www.smartlivinglab.ch

smart living lab

2020

Rapport annuel

EPFL

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

UNI FR
UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNIVERSITÄT FREIBURG

Sommaire

4 Editorial

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

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 Laboratoire de construction et d'architecture | FAR | EPFL

26 HEIA-FR – un lien indispensable entre la recherche fondamentale et les milieux professionnels

28 Institut de recherche appliquée en systèmes énergétiques | ENERGY | HEIA-FR

30 Institut d'architecture : patrimoine, construction et usages | TRANSFORM | HEIA-FR

32 Institut des technologies de l'environnement construit | iTEC | HEIA-FR

34 Université de Fribourg - Interdisciplinarité et innovation

36 Institut Human-IST | UNIFR

38 Institut pour le droit suisse et international de la construction | LAW | UNIFR

40 Groupe Aide à la decision & recherche opérationnelle | DS&OR | UNIFR

42 Groupe Numérisation et systèmes d'information | DIGITS | UNIFR

44 International institute of management in technology | iimt | UNIFR

45 Rencontre avec les nouveaux professeurs du Smart Living Lab

46 Le bâtiment du Smart Living Lab - au service de la durabilité du bâti

48 Bâtiment du Smart Living Lab, exemple d'interdisciplinarité face aux enjeux climatiques

50 Lu dans la presse

51 Sélection d'événements

52 Projet participatif et transdisciplinaire SWICE

53 Programme d'échange académique Suisse - Corée ARC-HEST

54 Faits et chiffres 2022

Impressum

Concept et rédaction
Martin Gonzenbach
Adeline Guélat
Laure Thorens

Avec la contribution de :
Sergi Aguacil
Marilyne Andersen
Jean-Philippe Bacher
Hans-Georg Fill
Responsables des groupes de recherche
Luisa Pastore
Justine Roman
Sophie Roulin

Traductions
Transit TXT

Relecture
Violaine Coard
Laure Thorens

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, 2023 | www.smartlivinglab.ch

Editorial

La succession de crises inédites qui mettent au défi notre société appelle des changements profonds touchant à nos modes de production et d'utilisation des bâtiments. Ceux-ci ont non seulement un impact sur l'environnement et le climat à travers la consommation d'énergie et de ressources naturelles qu'ils induisent pour notre confort, mais influencent également notre santé et posent des enjeux géopolitiques liés à l'accès aux matières premières et aux matériaux de construction. Nos modes de vie ont connu des changements accélérés depuis la pandémie de COVID-19, ce qui génère de nouvelles formes d'usage de l'espace construit. Ces évolutions nécessitent des innovations, aussi bien technologiques que sociales, reposant sur les avancées scientifiques.

La mission du Smart Living Lab est précisément de faire le lien entre recherche fondamentale, appliquée et innovation, en réunissant de manière unique des compétences de pointe et un large spectre de disciplines scientifiques autour de la thématique de l'environnement bâti. En développant une recherche scientifique de classe mondiale et d'importantes collaborations européennes et nationales, le Smart Living Lab se profile comme un catalyseur pour l'attractivité de Fribourg et de son quartier d'innovation Bluefactory, autant que comme acteur académique à part entière avec une approche résolument expérimentale, allant du développement de prototypes à des solutions mûres pour l'industrialisation, et confrontant des concepts novateurs à la réalité du bâti.

Son projet phare est un bâtiment unique dédié à la recherche expérimentale, pour laquelle il servira de laboratoire vivant à échelle réelle. Sa raison d'être est de fonctionner comme un équipement scientifique, un dispositif permettant de tester aussi bien des composants physiques que des algorithmes de contrôle. Sa conception a été guidée par des travaux académiques réalisés sur plusieurs années et transférés à la pratique, pour lui permettre en particulier d'atteindre l'objectif de faibles émissions de CO_2 sur l'entier de son cycle de vie.

Le développement du Smart Living Lab est intimement lié à celui du quartier d'innovation de Bluefactory, un projet porté par le Canton et la Ville de Fribourg. En comptant sur l'émergence en parallèle d'un écosystème stimulant, accueillant une large palette d'acteurs industriels et de start-up, la mise en service du bâtiment du Smart Living Lab permettra au projet de déployer pleinement les effets escomptés et de participer ensemble au dynamisme, à l'ouverture au monde et à la multiplication des échanges avec des partenaires privés et publics autour de l'entrepreneriat et de la durabilité. Le début des travaux de construction annoncé pour 2022 a dû être repoussé, et dans l'intervalle les équipes scientifiques sont encore installées dans des locaux provisoires.

« Le projet phare du Smart Living Lab est un bâtiment unique dont la raison d'être est de fonctionner comme un équipement scientifique. »

Dans ce rapport d'activités, une double page est consacrée à chaque groupe de recherche afin de rendre compte de ses principales contributions. En outre, vous découvrirez quelques-unes des initiatives transversales menées par le Smart Living Lab, comme le jumeau numérique du bâtiment conçu pour l'expérimentation et l'exploitation, le projet d'envergure suisse « SWICE », au bénéfice d'un important financement de l'Office fédéral de l'énergie, ou encore « ARC-HEST », le programme qui tisse des liens étroits avec la Corée du Sud.

C'est par ses nombreuses facettes englobant la formation, la recherche et l'innovation que le Smart Living Lab apporte sa contribution pour servir la société, à l'échelle de Fribourg, de la Suisse et au-delà.

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 évènements, 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

Véronica Cubarle
Assistante administrative EPFL

Claudia Gil
Assistante administrative EPFL

Adeline Guélat
Responsable communication ad interim

Claude-Alain Jacot
Responsable technique EPFL

Teresa Messina
Assistante administrative EPFL

Stéphane Pilloud
Spécialiste technique EPFL

Laure Thorens
Responsable communication

Chantal Blanc
Assistante administrative HEIA-FR

Violaine Coard
Adjointe coordination HEIA-FR

Charles Riedo
Collaborateur technique HEIA-FR

Sofia Martin Caba
Responsable coordination Smart Living Lab-UNIFR

Jenny Imboden
Responsable coordination Smart Living Lab-UNIFR 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

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

Olivier Allaman
Promotion économique PromFr, Département de l'économie, de l'emploi et de la formation professionnelle, jusqu'au 9.11.2022

Jerry Krattiger
Promotion économique PromFr, Département de l'économie, de l'emploi et de la formation professionnelle, dès le 10.11.2022

EPFL

Matthias Gäumann
Vice-président pour les opérations

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

Stephanie Teufel
Directrice de l'international institute of management in technology (iimt) | Responsable Smart Living Lab pour l'UNIFR, jusqu'au 30.06.2022

Hans-Georg Fill
Directeur du groupe Numérisation et systèmes d'information (DIGITS) | Responsable Smart Living Lab pour l'UNIFR, dès le 1.07.2022

Canton de Fribourg

Olivier Allaman
Promotion économique PromFr, Département de l'économie, de l'emploi et de la formation professionnelle, jusqu'au 9.11.2022

Jerry Krattiger
Promotion économique PromFr, Département de l'économie, de l'emploi et de la formation professionnelle, dès le 10.11.2022

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)

Paolo Tombesi
Directeur du Laboratoire de construction et architecture (FAR)

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

Daia Zwicky
Responsable de l'Institut iTEC

UNIFR

Stephanie Teufel
Directrice de l'international institute of management in technology (iimt) | Responsable Smart Living Lab pour l'UNIFR, jusqu'au 30.06.2022

Hans-Georg Fill
Directeur du groupe Numérisation et systèmes d'information (DIGITS) | Responsable Smart Living Lab pour l'UNIFR, dès le 1.07.2022

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), dès le 1.07.2022

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

EPFL

RÉEMPLOI

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

INTERDISCIPLINARITÉ

- Groupe Building2050 (BUILD)
  Dr. Sergi Aguacil

AIR INTÉRIEUR

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

CONFORT PERSONNALISÉ

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

RECHERCHE

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

VILLE HUMAINE

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

ARCHITECTURE

- Laboratoire de construction et architecture (FAR)
  Prof. Paolo Tombesi

HEIA-FR
HTA-FR

ÉNERGIE DURABLE

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

ENVIRONNEMENT BÂTI

- Institut des Technologies de l'Environnement Construit (iTEC),
  Prof. Daia Zwicky

TRANSFORMATION

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

INNOVATION

- International institute of management in technology (iimt)
  Prof. Stephanie Teufel

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. Jean-Baptiste Zufferey

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, pour les besoins spécifiques du Smart Living Lab, l'EPFL a créé un groupe spécialisé dans l'utilisation expérimentale du futur bâtiment du centre de recherche, nommé Building2050. Celui-ci assure l'intégration des besoins de la recherche dans la conception du bâtiment du Smart Living Lab, à laquelle il participe de près. Il offre des conseils et des services scientifiques 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 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.

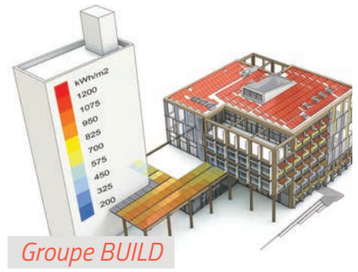
Martin Gonzenbach, directeur opérationnel EPFL Fribourg et Smart Living Lab

Laboratoire SXL

Laboratoire ICE

Laboratoire HOBEL

Laboratoire ETHOS



Groupe BUILD

Laboratoire FAR

Temps forts 2022

Relève scientifique

Trois thèses de doctorat ont été achevées au sein des laboratoires de l'EPFL à Fribourg. D'autre part, deux travaux de doctorat sont actuellement en cours à la HEIA-FR au bénéfice d'une co-supervision par des professeur·e·s de l'EPFL.

Smart ideas

Deux étudiant·e·s doctorant·e·s de l'EPFL ont obtenu des bourses d'innovation du programme Smart Living Lab Student Incubator pour leur permettre de développer des prototypes sur la base de leurs idées.

L'humain au centre de la transition énergétique

SWICE, un vaste projet de recherche national soutenu par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) dans le cadre de son programme SWEET a été lancé au Smart Living Lab sous le leadership académique de la professeure Marilyne Andersen. De nombreux scientifiques des trois institutions du Smart Living Lab y participent et l'EPFL en assure la coordination sur l'entier de sa durée de 8 ans. (voir page 52)

Construire, programmer et apprendre

Les cours de robotique offerts par l'EPFL aux filles et garçons de 11 à 13 ans du canton de Fribourg sur le site de Bluefactory ont à nouveau rencontré beaucoup de succès.

Nouveaux départs

L'EPFL Fribourg a engagé Andrew Sonta, professeur issu des universités américaines de Stanford et Columbia. Il développe le nouveau laboratoire de recherche ETHOS au sein du Smart Living Lab. Paolo Tombesi, à la tête du Laboratoire de construction et d'architecture FAR, a quitté le Smart Living Lab pour orienter principalement son activité sur l'enseignement à Lausanne.

Dialogue avec le public

Le Smart Living Lab s'est présenté au public lors du salon Energissima à Bulle, sur le stand du Centre de l'Energie de l'EPFL, ainsi que lors de l'événement « Perspectives ».

Des modèles venus du Nord

L'EPFL a organisé pour les PME fribourgeoises un camp d'innovation en Suède et en Finlande. Une dizaine d'entreprises ont pu découvrir une sélection d'exemples de bâtiments, de technologies et de quartiers innovants durant ce voyage d'une semaine, en compagnie de la Promotion économique, de la Chambre de commerce et de l'industrie et du Building Innovation Cluster de Fribourg.

Le béton de réemploi, ce nouveau matériau de construction

Depuis plusieurs années, le Structural Xploration Lab oriente ses recherches afin d'équiper bureaux d'architecture et d'ingénierie structurale avec des outils favorisant le réemploi de matériaux issus d'une déconstruction soignée. Après avoir développé des outils d'optimisation pour le réemploi d'éléments en bois et acier dans de nouvelles structures, et depuis le succès de la passerelle prototype « re:crete », le laboratoire démontre la faisabilité technique, l'efficacité environnementale, et la viabilité économique du réemploi des éléments issus du sciage de bâtiments en béton armé.

Polyvalent et capable de prouesses techniques uniques, le béton est omniprésent dans nos bâtiments. Ses nombreuses qualités en font le matériau le plus utilisé en Suisse et dans le monde. Pourtant, des tonnes de béton sont démolies chaque jour, victimes de logiques d'investissement agressives ou d'une obsolescence spatiale non maîtrisée. Ces démolitions – que l'on peut qualifier de prématurées car le béton en passe d'être démoli possède généralement encore toutes ses performances mécaniques – ne font qu'accentuer l'impact dévastateur de l'industrie du béton sur l'environnement.

Face à cette incohérence, et tant que démolitions et constructions rythmeront l'évolution du bâti, une nouvelle opportunité de développement se présente : le réemploi d'éléments de béton, extraits de structures existantes – par exemple par sciage – et ensuite réassemblés pour construire de nouveaux bâtiments. Les gains de cette approche phare de l'économie circulaire sont multiples. Contrairement au recyclage de granulats, le réemploi de béton réduit à la fois la production de déchets inertes et les gaz à effets de serre. Et ce, dans des proportions inédites en comparaison à d'autres matériaux ou techniques de construction actuelles. Le réemploi invite à de nouvelles relations avec la matière mise en œuvre. Le réemploi peut être financièrement bénéfique et il favorise la création et le maintien durable d'emplois locaux et non délocalisables. Seul inconvénient, l'adoption de cette pratique par l'industrie reste très timorée.

Dans ce contexte, le SXL poursuit actuellement plusieurs projets de recherche visant à démystifier et favoriser le réemploi de dalles, murs, poutres et colonnes en béton. Nous identifions et analysons les précédents historiques. Nous établissons et testons des protocoles d'évaluation de réemployabilité. Nous développons et évaluons l'impact de techniques d'assemblages ad-hoc. Nous digitalisons les routines industrielles. Nous construisons des prototypes. Et jusqu'à présent, chaque nouveau résultat reste plus prometteur que le précédent.

PUBLICATIONS CLÉS

- C. Fivet, C. Küpfer, M. Bastien. **Masse, « Matériaux rejetés cherchent nouveaux défis »,** Tracés. Vol. 11, num. 3525, pp. 8-13. Nov. 2022. https://www.espazium.ch/fr/actualites/materiaux-rejetes-et-nouveaux-defis
- J. Devènes, J. Brütting, C. Küpfer, M. Bastien Masse, C. Fivet. **« Re: Crete - Réemploi des blocs de béton d'un bâtiment coulé sur place pour une passerelle en arc »,** Structures. Vol. 43, pp. 1854-1867. Sept. 2022. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.07.012
- C.Küpfer, M. Bastien Masse, C. Fivet. **« Réemploi des éléments en béton dans les nouveaux projets de construction : Examen critique de 77 précédents circulaires »,** Journal of Cleaner Production. Vol. 383, p. 135235. Jan. 2023. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135235

EN SAVOIR PLUS

Projets phares

- **Protocoles d'évaluation pour le réemploi du béton**
  Julie Devènes, Maléna Bastien-Masse, Corentin Fivet | Immobilien Basel-Stadt (IBS) & ENAC Interdisciplinary Cluster Grant | sxl.epfl.ch
- **Prévision du potentiel de réemploi des éléments de construction**
  Barbara Lambec, Raphaël Wegmann, Maléna Bastien-Masse, Corentin Fivet | SNSF | sxl.epfl.ch
- **Développement du réemploi du béton par morceaux dans l'architecture**
  Célia Küpfer, Corentin Fivet | SNSF | sxl.epfl.ch

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. »

PARTENAIRES

- Immobilien Basel-Stadt (IBS)
- Etat du Valais
- République et Canton de Genève
- Ville de Meyrin
- MEDAIR (ONG)
- The Institution of Structural Engineers (UK)
- Steiner
- Orlatti
- Aeternum
- Cirkla
- Zirkular
- Ecole des Ponts (France)
- ETH Zürich (CH)
- University of Leeds (UK)
- University of Cambridge (UK)
- Tampere University (Finland)
- Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (France)

Personnaliser l'interaction humain-bâtiment pour optimiser les ressources énergétiques

L'efficacité énergétique dans l'environnement bâti peut être atteinte en comprenant la demande et en y adaptant correctement l'offre d'énergie.

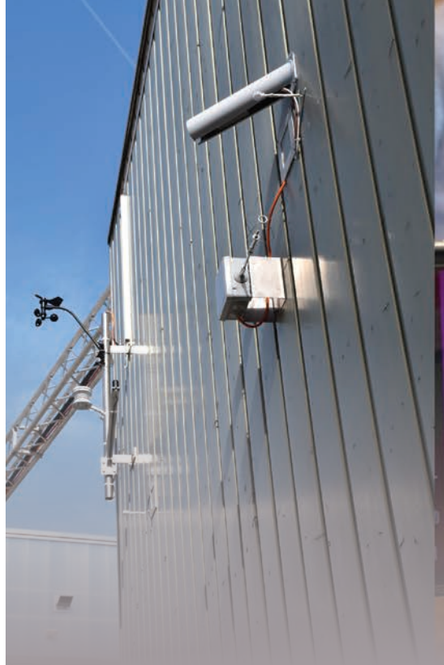
Les bâtiments sont actuellement conçus pour éviter l'inconfort et favoriser l'homogénéisation de l'environnement intérieur. Le facteur de la diversité humaine n'est pas pris en compte dans la conception et l'exploitation des systèmes thermiques, en particulier la variabilité inter- et intra-individuelle. Ainsi, les usagères et usagers utilisent à peine leur capacité à s'adapter à une large gamme de températures, ce qui pose un risque en période de changement climatique et d'événements météorologiques extrêmes. En raison du réchauffement climatique, les gens deviennent dépendants de systèmes de climatisation intérieure à forte consommation d'énergie dont l'empreinte carbone est élevée, ce qui contribue considérablement au réchauffement de la planète. Cela crée un cercle vicieux dans les émissions de gaz à effet de serre (GES) et va à l'encontre des objectifs nationaux et internationaux de réduction du réchauffement climatique.

Par conséquent, l'engagement à réduire la contribution des bâtiments aux émissions de GES exige tout d'abord de diminuer la demande d'énergie dans les bâtiments en encourageant l'adaptation des personnes à la gamme étendue de températures intérieures. La mise en place de technologies intelligentes va également aider à mieux faire correspondre l'offre et la demande d'énergie dans les bâtiments et à réduire les gaspillages d'énergie. Les occupants et leur comportement étant des paramètres importants de la performance énergétique des bâtiments, nous faisons progresser les études sur le conditionnement thermique personnalisé et ouvrons la voie au développement de cadres de contrôle centrés sur l'occupant qui équilibrent les différents objectifs du bâtiment (confort, énergie, hygiène et bien-être) en tenant compte de sa physique, de la modélisation basée sur les données et de l'expérimentation avec des êtres humains.

PUBLICATIONS CLÉS

- Khovalyg D, Ravussin Y. **Variabilité interindividuelle de la thermorégulation humaine : vers une ergonomie personnalisée de l'environnement thermique intérieur.** Obesity. https://doi.org/10.1002/oby.23454
- Heidari A, Maréchal F, Khovalyg D. **Apprentissage par renforcement pour l'exploitation proactive des systèmes énergétiques résidentiels par l'apprentissage du comportement stochastique des occupants et de la fluctuation de l'énergie solaire : Équilibre entre le confort, l'hygiène et la consommation d'énergie.** Applied Energy. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119206
- Rahiminejad M, Khovalyg D. **Etude numérique et expérimentale de la résistance thermique dynamique des espaces d'air ventilés derrière des façades passives et actives.** Building and Environment. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109616

EN SAVOIR PLUS



Projets phares

- **Impact de l'espace d'air ventilé derrière les façades traditionnelles (passives) et BIPV (actives) sur la performance thermo-hydrodynamique des structures murales des bâtiments**
  Mohammad Rahiminejad, Dolaana Khovalyg | ASHRAE | Ventair
- **Apprentissage par renforcement pour l'exploitation centrée sur l'occupant des systèmes énergétiques des bâtiments : Recherches théoriques et expérimentales**
  Amirreza Heidari, François Maréchal, Dolaana Khovalyg | EPFL and Ministry of Science of Iran | Behavelearn
- **iTHCoM : Contrôle non invasif du confort thermique grâce à l'IA**
  Mohamad Rida, Dolaana Khovalyg, Alexander Alahi | ENAC Interdisciplinary Cluster Grants | Ithcom

Dolaana Khovalyg
Directrice du Laboratoire ICE

« L'efficacité énergétique dans l'environnement bâti peut être obtenue par la compréhension de la demande. »

PARTENAIRES

- Princeton University
- Université de Fribourg
- Politecnico di Torino
- Maastricht University

Découvrir les secrets de la qualité de l'air dans les bâtiments

Faire progresser les connaissances sur les interactions entre les personnes et les bâtiments en assurant simultanément une haute qualité de l'environnement intérieur et une consommation d'énergie minimale : c'est la mission que poursuivent les scientifiques du laboratoire HOBEL. Leurs recherches permettront une meilleure compréhension de la dynamique et du devenir des polluants de l'air dans les bâtiments, de l'exposition humaine par inhalation, des systèmes de ventilation intelligents et de contrôles, et plus largement, du confort humain et de l'efficacité énergétique dans l'environnement bâti.

En 2022, HOBEL a amené des contributions originales au domaine du génie civil et environnemental en combinant des expériences de laboratoire et de terrain, de la modélisation, de l'analyse de données et parfois des simulations numériques. Les intérêts de recherche d'HOBEL se concentrent sur l'ingénierie de la qualité de l'air, en mettant l'accent sur deux axes de recherche interconnectés :
1) La dynamique des polluants dans l'air intérieur et la science de l'exposition
2) La surveillance de l'air intérieur et les contrôles de ventilation intelligents

Dynamique des polluants dans l'air intérieur et science de l'exposition

Étant donné que nous passons la majeure partie de notre temps dans des lieux clos, il est essentiel de comprendre les sources et la composition des polluants de l'air intérieur pour interpréter les risques pour la santé et développer de meilleures mesures de contrôle des bâtiments afin de réduire l'exposition humaine. Une estimation inexacte de l'exposition humaine personnelle a été associée à de grandes incertitudes dans l'évaluation des risques pour la santé. Cet axe de recherche est centré sur une meilleure compréhension de la physique et de la chimie qui influencent les concentrations, la dynamique et le devenir des polluants atmosphériques dans les bâtiments, ainsi que leur transport vers les poumons humains.

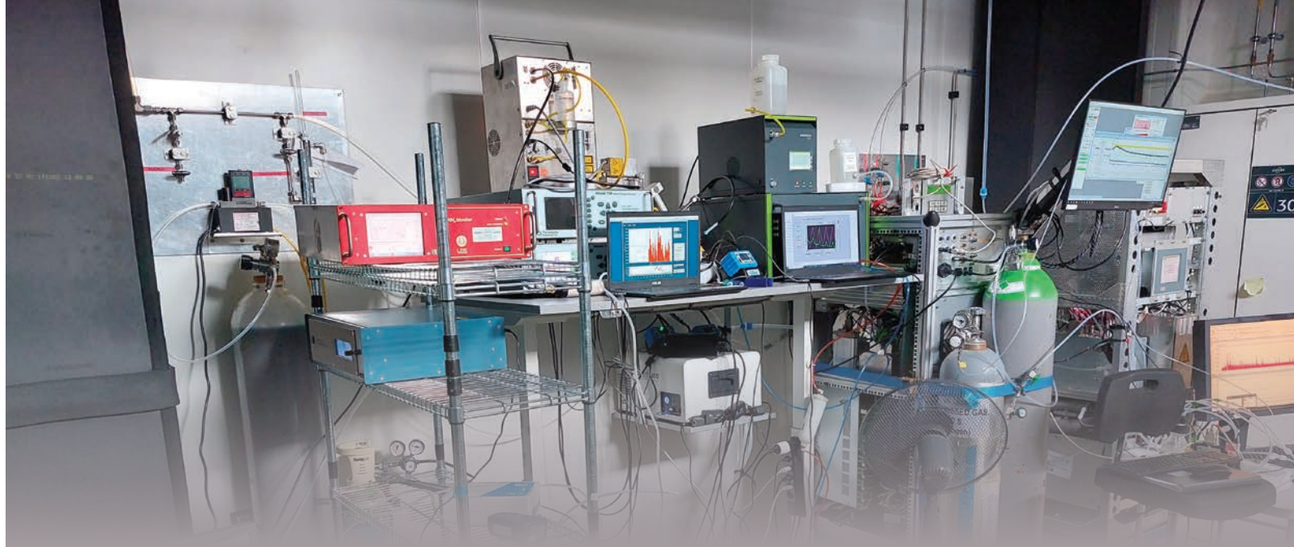
Surveillance de l'air intérieur et contrôle de ventilation intelligente

L'évolution de la technologie des bâtiments intelligents redéfinira notre façon de travailler et de vivre à l'avenir. Malgré les progrès réalisés dans l'élaboration de normes relatives à la ventilation des bâtiments et à l'environnement intérieur, de nombreuses études indiquent que le pourcentage de personnes satisfaites est nettement inférieur à celui prescrit par les normes, tandis que le niveau des polluants atmosphériques dépasse souvent les concentrations recommandées. Les boucles de contrôle actuelles qui régissent le fonctionnement des systèmes de ventilation sont limitées et principalement axées sur la performance énergétique des bâtiments. Dans le cadre de ce thème de recherche, HOBEL vise à générer de nouvelles idées sur le déploiement optimal des capteurs et sur la conception et le fonctionnement appropriés de la ventilation afin d'obtenir des espaces intérieurs économes en énergie, confortables et sains.

PUBLICATIONS CLÉS

- Yun S, Zhong S, Hamed A, Alahi A, Licina D. **Méthodes de substitution pour la détection de l'exposition par inhalation dans des environnements de bureau simulés.** (2022) Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology, 1-11. https://doi.org/10.1038/s41370-022-00495-w
- Belias E, Licina D (2022). **Choix d'une stratégie de filtration de l'air pour les PM2,5 extérieures afin d'optimiser la qualité de l'air intérieur et la consommation d'énergie.** Buildings and Cities, 3 (1). https://doi.org/10.5334/bc.153
- Gonzalez Serrano V, Licina D (2022). **Évaluation longitudinale des nuages de pollution atmosphérique personnelle dans dix environnements familiaux et professionnels.** Indoor Air, 32(2): e12993. https://doi.org/10.1111/ina.12993

EN SAVOIR PLUS



Projets phares

- **Sonder la dynamique des nanoparticules et la chimie des phases gazeuses dans les environnements intérieurs et leur influence sur la charge d'inhalation humaine**
  Tianren Wu, Dusan Licina | EPFL Science Seed Fund | smartlivinglab.ch/projects
- **Constituants des particules humaines, émissions microbiennes et chimiques ainsi que les mécanismes de dispersion et d'expositions dans les environnements intérieurs**
  Shen Yang, Marouane Merizak, Meixia Zhang, Dusan Licina | FNS | smartlivinglab.ch/projects
- **Rénovation industrialisée et personnalisée pour des sociétés durables**
  Sarah Crosby, Evangelos Belias, Dusan Licina + 22 European partners | Horizon Europe | inperso-project.eu

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

Department of Environmental and Resource Engineering, DTU, DK
Atmospheric Chemistry, Max Planck Institute for Chemistry, DE
Global Health Institute, Duke University, USA
Finnish institute for Health and Welfare, FI
School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing, China
Environmental Health Sciences Dpt, School of Public Health, Yale University, New Haven, USA
Department of Building Science, Tsinghua University, Beijing, China
Laboratory for Biomimetic Membranes and Textiles, EMPA, CH
Honeywell Building Technologies, CH
Siemens Building Technologies, CH
ESTIA SA, CH

Intégrer les objectifs sociaux et environnementaux pour un environnement bâti durable

Nous tirons parti des outils informatiques modernes pour améliorer notre compréhension des interactions entre les systèmes humains, environnementaux et construits.

La vision d'ETHOS est d'exploiter au mieux les données et les technologies numériques actuelles 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 idée plus précise de la façon dont les gens utilisent l'environnement bâti et interagissent avec lui, nous pourrons élaborer des stratégies pour concevoir et gérer cet univers 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 fondées sur les données peuvent nous aider à découvrir l'impact d'un aménagement urbain réservé aux piétons et économe en énergie ainsi que sur la capacité des communautés à former des réseaux sociaux fédérateurs.

Les premiers projets d'ETHOS se dessinent en 2023. En plus des principaux sujets de recherche décrits ci-dessus, ETHOS vise une collaboration avec des économistes de l'Université de Lausanne et de l'Université de Zurich pour exploiter des outils d'apprentissage automatiques afin de comprendre les impacts économiques de la modernisation des bâtiments verts. Ce projet est financé par l'Enterprise for Society Center (E4S), une initiative conjointe encourageant les collaborations entre disciplines et institutions.

Sur le plan de l'enseignement, ETHOS est engagé dans le développement de nouveaux cours qui complètent l'initiative Teach4Sustainability à l'échelle de l'EPFL, y compris des cours sur la durabilité en génie civil et sur les outils informatiques qui peuvent être utilisés pour comprendre le comportement des systèmes complexes.

PUBLICATIONS CLÉS

- Sonta Andrew. **Une base de données mondiale sur le comportement des occupants.** Scientific Data, https://doi.org/10.1038/s41597-022-01475-3
- Sonta Andrew. **Simulation guidée par les données de la consommation d'énergie d'un bâtiment à l'échelle de la pièce.** Proceedings of the International Conference on Computing in Civil Engineering. https://doi.org/10.1061/9780784483893.141

EN SAVOIR PLUS

Projets phares

- **Occupants dans les bâtiments**
  Matteo Favero, Zhang Yufei | Fonds EPFL | smartlivinglab.ch/projects
- **Analyse sociale de la forme urbaine**
  Kanaha Shoji | Fonds EPFL | smartlivinglab.ch/projects
- **Apprentissage automatique des impacts économiques des politiques de construction résidentielle écologique en Suisse**
  Enterprise for Society E4S | smartlivinglab.ch/projects

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. »

PARTENAIRES

- Université de Lausanne
- Université de Zürich
- Enterprise for Society (E4S)

Utilisation d'outils numériques open source facilitant l'échange de données pour des environnements bâtis plus durables

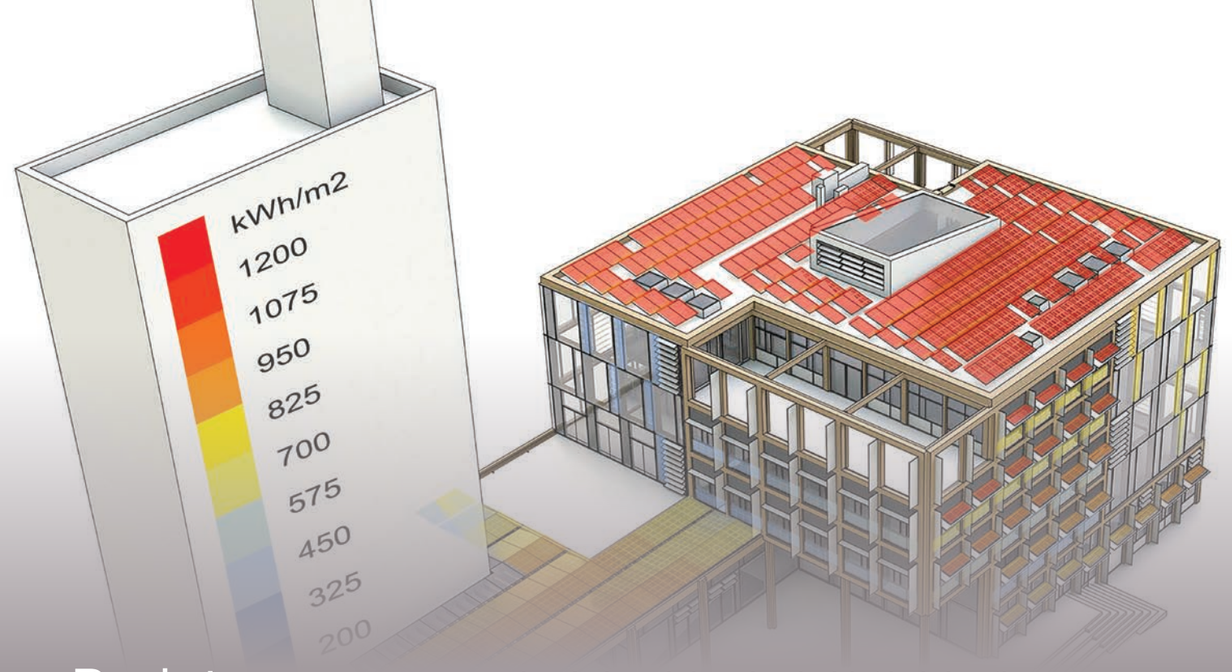
Le groupe BUILD mène des recherches appliquées pour développer des solutions innovantes et durables pour l'environnement bâti, en se concentrant sur le photovoltaïque intégré au bâtiment, les outils numériques open source, la modélisation 3D, l'intégration de l'IoT (internet des objets) et les jumeaux 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 libres** permettent l'échange de données ce qui facilite la prise de décision dans les premières phases de conception. Ces outils peuvent permettre la collaboration, le partage des connaissances et l'optimisation des ressources afin d'améliorer la durabilité des bâtiments.
- **L'utilisation et l'échange de modèles 3D** pour les simulations énergétiques, solaires et d'éclairage naturel peuvent contribuer à optimiser la conception et l'exploitation des bâtiments, ce qui permet d'améliorer l'efficacité énergétique et de réduire l'impact sur l'environnement.
- **L'intégration des données d'exploitation des bâtiments, des données des capteurs et des modèles 3D** à l'aide de l'internet des objets visent 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.
- **L'exploitation de plateformes open-source (comme Speckle)** soutenant la création de jumeaux numériques de différents living labs, à l'échelle du bâtiment et du quartier, vise à améliorer la compréhension des performances des bâtiments en créant des répliques numériques des environnements construits.

PUBLICATIONS CLÉS

- Ullal André ; Steullet Anne ; Roman Justine ; Michel Kyra ; Duque Mahecha Sebastian ; Celentano Giulia ; Habert Guillaume; Al Laham Hager ; Tamvakis Pavlos; Aguacil Moreno Sergi. **Construction durable dans l'humanitaire. Critères d'action pour la durabilité de la construction humanitaire.** 36th Passive and Low Energy Architecture PLEA 2022 Conference, Santiago de Chile, Chile, November 23-25, 2022
- Aguacil Moreno Sergi; Lufkin Sophie; Laprise Martine; Rey Emmanuel. **Approche comparative de l'impact environnemental induit par différentes visions architecturales d'un nouveau quartier périurbain.** 36th Passive and Low Energy Architecture PLEA 2022 Conference, Santiago de Chile, Chile, November 23-25, 2022
- Aguacil Moreno Sergi; Morier Yvan; Couty Philippe; Bacher Jean-Philippe. **Photovoltaïque intégré au bâtiment (BIPV) combiné à un système de stockage d'électricité à base d'hydrogène à l'échelle du bâtiment vers la neutralité carbone.** Proceedings of the Central Europe towards Sustainable Building (CESB22), 38.

EN SAVOIR PLUS



Projets phares

- **Partager les résultats de la recherche à l'aide de l'outil open source DesignExplorer**
  Aguacil, Sergi (BUILD), Rey, Emmanuel (LAST) | EPFL | design-explorer.epfl.ch
- **Bien-être durable pour l'individu et la collectivité dans la transition énergétique (SWICE)**
  Aguacil, Sergi, Duque, Sebastian, Roman, Justine, Widmer, Régis | OFEN – SWEET program | sweet-swice.ch : Systèmes énergétiques et infrastructures, interface et intégration dans les livings labs, projet pilote.

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. »

PARTENAIRES

- BFF SA
- ECONS SA
- foxym Sàrl
- GSK plc.
- LAPORCH Sàrl
- OCULIGHT dynamics Sàrl
- Pix4D SA
- RoomZ SA
- Tecphy Sàrl

L’architecture de la construction

En anglais, FAR se comprend à la fois comme un adjectif (lointain) et un acronyme (Pour une Architecture du Réel). FAR définit les activités d’une équipe de recherche qui s'intéresse à la qualité du monde bâti et au rôle de la construction dans sa réalisation. Utopique dans sa volonté et pragmatique dans ses tactiques opérationnelles, le travail de FAR cherche à définir des solutions matérielles aux défis de l'environnement bâti, ancrées dans leurs réalités historiques, sociales et économiques.

Au cours de l'année 2022, l’équipe de recherche de FAR a travaillé sur une série de projets liés à la construction à travers le monde. Ceux-ci comprennent :

- La reconstruction du processus de conception et d'assemblage mis en place pour la deuxième phase de l'Opéra de Sydney dans les années 1960 ;
- Les modifications possibles des pratiques de construction au Sri Lanka après l'avènement de la crise financière ;
- L'héritage technique d'un cabinet d'architectes nord-américain à l'œuvre sur quatre continents à la fin du XX^{e} siècle.

Au cours de la même période, le professeur Tombesi a été l'un des principaux orateurs du Congrès mondial de la construction CIB 2022 à Melbourne (W078 : Information Technology for Construction), et a reçu le prix du meilleur article Frontiers of Architectural Research 2022 avec ses collègues de Sydney Stracchi et Cardellicchio. Ensemble, ils sont les auteurs de la vidéo sur la réalisation des nervures de l'Opéra de Sydney, exposée au musée MAXXI de Rome dans le cadre de Technoscape : The Architecture of Engineers (1er octobre 2022 - 16 avril 2023).

En mai 2022, le professeur Tombesi a été choisi pour organiser le Symposium international Latsis 2023, sur le travail des bureaux d’architecture dirigés par des femmes, qui a eu lieu au Rolex Learning Center du 24 au 26 mars 2023. En décembre, il a également été choisi pour donner la Gordon Smith Lecture 2023 à l'université de Yale.

FAR a quitté le Smart Living Lab à la fin de l'année 2022 pour poursuivre ses recherches à l'EPFL à Lausanne.

PUBLICATIONS CLÉS

- **Le rôle de la construction réelle dans le processus de conception du toit de l'Opéra de Sydney.** Stracchi, Paolo, Cardellicchio, Luciano, Tombesi, Paolo, Frontiers of Architectural Research, https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.10.005 (Winner best paper award 2022)
- **Comparaison des performances thermiques de tentes humanitaires standard.** Ullal, A., Aguacil, S., Vannucci, R., Yang, S., Goyette Pernot, J., Licina, D., Tombesi, P., Energy & Buildings, Available online 22 March 2022. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112035
- **Circularité par l’action au Sri Lanka : La nécessité économique rencontre la rénovation du tissu urbain.** Pathiraja, Milinda, Tombesi, Paolo, Frontiers in Built Environment, 10 January 2023, Section Sustainable Design and Construction, Volume 8 - 2022, https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.1098389

EN SAVOIR PLUS

Projets phares

- **Le processus de construction de l'Opéra de Sydney**
  Paolo Tombesi, Paolo Stracchi, Luciano Cardellicchio | Différentes subventions pour l’infrastructure en Australie | youtu.be/zkLDBMUFGWQ
- **Localiser Giurgola : De l'école de Philadelphie à la pratique mondiale**
  Andrew Leach, Catherine Lassen, University of Sydney ; Philip Goad, Annmarie Brennan, University of Melbourne ; Denise Costanzo, Penn State University ; William Whitaker, University of Pennsylvania ; Paolo Tombesi, EPFL | Australian Research Council Discovery Project DP220101537
- **Exploiter la crise : De nouveaux languages concrets pour le Sri Lanka**
  Milinda Pathiraja, University of Moratuwa ; Robust Architecture Workshop, Colombo ; Paolo Tombesi, EPFL | The Lanterns

Paolo Tombesi
Directeur du
Laboratoire FAR

« Pour s'identifier à une culture de la construction critique et y adhérer, nous devons apprendre à rendre les éléments de cette culture accessibles et ouverts à l’analyse. »

PARTENAIRES

- University of Sydney
- University of New South Wales
- University of Melbourne
- University of Moratuwa
- University of Minnesota
- Universidad de Navarra
- Università Roma Tre
- Universidad de Granada
- Università dell'Aquila
- Pontificia Universidad Catolica de Chile

HEIA-FR – un lien indispensable entre la recherche fondamentale et les milieux professionnels

La HEIA-FR est fortement impliquée dans le développement du Smart Living Lab depuis ses prémices en 2012. Le programme de recherche de la HEIA-FR au sein du Smart Living Lab agit comme pont entre la recherche académique et le terrain. En collaboration avec ses partenaires, elle fait avancer l'état des connaissances ainsi que le niveau d'expérience et apporte de ce fait des réponses concrètes aux défis techniques, sociétaux et économiques, auxquels le développement de l'environnement bâti est confronté. Au vu des crises multiples au rang desquelles le dérèglement climatique et la perte en biodiversité, cette contribution aux changements des pratiques et des usages est plus que jamais d'actualité.

Malgré les Conférences des Nations unies sur les changements climatiques qui se succèdent, les émissions de gaz a effet de serre continuent d'augmenter et nous n'observons pas encore de réelle transformation. Les impacts du dérèglement climatique se multiplient et l'atteinte des objectifs fixés par les accords de Paris est compromise. Qu'il s'agisse de réemploi d'éléments de construction, de rénovation ou d'aménagement urbain durable, les projets du programme de recherche de la HEIA-FR / Smart Living Lab offrent des solutions et des perspective concrètes.

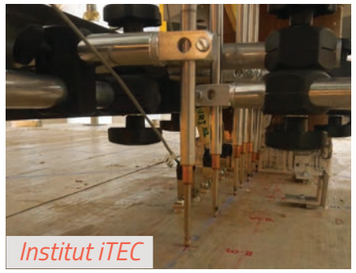
La pénurie actuelle remet la question de l'indépendance énergétique au cœur de l'actualité. La performance énergétique des bâtiments et l'intégration des énergies renouvelables au niveau du quartier sont incontournables. L'atteinte des objectifs énergétiques et climatiques demandent des adaptations significatives à tous les niveaux. Qu'il s'agisse des collectivités publiques, des entreprises ou de la population ; chacun a sa part de responsabilité et la possibilité d'agir.

En soutenant ses chercheuses et chercheurs dans le dépôt et la réalisation de projets, la HEIA-FR leur offre une opportunité unique de développer leurs idées. Le Smart Living Lab leur permet ainsi de tester des solutions innovantes dans des situations réelles, de transférer les connaissances vers la pratique et d'apporter leur contribution aux défis auxquels la société est confrontée.

Jean-Philippe Bacher, Responsable 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 2022

Adaptation au changement climatique

Avec la multiplication d'évènements climatiques extrêmes (canicule, sècheresse, intempéries) l'environnement construit devra faire preuve de résilience. La conception des bâtiments et des espaces urbains doit s'adapter à cette nouvelle réalité.

Programme de recherche

Il favorise l'acquisition de projets financés par des fonds tiers au niveau interne (HES-SO), régional (NPR), national (FNS, Innosuisse).
En plus des projets mentionnés ci-dessous, plusieurs projets sont en cours de montage.

Economie circulaire

Deux projets du programme de recherche mettent au centre de leurs préoccupations le réemploi de ressources existantes comme moyen de transformer la ville, ConcReTe & POLYNORM.

Projets HES-SO

BioLoop

BAROMal

Projets NPR

ADVENS

BIM-UP

DiagnoBAT

LightBudget

POLYNORM

SmartTS

SWICE : partir de l'individu pour assurer une transition énergétique durable

Ce projet mené par le Smart Living Lab a officiellement démarré en avril 2022. Il a pour objectif de réduire la consommation d'énergie du pays sur la base de collaborations directes avec la population à travers des « living labs ». Les changements de comportements et d'habitudes des individus mais aussi leur bien-être sont au cœur de ce projet.
Cinq professeur·e·s de la HEIA-FR sont impliqués dans ce projet d'envergure financé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEN) qui se déroulera jusqu'en 2028.

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 fortement impliqué dans le projet OFEN 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 « livings 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.

Le projet BioLoop part du constat que comme les forêts ou les océans, nos bâtiments pourraient devenir des puits de carbone, en séquestrant le CO_2 dans leurs murs. Pour cela, il faudrait que des matériaux biosourcés, c'est-à-dire d'origine végétale, soient largement utilisés par les professionnels de la construction. Ils contribueraient ainsi à stabiliser la quantité de CO_2 atmosphérique et influeraient positivement le climat, les écosystèmes et la biodiversité. Le projet souhaite dresser un état des lieux exhaustif de l'utilisation de ces matériaux biosourcés dans le bâtiment. Les résultats attendus sont nombreux et concernent différents ingénieur·es : scientifiques, architectes, ingénieurs, partenaires industriels ou figures politiques. Obtenir un panorama précis du marché de la construction de demain, dans ce domaine, permettrait une généralisation plus rapide de la pratique.

Finalement, le projet ADVENS vise à fournir aux entreprises un outil de modélisation permettant de simuler, dimensionner et optimiser simultanément des réseaux thermiques et électriques, afin d'optimiser l'efficience énergétique dans la planification et l'exploitation des installations industrielles.

PUBLICATIONS CLÉS

- Bahrar, M.; Jusselme, Thomas. **Développement d'une nouvelle méthodologie de notation environnementale pour les produits de construction, une étude de cas française.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 1078, Berlin, Germany, 20-23 September 2022. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012129
- Aguacil, Sergi; Morier, Yvan; Couty, Philippe; Bacher, Jean-Philippe. **Photovoltaïques intégrés aux bâtiments (BIPV) combinés à un système de stockage de l'électricité à base d'hydrogène à l'échelle du bâtiment pour atteindre la neutralité carbone.** Prague, Czech Republic, 4-6 July 2022
- Brigljevic, Teo; Bacher, Jean-Philippe; Hennebert, Jean. **Parts de flexibilité dans un réseau de distribution à basse tension.** Proceedings of the 6th European Grid Service Market Symposium , Lucerne, Switzerland, 4-5 July 2022

EN SAVOIR PLUS

Projets phares

- **SWICE : Sustainable Well-being for the Individual and the Collectivity in the Energy transition (sustainable lifestyles; living labs; energy transition; behavior change and well-being)**
  Jean-Philippe Bacher, Malik Kane, Thomas Jusselme | OFEN | SWICE
- **ADVENS-Plateforme de modélisation et simulation des réseaux thermiques multi-sources intégrés (réseaux énergétiques, modélisation, simulation, optimisation, outils de conception et d'exploitation des réseaux)**
  Malik Kane, Lucile Schulthess, Cornelia Blanke, Sandy Ingram | NPR | ADVENS
- **BioLoop**
  Thomas Jusselme | HES-SO | BioLoop

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. »

PARTENAIRES

CSD	PSE-Energies
BFF SA	Sàrl Richemont
Climate Services	SIG
CMA	SINEF SA
E-nno	Tecphy Sàrl
ETH Zürich	Urbaplan
Gradesens	Yord
Groupe E	OFEN
Losinger Marazzi	HES-SO
OVALE & Partenaires	

L'Institut TRANSFORM, 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_2, 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 vies 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.

En 2022, deux tables rondes ont été organisées en étroite collaboration avec le Smart Living Lab. Elles ont permis de questionner le concept de transformation en abordant tantôt la rénovation sous l'angle des enjeux patrimoniaux et énergétiques, tantôt les stratégies de refroidissement des espaces publics ainsi que les enjeux de végétalisation des villes.

PUBLICATIONS CLÉS

- Rey Joan Frédéric, Goyette Stéphane, Gandolla Mauro, Palacios Martha, Barazza Fabio, Goyette Pernot Joëlle (2022). **Impacts à long terme des conditions météorologiques sur les mesures de la concentration de radon à l'intérieur des bâtiments en Suisse.** Atmosphere, https://doi.org/10.3390/atmos13010092
- Mosimann Reto (2022). **Pour une « Umbaukultur » sensible : un outil d'aide à la décision.** Tracés, https://www.espazium.ch/fr/actualites/pour-une-um-baukultur-sensible-un-outil-daide-la-decision
- Vanbutsele Séréna, Brahimllari Schaffner Estela (2022). **Vides urbains à Fribourg.** Pro-Fribourg, vol. 3, no. 216, pp. 30-35, https://arodes.hes-so.ch/record/11487

EN SAVOIR PLUS

Projets phares

- **POLYNORM, projet pilote de réemploi d'une halle industrielle**
  Séréna Vanbutsele, Nicolas Grandjean, André Jeker, Reto Mosimann, Agnès Collaud | Polynorm
- **BIM REN, méthode de transferts de données de bâtiments à valeur patrimoniale**
  Sandra Rihs | HES-SO | BIM REN
- **TypoRENO-VD, développement de fiches pour la rénovation énergétique des bâtiments vaudois**
  Stefanie Schwab, Jean Luc Rime, Yanaëlle Sciboz, Jean-François Gaudard, Theo Perrelet, Anne-Valérie Narath (DIREN), Alberto Corbella (DGIP), Blaise Perisset (HEIG-VD), financement état de Vaud , Direction générale des immeubles et du patrimoine (DGIP), DIREN (Direction de l'énergie) | TypoRENO-VD

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. »

PARTENAIRES

- Etat de Fribourg (Promotion économique, Plan Climat, Service de l'énergie)
- Morand SA construction métallique
- 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 ressourcerie
- UNIGE
- ETH Zurich

Projets exceptionnels dans la recherche sur l'environnement bâti

L'année 2022 a été marquée par l'obtention de projets prestigieux et innovants pour iTEC. Ils reflètent parfaitement l'étendue et l'importance de la recherche dans le domaine du génie civil, qu'il s'agisse de nouvelles approches des matériaux de construction et des éléments structurels, d'éléments de construction multifonctionnels ou de solutions pour des défis à plus grande échelle dans l'environnement bâti.

iTEC mène des recherches sur tous les aspects de l'environnement bâti, des matériaux et éléments de construction dans les bâtiments aux réseaux et infrastructures à l'échelle territoriale. 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. Les projets récemment obtenus donnent un aperçu des activités de l'Institut iTEC.

Matériaux de construction alternatifs, éléments structurels et composants de bâtiments
Le projet ORCADEMO, financé par le programme de recherche HEIA-FR/Smart Living Lab, vise à développer la base méthodologique pour prédire les performances du béton de granulats recyclés par une approche d'apprentissage automatique basée sur l'image.

Le projet F-R Inno, financé par Innosuisse et un partenaire industriel, vise le développement d'un nouveau système de renforcement contre le poinçonnement dans les dalles plates en béton, un système structurel très fréquemment utilisé dans la construction de bâtiments.

Le projet TTV, financé par la NPR de Fribourg, évalue l'utilisation d'un substrat à base de biochar dans les toits verts pour la rétention des eaux de pluie, la réirrigation (au lieu de la consommation d'eau potable) et la production de biomasse.

Défis à plus grande échelle dans l'environnement bâti
Le projet URBA-SOIL, financé par le FNS, se concentre sur les performances des sols urbains pour les services écosystémiques (régulation de l'eau et de la chaleur), en comprenant les mécanismes de rétroaction entre les propriétés du sol, le transport de la chaleur et de l'eau ainsi que le rôle des vers de terre.

Le projet AutoDepot, financé par l'Office fédéral des transports, vise à définir les prérequis techniques et juridiques ainsi que la viabilité économique de la mise en œuvre d'un dépôt de bus autonome, avec un focus sur le trafic automatisé sur site.

Le projet HydrO2power, financé par le domaine Ingénierie & Architecture de la HES-SO, explore les interactions entre la qualité de l'eau (oxygène et température) dans le réservoir, la production d'énergie et les aspects environnementaux de la rivière en aval.

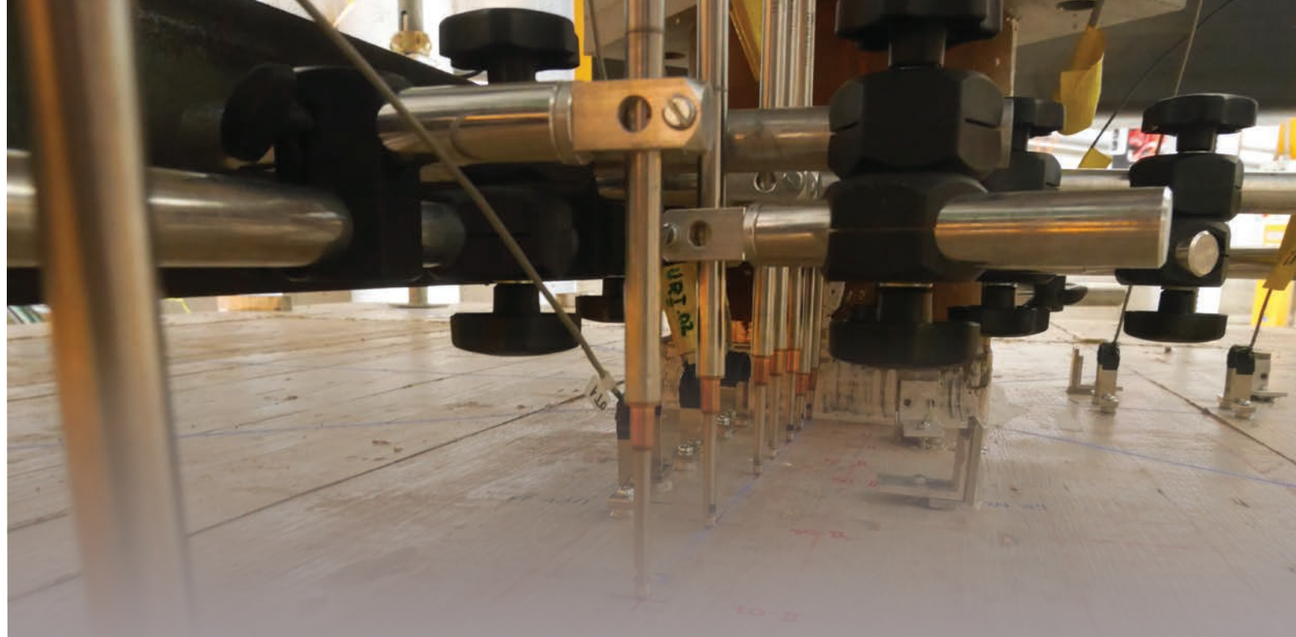
PUBLICATIONS CLÉS

- Serpell, Ricardo; Zwicky, Daia. **Granulats légers à faible consommation d'énergie par collage à froid de déchets de biomasse : effets des ajustements des proportions de matières premières sur les propriétés du produit.** Construction and Building Materials, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128392

- Favre Boivin, Fabienne et al.. **Élimination réelle des micropolluants des eaux usées par les biochars de biomasse de déchets de bois : une interprétation mécaniste liée aux diverses propriétés physico-chimiques des biochars.** Bioresource Technology Reports, https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100966

- Sandoval, Santiago et al.. **Modèles conceptuels de qualité des eaux de pluie par des formulations linéaires et non linéaires alternatives : une approche basée sur les événements.** Environmental Modeling & Assessment, https://doi.org/10.1007/s10666-022-09838-1

EN SAVOIR PLUS



Projets phares

- **Assainissement 4.0**
  Devaux, Mylène et al. | Programme de recherche HEIA-FR/SLL | Assainissement 4.0

- **TISLA 2D-Fx – Planchers en bois hybrides bi-axiales multifonctionnels**
  Zwicky, Daia et al. | Programme de recherche HEIA-FR/SLL | TISLA 2D-Fx

- **Utilisation de biochars de bois pour le traitement des eaux usées et de ré-infiltration de nappes (SYLVO)**
  Favre Boivin, Fabienne et al. | INTERREG, Canton FR | SYLVO

Daia Zwicky
Responsable de l'Institut iTEC

« L'environnement bâti n'est pas seulement un fardeau pour l'objectif zéro émission nette, mais il peut aussi apporter des contributions cruciales à sa réalisation. »

PARTENAIRES

- ETH Zurich
- EPFL
- Offices fédéraux
- Services municipaux et cantonaux
- ECAB
- Partenaires industriels du secteur de l'aménagement et de la construction

Université de Fribourg - 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 la durabilité. Ces différents objectifs sont atteignables grâce à plusieurs pôles d'excellence en recherche au sein de l'alma mater fribourgeois, 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, l'international institute of management in technology (iimt) jusqu'en juin 2022, et depuis juillet 2022, les groupes de recherche Decision Support and Operations Research (DS&OR) et Digitalization and Information Systems (DIGITS). Ces deux derniers consolident la stratégie de durabilité, innovation et interdisciplinarité de l'UNIFR depuis leur intégration au Smart Living Lab. L'UNIFR, avec ses 14 projets de recherche, contribue à mieux cerner l'interaction entre l'humain et la technologie dans l'environnement bâti afin de fournir des solutions innovantes à partir de multiples perspectives, y compris la numérisation, la logistique, l'aide à la décision et les aspects juridiques.

Au cours de l'année 2022, l'UNIFR a entrepris des changements organisationnels majeurs au sein du Smart Living Lab. Durant le premier semestre, l'iimt a assuré l'organisation et la coordination des groupes de recherche de l'université du Smart Living Lab. C'est au cours du second semestre que les professeurs Hans-Georg Fill et Bernard Ries ont pris la relève. Cette co-présidence apporte une expertise plus étendue de l'UNIFR au Smart Living Lab, ainsi qu'un renforcement de l'interdisciplinarité, une contribution supplémentaire d'idées, et de nouvelles perspectives innovantes.

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

Institut Human-IST

Institut LAW

Groupe DS&OR

Groupe DIGITS

iimt

UNI FR
UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNIVERSITÄT FREIBURG

Temps forts 2022

Publications à fort impact

Deux livres ont été publiés à l'occasion de la Conférence suisse sur le droit des marchés publics qui s'est tenue respectivement à Fribourg et à Zurich. De nombreux articles ont également été publiés par les équipes de recherche de l'UNIFR.

Collaborations internationales

Human-IST et le MIT media Lab ont développé les lunettes intelligentes personnalisées AirSpecs, dans le but d'obtenir des informations en temps réel sur l'environnement, le confort et le contexte de l'utilisateur·trice.

Départs

L'international institute of management in technology (iimt) dit au revoir au Smart Living Lab et centre ses expertises au sein de l'Université de Fribourg.

Nouveaux présidents

Les professeurs Hans-Georg Fill et Bernard Ries assurent l'organisation et la coordination de l'UNIFR au sein du Smart Living Lab avec une co-présidence dès juillet 2022.

Interaction entre l'humain et le bâtiment

Comprendre et améliorer le confort humain dans son environnement naturel.

Appliquant son expertise en matière d'interaction homme-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 participé activement à l'échange académique ARC-HEST entre la Suisse et la Corée, ainsi qu'au projet 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 sera 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 pour ce projet. 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.

PUBLICATIONS CLÉS

- Zhong S, Rosset L, Papinutto M, Lalanne D, and Alavi HS, 2022. **L'audio binaural dans les réunions hybrides : Effets sur l'identification du locuteur, la compréhension et l'expérience de l'utilisateur.** Proc. ACM Hum.-Comput. Interact. 6, CSCW2, Article 279 (November 2022), 24 pages. DOI : https://doi.org/10.1145/3555170

- Papinutto M, Boghetti, R, Colombo M, Basurto C, Reutter K, Lalanne D, Kämpf J. H. & Nembrini J. Energy and Buildings, 268, 112176 (2022). **Économiser l'énergie en maximisant la lumière du jour et en minimisant l'impact sur les occupants : Une approche de système d'éclairage automatique.** DOI : https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112176

- Alavi H, Zhong, S, & Lalanne D (2022). **Prévision de la qualité de l'air intérieur dans les espaces partagés : Modèles prédictifs et propositions de conception adaptative.** SPOOL, 9(1), 57–64. DOI : https://doi.org/10.47982/spool.2022.1.05

EN SAVOIR PLUS

Hye Jun Youn, étudiante en master à la Harvard School of Design, utilisant notre plateforme de perception du confort AirSpecs pour son projet.

Projets phares

- **Comprendre la perception du confort des lunettes intelligentes dans la nature**
  Sailin Zhong, Patrick Chwalek | UniFr Doc.Mobility | airspecs.resenv.org

- **Lucideles**
  Julien Nembrini, Moreno Colombo, Denis Lalanne | Office fédéral de l'environnement (OFEV) | lucideles.human-ist.ch

- **Bien-être durable pour l'individu et la collectivité dans le cadre de la transition énergétique - La dimension humaine du changement**
  Julien Nembrini, Moreno Colombo, Denis Lalanne, Jean-Philippe Bacher, Florinel Radu, Bernadette Sütterlin, Evelyn Lobsiger-Kägi, Timo Ohnmacht | Office fédéral de l'énergie (OFEN) | sweet-swice.ch

Denis Lalanne
Directeur de l'Institut Human-IST

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

PARTENAIRES

- MIT Media Lab
- National University of Singapore
- Regent Beleuchtungskörper AG, Basel
- ZHAW, Institut für Nachhaltige Entwicklung
- Institut ENERGY, HEIA-FR
- Institut TRANSFORM, HEIA-FR
- HSLU, Hochschule Luzern
- OFEN
- OFEV

Questions juridiques autour de la durabilité des marchés publics, de la cybersécurité et des contrats d'alliance

En 2022, la recherche de l'Institut pour le droit suisse et international de la construction s'est concentrée sur le droit des marchés publics (thèmes généraux et de durabilité), le droit des infrastructures critiques (obligations légales de cybersécurité) et le droit des contrats (développement de contrats d'alliance de projets dans le cadre juridique suisse). Le 24 juin, la conférence bisannuelle sur les marchés publics suisses a été organisée à Zurich, réunissant plus de 400 universitaires et gens de la pratique. En outre, de nombreuses activités d'enseignement ont été déployées à l'UNIFR ainsi que dans les programmes CAS sur les marchés publics, le BIM et la médiation.

Depuis 2019, plusieurs lois suisses sur le droit des marchés publics ont été successivement révisées, et dans certains cantons, leur révision respective est encore en cours. L'institut suit et analyse de près cette évolution, en particulier les nouvelles règles visant à renforcer les dimensions écologiques et sociales des achats durables.

Les sociétés contemporaines s'appuient sur de nombreuses infrastructures physiques pour permettre et maintenir le mode de vie que les gens ont adopté ainsi que les activités qu'ils souhaitent déployer avec leur économie. Le fonctionnement et la sécurité de ces infrastructures ont toujours été une question juridique importante. Jusqu'à récemment, cette question pouvait être traitée par des mesures constructives et organisationnelles, mais aujourd'hui, alors que le contrôle et la surveillance des constructions deviennent de plus en plus digitaux, de nouvelles menaces pour le fonctionnement et la sécurité des infrastructures apparaissent dans le cyberespace, qui exigent que des mesures supplémentaires soient prises. L'institut a pour objectif d'analyser la législation actuelle relative aux réseaux électriques à la lumière de ces menaces.

Les contrats traditionnels de conception et de construction sont structurés de telle sorte que les risques et les opportunités associés à l'opération convenue sont tous exclusivement attribués à l'une ou l'autre des parties au contrat. Cette approche incite fortement les deux parties à adopter des comportements non constructifs, égoïstes et susceptibles de menacer le projet. En effet, dès qu'un problème survient ou qu'un risque se concrétise, il est économiquement raisonnable pour chaque partie de nier toute faute ou responsabilité pour la rejeter sur l'autre partie. En conséquence, beaucoup d'argent, beaucoup de temps et de nombreuses chances d'optimiser les projets de construction sont perdus. Les contrats dits d'alliance de projet (ou contrats de livraison de projet intégré) ont été développés en Australie, aux États-Unis et ailleurs et visent à définir les incitations économiques d'une manière fondamentalement différente. En substance, la plupart des risques et des opportunités sont supportés conjointement par tous les acteurs du projet, ce qui élimine la plupart des incitations à un comportement obstructif. L'institut apporte son expertise à un groupe de travail de la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA) qui vise à adapter ce type de contrat au droit suisse et qui élabore une directive ainsi qu'un modèle de contrat.

PUBLICATIONS CLÉS

- Beyeler, Martin, [traduction]. **« Arrêts rendus en matière de droit des marchés publics en 2020/2021 ».** Zürich 2022 (ISBN/ISSN 978-3-7255-8440-6)
- Zufferey, Jean-Baptiste/Beyeler, Martin/Scherler, Stefan (rédacteurs). **Aktuelles Vergaberecht 2022 / Marchés publics 2022.** Zürich 2022 (ISBN/ISSN 978-3-7255-8439-0)
- Beyeler, Martin/SCHERLER, Stefan, [traduction] : **« Droit des marchés publics 2022 : Nouveaux thèmes, nouveaux arrêts ».** Zufferey/Beyeler/Scherler (rédacteurs), Aktuelles Vergaberecht 2022 / Marchés publics 2022, Zürich 2022, pp. 33 seq.

EN SAVOIR PLUS

Projets phares

- **La notion de durabilité dans le droit suisse des appels d'offres et des marchés publics**
  Martin Beyeler | conférences et publications | smartlivinglab.ch/projects
- **Préparer le terrain pour les contrats d'alliance de projet en droit suisse (collaboration de Martin Beyeler dans le groupe de travail du SIA 2065)**
  Elaboration d'un guide technique (SIA) et d'un modèle de contrat (SIA) | smartlivinglab.ch/projects
- **Infrastructures critiques dans le secteur de l'électricité et sécurité de l'information (Clea Simon)**
  Projet de thèse de doctorat | smartlivinglab.ch/projects

Martin Beyeler
Professeur de droit

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

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 a notamment été impliqué dans un projet industriel dans le contexte de la collecte des déchets.

Les organisations à but lucratif ou non lucratif 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 la formule résultante sur un 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 toutes les étapes susmentionnées ou une partie. C'est pourquoi ses axes de recherche couvrent la théorie des graphes, la programmation mathématique et les méthodes heuristiques et métaheuristiques.

En 2022, le groupe a conclu un projet de trois ans financé par Innosuisse, qui vise à rendre la collecte des déchets plus efficace et durable. En collaboration avec Schwendimann AG et l'iimt (Université de Fribourg), DS&OR a développé un prototype d'outil d'aide à la décision convivial basé sur le web qui aide les communes à trouver le système de collecte des déchets le mieux adapté à leurs besoins. Ce système comprend la stratégie mise en pratique et la technologie utilisée pour collecter et transporter les déchets. Pour déterminer un système, nous avons conçu et implémenté des algorithmes qui optimisent les décisions associées, telles que la localisation des points de collecte et les trajets effectués par les véhicules de collecte pour ramasser les déchets.

Ces algorithmes sont utilisés par l'outil d'aide à la décision dès que l'utilisateur précise les caractéristiques de la commune considérée. L'outil affiche alors plusieurs indicateurs de durabilité, de performance et de coût, permettant une comparaison directe entre le système actuel et celui suggéré. Cela fournit une base solide pour les décisions à long terme, grâce aux chiffres clés bien étayés qui sont documentés.

PUBLICATION CLÉ

- Fischer V, Pacheco M.
  Un problème de localisation des installations avec une charge de travail minimale et des taxes sur le ramassage des déchets.
  Operations Research Proceedings 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08623-6_13

EN SAVOIR PLUS

Projet phare

- **Aide à la décision pour une collecte efficace et durable des déchets**
  Vera Fischer, Meritxell Pacheco, Bernard Ries | Innosuisse | smartlivinglab.ch/projects

Bernard Ries
Directeur du Groupe DS&OR

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

PARTENAIRES

Schwendimann AG

iimt UNIFR

Fondements de la méta-modélisation basée sur la réalité augmentée

Le groupe DIGITS effectue de la recherche fondamentale pour l'intégration de la modélisation conceptuelle et de la réalité augmentée.

En juillet 2022, le groupe de recherche Numérisation et systèmes d'information (DIGITS) a rejoint le Smart Living Lab. L'objectif de la participation du groupe est de contribuer au développement de la digitalisation de l'environnement bâti. Les scientifiques souhaitent en particulier adapter les méthodes établies dans le domaine de l'informatique de gestion à d'autres activités de recherche interdisciplinaires. Ainsi, **les méthodes de modélisation conceptuelle** constituent l'une des méthodes de base 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 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 des langages de programmation.

Dans le cadre d'un projet de recherche en cours, DIGITS étudie comment cette approche de modélisation peut être associée aux technologies de réalité augmentée. Ils souhaitent surtout 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 basées sur la réalité augmentée, par exemple pour guider dynamiquement les visiteurs dans l'environnement bâti en fonction des préférences individuelles ou pour projeter dans le monde réel des connaissances sur la maintenance ou l'assemblage d'infrastructures physiques ou de machines. Dans la phase actuelle, 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.

PUBLICATIONS CLÉS

- Fabian Muff & Hans-Georg Fill. **Cas d'utilisation des applications de réalité augmentée dans la modélisation d'entreprise : Une analyse morphologique.** BMSD 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11510-3_14
- Fabian Muff & Hans-Georg Fill. **Réalisations passées et possibilités futures en combinant la modélisation conceptuelle avec la RV/RA.** BMSD 2023, (forthcoming)

EN SAVOIR PLUS

Projets phares

- **Réalité augmentée basée sur la connaissance**
  Fabian Muff, Daniel Borcard, Hans-Georg Fill | Smart Living Lab | En savoir plus
- **Modélisation conceptuelle spécifique à un domaine pour les technologies des registres distribués**
  Hans-Georg Fill, Felix Härer, Simon Curty | FNS | En savoir plus

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. »

PARTENAIRES

EPFL
HEIA-FR

iimt, un centre de compétences leader en management des technologies

L'international institute of management in technology (iimt) est un centre de compétences leader en management des technologies, et offre d'excellents programmes de formation continue ainsi qu'un centre de recherches innovantes. Ses activités de recherche se concentrent sur l'analyse des changements de comportement des consommateurs et les études sur l'habitat, ainsi que la gestion des systèmes d'énergie, de la cybersécurité, de l'innovation et des technologies. La Professeure Stephanie Teufel, directrice de l'iimt jusque-là, a pris sa retraite en 2021. Elle a encore dirigé ses derniers projets au Smart Living Lab en 2022.

PUBLICATIONS CLÉS

- Cunha J, Teufel S, Bas E, Guillo M. **Enseignement à distance : Perception par les étudiants du remplacement des cours sur place par des outils en ligne pendant la pandémie de COVID-19.** December 2022. International Journal of Social Science and Humanity 12(4):231-235. DOI:10.18178/ijssh.2022.12.4.1096

- Teufel, B., and Sentic, A. **Blockchain in Energy. In: Asif, M. (ed.): The 4Ds of Energy Transition: Decarbonization, Decentralization, Decreasing Use, and Digitalization.** Wiley-VCH GmbH, Weinheim, Germany, 2022. ISBN: 978-3-527-34882-4. https://doi.org/10.1002/9783527831425.ch18

- Teufel, S., Lischewski, C., and Teufel, B. **Obstacles à l'utilisation de véhicules fonctionnant à l'hydrogène - rapport de situation pour l'Allemagne et la Suisse.** iimt Institute Report, 2022, ISBN 978-3-905814-84-2

EN SAVOIR PLUS

Trois nouveaux groupes ont rejoint le Smart Living Lab

HANS-GEORG FILL
GROUPE DIGITS – UNIFR

Hans-Georg Fill est professeur ordinaire pour la numérisation et les systèmes d'information au Département d'informatique de l'Université de Fribourg. Il a rejoint le Smart Living Lab, où il coordonne les activités des groupes de recherche de l'Université de Fribourg, en juillet 2022.

Ses recherches actuelles se concentrent sur le développement de nouveaux types de méthodes et de langages de modélisation visuelle pour définir des exigences et les transformer en solutions numériques - la « métamodélisation ». Cela implique par exemple le développement de nouveaux langages visuels pour la conception et l'analyse d'applications basées sur la blockchain, pour lesquelles il a reçu une bourse FNS en 2020.

« L'environnement bâti est un environnement fascinant en raison de sa tangibilité et de l'interaction physique avec les objets de recherche - ce qui nous échappe souvent en informatique en raison de l'accent mis sur les logiciels. »

BERNARD RIES
GROUPE DS&OR – UNIFR

Le groupe Decisions Support & Operations Research de l'Université de Fribourg est affilié au Smart Living Lab depuis septembre 2022.

Avec son groupe, il apporte son expertise en matière d'aide à la décision, c'est-à-dire qu'il aide les organes de décision dans des situations complexes en utilisant plusieurs méthodes et outils quantitatifs comme la théorie des graphes et la modélisation mathématique. L'un de leurs principaux projets concerne la collecte efficace et durable des déchets.

« Le Smart Living Lab représente un environnement parfait pour s'attaquer à certains des problèmes les plus difficiles auxquels notre société est actuellement confrontée. »

ANDREW SONTA
LABORATOIRE ETHOS – EPFL

Andrew Sonta a rejoint la Faculté de l'environnement naturel, architectural et construit (ENAC) en tant que Professeur Assistant Tenure Track en Ingénieurie Civile le 1er septembre 2022. Il dirige le nouveau laboratoire « Civil Engineering and Technology for Human Oriented Sustainability » (ETHOS) au Smart Living Lab à Fribourg.

Les effets des bâtiments sur nos villes et nos systèmes énergétiques sont connus, mais il est aussi important de reconnaitre que ce que nous construisons a un impact sur nos systèmes sociaux et humains. Malheureusement, notre compréhension de ces interactions entre ces systèmes complexes (construit, environnemental et social) n'en est qu'au début. Ces questions seront le fil conducteur de ses recherches à l'avenir.

« Mon parcours académique m'a permis de comprendre que notre environnement construit influence notre société de différentes manières. »

Un bâtiment et son jumeau numérique comme lieu de travail et objet de recherche

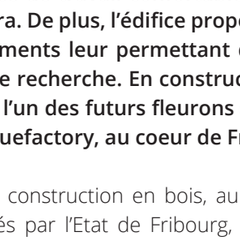
Les équipes scientifiques des institutions académiques affiliées au Smart Living Lab se partageront les près de 5'000 m² de surface de son futur bâtiment. Un espace de travail confortable et performant les y attendra. De plus, l'édifice proposera une palette d'aménagements leur permettant de déployer leurs activités de recherche. En construction entre 2023 et 2025, il est l'un des futurs fleurons du quartier d'innovation de Bluefactory, au coeur de Fribourg.

Cette construction en bois, au budget de 25 millions financés par l'Etat de Fribourg, a fait l'objet d'un mandat d'étude parallèle (MEP) en 2019, remporté par Behnisch Architekten. En combinant low-tech et high-tech, ce bâtiment laissera une faible empreinte carbone sur l'entier de son cycle de vie.

De nombreux capteurs intégrés au bâtiment du Smart Living Lab permettront de mesurer différents paramètres liés à la consommation énergétique, à la qualité environnementale ou à l'occupation des espaces. Ce monitoring permanent doit alimenter une base de données commune et une maquette numérique BIM (Building Information Modeling), selon un principe « open-BIM » garantissant la mise à disposition des données et la pérennité de l'information.

« L'objectif d'un système BIM est que les différents corps de métier puissent communiquer et échanger entre eux ».

L'ensemble de ces données crée un jumeau numérique. Celui-ci a l'objectif de fournir une évaluation critique du bâtiment dès sa mise en service, en démontrant notamment le degré d'atteinte des performances visées. De plus, il est utile durant les phases d'études et de recherche puisque certains éléments modulaires permettront de tester in situ les innovations à venir dans les domaines de la construction.



Sergi Aguacil
Responsable du Groupe Building2050, EPFL

building.smartlivinglab.ch

L'openBIM, la clé pour assurer les échanges

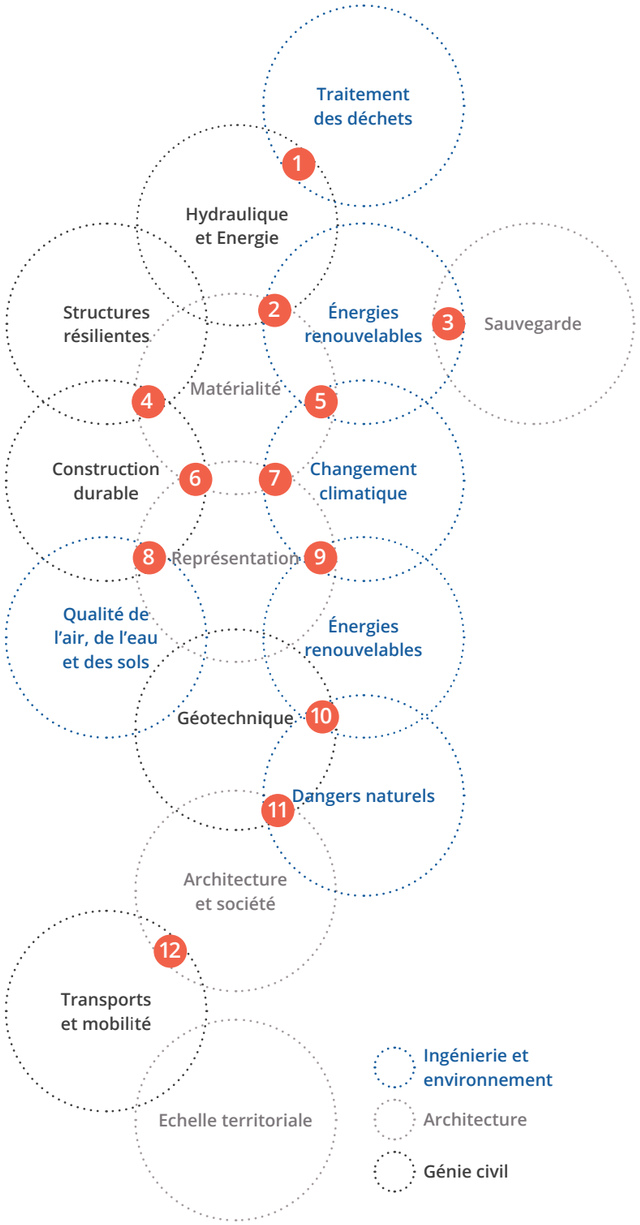
Au-delà des préoccupations très pragmatiques liées à la construction, aux matériaux et aux technologies utilisées, le groupe Building2050 se mobilise pour faire avancer la technologie de l'openBIM, visant à améliorer l'interopérabilité, la collaboration et la pérennité de l'information privilégiant des formats de fichiers ouverts au détriment des formats propriétaires.

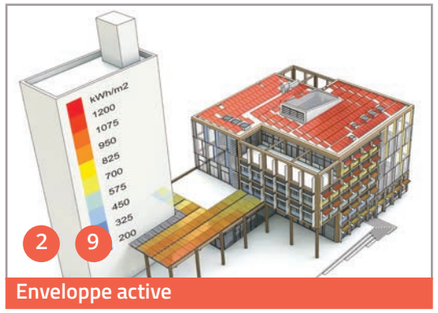
- Septembre 2022 : obtention du permis de construire
- 2e semestre 2023 : début du chantier
- 2e semestre 2025 : mis en service du bâtiment

Réalisation : JPF SA | Maître d'ouvrage : BFF SA

Vue du bâtiment du Smart Living Lab d'ici 2025
© BFF SA / Behnisch Architekten

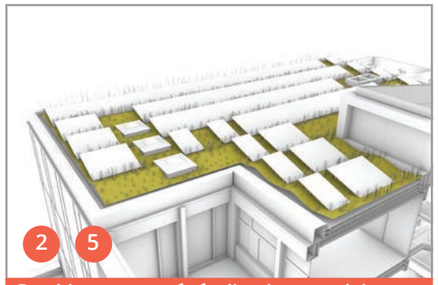
Bâtiment du Smart Living Lab, exemple d'interdisciplinarité face aux enjeux climatiques





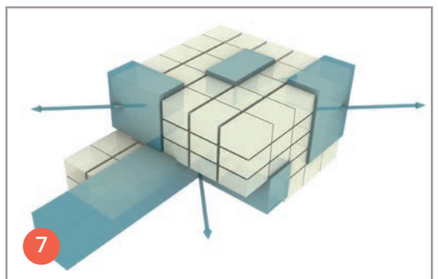
Enveloppe active

Irradiation solaire annuelle cumulée sur les modules de l'installation photovoltaïque intégrée à l'enveloppe du bâtiment.



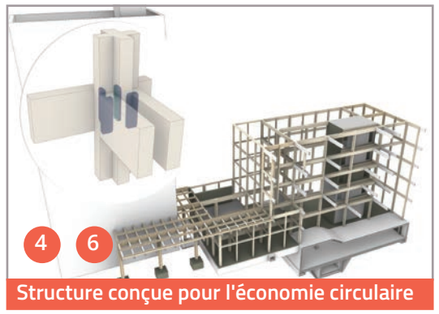
Symbiose entre végétalisation et solaire

L'ombrage fourni par les modules solaires protège les plantes et l'évapotranspiration de la végétation augmente la performance des cellules photovoltaïques.



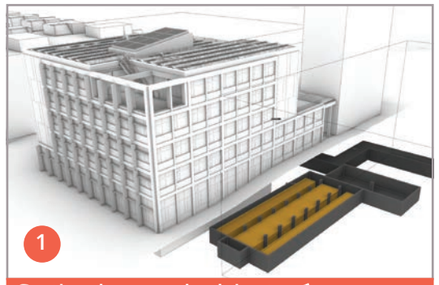
Modularité

Système modulaire flexible permettant l'interchangeabilité et la réutilisation aisée des matériaux.



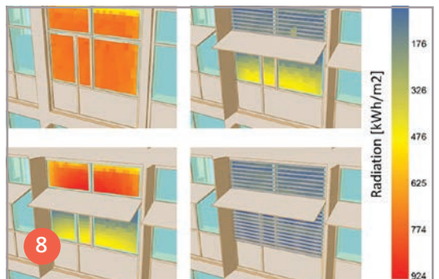
Structure conçue pour l'économie circulaire

Système structurel composé d'éléments préfabriqués en bois local permettant une réutilisation en fin de vie du bâtiment.



Gestion des eaux de pluie et usées

Récupération d'eaux de pluie pour les toilettes séparatives valorisant l'urine sous forme d'engrais et traitant les eaux brunes via une cuve de vermicompostage (lombrics).



Conception bioclimatique

Gestion du confort hygrothermique par des stratégies passives comme les protections solaires mobiles et la ventilation naturelle circulant entre les jardins d'hiver et l'atrium central.

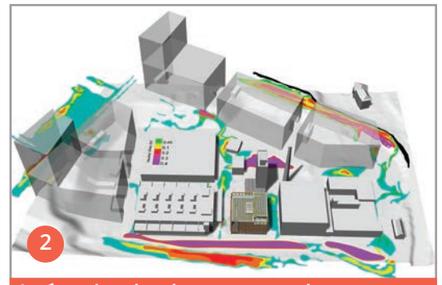
11

Maîtrise du risque radon

Concept de monitoring innovant et mise en place de méthodes constructives préventives pour la gestion du risque associé à la présence du radon.

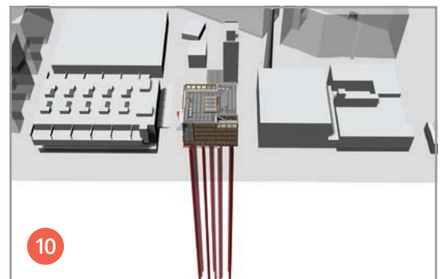
Dialogue entre patrimoine et innovation

Relation harmonieuse entre le silo, bien protégé et témoin du passé industriel du site, et la pergola, élément architectural actif produisant une énergie propre sur place.



Intégration des dangers naturels

Prise en compte des aléas du ruissellement des surfaces dans l'aménagement extérieur du quartier Bluefactory.



Géothermie

Source d'énergie principale du réseau de chaleur à distance et anergie du quartier Bluefactory.

12

Mobilité douce

Intégration des études de mobilité pour l'aménagement extérieur du quartier Bluefactory.

© EPFL Building2050, Behnisch Architekten, BFF SA

Lu dans la presse

RÉGIONS | 11

LA LIBERTÉ MARDI 30 AOÛT 2022

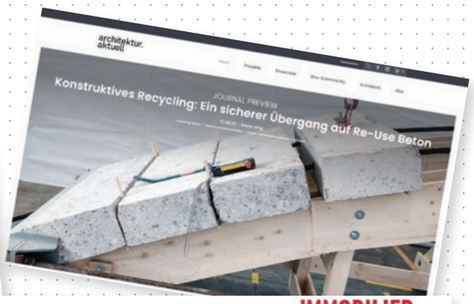
A Bluefactory, des chercheurs analysent la qualité de l'environnement dans des bâtiments

L'air intérieur passé au crible

« MARC-ROLAND ZOELLIG

Santé » Lorsqu'on évoque la qualité de l'air, on pense très souvent à l'air extérieur. Dans nos sociétés tertiarisées, la majorité des gens passent pourtant l'essentiel de leur temps dans des bâtiments, que ce soit pour le travail ou la vie quotidienne. «En moyenne, nous respirons 90% d'air intérieur», rappelle Dusan Licina, professeur assistant à l'EPFL et directeur du Laboratoire de l'environnement construit orienté sur l'humain – ou Human-Oriented Built Environment Lab (HOBEL) – établi au Smart Living Lab, dans le quartier d'innovation Bluefactory à Fribourg.

Une vingtaine de personnes se prêtent à toute une batterie de tests dans une chambre spécialement aménagée, à l'intérieur de laquelle



08/09/22 LA CÔTE www.lacote.ch

IMMOBILIER 21

Energie: une solution locale face à un enjeu global

SCIENCES Le solaire évolue et devrait s'étendre aux façades en plus de la toiture. L'autre impératif à terme concerne le stockage. Réflexions.

LA CHRONIQUE IMMOBILIÈRE
SERGI AGUACIL
CHEF DE GROUPE BUILDING 2050, SMART LIVING LAB, EPFL FRIBOURG

La situation géopolitique actuelle met en évidence la vulnérabilité des pays en matière d'approvisionnement énergétique. En complément des mesures d'économie d'énergie, une solution se trouve dans la production locale d'énergie intégrée au [illegible] production appa- la toiture est prise en compte, alors que les façades représentent des surfaces avec un potentiel de production d'énergie aussi important que les toitures.

L'énergie solaire captée par l'enveloppe peut ainsi être convertie en électricité avec des modules photovoltaïques ou en eau chaude avec des capteurs solaires thermiques. [illegible] de la performance en hydrogène. L'une [illegible] es dernières études du groupe Building 2050 de l'EPFL, en collaboration avec la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg, se concentre sur le dimensionnement d'un tel système pour le futur bâtiment du Smart Living Lab, dont la construction débutera cette année sur le campus de l'EPFL Fribourg à Bluefactory.

Une installation photovoltaïque intégrée à l'enveloppe combinant plusieurs technologies, ainsi que l'intégration d'autres innovations, sont prévues. Les simulations énergétiques et l'[illegible]

acteurs de la construction. En complément d'une batterie conventionnelle au lithium, un système de stockage saisonnier à base d'hydrogène est envisagé, qui permettrait d'atteindre un taux d'autonomie électrique de 50% et de limiter les pics de charge pour le réseau.

Comme une batterie

Du point de vue électrique, le système de stockage d'hydrogène fonctionne comme une batterie. L'excès d'énergie électrique produite par les panneaux photovol[illegible] ce processus peut être récupérée et stockée dans un réservoir d'eau chaude, avant d'être transférée au système de chauffage ou d'eau chaude sanitaire.

En conclusion, en plus de favoriser l'autonomie énergétique, le stockage d'énergie a l'avantage d'optimiser l'utilisation de l'énergie solaire au fil des saisons de manière durable.

* « futur bâtiment du Smart Living Lab à Fribourg devrait tester et valider plusieurs technologies énergétiques avancées.
LOGE DE SYNTHÈSE BFF SA/BEHNISH ARCHITEKTEN

20 HABITAT

TÉLÉTRAVAIL

Boulot, dodo, sans métro

La crise sanitaire a accéléré la transition vers le télétravail, qui était déjà une réalité pour certains. Cela a demandé des adaptations et pourrait avoir un impact à long terme sur la conception du logement. Il pourrait être plus grand ou modulable.

Sélection d'événements

05.04.2022

Projet de recherche SWICE | Evénement de lancement

5-26.04.2022

Double exposition « Vivre plus mieux » et « Habiter demain »

01.05.2022

Forum Construction durable | Energissima

31.08.2022

INVITED TALK | Architecture sans climatisation

02.09.2022

EPFL ENAC 20e anniversaire

02.11.2022

Perspectives | Recherche et innovation avec le Smart Living Lab

Vivre et travailler à l'ère de la transition énergétique

Soutenu par l'Office fédéral de l'énergie, le Smart Living Lab s'est lancé dans un projet de recherche de huit ans appelé SWICE (Sustainable Well-being for the Individual and the Collectivity in the Energy transition). Rassemblant un éventail de disciplines différentes, allant de la sociologie et de la psychologie sociale jusqu'au transport et à l'architecture, et grâce à l'implication participative des parties prenantes dans huit Living Labs à travers la Suisse, le projet soutiendra la mise en oeuvre de la Stratégie énergétique 2050 de la Suisse.

À la suite de nouveaux processus de numérisation et de flexibilisation, accentués par la pandémie de COVID-19, les zones urbaines ont connu un changement de comportement de la population. Ces changements concernent notamment les habitudes de consommation, les formes de mobilité et les modes de vie et de travail. Ces transformations des styles de vie et de la dynamique sociale peuvent-elles contribuer à ouvrir la voie à la transition énergétique suisse ? La caractéristique unique du projet SWICE est qu'il vise à étudier, pour la première fois, comment de nouveaux modèles sociaux, technologiques et conceptuels peuvent être mis en oeuvre simultanément dans de réelles mesures politiques suisses. Son objectif est de promouvoir un mode de vie durable de haute qualité combiné à une utilisation minimale des ressources.

Alors que les personnes et les dynamiques socio-matérielles sont considérées comme les principaux « agents de changement » de la transition énergétique, trois principaux « secteurs de changement » sont identifiés en termes d'impact sur la gestion de la demande et de l'offre d'énergie : l'environnement bâti, les espaces ouverts et la mobilité. Pour ces domaines de recherche distincts, mais fortement liés, le projet s'appuie sur les synergies entre 10 établissements d'enseignement supérieur suisses et 4 sociétés de recherche et de conseil réparties dans tout le pays, soutenues par un vaste réseau de collaboration avec plus de 25 partenaires de coopération des secteurs publics et privés.

Pendant toute la durée du projet, le Smart Living Lab, ainsi que sept autres Living Labs situés dans différents cantons, serviront d'espace d'observation central pour les activités de recherche de SWICE, ainsi que pour les projets pilotes et de démonstration des scientifiques associé·e·s. Dans ce cadre, des idées seront testées et de nouvelles hypothèses de recherche appliquées. La force du projet est d'impliquer directement les résident·e·s et les différentes parties prenantes afin d'explorer les comportements et d'y apporter des changements durables.

« Le bien-être des personnes est une composante essentielle de la transition énergétique qui, pour aboutir, doit être adoptée par la société et mise en œuvre dans les espaces physiques que nous habitons. ».

Le consortium SWICE est sous la direction académique de Marilyne Andersen. Le projet est coordonné par Luisa Pastore.

L'humain comme agent du changement

Le projet SWICE propose de reconsidérer les approches antérieures de la transition énergétique, en allant au-delà du développement et de la mise en oeuvre technologiques purs. En effet, la demande énergétique est, avant tout, le résultat d'une dynamique sociale, impliquant des modèles complexes d'utilisation de l'énergie, ainsi que des besoins de services pour le bien-être et des demandes matérielles.

EN SAVOIR PLUS

Programme d'échange académique Suisse - Corée

Le programme d'échange académique Suisse-Corée a fait son retour en 2022 après une année d'interruption. Avec le soutien du Sciences and Technology Office de l'ambassade suisse à Séoul, 30 étudiants, choisis parmi les universités partenaires : respectivement, EPFL, HEIA-FR et UNIFR pour la Suisse et SungKyunKwan, EWHA et Hanyang pour la Corée, ont travaillé ensemble sur l'optimisation des espaces de travail en coworking.

En plus de leur nationalité et de leurs institutions, leurs domaines d'expertises étaient également variés, à savoir ingénierie civile, architecture et informatique. Cette interdisciplinarité fait la force de cette Summer School, qui s'est déroulée du 22 août au 1er septembre à Fribourg. L'aventure n'est pas terminée pour ces étudiants, puisque le programme se poursuit à Séoul en 2023 pour une version hivernale.

Partenaires du projet

swissnex · COSPIRE COWORKING SPACE · VIBRATION WORKINGSHARE · Gotham. · URBANFISH · AXA

smartlivinglab.ch/partenariats/arc-hest

Faits et chiffres 2022

PERSONNEL

71,5 *ept**

(*équivalent plein temps)

29

nationalités

EPFL

39,2 ept

HEIA-FR
HTA-FR

24 ept

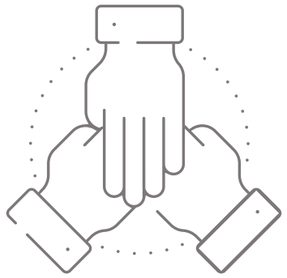
UNI FR
UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNIVERSITÄT FREIBURG

8,3 ept

RECHERCHE

14

groupes



112

publications

ÉVÉNEMENTS

26

événements

37

*conférences internationales**

(*basé sur les documents de conférence)

COMMUNICATION | PRESSE

40 *articles*

10 *newsletters*

SITE INTERNET | RÉSEAUX SOCIAUX

21'105

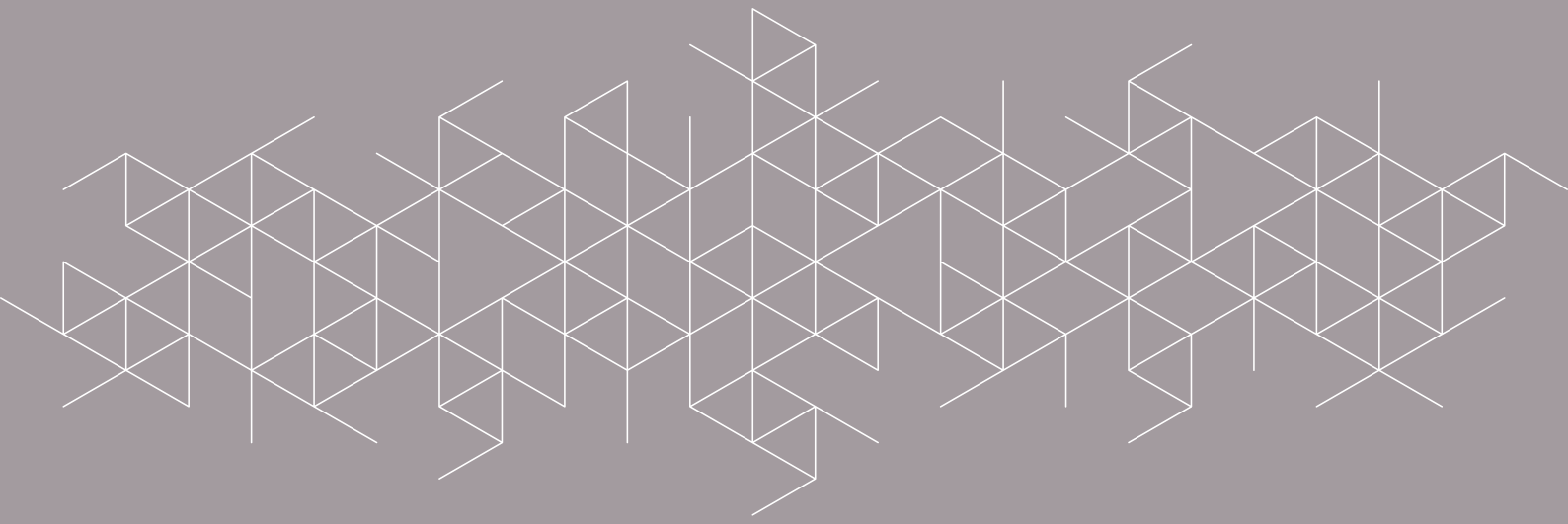
utilisateur·trices

57'963

pages vues

1'110 **850**

3'000 *abonnements*



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

info@smartlivinglab.ch