

LE BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE (BEPOS)

- UN APERÇU -



Adjoint du groupe de recherche **Building2050 / EPFL**

Smart living lab / membre de la commission scientifique

Co-fondateur, associé de **Milieu Studio** (FR)

Co-fondateur, associé de **exNdo architectures** (FR)

Co-fondateur, associé et directeur scientifique de **Combo Solutions** (FR)

MSc. Environmental engineering – LYON1

MSc. Industrial Design - UTC

PhD Candidate / LIPID+LAST EPFL



smart living lab

a research and development center for
the built environment of the future

www.smartlivinglab.ch

SMART LIVING LAB

Who we are

The smart living lab is a center for research and development dedicated to the built environment of the future not only on a technical but also on a societal level. It leads interdisciplinary and interinstitutional projects.



Its goal is to imagine living spaces while focusing on users' well-being and environmental issues. It draws on the combined expertise of the Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), the School of engineering and architecture of Fribourg (HEIA-FR / HES-SO) and the University of Fribourg (UNIFR) in the areas of **sustainable architecture, technology and materials, comfort, as well as law and social sciences.**

The smart living lab will eventually house about a hundred researchers and collaborators.

BUILDING 2050

[Home](#) [Research](#) [Publications & Awards](#) [Team](#) [Conferences & Workshops](#)

Share:     



Fields of Expertise

- Sustainable architecture
- Energy efficient buildings
- Low carbon buildings
- Architectural design process
- Early design simulation tool

CONTACTS

Marilyne Andersen

Head of the [Building 2050 research group](#)

Thomas Jusselme

Research associate of [Building 2050 research Group](#)

Didier Vuarnoz

Scientist of [Building 2050 research Group](#)

Address

smart living lab
Halle bleue, site de
blueFACTORY

Passage du Cardinal 13B
CH-1700 Fribourg



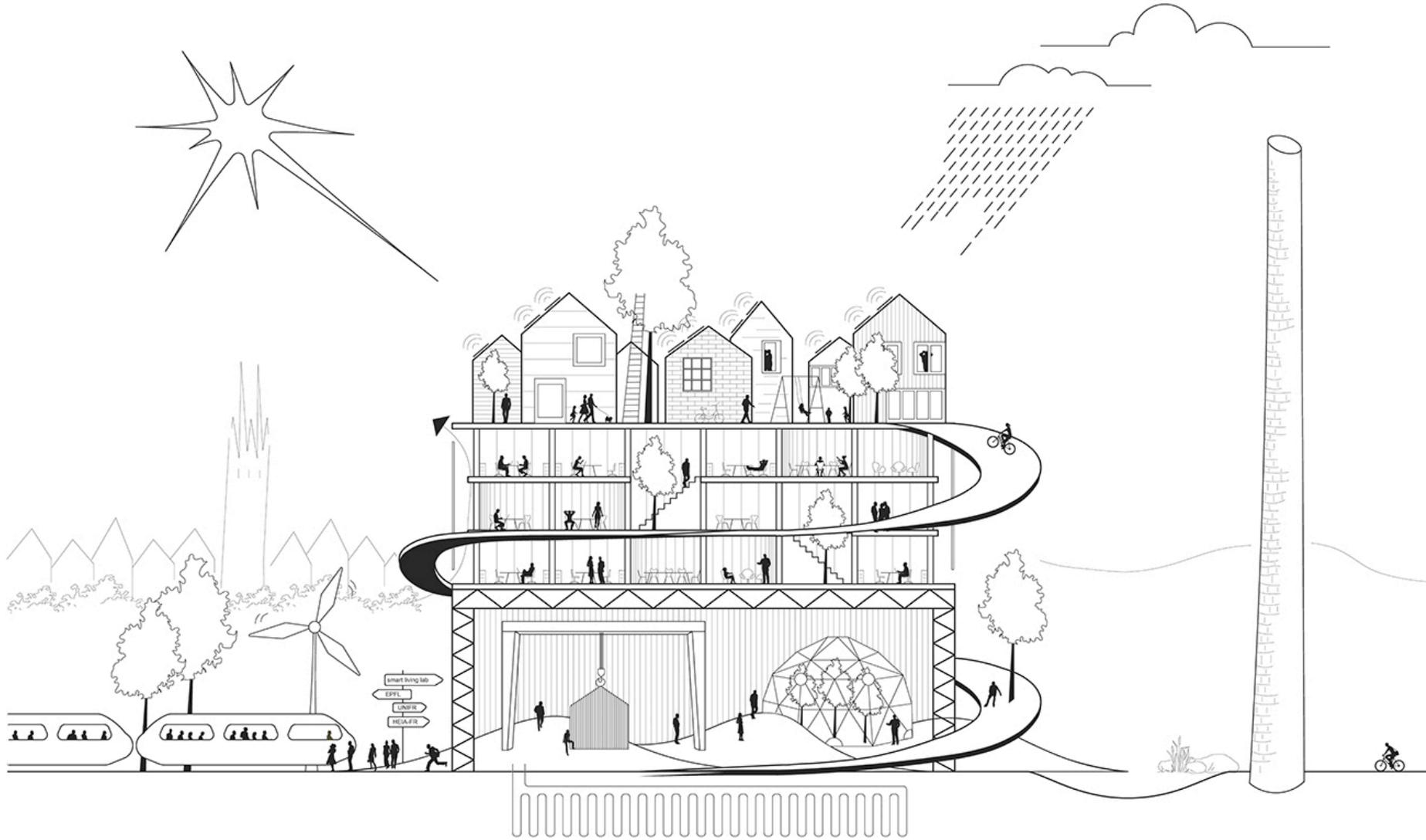
The [Building2050](#) research group was founded in 2014, following the creation of the EPFL Fribourg outpost and of the [smart living lab](#). The group concentrates its activities on the buildings' energy/carbon performances in order to develop design strategies to meet the expected [2050 requirement levels](#). The group is led by Thomas Jusselme and focuses its experimental works on the [smart living building](#), which will house a hundred smart living lab researchers as of 2020.

LE SMART LIVING BUILDING



BUILDING 2050 – T. Jusselme / 2017.04.05

LE SMART LIVING BUILDING



BUILDING 2050 – T. Jusselme / 2017.04.05

ORIGINE ET PRINCIPE DU BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE

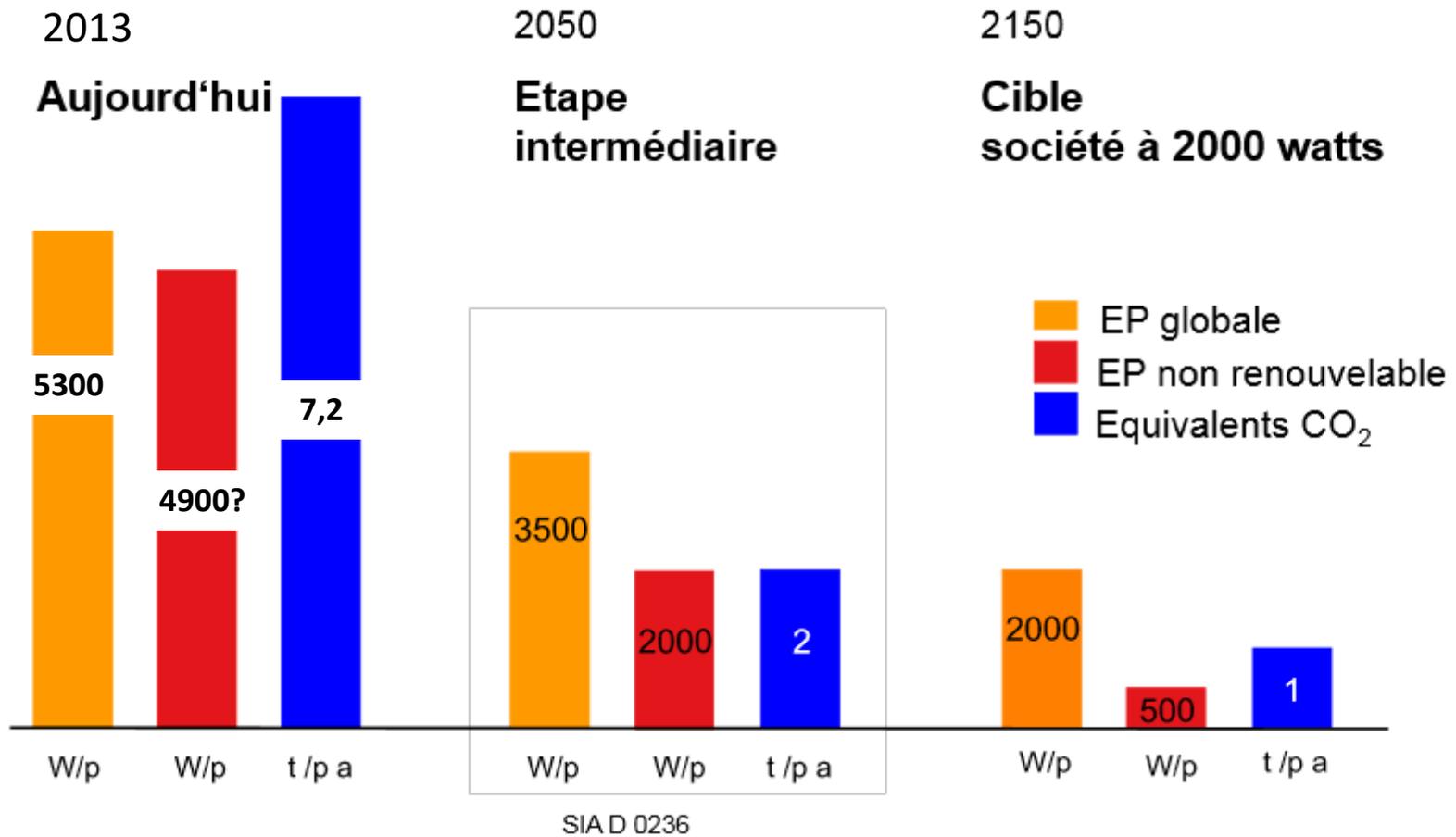
La stratégie énergétique 2050

Le 25 mai 2011 et suite à la catastrophe de Fukushima, le Conseil fédéral décide la sortie progressive du nucléaire programmée pour 2034 et met en place une stratégie énergétique à horizon 2050 avec la *Nouvelle politique énergétique*

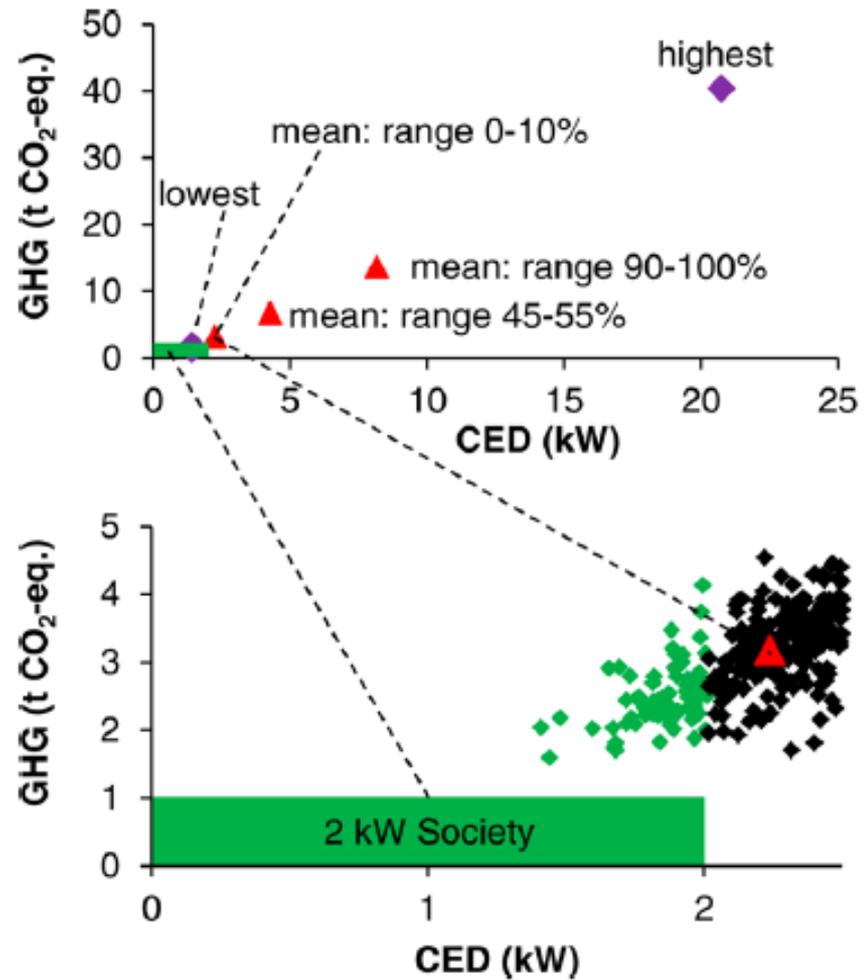
« ... les émissions de CO₂ en Suisse liées à l'énergie seront comprises entre 1 et 1,5 tonne par habitant en 2050. »

Un premier paquet de mesures concrètes a été adopté le 18 avril 2012 par le Conseil Fédéral. Ainsi dès 2020, « *les nouvelles constructions s'approvisionnent en énergie de chauffage tout au long de l'année de manière aussi autonome que possible et assurent la production d'une part adéquate de l'électricité qu'elles consomment.* »

LA SOCIÉTÉ À 2000W

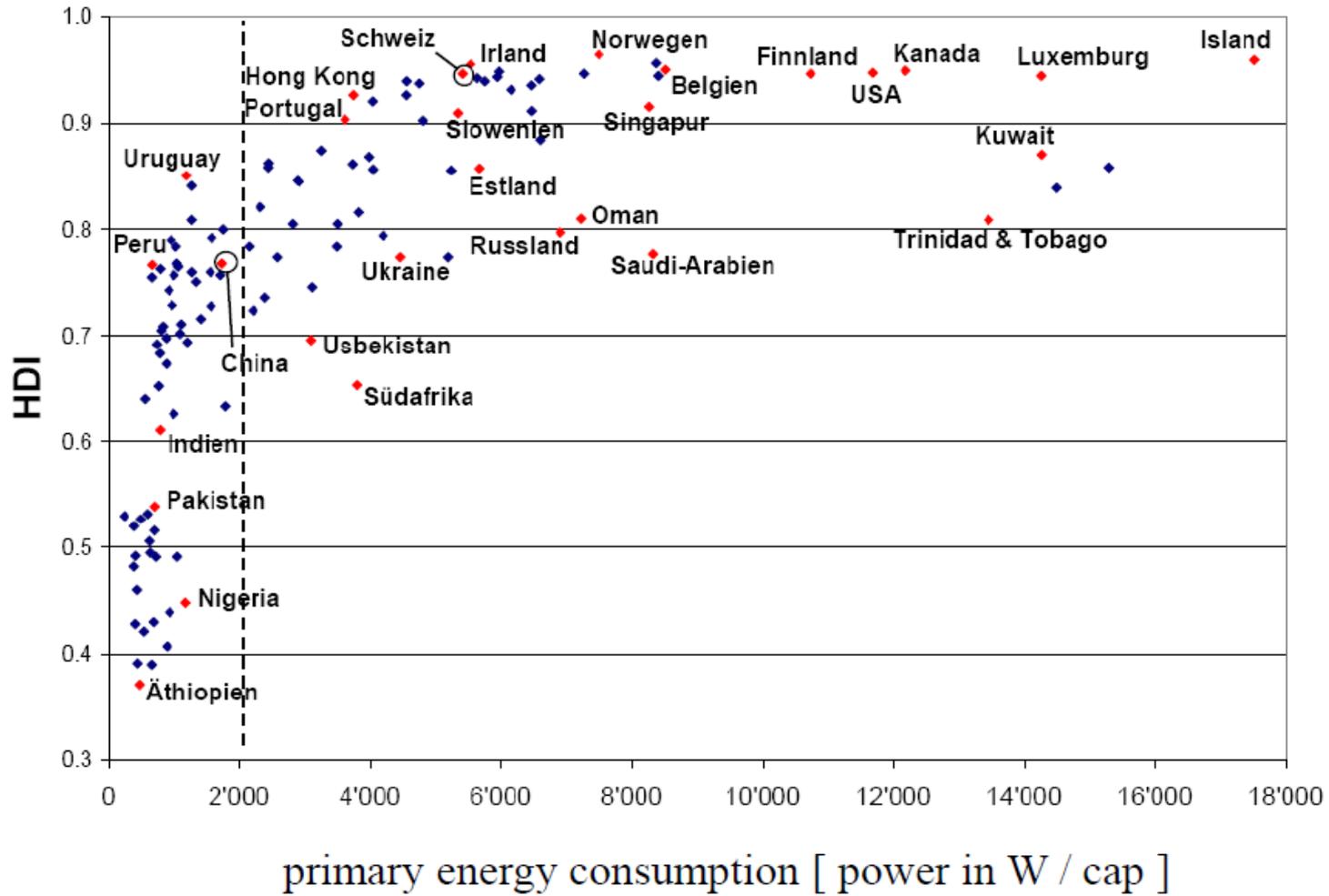


Une puissance de 2000W plus facile à atteindre qu'1 t éq-CO₂



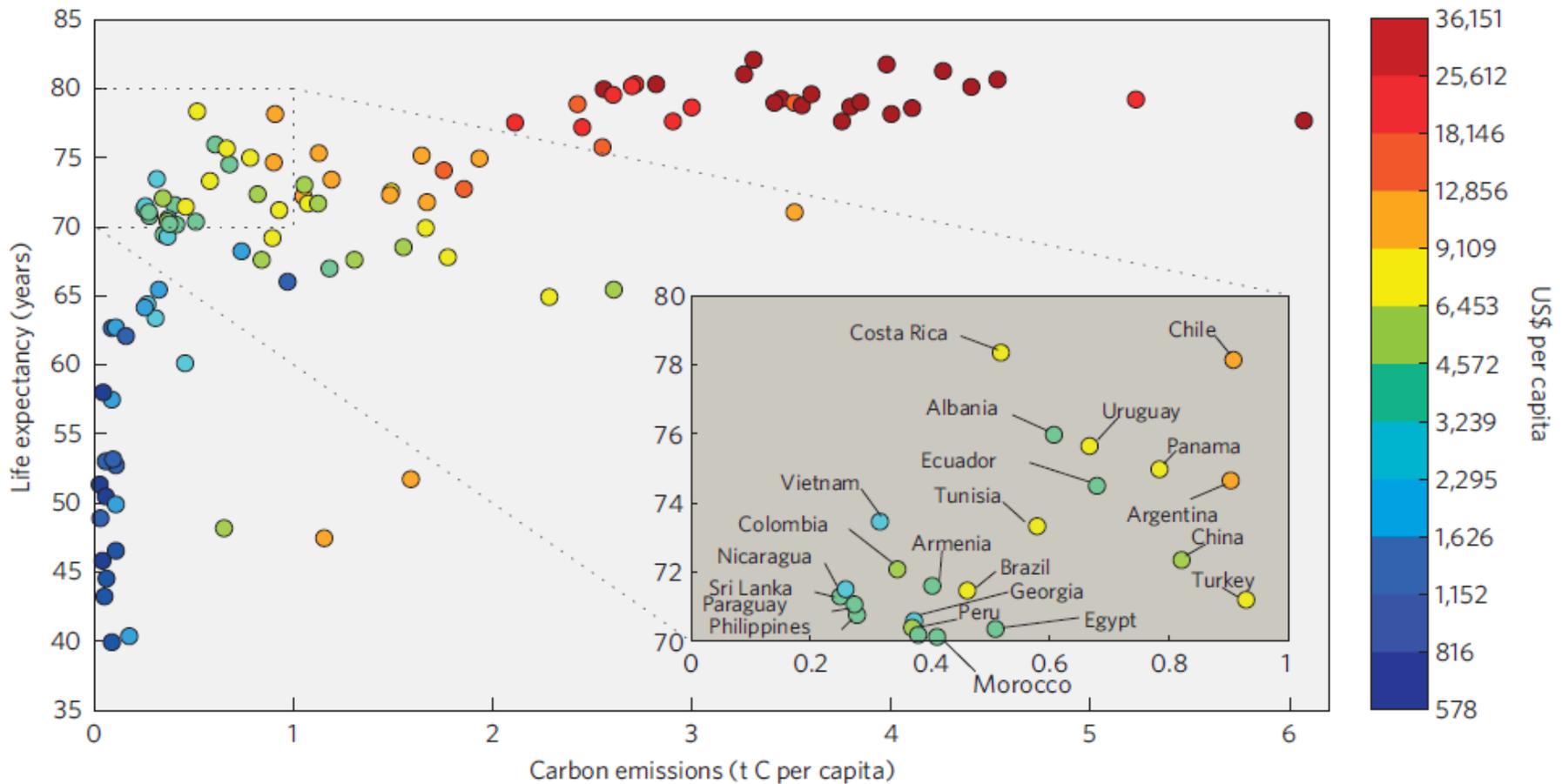
Demande énergétique cumulée d'un échantillon de ménages suisses en fonction de leurs émissions d'éq-CO₂ (Notter – 2013)

LA SOCIÉTÉ À 2000W



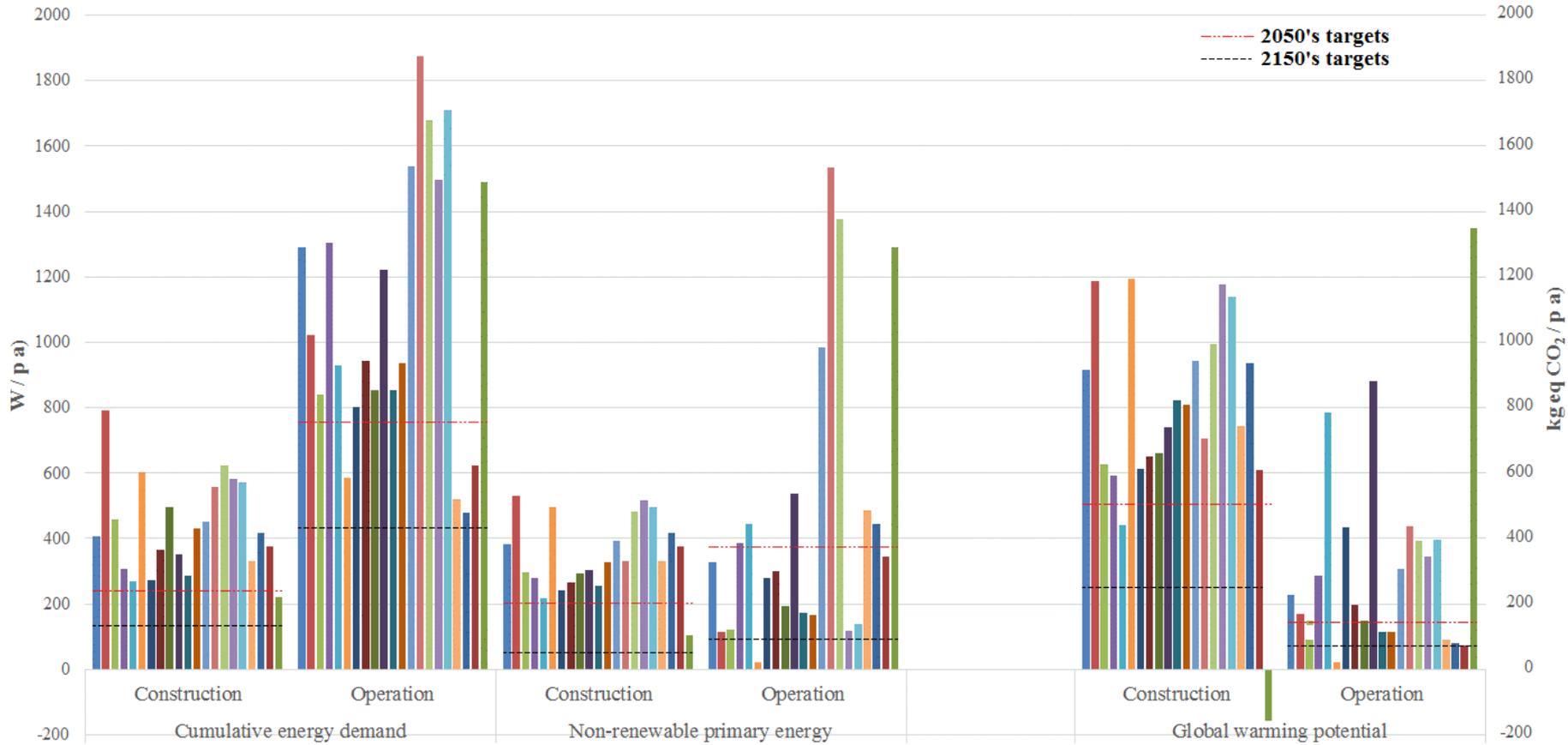
Evolution de la consommation d'énergie primaire en fonction de l'indice de développement humain par pays (UNDP - 2006)

LA SOCIÉTÉ À 2000W



STEINBERGER, Julia K., TIMMONS ROBERTS, J., PETERS, Glen P. et BAIOCCHI, Giovanni, 2012. Pathways of human development and carbon emissions embodied in trade. *Nature Climate Change*. 22 janvier 2012. Vol. 2, n° 2, pp. 81-85.

OBJECTIFS 2050 VS BEST PRACTICE

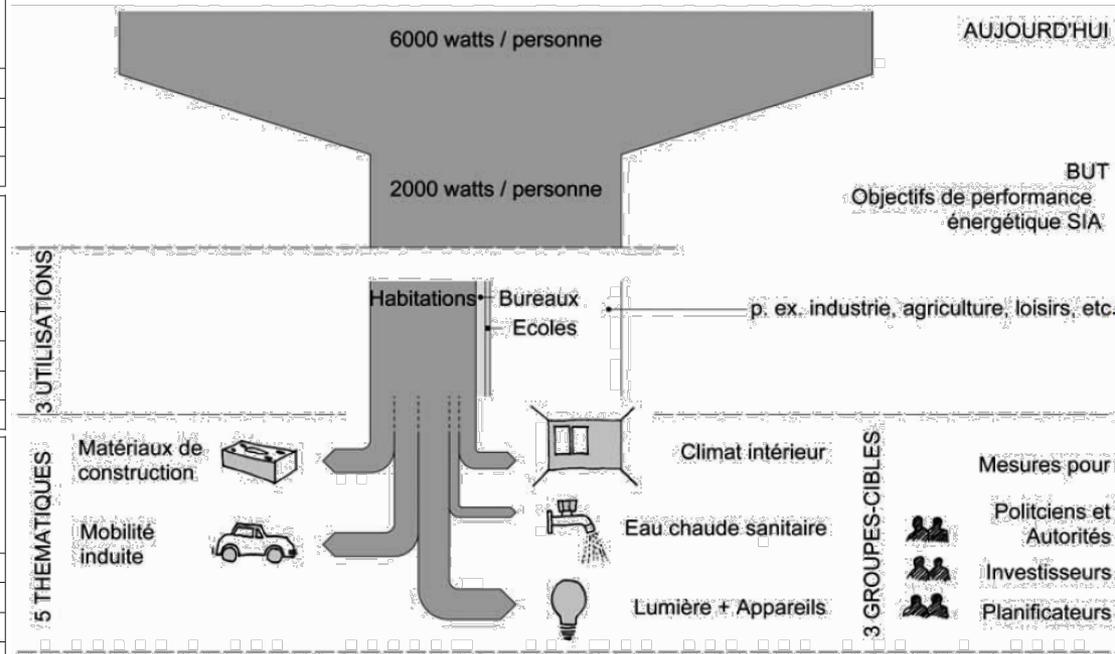


DE LA SOCIÉTÉ À 2000W À LA SIA

Habitations	Énergie primaire non renouvelable MJ/m ²		Émissions de gaz à effet de serre kg/m ²	
	Construction nouvelle	Transformation	Construction nouvelle	Transformation
Valeur indicative «construction»	110	60	8,5	5,0
Valeur indicative «exploitation»	200	250	2,5	5,0
Valeur indicative «mobilité»	130	130	5,5	5,5
Valeurs cibles	440		16,5	15,5

Bureaux	Énergie primaire non renouvelable MJ/m ²		Émissions de gaz à effet de serre kg/m ²	
	Construction nouvelle	Transformation	Construction nouvelle	Transformation
Valeur indicative «construction»	130	80	10,0	6,0
Valeur indicative «exploitation»	300	350	4,0	7,0
Valeur indicative «mobilité»	230	230	11,5	11,5
Valeurs cibles	660		25,5	24,5

Écoles	Énergie primaire non renouvelable MJ/m ²		Émissions de gaz à effet de serre kg/m ²	
	Construction nouvelle	Transformation	Construction nouvelle	Transformation
Valeur indicative «construction»	110	60	9,0	5,5
Valeur indicative «exploitation»	180	230	2,5	5,0
Valeur indicative «mobilité»	60	60	3,0	3,0
Valeurs cibles	350		14,5	13,5



DIRECTIVE 2010/31/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL
du 19 mai 2010
sur la performance énergétique des bâtiments

Article 9

Bâtiments dont la consommation d'énergie est quasi nulle

1. Les États membres veillent à ce que:
 - a) d'ici au 31 décembre 2020, tous les nouveaux bâtiments soient à consommation d'énergie quasi nulle; et
 - b) après le 31 décembre 2018, les nouveaux bâtiments occupés et possédés par les autorités publiques soient à consommation d'énergie quasi nulle.
- 2) «bâtiment dont la consommation d'énergie est quasi nulle», un bâtiment qui a des performances énergétiques très élevées déterminées conformément à l'annexe I. La quantité quasi nulle ou très basse d'énergie requise devrait être couverte dans une très large mesure par de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, notamment l'énergie produite à partir de sources renouvelables sur place ou à proximité;

Le bâtiment à énergie positive « BEPOS » est un bâtiment **qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme.**

→ Avec au moins **autant de définitions que de pays** dans l'UE!

DÉFINITIONS ET FRONTIÈRES DU SYSTÈME



Énergie 1 Énergie 2

Sobriété et Efficacité énergétique et / ou recours aux ENR notamment la chaleur renouvelable

- **Résidentiel**
entre -5% et 10% de réduction des consommations NR par rapport à la RT 2012
- **Bureau**
entre -15% et 30% de réduction

Énergie 3

Sobriété et Efficacité énergétique et recours aux ENR pour les besoins du bâtiment

- **Résidentiel**
20% de réduction des consommations et recours à 20 kWh/m².an aux ENR
- **Bureau**
40% de réduction des consommations et recours à 40 kWh/m².an aux ENR

Énergie 4

Bâtiment producteur

Production ENR équivalente aux consommations NR sur tous les usages du bâtiment

Le bonus de constructibilité sera octroyé sur la base des niveaux 3 et 4

Carbone 1

- Les leviers de réduction de l'empreinte carbone sont à répartir entre les consommations énergétiques et le choix des matériaux
- Aucun mode constructif ni vecteur énergétique n'est exclu

Carbone 2

- Ambition renforcée sur le CO₂ avec le respect a minima du niveau Énergie 1
- Pour atteindre ce niveau il faudra renforcer le travail de réduction de l'empreinte carbone du bâtiment en travaillant à la fois sur l'énergie consommée et le choix des matériaux.
- Le bonus de constructibilité sera octroyé sur la base du niveau 2

DÉFINITION SIA

1.1.2.1 Bâtiment à énergie positive (BEPoS)

Bâtiment satisfaisant les critères suivants:

1. Ses besoins annuels de chauffage sont inférieurs à la limite $Q_{H,li}$ donnée par SIA 380/1.
2. Ses besoins annuels en énergie primaire pour couvrir ses besoins de chauffage, de refroidissement, de ventilation, d'eau chaude sanitaire, des appareils et de l'éclairage installé, déterminés selon SIA 380, doivent être inférieurs à la valeur de référence déterminée selon 5.2.1.
3. Son indice de consommation d'énergie primaire déterminé selon le présent cahier est négatif.

4.2.1.1 L'indice de consommation d'énergie primaire de référence est celui d'un bâtiment de même catégorie qui respecte les conditions suivantes:

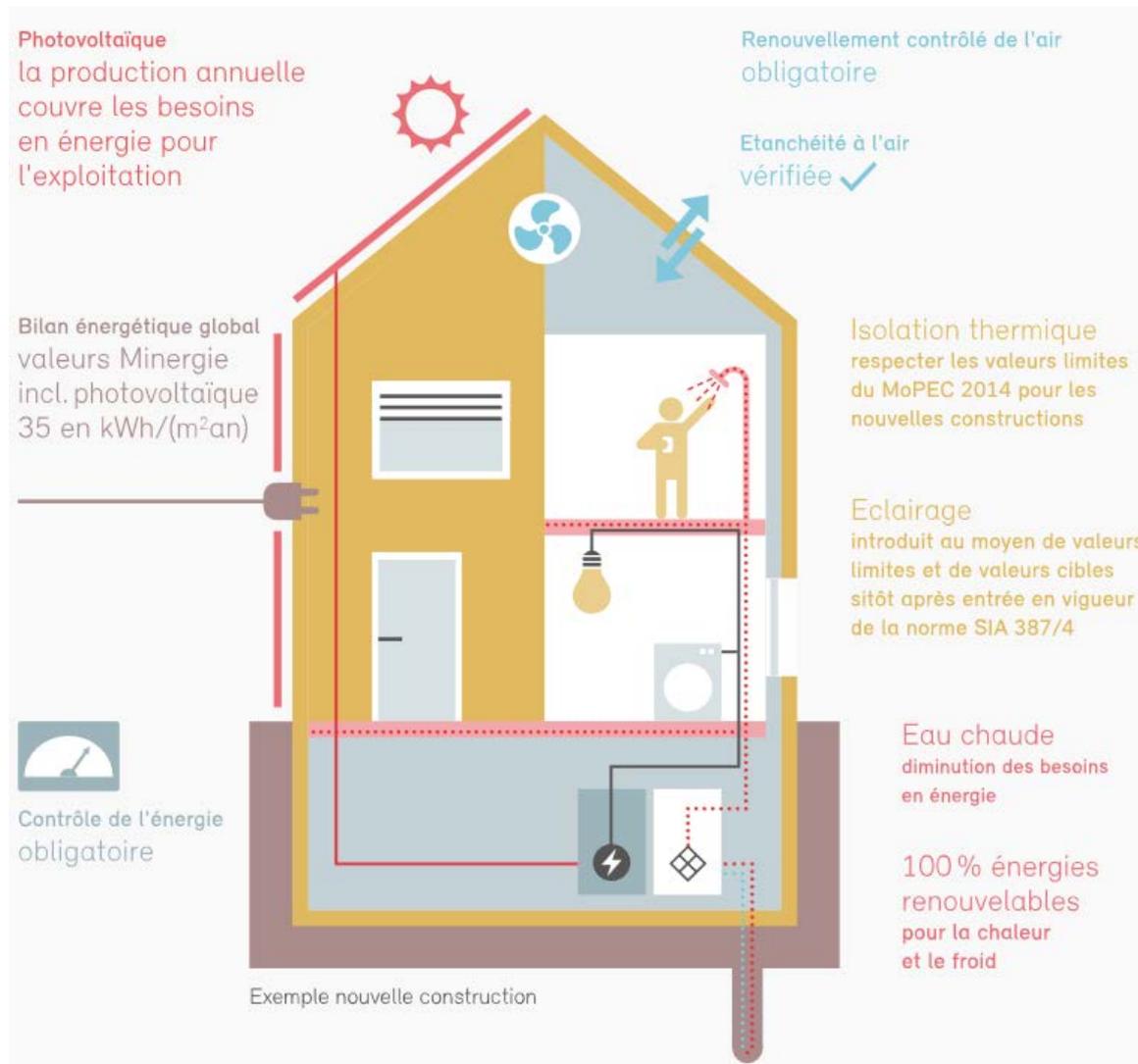
- Besoins en chauffage des locaux correspondant à 80% de la limite $Q_{H,li}$ selon SIA 380/1:2009, avec une efficacité de distribution de chauffage égale à 95%.
- Besoins d'eau chaude sanitaire, correspondant à 80% des besoins $Q_{W,ref}$ selon SIA 380/1:2009, et efficacité globale du système de distribution d'eau chaude égale à 70%.
- Pas de conditionnement d'air ou de refroidissement artificiel.
- Rendement des générateurs de chaleur égal à 90%, combustible ayant un facteur d'énergie primaire $f_{p,H} = 1,2$ (moyenne entre mazout, gaz et pellets) ou le facteur de pondération national pour le gaz.
- Consommation spécifique d'électricité $E_{el,ref}$ pour les autres besoins (éclairage, installations d'exploitation) selon SIA 380/1:2009.

Classe	R minimum %	R maximum %	Commentaire pour les classes énergétiques
+	< 0	0	Bâtiments à énergie positive
A	> 0	50	Bâtiments à très bonne performance
B	> 50	100	Bâtiments meilleurs que la référence
C	> 100	150	Bâtiments consommant plus que la référence.
D	> 150	200	Analyse recommandée.
E	> 200	250	Bâtiments nettement hors normes, méritant une analyse visant à des améliorations
F	> 250	300	
G	> 300		

Échelle de couleurs: + bleu ciel, A vert foncé, B vert clair, C vert-jaune, D jaune, E jaune-orangé, F orange, G rouge

Source: SIA 2031:2016

DÉFINITION MINERGIE A



Le bâtiment à énergie positive « BEPOS » est un bâtiment **qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme.**

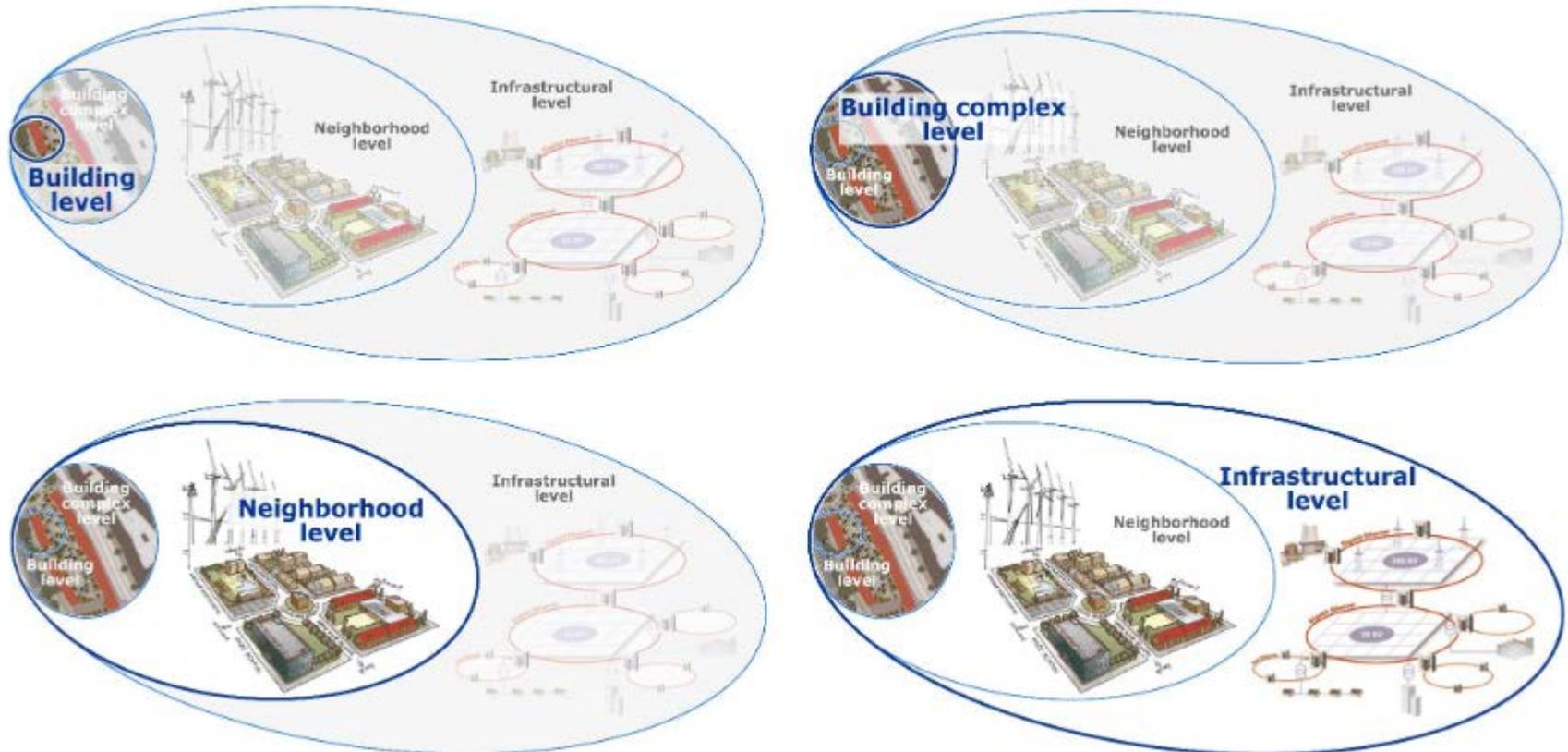
→ **Définition qui nécessite une précision des périmètres**

On peut en citer 4:

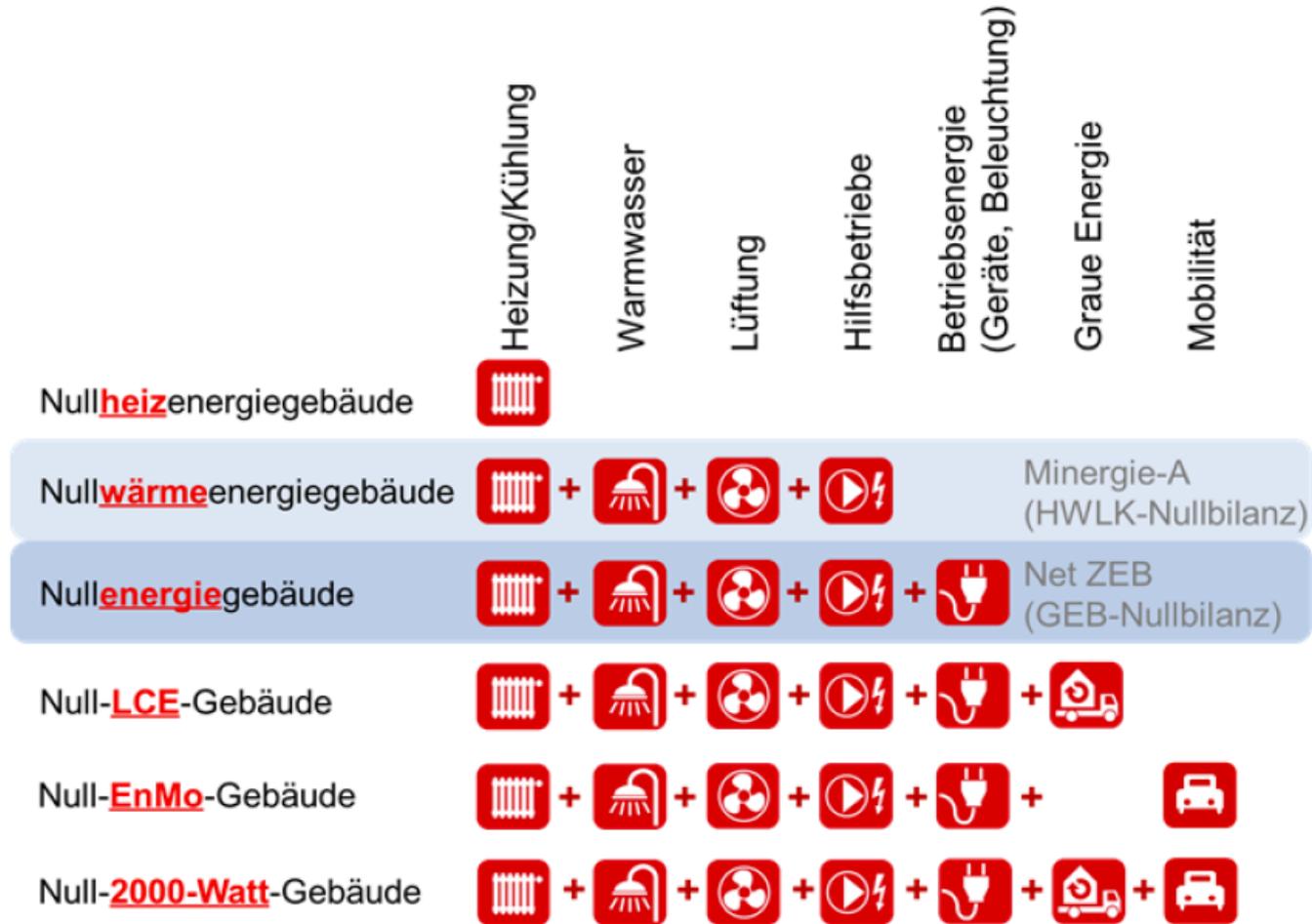
- Périètre **géographique** (bâti, parcelle, quartier...)
- Périètre des **usages** (chauffage, ECS, électricité, mobilité...)
- Périètre **temporel** (bilan annuel, mensuel, journalier, horaire...)
- Périètre **environnemental** (énergie primaire totale, renouvelable...)

+ 1 règle de calcul!

Figure 4: Possible boundaries for integrating renewable energy into NZEB calculations.



PÉRIMÈTRE DES USAGES

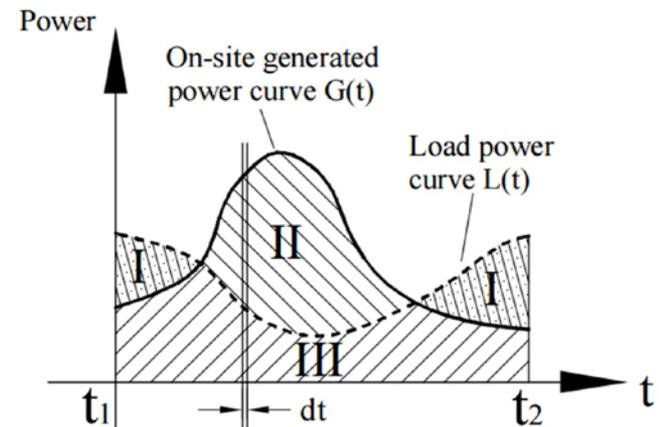


» Load cover factor = on-site energy fraction

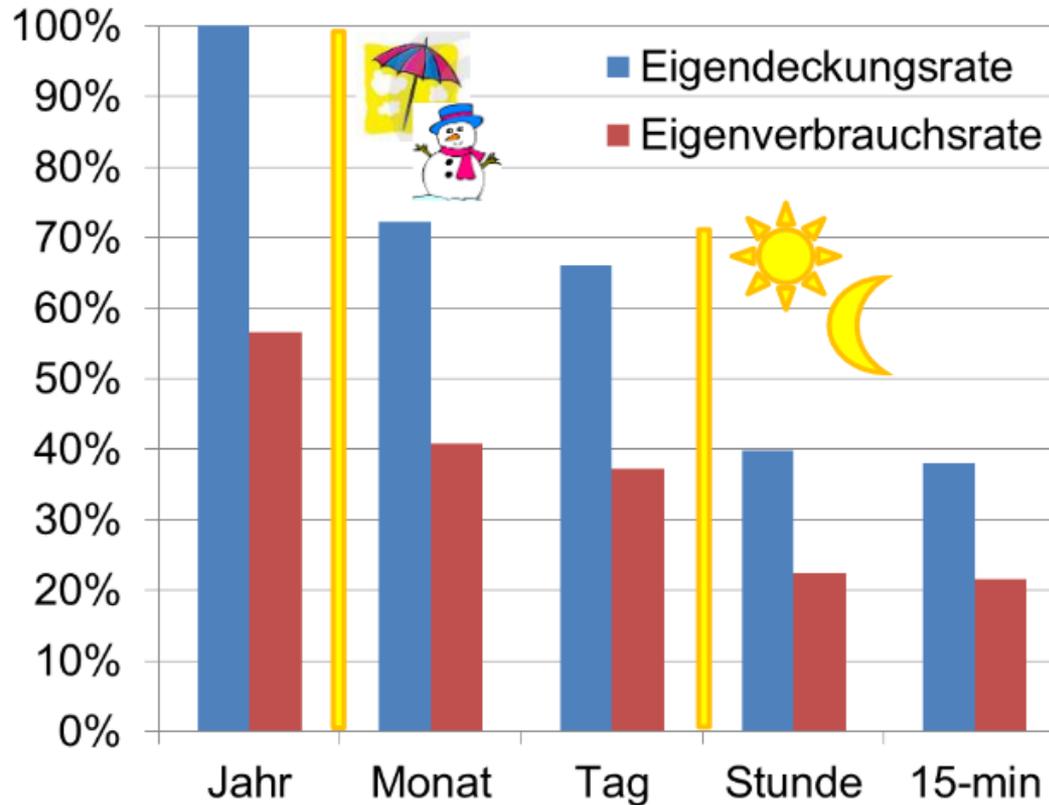
- Percentage of electrical demand covered by on-site electricity generation
- $\text{III} / \underbrace{(\text{I} + \text{III})}_{\text{demand}} = \text{matching} / \text{demand}$

» Supply cover factor = on-site energy matching

- Percentage of on-site generation that is used by the building
- $\text{III} / \underbrace{(\text{II} + \text{III})}_{\text{generation}}$



Bilanzierungszeitraum und -schritt



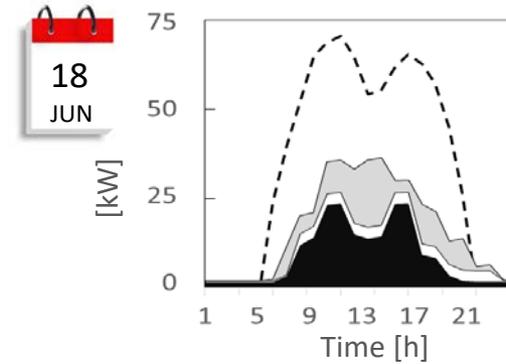
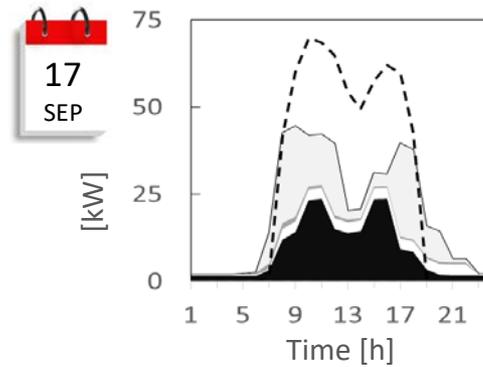
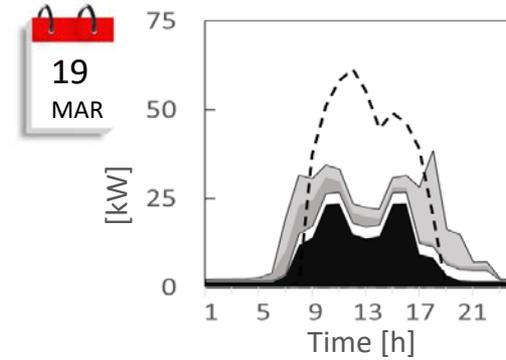
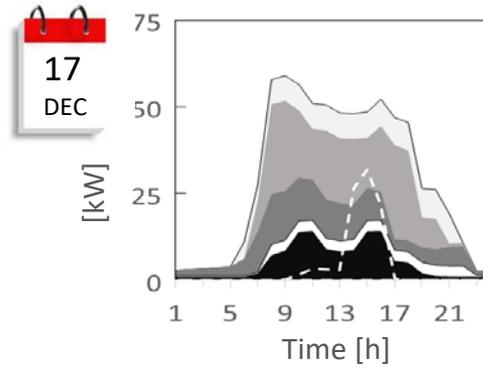
Eigendeckungsrate

Anteil Bedarf der durch PV-Ertrag gedeckt wird

Eigenverbrauchsrate

Anteil PV-Ertrag der vom Gesamtertrag genutzt wird

PÉRIMÈTRE TEMPOREL



□ DHW ■ Lighting ■ Heat □ ventilation ■ Appliances || BIPV

CED : Cumulative Energy Demand. Il s'agit de l'énergie totale nécessaire à la fabrication d'un bâtiment. Cet indicateur englobe l'énergie non renouvelable (fossile, nucléaire, forêt) ainsi que l'énergie renouvelable (hydraulique, solaire, biomasse, éolienne). [MJ] / [kWh].

NRE : Non Renewable Energy. Cet indicateur fournit une indication sur la part non renouvelable de l'énergie grise utilisée. [MJ] / [kWh].

GWP : Global Warming Potential. Cet indice regroupe les émissions de gaz (CO₂, N₂O, CH₄...) contribuant à influencer l'équilibre de l'effet de serre de notre atmosphère. [kg CO₂-eq].

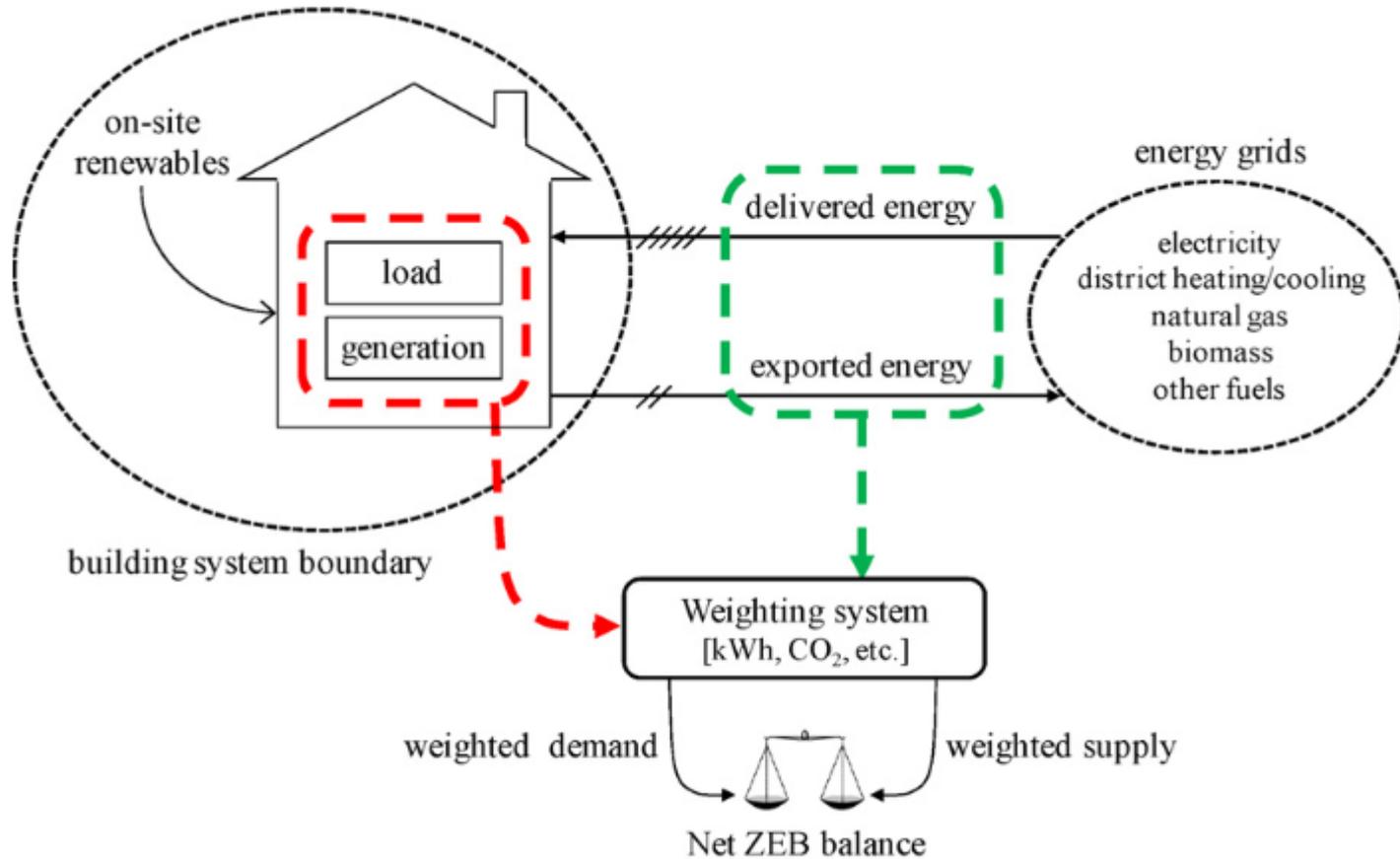
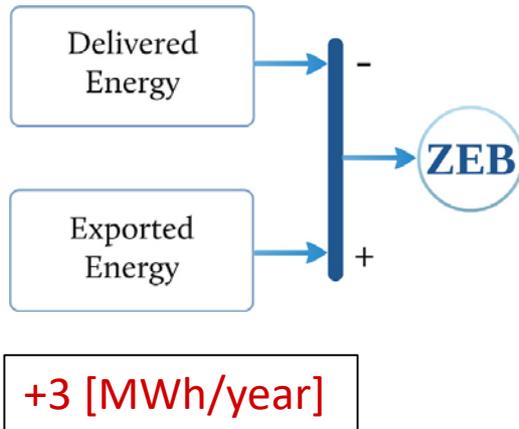
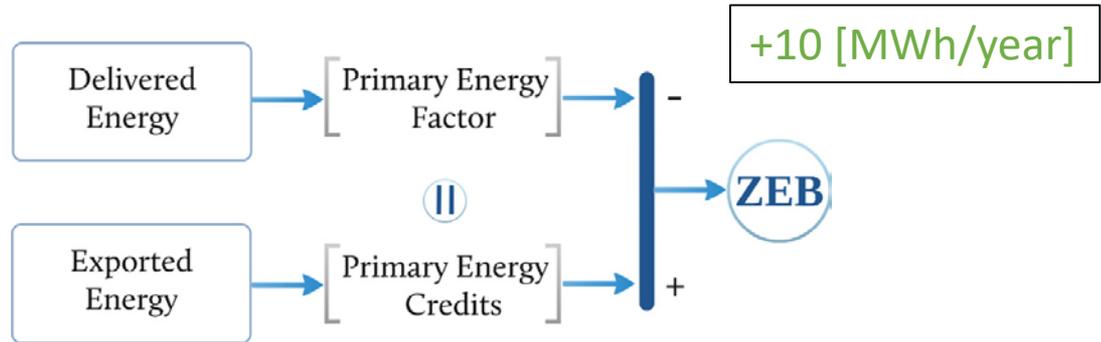


Fig. 1. Sketch of connection between buildings and energy grids showing relevant terminology.

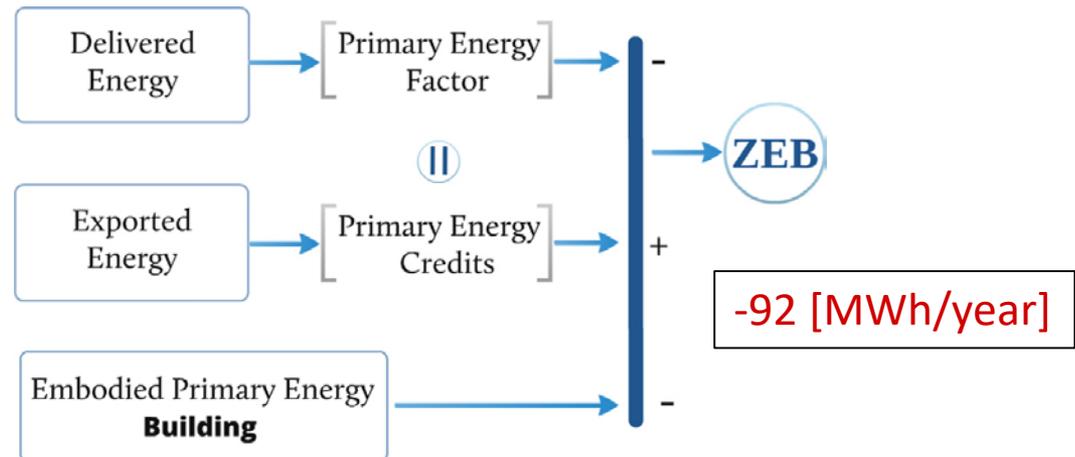
Method 1: a site balance



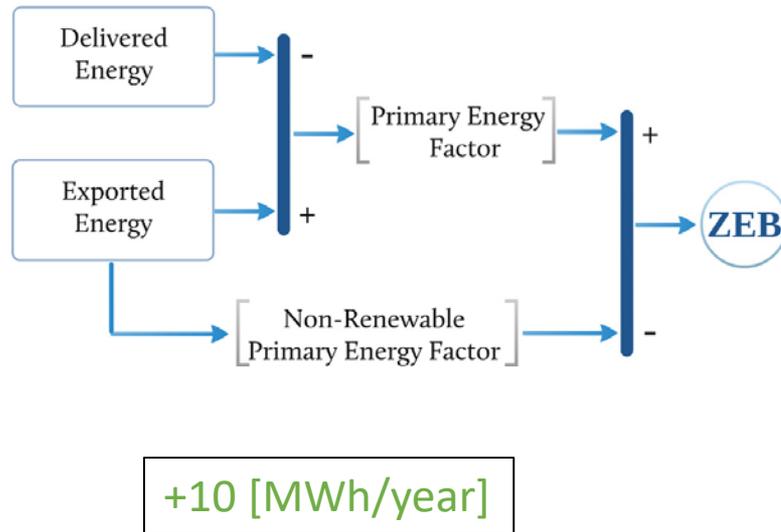
Method 2: a source balance



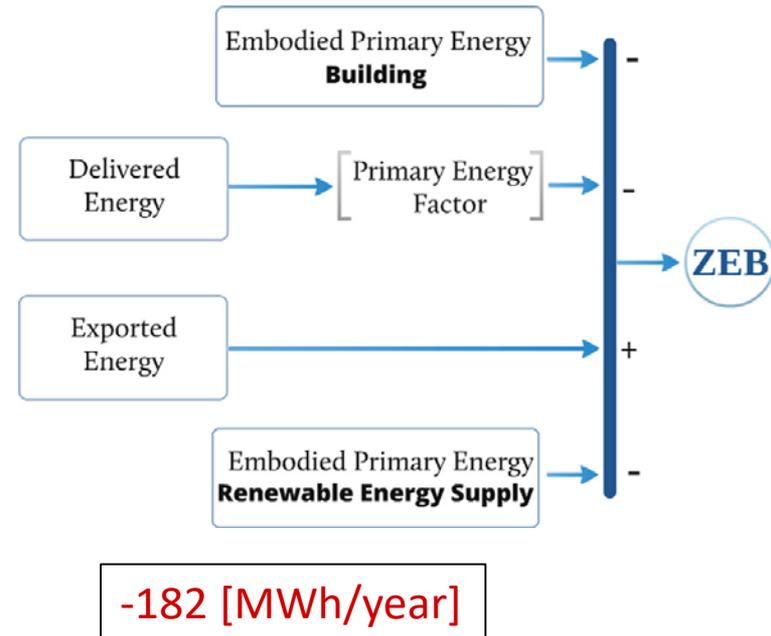
Method 3: primary energy balance with building embodied energy



Method 4: primary energy balance with RES embodied energy



Method 5: payback method



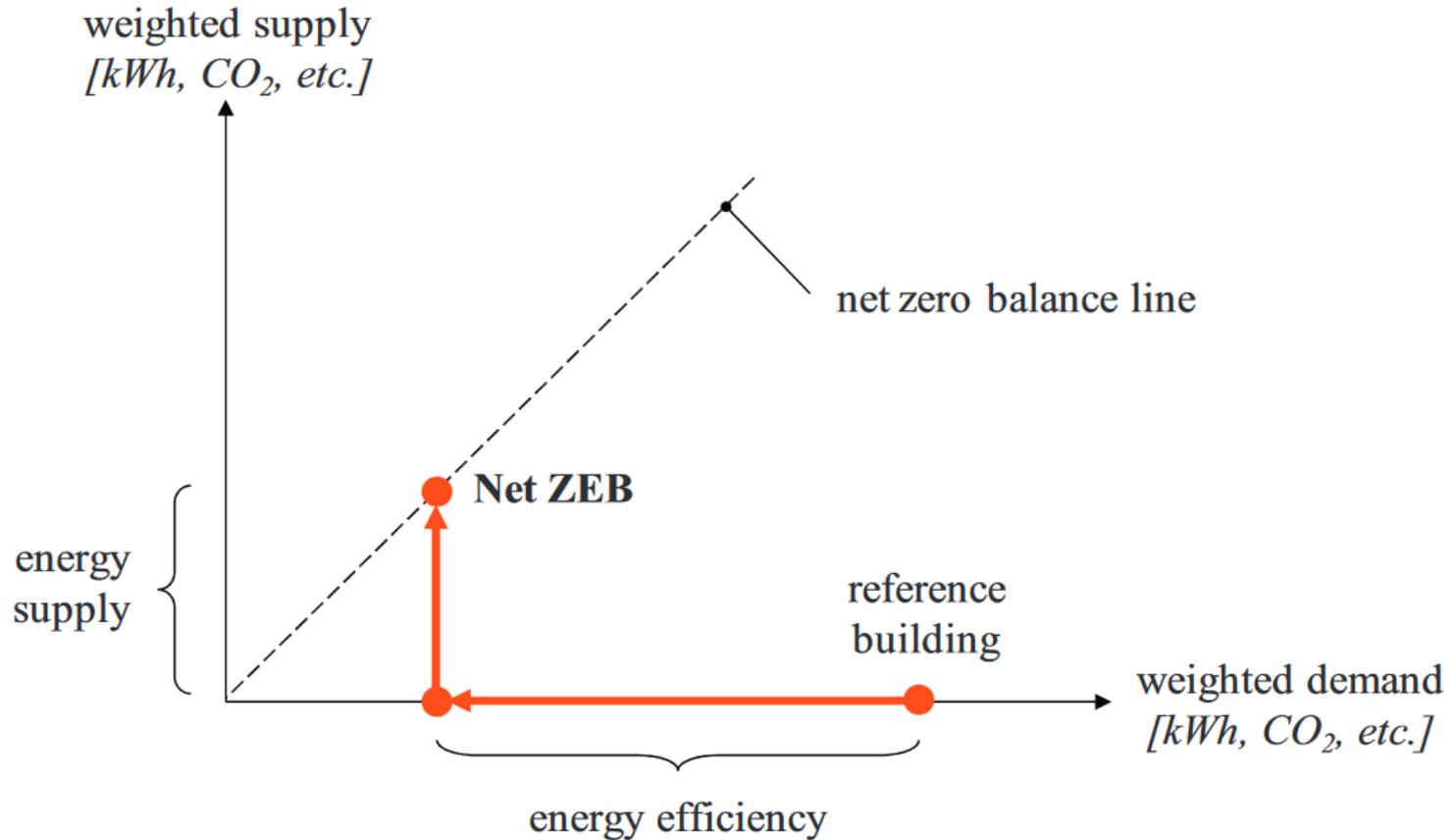
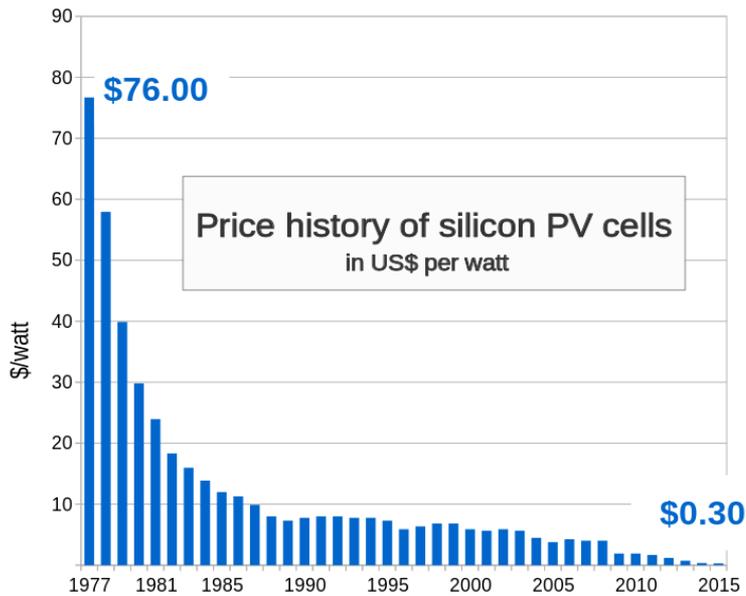


Fig. 2. Graph representing the net ZEB balance concept.

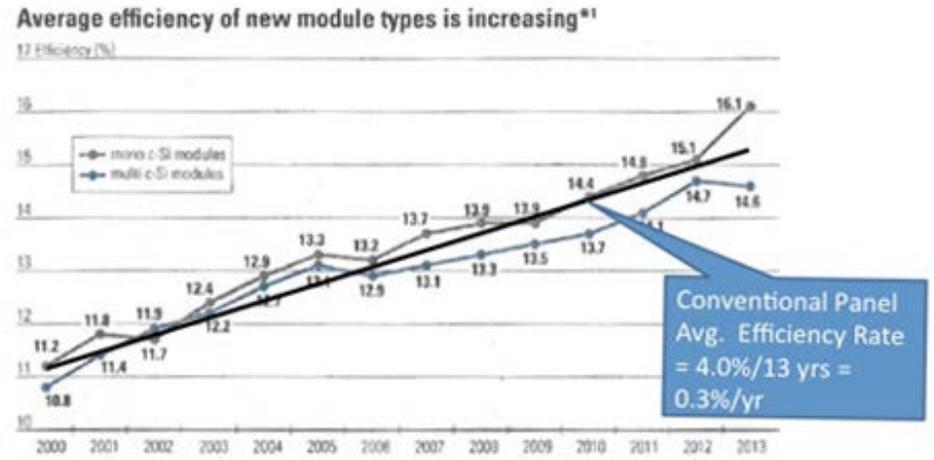
DÉFIS ET QUESTIONS OUVERTES

Evolution des prix



Bloomberg, 2015

Evolution de l'efficacité

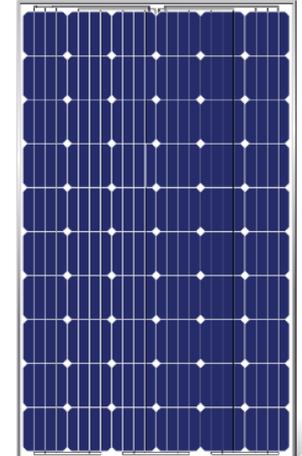
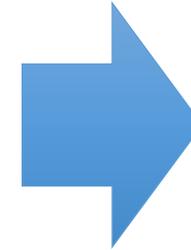


Siemer and Knoll, 2013

L'analyse de cycle de vie d'un panneau photovoltaïque (PV) nous renseigne sur la durée nécessaire d'utilisation pour amortir le carbone investit dans le cycle de vie du panneau.



Energy.korea.com



Herbsolar.com

Estimation du pay-back Carbone

Production électrique de 1 kWp à Fribourg	1120 kWh/an
Emissions CO ₂ pour produire 1 kWp	1940 kg CO ₂ eq [1]
Dure de vie PV	25 ans
Contenu CO ₂ par kWh consommé du réseau CH	0,1375 kg CO ₂ eq / kWh [1]
Temps nécessaire au remboursement du CO ₂	25 ans
Temps nécessaire pour égaler la performance du réseau	12,5 ans

[1] KBOB, 2014

Contenu CO₂ de l'électricité
pour différentes orientation des PV
à Fribourg



g CO ₂ /kWh	Source
304	PV façade nord
139	Mix final utilisateurs CH
120	PV façade ouest
117	PV façade est
85	PV façade sud
57	PV toiture (35°-sud)

LE PHOTOVOLTAÏQUE



BUILDING 2050 – T. Jusselme / 2017.04.05



Mario Cucinella Architects

LE PHOTOVOLTAÏQUE



BUILDING 2050 – T. Jusselme / 2017.04.05



LE PHOTOVOLTAÏQUE

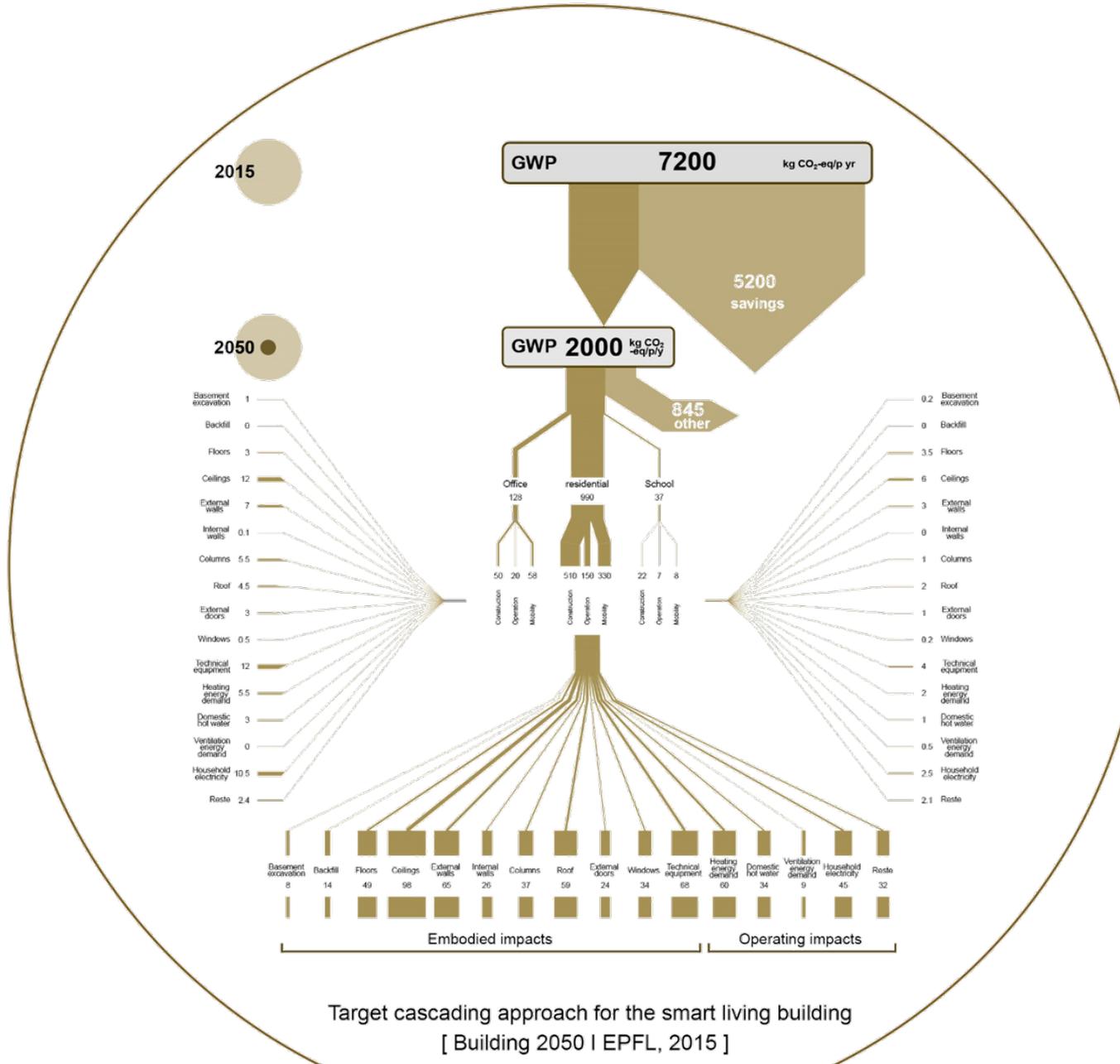


LE PHOTOVOLTAÏQUE



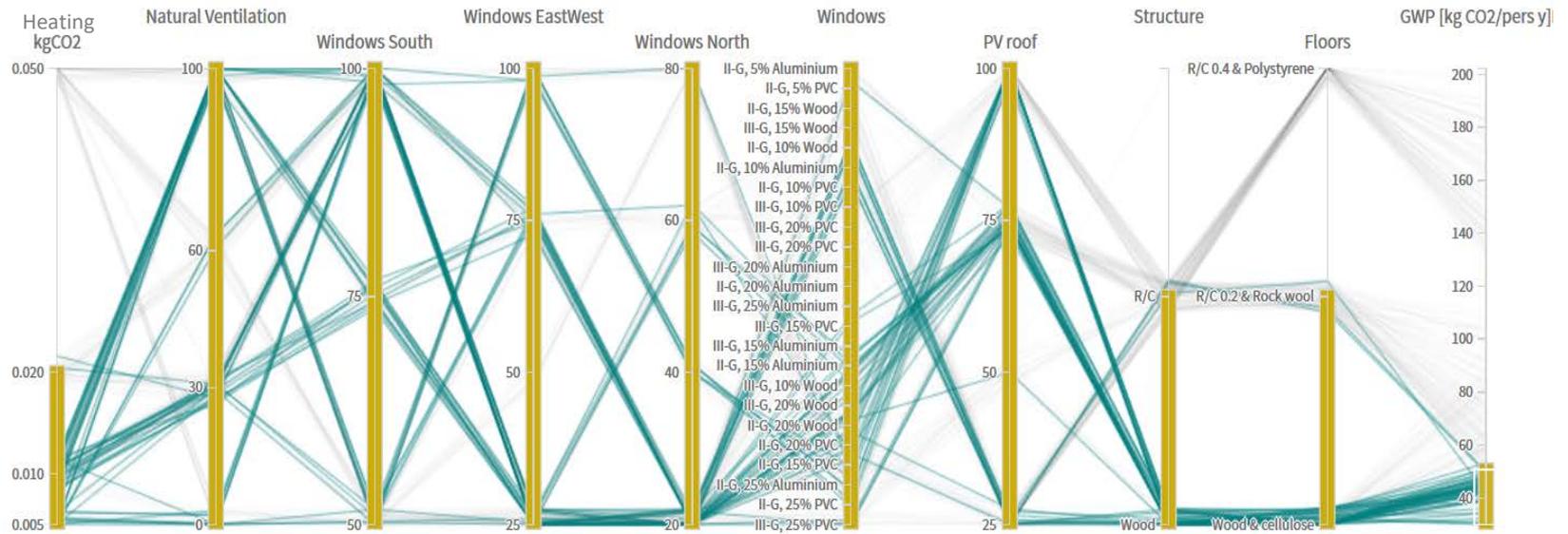
BUILDING 2050 – T. Jusselme / 2017.04.05

INTÉGRATION DE LA COMPLEXITÉ



Target cascading approach for the smart living building
[Building 2050 | EPFL, 2015]

INTÉGRATION DE LA COMPLEXITÉ



Exploration d'alternatives de conception grâce aux analyses paramétriques et à la data-visualisation

EXPÉRIENCES ET PERSPECTIVES

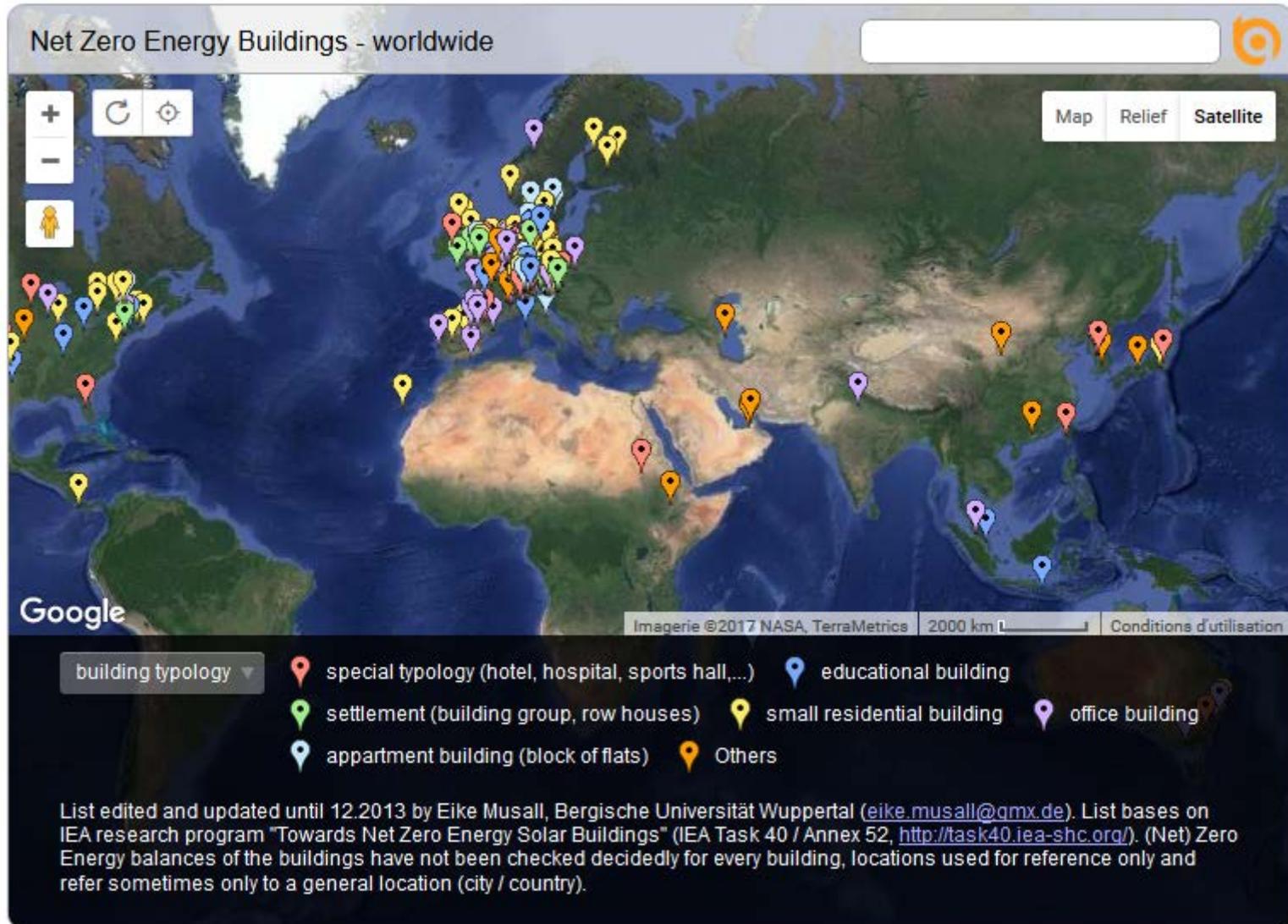
BASE DE DONNÉES - BÂTIMENTS À ÉNERGIE POSITIVE (134 cas au 7/4/17)

Chaque bâtiment qui par définition, produit, au cours de l'année, plus d'énergie pour le chauffage, l'eau chaude, la ventilation et l'électricité domestique qu'il n'en consomme pour son fonctionnement, est déclaré comme bâtiments à énergie positive (BEPOS). Par la mesure, la comptabilité et la déclaration des bâtiments à énergie positive les exemples de la Best practice exécutés peuvent être documentés et communiqués dans cette base de données. Notre plate-forme permet de saisir annuellement des données supplémentaires, donc une évaluation du succès pendant des périodes prolongées devient possible et visible.



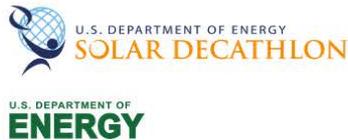
EXPÉRIENCES

Net zero-energy buildings – Map of international projects (+ de 300cas)





SOLAR DECATHLON 2017



Le concours Solar Decathlon organisé par le Département américain de l'énergie est une compétition universitaire structurée en **10 épreuves** qui mettent au défi les équipes d'étudiants de concevoir et de construire en taille réelle **des maisons efficaces sur le plan énergétique et ne s'approvisionnant qu'en énergie solaire**. L'équipe gagnante conjugue avec succès l'excellence du design avec des stratégies de gestion optimale de l'énergie et de l'eau sans oublier le caractère innovant et le potentiel de vente sur le marché de la maison. **Ouvert au public du 5 au 9 et du 12 au 15 octobre 2017** et situé aux abords de la station 61st & Peña de la ligne de train de l'aéroport international de Denver, Colorado, l'événement englobe également une exposition sur la durabilité, des workshops éducatifs pour professionnels et usagers, des événements pour les collégiens et un festival communautaire de Denver.

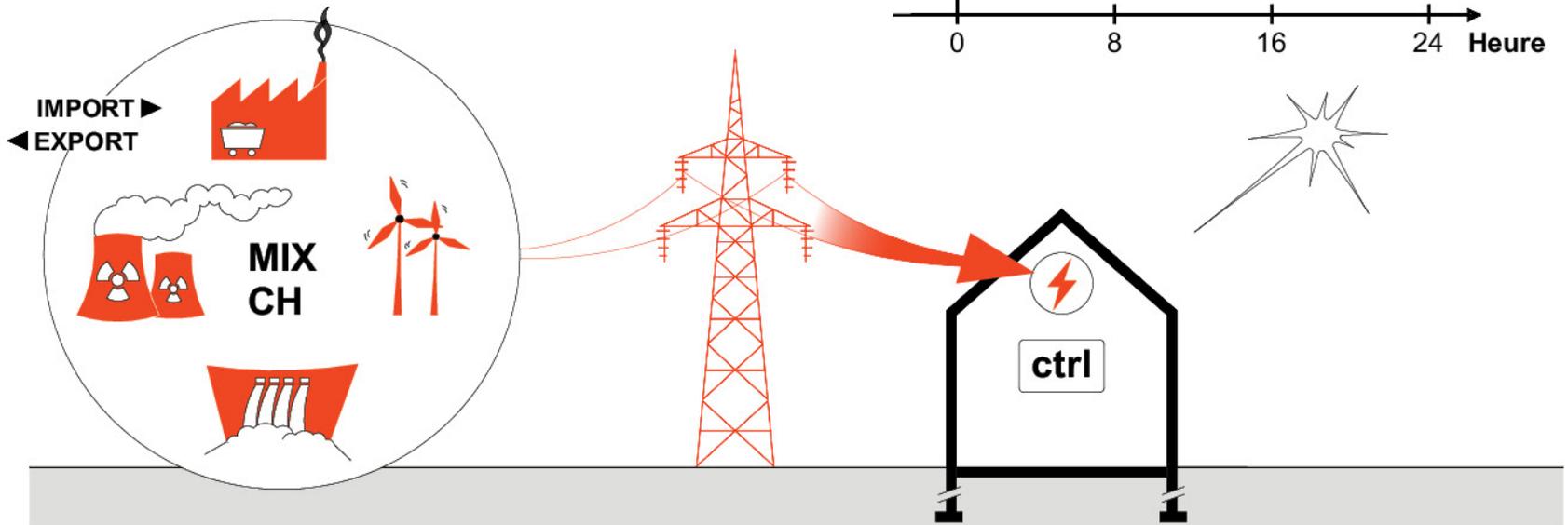
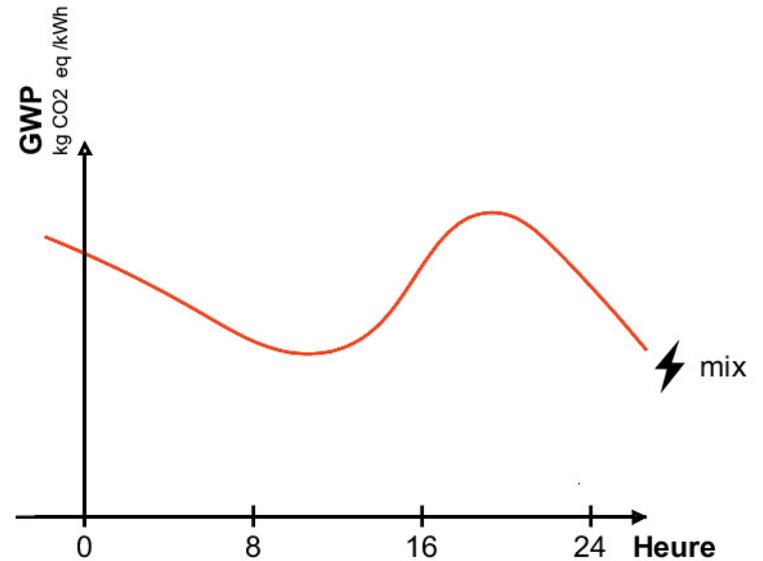
Créée en 2002, à Washington, D.C., la compétition Solar Decathlon est organisée depuis en Afrique, en Chine, en Europe, en Amérique latine et au Moyen-Orient et implique plus de 200 équipes et 35'000 participants universitaires à travers le monde.

Le Solar Decathlon est une opportunité unique d'acquérir une expérience pratique et est une formation pour les étudiants les préparant à rejoindre les rangs en faveur de l'énergie verte, à promouvoir l'énergie renouvelable et à conscientiser les visiteurs sur l'efficacité énergétique.



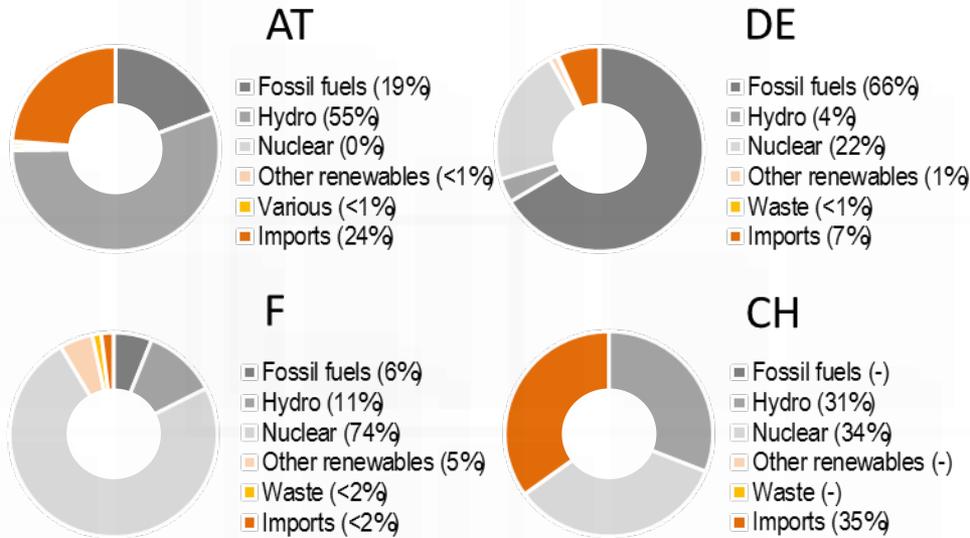
PERSPECTIVES : TEMPORALITÉ

Un contenu carbone de l'électricité du réseau qui fluctue au cours du temps



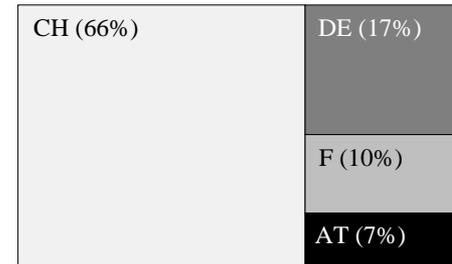
Contenu du réseau Suisse, année 2015

Composition of national grids:



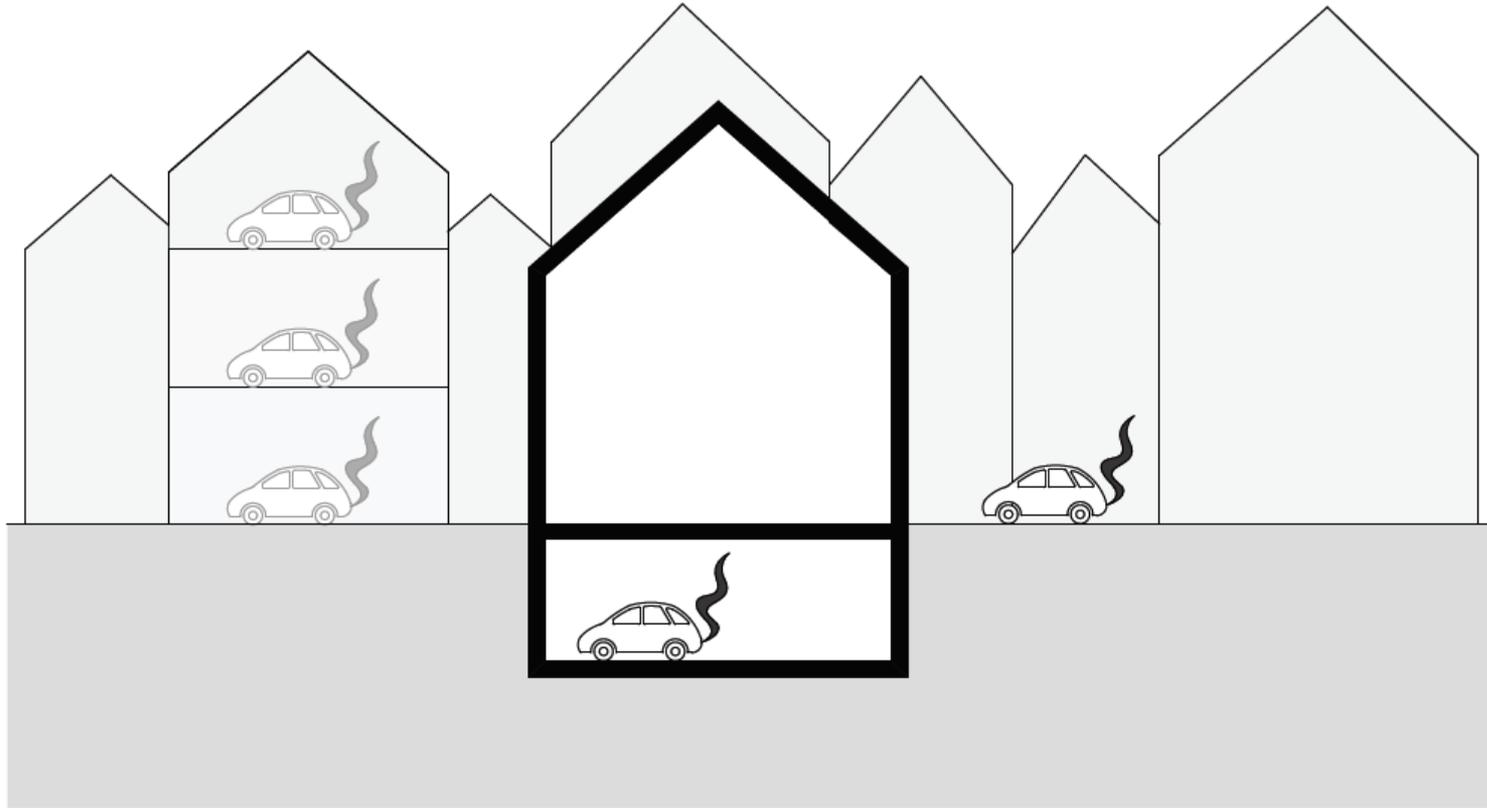
The Swiss grid in term of:

-Energy



-Carbon emission:

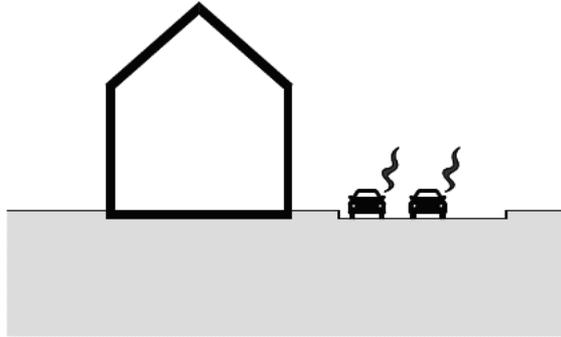




Le poids de la mobilité dans le bâtiment

2015

0 PL

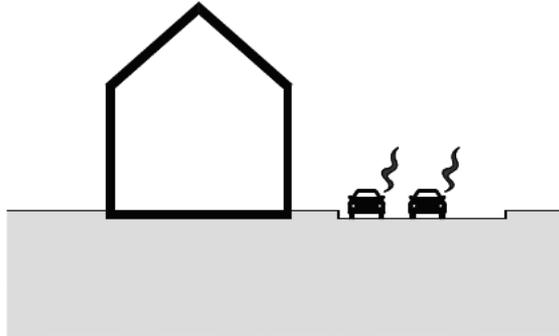


372 kg CO₂-eq / p*y

PERSPECTIVES : LA MOBILITÉ

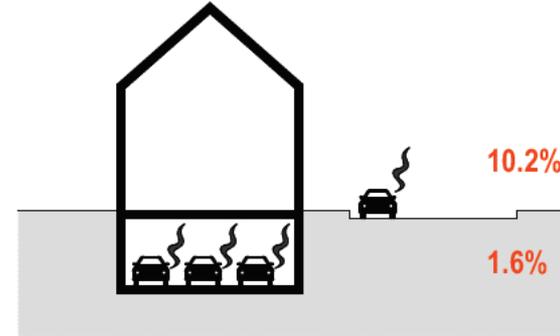
2015

0 PL



372 kg CO₂-eq / p*y

40 PL



416 kg CO₂-eq / p*y

+11.8%

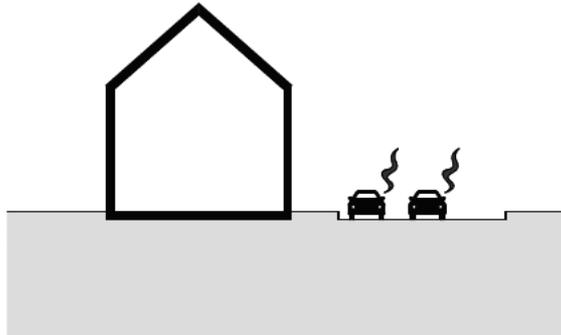
10.2%

1.6%

PERSPECTIVES : LA MOBILITÉ

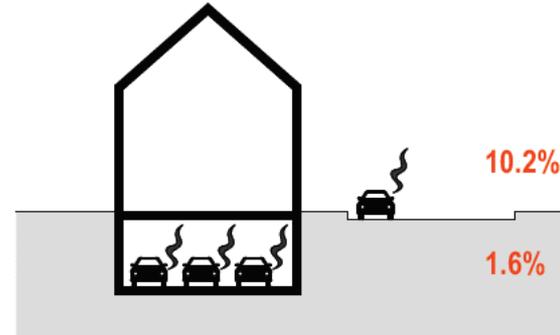
2015

0 PL



372 kg CO₂-eq / p*y

40 PL



416 kg CO₂-eq / p*y

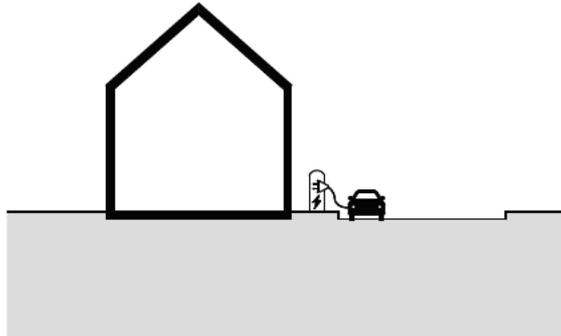
+11.8%

10.2%

1.6%

2050

0 PL

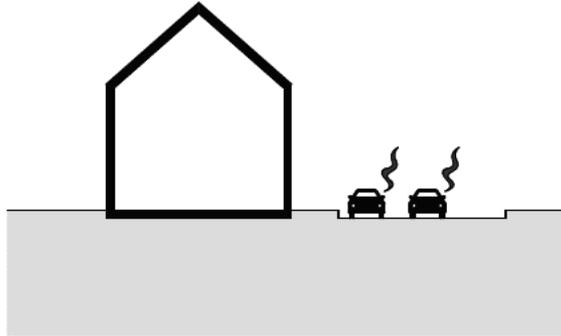


81 kg CO₂-eq / p*y

PERSPECTIVES : LA MOBILITÉ

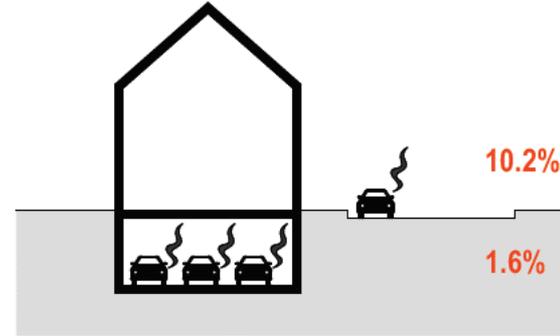
2015

0 PL



372 kg CO₂-eq / p*y

40 PL



416 kg CO₂-eq / p*y

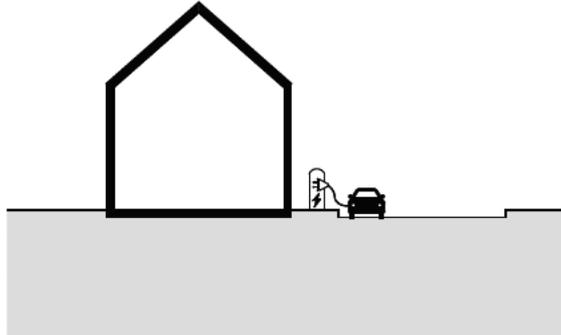
+11.8%

10.2%

1.6%

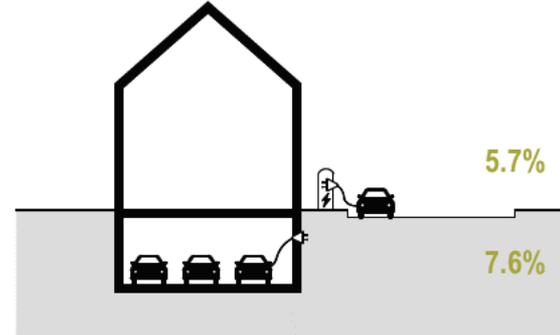
2050

0 PL



81 kg CO₂-eq / p*y

40 PL



91 kg CO₂-eq / p*y

+12.3%

5.7%

7.6%

SYNTHÈSE

Le **BEPOS** c'est:

- Un concept **simple**, mais une définition **complexe**
- **Pas** de solutions toutes faites, mais **beaucoup** de solutions possibles
- Beaucoup de **matière grise** pour peu d'énergie grise
- Une recherche **d'efficience** plus que d'efficacité
- Une **réalité** qui va devenir la **norme** en 2020
- Un outil pour l'application de la **stratégie énergétique 2050**