



ÉCOLE POLYTECHNIQUE  
FÉDÉRALE DE LAUSANNE



# Table des matières

---

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Edito</b>                                                                    | <b>4</b>  |
| <b>Le smart living lab en un coup d'œil</b>                                     | <b>6</b>  |
| <b>Partenaires du smart living lab</b>                                          | <b>7</b>  |
| <b>Organisation interne du smart living lab</b>                                 | <b>9</b>  |
| Comité de pilotage                                                              | 9         |
| Comité opérationnel                                                             | 9         |
| Commission scientifique                                                         | 9         |
| <b>Locaux du smart living lab : Halle bleue, blueFACTORY</b>                    | <b>10</b> |
| <b>Activités de recherche du smart living lab</b>                               | <b>11</b> |
| Groupes de recherche par institution                                            | 11        |
| Nouveaux engagements du smart living lab en 2016                                | 12        |
| Professeurs recrutés en 2016                                                    | 13        |
| Axes de recherche                                                               | 14        |
| <b>9 projets phares</b>                                                         | <b>16</b> |
| smart living building                                                           | 16        |
| Minimiser l'empreinte écologique des systèmes énergétiques du bâtiment          | 18        |
| Appliquer l'économie circulaire au domaine de la construction ?                 | 20        |
| Déconstruire le construit : comprendre réussites et échecs                      | 22        |
| Confort VS technologie du bâtiment ? Impliquer les futurs usagers !             | 24        |
| Qualité architecturale et production collaborative des bâtiments                | 26        |
| Impacts futurs des consommateurs-producteurs sur le réseau électrique           | 28        |
| Mieux comprendre les interactions humains-bâtiments                             | 30        |
| Aspects juridiques des modélisations numériques de bâtiments (BIM)              | 32        |
| <b>Développement et participation à des projets nationaux et internationaux</b> | <b>34</b> |
| Solar Decathlon                                                                 | 34        |
| Collaboration avec NEST (Empa)                                                  | 34        |
| <b>Activités promotionnelles du smart living lab</b>                            | <b>36</b> |
| Événements 2016                                                                 | 36        |
| Couverture médiatique 2016                                                      | 38        |
| <b>Finances</b>                                                                 | <b>39</b> |
| <b>Annexes</b>                                                                  | <b>40</b> |
| Liste des projets de recherche (2016 – en cours)                                |           |

# Editio

Au **smart** living lab,

**les chercheurs conçoivent la réalité au travers de prismes scientifiques différents, mais complémentaires. Si l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg et l'Université de Fribourg ont formé cette audacieuse alliance académique, c'est parce qu'elles croient en l'interdisciplinarité pour mieux repenser le monde.**

Au smart **living** lab,

au fil des nombreux projets de recherche interinstitutionnels, une articulation commune revient : l'être-humain – son environnement – son bien-être. Et grâce à la force de l'intelligence collective, ce questionnement fondamental engendre des perspectives novatrices : et si les futurs usagers étaient fortement consultés lors de la phase de conception des bâtiments ? et si la technologie ne primait jamais sur le confort des usagers, mais les aidait plutôt à maîtriser leur environnement et contrôler leur consommation d'énergie dans un bâtiment, voir à contrôler le bâtiment lui-même ? et si tous les gens devenaient des «prosumers», ces petits producteurs-consommateurs de leur propre énergie ? et si toute cette énergie était produite au sein d'une communauté de prosumers, puis partagée, conservée ou vendue en cas de surplus ? et si les personnes pouvaient choisir leur source d'énergie la plus verte et consommer de l'énergie du réseau ou de l'énergie produite par le bâtiment qui les héberge ? et si les structures et systèmes des bâtiments étaient réemployés à travers les siècles pour économiser les ressources naturelles ? et si la construction de tous les bâtiments redevenait un enjeu local utilisant des ressources humaines et matérielles à 50km à la ronde ?

Au smart living **lab**,

de nouvelles méthodologies transdisciplinaires sont mises en pratique, mais également soumises au regard critique à l'exemple du BIM (modélisations numériques de bâtiments). Sont testés grandeur nature et en temps réel le confort et les comportements de consommation d'énergie des usagers dans un lieu que les chercheurs, tel un laboratoire vivant, font fluctuer en fonction des objectifs environnementaux qu'il nous faudra atteindre d'ici 2050.

**Le smart living lab est ce centre de recherche et développement où l'être-humain et son bien-être sont placés au centre des projets de recherche, tous ayant pour objectif de nous conduire vers un monde plus pérenne.**

*Olivier Curty et Andreas Mortensen*

LE SMART LIVING LAB OUVRE SES PORTES LORS DES SMART LIVING DAYS EN 2016



## Le smart living lab en un coup d'œil

**Le smart living lab est un centre de recherche et développement dédié à l'habitat du futur, tant au niveau technique que sociétal. Il mène des recherches interdisciplinaires et interinstitutionnelles. Son objectif est d'imaginer des espaces de vie mettant l'accent sur le bien-être des occupants et sur les enjeux environnementaux.**

Le smart living lab met en commun les compétences de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), de la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR) et de l'Université de Fribourg (UNIFR) dans les domaines de l'architecture durable, de la technologie et des matériaux, du confort, ainsi que du droit et des sciences sociales.

ETAT: 31.12.2016

|                                             |                                                 |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Personnel</b>                            | <b>60 (contre 48 en 2015)</b>                   |
| EPFL                                        | 19 personnes                                    |
| HEIA-FR                                     | 28 personnes                                    |
| UNIFR                                       | 13 personnes                                    |
| <b>Groupes de recherche</b>                 | <b>8</b>                                        |
| <b>Surface occupée</b>                      | <b>798m<sup>2</sup></b>                         |
| <b>Bureaux</b>                              | <b>60</b>                                       |
| <b>Projets en cours ou terminés en 2016</b> | <b>51 (dont la moitié interinstitutionnels)</b> |
| <b>Publications en 2016</b>                 | <b>75</b>                                       |

## Partenaires du smart living lab

---

**Avec plus de 300 laboratoires et groupes de recherche sur son campus, l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) figure parmi les institutions les plus innovantes et les plus productives sur le plan scientifique.**



Classée dans le top 3 européen et le top 20 mondial de nombreux ranking scientifiques, l'EPFL a su attirer les meilleurs chercheurs dans leurs domaines.

En 2016, l'EPFL a poursuivi le processus de recrutement de professeurs prévus pour Fribourg avec une proposition à l'intention du CEPF de nomination en système d'ingénierie du bâtiment et le lancement d'un recrutement en qualité environnementale intérieure et systèmes de contrôle du bâtiment.

A terme quatre chaires et une chaire de professeur invité de l'EPFL s'intéresseront aux thématiques suivantes :

- Structure, construction et sciences des matériaux dans l'environnement construit.
- Systèmes énergétiques à l'échelle du bâtiment et du quartier.
- Santé et confort des utilisateurs du bâtiment.

**Située au cœur d'une région bilingue, culturellement riche et idéalement placée sur la carte, la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR) a pour mission de former les futur-e-s ingénieur-e-s et architectes HES, détenteurs et détentrices de bachelor et master HES-SO.**



A la pointe de la technologie, la Haute école offre une formation de niveau universitaire axée sur la pratique professionnelle. Reconnue par la société et l'économie pour ses nombreuses activités en recherche appliquée, elle contribue grandement à l'innovation et au rayonnement scientifique et technologique du canton de Fribourg.

Pour la HEIA-FR, le smart living lab présente l'opportunité de développer une équipe interdisciplinaire d'architectes et d'ingénieurs qui travailleront sur l'intégration intelligente de technologies et de processus novateurs dans la transformation de l'espace habité en tenant compte de ses valeurs d'usage et culturelles et en particulier sur les questions de :

- Modélisation systémique à l'échelle du bâtiment et du quartier.
- Adaptabilité – flexibilité – interactivité.
- Mesure et optimisation de la performance.

**L'Université de Fribourg (UNIFR), fondée en 1889, est l'unique université bilingue de Suisse et maintient une tradition fortement internationale. Elle s'entend comme lieu de recherche et d'enseignement scientifique au plus haut niveau, tout en plaçant l'être humain au centre.**



Elle offre un large éventail de disciplines issues de cinq facultés. Près de 10'000 étudiants de niveau bachelor, master et doctorat bénéficient de son excellente infrastructure et de nombreuses offres et opportunités complémentaires.

A l'UNIFR, trois groupes de recherches amèneront des connaissances au smart living lab dans les thématiques suivantes :

- Impacts économiques et sociologiques de la transition énergétique.
- Interactions Homme-bâtiment.
- Droit de la construction et réglementations.

---

**Il mérite d'être mentionné que le projet smart living lab est le premier du genre en Suisse. Il réunit le savoir et le savoir-faire de plusieurs institutions en un même lieu au coeur de la ville et du Canton de Fribourg qui soutient la démarche. Le projet offre une infrastructure unique pour un transfert des compétences rapide vers l'industrie du bâtiment.**



ETAT DE FRIBOURG  
STAAT FREIBURG

Pour l'Etat de Fribourg, dont ce secteur est un des piliers de l'économie, la présence d'un centre de portée nationale et internationale renforce son tissu économique tout en offrant de nombreux nouveaux avantages compétitifs.

# Organisation interne du smart living lab

Des termes de références ont été co-signés en 2016 par l'Etat de Fribourg, l'EPFL, la HEIA-FR et l'UNIFR afin de valider les missions du smart living lab, ses valeurs, l'organisation générale entre toutes les parties prenantes et notamment les trois écoles, mais également l'organisation interne, les contributions financières et enfin la vision concernant les étapes à venir.

## Etat au 1er janvier 2017

### Comité de pilotage

#### Etat de Fribourg

Olivier Curty  
Conseiller d'État,  
Directeur de l'économie et de l'emploi

#### Jean-Pierre Siggen

Conseiller d'État,  
Directeur de l'instruction publique, de la culture et du sport

#### Jean-Luc Mossier

Directeur de la promotion économique fribourgeoise

#### Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)

##### Andreas Mortensen

Vice-président pour la recherche

##### Etienne Marclay

Vice-président pour les ressources humaines et infrastructures

##### Marc Gruber

Vice-président pour l'innovation

##### Marilyne Andersen

Doyenne de la faculté environnement naturel architectural et construit ENAC

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

##### Jean-Nicolas Aebischer

Directeur

#### Université de Fribourg (UNIFR)

##### Astrid Epiney

Rectrice

### Comité opérationnel

#### Etat de Fribourg

Jean-Luc Mossier  
Directeur de la promotion économique fribourgeoise

#### Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)

##### Corentin Fivet

Professeur d'architecture et conception structurale

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

##### Jean-Philippe Bacher

Responsable du transfert technologique et de l'institut ENERGY

#### Université de Fribourg (UNIFR)

##### Stephanie Teufel

Professeure et Directrice international institute of management in technology (iimt)

#### Coordinatrice

##### Anne-Claude Cosandey

Directrice opérationnelle d'EPFL Fribourg

### Commission scientifique

#### EPFL

##### Marilyne Andersen

Doyenne de la faculté ENAC,  
Présidente du comité

##### Anne-Claude Cosandey

Directrice opérationnelle d'EPFL Fribourg

##### Thomas Jusselme

Chef de projet smart living building

##### Paolo Tombesi

Professeur de construction et architecture

##### Corentin Fivet

Professeur d'architecture et conception structurale

#### HEIA-FR

##### Jean-Philippe Bacher

Responsable du transfert technologique et de l'Institut ENERGY

##### Florinel Radu

Responsable de l'Institut TRANSFORM

#### UNIFR

##### Stephanie Teufel

Professeure et Directrice international institute of management in technology (iimt)

##### Denis Lalanne

Professeur associé chaire Interaction Homme-Machine (Human-IST)

##### Martin Beyeler

Professeur en Droit de la construction

## Locaux du smart living lab : Halle bleue, blueFACTORY

La Halle bleue du site blueFACTORY, quartier d'innovation à Fribourg, accueille désormais les collaborateurs du smart living lab. Les équipes du smart living lab occupent ces locaux en attendant la construction du bâtiment définitif du smart living lab. Les chercheurs du smart living lab y disposent de 60 places de travail ainsi que d'un atelier de construction et d'expérimentations qui permet la réalisation de prototypes, d'éléments de bâtiments (façades, toiture, structure) voire même de bâtiments entiers. Dans le futur, le smart living lab disposera de son propre bâtiment qui hébergera ses activités de recherches et transfert de technologie sur l'architecture durable : le smart living building.

LA HALLE BLEUE DU SITE DE BLUEFACTORY À FRIBOURG



# Activités de recherche du smart living lab

## Groupes de recherche par institution

**Le smart living lab réunit les groupes de recherche suivants :**

### EPFL

#### **Groupe de recherche Building 2050**

Ce groupe de recherche travaille sur la définition d'une nouvelle approche pour concevoir un bâtiment innovant, le smart living building. Projet ambitieux et avant-gardiste, le smart living building permettra de mettre en pratique les objectifs énergétiques et environnementaux de 2050. Il accueillera les activités de recherche du smart living lab dès 2020.

#### **Laboratoire d'exploration structurale**

Ce laboratoire a été créé en 2016. Son objectif est de soutenir l'industrie de la construction dans une transition vers une économie plus circulaire. L'équipe de recherche se concentre sur la géométrie de solutions structurelles, leur formation interactive et leur implémentation pratique.

#### **Laboratoire de construction et architecture**

Ce laboratoire a été créé en 2016. Son objectif est d'analyser les processus constructifs et d'identifier les succès, les échecs et leurs raisons. Une autre question fondamentale est de comprendre les processus constructifs qui favorisent l'innovation.

### HEIA-FR

#### **Institut TRANSFORM**

TRANSFORM vise un équilibre dynamique entre le facteur humain, l'espace habité et le progrès technique et une utilisation des ressources et des moyens optimaux pour répondre aux défis auxquels l'architecture fait face aujourd'hui.

#### **Institut ENERGY**

ENERGY soutient et stimule le développement d'une société durable du point de vue de son approvisionnement et de sa gestion de l'énergie. Il est actif dans le transfert de savoir et de technologie pour des secteurs importants de l'économie : la construction, la production et distribution d'énergie et l'industrie de production (consommateurs d'énergies).

### UNIFR

#### **international institute of management in technology**

L'international institute of management in technology (iimt) est un centre de compétence leader en gestion des technologies de l'information et de la communication (TIC) et des Energies, offrant des programmes de formation continue et de recherche. L'équipe de recherche de la Chaire est active dans les domaines de la gestion des systèmes d'énergie, de la gestion de l'innovation et de la technologie, de la gestion de la sécurité de l'information ainsi que de la gestion de projet.

#### **Centre de recherche Human-IST**

Le centre de recherche Human-IST (Human Centered Interaction Science and Technology) est dédié à la recherche et la formation dans le domaine de l'interaction homme-machine et combine l'informatique, la psychologie et la sociologie.

#### **Institut du droit suisse et international de la construction**

L'Institut du droit suisse et international de la construction est dédié à la recherche, à la formation et à la formation continue dans tous les domaines du droit de la construction, des marchés publics et de l'immobilier.

## Nouveaux engagements du smart living lab en 2016

### EPFL

Jan Brütting  
PhD

Sofia Colabella  
collaboratrice scientifique

Dominique Corday  
assistante administrative

Vanda Costa Grisel  
collaboratrice scientifique

Corentin Fivet  
professeur

Claude-Alain Jacot  
employé technique

Cédric Liardet  
collaborateur scientifique

Paolo Tombesi  
professeur

Riccardo Vannucci  
collaborateur scientifique

### HEIA-FR

Lauriane Bererd  
collaboratrice

Martin Boesiger  
collaborateur

Layal Bou Antoun  
collaboratrice

Harold Brülhard  
collaborateur

Jérôme Kaempf  
professeur

Gabriel Magnin  
collaborateur

Charles Riedo  
employé technique

Joëlle Rudaz  
collaboratrice

Damien Vionnet  
collaborateur

### UNIFR

Michaël Papinutto  
PhD

## Nombre de personnes par groupe de recherche affilié au smart living lab

### AU TOTAL

60 PERSONNES

#### De l'EPFL

19 personnes

Administration EPFL Fribourg

4 personnes

Groupe de recherche Building 2050

9 personnes

Laboratoire d'exploration structurale

4 personnes

Laboratoire de construction et architecture

2 personnes

#### De l'HEIA-FR

28 personnes

Institut TRANSFORM

19 personnes

Institut ENERGY

9 personnes

#### De l'UNIFR

13 personnes

international institute of management in technology

5 personnes

Institut du droit suisse et international de la construction

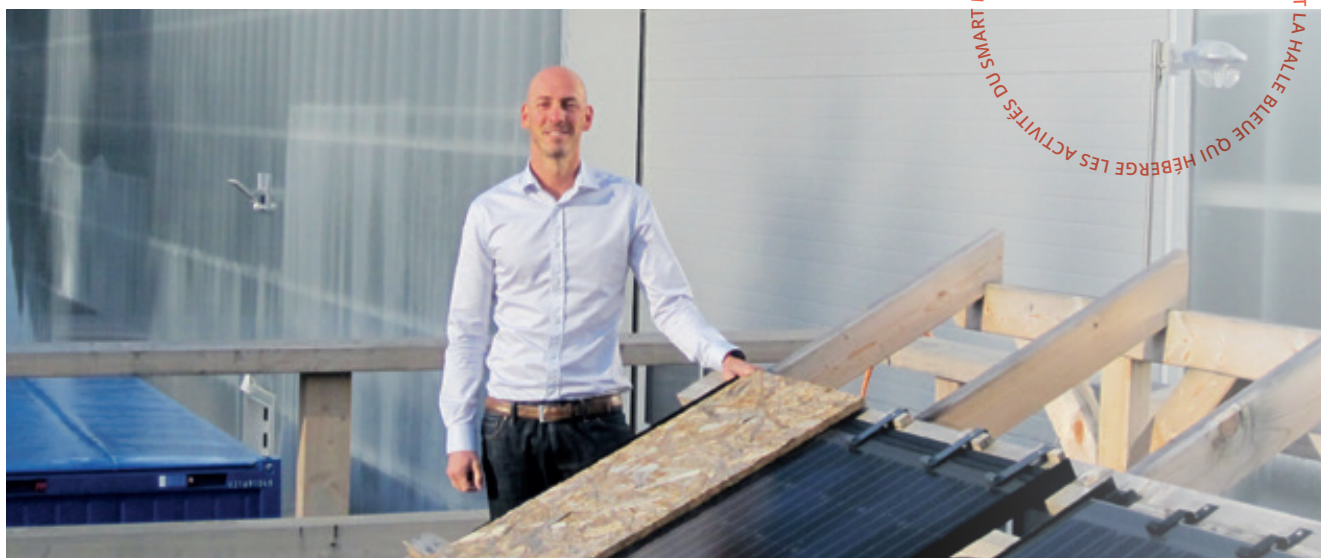
3 personnes

Centre de recherche Human-IST

5 personnes

## Professeurs recrutés en 2016

La HEIA-FR a engagé un nouveau professeur au sein de l'Institut ENERGY : Jérôme Kaempf.



### Interview avec Jérôme Kaempf, nouveau professeur au smart living lab

**Vous venez d'arriver au smart living lab duquel la HEIA-FR est partenaire. Quelles sont vos premières impressions ?**

Mes premières impressions du smart living lab ont été plutôt positives : la Halle bleue regorge d'espaces propices aux rencontres pour les partenaires HEIA-FR, EPFL et UNIFR. Entre la cafétéria, l'impressionnant espace intérieur et les salles de séminaires communes, le lieu semble pensé autour des interactions. Mon premier accueil a été très agréable, grâce auquel j'ai rapidement trouvé ma place de travail et mes marques au sein du box ENERGY.

**Comment vous êtes-vous intéressé à votre domaine de recherche ?**

Depuis tout petit, je me suis intéressé au chauffage de la maison familiale qui était relativement capricieux. Il s'agissait d'une des premières pompes à chaleur air-eau construite dans les pays nordiques et qui

devait nous chauffer sans problème même en cas d'hiver rigoureux. Ce qui était très théorique, puisqu'il fallait souvent faire des feux de cheminée pour compenser les journées froides. A cette époque, les pionniers de l'efficacité énergétique le faisaient souvent au détriment de leur confort.

**De nos jours, maintenir le confort est essentiel dans la promotion des économies d'énergie. Aussi, à travers mes recherches en optimisation de l'efficacité énergétique du bâtiment je garde toujours cet aspect multi-objectif en tête.**

**Quelles sont les thématiques principales sur lesquelles vous vous concentrerez ces prochaines années ?**

Ces prochaines années je vais particulièrement axer mes recherches sur l'optimisation de la performance des bâtiments du futur. Les techniques de rénovation des bâtiments sont particulièrement bien maîtrisées en Suisse par notre industrie, et soutenues par des incitations étatiques efficaces. En revanche, des nouveaux problèmes émergent pour les bâtiments passifs : la gestion de l'importante variabilité de la demande en énergie, de l'autoproduction par les sources renouvelables et de son stockage au niveau

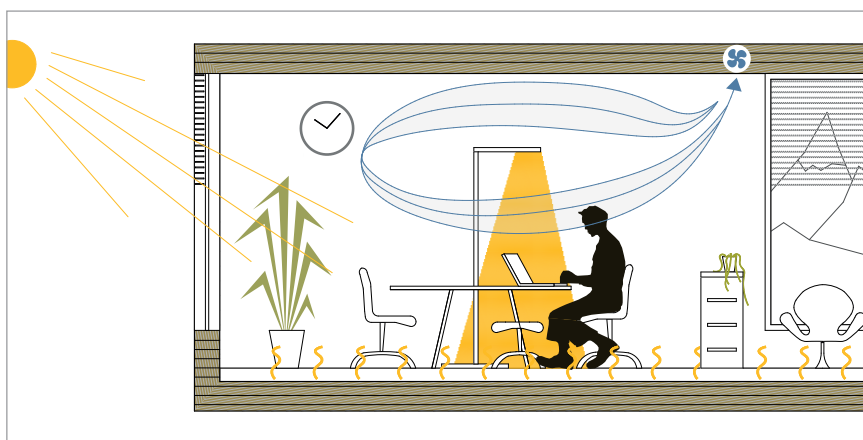
du bâtiment ou d'un groupe de bâtiments. Ces challenges peuvent se regrouper en 3 thématiques principales : l'optimisation des besoins en énergie pour le conditionnement de l'air intérieur des bâtiments, son approvisionnement renouvelable par les systèmes de conversion d'énergie et la préservation du confort de l'utilisateur (thermique et visuel).

## Axes de recherche

**Divers groupes de recherche amènent des apports significatifs aux défis d'ordre technique, sociétaux et économiques auxquels est confronté l'environnement construit dans les domaines suivants :**

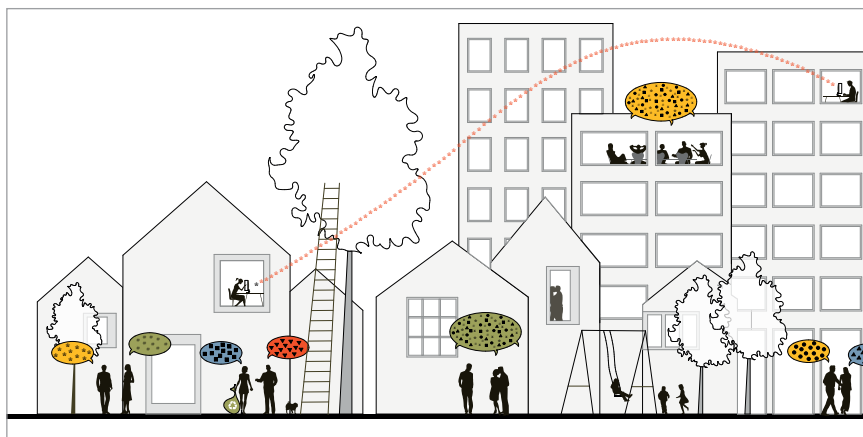
### Confort et perceptions :

l'influence du bâtiment sur le confort et la santé des utilisateurs, notamment le confort thermique, l'éclairage et l'acoustique ainsi que la qualité de l'air.



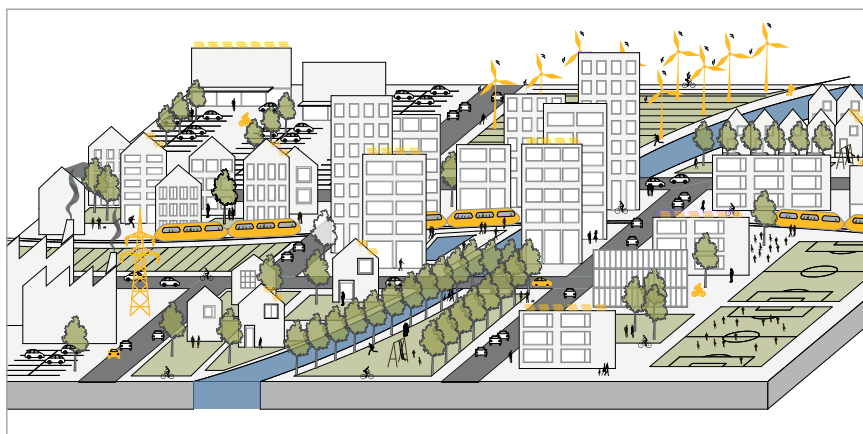
### Interactions et comportements :

comprendre les facteurs qui influencent le comportement des utilisateurs et leurs interactions sociales.

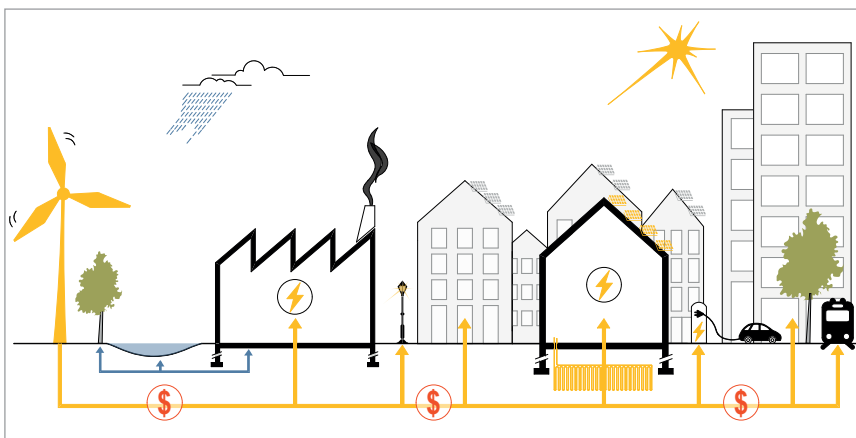


### Adaptabilité des bâtiments et des quartiers :

méthodes et processus de design pour assurer la capacité du bâtiment et du voisinage à s'adapter à l'évolution des besoins des utilisateurs et aux fluctuations environnementales.



POUR EN SAVOIR DAVANTAGE : [WWW.SMARTLIVINGLAB.CH](http://WWW.SMARTLIVINGLAB.CH)



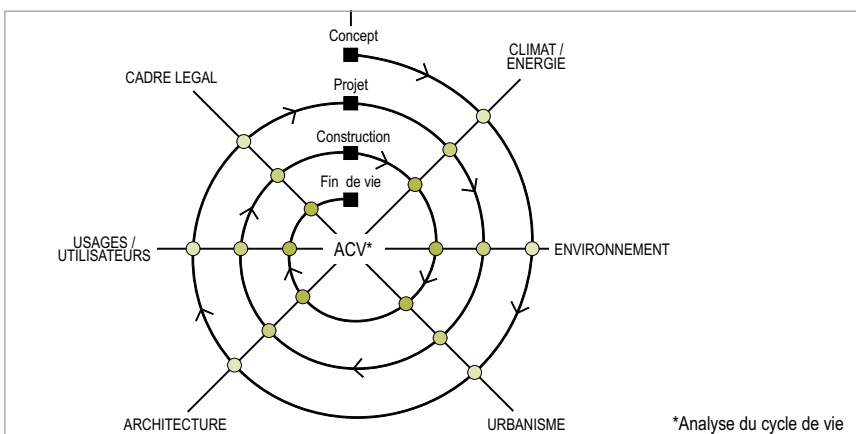
## Réseau énergétique et économie :

gestion technique des interactions entre consommation et production d'énergie décentralisées (des bâtiments) et centralisées (du quartier). Nouveaux modèles économiques relatifs, principe des prosumers (consommateurs-producteurs).



## Contrôle des systèmes actifs :

nouvelles technologies dans le chauffage, la ventilation et l'éclairage intégrées au bâtiment. Contrôle et méthodes d'automatisation qui prennent en considération les changements de besoins et les fluctuations climatiques.



## Design intégré et processus constructif :

prise en considération des problématiques climatiques et environnementales durant le design et la construction. Considération portée aux processus de régulations et légaux.

## 9 projets phares

### smart living building



THOMAS JUSSSELME, CHEF DE PROJET DU SMART LIVING RESEARCH PROGRAM PRÉSENTE DES RÉSULTATS

© Alain Herzog

| Titre du projet                         | Smart Living Research Program                                                                                                                        |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Date de début                           | 2014                                                                                                                                                 |
| Date de fin                             | 2016                                                                                                                                                 |
| Directeur                               | Thomas Jusselme                                                                                                                                      |
| Supervision                             | Marilyne Andersen, Emmanuel Rey                                                                                                                      |
| Equipe(s) de recherche impliquée(s)     | Building 2050, Institut TRANSFORM, Institut ENERGY, Human-IST, EPFL ECAL LAB, CRAterre laboratory at ENSAG, EPFL LIPID, EPFL LAST, EPFL LASUR        |
| Chercheur(s) impliqué(s)                | Thomas Jusselme, Arianna Brambilla, Endrit Hoxha, Stefano Cozza, Amélie Poncétty, Vanda Costa Grisel, Cédric Liardet, Didier Vuarnoz, Michelle Jiang |
| Entreprise(s) impliquée(s)              | Estia SA, Atelier Oi, JPF, Terrabloc                                                                                                                 |
| Publications de référence sur le projet | <a href="http://building2050.epfl.ch/publications-awards">http://building2050.epfl.ch/publications-awards</a>                                        |

**Depuis début 2016, le site de blueFACTORY à Fribourg accueille le smart living lab, qui verra la construction de son propre bâtiment sur le même site en 2020. Dans l'attente du bâtiment final, les équipes de recherche occupent des locaux de blueFACTORY dans la Halle bleue.**

**Le bâtiment avant-gardiste que les chercheurs sont en train de concevoir s'appellera le smart living building et sera à la fois une construction durable et un bâtiment évolutif. Composé de laboratoires, de salles de cours et de bureaux pour une centaine de chercheurs, il proposera également des logements expérimentaux où par exemple le confort des habitants sera mesuré en temps réel.**

**Dans ce contexte d'utilisations multiples, il deviendra lui-même un terrain d'étude, pour trouver des solutions permettant d'également réduire la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre qui en résultent.**

### **Un bâtiment en phase avec les objectifs environnementaux de la Suisse**

Le Conseil fédéral a affirmé sa volonté de passer à une société à 2000 watts d'ici 2150, avec une étape intermédiaire à 3500 watts en 2050. Pour permettre au smart living building d'atteindre cet objectif, un programme de recherche interdisciplinaire financé par le canton de Fribourg et par l'EPFL a été mis en place. Sous la responsabilité du groupe de recherche Building 2050, une trentaine de chercheurs issus de l'EPFL, de la HEIA-FR et de l'UNIFR s'impliquent dans cette mission passionnante : concevoir un bâtiment modèle pour le futur.

En plaçant au centre de la recherche les questions d'énergie et de confort, ainsi que la qualité architecturale, les chercheurs ont identifié des organes vitaux sur lesquels travailler :

1. l'usager, pour qui le bâtiment est construit
2. l'enveloppe du bâtiment
3. la production et transformation in situ d'énergie
4. le stockage de l'énergie
5. la connexion avec la mobilité

Véritable centre d'excellence intégré dans la ville et dans l'évolution de la société, le smart living building permettra d'expérimenter un mode de vie avec 30 ans d'avance sur son temps.

### **Workshop international à Gruyères**

Des actions concrètes sont mises en œuvre pour s'assurer que les résultats de la recherche préalable seront bien concrétisés lors de la conception et la construction du smart living building. Le groupe de recherche met dès lors un point d'honneur à confronter les résultats de ses réflexions à la réalité du terrain. Pour ce faire, des événements favorisant la rencontre et le débat avec des experts/es du bâtiment sont organisés. Ainsi, les 5 et 6 octobre 2016, une palette internationale de vingt experts issus des milieux académiques et économiques, ainsi qu'une quinzaine de membres du smart living lab, se sont réunis à Gruyères autour des travaux de recherche qui aboutiront à la construction du smart living building. L'objectif principal du workshop était de valider et consolider les derniers 18 mois de travaux, par les apports d'une communauté scientifique internationale, en vue de la transition vers la phase opérationnelle en 2017.

### **Analyse des travaux de recherche**

Les équipes multidisciplinaires de spécialistes se sont penchées sur les axes de recherche Building 2050, soit :

- une méthodologie d'aide à la conception pour gérer un budget limité de carbone et d'énergie,
- l'étude du confort ressenti dans divers scénarios de composition de façade (inertie thermique, éclairage, ventilation),
- l'optimisation du rapport entre la disponibilité des énergies vertes et la demande énergétique du bâtiment,
- une limitation de la quantité de matériaux dans l'aménagement des espaces de travail,
- la mise en place d'un processus décisionnel adapté à ce type de projet expérimental.

### **Recommandations pour la suite du programme**

Les experts ont insisté sur l'importance de placer l'utilisateur au centre de tous les choix relatifs au bâtiment, en veillant à proposer un processus décisionnel simple. Plutôt qu'une densification des surfaces de bureaux, une spécialisation des espaces selon le type d'activité est à privilégier. Les logements du smart living building permettront de poursuivre des recherches novatrices dans la mesure où ils feront preuve de flexibilité et d'adaptabilité, et le type de population résidente sera déterminé par les expérimentations à réaliser dans ces habitations.

Dans l'ensemble, les experts ont salué l'originalité et l'exhaustivité des travaux de cette recherche et ont permis de mettre en lumière des axes d'études complémentaires à explorer.

Ces travaux de recherche, étoffés par les résultats des workshops de 2015, 2016 et bientôt de 2017, réunissant des professionnels et experts internationaux du secteur de la construction, définiront le cahier des charges pour les futurs concepteurs du smart living building. En 2017, le projet entrera donc dans sa phase opérationnelle, à savoir définir le cahier des charges et lancer l'appel d'offre. Le bâtiment est prévu pour 2020.

# Minimiser l'empreinte écologique des systèmes énergétiques du bâtiment

INSTALLATIONS SOLAIRES DE LA HALLE BLEUE



© Alain Herzog

| Titre du projet                         | Carbon correlation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Date de début                           | 2015                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Date de fin                             | 2016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Directeur                               | Didier Vuarnoz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Equipe(s) de recherche impliquée(s)     | Building 2050, Human-IST, Institut ENERGY                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Chercheur(s) impliqué(s)                | Didier Vuarnoz, Thomas Jusselme, Stefano Cozza, Gabriel Magnin, Thibaut Schafer, Philippe Couty, Elena-Lavinia Niederhauser, Jean-Philippe Bacher, Agnes Lisowska, Julien Nembrini, Denis Lalanne                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Publications de référence sur le projet | <p>"Studying the dynamic relationship between energy supply carbon content and building energy demand" Vuarnoz, D., Jusselme, T., Cozza, S., Rey, E., Andersen, M., 2016., in: Plea 2016. Los Angeles.</p> <p>"Temporal variation in the environmental impact assessment of the Swiss grid" Vuarnoz, D., Jusselme, T. In press. 2017.</p> <p>"Carbon based energy strategy for buildings" Vuarnoz, D., Cozza, S., Jusselme, T., Magnin, G., Schafer, T., Couty, P., Niederhauser, E.L., Bacher, J.-P. In prep. 2017.</p> <p>"Exploring the Potential Impacts of Shifting Energy Consumption in Work Environments" Nembrini, J., Lisowska Masson, A., Vuarnoz, D., Lalanne, D., In prep. 2017.</p> <p>"Development and validation of an intelligent algorithm for synchronizing the low-environmental-impact electricity supply with the building's electricity consumption" Niederhäuser, E.L., Magnin, G., Schafer, T., Vuarnoz, D. In prep. 2017.</p> |

## Les conséquences environnementales de l'adéquation entre la demande en énergie d'un bâtiment et l'empreinte écologique des possibles sources d'approvisionnement restent peu étudiées.

Un outil permet désormais d'établir différentes stratégies pour mieux dimensionner les installations énergétiques d'un bâtiment et de les faire ensuite fonctionner de manière optimisée. L'outil renseigne également sur les sources d'énergie les plus vertes pour chacune des variantes explorées.

En Suisse, mais pas seulement, la demande énergétique est très inégale au fil des heures et des saisons. Un pic de consommation est atteint en hiver en début de soirée lorsque chauffage et appareils ménagers fonctionnent simultanément. En été, si la demande en énergie est généralement moindre, sa production par contre atteint en début d'après-midi un pic grâce aux panneaux solaires. Cette inadéquation entre consommation et production est problématique, d'autant que stocker l'énergie à l'heure actuelle a aussi un impact sur l'environnement.

### Un outil pour concevoir des systèmes énergétiques plus performants

Didier Vuarnoz, collaborateur scientifique au sein du groupe de recherche EPFL Building 2050 du smart living lab, s'est concentré sur les possibilités d'intégration des énergies renouvelables et de son stockage, dans le contexte du bâtiment, afin de limiter son empreinte environnementale.

L'équipe de recherche qu'il a dirigée a mis sur pied un outil versatile de simulations. Cet outil permet d'évaluer les performances des systèmes énergétiques d'un bâtiment sur une base multicritères (émission de carbone, autonomie, minimisation des pertes par stockage, etc.). Ainsi, les différentes possibilités de dimensionnement et des technologies produisant ou stockant de l'énergie peuvent être rapidement

comparées pour en extraire les meilleures variantes.

Pour modéliser ces différents cas de figure, des aspects fondamentaux à appréhender ont été déterminés :

- les caractéristiques propres du bâtiment ;
- les utilisateurs et leurs comportements au sein du bâtiment ;
- le potentiel des utilisateurs à consommer de l'énergie en dehors des pics de demande afin de contribuer à lisser la consommation ;
- les impacts environnementaux des énergies traditionnelles ;
- les impacts des énergies renouvelables et de leur stockage.

### De la prédiction des besoins à l'optimisation de l'exploitation d'un bâtiment

Un cas d'étude a été défini pour tester la méthodologie développée : le smart living building, futur centre de recherche et développement qui accueillera les collaborateurs et chercheurs du smart living lab. Sur la base d'une étude conduite sur 1600 chercheurs et collaborateurs du milieu académique (et donc représentatifs des futurs utilisateurs), les besoins de cette population ont été identifiés. A partir de ces résultats, la consommation énergétique du bâtiment et de ses futurs utilisateurs a été simulée durant une année, heure par heure, en prenant en compte les conditions environnementales et climatiques spécifiques au site de blueFACTORY, où le smart living building sera érigé.

**« Grâce à cette démarche, des prévisions permettront notamment de mieux dimensionner l'infrastructure énergétique du smart living building. », explique Didier Vuarnoz.**

Une fois que le bâtiment sera habité, l'équipe envisage de renseigner les utilisateurs sur l'empreinte carbone de leur propre consommation en leur indiquant à quel moment l'énergie utilisée a le moins d'impact environnemental. L'idée est de consommer « mieux » en s'approvisionnant directement en énergie renouvelable produite par le bâtiment quand celle-ci est en suffisance. « En informant les usagers d'une manière adéquate, nous pourrions

sans diminution de confort, réduire les émissions de gaz à effet de serre qui sont associées à l'utilisation de l'énergie », commente le chercheur.

### Quantifier l'empreinte carbone des énergies à disposition

Un bâtiment peut tirer son énergie de différentes sources. Cette énergie peut provenir du réseau (env. 1/3 de centrales nucléaires, env. 1/3 d'hydrauliques, env. 1/3 d'imports et un peu d'énergies renouvelables), mais également de la production sur site (par exemple, des panneaux solaires sur le bâtiment) avec possibilité de stockage. Ces différentes sources d'énergie n'ont pas le même impact environnemental. L'équipe a donc déterminé quelle serait l'empreinte carbone de toutes ces énergies à disposition du futur smart living building, y compris celle du réseau traditionnel. Or, calculer l'impact environnemental heure par heure du réseau électrique suisse est une première. « Ceci permettra d'utiliser pleinement le potentiel dynamique des variations temporelles de la qualité des énergies à disposition afin de diminuer l'impact des bâtiments sur notre environnement. »

### Un outil formidable pour calculer l'impact environnemental de l'énergie

Une fois que l'équipe a pu mettre des chiffres sur les volumes de consommation, de production et leurs impacts environnementaux, l'outil créé sur mesure permet de choisir en temps réel quelle source d'énergie doit privilégier le bâtiment afin de minimiser son empreinte écologique. Ainsi, les différentes variantes de conception de systèmes énergétiques du bâtiment peuvent être rapidement analysées et comparées entre elles. « Cet outil est une aide inédite à la décision, mais ne propose pas de stratégie ultime. En effet, construire (ou rénover) un bâtiment implique de prendre en compte les critères environnementaux et énergétiques, mais pas uniquement. D'autres aspects entrent en jeu tels que des contraintes financières, des choix esthétiques et les volontés politiques. », conclut Didier Vuarnoz.

# Appliquer l'économie circulaire au domaine de la construction ?



LE SITE DE CARDINAL DEVENU BLUEFACTORY

## Titre du projet

Date de début

Date de fin

Directeur

Equipe(s) de recherche impliquée(s)

Chercheur(s) impliqué(s)

Publications de référence sur le projet

## Appliquer l'économie circulaire au domaine de la construction

2016

en cours

Corentin Fivet

Structural Xploration Lab

Corentin Fivet, Sofia Colabella, Endrit Hoxha, Jan Brütting, Valeria Didonna et futurs collaborateurs

<http://sxl.epfl.ch/pub>

**Un nouveau bâtiment polluera bientôt proportionnellement plus dans sa phase de construction que dans sa phase d'exploitation. De même, le potentiel de recyclage des « déchets » d'un bâtiment dans sa phase de démolition est encore sous-exploité. Et si les structures et systèmes des bâtiments étaient conçus pour être réemployés plusieurs fois à travers les siècles ?**

Durant la dernière décennie, les efforts se sont principalement concentrés sur la réduction de la consommation d'énergie dans l'exploitation des bâtiments (chauffage, éclairage, etc.). Bientôt, la production (chantier) et la démolition engendreront comparativement plus d'émissions de carbone. Les déchets provenant de ces deux phases abondent, car les bâtiments ne sont globalement pas conçus pour être recyclés. Si tout est théoriquement recyclable, cela représente toujours un coût économique et écologique. De plus, le recyclage induit souvent une perte de qualité au niveau des propriétés ce qui rend les matériaux recyclés impropres à leur usage initial. Recycler les matériaux n'est donc pas une solution miracle.

**Prendre le contre-pied de l'économie linéaire**

Le modèle prévalant dans l'industrie de la construction (basé sur le modèle économique linéaire prédominant soit produire-consommer-jeter) contribue fortement à l'épuisement des ressources naturelles premières. « Pour faire du béton, nous avons besoin de sable. Aujourd'hui, nous devons racler les fonds marins à 200

mètres de profondeur en détruisant toute la faune et la flore, car les autres ressources de sable ont été épuisées. Et le sable du désert est trop lisse à cause de l'érosion provoquée par le vent pour être utilisé dans la construction. », explique Corentin Fivet, professeur à l'EPFL et directeur du Laboratoire d'Exploration Structurale basé au smart living lab. Il est donc urgent d'imaginer d'autres modèles qui, par essence, augmentent le plus possible la durée de vie du matériau extrait, et de l'élément produit. L'économie circulaire est le contre-pied de l'économie de consommation linéaire : « L'idée est de faire une boucle avec les matériaux selon le principe « rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ou se transfère ». Réduire la quantité de matériaux utilisés, réparer, réemployer, recycler et restituer à la nature sont des principes à appliquer par ordre de priorité, réparer consommant moins d'énergie que réemployer, puis recycler et ainsi de suite... ».

**Plusieurs vies pour des structures et systèmes de bâtiment**

Comprendre comment construire des structures porteuses (murs, dalles, colonnes, plancher, toiture, fondations), successivement réemployables dans plusieurs bâtiments, est l'un des objectifs du Laboratoire d'Exploration Structurale. Ceci implique d'ailleurs une logique de consommation locale pour éviter les coûts de transport et leurs émissions de carbone. En outre, sachant que la durée de vie d'un bâtiment est de généralement 100 ans, réemployer des éléments sur plusieurs siècles entraînerait une vision à très long terme et donc un changement de paradigme.

Pour pouvoir se projeter ainsi dans le futur, l'équipe développe des outils pour évaluer le potentiel de réemploi des éléments issus d'une construction démolie.

**« Sur le stock de bâtiments en Suisse, nous ne connaissons absolument pas le pourcentage de matériaux ou éléments qui pourraient être réutilisés lors de démolitions. Pouvoir réutiliser le patrimoine démolé pour créer de nouveaux bâtiments est un des scénarios que nous devons investiguer. », commente Corentin Fivet.**

Comme il l'explique, réemployer le système structural seul ne suffit pas, ce sont tous les systèmes intégrés (systèmes de fluides,

isolation, protection et imperméabilité à l'air, à l'eau et finitions) des anciens bâtiments qui doivent être réemployés et ce malgré les assemblages et désassemblages.

**Economie circulaire ou restitution à la nature**

En l'état des recherches, l'équipe ignore si le modèle circulaire appliqué à l'industrie de la construction (réemployer les éléments sur plusieurs centaines d'années) est un modèle gagnant ou s'il faudrait préférer que tous les éléments soient restituables à la nature une fois les bâtiments détruits. « Comment mesurer le réemploi ? Quelles sont les technologies favorisant le réemploi ? C'est ce que nous comptons établir durant les prochaines années. », conclut Corentin Fivet.

# Déconstruire le construit : comprendre réussites et échecs



© Alain Herzog

## Titre du projet

Digital fabrication technologies:  
Analyzing patterns of adoption and innovative transformations in architectural design and practice

|                                           |                                                                          |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Date de début                             | 2015                                                                     |
| Date de fin                               | 2017                                                                     |
| Directeur                                 | Paolo Tombesi et Bharat Dave                                             |
| Equipe(s) de recherche impliquée(s)       | Laboratoire de construction et architecture, Australian Research Council |
| Chercheur(s) impliqué(s)                  | Paolo Tombesi et Bharat Dave                                             |
| Publications de référence sur le projet : | <a href="https://youtu.be/nt04PH_ePww">https://youtu.be/nt04PH_ePww</a>  |

## Un projet de bâtiment tient-il ses promesses une fois construit ? Quels sont les facteurs qui peuvent expliquer les échecs et les réussites ? Et quelles sont les configurations qui favorisent la concrétisation d'innovations ?

Poser un regard critique sur les processus de production des bâtiments est une démarche encore peu répandue dans le domaine de la construction. Et pour cause : construire un bâtiment requiert de mettre en lien tellement d'intervenants aux intérêts multiples que les dysfonctionnements se noient la plupart du temps dans cette complexité.

**« La construction est une de ces disciplines socialement complexes où personne n'est jamais en faute. Pourtant, en tant qu'activité essentiellement basée sur des expérimentations, l'erreur est une composante naturelle du processus de construction de bâtiments. », commente Paolo Tombesi, professeur à l'EPFL et directeur du Laboratoire de construction et architecture basé au smart living lab.**

### Analyser la production de bâtiments

Paolo Tombesi a dédié sa déjà longue carrière à analyser les processus constructifs. Partant de cas bien réels à la popularité souvent internationale, le professeur se rend sur place pour visiter ces œuvres architecturales. Muni de son appareil photo, il parcourt les bâtiments de fond en comble et capte les réussites et les dysfonctionnements. Il suit parfois aussi un projet en amont, se rendant régulièrement sur le chantier et visitant les prestataires pour étudier leurs moyens de production. Paolo Tombesi analyse également tous les documents qu'il parvient à obtenir dont le cahier des charges et les plans. Enfin, il se concentre sur les multiples intervenants et leurs interactions selon une méthodologie qu'il a développée.

### La dynamique des rôles

Plutôt que d'uniquement répartir les acteurs selon leur(s) domaine(s) d'expertise et les prestations qu'ils offrent, le chercheur se concentre sur le rôle effectif qu'ils jouent au sein du projet. Quel(s) pouvoir(s) ont-ils ? Quel(s) intérêt(s) possèdent-ils ? Quelle(s) connaissance(s) peuvent-ils offrir ? Et de fait, quel rôle jouent-ils réellement dans le projet ? En attribuant ces rôles (moteur, facilitateur, opposant) aux différents intervenants pour plusieurs cas d'étude, une analyse sérielle permet de mettre en évidence des configurations qui peuvent expliquer les réussites d'un projet. « S'il y a une constante à observer quant aux œuvres architecturales qui atteignent leurs objectifs, se serait celle-ci : les projets qui réussissent sont ceux dont les concepteurs ont eu le savoir et le pouvoir pour adapter le fonctionnement de l'industrie aux besoins spécifiquement requis par l'œuvre. », développe Paolo Tombesi.

### Favoriser les innovations

En 2016, le professeur a poursuivi une étude comparative entre trois bâtiments construits avec des techniques de fabrication digitale (modélisations poussées, impressions 3D, découpes laser, assemblage de pièces préfabriquées par des machines robotisées, etc.). En analysant les processus de construction, il est apparu que l'utilisation de la fabrication digitale s'est révélée particulièrement utile et réussie dans le cas où la boîte de dessins techniques (shop drawer) avait pris le risque et la responsabilité de créer les fichiers

numériques, mais également toute la coordination digitale du concepteur jusqu'aux machines de production. Ce prestataire a joué le rôle de moteur, car si le projet se révélait une réussite, ceci lui permettrait de fortement se démarquer sur le marché. Son intérêt économique évident l'a poussé à endosser non seulement le rôle de moteur, mais également tous les rôles-clé pour permettre au projet de se réaliser.

Au fil de toutes ses analyses de cas, Paolo Tombesi a pu observer que certaines configurations sociales favorisent la nouveauté telle que le recours à la fabrication digitale, tandis que d'autres schémas d'interactions freinent l'innovation, la tronquent voire l'annihilent. Le chercheur a établi une corrélation entre la répartition du pouvoir entre les intervenants et la concrétisation d'une innovation. « L'innovation peut être réalisée si elle bénéficie clairement à ceux qui ont le pouvoir d'agir. » conclut Paolo Tombesi.

# Confort VS technologie du bâtiment ? Impliquer les futurs usagers !

VUE DE L'INTÉRIEUR DES INSTALLATIONS SOLAIRES DE L'INSTITUT ENERGY



© Alain Herzog

## Titre du projet

**THE4BEES - Transnational Holistic Ecosystem 4 Better Energy Efficiency through Social innovation**

Date de début

2016

Date de fin

2018

Directeur

Jean-Philippe Bacher

Equipe(s) de recherche impliquée(s)

Institut ENERGY + participants aux ateliers de co-création

Chercheur(s) impliqué(s)

Jean-Philippe Bacher, Damien Vionnet, Harold Brühlhart, Martin Boesinger

Entreprise(s) impliquée(s)

Lutz Architectes, Climate Services, Cluster énergie & bâtiment

## Les disparités de consommation d'énergie entre les usagers d'un même bâtiment peuvent être étonnamment grandes. De même, comparer les consommations des bâtiments entre elles révèle de grandes divergences. Ces différences sont-elles dues aux bâtiments ou aux usagers ?

L'énergie est-elle plus consommée par les bâtiments ou par leurs usagers ? Un projet européen, dont la Suisse fait partie, place au centre les occupants d'un bâtiment et les encourage à repenser leurs comportements pour limiter leur consommation d'énergie. Le projet THE4BEES réunit sept sites pilotes en Europe. La Halle bleue – que le smart living lab occupe de manière temporaire – est l'un de ces terrains d'expérimentation.

Actuellement, une des stratégies est de limiter la consommation d'énergie, notamment par l'automatisation des bâtiments. La Halle bleue ne fait pas exception. Or, il a été, de manière générale, observé que si les usagers sont privés de contrôle sur des paramètres comme la lumière ou l'ouverture des fenêtres, ils développent des stratagèmes pour pallier à ce manque de confort qui peuvent se révéler plus néfastes que s'ils avaient pu régler la température ou les stores... Et si les usagers pouvaient eux-mêmes décider avant que le bâtiment ne soit construit ?

### Un processus collaboratif inédit

Pour comprendre les pratiques des usagers et leurs besoins, le projet THE4BEES a choisi une méthodologie participative : sonder les utilisateurs d'un bâtiment existant ou à venir.

**« Etant donné que le smart living lab va construire son propre bâtiment et que collaborateurs et chercheurs sont pour la plupart déjà engagés, cette situation originale – avoir réuni une grande partie des futurs occupants d'un bâtiment avant de l'avoir construit – était une chance à saisir. », raconte Jean-Philippe Bacher, professeur à la HEIA-FR et responsable de l'Institut ENERGY impliqué dans le smart living lab.**

En tant que responsable de la partie suisse du projet, il a donc réuni plusieurs membres du smart living lab pour échanger sur les améliorations possibles des locaux actuels, mais temporaires (la Halle bleue, site pilote) et sur le futur bâtiment, le smart living building. Engager dès les premières phases de conception d'un bâtiment les futurs usagers comporte de multiples avantages. « Les personnes peuvent exposer leurs besoins, réfléchir à leurs pratiques de consommation et exprimer leurs souhaits quant au futur bâtiment. Elles sont également un réservoir précieux de connaissances très concrètes en matière de bonnes et mauvaises pratiques architecturales, parce que c'est du vécu ! »

### Développer des outils faits sur mesure

Une telle démarche participative permet de comprendre pourquoi les usagers consomment parfois trop d'énergie (par ex : pas de ventilation naturelle, donc la fenêtre est constamment ouverte et le chauffage est à fond), mais également de réfléchir ensemble à comment réguler la consommation. Grâce au numérique, il est possible de connaître en temps réel la consommation de chaque usager. « Comme le démontre plusieurs recherches, voir sa consommation d'énergie en instantané a des effets bénéfiques très limités dans le temps. Nous avons donc demandé aux usagers d'imaginer avec nous des outils qui les inciteraient à optimiser leur consommation. », expose Jean-Philippe Bacher. Lumières, couleurs, bruits et modes d'interaction entre l'humain et la machine sont donc à l'étude pour donner l'alarme de manière constructive.

Jauge, compteur, comparateur, défis et concours en équipe sont aussi envisagés. Cette méthode participative a en plus l'avantage que des outils imaginés par ceux qui vont les utiliser ont toutes les chances d'être acceptés. Et « les usagers qui les ont conçus se les approprieront d'autant mieux techniquement parlant, car la technologie fait souvent peur ! », explique Jean-Philippe Bacher. Une fois ces outils imaginés, ils seront développés et testés par les usagers. Après cette phase de test, ils pourront être améliorés, puis enfin validés. L'impact sur les comportements des outils numériques sera mesuré et évalué. Ces données contribueront à orienter les politiques publiques d'autant que les résultats obtenus sur les différents sites pilotes seront comparés entre eux. « Un bâtiment mal conçu entraîne une surconsommation d'énergie et ce malgré la bonne volonté de ses usagers et surtout si leur bien-être est en jeu. Bien que ce projet soit loin d'être terminé puisqu'il va s'étendre jusqu'en décembre 2018, nous sommes déjà convaincus que la technologie ne doit pas primer sur le confort des usagers. Elle doit plutôt les aider à maîtriser leur environnement et leur consommation d'énergie. », conclut Jean-Philippe Bacher.

# Qualité architecturale et production collaborative des bâtiments

LE PROFESSEUR FLORINEL RADU LORS DE SA CONFÉRENCE AUX SMART LIVING TALKS



© Alain Herzog

## Titre du projet

## Qualité architecturale et processus de production du bâti

Date de début

2015

Date de fin

2016

Directeur

Florinel Radu

Equipe(s) de recherche impliquée(s)

Institut TRANSFORM

Chercheur(s) impliqué(s)

Chantal Dräyer, François Esquivié, Yingying Jiang

## **La qualité architecturale est un principe multifacette qui place les usagers au centre des préoccupations lors de la conception d'un bâtiment. Cet angle permet de proposer d'autres approches quant au processus de production des bâtiments.**

La qualité architecturale équivaut à la mise au premier plan des usagers de futurs bâtiments. Ce concept comporte plusieurs facettes, comme les questions constructives, techniques, énergétiques et environnementales, soit tout ce qui est lié au bâtiment en tant qu'objet physique et ses performances (isolation, stratégies passives, aération, etc.). La dimension fonctionnelle – la circulation dedans et dehors du bâtiment, l'organisation et les fonctions des pièces et la personnalisation des espaces en fonction des futurs utilisateurs, de la dimension des équipes et des équipements techniques – est également fondamentale. L'intégration du bâtiment dans un tissu urbain et dans un contexte climatique spécifique est aussi prise en compte. Les contraintes financières de la réalisation du bâtiment, mais également de son exploitation sont des paramètres décisifs. Enfin, les dimensions esthétiques (à savoir tout ce qui est perceptible et donne une ambiance dans un bâtiment, de la lumière jusqu'aux matières utilisées) sont importantes.

**« Toutes ces dimensions sont interdépendantes, voire contradictoires, et c'est là justement où il faut trouver le savant compromis. », explique Florinel Radu, professeur à la HEIA-FR et responsable de l'Institut TRANSFORM impliqué dans le smart living lab.**

### **Les usagers au premier plan**

La plupart si ce n'est la totalité des aspects que le concept de qualité architecturale englobe, impactent les usagers. Elle comprend beaucoup de subjectivité puisqu'elle implique les perceptions des utilisateurs, leur système de valeurs et leur sensibilité propre. Pour respecter le bien-être de la majorité des usagers et identifier les marges d'acceptabilité tolérables pour les autres, l'équipe de Florinel Radu a répertorié les différents protagonistes, leurs intérêts et leurs contraintes autour d'un projet de bâtiment, en l'occurrence celui du smart living lab, le futur smart living building. Cette étape est fondamentale pour élaborer ce processus qui permettra de réaliser le savant compromis entre le très grand nombre d'acteurs et tous les enjeux présents dans la production d'un bâtiment à la pointe de la qualité architecturale. « L'objectif du projet est de tracer un processus idéal (formulation des objectifs, répartitions dans le temps, identification des méthodologies, outils, acteurs et ressources), de la conception à la construction du smart living building et ensuite de sa phase d'exploitation. » commente Florinel Radu.

### **Design d'un processus idéal collaboratif**

Il est très vite apparu que l'enjeu majeur pour produire un bâtiment respectant un maximum d'intérêts et de contraintes est la communication et la collaboration entre les différents acteurs à tout niveau.

Dans un cas classique, le projet de bâtiment est soumis à un concours. Un cahier des charges est déterminé en amont et les équipes concurrentes travaillent chacune de leur côté et n'échangent pas à propos du concours. L'équipe de Florinel Radu a imaginé un nouveau processus de conception. Le cahier des charges qui accompagnera le lancement de la procédure pourrait être itératif. Les équipes participantes et les futurs usagers pourront ainsi faire des suggestions d'amélioration. De plus, les équipes ne seraient pas vraiment concurrentes, mais seraient mises en situation de collaboration. Il y aurait de fait plusieurs moments de rencontre et d'évaluation des projets en plénière avant la décision finale. Pendant toute la durée du concours, les chercheurs du smart living lab seraient disponibles pour interagir avec les équipes. Le projet choisi serait le fruit de l'intelligence

collective. « C'est un grand processus de co-construction. Nous avons pour le smart living building des exigences très élevées. Il faut donc également innover au niveau des méthodes de travail pour répondre à ces exigences ! », conclut Florinel Radu.

# Impacts futurs des consommateurs-producteurs sur le réseau électrique



## Titre du projet

**Handling the Crowd: An Explorative Study on the Implications of Prosumer-Consumer Communities on the Value Creation in the future Electricity Network**

Date de début

2014

Date de fin

en cours

Directrice

Stephanie Teufel

Equipe(s) de recherche impliquée(s)

iimt

Chercheur(s) impliqué(s)

Mario Gstrein, Stephanie Teufel

Publications de référence sur le projet :

Handling the Crowd: An Explorative Study on the Implications of Prosumer-Consumer Communities on the Value Creation in the future Electricity Network

**Dans un avenir proche, bien plus de gens produiront leur propre énergie grâce par exemple à des panneaux solaires et deviendront ainsi des « prosommateurs ». Le surplus de cette production pourra être stockée, échangée ou vendue. Dès lors, à quoi ressemblera le nouveau marché de l'énergie ?**

« Handling the Crowd : An Explorative Study on the Implications of Prosumer-Consumer Communities on the Value Creation in the future Electricity Network » est le titre de la thèse de doctorat de Mario Gstrein. Cette recherche explore des pistes tangibles : que se passerait-il si toute la production d'électricité venait de systèmes d'approvisionnement locaux et renouvelables ? Et si les gens d'un quartier se réunissaient et produisaient, conservaient et échangeaient de l'énergie au sein de leur communauté ? Ceci exigerait notamment de nouveaux micro-réseaux et une décentralisation de la production sur site. Or, la décentralisation est une tendance dans l'air du temps qui présente plusieurs avantages en terme de coûts, mais également environnementaux en réduisant les distances de transport par exemple. Cette tendance pourrait également gagner le secteur de l'énergie.

#### **Consommer de l'énergie produite sur site**

Que se passerait-il si tout un chacun pouvait subvenir partiellement ou complètement à sa propre demande en énergie ?

**« Cette recherche adopte le point de vue des prosommateurs (contraction de producteurs et consommateurs). Son originalité est de placer au centre la collectivité (crowd) et de démontrer que cela pourrait tout à fait fonctionner. » constate Stephanie Teufel, directrice de la thèse, professeure à l'UNIFR et responsable de l'international institute of management in technology, partie prenante du smart living lab.**

Pour répondre à cette problématique, Mario Gstrein a fait appel à des méthodes multidisciplinaires. Grâce à la diffusion d'un questionnaire en ligne, il explore dans sa thèse certains aspects sociaux comme le désir d'appartenir ou non à une collectivité productrice d'énergie ou des schémas décisionnels caractéristiques lors qu'il s'agit de conserver ou de partager l'énergie. Il examine également des aspects économiques tels que le prix d'une électricité produite par soi-même et calcule le potentiel de production grâce à la simulation d'une collectivité dans un quartier bien réel.

#### **Une autonomie qui redéfinira les contours du réseau de distribution classique**

Les résultats démontrent que les gens voient de plus en plus un intérêt à investir dans des infrastructures et se font progressivement à l'idée de devenir des prosommateurs. Il apparaît également que produire cette énergie au sein d'une collectivité est tentant, mais à condition que cette communauté soit suffisamment large pour assurer un certain anonymat. De même, en prenant la taille d'un bloc d'immeubles ou d'une banlieue, une collectivité pourrait réussir à fortement réduire sa dépendance aux fournisseurs d'électricité, jouer de son influence sur la chaîne de production et assurer son indépendance durant les périodes de transitions (lorsque la demande n'atteint pas de pic). Pour créer les conditions nécessaires à une autonomie absolue, la collectivité doit augmenter sa capacité de production et de stockage et / ou avoir recours à des formes d'énergies moins volatiles, tout cela si ses moyens financiers le lui permettent. Dans le cas

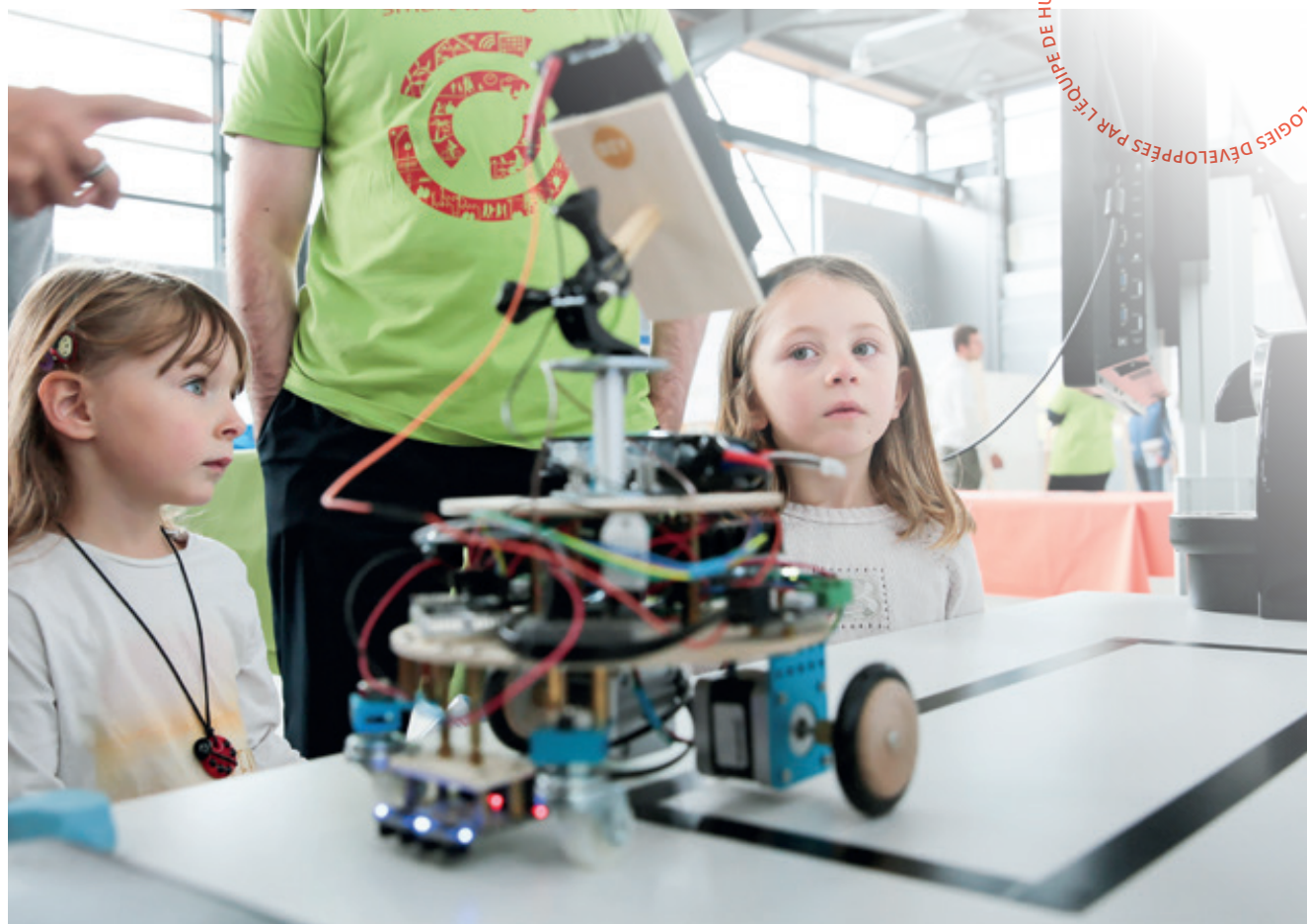
d'une telle autonomie, les fournisseurs en électricité pourraient alors jouer le rôle de solution de sauvetage, en devenant par exemple une assurance qui vendra son électricité en cas de pénurie aux assurés.

#### **Partager plus que de l'électricité : partager des valeurs**

« Partager un savoir-être, des schémas décisionnels, de la confiance et de l'engagement sont décisifs pour créer et maintenir une collectivité. », écrit Mario Gstrein. D'après ses recherches, pour assurer le principe de partage, une collectivité doit établir des codes moraux qui sont respectés de tous et qui par exemple impliquent de donner la même valeur à l'énergie produite par soi-même qu'à l'énergie produite par les autres membres de la collectivité. La transparence est également obligatoire pour permettre la coopération. Mario Gstrein a aussi découvert grâce à une simulation dans un quartier existant que le plus grand nombre d'interactions avait lieu lorsque le ratio production-consommation était égal, en d'autres termes lorsque le plus d'options étaient disponibles (échanger / stocker / vendre).

Aussi, il y a globalement deux groupes de prosommateurs qui influencent la dynamique du réseau : les adaptatifs et les non-adaptatifs. Les personnes non-adaptatives ont une aversion pour le risque et partagent l'énergie qu'elles ont stockée uniquement quand le soleil brille. Le groupe des adaptatifs lui prend des risques dès que les prévisions météorologiques annoncent un temps favorable. Néanmoins, la réussite d'une collectivité est plutôt fondée sur son potentiel global à bien gérer le stockage et les interactions. « Savoir combien d'énergie peut être produite, stockée, échangée ou vendue va nous conduire vers un changement de paradigme. En effet, l'énergie prendra une valeur tout à fait différente en termes de prix, mais également en termes d'engagement personnel. Sa consommation en sera aussi optimisée. Donner aux gens la responsabilité de produire leur propre énergie est probablement une des meilleures façons de les rendre conscients des enjeux ! », conclut Stephanie Teufel.

# Mieux comprendre les interactions humains-bâtiments



© Alain Herzog

## Titre du projet

## The Comfort Box / User Experience Study I

Date de début

2016

Date de fin

2016

Directeur

Denis Lalanne

Equipe(s) de recherche impliquée(s)

Human-IST

Chercheur(s) impliqué(s)

Himanshu Verma, Hamed Alavi, Denis Lalanne

Publications de référence sur le projet

Himanshu Verma, Hamed Alavi, Denis Lalanne. "Studying Space Use: Bringing HCI Tools to Architectural Projects". Proceedings of ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, with Honorable Mention award (top 5% paper).

## Comment un bâtiment est-il utilisé ? Comment les occupants perçoivent-ils leur confort ? Comment leur corps réagit-il aux changements environnementaux ? Comment augmenter le dialogue Homme-Bâtiment ?

Dans le cadre du smart living lab, le centre de recherche Human-IST (Human Centered Interaction Science and Technology) cherche à mieux saisir comment les êtres humains interagissent dans et avec les bâtiments. Cette connaissance ouvre la voie au développement de technologies améliorant le confort et l'efficacité d'usage de ces derniers, tout en garantissant leur performance énergétique.

**« Nous développons des outils interactifs permettant de comprendre les besoins des occupants et d'augmenter à la fois leur confort et l'efficacité du bâtiment », explique Denis Lalanne, professeur à l'UNIFR et directeur du centre de recherche Human-IST.**

Dans ses recherches sur le confort, Human-IST émet l'hypothèse que l'humain ne perçoit pas les changements graduels de son confort. Pour vérifier cette hypothèse, les chercheurs développent des outils qui permettent de mesurer le confort humain et celui de son environnement. L'un de ces outils est la « Comfort Box » qui a fait l'objet d'un brevet. Comme l'explique Hamed Alavi, l'un de ses concepteurs, cette boîte capture la qualité de l'air (gaz carbonique), la température, l'humidité, la luminosité et le bruit et les affiche au moyen d'un écran et d'un cercle de LEDs qui changent de couleurs pour indiquer si les conditions sont bonnes ou au-delà des normes. Cet outil informe non seulement les occupants aux alentours, mais également le bâtiment lui-même qui peut alors ajuster certains paramètres au profit du confort des usagers.

### Personnaliser les conditions ambiantes

Au moyen de boutons, les occupants peuvent apprendre leurs préférences à la Comfort Box. Celle-ci peut aussi initier le dialogue, via des questions, lors de changements importants des conditions de confort. Prédiction et ajustements personnalisés de l'espace deviennent dès lors possibles, grâce à des techniques de machine learning. La prochaine expérience consistera à comparer trois formes de confort différentes : le confort mesuré de l'environnement, le confort perçu par les occupants et les valeurs physiologiques captées sur les occupants (battements cardiaques, sudation et température de la peau). « L'idée est de mieux comprendre les relations entre ces trois types de confort en vue de prédire l'inconfort de l'occupant », complète Denis Lalanne.

### Déterminer des profils d'utilisateurs en se basant sur leurs déplacements

En 2016, le centre de recherche Human-IST a également mis en place une expérience durant laquelle 22 volontaires ont porté des bracelets équipés de capteurs pendant deux semaines. Ces capteurs communiquaient avec des antennes situées dans 12 pièces des locaux du smart living lab, de sorte à enregistrer leurs déplacements à chaque instant de leur journée de travail. « Pour bien interpréter les données, nous avons utilisé des techniques de visualisation et de data mining ». Dans leur prochaine expérience, les chercheurs projettent également de capturer des données de confort environnemental et de les confronter aux déplacements des occupants. « Cette nouvelle expérience permettra d'observer les activités des occupants et leurs relations avec le confort des différents espaces. », explique Denis Lalanne. Avec les premiers résultats modélisés, les chercheurs de l'équipe, Himanshu Verma et Hamed Alavi, ont identifié trois profils types parmi les occupants :

- les « messagers », qui sont des personnes qui vont régulièrement échanger avec leurs collègues de vive voix et reçoivent également beaucoup de visites de ces derniers. Ces personnes passent beaucoup de temps dans leur bureau, mais ont aussi beaucoup d'échanges dans les locaux proches.
- Les « collaborateurs », soit des personnes

qui n'ont pas de routine, qui font beaucoup de déplacements et sont souvent absentes du bureau. Elles ont un grand nombre de meetings dans les salles de réunion et utilisent peu la cafétéria.

- Les « travailleurs » qui sont focalisés sur des activités de recherche précises. Plutôt sédentaires, ils vont plus à la cafétéria que les autres profils, mais sortent peu de leur bureau.

Lors de la prochaine phase de tests, les micro-interactions seront observées grâce à des capteurs infrarouges permettant de suivre des déplacements au centimètre près. Deux espaces seront en particulier étudiés : un espace collaboratif bruyant et un espace silencieux permettant lecture et travail individuel. Les objectifs de cette expérience, en collaboration avec les équipes EPFL Building 2050 et LASUR, ainsi qu'avec l'atelier Oï, sont multiples : mieux comprendre les besoins des occupants en termes d'espace, densifier l'usage du bâtiment et augmenter la collaboration. « Ces nouvelles analyses plus précises permettront de mieux prendre en compte les besoins des occupants du smart living lab et proposer des espaces innovants, confortables et énergétiquement efficaces. », conclut Denis Lalanne.

# Aspects juridiques des modélisations numériques de bâtiments (BIM)



© Alain Herzog

## Titre du projet

Date de début

Date de fin

Directeur

Equipe(s) de recherche impliquée(s)

Chercheur(s) impliqué(s)

Publications de référence sur le projet

## Legal Aspects of Building Information Modeling

2016

en cours

Martin Beyeler

Institut du droit de la construction

Martin Beyeler

Beyeler, Martin, Rechtsfragen zu BIM in 19 Thesen, in: Jusletter 12. Dezember 2016 ([www.jusletter.ch](http://www.jusletter.ch))

## Des logiciels permettent de modéliser n'importe quel bâtiment, de ses murs aux poignées de porte. La possibilité de réunir et d'analyser toutes ces informations, à un niveau de détail jamais égalé, soulève tout un faisceau de questions juridiques.

BIM (Building Information Modelling), c'est l'intitulé utilisé pour parler des nouvelles technologies informatiques permettant de modéliser n'importe quelle construction existante ou à venir, avec un niveau d'informations extrêmement détaillé et complet. Les logiciels permettent à l'heure actuelle de non seulement créer une représentation virtuelle tridimensionnelle des bâtiments et de toutes leurs caractéristiques, mais également de montrer la juxtaposition des différentes couches (fondations, murs, plomberie, circuits électriques, etc.) et composants isolés (de la toiture aux clous). La possibilité en plus de consigner une foule de renseignements, d'échanger et de travailler sur une seule et même plateforme virtuelle entraîne de nouvelles questions à résoudre dans différents domaines du droit. L'Institut du droit suisse et international de la construction de l'Université de Fribourg s'est fixé comme objectifs d'identifier ces interrogations et de proposer des premières réponses.

### Rassembler toutes les informations

La méthode BIM est de plus en plus utilisée en Suisse. Inventée à l'origine par l'industrie automobile pour simuler les futurs véhicules ou machines, ces logiciels extrêmement sophistiqués sont utilisés depuis une quinzaine d'années aux Etats-Unis pour concevoir, simuler et tester des bâtiments, du chantier à la destruction, en passant par la phase d'exploitation. Les avantages sont multiples : - « Aussi étonnant que cela puisse paraître, il y a encore beaucoup d'incohérences qui apparaissent uniquement lorsque le chantier bat déjà son plein ! Ceci est dû au fait

que la conception et la planification d'un ouvrage implique divers spécialistes et qu'il est difficile de coordonner de façon exhaustive les différentes contributions avec les instruments traditionnels. Ainsi, il subsiste généralement un certain nombre d'incompatibilités qui pourront coûter cher plus tard », explique Martin Beyeler, professeur à l'Institut du droit de la construction et au smart living lab. Or, la méthode BIM permet justement de regrouper toutes les informations autour d'un projet, de les modéliser et de les analyser pour trouver des frictions ou incompatibilités. Dès lors, une planification plus fiable parce qu'intégrale devient possible. De plus, les simulations détaillées des maquettes numériques offrent l'opportunité d'explorer de façon relativement simple toute sorte de variante en testant d'autres stratégies et composants. Optimiser avant d'aborder la réalisation, c'est le maître-mot de cette nouvelle méthode qui permet de faire des choix en amont mieux documentés, plus responsables, plus durables, plus efficaces et plus économiques, soit un potentiel impact énergétique et environnemental important.

### Questions juridiques en point de mire

La méthode BIM entraîne de nouvelles pratiques et processus que les juristes se donnent pour mission d'anticiper afin de proposer des réponses juridiques aux problèmes et litiges liés à l'utilisation de cette méthode. L'informatisation d'un projet de construction a des répercussions sur le droit des contrats.

**« Le tissu contractuel d'un projet de construction est un vrai dédale de contrats bilatéraux. Or, le BIM impose une certaine uniformisation de tous les processus. Par ailleurs, certaines tâches traditionnelles des intervenants disparaissent, d'autres voient leur nature modifiée par l'utilisation de l'informatique, et d'autres encore sont tout à fait nouvelles, comme celle d'intégrer des informations dans la plateforme virtuelle commune. Ces changements auront probablement des conséquences sur les responsabilités et sur la question de la rémunération. », développe Martin Beyeler.**

Qui possède quels droits sur les données rassemblées dans les modélisations BIM ? Quelles informations garder confidentielles

et comment protéger ces informations des cambrioleurs ou hackers malintentionnés ? Et comment éviter que telle innovation ne soit plagée ou volée ?

### Autorisations de construire en BIM ?

Pour l'instant, les législations en matière de construction exigent de soumettre des plans papier (ou en fichier informatique) en 2D pour obtenir un permis de construire. Toutefois, « soumettre une demande d'autorisation de construire par une maquette BIM permettrait d'accélérer sensiblement les procédures. Le BIM faciliterait la vérification de la conformité du projet tout en rendant l'évaluation bien plus précise. Les requêtes seraient ainsi plus vite traitées ! », explique Martin Beyeler. Ceci n'est pas encore possible, car il faudra d'abord adapter les lois. Ce faisant, il faudra régler non seulement les questions de forme et de contenu, mais aussi la mise à l'enquête publique ainsi que des questions de protection de données, « car en comparaison avec les plans sur papier, une maquette numérique peut contenir bien plus d'informations et elle se copie et se divulgue très facilement. »

### L'état également concerné

Au niveau du droit des marchés publics, le chercheur est arrivé à la conclusion que comme les privés, l'état est en droit d'utiliser la méthode BIM dans ses projets (et pendant la procédure d'adjudication). En vertu de l'interdiction de discriminer, l'état doit par contre veiller à ne pas imposer un logiciel déterminé sans motif sérieux puisque les acteurs économiques habitués à un autre logiciel seraient désavantagés. Un risque similaire de discrimination se présente lorsque des travaux de réalisation sont soumis à un appel d'offres avec une maquette BIM qui contient déjà des éléments correspondants à des produits déterminés. Or, le droit des marchés publics l'interdit. », conclut Martin Beyeler.

# Développement et participation à des projets nationaux et internationaux

## Solar Decathlon

**Le Solar Decathlon est un concours pour les étudiants qui en équipe conçoivent et construisent une maison hautement performante et complètement fonctionnelle qui utilise le soleil comme sa seule source d'énergie.**

En 2017, les étudiants de l'EPFL, de la HEIA-FR, de la Haute Ecole d'art et de design de Genève (HEAD / HES-SO) et de l'UNIFR s'envoleront pour Denver (Etats-Unis) où leur construction sera exposée avant de revenir sur Fribourg.

Ce défi est lié à la problématique de la protection du paysage et des terres agricoles à travers l'utilisation rationnelle du territoire (LAT) qui impose de trouver des solutions de densification suburbaine. A ce titre, le projet devra pouvoir se décliner

dans les contextes principaux de la condition suburbaine (villas, habitat collectif, industrie) et y amorcer des processus de transformation. Son rôle sera de lancer une dynamique locale et collective en proposant de nouveaux espaces de partages et de services, mais aussi d'autres façons de consommer et de se déplacer.

[www.solardecathlon2017.ch](http://www.solardecathlon2017.ch)

## Collaboration avec NEST (Empa)

**La plateforme de recherche de l'EMPA « NEST-Next Evolution in Sustainable Building Technologies » à Dübendorf permet de tester à l'échelle 1:1 les innovations des scientifiques, afin de mettre rapidement sur le marché des produits et concepts innovants dans le domaine du bâtiment.**

Dans l'unité SolAce, les chercheurs de l'EPFL et de la HEIA-FR exploreront en collaboration avec le bureau d'architectes Lutz Associés la thématique de la lumière. La façade de l'unité sera équipée de technologies pour améliorer l'efficacité énergétique et le confort. Outre la production d'énergie grâce aux cellules photovoltaïques

et photothermiques, leurs recherches se concentreront sur l'amélioration du confort intérieur grâce au contrôle de la lumière naturelle et d'autres éléments de façade actifs. L'unité accueillera un espace de vie et de travail pour deux personnes.

LES ÉTUDIANTS DU PROJET SOLAR DECATHLON LORS DES SMART LIVING TALKS



# Activités promotionnelles du smart living lab

## Événements 2016

**Le smart living lab a organisé les événements suivants en 2016 :**

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 07.10.2016    | <b>Ouverture des smart living days</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 07.10.2016    | <b>smart living talks</b><br>Les conférences traitaient d'une part du futur bâtiment que le smart living lab construira pour héberger ses activités, d'autre part d'exemples inspirants d'architectures durables et de conception de projets complexes avec une méthodologie gagnante, car participative et interdisciplinaire. Le «crowd energy», à savoir la possibilité que chacun aurait de produire sa propre énergie et de l'échanger ou de la revendre, était également l'un sujet à l'honneur. |
| 08.10.2016    | <b>Portes ouvertes du smart living lab</b><br>Le public a pu découvrir des démos. Mesurer combien consomment les appareils ménagers grâce à des watt mètres, comprendre comment réduire en tant qu'usager d'un bâtiment son empreinte carbone ou appréhender le bilan thermique d'un habitat grâce à une simulation par une fontaine à eau, telles étaient les activités proposées par les chercheurs du smart living lab.                                                                             |
| 08.10.2016    | <b>Fin des smart living days</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 05-06.10.2016 | <b>Building 2050 : Workshop international</b><br>Une palette internationale de vingt experts issus des milieux académiques et économiques, ainsi qu'une quinzaine de membres du smart living lab, se sont réunis à Gruyères autour des travaux de recherche qui devront aboutir à la construction du smart living building.                                                                                                                                                                            |
| 22.02.2016    | <b>Kick-off participation Solar Decathlon</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 08.11.2016    | - The Solar Decathlon architectural challenges<br>- Energetic Refurbishment - a global approach for the building envelope                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 06.09.2016    | - Stronger Buildings with Less Resources and Waste<br>- Principles, values, propositions: The ideas behind FAR, the new ENAC laboratory for construction and architecture                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 07.06.2016    | - The Urban project reloaded: towards new links between actors, processes and time frameworks - Invisible architecture                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 05.04.2016    | - Building Information Modeling (BIM): Defining the Legal Issues<br>- Tiny House Movement for Switzerland?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 01.03.2016    | - New tools for assessing solar access in urban master planning<br>- The Swiss Living Challenge project for the Solar Decathlon competition 2017                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 02.02.2016    | - Smart windows / Smart algorithms for improved visual comfort and energy savings in buildings<br>- Future users of the smart living building: results of an online survey                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

**Les smart living lunches ont été lancés en 2015 et s'adressent à la communauté smart living. Les sessions suivantes ont eu lieu en 2016 :**



© Alain Herzog

UN PARTERRE D'EXPERTS LORS DES SMART LIVING TALKS

## Le smart living lab a également participé aux événements suivants en 2016 :

|                      |                                                           |
|----------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>02.12.2016</b>    | Conférence des Gouvernements de Suisse occidentale (CGSO) |
| <b>23.11.2016</b>    | Députation fribourgeoise aux Chambres fédérales           |
| <b>05-06.11.2016</b> | Portes ouvertes EPFL                                      |
| <b>09.05.2016</b>    | Journée de la recherche ENAC à l'EPFL                     |
| <b>03.05.2016</b>    | Journée de la recherche HEIA-FR                           |
| <b>02.02.2016</b>    | Greater Geneva Bern Area (GGBA) delegates                 |

## Couverture médiatique 2016

|                                    |                                                               |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 08.10.2016, La Liberté             | « Découvrir les habitations du futur »                        |
| 08.10.2016, Freiburger Nachrichten | « Startschuss für neue Blue-Factory-Plattform »               |
| 08.10.2016, Le Temps               | « Un laboratoire fribourgeois se dédie à l'habitat du futur » |
| 17.08.2016, Le Nouvelliste         | « Vers un changement des pratiques de construction »          |
| 21.06.2016, La Liberté             | « Il faut passer à la vitesse supérieure »                    |
| 01.05.2016, Propriété magazine     | « Accroître la durée de vie d'un bâtiment »                   |



# Finances

## Rapport financier consolidé du smart living lab et d'EPFL Fribourg

| KCHF                                                          | CHARGES<br>2014-2015 | CHARGES<br>2016 | BUDGET<br>2014-2018 | DISPONIBLE<br>DÈS 31.12.16 |
|---------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|---------------------|----------------------------|
| <b>Budget opérationnel courant du smart living lab</b>        |                      |                 |                     |                            |
| BUILD Group                                                   | 0                    | 0               | 750                 | 750                        |
| Coûts opérationnels                                           | 345                  | 322             | 1750                | 1083                       |
| <b>TOTAL budget courant smart living lab</b>                  | <b>345</b>           | <b>322</b>      | <b>2500</b>         | <b>1833</b>                |
| <b>Projets courants et de démonstration</b>                   |                      |                 |                     |                            |
| Solar Decathlon                                               | 0                    | 200             | 800                 | 600                        |
| Prototype Comeback                                            | 0                    | 0               | 100                 | 100                        |
| Autres projets d'incitation                                   | 0                    | 0               | 667                 | 667                        |
| <b>TOTAL Projets courants et de démonstration</b>             | <b>0</b>             | <b>200</b>      | <b>1567</b>         | <b>1367</b>                |
| <b>EPFL académique</b>                                        |                      |                 |                     |                            |
| Développement de programmes                                   | 787                  | 1428            | 3660                | 1445                       |
| Chaires EPFL                                                  | 0                    | 1667            | 11333               | 9666                       |
| <b>TOTAL EPFL académique</b>                                  | <b>787</b>           | <b>3095</b>     | <b>14993</b>        | <b>11111</b>               |
| <b>TOTAL EPFL Fribourg</b>                                    | <b>1132</b>          | <b>3617</b>     | <b>19060</b>        | <b>14311</b>               |
| <b>Participation des institutions académiques de Fribourg</b> |                      |                 |                     |                            |
| UNIFR                                                         | 414                  | 628             | 3060                | 2018                       |
| HEIA-FR                                                       | 276                  | 898             | 4056                | 2882                       |
| <b>TOTAL institutions académiques de Fribourg</b>             | <b>690</b>           | <b>1526</b>     | <b>7116</b>         | <b>4900</b>                |
| <b>TOTAL PROJET SMART LIVING LAB 2014-2018</b>                | <b>1822</b>          | <b>5143</b>     | <b>26176</b>        | <b>19211</b>               |

# Annexes

## List of research projects (2016 – ongoing). Only in English

|                                      |                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                              |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Active Interfaces</b>             | Jean-Philippe Bacher                                                        | Building-integrated photovoltaic systems (BIPV) could be a high growth market with high impact for the economy and the Energiewende". A better understanding of the technology acceptance and of the needs of the market is required for the design of optimised solutions and to ensure efficient knowledge and technology transfer. | HEIA-FR ENERGY<br>EPFL<br>CSEM                               |
| <b>ArQua</b>                         | Florinel Radu                                                               | Conception of an ideal process for SLL building and definition of the first brief                                                                                                                                                                                                                                                     | HEIA-FR TRANSFORM<br>EPFL Building 2050                      |
| <b>BBDATA</b>                        | Jean Hennebert,<br>Jean-Philippe Bacher                                     | Analysis and implementation of a scalable cloud platform for storing, accessing and processing the data history of a building (sensors and actuators status, metering ...).                                                                                                                                                           | HEIA-FR iCOSYS<br>HEIA-FR ENERGY                             |
| <b>BEANS</b>                         | Yves Hertig,<br>Stephanie Teufel                                            | Behavioural Analysis for Network Sustainability.                                                                                                                                                                                                                                                                                      | UNIFR iimt                                                   |
| <b>BIM und Recht</b>                 | Martin Beyeler                                                              | Identification and investigation of legal issues raised through the application of the BIM methodology in the construction sector (in particular contractual, procurement, and public construction law).                                                                                                                              | UNIFR Institute for Swiss and international construction law |
| <b>Building Flexibility</b>          | Yingying Jiang,<br>Thomas Jusselme                                          | Identification of users' needs. Space design and user-building interactivity study.                                                                                                                                                                                                                                                   | EPFL Building 2050                                           |
| <b>CARBCOR</b>                       | Lavinia Niederhäuser                                                        | The scope of synchronising a low-environmental-impact electricity supply and the building's electricity consumption is addressed in this experiment. The scope of the study is limited to the smart living building.                                                                                                                  | HEIA-FR ENERGY<br>EPFL and UNIFR                             |
| <b>Carbon correlation experiment</b> | Didier Vuarnoz                                                              | Establishing a correlation between the building's electricity consumption and the low carbon energy supply.                                                                                                                                                                                                                           | EPFL Building 2050<br>HEIA-FR ENERGY<br>UNIFR Human-IST      |
| <b>CEISec</b>                        | Mohamad Aldabas,<br>Dominic Feichtner,<br>Stephanie Teufel,<br>Bernd Teufel | Crowd Energy information security culture - security guidelines for smart environments.                                                                                                                                                                                                                                               | UNIFR iimt                                                   |

|                                                                                                                                                 |                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>CIMI</b>                                                                                                                                     | Daia Zwicky,<br>Elena-Lavinia<br>Niederhäuser,<br>Hans Büri | Use of an integrated design approach to hybrid construction elements, using a multi-objective assessment methodology.                                                                                                                                                                                                                                                                     | HEIA-FR iTEC<br>HEIA-FR ENERGY<br>HEIA-FR<br>TRANSFORM |
| <b>Climate Change Issues 2050</b>                                                                                                               | Thomas Jusselme                                             | Definition of the comfort requirement of the external context and the 2050 targets. Proposed solutions for the smart living building                                                                                                                                                                                                                                                      | EPFL Building 2050                                     |
| <b>CO2 expert tool experiment</b>                                                                                                               | Stefano Cozza,<br>Thomas Jusselme                           | Creation of a CO2 expert tool prototype to better understand the design space and to demonstrate the potential of design efficiency by simplifying the inclusion of performance criteria in the design process.                                                                                                                                                                           | EPFL Building 2050<br>EPFL ECAL Lab<br>UNIFR Human-IST |
| <b>Comfort Box</b>                                                                                                                              | Hamed Alavi,<br>Denis Lalanne                               | An interactive device that through making a dialogue with its users learn their preferences in terms of four dimensions of comfort: thermal, visual, acoustic, respiratory.                                                                                                                                                                                                               | UNIFR Human-IST                                        |
| <b>Crowd Energy</b>                                                                                                                             | Stephanie Teufel,<br>Bernd Teufel                           | Identification of socio-economic motivation and regulatory measures as well as specific and sustainable funding policies supporting the crowd energy concept and with it the energy turnaround.                                                                                                                                                                                           | UNIFR iimt                                             |
| <b>CUSO: People, Spaces and Technologies</b>                                                                                                    | Hamed Alavi,<br>Denis Lalanne                               | A seminar organized with internationally recognized lecturers in the field of human interactive experience in built environments.                                                                                                                                                                                                                                                         | UNIFR Human-IST                                        |
| <b>DevEco</b>                                                                                                                                   | Florinel Radu                                               | The need to formulate proactive land policies to improve Fribourg's economic appeal is undermined by the lack of concrete tools for its facilitation.<br><br>The "Urban development : key condition for economic development » project aims to overcome this shortcoming by establishing a framework for urban development that will galvanize the economic growth in and around Fribourg | HEIA-FR<br>TRANSFORM                                   |
| <b>Digital fabrication technologies:<br/>Analyzing patterns of adoption and innovative transformations in architectural design and practice</b> | Paolo Tombesi,<br>Bharat Dave                               | A comparative study between three buildings built using digital fabrication techniques on the relevance of the techniques used and on the achievement of the objectives.                                                                                                                                                                                                                  | EPFL FAR                                               |

|                                                      |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                        |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Disputes in Construction Law</b>                  | Arnold Rusch                                | Finding ways to prevent and solve disputes in construction law                                                                                                                                                                                                                                                                                  | UNIFR Institute for Swiss and international construction law           |
| <b>EET-CEA</b>                                       | Stephanie Teufel                            | JEST special section on energy efficient technologies – Crowd Energy applications.                                                                                                                                                                                                                                                              | UNIFR iimt<br>University of Electronic Science and Technology of China |
| <b>Environmental performances</b>                    | Endrit Hoxha, Thomas Jusselme               | Path to the 2000W society. Definition of the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. Definition of an ideal project.                                                                                                                                                                                                                           | EPFL Building 2050                                                     |
| <b>eREN</b>                                          | Stefanie Schwab                             | The eREN project led the developments on the building envelope based on a global and interdisciplinary approach seeking the optimal balance between energy efficiency, construction related aspects, building physics, cost-effectiveness, co-benefits and co-losses, and heritage value.                                                       | HEIA-FR<br>TRANSFORM<br>Hepia Genève<br>HEIG-Vaud<br>HES Valais        |
| <b>eREN2</b>                                         | Stefanie Schwab                             | This project is the continuation of the eREN research project. It is based on models and renovation scenarios of apartment buildings that are common in the Swiss-French part of the country that highlight the potential, but also the challenges, of the energetic renovation of the building envelope based on a building's characteristics. | HEIA-FR<br>TRANSFORM<br>HEIA-FR ITEC<br>Hepia Genève                   |
| <b>Façade experimentation</b>                        | Arianna Brambilla                           | Definition of an optimum low-carbon façade in relation to users' perception of comfort according to different design choices.                                                                                                                                                                                                                   | EPFL SXL<br>EPFL Building 2050<br>EPFL LIPID Lab<br>EPFL LAST Lab      |
| <b>Future of Human-Building Interaction Workshop</b> | Hamed Alavi, Julien Nembrini, Denis Lalanne | A workshop that invited experts from fields of architecture, HCI, and psychology to discuss the vision of future living.                                                                                                                                                                                                                        | UNIFR Human-IST<br>Google<br>US New Castle University                  |
| <b>IER-BAT</b>                                       | Philippe Couty, Stefanie Schwab             | Study of the integration of active solar components (thermal and photovoltaics) in a portfolio of existing buildings previously studied from an energy efficiency perspective                                                                                                                                                                   | HEIA-FR ENERGY<br>HEIA-FR<br>TRANSFORM                                 |

|                                                   |                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                      |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Indoor Localization</b>                        | Himanshu Verma,<br>Nico Faerber,<br>Denis Lalanne      | Master thesis of Nico Faerber aimed at increasing the accuracy of indoor localization using Bluetooth Beacon technology.                                                                                                                                                                                | UNIFR Human-IST<br>UNIBE<br>Sinus AG |
| <b>INNOfit</b>                                    | Dominic Feichtner,<br>Amber Singh,<br>Stephanie Teufel | Study to evaluate the innovative fitness of Swiss power companies                                                                                                                                                                                                                                       | UNIFR iimt                           |
| <b>Is your building disassemblable?</b>           | Valeria Didonna,<br>Corentin Fivet                     | Survey of chosen construction details according to their ability to be disassembled without destruction.                                                                                                                                                                                                | EPFL SXL                             |
| <b>J.C.Maxwell and the Geometry of Structures</b> | Corentin Fivet                                         | Translation in modern terms of James Clerk Maxwell's seminal paper on Reciprocal Diagrams, 1872.                                                                                                                                                                                                        | EPFL SXL<br>MIT<br>ETHZ<br>SOM       |
| <b>Jurad-Bat</b>                                  | Joëlle Goyette                                         | Develop a trans-border platform to promote the pooling and sharing of experience and competencies as well as training of professionals in the area of radon risk management, which particularly affects the trans-border region of the Jurassic Arc. The platform will serve as a decision-making tool. | HEIA-FR ENERGY                       |
| <b>MODD</b>                                       | Florinel Radu                                          | Creating sustainable neighborhoods often comes up against reduced acceptance of densification by the public. The MODD project seeks to develop a business process as well as tools and methods to design and evaluate such neighborhoods while considering social criteria.                             | HEIA-FR<br>TRANSFORM                 |
| <b>ModSTOCK</b>                                   | Lavinia Niederhäuser                                   | The main objective of this project is to develop a tool to easily design, model, and optimize thermal storage for SMEs.                                                                                                                                                                                 | HEIA-FR ENERGY                       |
| <b>PerEn</b>                                      | Florinel Radu                                          | The applied research project PerEN seeks to develop a tool to reduce the observed discrepancy between the calculated energy efficiency of a building during the design phase and the actual energy efficiency measured during its exploitation.                                                         | HEIA-FR<br>TRANSFORM                 |
| <b>PriSE</b>                                      | Jovita Vasauskaite,<br>Stephanie Teufel                | Private households in smart environments.                                                                                                                                                                                                                                                               | UNIFR iimt                           |

|                                                     |                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                       |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>R-Sur</b>                                        | Joelle Goyette                                          | The Air-SÛR project aims to demonstrate the feasibility and the value of a remote and continuous monitoring of the air-quality in a building that houses young children with the aim of ensuring a healthy indoor environment and optimal conditions for the health of its occupants.                                                                                                                                                             | HEIA-FR<br>TRANSFORM                                                  |
| <b>SCSC</b>                                         | Bettina Irnhauser,<br>Stephanie Teufel,<br>Bernd Teufel | Societal Cyber Security Culture.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | UNIFR iimt                                                            |
| <b>Smart Mobility Mapping</b>                       | Jean-Frédéric Wagen,<br>Werner Halter                   | Mobility has a major impact on the lifecycle assessment of a building according to the 2000W society standard. This project aims to develop a tool that enables to easily map the mobility of the occupants of a building and provide them with information and advice.                                                                                                                                                                           | HEIA-FR<br>MobySysCG, Swiss<br>Climate SA                             |
| <b>SmartWall</b>                                    | Jacques Robadey,<br>Elena-Lavinia<br>Niederhäuser       | Exploring solutions to integrate phase-change materials (PCM) into an active (dynamic) climate control strategy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | HEIA-FR ENERGY                                                        |
| <b>Streiterledigung im Bauwesen</b>                 | Martin Beyeler                                          | Analysis of existing methods to deal with disputes and conflicts in the construction sector.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | UNIFR Institute<br>for Swiss and<br>international<br>construction law |
| <b>Structural Form-Finding from Reused Elements</b> | Jan Brütting,<br>Corentin Fivet                         | Definition of algorithms for the topological optimization of structural systems made of prescribed elements.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | EPFL SXL                                                              |
| <b>SVEN</b>                                         | Mario Gstrein,<br>Stephanie Teufel                      | Smart Value Energy Networks.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | UNIFR iimt                                                            |
| <b>THE4BEES</b>                                     | Jean-Philippe Bacher                                    | THE4BEES focuses on the behavioural changes of users in public buildings needed to achieve reduction of energy consumption. Such changes will be originated by the use of innovative ICT applications developed by a transnational ecosystem. Those applications will be used by the target groups in the demonstration sites (schools, houses, factories) to encourage behavioural changes for energy efficiency and carbon footprint reduction. | HEIA-FR ENERGY<br>13 partners from<br>IT, FR, DE, AU, SL              |
| <b>Tiny House Movement</b>                          | Arnold Rusch                                            | The reduction of the ecological footprint: Legal challenges of tiny houses and the mobility of single person households.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | UNIFR Institute<br>for Swiss and<br>international<br>construction law |

|                                                  |                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                   |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>TransHabNat</b>                               | Florinel Radu                                         | This project has shown that urban biodiversity goes hand-in-hand with the diversity of human habitats. It led to the development of an innovative tool to aid the design of projects that combine densification in peripheral urban zones with the improvement of the biodiversity. The tool contains a typology of forms of human-nature cohabitation, as well as a presentation of the interdisciplinary design process. | HEIA-FR<br>TRANSFORM<br>Hepia Genève                              |
| <b>User environment experiment</b>               | Cédric Liardet,<br>Thomas Jusselme                    | Definition of a strategy for the user environment based on user behavior as well as on the identification of indoor components/furniture according to their performances and impact on the comfort. Prototyping and experimental campaign research in the Blue Hall regarding the user's feedback.                                                                                                                         | EPFL Building 2050<br>UNIFR Human-IST<br>EPFL LASUR<br>Atelier Oi |
| <b>User Experience Study I</b>                   | Himanshu Verma,<br>Hamed Alavi,<br>Denis Lalanne      | Designing and conducting a user study to understand occupants' mobility and space usage behavior.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | UNIFR Human-IST<br>EPFL Building 2050<br>Atelier Oi<br>EPFL LaSUR |
| <b>User Experience Study II</b>                  | Himanshu Verma,<br>Hamed Alavi,<br>Denis Lalanne      | Defining policies for the re-design of office spaces within the Halle bleue based on the Human-Centered Design paradigm.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | UNIFR Human-IST<br>EPFL Building 2050<br>Atelier Oi<br>EPFL LaSUR |
| <b>Visualizing the user in the building data</b> | Roberto Sanchez,<br>Julien Nembrini,<br>Denis Lalanne | Using real building management system data, the aim of this master project is to infer the presence and behaviour of users through visual analytics techniques.                                                                                                                                                                                                                                                            | UNIFR Human-IST                                                   |
| <b>Zero Waste Elastic Gridshell</b>              | Sofia Colabella,<br>Corentin Fivet                    | Design and Construction of an elastic gridshell from reclaimed material.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | EPFL SXL                                                          |



