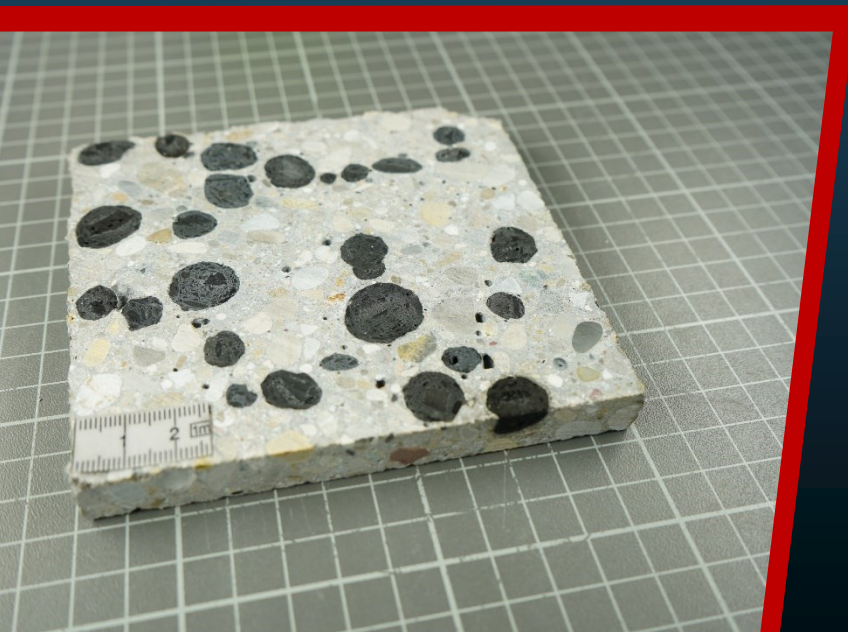




# Empa

Materials Science and Technology



## Le béton, sauveur inattendu du climat

**Prof. Dr Pietro Lura**

Chef du Laboratoire Béton et Asphalte, Empa  
Professeur de technologie du béton, EPF Zurich

**Dr Mateusz Wyrzykowski**

Chef de groupe Technologie du béton, Dépt B&A, Empa

Échange d'expériences 2025, Berne, le 14.05.2025

# Klima- und Innovationsgesetz



Am 18. Juni 2023 haben die Schweizer Stimmberechtigten über das Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (indirekter Gegenvorschlag zur Gletscher-Initiative) abgestimmt.

59,07 % de oui

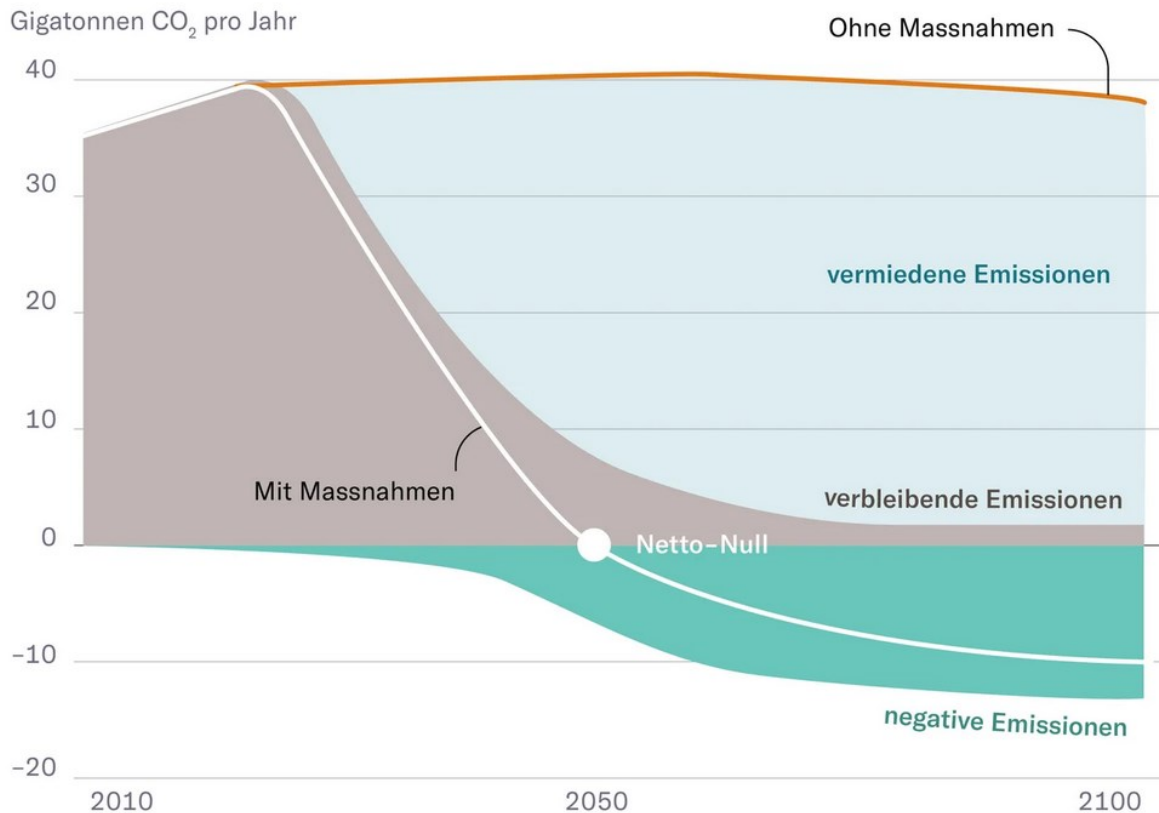
## **Art. 3** Ziel der Verminderung von Treibhausgasemissionen und der Anwendung von Negativemissionstechnologien

<sup>1</sup> Der Bund sorgt dafür, dass die Wirkung der in der Schweiz anfallenden von Menschen verursachten Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 Null beträgt (Netto-Null-Ziel), indem:

- a. die Treibhausgasemissionen so weit möglich vermindert werden; und
- b. die Wirkung der verbleibenden Treibhausgasemissionen durch die Anwendung von Negativemissionstechnologien in der Schweiz und im Ausland ausgeglichen wird.

<sup>2</sup> Nach dem Jahr 2050 muss die durch die Anwendung von Negativemissionstechnologien entfernte und gespeicherte Menge an CO<sub>2</sub> die verbleibenden Treibhausgasemissionen übertreffen.

# Motivation : émissions évitées vs émissions négatives



Réduire les émissions nettes  
Carbon Capture and  
Utilization/Storage (**CCS**)

→ Évitement

Negative emission Technologies  
(**NET**)

→ Extraction de l'atmosphère

- 10-20 Gt CO<sub>2</sub>/an

# Émissions négatives – Stocker le CO<sub>2</sub> dans les matériaux

Der Bundesrat

Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Der Bundesrat

Bundesrat Bundespräsidium Departemente Bundeskanzlei Bundesrecht Dokumentation

Startseite > Dokumentation > Medienmitteilungen > Klimawandel: Bundesrat verabschiedet Bericht zu negativen CO<sub>2</sub>-Emissionen

< Dokumentation > Zurück zur Übersicht

**Medienmitteilungen**

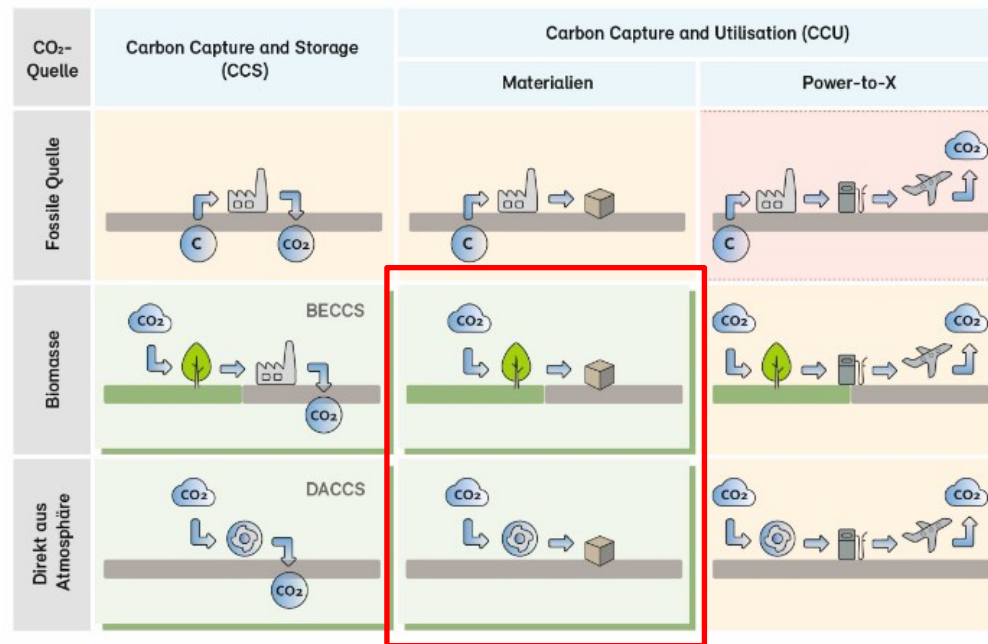
Medienmitteilungen des Bundesrats

Medienmitteilungen abonnieren

Medienmitteilungen als RSS beziehen

## Klimawandel: Bundesrat verabschiedet Bericht zu negativen CO<sub>2</sub>-Emissionen

Bern, 02.09.2020 - Der Bundesrat hat an seiner Sitzung vom 2. September 2020 einen Bericht über die Bedeutung von negativen CO<sub>2</sub>-Emissionen für die künftige Schweizer Klimapolitik gutgeheissen. Um CO<sub>2</sub> dauerhaft aus der Atmosphäre zu entfernen (sogenannte negative Emissionen), bedarf es spezieller Technologien, die erst teilweise vorhanden sind. Der Bericht kommt zum Schluss, dass negative Emissionen zur Erreichung der langfristigen Klimaziele unverzichtbar sind. Er empfiehlt dem Bund, bereits heute die Rahmenbedingungen für den starken Ausbau dieser Technologien zur Entnahme und dauerhaften Speicherung von CO<sub>2</sub> zu schaffen. Die Schweiz sei dank ihrer Forschungs- und Innovationskraft so gut aufgestellt, dass sie eine wichtige Rolle bei der Entwicklung dieser Technologien einnehmen kann.



Es wird davon ausgegangen, dass die verwendete Energie klimafreundlich gewonnen wurde.

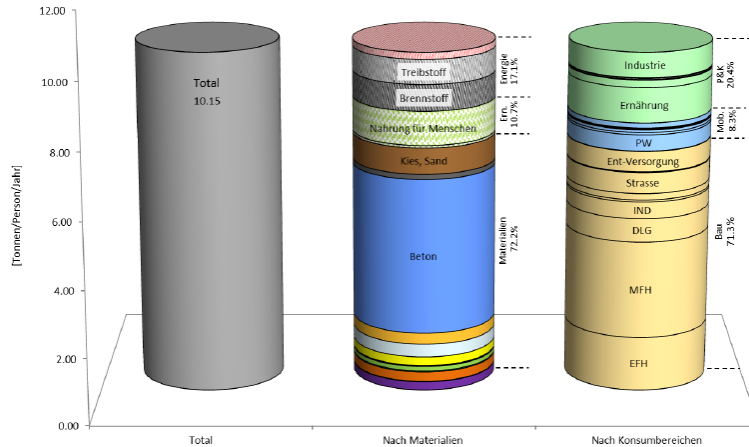
Negative Emissionen
 Klimaneutralität
 CO<sub>2</sub>-Emissionen

# Consommation de matériaux en Suisse

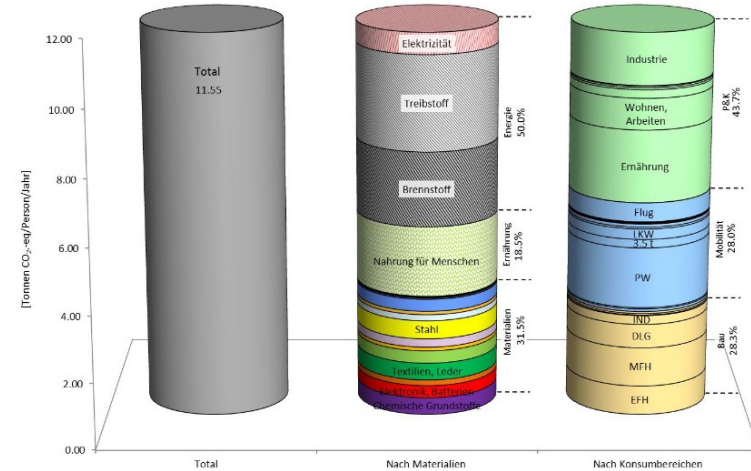
~40 Mt/an Béton → ~46 % de tous les matériaux,  
mais...

- ~3,2 % des émissions de CO<sub>2</sub>
- ~1,4 % de l'énergie non renouvelable

Konsum (DMC) pro Person [Tonnen/Jahr] 2018



Treibhauseffekt durch Konsum pro Person [Tonnen CO<sub>2</sub>-eq/Jahr] 2018



Matasci et al. Étude MatCH, Empa 2019

<https://www.empa.ch/web/s506/care-project-match>

# Approches possibles pour l'extraction du CO<sub>2</sub>



**Carbone issu de la pyrolyse du méthane**

En laboratoire + installation pilote





# Approches possibles pour l'extraction du CO<sub>2</sub>



**Carbone issu de la pyrolyse du méthane**

En laboratoire + installation pilote

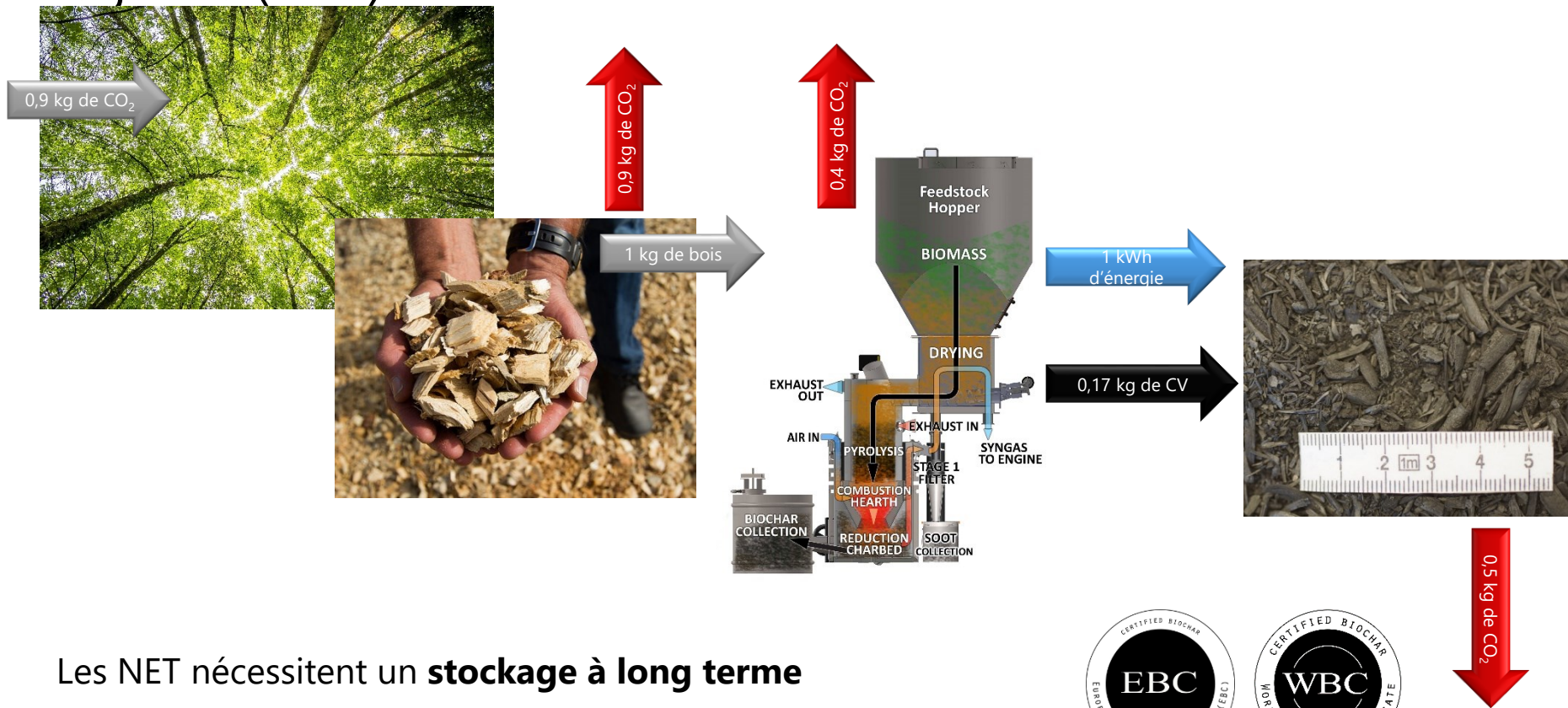


**Charbon végétal**

disponible dès maintenant +  
matériau modèle



# Le charbon végétal en tant que technologie d'émission négative (NET)



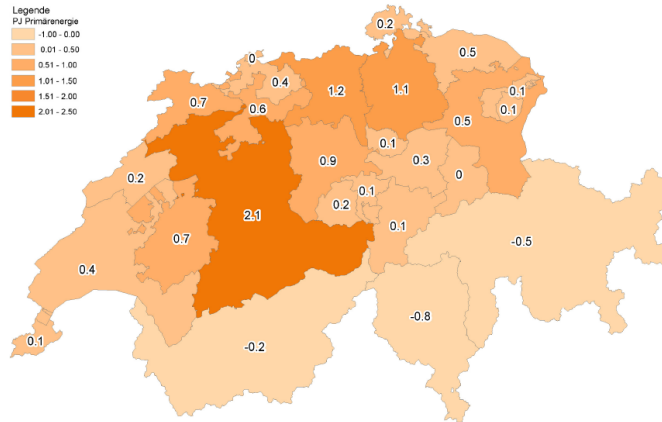
Les NET nécessitent un **stockage à long terme**





# Charbon végétal : potentiel de la biomasse en Suisse

- Potentiel de biomasse supplémentaire utilisable : 2,8 Mt/an
  - Potentiel du charbon végétal (Grossegger et al. 2024)  
**1 Mt/an CV → 1,6 Mt/an puits de CO<sub>2</sub>**



Thees et al. Biomassenpotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung, WSL 2017

# Charbon végétal dans le ciment/béton

- Une partie du ciment est remplacée par du CV (bio) ou le CV est directement intégré (additif) dans le béton
- Plusieurs projets (de recherche) et premiers objets de démonstration dans le monde entier  
→ Faisabilité démontrée



*Vyrzykowski, Toropovs, Lura*



« Carat », ©Vicat



« KLARK », ©Logbau 2022

# Pellets de carbone sous forme de granulats légers

*M. Wyrzykowski, N. Toropovs, F. Winnefeld, P. Lura*

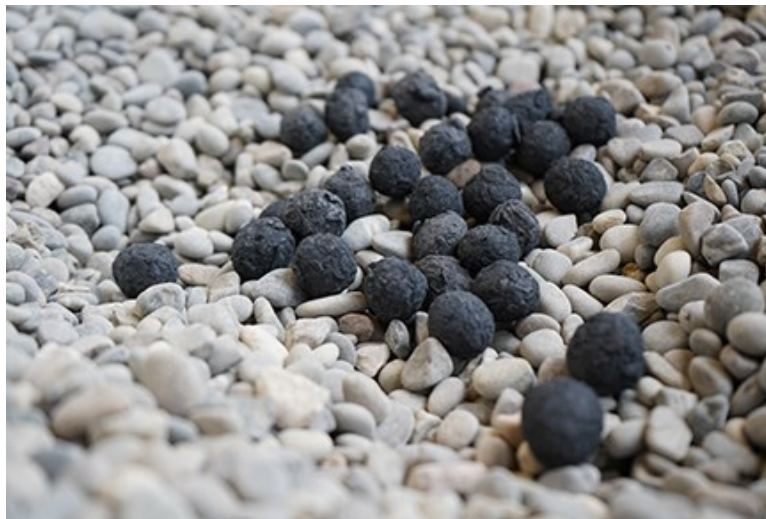
CO<sub>2</sub> net bilan des pellets : **-1,05 kg de CO<sub>2</sub>/kg de pellets** (puits de CO<sub>2</sub>!)

Propriétés physiques

- Dimension : 4-32 mm
- Densité : 1,0-1,5 g/cm<sup>3</sup>



**CV+eau+ciment  
~(2:2:1)  
Pelletisation +  
durcissement**



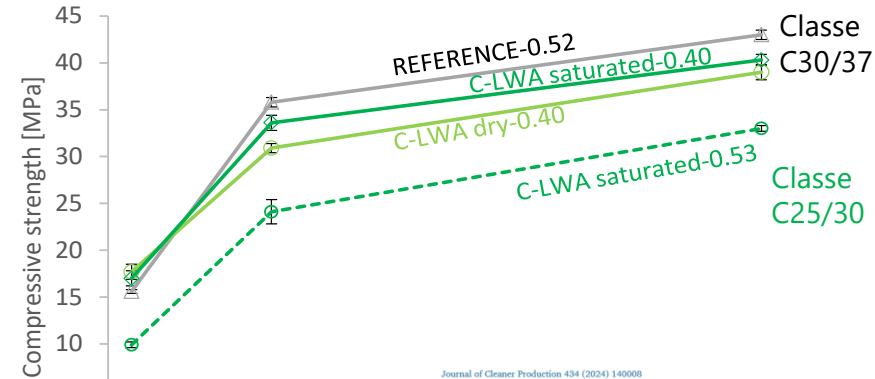
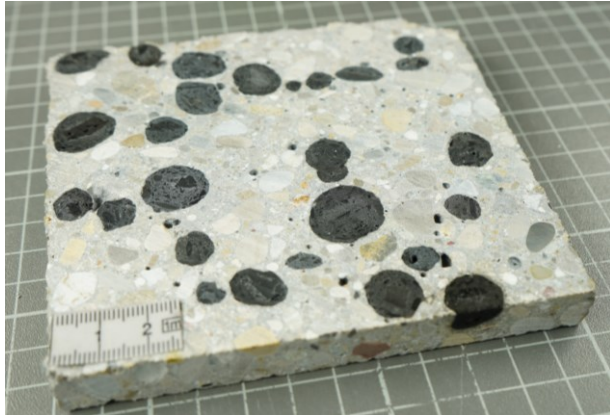


# Béton zéro émission nette avec C-LWA

- Béton de construction (C30/37), e/z 0,55, teneur en ciment 300 kg<sup>3</sup>, masse volumique 2400 kg<sup>3</sup>
- Béton avec C-LWA : C-LWA ~20 % vol. du béton, teneur en C ~3,3 % masse,  $\rho \sim 2100$  kg<sup>3</sup>
- Bonne durabilité (bâtiment) : XF2-3, XC3-4,

## ■ Émissions

- **Référence :** 208 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> Béton
- **C-LWA :** -1 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> Béton



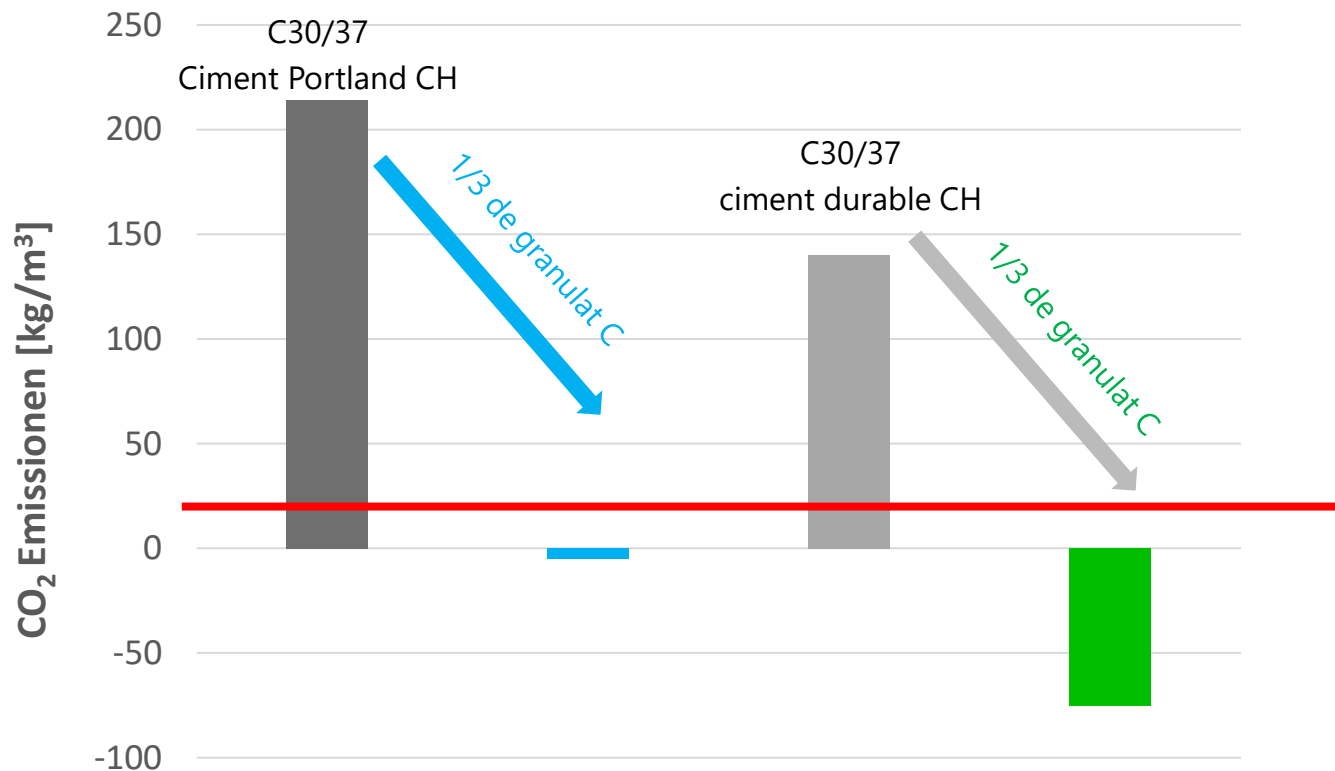
Cold-bonded biochar-rich lightweight aggregates for net-zero concrete

Mateusz Wyrzykowski<sup>a,\*</sup>, Nikolajs Toropovs<sup>a</sup>, Frank Winnefeld<sup>a</sup>, Pietro Lura<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Dübendorf, CH-8600, Switzerland

<sup>b</sup> Institute for Building Materials, ETH Zurich, Zurich, CH-8092, Switzerland

# Le béton avec un bilan carbone négatif – plus qu'un rêve





# Le carbone dans le béton

## – quels sont les obstacles ? (1)

### Permanence du stockage – point de vue

- European Biochar Industry « Position Paper » :
  - Le charbon végétal seul est permanent (si fabriqué à  $>550^{\circ}\text{C}$ )...
  - ...et restera ainsi dans le béton (sauf traitement thermique)
- Scénario de fin de vie : le béton contenant du charbon végétal peut être réutilisé, recyclé, downcyclé ou mis en décharge

**Il doit encore faire ses preuves sur le plan expérimental !**

# Le carbone dans le béton

## – quels sont les obstacles ? (2)

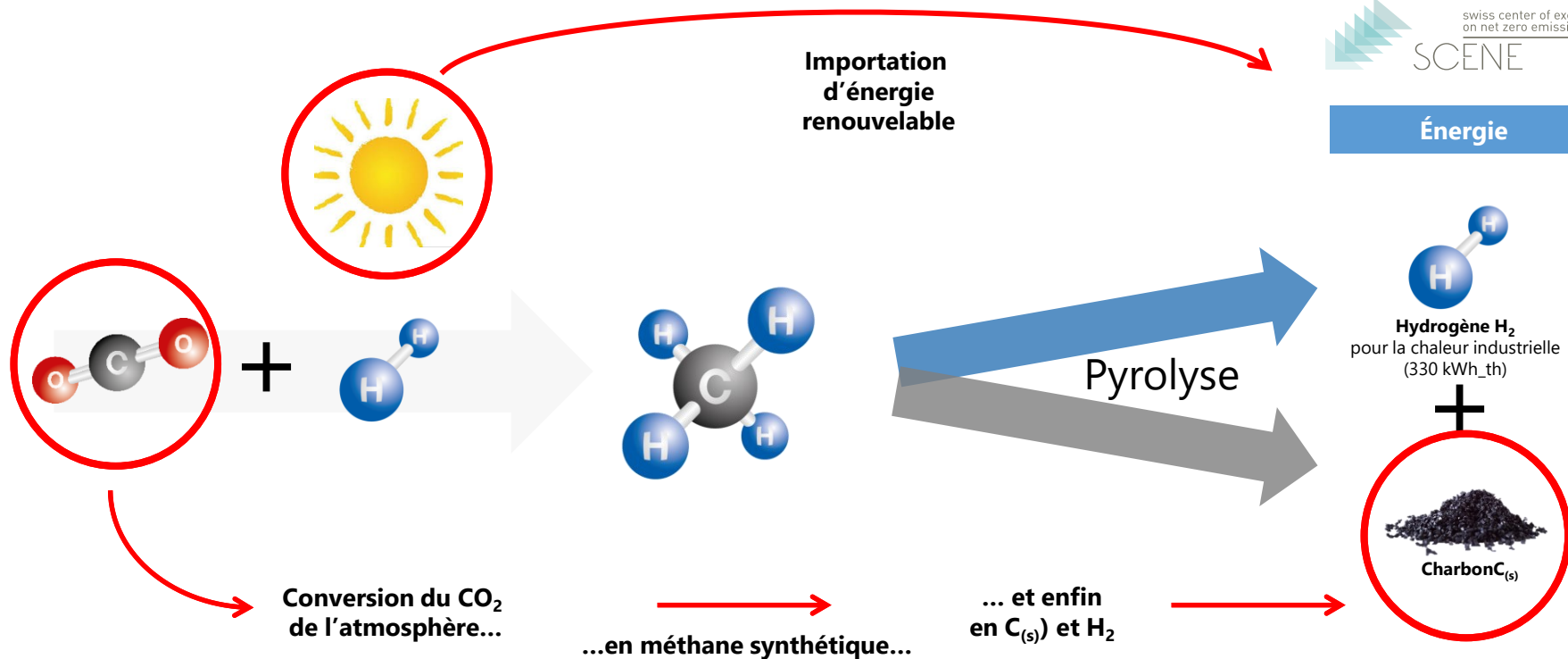
### Conformité aux normes

- SIA 215/2 : « *Le carbone élémentaire selon ISO 10694 ne doit pas dépasser 2 % **ou doit être déclaré.*** »  
« *D'autres déchets sont autorisés s'ils respectent les valeurs limites pour les substances dangereuses selon l'OLED, annexe 3, ch. 2, let. c.* »

### Défis techniques

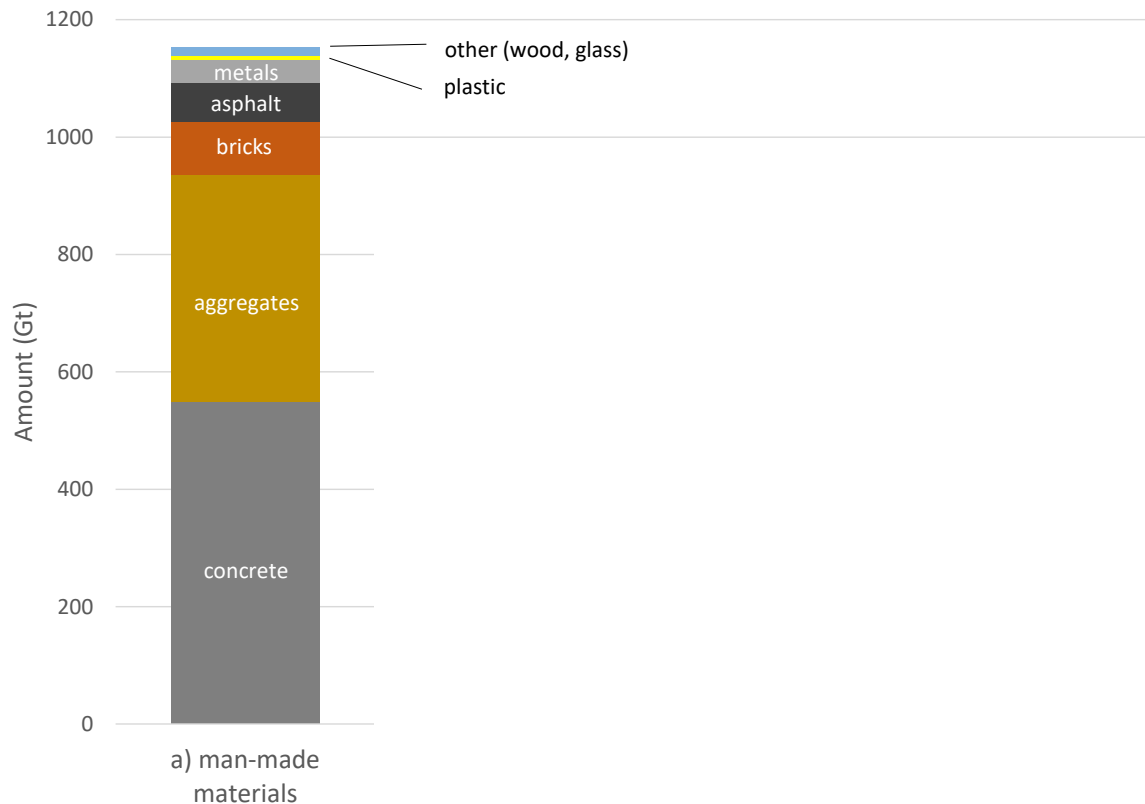
- Variabilité du CV
- Porosité élevée : besoin élevé en eau, le CV absorbe les additifs
- Formation de poussières
- Voir C-LWA Pellets

# Carbon Capture and Use

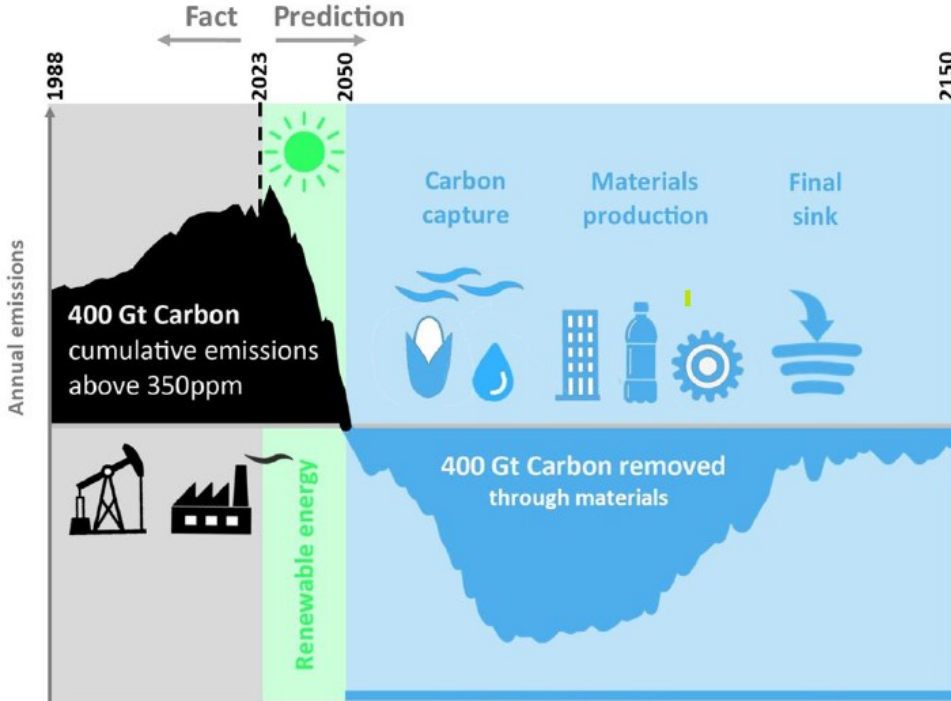


1. Étape : utilisation non énergétique
2. Étape : **puits final**

# Composition des matériaux créés par l'homme



# Initiative de l'Empa « Mining the atmosphere » (1)



Resources, Conservation & Recycling 212 (2025) 107968



Contents lists available at ScienceDirect

Resources, Conservation & Recycling

journal homepage: [www.sciencedirect.com/journal/resources-conservation-and-recycling](http://www.sciencedirect.com/journal/resources-conservation-and-recycling)



## Mining the atmosphere: A concrete solution to global warming

Pietro Lura<sup>a,b,\*</sup>, Ivan Lunati<sup>a</sup>, Harald Desing<sup>a</sup>, Manfred Heuberger<sup>a,c</sup>, Christian Bach<sup>a</sup>, Peter Richner<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Dübendorf CH-8600, Switzerland

<sup>b</sup> ETH Zurich, Institute for Building Materials, Zurich CH-8092, Switzerland

<sup>c</sup> Department of Materials, ETH Zürich, Zurich CH-8092, Switzerland

### ARTICLE INFO

**Keywords:**  
Pyrolysis  
Solid carbon  
Concrete  
Aggregates  
Renewable energy  
Mining the atmosphere

### ABSTRACT

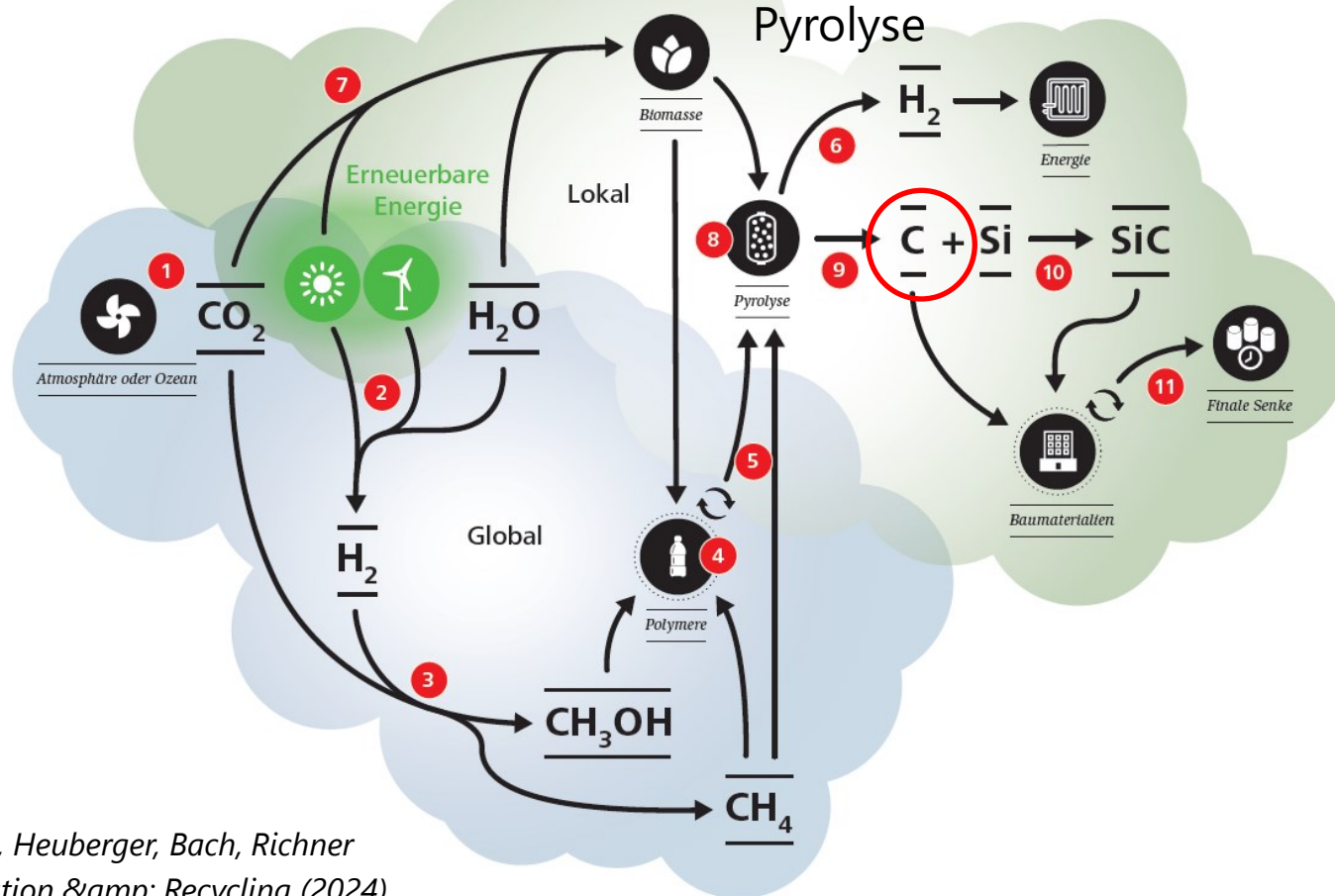
To neutralize anthropogenic climate impacts, excess carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) – about 400 Gt of carbon – needs to be removed from the atmosphere. After the energy transition is accomplished, we propose that excess renewable energy can be used to extract CO<sub>2</sub> from the atmosphere and convert it into methane or methanol, which are further processed into polymers, hydrogen, and solid carbon. End-of-life polymers are pyrolysed and part of the carbon is used to produce silicon carbide. Solid carbon and silicon carbide become then aggregates and fillers for concrete and asphalt. At the end of their lifecycle, landfilled construction materials become the final carbon sink. Up to 12 Gt of carbon could be stored per year, mostly as concrete aggregates. The synthesis of carbon-based materials in cycles of increased chemical reduction has multiple advantages, including long-term stability, high storage density of the carbon, decentralized implementation, and replacement of current CO<sub>2</sub>-emitting materials.

Image : Maladie de Zaumanis

<https://www.empa.ch/web/s604/mining-the-atmosphere>



# Initiative de l'Empa « Mining the atmosphere » (2)



# Le béton, un puits de carbone permanent

