

# LE BUDGET CARBONE DU SECTEUR DE LA CONSTRUCTION EN SUISSE

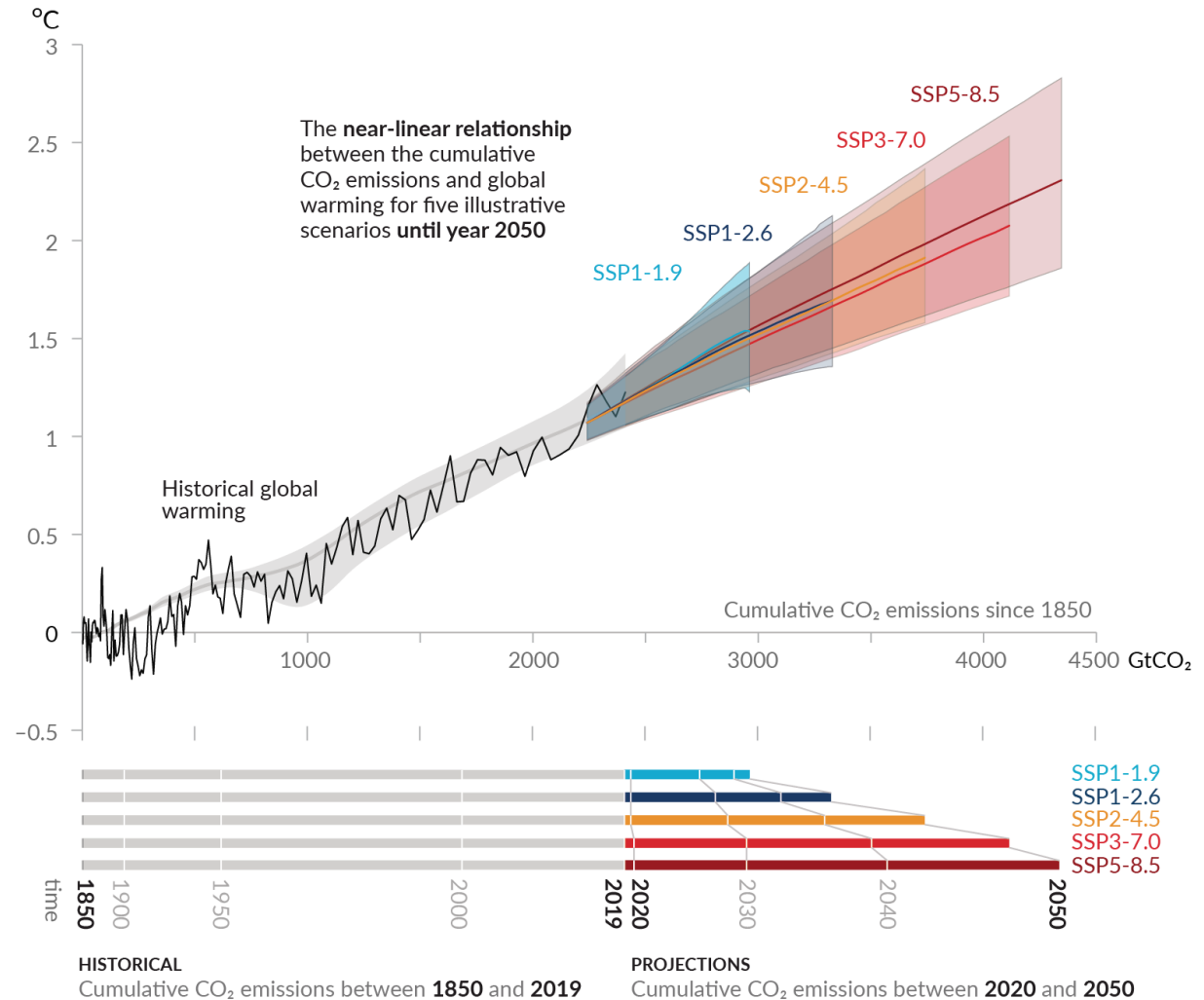
Prof. Dr. Thomas Jusselme – HEIA-FR / Inst. ENERGY / 04.10.2024



# Corrélation directe entre CO<sub>2</sub> et températures

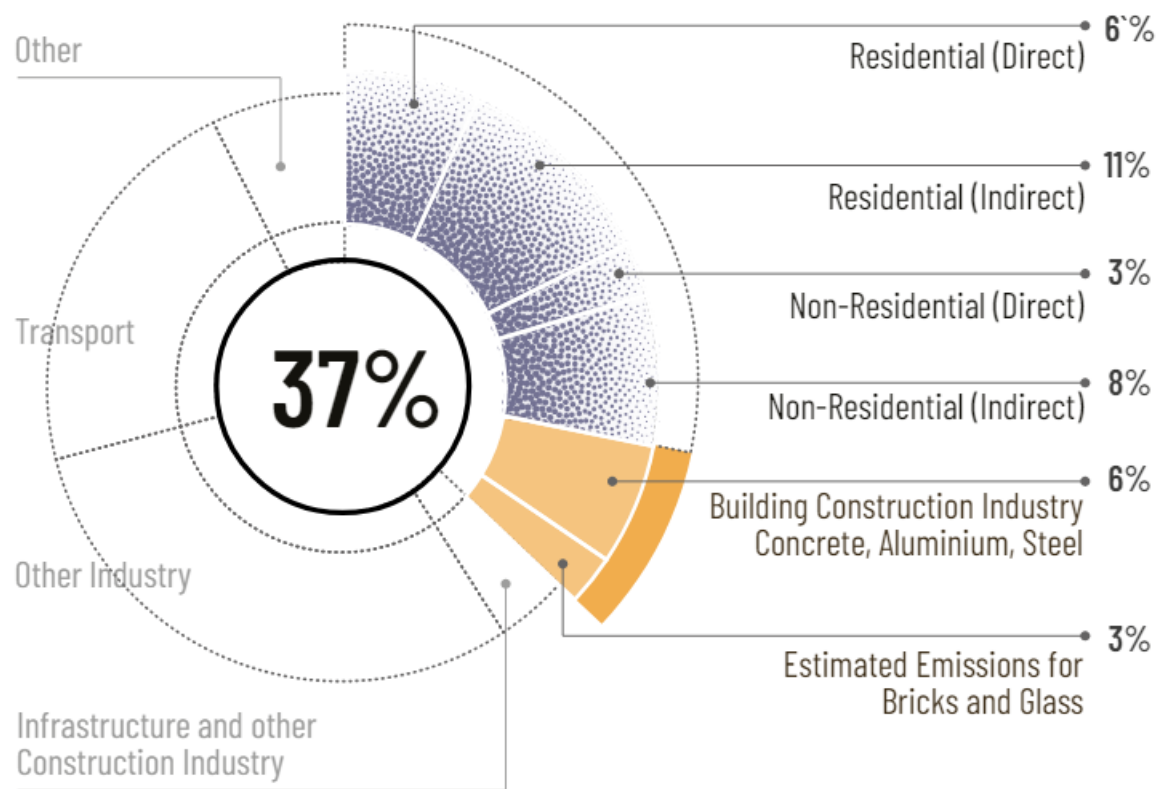
## Every tonne of CO<sub>2</sub> emissions adds to global warming

Global surface temperature increase since 1850–1900 (°C) as a function of cumulative CO<sub>2</sub> emissions (GtCO<sub>2</sub>)



Source : IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021

# Les émissions mondiales de gaz à effet de serre du secteur de la construction

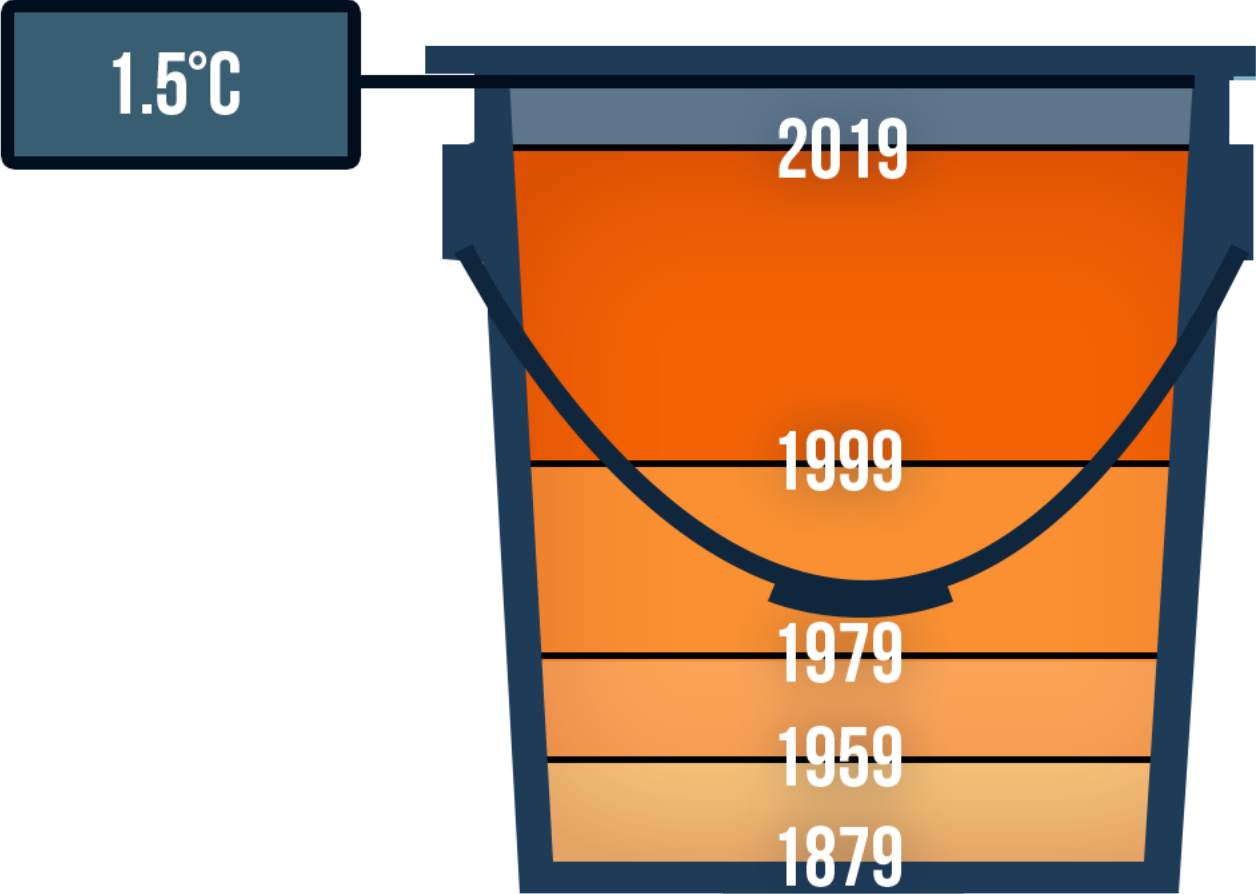


The built environment sector is responsible for more than a third of global energy-related carbon emissions.

Adapted from UNEP 2022.

# CARBON BUDGET

TO LIMIT WARMING TO 1.5°C

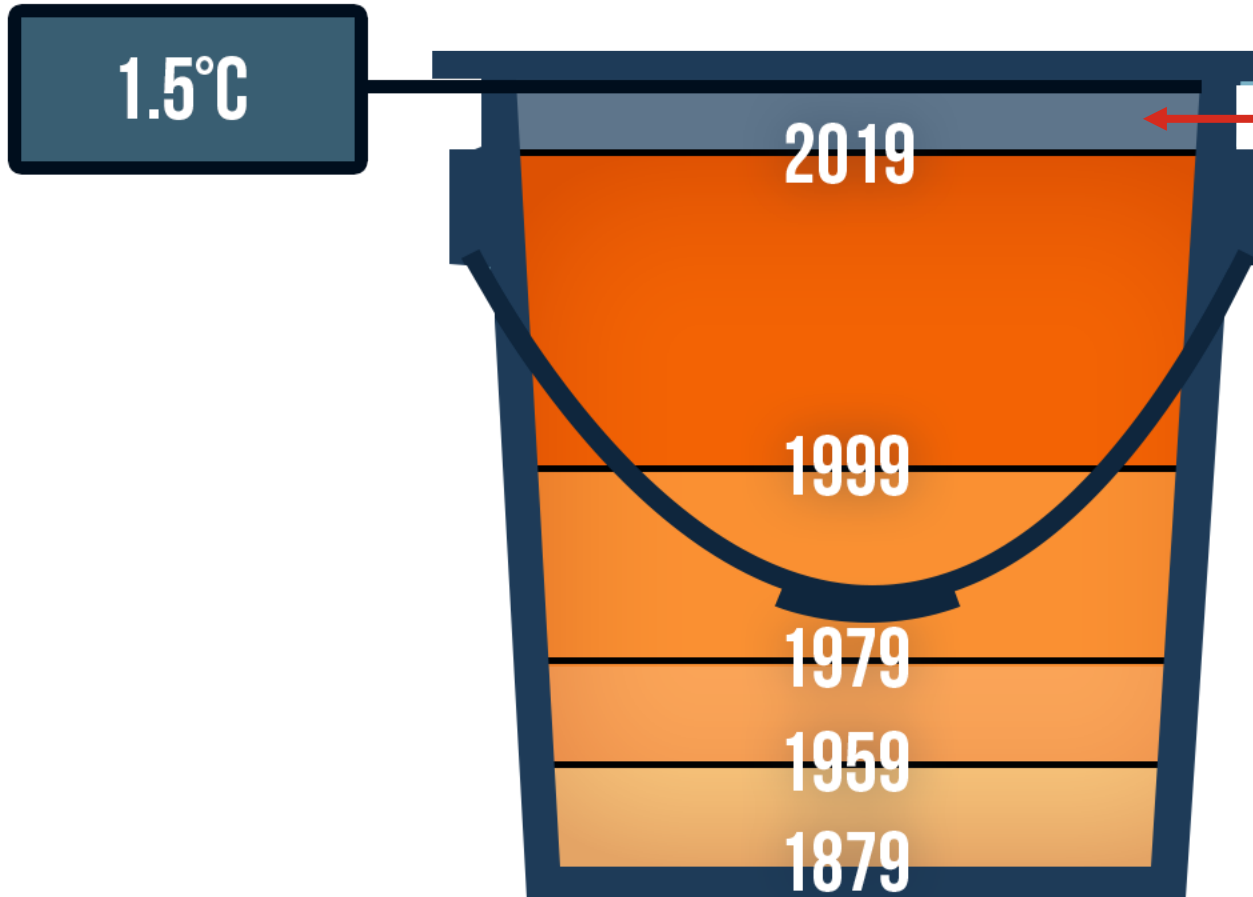


Years in the bucket depict cumulative global carbon emissions through that year. 1.5°C=2.7°F  
Source: Global Carbon Budget Project

CLIMATE  CENTRAL

# CARBON BUDGET

TO LIMIT WARMING TO 1.5°C



≈ **210 Gt CO<sub>2</sub>\*** (pour 1.5°C)  
à l'échelle mondiale  
Emissions 2023: **37.2 Gt/an**

...

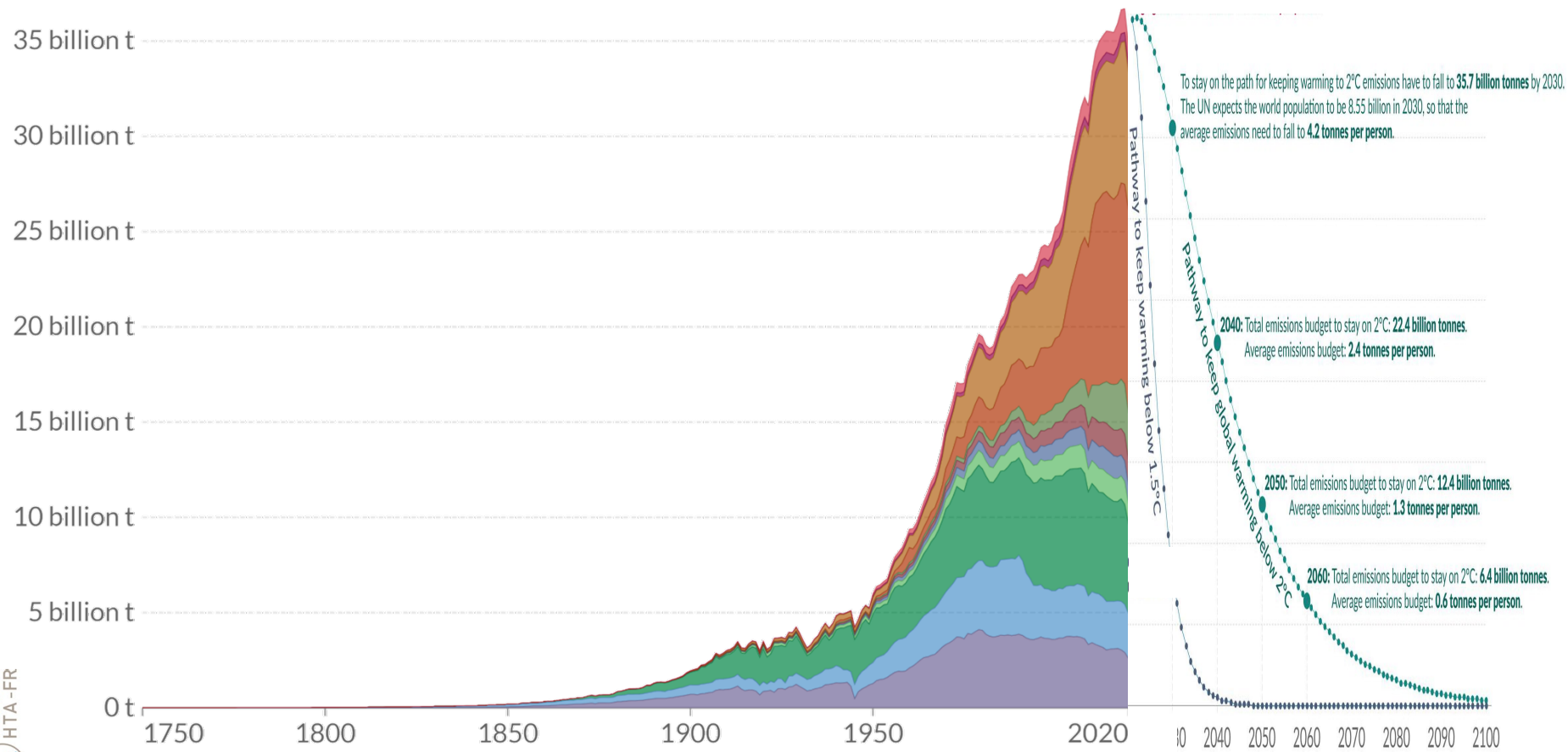
*\*Lamboll, R.D., Nicholls, Z.R.J., Smith, C.J. et al. Assessing the size and uncertainty of remaining carbon budgets. Nat. Clim. Chang. 13, 1360–1367 (2023).  
<https://doi.org/10.1038/s41558-023-01848-5>*

Years in the bucket depict cumulative global carbon emissions through that year. 1.5°C=2.7°F  
Source: Global Carbon Budget Project

CLIMATE  CENTRAL



# Vers un net-zero à l'échelle mondiale



# Les objectifs climatiques des bâtiments

## Loi fédérale sur les objectifs en matière de protection du climat, sur l'innovation et sur le renforcement de la sécurité énergétique

(LCI)

du 30 septembre 2022

L'Assemblée fédérale de la Confédération suisse,

vu les art. 74 et 89 de la Constitution<sup>1</sup>,

vu le rapport de la Commission de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'énergie du Conseil national du 25 avril 2022<sup>2</sup>,

vu l'avis du Conseil fédéral du 3 juin 2022<sup>3</sup>,

### Secteur «Bâtiments»:

- Jusqu'en 2040: -82%
- Jusqu'en 2050: -100%

### Secteur «Industrie»

- Jusqu'en 2040: -50%
- Jusqu'en 2050: -90%

# Vers un net-zero émissions en suisse

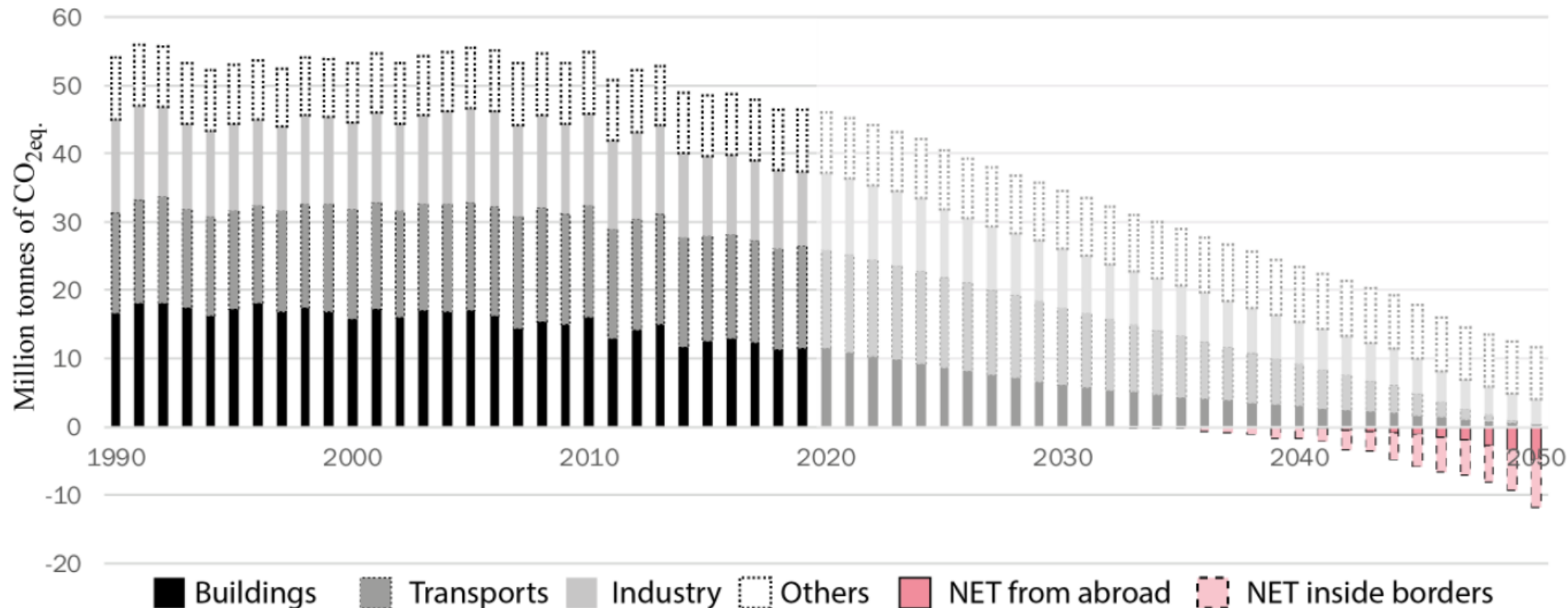


Figure 3: Evolution of GHG sectoral emissions in Switzerland (1990 – 2018 reported data; 2019 – 2050 estimated data). Data taken and adapted from Energy perspective 2050+ (FOEN), scenario ZERO-Basis.

Y.D.Priore, G.Habert, T. Jusselme; 2023, Global carbon budgets for the built environment: How far are we to achieve a 1.5° C limit in global warming? A Swiss example



# Vers des budgets carbone pour tous les bâtiments en UE

European Parliament

2019-2024



TEXTS ADOPTED

P9\_TA(2024)0129

Energy performance of buildings (recast)

European Parliament legislative resolution of 12 March 2024 on the proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast) (COM(2021)0802 – C9-0469/2021 – 2021/0426(COD))

Member States shall ensure that the life-cycle **GWP** is calculated in accordance with Annex III and disclosed in the energy performance certificate of the building:

- (a) from 1 January **2028**, for all new buildings with a useful floor area larger than **1000 m<sup>2</sup>**;
- (b) from 1 January 2030, for all new buildings.

*By 1 January 2027 Member States shall publish and notify to the Commission a roadmap detailing the introduction of limit values on the total cumulative life-cycle GWP of all new buildings and set targets for new buildings from 2030, considering a progressive downward trend, as well as maximum limit values, detailed for different climatic zones and building typologies.*

*Those maximum limit values shall be in line with the Union's objective of achieving climate neutrality.*

# La Suisse est en retard, ...

La Cour européenne des droits de l'Homme condamne la Suisse pour inaction climatique



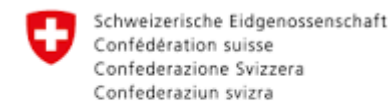
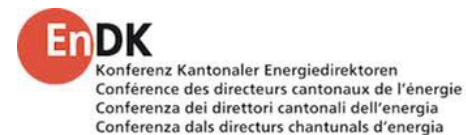
La Cour européenne des droits de l'Homme a rendu un jugement historique en condamnant la Suisse pour inaction climatique / 12h45 / 2 min. / le 9 avril 2024

**«... un manquement des autorités suisses à quantifier au moyen d'un budget carbone...»**

# ... mais elle se réveille!

**sia**

schweizerischer ingenieur- und architektenverein  
société suisse des ingénieurs et des architectes  
società svizzera degli ingegneri e degli architetti  
swiss society of engineers and architects



Bundesamt für Energie BFE  
Office fédéral de l'énergie OFEN

**MINERGIE®**

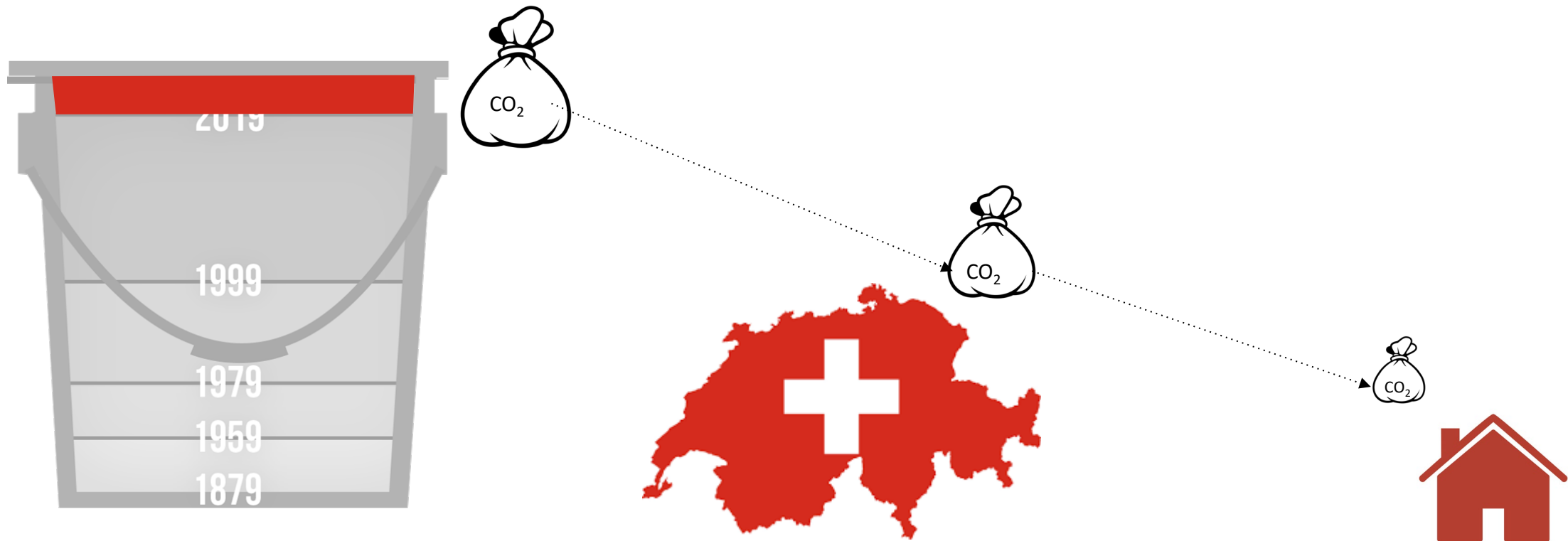


Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz  
Standard Construction durable Suisse  
Standard Costruzione Sostenibile Svizzera



Canton de Genève  
Projet de loi  
empreinte carbone des constructions

# Cascade des budgets vers les constructions en suisse



# Vers un net-zero émissions en suisse

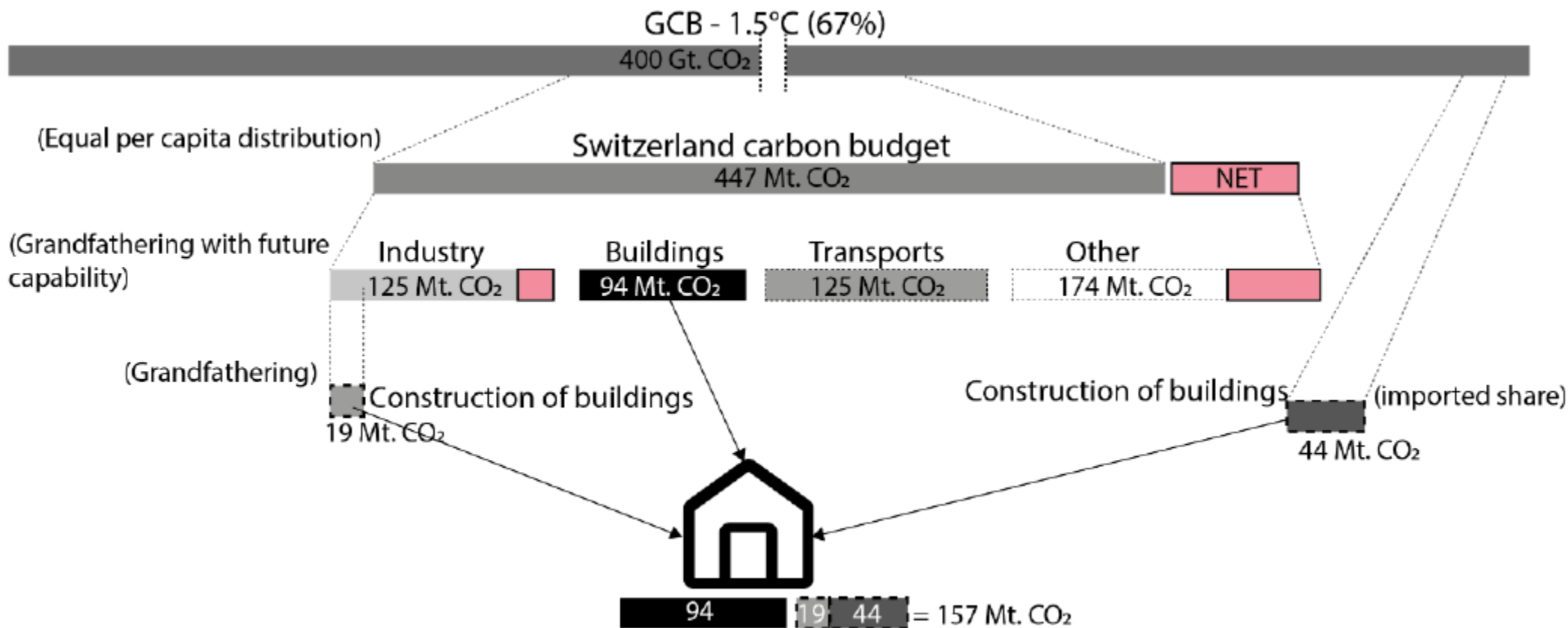


Figure 8: Top-down derived budget for buildings' operation and construction activities for a 1.5°C (67%likelihood) goal

Y.D.Priore, G.Habert, T. Jusselme; 2023, Global carbon budgets for the built environment: How far are we to achieve a 1.5 ° C limit in global warming? A Swiss example



# La SIA 390: La voie du climat

**sia**

schweizerischer ingenieur- und architektenverein  
société suisse des ingénieurs et des architectes  
società svizzera degli ingegneri e degli architetti  
swiss society of engineers and architects

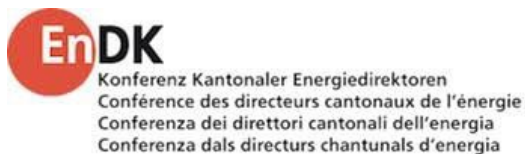
## Exigences habitation

Tableau 1 Exigences pour la catégorie d'ouvrages « habitation » pour une surface standard par personne, rapportées à une durée d'un an et à la surface de référence énergétique  $A_E$ . Les valeurs indicatives sont données à titre d'information.

Habitation	Valeurs limites		Valeurs cibles	
	Émissions de gaz à effet de serre kg/m <sup>2</sup>		Émissions de gaz à effet de serre kg/m <sup>2</sup>	
	Construction nouvelle	Transformation	Construction nouvelle	Transformation
Valeur indicative construction	9,0	5,0	7,0	5,0
Valeur indicative exploitation	2,0	4,0	0,0	2,0
Valeur indicative mobilité	4,0	4,0	3,0	3,0
<b>Valeur limite   Valeur cible</b>	<b>15,0</b>	<b>13,0</b>	<b>10,0</b>	
<b>Exigences</b> construction+ exploitation	<b>11,0</b>	<b>9,0</b>	<b>7,0</b>	

Source : pr SIA 390/1  
(en consultation 2024)

# La SIA 390: La voie du climat



Catégorie d'ouvrage		Valeur limite de base pour les bâtiments à construire Émissions GES en kg éq. CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> a
I	Habitat collectif	12
II	Habitat individuel	13
III	Administration	13
IV	Écoles	12
V	Commerces	18
VI	Restaurants	15
VII	Commerces	16
VIII	Hôpitaux	18
IX	Industrie	16
X	Dépôts	16
XI	Installations sportives	16
XII	Piscines couvertes	16

MOPEC 2025  
(en consultation 2024)

# Le budget carbone dans Minergie-ECO

Les valeurs pour les émissions grises de gaz à effet de serre ont été déterminées comme suit :

Affectation	Valeur limite $VL_{GESAE1}$ [kg CO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> *a]	Valeur limite $VL_{GESAE2}$ [kg CO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> *a]	$VL_{GES(SP-AE)1}$ [kg CO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> *a]	$VL_{GES(SP-AE)2}$ [kg CO <sub>2eq</sub> /m <sup>2</sup> *a]
Unité de référence	Par surface de référence énergétique A <sub>E</sub>		Par surface non-chauffée (SP-A <sub>E</sub> )	
Habitat collectif	8.0	10.0	2.8	4.5
Petit immeuble locatif	8.0	10.5		
Administration	8.0	11.0		
Écoles	8.0	11.0		
Commerce	11.0	16.0		
Restauration	8.0	13.0		
Musées	11.0	14.0		
Hôpitaux	11.0	16.0		
Industrie	11.0	14.0		
Écoles de petite taille	8.0	11.5		
Installations sportives	11.0	14.0		

# Le budget carbone dans Minergie-ECO

Pour les techniques du bâtiment, les valeurs limites de base suivantes ont été fixées (les valeurs limites de base 1 & 2 sont identiques) :

Affectation	Installation PV <sup>1</sup>	Panneaux solaires thermiques <sup>2</sup>	Sondes géothermiques <sup>3</sup>
Unité de référence	Par surface de l'élément de construction <sup>4</sup>		Par SRE (A <sub>E</sub> )
Toutes les affectations	25.5 kWh/m <sup>2</sup> *a	22.2 kWh/m <sup>2</sup> *a	1.4 kWh/m <sup>2</sup> *a
	7.1 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> *a	5.6 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> *a	0.3 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> *a

# Valeurs limites par éléments de construction pour la rénovation

Affectation	Parois extérieures hors terrain [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]		Toits [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]		Radiers platte [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]		Fenêtres/portes ext. [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]		Éléments de construction int. [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]	
	VL1	VL2	VL1	VL2	VL1	VL2	VL1	VL2	VL1	VL2
Unité de référence	Par surface de l'élément de construction								Par SRE (A <sub>E</sub> )	
Habitat collectif	0.78	1.57	1.18	1.93	1.43	2.35	3.00	4.34	0.39	0.78
Petit immeuble locatif	0.78	1.57	1.18	1.93	1.43	2.35	3.00	4.34	0.39	0.78
Administration	1.18	1.93	1.57	2.32	1.43	2.35	3.00	4.34	0.39	0.78
Écoles	0.78	1.57	1.18	1.93	1.43	2.35	3.00	4.34	0.39	0.78
Commerce	1.18	1.93	1.57	2.32	1.43	2.35	3.00	4.34	0.39	0.78
Restauration	1.18	1.93	1.57	2.32	1.43	2.35	3.00	4.34	1.18	1.93
Musées	1.18	1.93	1.57	2.32	1.43	2.35	3.00	4.34	1.18	1.93
Hôpitaux	1.18	1.93	1.57	2.32	1.43	2.35	3.00	4.34	1.18	1.93
Industrie	1.18	1.93	1.57	2.32	1.43	2.35	3.00	4.34	1.18	1.93
Écoles de petite taille	0.78	1.57	1.18	1.93	1.43	2.35	3.00	4.34	0.39	0.78
Installations sportives	1.18	1.93	1.57	2.32	1.43	2.35	3.00	4.34	0.39	0.78

Affectation	Ventilation [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]	Installations sanitaires [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]	Installations électriques [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]	Production de chaleur [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]	Distribution de chaleur [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]	Distribution de chaleur [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]
	VL1=VL2	VL1=VL2	VL1=VL2	VL1=VL2	VL1=VL2	VL1=VL2
Unité de référence	Par surface de référence énergétique A <sub>E</sub>					
Habitat collectif	0.41	0.38	0.42	0.04	0.25	0.18
Petit immeuble locatif	0.41	0.38	0.42	0.04	0.25	0.18
Administration	0.90	0.17	0.86	0.04	0.25	0.18
Écoles	0.90	0.38	0.42	0.04	0.25	0.18
Commerce	1.50	0.38	0.64	0.04	0.25	0.18
Restauration	1.98	0.17	0.86	0.04	0.25	0.18
Musées	0.90	0.17	0.86	0.04	0.25	0.18
Hôpitaux	1.20	0.38	0.86	0.04	0.25	0.18
Industrie	1.50	0.38	0.86	0.04	0.25	0.18
Écoles de petite taille	0.67	0.38	0.42	0.04	0.25	0.18
Installations sportives	1.50	0.38	0.64	0.04	0.25	0.18

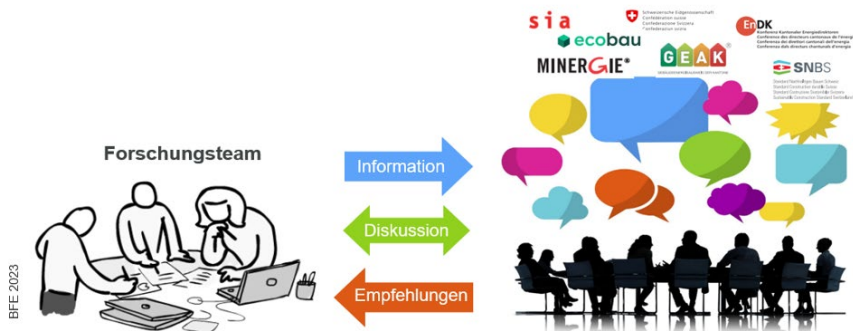
Source : Minergie, Calcul de l'énergie grise et des émissions grises de gaz à effet de serre, 2023.



# Net-zéro à l'échelle du bâtiment, harmonisation des pratiques

Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE  
Office fédéral de l'énergie OFEN  
Ufficio federale dell'energia UFE  
Swiss Federal Office of Energy SFOE

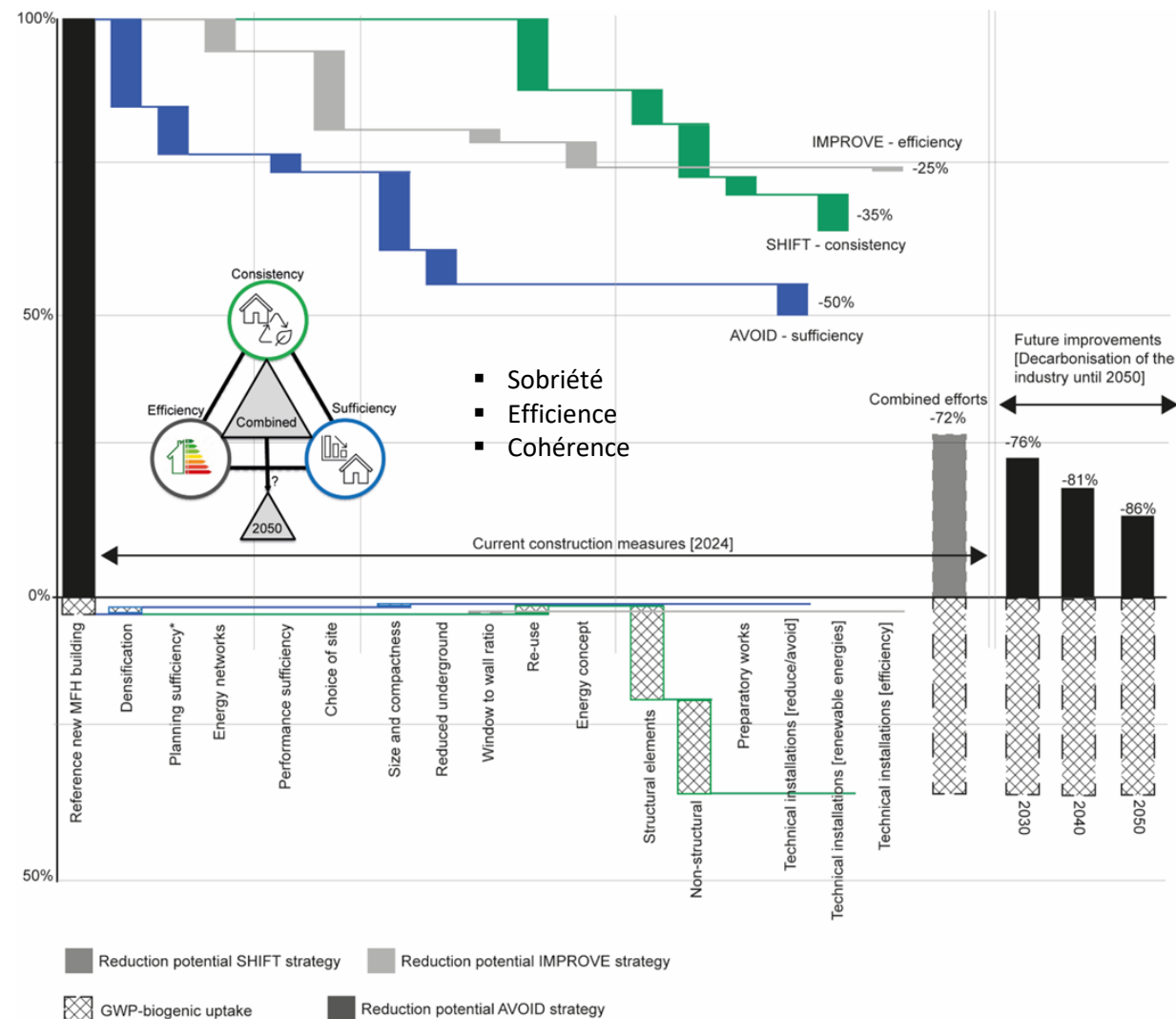


## FORSCHUNGSPROJEKT NN-THGG

Source: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=52363>

### Projet OFEN: net-zéro pour l'environnement bâti

- Méthodologie concertée entre les acteurs
- Stratégies de réduction des émissions à l'échelle du bâtiment
- Définition d'un bâtiment net-zéro et possibles actions d'implémentation

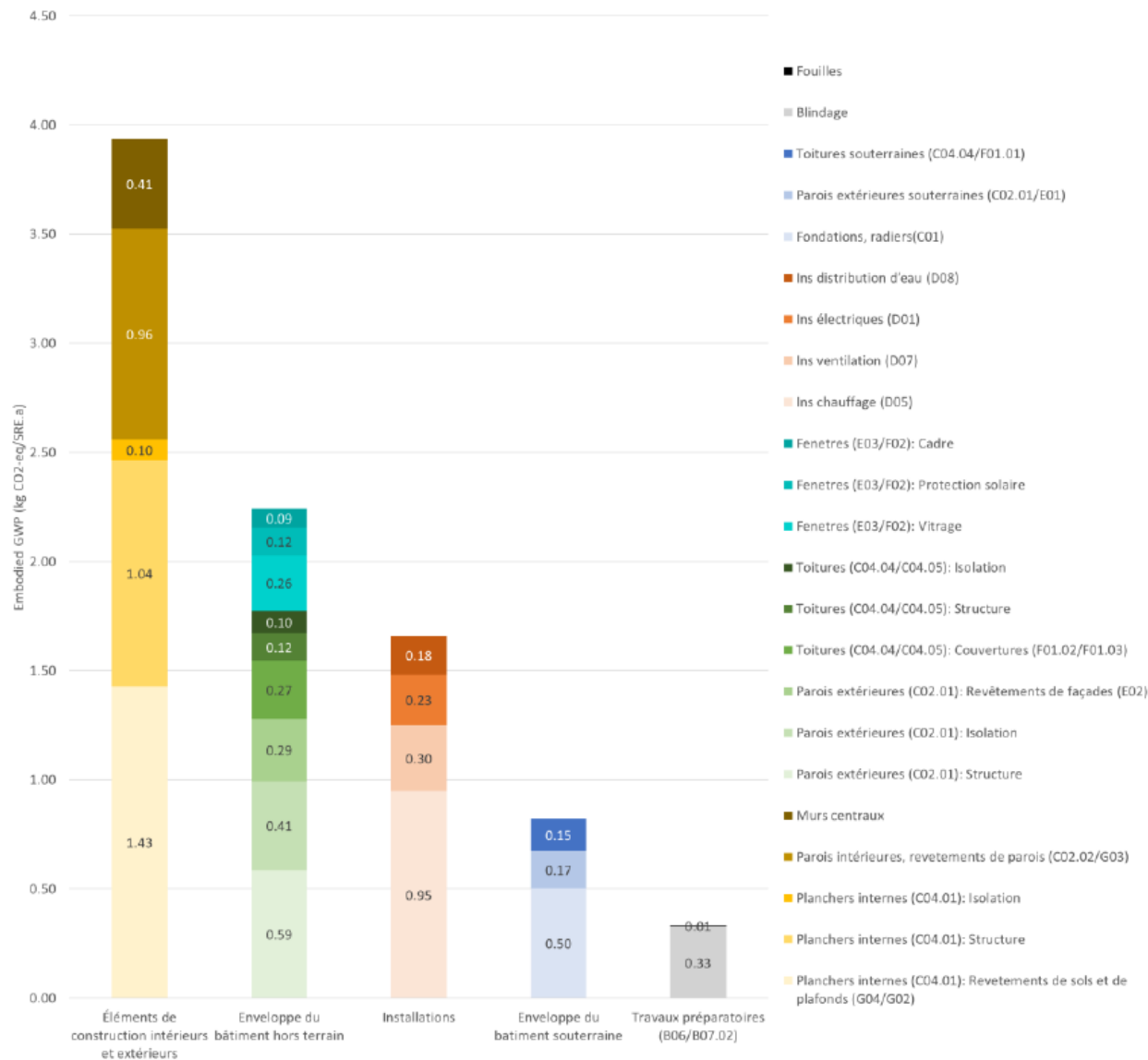


Source: Priore et al., 2024. Net-zero GHG Emissions in the Building Area – Bottom-up Approach

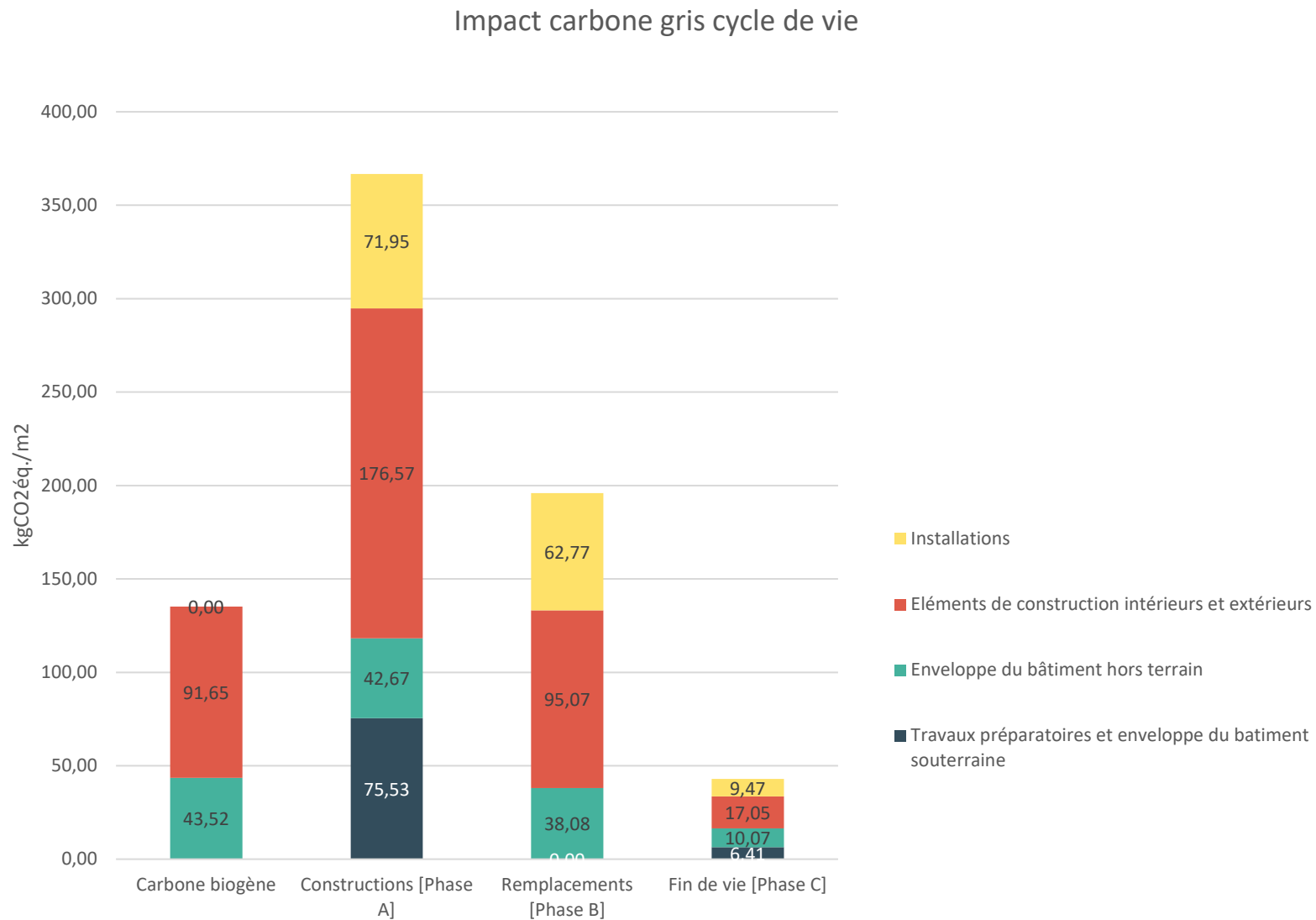
# Exemple de répartition GES sur les éléments de construction / immeuble collectif)

## Target cascading

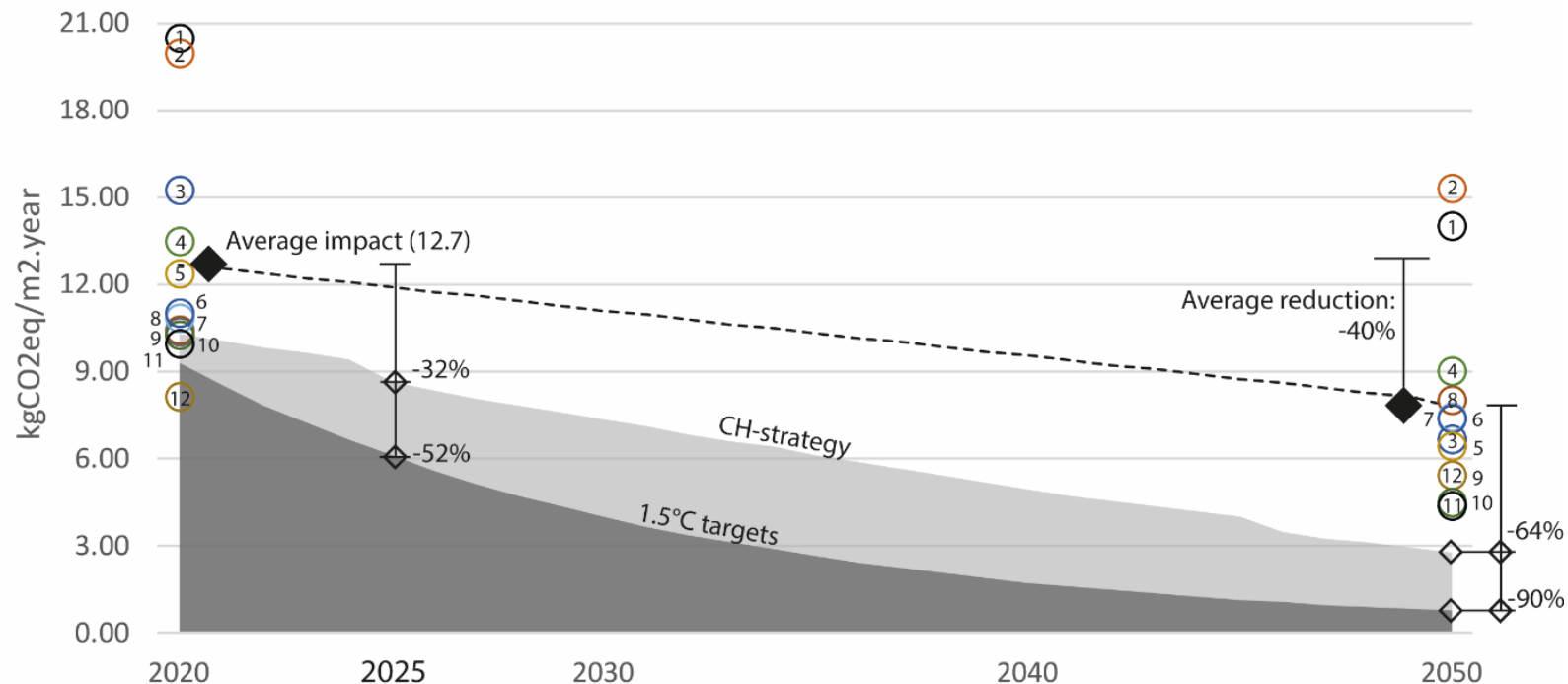
Absolute values (Source: Oghazi and Jusselme, 2022, HESSO/HEIA-FR, Energy Institute)



# Exemple de répartition temporelle des éléments de construction



# Le progrès des industriels ne sera pas suffisant



2020				2050			
①	20.45	⑦	10.84	①	14.00	⑦	7.42
②	19.91	⑧	10.42	②	15.29	⑧	8.00
③	15.23	⑨	10.38	③	6.64	⑨	5.40
④	13.47	⑩	10.23	④	8.99	⑩	4.46
⑤	12.35	⑪	9.95	⑤	6.43	⑪	4.34
⑥	11.02	⑫	8.10	⑥	7.36	⑫	5.41

Source: Priore, Habert et Jusselme, 2022

- De 8 à 20 KgCO<sub>2</sub>eq pour les constructions actuelles
- -40% attendu grâce aux progrès des matériaux
- Cela ne suffira pas, donc à coupler impérativement avec des efforts de sobriété



# EVITER LES CONSTRUCTIONS SOUTERRAINES

- Positionnement des caves et locaux techniques dans les étages
- Optimisation du dimensionnement structurel
- Composition du béton
- Réduction de l'excavation
- Choix du type de blindage
- Utilisation des déblais sur site
- Réversibilité
- Autopartage



Parking silo bois R+3, 405 places , Ostwald (Bas Rhin, France)



Autriche | Ederer + Haghirian  
Architekten Caves sur balcons



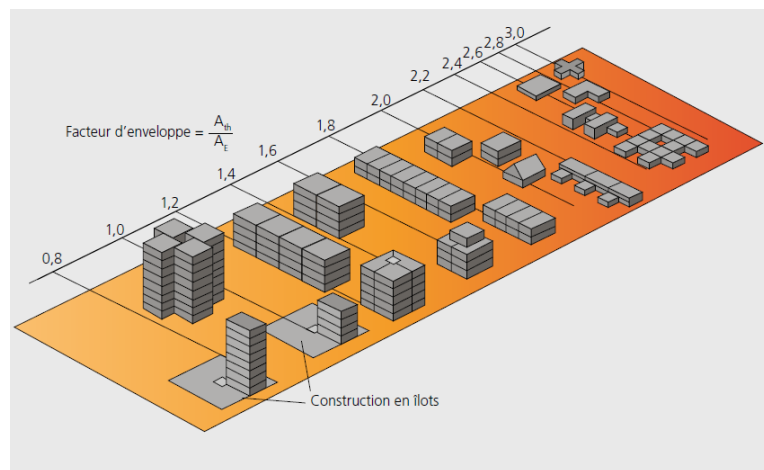
Blindage en paroi de pieux forés : 871 kg CO<sub>2</sub>eq /m<sup>2</sup> de paroi



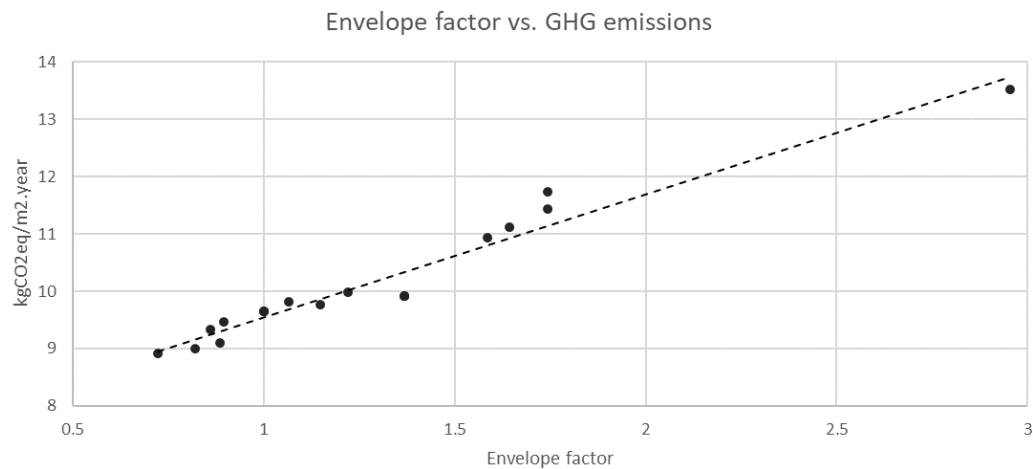
Excavation, blindage et structure souterraine : 5-15% du bilan carbone



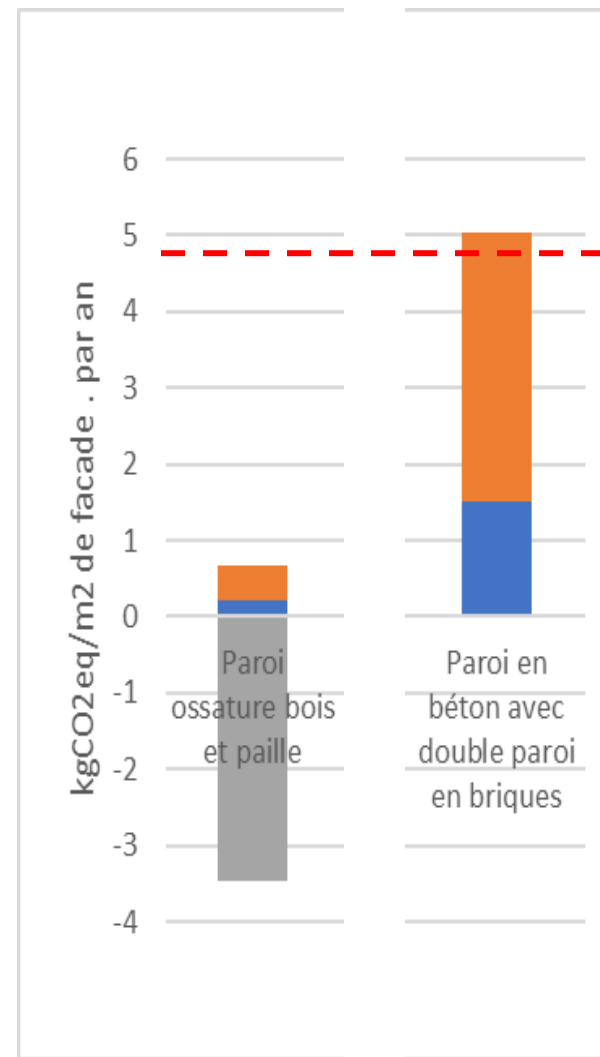
# CONSTRUIRE COMPACT ET BAS CARBONE



Facteur d'enveloppe  $A_h$  : Surface de l'enveloppe /  $A_e$  : Surface de référence énergétique - Image tirée du rapport de SuisseEnergie sur les nouvelles constructions (Binz et al. 2021).



Impact de l'augmentation du facteur d'enveloppe sur les émissions de GES dans la construction - résultats extraits de l'outil simplifié Minergie



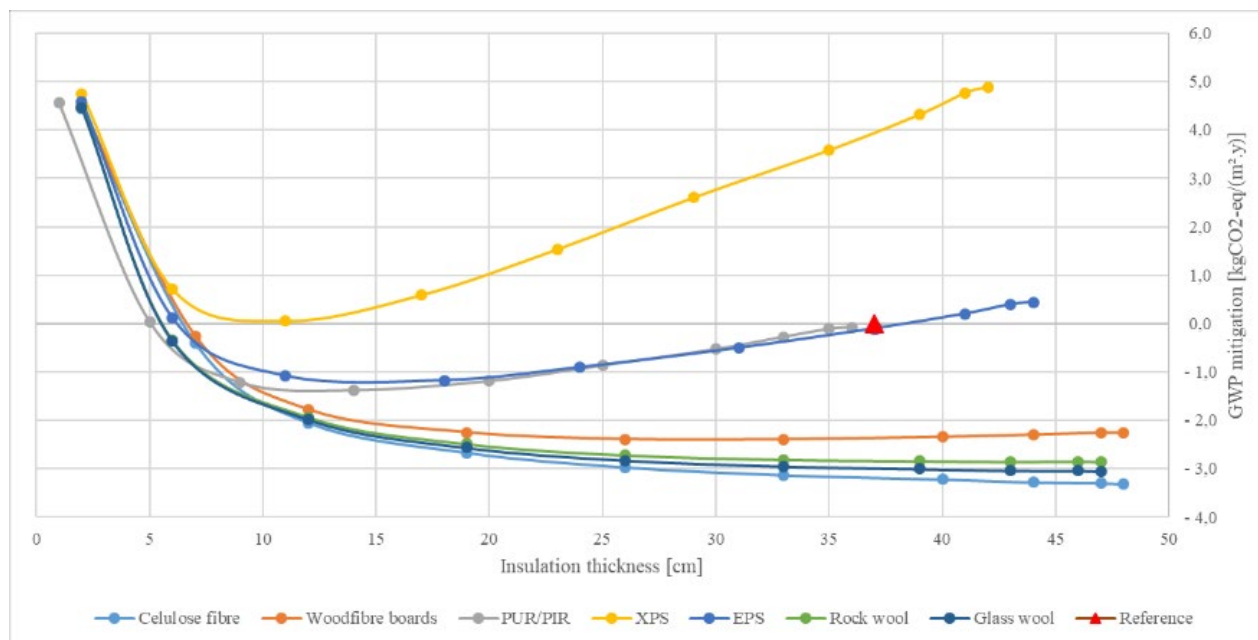
■ Parois extérieures hors terrain ■ Revêtements de façades ■ Carbone biogène

Source: HEIA-FR Priore, Jusselme

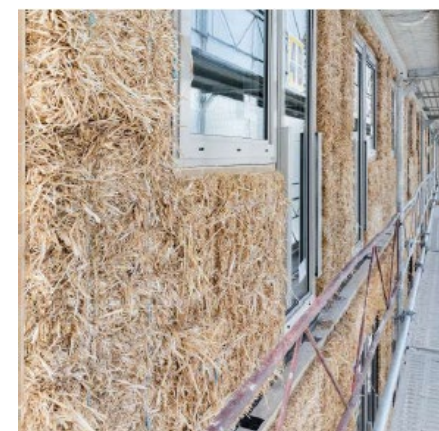
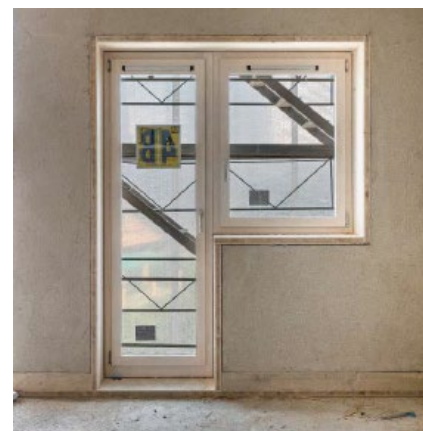
# ISOLER, MAIS PAS A N'IMPORTE QUEL COÛT CARBONE

Quand on sort des énergies fossiles, l'impact de l'isolation peut être supérieur aux économies de chauffages.

- On doit isoler pour garantir un accès aux renouvelables à tous
- Mais avec des matériaux bas-carbone

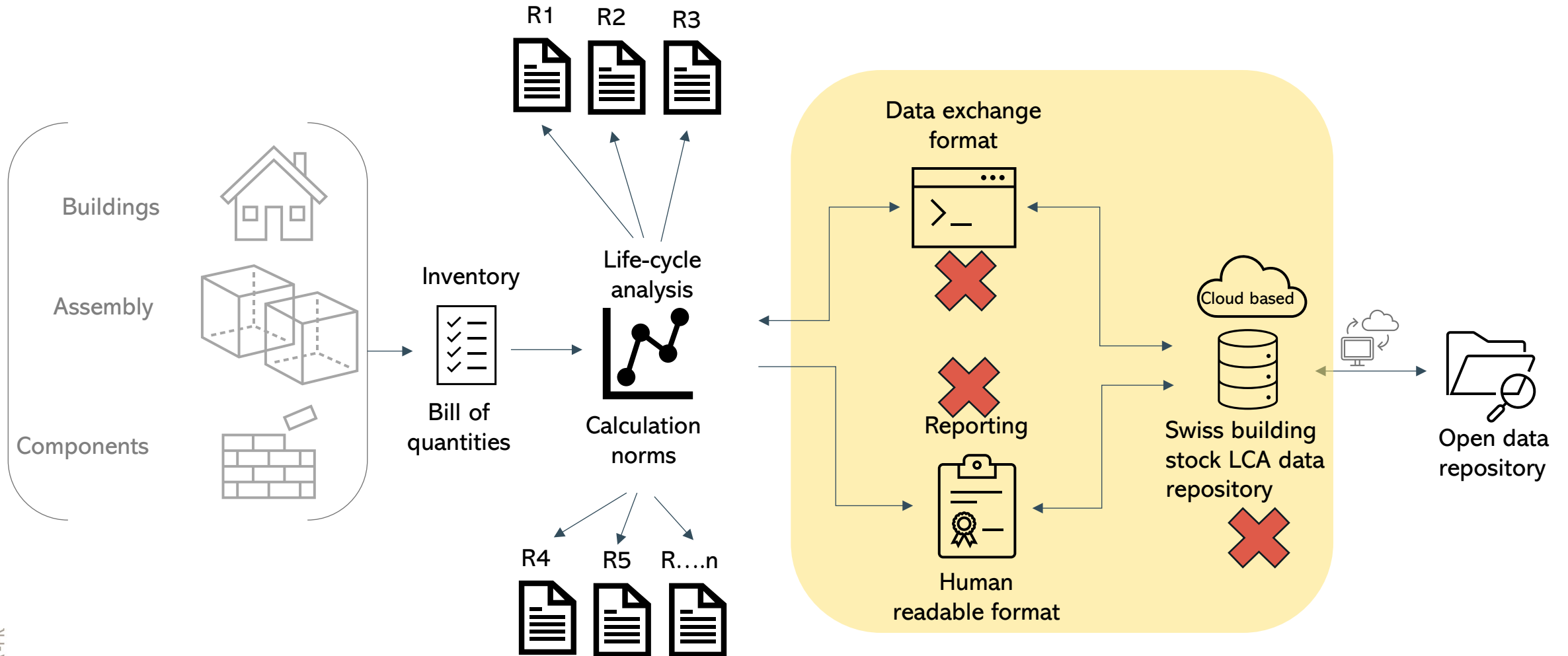


Immeuble Soubeyran, Genève: 2000 bottes de paille issues de l'agriculture locale



Réduction du GWP par m<sup>2</sup> pour différents matériaux et épaisseurs d'isolation avec une pompe à chaleur géothermique. Référence : Système de pompe à chaleur avec isolation en EPS et valeur U cible de 0,14 W/m<sup>2</sup>.K représentée par le triangle rouge. Source: Mosquini LHN, Tappy V, Jusselme T (2022) A carbon-focus parametric study on building insulation materials and thicknesses for different heating systems: A Swiss case study. IOP Conf Ser: Earth Environ Sci 1078:012102. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012102>

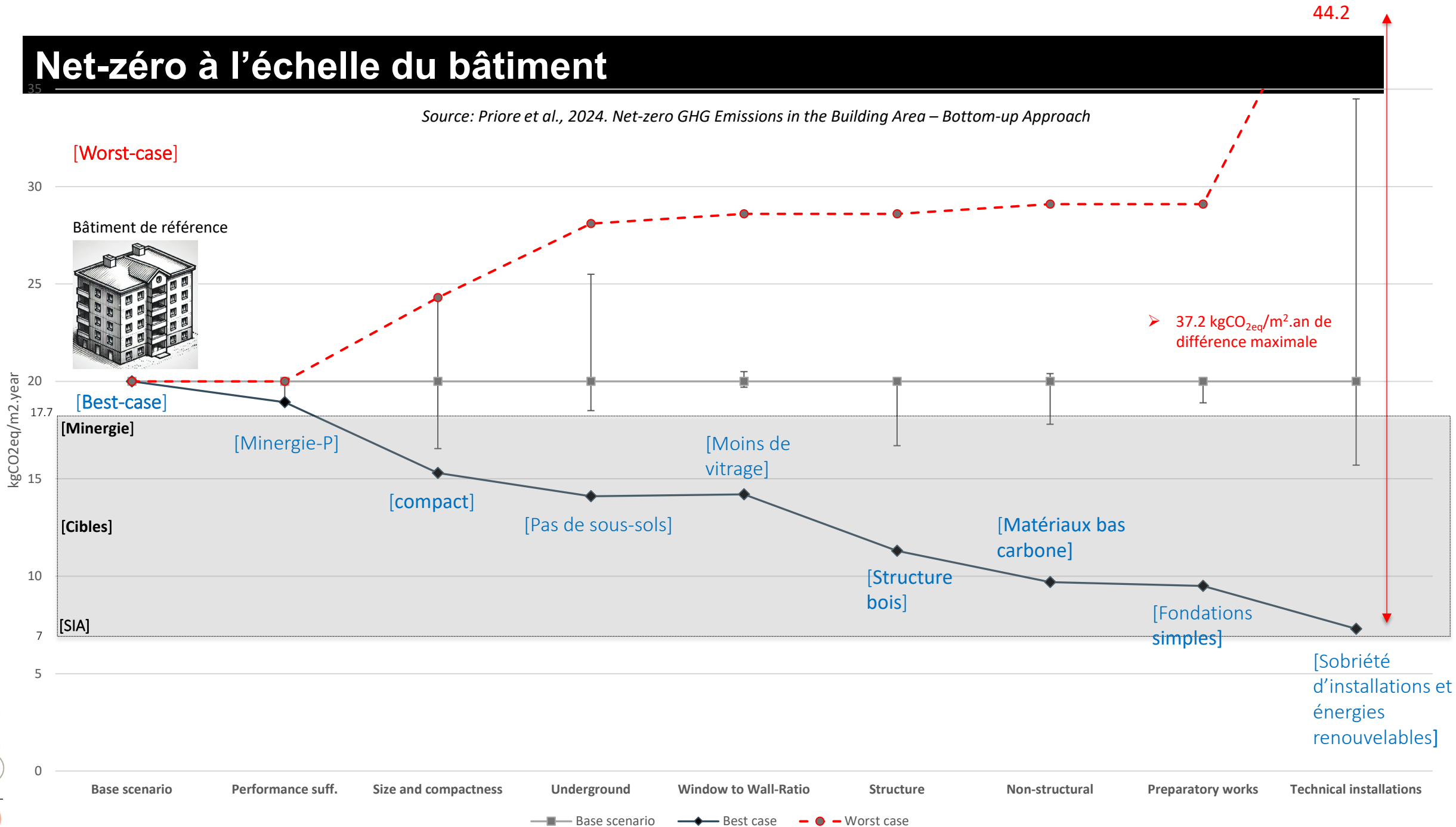
# Standardisation des formats de reporting des bilan carbone de la construction – Projet BLAREC



# Net-zéro à l'échelle du bâtiment

35

Source: Priore et al., 2024. Net-zero GHG Emissions in the Building Area – Bottom-up Approach



# D'une industrie à sens unique vers le réemploi et la circularité

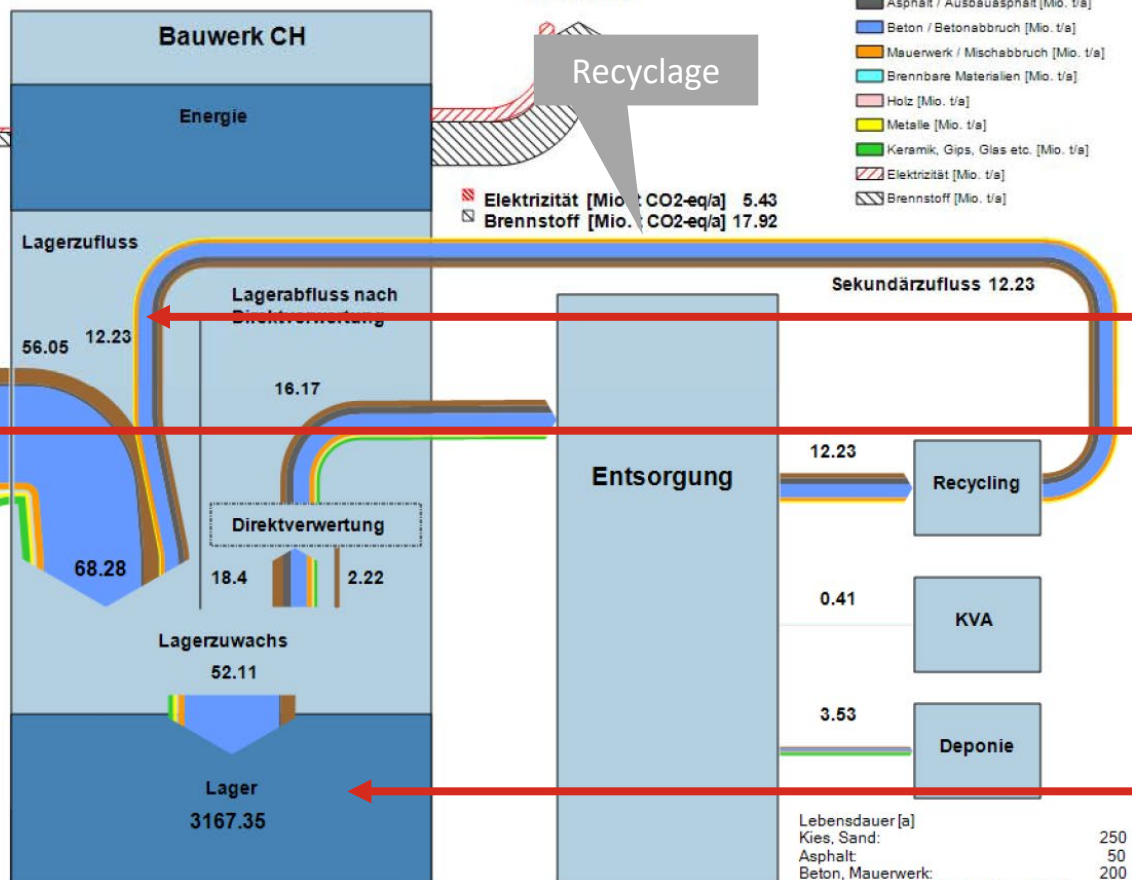
## Materialflussrechnung Schweiz - MatCH

Einheit: [Mio. t/a]

Energie	Elektrizität * [Mio. toe/a]	1.72
	Brennstoff * [Mio toe/a]	5.69

Primärzufluss: 56.05	Kies, Sand	6.33
	Asphalt	1.31
	Beton	39.79
	Mauerwerk	2.90
	Brennbare Materialien	0.32
	Holz	0.86
	Metalle	1.39
	Keramik, Gips, Glas etc.	3.15

Jahr 2015



### Legende

- Kies, Sand / Stressaufbruch [Mio. t/a]
- Asphalt / Ausbausphalt [Mio. t/a]
- Beton / Betonabbruch [Mio. t/a]
- Mauerwerk / Mischabbruch [Mio. t/a]
- Brennbare Materialien [Mio. t/a]
- Holz [Mio. t/a]
- Metalle [Mio. t/a]
- Keramik, Gips, Glas etc. [Mio. t/a]
- ▨ Elektrizität [Mio. t/a]
- ▨ Brennstoff [Mio. t/a]

Source : Ressources matérielles et énergétiques et impact sur l'environnement de l'infrastructure construite de la Suisse 2016. éd. OFEV/EMPA

18% des matériaux issus du recyclage

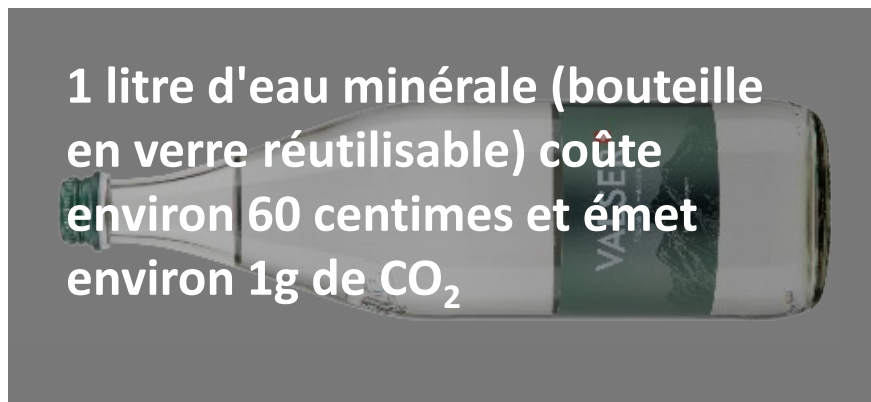
5t par an et habitant de béton

360t de matériaux par habitant dans les bâtiments en Suisse

Lebensdauer [a]	
Kies, Sand:	250
Asphalt:	50
Beton, Mauerwerk:	200
Brennbare, Holz, Metalle, Keramik, Glas etc:	100



# La vérité des coûts n'existe pas



- Dans ce contexte, la dépose/ maintenance / repose de radiateurs existants n'est pas moins cher que de tous les remplacer à neuf !
- Le coût environnemental n'est pas à la hauteur du coût du travail ou des matières premières.

## En conclusion

Pour décarboner le secteur de la construction, c'est toute la chaîne de valeur qui est concernée:

- Les politiques doivent réglementer avec des **budgets carbone**,
- L'industrie des matériaux doit **décarboner ses filières** de production,
- Les Maîtres d'Ouvrage doivent amorcer une **comptabilité carbone** et optimiser leurs projet (rénover, mixité, sous-sols, infrastructure, réversibilité, mutualisation...)
- Les architectes, ingénieurs et entreprises doivent concevoir et **construire de manière plus sobre** (moins de matière), avec le réemploi, utiliser des matériaux bas-carbone, biosourcés...

$$\text{Quantité} \times \text{Intensité} = \text{CO}_2$$