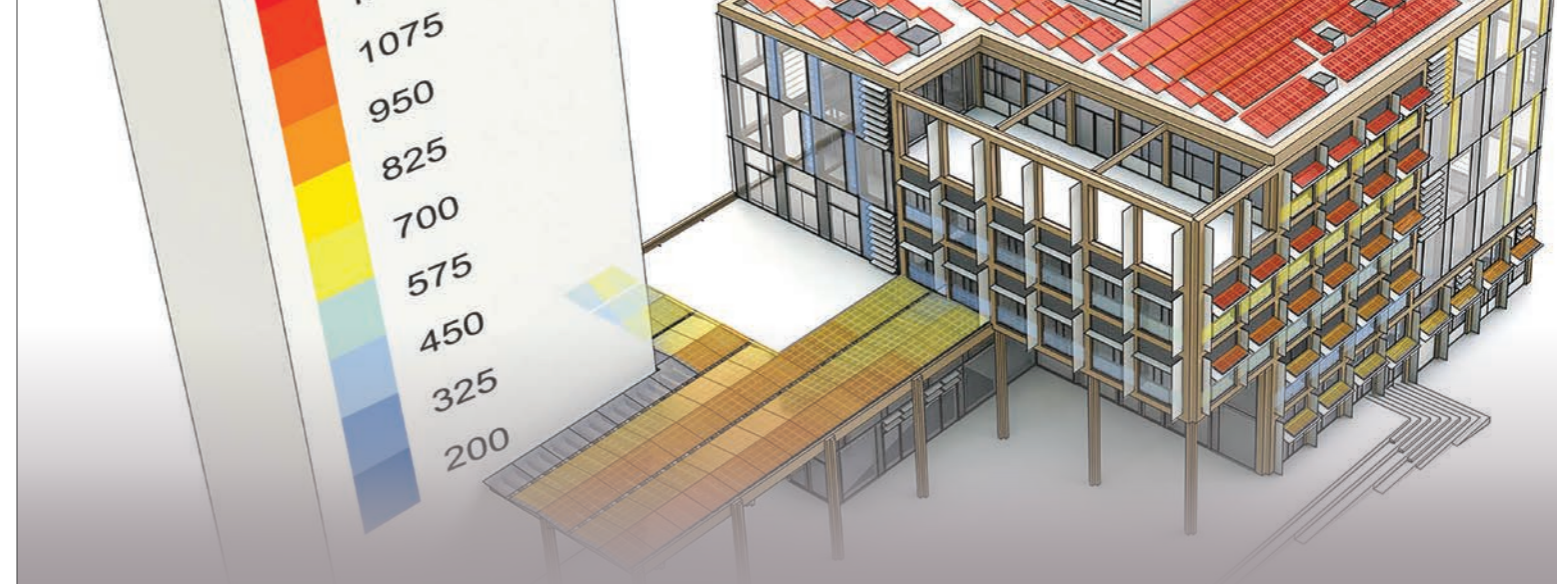
Le groupe BUILD (Building2050) fournit un soutien scientifique et technique aux projets de recherche utilisant le bâtiment Smart Living Lab ou d'autres démonstrateurs en lien avec le Smart Living Lab comme installations expérimentales. BUILD mène des recherches appliquées pour développer des solutions innovantes et durables pour l'environnement bâti, en se concentrant sur le photovoltaïque intégré au bâtiment, les outils numériques open source, la modélisation 3D, l'intégration de l'IoT et les jumeaux numériques des Living Labs.

Ces sujets de recherche ont le potentiel d'améliorer de manière significative la durabilité du secteur du bâtiment et de contribuer à atténuer les impacts du changement climatique.

- Les systèmes photovoltaïques intégrés aux bâtiments (BIPV) et les systèmes de stockage d'électricité à base d'hydrogène sont une des solutions pour atteindre la neutralité carbone. Cette approche maximise l'utilisation de l'énergie solaire tout en minimisant l'impact environnemental de la consommation d'électricité du bâtiment.
- Les outils numériques open source pour l'échange de données/géométrie soutiennent la prise de décision dans les phases de conception précoce. Ces outils peuvent permettre la collaboration, le partage des connaissances

et l'optimisation des ressources afin d'améliorer la durabilité des bâtiments.

- L'échange de modèles 3D basés sur les disciplines pour les simulations énergétiques, solaires et d'éclairage naturel. L'utilisation de ces modèles peut aider à optimiser la conception et l'exploitation des bâtiments, conduisant à une meilleure efficacité énergétique et à la réduction de l'impact environnemental.
- L'intégration des données d'exploitation des bâtiments, des données des capteurs et des modèles 3D en utilisant les approches de l'Internet des objets (IoT). Cette intégration vise à améliorer les systèmes de gestion des bâtiments (BMS) en permettant une surveillance en temps réel et un contrôle centré sur l'humain des opérations du bâtiment.
- Les plateformes open source (comme Speckle) soutiennent la création de bases de données basées sur des modèles 3D et de jumeaux numériques pour les Living Labs et les installations de recherche, y compris à l'échelle du bâtiment et du quartier. Cette approche vise à améliorer la compréhension des performances des bâtiments en créant des répliques numériques des environnements construits.



## Projets phares

- ▶ **Partage des résultats de recherche à l'aide de l'outil DesignExplorer open-source**  
Design Explorer est un outil open-source permettant d'explorer les espaces de conception sur le web, développé par le studio CORE et Thornton Tomasetti. Nous utilisons cet outil pour explorer et partager des résultats et des données de recherche. Le dernier projet, publié en 2023, explore l'influence des scénarios climatiques futurs sur le dimensionnement des installations photovoltaïques intégrées aux bâtiments (BIPV). Étude de cas d'un nouveau bâtiment de centre de recherche en Suisse. Ce projet utilise le projet de nouveau bâtiment SLL comme étude de cas et les résultats alimentent le projet de consolidation.
- ▶ **Coordination de l'intégration de l'innovation et de la durabilité dans la conception et la construction du bâtiment du Smart Living Lab**
- ▶ **Aménagement intérieur du Smart Living Lab**
- ▶ **Prototype de façade et module de démonstration concernant les technologies utilisées pour le projet de bâtiment SLL**
- ▶ **SWICE**



Sergi Aguacil  
Responsable du  
Groupe BUILD

« En s'appuyant sur des outils numériques libres et des scripts personnalisés, nous cherchons à établir une base d'interopérabilité qui s'adapte aux besoins des utilisateurs finaux. »

### PUBLICATIONS CLÉS

▶ Paule, B., Aguacil, S., Beckers, B. (2023). **Taking a step back from glass towers facades to make them compatible with the 2050 targets.** Journal of Physics, Conference Series, 2600 - 082036, Optimization at building & urban scale <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2600/8/082036>

▶ Rey, J-F., Cesari, M., Montet, F., Gandolla, M., Bonvin, L., Bourquin, V., Jacot, C-A., Roman, J., Duque Mahecha, S., Aguacil, S., Hennebert, J. and Goyette Pernot, J. (2023). **Auto-digit-RAD: towards an automation of the radon's concentration dataflow in a new and innovative building.** Journal of Physics, Conference Series, 2600 - 102008, Ari Quality <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2600/10/102008>

▶ Aguacil, S. (2023). **Influence of future climate scenarios on the sizing of Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) installations. Case study of a new research-center building in Switzerland.** 18<sup>th</sup> International IBPSA Building Simulation Conference (BS2023), Shanghai, China, September 4-6, 2023 <https://doi.org/10.26868/25222708.2023.1530>

EN  
SAVOIR  
PLUS



### PARTENAIRES

BFF SA  
ECONS SA  
foxym Sàrl  
GSK plc.  
LAPORCH Sàrl  
OCULIGHT dynamics Sàrl

Pix4D SA  
RoomZ SA  
Tecphy Sàrl  
EDGE sensor SA  
FUSTIC



# HEIA-FR - un lien vital entre la recherche fondamentale et la pratique

La Haute École d'Ingénierie et d'Architecture de Fribourg (HEIA-FR) est fortement impliquée dans le développement du Smart Living Lab depuis sa création en 2012 et a développé un programme de recherche impliquant plusieurs instituts. Aujourd'hui, la planète fait face à des défis multiples et interconnectés, allant du changement climatique et de la perte de biodiversité aux crises sociales. Nous luttons encore pour faire de cette transition une réalité, et l'environnement bâti joue un rôle crucial. Ainsi, la fonction de pont de la HEIA-FR entre la recherche académique et la pratique, ainsi que les approches des living labs permises par le programme de recherche, sont plus importantes que jamais.

En tant qu'interface entre le monde académique et le monde professionnel, la HEIA-FR vise l'application concrète des résultats de ses recherches.

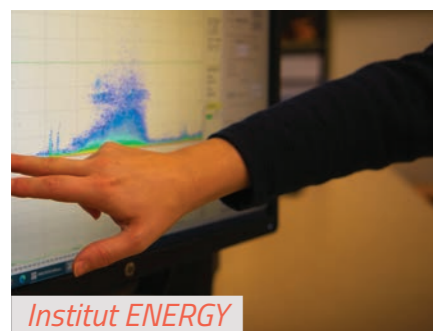
Intégrer les utilisateurs finaux dans nos processus est essentiel pour garantir que tous les besoins sont pris en compte et que les solutions développées sont optimalement acceptées. Les méthodes des Living Labs nous permettent d'évaluer les besoins et d'impliquer les futurs utilisateurs dans la conception des services ou des solutions. Les utilisateurs fournissent des retours, qui sont traduits en améliorations avant la mise en œuvre. Pour

renforcer encore l'utilisation des outils et méthodes des Living Labs, et en plus de notre appel à projets annuel, nous avons lancé un appel à projets extraordinaire sur ce thème en 2023. Le développement de ces compétences spécifiques nous permet d'impliquer les utilisateurs finaux et de renforcer la collaboration avec les communautés publiques et nos partenaires privés.

Les projets du programme de recherche de la HEIA-FR et du Smart Living Lab proposent des solutions et des opportunités innovantes orientées vers la pratique. Celles-ci incluent, par exemple, l'optimisation de la consommation d'énergie des bâtiments, le choix et la réutilisation des matériaux de construction en tenant compte de leur carbone incorporé, l'identification des options de rénovation pertinentes.

La HEIA-FR offre à ses chercheurs la possibilité de transformer leurs idées en projets. Le Smart Living Lab offre l'accès aux infrastructures et au soutien nécessaires afin de concrétiser ces projets, et garantir que les connaissances développées soient transférées à la pratique et ainsi que les résultats apportent une réelle contribution aux défis actuels.

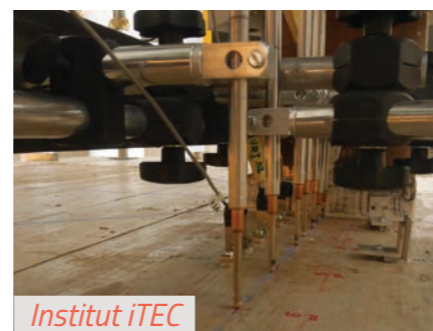
**Jean-Philippe Bacher**  
Responsable du Smart Living Lab pour la HEIA-FR



Institut ENERGY



Institut TRANSFORM



Institut iTEC



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg  
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

## Temps forts 2023

### Programme de recherche

Le programme de recherche HEIA-FR / Smart Living Lab soutient les équipes de recherche par le biais de financement de plusieurs types. En 2023, 5 nouveaux projets de recherche ont été initiés dans le cadre de l'appel à projet annuel et 4 projets ont été soutenus dans le cadre de l'appel extraordinaire Living Lab. Le financement de 7 études de faisabilité a permis de faire émerger de nouvelles idées. De plus, le programme a soutenu 2 nouveaux projets visant l'acquisition de fonds tiers (OFEN, Biodiversa).

### Projets de l'appel extraordinaire Living Labs

#### BeCool

Optimisation des systèmes de chauffage par l'implication des usagers

#### I2B

Développement d'interventions visant à faciliter l'utilisation des espaces par des personnes malvoyantes

#### LASOL

Meilleure prise en compte de la qualité des sols dans les processus de développement urbains en co-création avec l'ensemble des acteurs

#### REUSE@Lab

Création d'un living lab autour des pratiques de réutilisation d'éléments de construction



### Projets de l'appel annuel

#### AgriUrbs

Meilleure prise en considération des multiples fonctions des sols dans l'aménagement du territoire

#### Assainissement 4.2

Plateforme visant à faciliter les processus de rénovation

#### ASSIST QUART

Outil de pilotage pour la transformation des quartiers existants vers la durabilité

#### HaWoBat

Contributions potentielles d'une meilleure exploitation des bois de feuillus suisses dans la construction des bâtiments

#### MultiVie

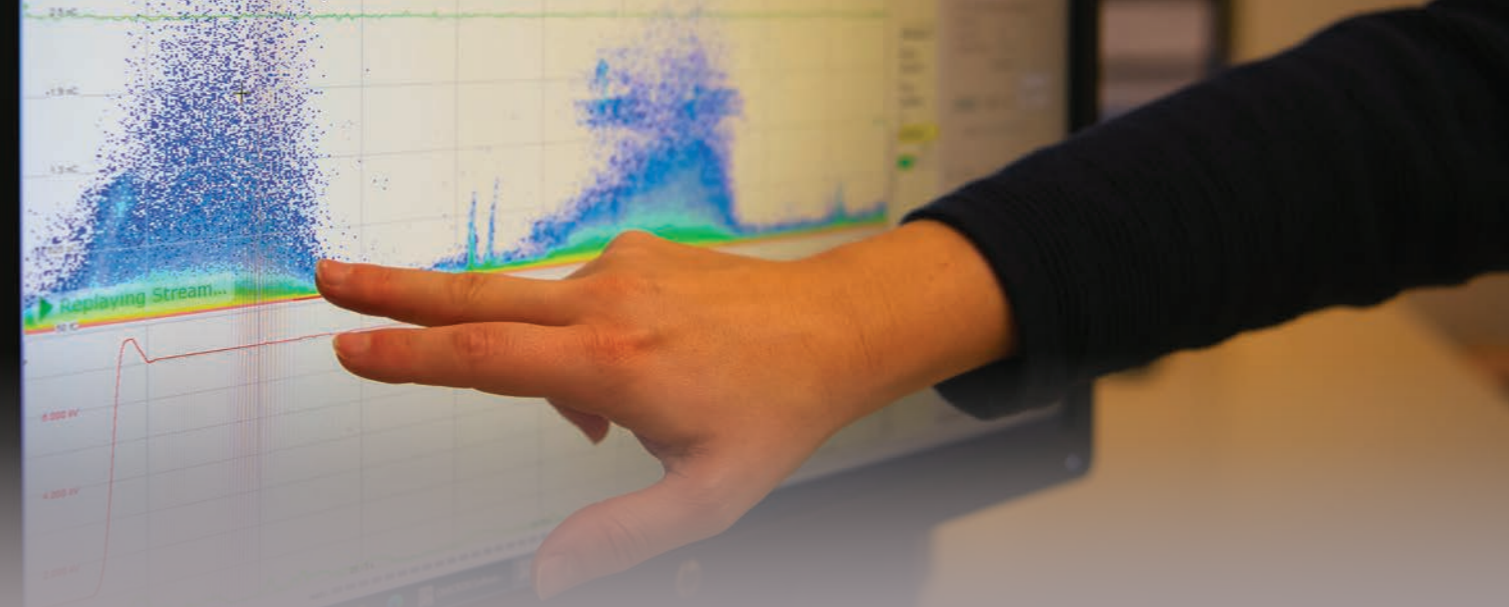
Etude et analyse structurale du potentiel de réemploi de structures métalliques historiques

# L'ingénierie pluridisciplinaire au service de la transition énergétique

Les équipes de l'Institut ENERGY sont actives dans la gestion et l'optimisation énergétique des bâtiments et infrastructures. Elles élaborent des solutions pour l'intégration des sources renouvelables et l'optimisation énergétique des réseaux électriques et thermiques et effectuent des analyses et bilans à l'échelle des bâtiments et des quartiers. L'Institut ENERGY est également fortement impliqué dans le consortium national SWICE qui part du constat que la transition énergétique et l'évolution vers la neutralité carbone ne peuvent se faire sans évolution des habitudes et modes de vie de la population, tant sur le plan individuel que collectif. La dimension humaine du changement et les questions d'acceptation sont des éléments difficiles à mesurer. Des méthodes scientifiques et des outils appropriés sont néanmoins indispensables à une évaluation de l'efficacité de différents types d'interventions, en particulier dans le contexte de « living labs ». Ces évolutions au niveau des besoins et des préférences des usagers débouchent sur des manières différentes de concevoir les bâtiments et, in fine, sur une évolution du système énergétique.

La Suisse, dépendante à plus de 65% des énergies fossiles étrangères, a vu sa production d'énergie renouvelable augmenter. Cependant, l'énergie solaire présente

des pics de production décalés par rapport aux besoins de chauffage, notamment la nuit en hiver. Pour pallier ce décalage, une solution de stockage énergétique est nécessaire. Le projet SmarTS vise à mettre sur le marché une batterie thermique innovante capable de stocker l'énergie renouvelable pour une utilisation nocturne et pendant les jours sans ensoleillement ou vent. Ce prototype, basé sur des matériaux à changement de phase (PCM), fond à des températures proches de l'ambiante et stocke de grandes quantités d'énergie, restituée lors de la solidification. La batterie est chargée par un circuit d'eau chaude alimenté par de l'énergie renouvelable, et pour la décharge, elle est ventilée avec de l'air ambiant chauffé jusqu'à la température du PCM liquide. Le projet vise à amener ce prototype au stade de pré-industrialisation grâce à la collaboration des différents partenaires. Deux grandes activités sont prévues : l'amélioration de l'échangeur pour une structure plus facile à construire et moins coûteuse, utilisant des ventilations douces économes en énergie, ainsi que l'automatisation du système. Trois prototypes seront réalisés dans le cadre de ce projet ambitieux, contribuant ainsi à la transition vers une énergie plus durable pour les bâtiments suisses



## Projets phares

### ► SolarCombine

Le projet concerne une coopération entrepreneuriale entre la Suisse et le Sénégal pour le développement d'un système innovant de production de chaud et froid combinés, intégrant l'énergie solaire. C'est un système hautement efficace, abordable pour les populations africaines et durable, destiné à la conservation et au conditionnement des produits alimentaires finis et semi-finis. Les travaux menés dans le cadre du projet Swissuniversities ont contribué à l'avancement du projet en vue de son application commerciale. L'équipe était composée de chercheurs et professionnels suisses et sénégalais, multidisciplinaires, incluant des professeurs et de jeunes chercheurs/professionnels de la Haute École de Gestion de Fribourg et de la Haute École d'Ingénierie et d'Architecture de Fribourg, ainsi que des professionnels sénégalais et acteurs locaux. Ensemble, ils ont réalisé les études technico-économiques et commerciales nécessaires pour faciliter le transfert de technologie, la production en Afrique par la reproduction du prototype à Dakar à partir de fournitures entièrement locales, et l'introduction du produit final sur le marché.

### ► SmarTS : Gestion intelligente du stockage thermique des bâtiments

### ► Smart Energy District: EXperimentation PlatfOrm for Smart-districts: from buildings to secure grid OperatiON



Patrick Favre-Perrot  
Responsable de l'Institut  
ENERGY

« La réussite de la transition énergétique requiert des solutions novatrices à toutes les échelles : bâtiments, quartiers, villes et territoires. »

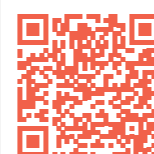
## PUBLICATIONS CLÉS

► Mosquini, L. H. N., Delinchant, B., & Jusselme, T. (2024). [Dynamic LCA methodology to support post-occupancy decision-making for carbon budget compliance](#). Energy and Buildings, 309.

► Vonlanthen, M. (2023). [La biodiversité: l'autre crise écologique](#). Suisse: Presses polytechniques et universitaires romandes.

► Montet, F., Pongelli, A., Schwab, S., Devaux, M., Jusselme, T., & Hennebert, J. (2023). [Energy performance certificate estimation at large scale based on open data](#). In proceedings of cisbat 2023, the built environment in transition, Hybrid International Scientific Conference, Lausanne, Switzerland, 2023-09-13

EN  
SAVOIR  
PLUS



## PARTENAIRES

CSD  
BFF SA  
Climate Services CMA  
E-nno  
ETH Zürich Gradesens  
Groupe E  
Romande Energie  
Losinger Marazzi  
OVALE & Partenaires

PSE-Energies Sàrl  
Richemont SIG  
SINEF SA  
Tecphy Sàrl  
Urbaplan  
Yord  
OFEN  
HES-SO



## Une approche low-tech de l'innovation

Malgré l'urgence climatique, les constructions nouvelles ne cessent d'augmenter en Suisse romande, alors que le secteur serait, d'après les estimations courantes, responsable d'environ 40% des émissions de CO<sub>2</sub>, mais aussi de l'imperméabilisation des sols, de la disparition progressive des biotopes et des déchets polluants. Devant ce constat, l'Institut TRANSFORM contribue à outiller les architectes et les collectivités publiques pour agir sur la transformation du bâti existant et son adaptation à des modes de vie repensés.

L'Institut TRANSFORM développe des projets de recherche appliquée en architecture et en urbanisme. Composé d'architectes - scientifiques et spécialistes - d'urbanistes, de géographes et de physicien·nes du bâtiment, l'institut développe une expertise interdisciplinaire contribuant à imaginer et créer un futur cadre bâti 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, la construction, l'utilisation du bâti et ses valeurs culturelles, la rénovation et la transformation en fin de cycle de vie. Si la transformation en architecture est souvent assimilée à la rénovation des bâtiments et en particulier à leur rénovation énergétique, les projets de l'Institut TRANSFORM démontrent que ce concept implique un éventail large de compétences et d'expertises traitant également des questions de production de logements, de mixité urbaine, de typo morphologie du bâti, de santé dans le bâtiment et plus particulièrement de la qualité de l'air intérieur, des outils de digitalisation pour contribuer à diagnostiquer les qualités d'un bâtiment patrimonial ou encore de réemploi de matériaux de construction. Dans leurs projets, les équipes de recherche de l'institut apportent une réflexion critique par rapport aux technologies et à leur durabilité. L'innovation y réside davantage dans la réappropriation, dans l'assemblage et la combinaison de techniques traditionnelles, parfois ancestrales, plutôt que dans l'invention de nouvelles technologies.



## Projets phares

- ▶ **Scol'Air**  
Le projet Scol'Air, mené par le Centre romand de la qualité de l'air intérieur et du radon (croqAIR) de l'Institut TRANSFORM, ambitionne de mieux connaître la qualité de l'air dans les écoles primaires fribourgeoises. La qualité de l'air que l'on respire influence notre état de santé global. Les capacités cognitives des enfants peuvent être affectées par des niveaux élevés de CO<sub>2</sub> dans les salles de classe. En dix-huit mois, quatre campagnes de mesures ont été menées dans 48 salles de classe réparties dans 24 écoles.
- ▶ **SWICE**
- ▶ **RenoBAT-FR 2**
- ▶ **« Tout se transforme »**



Séréna Vanbutsele  
Responsable de l'Institut  
TRANSFORM

« 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. »

### PUBLICATIONS CLÉS

- ▶ Schwab, Stefanie 2023 **Approche globale pour une rénovation énergétique durable : typologie architecturale et constructive des immeubles d'habitation en Suisse romande**; in Gasnier, M. Berranger, M. 'Transitions, patrimoines et matériaux anciens'; Belfort, France, Les éditions du lion, pp. 123-156.
- ▶ Vanbutsele Séréna 2023 **Le dessin comme méthode de recherche**, in Rosa De Marco, Monique Poulot 'Dessin, Design, Projet Représenter et reconfigurer les espaces ouverts', Firenze University Press
- ▶ Concheiro Guisan, I. 2023 **Démolition(s) en question : une approche pédagogique**, Tracés

EN  
SAVOIR  
PLUS



### PARTENAIRES

Etat de Fribourg (Promotion économique, Plan Climat, Service de l'énergie)  
Ville de Fribourg  
Office Fédéral de la Santé Publique  
Canton de Vaud, Direction générale des immeubles et du patrimoine (DGIP), Direction de l'énergie (DIREN)  
Centre de compétence en rénovation des bâtiments (CCRB), Fribourg

HEIG-VD, HES-SO Valais, HSLU Hochschule Luzern  
Office fédéral de la culture Patrimoine Suisse  
Tracés  
La ressourceurcie  
UNIGE ETH Zurich



## Quatres axes de recherche qui dessinent le chemin pour le génie civil de demain

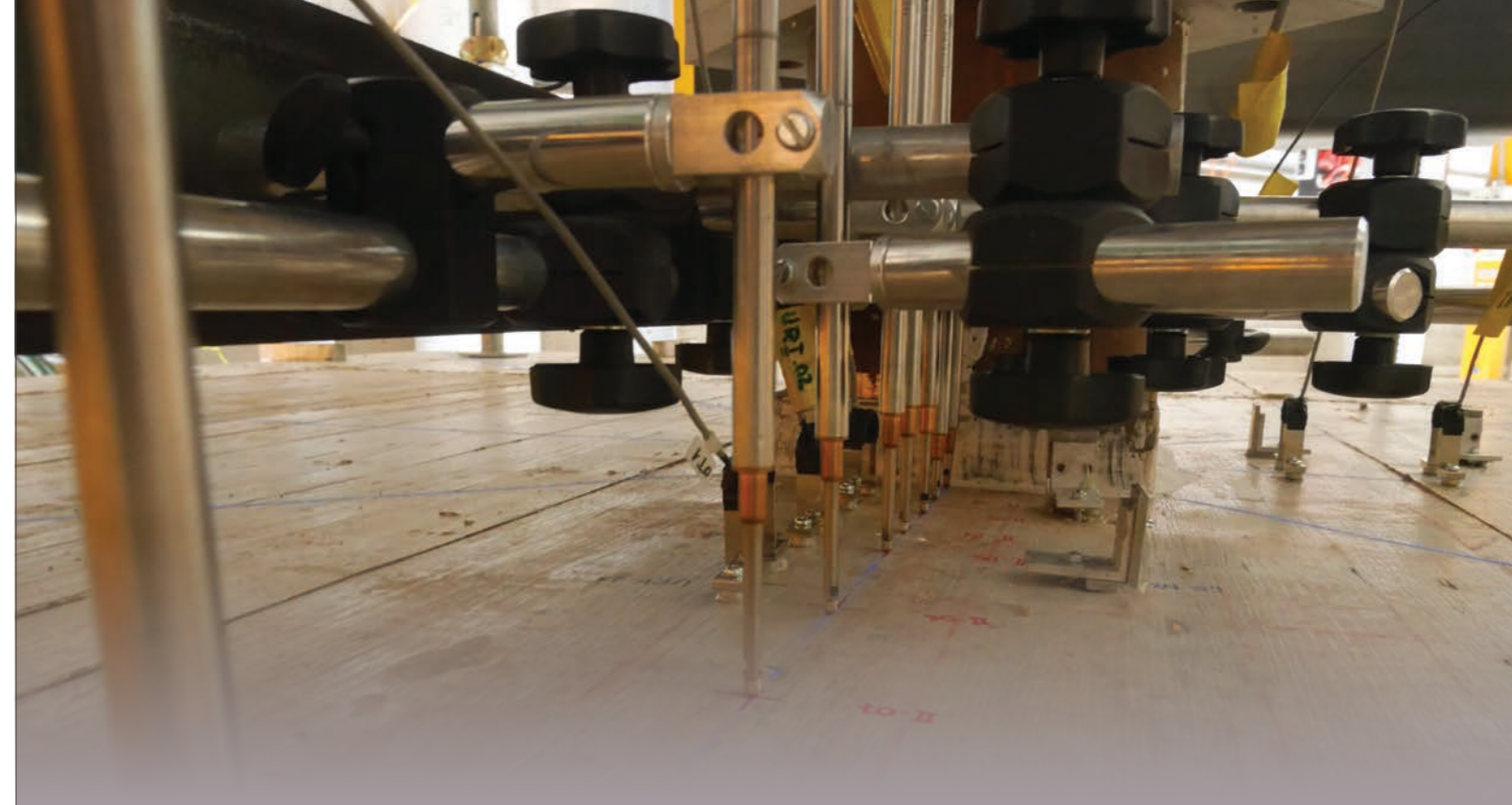
L'Institut des Technologies de l'Environnement Construit (iTEC) s'articule autour de quatre axes qui contribuent à redéfinir de manière responsable le bâti et les infrastructures de demain: réemploi et nouveaux matériaux de construction, questionnement sur notre mobilité, optimisation des fondations et des soutènements, et utilisation rationnelle de nos ressources naturelles.

Les solutions développées contribuent à la réduction de l'impact environnemental de la construction, à l'atténuation des effets des risques naturels et à des effets positifs sur le climat local, urbain et régional. De beaux projets dédiés à l'économie circulaire, centrés sur les usagers, ont vu le jour en 2023. Les recherches à l'iTEC deviennent de plus en plus interdisciplinaires pour répondre à la complexité des problèmes sociétaux posés.

L'institut iTEC, en partenariat avec d'autres instituts et des partenaires industriels, mène une série de projets innovants visant à transformer et valoriser les matériaux de construction, à intégrer des solutions durables dans l'aménagement du territoire et à améliorer l'accessibilité urbaine. Le projet **Concrete** se concentre sur la réutilisation du béton issu de démolitions, tandis que le projet **LASOL**, soutenu par l'Office fédéral de l'environnement, vise à intégrer la valeur des sols dans la planification territoriale, conformément à la stratégie sol suisse de 2020. Par ailleurs, le projet **i2b**, en collaboration avec iCoSys, développe des infrastructures pour sécuriser la mobilité des malvoyants dans les espaces publics. Dans le domaine des

nouveaux matériaux, le projet **TCC2Detach** explore des dalles composites bois-béton réutilisables, ouvrant la voie au projet **BBMoptiFEM** pour produire des planchers mixtes efficaces et recyclables. Enfin, le projet **TTV**, appuyé par la NPR et le plan climat du canton de Fribourg, développe des toitures végétalisées à vocation potagère, avec des prototypes testés au SLL et un partenariat de recherche en France avec l'INSA. Ensemble, ces initiatives illustrent l'engagement de l'iTEC pour des solutions constructives durables et innovantes.

Par ailleurs, l'iTEC héberge deux thèses de doctorats. La première, soutenue par le fonds national suisse de la recherche, se focalise sur les sols urbains, comme régulateurs des eaux et de la température. Il s'agit de comprendre comment garantir des sols urbains fonctionnels pour ces deux services écosystémiques. La deuxième, soutenue par le Groupe E et le bureau RIBI SA, vise à étudier l'impact combiné du changement climatique et des éclusées hydroélectriques sur le régime thermique des rivières concernées par ce phénomène. Le modèle développé permettra d'identifier des mesures d'assainissement de la force hydraulique, dans le but d'assurer une production énergétique respectueuse des écosystèmes aquatiques.



## Projets phares

### ► Multivie

Ce projet identifie le potentiel, les besoins et les limites du réemploi de structures démontables en acier, en mettant en lumière les obstacles et en prouvant les bénéfices écologiques et économiques de cette approche. Des études de cas concrets seront analysées pour développer une méthode analytique applicable à d'autres constructions. L'objectif est de faciliter le réemploi de structures porteuses en minimisant les interventions nécessaires, tout en maximisant les avantages écologiques, économiques et architecturaux.

### ► Living Lab i2b

### ► HaWoBat

### ► Living Lab LASOL



**Fabienne Favre**  
Responsable de l'Institut  
iTEC



*Construisons ensemble le futur dans le respect des ressources planétaires.»*

## PUBLICATIONS CLÉS

► **Hydraulic Capacity of Bend Manholes for Supercritical Flow**, 2023, Gaetano Crispino, David Dorthe, Corrado Gisonni and Michael Pfister, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Volume 149, Issue 2

► **Reality-based decision-making with FE models for real life case studies**, 2023, Commend S. et al. in Uncertainty, Modelling, and Decision Making in Geotechnics, chapter 12, CRC Press, ISBN: 978-1032367491

► **Composite cimentaire fibré ultra-performant: concevoir, dimensionner, construire:** 4<sup>ème</sup> journée d'étude, 26 octobre 2023, Brühwiler, Eugen; Oesterlee, Cornelius; Redaelli, Dario

EN  
SAVOIR  
PLUS



## PARTENAIRES

Hautes écoles

Offices fédéraux et cantonaux

Partenaires industriels du secteur de l'aménagement et de la construction



# Unifr - interdisciplinarité et innovation

L'Université de Fribourg (Unifr) vise l'excellence dans l'enseignement, la recherche et l'innovation, notamment en promouvant l'interdisciplinarité sous l'angle de l'innovation. Ces différents objectifs sont atteignables grâce à plusieurs pôles d'excellence en recherche au sein de l'alma mater fribourgeoise, ainsi que par la collaboration avec d'autres universités et hautes écoles suisses et étrangères, y compris la participation au Smart Living Lab.

Au sein du Smart Living Lab, l'Unifr possède quatre unités, à savoir l'Institut Human-IST, l'Institut pour le droit suisse et international de la construction ainsi que les groupes de recherche dédiés aussi à la présidence de l'Université de Fribourg au sein du Smart Living Lab : Decision Support and Operations Research (DS&OR) et Digitalization and Information Systems (DIGITS). Les différentes disciplines des groupes de recherche consolident la stratégie de la numérisation, donnent de perspectives innovantes et renforcent l'interdisciplinarité de l'Unifr depuis leur intégration au Smart Living Lab. L'Unifr, contribue à mieux cerner l'interaction entre l'humain et les systèmes numériques dans l'environnement bâti afin de fournir des solutions in-

novantes à partir de multiples perspectives, y compris la réalité virtuelle et augmentée, la logistique, l'aide à la décision et les aspects juridiques.

Au cours de l'année 2023, l'Unifr a commencé des nouvelles collaborations enrichissantes avec des entreprises, ainsi que des institutions nationales et internationales. On notera par exemple le projet sur l'optimisation du ramassage de déchets du groupe DS&OR ou le développement d'approches facilitant l'utilisation de la réalité augmentée et le développement d'outils basés sur la réalité virtuelle pour le bien-être immersif et l'éducation immersive du groupe DIGITS ou encore la participation du groupe HUMAN-IST dans l'échange académique international ARC-HEST. Sans oublier le continue développement de fortes collaborations entre différents groupes du Smart Living Lab, comme par exemple avec l'Institut du droit et le groupe SXL, ou la participation du groupe HUMAN-IST dans le projet SWICE et des différents groupes de la Haute Ecole d'Ingénierie et d'Architecture de Fribourg.

**Hans-Georg Fill, Responsable Smart Living Lab pour l'Unifr**



Institut Human-IST



Institut LAW



Groupe DS&OR



Groupe DIGITS

**UNI  
FR**

UNIVERSITÉ DE FRIBOURG  
UNIVERSITÄT FREIBURG

# Temps forts 2023



## Bouleversement de la Loi fédérale

Les dispositions relatives à la Loi fédérale sur la sécurité de l'information sont entrées en vigueur et ont mené à une nouvelle thèse de doctorat chargée d'analyser des nouvelles dispositions spécifiques aux infrastructures critiques des réseaux électriques.

## Échanges académiques à l'international

Une doctorante de l'Università Politecnica delle Marche en Italie a été invitée pendant 6 mois au sein du groupe DIGITS afin d'approfondir la coopération dans le domaine de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée dans le cadre de la Model-Driven Engineering. En outre, des échanges entre la Suisse et la Corée continuent lors du programme ARC-HEST où le groupe HUMAN-IST est fortement impliqué en tant que co-organisateur.

## Vers un même objectif

Une collaboration a vu le jour entre la SIA, la suisse.ing, la SSE et l'Institut pour le droit suisse et international de la construction concernant l'élaboration d'une nouvelle fiche technique SIA-2065 sur les contrats d'alliance de projets.

## La science pour tous les âges

L'année 2023 était riche en activités pour le grand public, où les groupes de recherche de l'Unifr ont pu amener leurs sciences au grand public lors des ateliers KidsUni ou encore durant les journées de portes ouvertes de l'Université de Fribourg et de BlueFactory.

## Collaborations internationales

Les lunettes intelligentes AirSpecs capables de mesurer le confort des utilisateurs selon leurs environnement, développées entre les équipes de l'HUMAN-IST et le MIT lab ont pu être testées à Boston, Fribourg et Singapour.

## Le bien-être immersif et l'éducation et formation immersives

Un nouveau projet de recherche destiné à améliorer le bien-être et fournir de nouveaux formats d'éducation en 3D à l'aide de techniques de réalité virtuelle, a été développé. Plusieurs vidéos 3D ont été créées lors de la collaboration avec l'Unifr et le groupe EPFL / HOBEL, ainsi que pour des conférences scientifiques.

# Interactions Humain-Bâtiment

## Comprendre et améliorer le confort humain dans son environnement naturel.

Appliquant son expertise en matière d'interaction humain-machine (IHM), l'Institut Human-IST développe des méthodes et des outils pour comprendre et améliorer les interactions homme-bâtiment (IHB). En utilisant à la fois une approche de conception centrée sur l'utilisateur-trice et des outils informatiques pour observer le comportement des occupant-es, il développe une technologie durable et centrée sur l'humain pour permettre aux occupant-es des bâtiments de mieux contrôler leur environnement afin de le rendre plus sain, plus confortable, plus efficace et plus durable. Outre les projets décrits ci-contre, Human-IST a activement participé à l'échange académique ARC-HEST entre la Suisse et la Corée du Sud, ainsi qu'à la mise en place d'un centre suisse sur l'intelligence augmentée SCAI (swisscai.ch).

En combinant l'expertise en matière de détection intelligente du groupe Responsive Environments du MIT Media Lab et la recherche sur l'expérience utilisateur-trice de l'Institut Human-IST de Fribourg, une série d'études sur les utilisateurs à été réalisée à Boston, Fribourg et Singapour de mars 2023 à juin 2023. Ces études ont pour but

d'étudier une nouvelle façon de sonder la perception du confort des utilisateurs-trices dans leur environnement naturel et de comprendre les différences climatiques et culturelles, en utilisant des lunettes intelligentes personnalisées appelées AirSpecs développées en 2022 par le MIT et Human-IST. En outre, Human-IST a travaillé sur le projet Lucideles, qui vise à optimiser la gestion de la lumière en tirant parti de la lumière naturelle, et à effectuer des tests d'utilisation sur un dispositif de contrôle intelligent. Les résultats comprennent une meilleure compréhension des mécanismes d'acceptation par l'utilisateur-trice, ainsi qu'une infrastructure de test.

Enfin, dans le cadre du projet SWICE, qui vise à réduire l'empreinte carbone et la consommation d'énergie de la Suisse, l'Institut Human-IST étudie la dimension humaine du changement. Il vise à proposer un cadre global pour comprendre et favoriser le changement social et comportemental. Pour évaluer l'efficacité des interventions visant la durabilité, des techniques d'acquisition de données comportementales en milieu naturel sont développées et appliquées dans divers laboratoires vivants afin de détecter les groupes de style de vie, les processus de changement de comportement individuel et les effets d'entraînement.



## Projets phares

### AirSpecs

Le projet AirSpecs, fruit d'une collaboration entre le MIT Media Lab, l'Institut Human-IST à Fribourg et la Harvard Graduate School of Design, aborde la question de savoir comment les environnements intérieurs et extérieurs influent sur notre confort et notre cognition. En combinant l'expertise en capteurs intelligents et en expériences utilisateur, le projet a développé AirSpecs, une plateforme de lunettes intelligentes avec des kits logiciels personnalisés pour la collecte de données à distance et l'interaction. AirSpecs intègre différents capteurs pour échantillonner des signaux physiologiques et environnementaux, tels que la température du visage, la dynamique des clignements des yeux et les conditions ambiantes. Les participants de diverses régions climatiques utilisent le système pour rendre compte de leurs expériences de confort, permettant ainsi d'enquêter sur les différences climatiques et culturelles. Le projet vise à continuer à développer du matériel et des logiciels novateurs pour améliorer le bien-être, avec des plans pour soutenir des études interdisciplinaires en neurosciences, en médecine et en architecture. Sous la direction de chercheurs du MIT Media Lab, de l'Université de Fribourg et de l'Université nationale de Singapour, AirSpecs incarne la collaboration internationale pour l'innovation et le progrès holistique.

### MUBI Interface mobile de construction de l'utilisateur

### SWICE

« Comprendre la perception du confort et des différences culturelles des utilisateurs-trices de lunettes intelligentes. »



Denis Lalanne  
Directeur de l'Institut Human-IST

## PUBLICATIONS CLÉS

► **Proxy methods for detection of inhalation exposure in simulated office environments**, Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology (2023)

► **Understanding responsibility under uncertainty: A critical and scoping review of autonomous driving systems**. In: Journal of Information Technology (2023). <https://doi.org/10.1177/02683962231207108>

► **KI zum Wohle aller (AI for Public Good): Das Projekt Swiss Center for Augmented Intelligence**. In: <https://www.smartcity-bern.ch/> (2023). <https://www.smartcity-bern.ch/ki-zum-wohle-aller-ai-for-public-good-das-projekt-swiss-center-for-augmented-intelligence/>

EN SAVOIR PLUS



## PARTENAIRES

MIT Media Lab  
National University of Singapore  
Regent Beleuchtungskörper AG, Basel  
ZHAW, Institut für Nachhaltige Entwicklung  
Institut ENERGY, HEIA-FR  
Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR), TRANSFORM  
HSLU, Hochschule Luzern  
OFEN  
OFEV  
Prona

BFF SA  
EPFL  
Empa  
ETHZ  
SUPSI  
UNIGE  
UNIL  
ZHAW



# Durabilité des marchés publics, cybersécurité des infrastructures critiques, alliances de projet et réemploi d'éléments de construction

En 2023, la recherche du groupe LAW (Institut pour le droit suisse et international de la construction) était dédiée au droit des marchés publics, au droit des infrastructures critiques, aux contrats d'alliance de projet et au droit du réemploi des éléments de construction. En outre, de nombreuses activités d'enseignement ont été déployées à l'Unifr ainsi que dans des programmes CAS concernant le droit de la construction et le droit des marchés publics, la conception numérique et la médiation.

Dans le domaine du droit des marchés publics, quelques centaines d'arrêts fédéraux, cantonaux et européens des années 2022 et 2023 ont été analysés, comparés et (en partie) commentés. Les arrêts analysés ont été rendus dans une phase de transition entre l'ancien (1996 ss) et le nouveau (2021 ss) droit et témoignent de l'évolution continue des principes régissant le droit des marchés publics. Ainsi, il est fort intéressant d'observer notamment, le début de la concrétisation du nouveau principe légal de la durabilité des marchés publics dont l'étendue et les détails ne sont pas encore parfaitement clairs.

Les recherches concernant le droit de la cybersécurité des infrastructures critiques, respectivement de la protection des informations qui concernent ces infrastructures, ont été poursuivies. Le 1er janvier 2024, les dispositions topiques de la Loi fédérale sur la sécurité de l'information sont entrées en vigueur, avec un grand nombre de dispositions d'exécution contenues dans des ordonnances

du Conseil fédéral, qui ne sont devenues publiques que durant l'année 2023. Dès lors, l'analyse des nouvelles dispositions, désormais applicables, s'est trouvée au centre des recherches, qui vont aboutir sur une thèse de doctorat, qui se dédiera spécifiquement aux infrastructures critiques des réseaux électriques.

En 2023, le groupe LAW a continué à contribuer par son expertise juridique à l'élaboration de la fiche technique SIA-2065 concernant les contrats d'alliance de projet. En été 2023, le projet de ladite fiche a été publié et soumis à la procédure de consultation publique. Au mois de septembre, un colloque interdisciplinaire réunissant plusieurs centaines d'actrices et d'acteurs du secteur de la construction et de l'immobilier a été organisé pour présenter et discuter le projet de fiche technique. À la suite de la procédure de consultation, un grand nombre de commentaires ont été étudiés ; le projet a été corrigé et développé sur cette base. La fiche technique SIA-2065 n'est ni une norme (qu'on serait obligé de respecter), ni un modèle de contrat. Il s'agit d'un document descriptif qui explique et qui illustre les principes de base d'une alliance de projet, ainsi que les diverses questions juridiques qui se posent spécifiquement dans les contrats d'alliance et qu'il y a donc lieu de régler dans chaque cas d'espèce (à défaut d'une législation spéciale concernant le sujet).



## Projets phares

### ► Questions juridiques liées au réemploi des éléments de construction

En collaboration libre avec le groupe SXL, dirigé par le Professeur Corentin Fivet, des recherches concernant le droit du réemploi des éléments de construction ont été débutées. Le droit suisse actuel ne contient pas de règles traitant spécifiquement des questions juridiques liées au réemploi d'éléments de la construction. En même temps, ces questions existent dans un bon nombre de domaines de l'ordre juridique, en particulier en droits réels (questions de propriété), en droit des contrats (garantie), en droit de la responsabilité civile (défaillance d'un élément), en droit public économique (législation sur les produits de construction) et en droit des marchés publics (égalité de traitement et transparence des procédures). Les recherches ont dès lors pour objet d'essayer de donner des réponses auxdites questions sur la base des règles existantes, interprétées sous la lumière d'un phénomène qui, s'il n'est pas véritablement nouveau, n'a pas été prévu lors de l'adoption des dispositions applicables aujourd'hui. Les recherches sont censées aboutir sur la publication d'un article en 2025. Il est possible que la collaboration avec le groupe SXL, qui est dans tous les cas une source d'information et d'inspiration très précieuse, soit formalisée à un moment donné, en fonction des besoins des projets déployés par ledit groupe.

### ► Arrêts rendus en matière de droit des marchés publics en 2022 et 2023

### ► La fiche technique SIA-2065 concernant les contrats d'alliance de projet

### ► Infrastructures critiques dans le secteur de l'électricité et sécurité de l'information

« Le partenariat contractuel repose sur la culture au moins autant que sur des incitations économiques et des règles claires. »

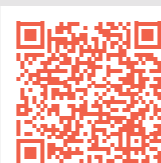
## PUBLICATIONS CLÉS

► Private Übernahme eines Quasi-inhouse-Vehikels, in: BR/DC 2023, S. 16 ff.

► Die Folgen der Unterlassung eines Rechtserwerbs, in: BR/DC 2023, S. 18 ff.

► Quod licet mandatori non licet iudici, in: BR/DC 2023, S. 23 ff.

EN  
SAVOIR  
PLUS



Martin Beyeler  
Professeur de droit

# Faciliter la prise de décisions complexes à l'aide de méthodes quantitatives

Le groupe DS&OR développe des théories mathématiques, des modèles et des algorithmes pour aider à la prise de décision dans des situations complexes, principalement dans le domaine de la logistique et du transport. Il participe notamment à des projets de recherche avec des partenaires industriels sur les problèmes d'optimisation qui concernent la planification et le routage des véhicules et du personnel.

Les grandes organisations sont constamment confrontées à des problèmes complexes qui doivent être résolus à l'aide d'outils mathématiques. Pour réussir dans la pratique, il faut avoir une bonne et profonde compréhension du problème à résoudre, le traduire en langage mathématique, implémenter et résoudre le modèle résultant par ordinateur, et être capable de communiquer les résultats à l'organisation. Le groupe DS&OR collabore avec des partenaires industriels dans le cadre de projets qui comportent tout ou partie des étapes sus-mentionnées. C'est pourquoi ses axes de recherche couvrent la théorie des graphes, la programmation mathématique et l'utilisation de méthodes simples et intuitives ainsi que des approches plus flexibles et exploratoires.

En 2023, le groupe a obtenu un financement pour effectuer un projet d'une année en collaboration avec le Département Recherche et Développement d'Électricité de

France. L'objectif du projet est d'effectuer des recherches sur l'optimisation des tournées de techniciens. Ces dernières doivent couvrir un nombre maximum d'interventions tout en respectant notamment les compétences spécifiques des techniciens, les fenêtres de temps des interventions et les temps de trajet. Ce projet est mené dans le cadre du programme Gaspard Monge pour l'optimisation, la recherche opérationnelle et leurs interactions avec les sciences des données (PGMO), qui a, entre d'autres, pour mission la soutenance de la recherche dans les domaines mathématiques identifiés comme cruciaux par les partenaires industriels. Le groupe a également effectué des tâches de diffusion sur les résultats du projet de trois ans (conclu en 2022), financé par Innosuisse, sur le développement d'un prototype d'outil d'aide à la décision pour rendre le ramassage des déchets plus efficace et durable. Ce prototype est utilisé par le partenaire industriel System-Alpenluft AG pour conseiller plusieurs communes suisses sur la conception du système de ramassage des déchets le mieux adapté à leurs besoins. Le groupe a publié deux articles scientifiques sur ce projet dans des revues internationales réputées dans le domaine de la recherche opérationnelle, et a participé à des manifestations pour la dissémination des résultats du projet au grand public (notamment la journée portes ouvertes de l'Université de Fribourg).

## PUBLICATION CLÉ

► Fischer, V., Pacheco Panque, M., Legrain, A., & Bürgy, R. (2024). **A capacitated multi-vehicle covering tour problem on a road network and its application to waste collection.** European Journal of Operational Research, 315(1), 338-353. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.11.040>

► Fischer, V., & Wøhlk, S. (2023). **A logic-based Benders decomposition solution approach for two covering problems that consider the underlying transportation.** Computers & Operations Research, 160, 106393. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106393>

► Fischer, V., Legrain, A., & Schindl, D. (2024). **A Benders decomposition approach for a capacitated multi-vehicle covering tour problem with intermediate facilities.** The 21st International Conference on the Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research, Uppsala, Sweden. <https://sites.google.com/view/cpaior2024/accepted-papers>

EN  
SAVOIR  
PLUS



## Projets phares

### ► Optimisation des assignations d'activités ferroviaires aux dépôts de personnel des CFF

Le groupe a conclu un projet en collaboration avec les CFF financé par le SBB Research Fund, qui soutient la recherche sur des questions d'actualité concernant le réseau ferroviaire suisse. Le projet vise à assigner chaque segment d'activité (qui peut être par exemple la portion de l'itinéraire Intercity 711, de 7h42 à Genève à 9h03 à Fribourg) aux différents dépôts de personnel à partir desquels les différents membres du personnel de bord démarrent et terminent leurs tournées quotidiennes. Le but était d'analyser l'affectation actuelle utilisée par les CFF et de proposer des directions d'amélioration et des décisions stratégiques. Les résultats montrent une réduction potentielle de 19% sur la quantité de personnel nécessaire en utilisant les algorithmes issus de cette recherche.

### ► Une approche par génération de colonnes pour les tournées d'électriciens

### ► Aide à la décision pour une collecte efficace et durable des déchets

« Notre objectif est de soutenir la prise de décisions complexes dans le domaine de la logistique et du transport. »



**Bernard Ries**  
Directeur du  
Groupe DS&OR

## PARTENAIRES

System-Alpenluft AG  
SBB CFF FFS  
Électricité de France (EDF)



# Application et exploration des nouvelles technologies dans la modélisation conceptuelle et la métamodélisation

**Le groupe DIGITS mène des recherches fondamentales sur l'intégration de la modélisation conceptuelle avec la réalité augmentée et virtuelle, ainsi que des recherches sur les nouvelles technologies en modélisation conceptuelle et métamodélisation en général. L'objectif de la participation du groupe au sein du Smart Living Lab est de contribuer au développement de la digitalisation pour la société.**

Les scientifiques souhaitent en particulier adapter les méthodes établies dans le domaine de l'informatique de gestion à d'autres activités de recherche interdisciplinaires. En effet, les méthodes de modélisation conceptuelle constituent l'une des bases de l'informatique de gestion. Celles-ci reposent sur un schéma prédéfini, c'est-à-dire le langage de modélisation, qui spécifie les concepts sémantiques nécessaires pour représenter les connaissances sur les flux de processus, les architectures informatiques ou les systèmes logiciels. Sur la base des modèles visuels créés, différents types d'algorithmes peuvent y être appliqués, par exemple pour effectuer des simulations ou générer du code dans divers langages de programmation.

Dans le cadre de chaque projet de recherche en cours, le groupe DIGITS étudie comment cette approche de modélisation peut être associée aux nouvelles technologies. Ils souhaitent par exemple ancrer les connaissances des modèles 2D traditionnels dans des objets du monde réel, c'est-à-dire dans des environnements physiques 3D. Les cas d'utilisation potentiels incluent la création flexible d'applications pour la réalité augmentée pour, par exemple, guider dynamiquement les visiteurs dans l'environnement bâti en fonction des préférences individuelles ou projeter dans le monde réel des connaissances sur la maintenance ou l'assemblage d'infrastructures physiques ou de machines. Actuellement, le groupe est sur le point d'étudier les exigences fondamentales et la faisabilité technique au niveau de la méta-modélisation. Celle-ci apporte les fondements théoriques et l'infrastructure technique nécessaires pour mener à bien la modélisation basée sur la réalité augmentée. En outre, les technologies actuelles telles que les blockchains ou l'intelligence artificielle générative sont également étudiées en lien avec la modélisation conceptuelle.



## Projets phares

### ► **Projet de création de vidéos 3D immersives pour le bien-être immersif et l'éducation immersive**

Ce projet étudie comment des vidéos autostéréoscopiques en trois dimensions peuvent être utilisées comme support dans l'enseignement et la recherche. Pour ce faire, des vidéos d'un environnement réel sont réalisées avec des caméras spéciales qui permettent d'enregistrer des images tridimensionnelles. Ces vidéos peuvent ensuite être visionnées à l'aide de casques spéciaux pour la réalité virtuelle et augmentée, ce qui donne l'impression de se trouver soi-même dans l'environnement réel. Le défi consiste notamment à rendre la perception des vidéos aussi agréable que possible pour les utilisateurs, ainsi qu'à simplifier les processus techniques sous-jacents de création de ces vidéos. À l'avenir, il est également prévu d'enrichir ces vidéos avec du contenu issu de modèles conceptuels afin d'apporter des explications supplémentaires aux spectateurs. Les premiers exemples de telles vidéos ont été créés entre autres à l'Université de Fribourg pour des conférences scientifiques, ainsi que dans le cadre d'un projet de coopération avec le groupe EPFL / HOBEL pour la description d'un projet de thèse.

### ► **Recherche fondamentale sur la réalité augmentée et virtuelle basée sur la connaissance**

### ► **Modélisation conceptuelle spécifique à un domaine pour les technologies des blockchains**

### ► **Projet de recherche industrielle pour l'évaluation de l'utilisation de l'intelligence artificielle générative dans le génie logiciel**



Hans-Georg Fill  
Directeur du  
Groupe DIGITS

« Intégrer les méthodes d'informatique de gestion et la réalité augmentée pour révolutionner l'expérience des utilisateurs dans les environnements bâtis. »

## PUBLICATIONS CLÉS

► Muff, Fabian, Fill, Hans-Georg (2023): **A Domain-Specific Visual Modeling Language for Augmented Reality Applications Using WebXR**, in: João Paulo A. Almeida, José Borbinha, Giancarlo Guizzardi, Sebastian Link, Jelena Zdravkovic (2023): 42nd International Conference, ER 2023, Lisbon, Portugal, November 6–9, 2023, Proceedings, Springer.

► Curty, Simon, Härer, Felix, Fill, Hans-Georg (2023): **Design of blockchain-based applications using model-driven engineering and low-code/no-code platforms**: a structured literature review, Software and Systems Modeling (SoSyM), 22(6): 1857-1895, DOI: 10.1007/s10270-023-01109-1

► Muff, Fabian, Spicher, Nathalie, Fill, Hans-Georg (2023): **Integrating Physical, Digital, and Virtual Modeling Environments in a Collaborative Design Thinking Tool**, in: Han van der Aa, Dominik Bork, Henderik A. Proper, Rainer Schmidt: 28th International Conference, EMMSAD 2023, LN-BIP, Springer, DOI: 10.1007/978-3-031-34241-7\_19

EN  
SAVOIR  
PLUS



## PARTENAIRES

Università Politecnica delle Marche

EPFL (HOBEL)

Stanford University (Musen Lab)

Hilti AG

Metapeace



# Événements

## CISBAT

- La conférence scientifique internationale CISBAT est dédiée à la transition durable de l'environnement bâti. L'édition 2023, organisée pour la première fois par le Smart Living Lab et l'EPFL sous la présidence de Prof. Marilyne Andersen, a enregistré l'inscription de 400 participants ainsi que la publication de 282 articles en libre accès dans le Journal of Physics: Conference Series. Le programme dense de trois jours, comprenant des sessions orales et de posters, des ateliers, des conférences plénières ainsi qu'une table ronde sur le thème « Au-delà de la technologie : relever les défis sociétaux sur la voie de la neutralité climatique », a suscité un engagement et une appréciation significatifs.

Les trois thèmes principaux, à savoir l'opération, le bien-être et la circularité, ont contribué à un programme cohérent et enrichissant, favorisant les échanges interdisciplinaires dans les thèmes centraux du Smart Living Lab. Lors de visites organisées le troisième jour, de nombreux participants se sont ainsi déplacés de Lausanne à Fribourg pour se familiariser avec les recherches menées par notre institution. L'organisation de cet événement international important, soutenu financièrement par l'Office Fédéral de l'Energie, souligne notre engagement à promouvoir le changement développement durable dans l'environnement bâti, en nous alignant avec un réseau international dédié à la recherche de solutions efficaces.



## Portes ouvertes de l'EPFL

- Les traditionnelles Portes Ouvertes de l'EPFL ont eu lieu en avril et ont attiré quelque 25'000 visiteurs sur son campus principal à Lausanne, offrant une exposition complète qui comprenait notamment tous les laboratoires de l'EPFL du campus de Fribourg. Mettant en avant le rôle crucial du Smart Living Lab au sein de la Faculté ENAC, l'événement a permis de présenter à un très large public l'importance de la recherche menée sur le site de Fribourg. Les technologies de réalité augmentée ont été utilisées pour illustrer les parcours d'études interdisciplinaires et les aspects techniques de la conception des bâtiments dédiés à la recherche de solutions efficaces.

## Kid's Uni

- En collaboration avec l'Unifr, des ateliers destinés aux enfants de 9 à 11 ans ont été organisés au Smart Living Lab afin de sensibiliser les futures générations à la durabilité des bâtiments. Ces scientifiques en herbe ont pu plonger dans les métiers de la construction durable et expérimenter le fonctionnement des structures et ont compris le rôle des bâtiments sur notre bien-être.

Plus spécifiquement, ces jeunes ont exploré la conception de bâtiments à faible empreinte carbone à travers l'utilisation de la réalité virtuelle et augmentée. En construisant une petite structure à échelle réelle avec des matériaux respectueux de l'environnement, ils ont également découvert les rouages du métier d'architecte. L'atelier a mis en lumière l'importance des décisions impactant le mode de vie autour des bâtiments, en intégrant des disciplines telles que les mathématiques pour relever ces défis.



## Tables rondes TRANSFORM

- Deux tables rondes organisées par l'Institut TRANSFORM, en collaboration avec la filière architecture de la HEIA et en partenariat avec la revue spécialisée TRACÉS, se sont tenues au sein du Smart Living Lab. Ce cycle de rencontres annuelles s'inscrit en marge du projet « Tout se transforme » et explore la diversité et la complexité des domaines impactés par la transformation en architecture et urbanisme.

La première table ronde s'est focalisée sur la transformation de l'enseignement en architecture. Les discussions ont porté sur les responsabilités futures des enseignants et sur l'évolution du rôle de l'architecte dans les prochaines décennies. La seconde thématique a mis en lumière deux expériences pédagogiques distinctes : une sur le logement collectif et l'autre sur les immeubles de bureaux. Ces expériences ont remis en question la démolition des architectures non patrimoniales de la seconde moitié du 20<sup>e</sup> siècle, en explorant leur potentiel de transformation plutôt que leur destruction.





# Un vivier de talents internationaux pour l'industrie suisse



**Seoyeon Yun, une professionnelle sud-coréenne de la stratégie en R&D, et Evangelos Belias, un professionnel grec de la gestion de projet, ont tous deux rejoint le SLL en tant que doctorants de 2019 à 2023. Grâce à divers soutiens et collaborations industrielles, ils ont contribué significativement aux domaines du génie civil, du bâtiment et de l'ingénierie environnementale. Leurs réalisations illustrent comment le SLL attire des talents internationaux brillants et les propulse dans des rôles essentiels au sein des principales industries suisses.**

## SEOYEON YUN ET EVANGELOS BELIAS

### Comment avez-vous rejoint le SLL ?

(S.Y): Mon parcours avec le labo Human-Oriented Built Environment Lab (HOBEL) de l'EPFL et le SLL a été une aventure remarquable, remplie de croissance, d'innovation et d'expériences inestimables. Tout a commencé par une connexion inattendue grâce au programme ARCHEST, qui m'a permis de rencontrer le Prof. Dusan Licina en Corée du Sud et finalement de rejoindre son groupe de recherche en tant que doctorante en Suisse.

(E.B): J'ai rejoint l'EPFL via HOBEL et le SLL en 2019 pour poursuivre mes études de doctorat. N'ayant jamais été en Suisse auparavant, j'ai découvert le SLL en ligne via LinkedIn et le site officiel. J'ai été inspiré par les recherches et les innovations de pointe menées là-bas. Cette motivation m'a conduit à postuler pour un poste de doctorant sous la supervision du Prof. Dusan Licina.

### Quelles ont été vos premières impressions ?

(S.Y): À mon arrivée, je me souviens vivement d'une activité de renforcement d'équipe impliquant divers groupes de recherche et équipes aux fonctions différentes. Cette expérience initiale a mis en lumière l'esprit de collaboration et l'approche interdisciplinaire. L'environnement dynamique du laboratoire, tout en étant stratégiquement situé dans un hub d'innovation en effervescence, associé à l'accès à des installations de pointe et à des talents brillants, a grandement influencé ma décision.

(E.B): J'ai eu une excellente première impression de l'environnement du SLL, qui était animé, offrait diverses activités sociales et rassemblaient les gens, comme les groupes de course, la table de ping-pong et les déjeuners mensuels 'Smart Living Lunches'. Tout cela m'a fait me sentir vraiment bien accueilli.

### Comment la collaboration avec l'industrie a-t-elle façonné vos recherches ?

(S.Y): La synergie entre le milieu universitaire et l'industrie a été un pilier de mon parcours de doctorat, soutenu de manière significative par la bourse des innovateurs de l'EPFL. Le projet a été financé par le programme européen de recherche et d'innovation Horizon 2020 et un partenaire industriel. Collaborer avec Honeywell et l'écosystème d'innovation soutenu par le SLL a été l'un des moments les plus mémorables de mon doctorat. Les ressources fournies, telles que des installations avancées, des systèmes de gestion de bâtiment, des données et l'accès à des ingénieurs qualifiés, ont été inestimables. Cette collaboration m'a permis d'obtenir des résultats scientifiques dans un contexte réel, renforçant considérablement l'impact pratique et l'applicabilité de mes recherches. Cela a enrichi mes études doctorales et également mis en lumière le potentiel des efforts collaboratifs pour faire progresser la technologie.

(E.B): À l'époque, j'attendais d'obtenir un financement pour mon doctorat depuis près d'un an. Recevoir la bourse EPFL Innovators a été une étape importante et a fourni un financement partiel pour mon salaire de doctorant sur quatre ans, pour lequel je suis immensément reconnaissant. Comme la bourse était orientée vers l'industrie et nécessitait une collaboration avec un partenaire externe pour mener des recherches appliquées, cela m'a encouragé à rechercher des collaborateurs potentiels dans l'industrie. J'ai eu le privilège de collaborer avec Estia SA, ce qui a été essentiel pour m'aider à comprendre les défis de durabilité dans le secteur du bâtiment et guider mes recherches vers des solutions pratiques. De plus, cela m'a permis de participer à des projets de recherche et d'innovation financés par l'UE, ce qui, bien que difficile, a abouti à de nombreuses réalisations dans le domaine de la certification énergétique des bâtiments.

### Quels conseils donneriez-vous aux chercheurs intéressés à collaborer avec l'industrie ?

(S.Y): J'encourage vivement les candidats au doctorat, les chercheurs actuels et futurs à rechercher de telles opportunités. Cela peut, non seulement, améliorer votre expertise technique, mais également développer des compétences essentielles comme la gestion de projet et du temps, et une communication efficace avec des équipes qui n'ont peut-être pas de formation scientifique ou technique. Ces compétences interpersonnelles sont incroyablement puissantes, vous aidant à comprendre votre recherche sous différents angles et à considérer l'impact réel que votre travail peut avoir.

(E.B): Je suis immensément reconnaissant des opportunités et du soutien fournis par le SLL, l'EPFL et Estia SA. Collaborer avec l'industrie a apporté de nouvelles perspectives, a enrichi ma créativité et ma conscience, et a comblé le fossé entre la théorie et la pratique. Je recommande fortement de rechercher de telles collaborations, pas nécessairement pour le financement, mais pour aborder des problèmes concrets et adopter une approche plus tangible. Cette connexion avec les défis de l'industrie peut enrichir considérablement leur recherche et leur applicabilité.

*« Collaborer avec l'ETHZ et l'EPFL est une stratégie ancrée dans Honeywell Suisse. L'accès aux meilleurs talents et aux installations de laboratoire à la pointe de la technologie, qui plus est à proximité, nous permet de relever les défis pressants en matière de durabilité et d'automatisation. La vision et la configuration du SLL s'alignent bien avec Honeywell Building Automation, ce qui en a fait un choix naturel pour s'associer avec le Prof. Dusan Licina. Le projet de doctorat de Seoyeon Yun comprenait une vaste campagne de mesures dans deux bâtiments Honeywell, révélant des informations précieuses et conduisant à une réduction de 15 % de la consommation d'énergie dans l'un des bâtiments. »*

*- Armin Wellig, Honeywell International, superviseur industriel pour la thèse de Seoyeon Yun.*

### Comment votre parcours au SLL vous a-t-il préparé à vos rôles actuels chez Siemens et Nestlé ?

(S.Y): Ce parcours a culminé avec mon intégration dans l'équipe Technologie & Innovation chez Smart Infrastructure, Siemens Schweiz AG, où je continue d'appliquer et d'élargir mon expertise pour réaliser des applications et des produits concrets. Par exemple, je soutiens le développement d'une application logicielle appelée « Building X Comfort AI ». Cette solution alimentée par l'IA optimise de manière autonome la température des pièces dans les bâtiments en utilisant la surveillance en temps réel des conditions climatiques intérieures et extérieures, ainsi que des systèmes HVAC, pour améliorer le confort et le bien-être des locataires. Je suis profondément reconnaissant pour les opportunités et le soutien fournis par l'EPFL Fribourg et le SLL. Leur engagement à promouvoir l'innovation et la collaboration a été déterminant dans la formation de ma carrière, et je suis fier de faire partie de cette communauté dynamique.

(E.B): Les compétences et les expériences que j'ai acquises en dirigeant des projets de recherche et de développement au SLL ont ouvert la voie à ma transition vers Nestlé. Mon passage à l'EPFL et la collaboration pratique avec l'industrie m'ont préparé à rejoindre un acteur majeur du paysage industriel suisse. Cette transition marque une étape importante dans ma carrière et souligne la valeur de mon parcours académique.

*« Travailler avec Evangelos et le Smart Living Lab a apporté de nouvelles perspectives pour la recherche de pointe et des solutions innovantes à l'entreprise, améliorant considérablement nos projets. »*

*- Dr. Flourentzos Flourentzou, ESTIA, superviseur industriel pour la thèse de Evangelos Belias.*

# Stimuler l'innovation de la recherche jusqu'au marché

Deux startups ont émergé du Smart Living Lab et ont réussi à traduire des recherches de pointe en solutions impactantes pour l'industrie de la construction et au-delà. Aeternum et Vizcab illustrent toutes deux le potentiel du SLL à favoriser l'innovation appliquée afin de répondre aux défis mondiaux pressants en matière de durabilité et de neutralité carbone. Leur parcours, de la recherche en laboratoire à la reconnaissance internationale, témoigne du potentiel transformateur de la collaboration académique-industrielle.

## INNOVER DES SOLUTIONS DE CONSTRUCTION DURABLES POUR LES VILLES DE DEMAIN

**Aeternum**, une startup enracinée dans l'écosystème innovant du Smart Living Lab, se spécialise dans le développement de solutions de construction polyvalentes, réutilisables et neutres en carbone, destinées aux propriétaires immobiliers. En s'appuyant sur la recherche du Structural Xploration Lab (SXL) de l'EPFL et de l'Institut de technologies de la construction et de l'environnement (iTEC) de la HEIA, la technologie d'Aeternum souligne son engagement envers des pratiques de construction durables.

En effet, Aeternum est pionnière dans les bâtiments adaptables, qui évoluent de manière durable au cours de plusieurs cycles de vie, minimisant l'impact environnemental tout en conservant une valeur à long terme grâce à des stratégies de réutilisation efficaces. Leurs composants standardisés, fabriqués de manière durable, facilitent la création d'espaces de construction flexibles et de haute qualité, sans être limités par la disposition des colonnes, la forme des dalles ou le plan des étages. Sa structure modulaire et porteuse permet une reconfiguration facile pour répondre aux demandes évolutives et aux nouvelles exigences, per-

mettant aux villes de répondre dynamiquement aux divers besoins des utilisateurs tout en réduisant les empreintes environnementales globales et locales.

Après avoir obtenu une reconnaissance significative en 2022 en tant que l'un des 130 candidats de 30 pays sélectionnés pour le Programme d'accélération de Leonard par le Groupe Vinci et honorée comme l'un des quatre lauréats du NTN Innovation Booster pour l'industrie de la construction circulaire par Innosuisse, Aeternum a continué à étendre son influence. En 2023, la startup a gagné en visibilité grâce à des événements d'investisseurs de premier plan comme le Tech Tour Sustainable Construction Infrastructure et l'EPFL Startup Champions Seed Night, consolidant ainsi sa position et son attrait au sein de la communauté des investisseurs. Récemment, Aeternum a construit avec succès son premier prototype grandeur nature à Zollikofen. Assemblé en seulement deux jours, ce prototype sert de laboratoire expérimental pour tester de nouveaux matériaux et d'espace polyvalent pour des réunions et des événements communautaires.



[www.aeternum-tech.com](http://www.aeternum-tech.com)

## PIONNIER DE LA TRANSITION CARBONE DANS LA CONSTRUCTION

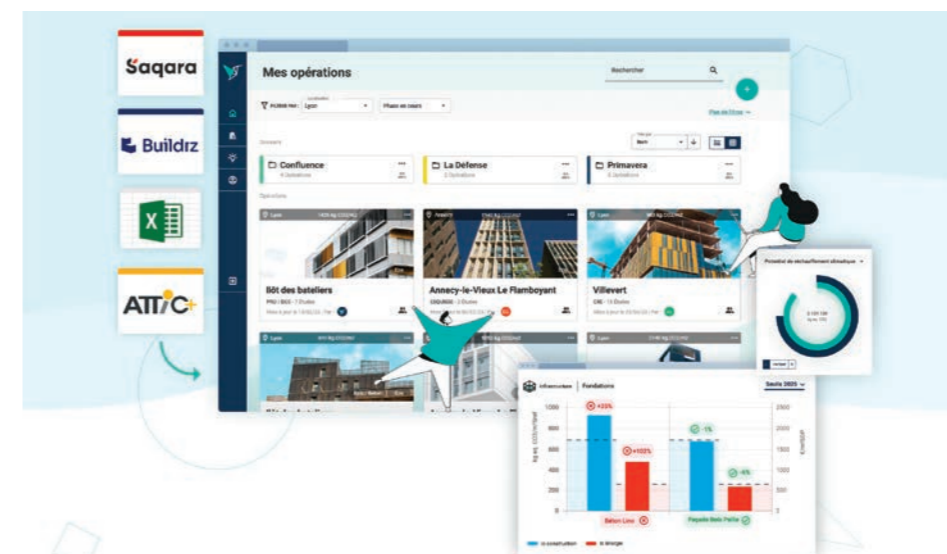
**Vizcab** accélère la transition carbone de l'industrie du bâtiment avec son service « Building Lifecycle Analysis », conçu pour être le plus rapide, le plus puissant et le plus collaboratif du domaine. Ancrée dans la conviction que la technologie numérique et la science des données peuvent stimuler la rentabilité tout en répondant aux défis énergétiques mondiaux, Vizcab vise à révolutionner les évaluations de durabilité pour les logements, bureaux et installations.

Le secteur de la construction contribue actuellement à 38% des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>, mais les évaluations de durabilité sont appliquées dans moins de 1% des cas mondiaux. Avec l'augmentation prévue de 2 milliards de la population mondiale d'ici 2050, les nouvelles constructions augmenteront considérablement les émissions de CO<sub>2</sub> provenant des matériaux, en particulier dans les marchés émergents moins réglementés, escaladant l'utilisation des matières premières. La mission de Vizcab est de démocratiser son service afin de permettre aux professionnels de la construction et de l'immobilier d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 grâce à des informations accessibles et basées sur des données concrètes. En s'appuyant sur la méthodologie de conception brevetée par l'EPFL, Vizcab offre des solutions techniques personnalisées pour atteindre les objectifs de performance de manière efficace et durable.

En 2023, Vizcab a atteint des étapes clés, notamment en remportant le Microsoft Accelerator for Energy Efficiency, en lançant Vizcab Analytics pour le suivi complet des émissions de carbone, et en triomphant dans la catégorie « Building for the Future » du Urban TechChallengers Competition. De plus, la levée de € 9 millions en série A auprès d'investisseurs de premier plan souligne son attrait et son adéquation avec les acteurs industriels. Vizcab a également été sélectionnée dans l'indice IMPACT40/120, l'index des « Future Unicorns with Social and Ecological Impact ». En 2024, Vizcab devrait se déployer à l'international dans 30 nouveaux pays grâce au financement et à l'échelle de sa plateforme.

*« Grâce à son approche interdisciplinaire, le SLL a su réunir les ingrédients nécessaires pour développer une méthodologie clé permettant d'explorer des stratégies de construction bas-carbone. »*

Thomas Jusselme, co-fondateur



[www.vizcab.io](http://www.vizcab.io)



# Chiffres-clés

## PERSONNEL

Le Smart Living Lab compte 136 collaborateurs et collaboratrices, totalisant 90,84 équivalents temps plein (ETP). Réunissant des membres de l'EPFL, de la HEIA et de l'UNIFR, ce personnel, issu de 26 nationalités, enrichit le lab par sa diversité de perspectives et de compétences, favorisant l'innovation et la qualité des recherches menées.



**26**  
nationalités



51 ept

**EPFL**

30,85 ept



8,99 ept

**136**



90.84

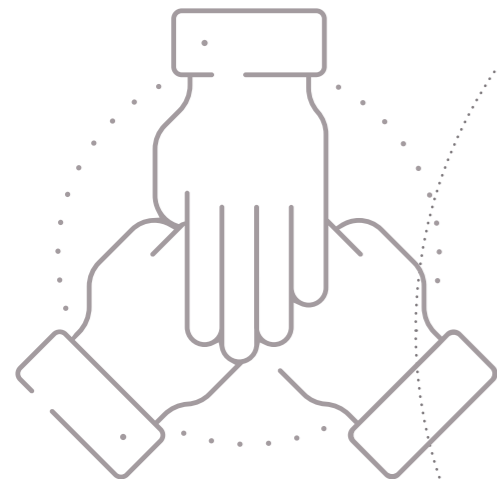
ept\* (\*équivalent plein temps)



**65**  
publications

## RECHERCHE

Le Smart Living Lab regroupe 12 équipes de recherche, organisées en laboratoires et instituts. Ensemble, ces équipes ont contribué à plus de 65 publications scientifiques participant à la diffusion internationale dans la communauté scientifique et dans le monde professionnel des connaissances produites au SLL.



**12**  
groupes



**47**

conférences  
internationales\*

(\*basé sur les documents de conférence)



**31**

événements

## ÉVÉNEMENTS

La production scientifique des recherches menées au Smart Living Lab a été présentée lors de 47 conférences, illustrant son attrait grandissant auprès de la communauté scientifique.

De plus, le SLL a accueilli et co-organisé 31 événements, tels que des tables rondes, des conférences invitées, des présentations de thèses de doctorat, des journées portes ouvertes, des séminaires, et des événements à vocation éducative.

## COMMUNICATION

Le SLL a continué d'alimenter ses principaux canaux de communication internes, soit par le biais de newsletters destinées à ses membres, mais également externes, en publiant du contenu sur le site officiel et les réseaux sociaux.

On constate d'ailleurs une augmentation régulière du nombre d'abonnés, avec une hausse moyenne de 16%. Parallèlement, sa visibilité a également été enrichie par 68 articles publiés dans diverses revues spécialisées, témoignant de la reconnaissance académique des travaux réalisés.

**900**

visiteurs uniques



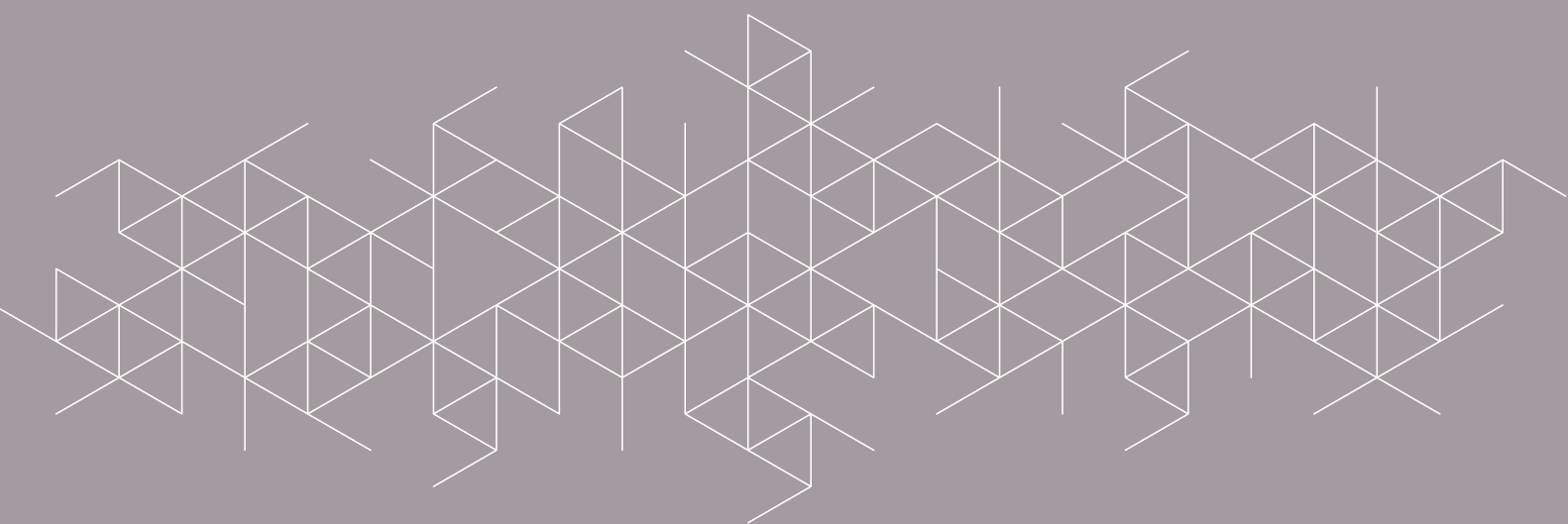
1'252 3'611

abonnés

CONSULTER  
LE RAPPORT  
ANNUEL 2023  
EN LIGNE







Smart Living Lab  
Halle bleue | Bluefactory  
Passage du Cardinal 13B  
CH-1700 Fribourg

[info@smartlivinglab.ch](mailto:info@smartlivinglab.ch)

