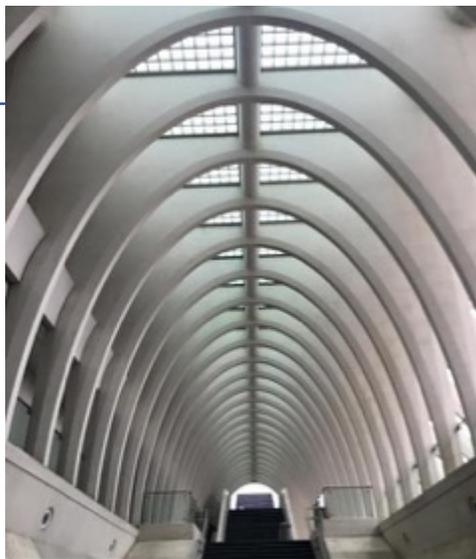


## Une transformation d'une ampleur et d'une vitesse sans précédent les secteurs du ciment et de la chaux vers la neutralité carbone

SEII

Ir Bernard Mathieu

21 juin 2023



**Liège, Belgium**



**London, UK**



**Paris, France**



**Geneva, Switzerland**



**Zürich, Switzerland**



**Sao Paulo, Brasil**

# « Les industries de procédés »

# Les industries de procédés: secteurs intensifs en énergie et en ressources produisant des matériaux et produits 'intermédiaires'

## Le secteur chimique (ex. BASF, Anvers)



©Christophe Vander Eecken

## Le secteur de l'aluminium et des métaux non-ferreux



## Le secteur cimentier (ex. CBR)



©Paul Poels

## Le secteur sidérurgique (ex. ArcelorMittal, Lorraine)



## Le secteur de la chaux (ex. Lhoist)



©Lhoist

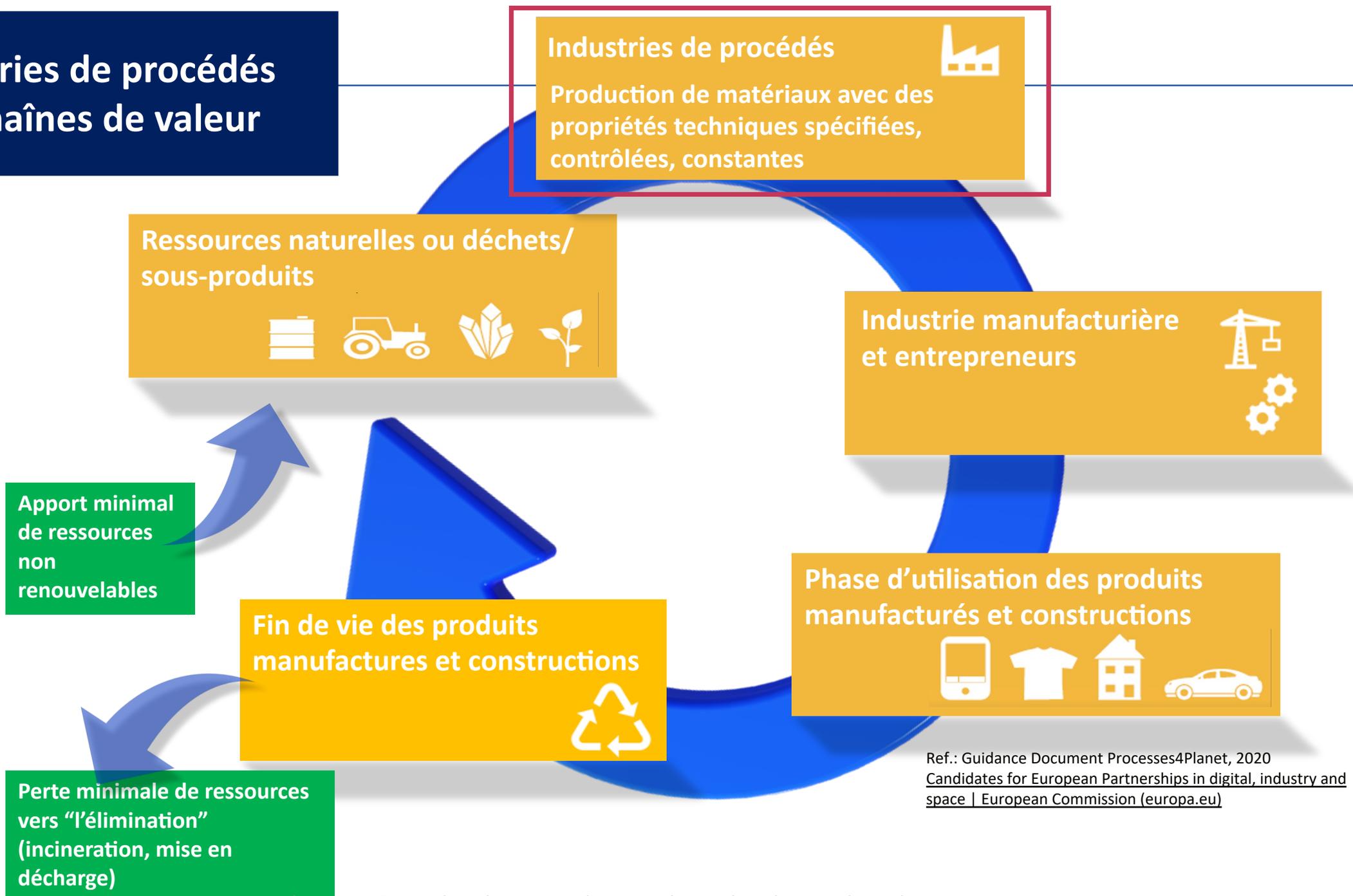
## Le secteur des céramiques et réfractaires (ex. Beref, Mons)



© Beref

+ Verre + Papier + ...

# Les industries de procédés et leurs chaînes de valeur



Industries de procédés



Production de matériaux avec des propriétés techniques spécifiées, contrôlées, constantes

Ressources naturelles ou déchets/sous-produits



Industrie manufacturière et entrepreneurs



Apport minimal de ressources non renouvelables

Fin de vie des produits manufactures et constructions



Phase d'utilisation des produits manufacturés et constructions



Perte minimale de ressources vers "l'élimination" (incinération, mise en décharge)

Ref.: Guidance Document Processes4Planet, 2020  
Candidates for European Partnerships in digital, industry and space | European Commission (europa.eu)

## Prise de conscience récente: importance d'une stratégie industrielle européenne

« Une présence renforcée de chaînes de valeur entières sur le territoire européen est essentielle pour accroître la **résilience** de la société européenne face aux événements inattendus et aux crises pouvant bouleverser les échanges commerciaux mondiaux – comme cela a été récemment le cas lors de la crise du Covid-19.

**Notre ambition collective doit être de rapprocher géographiquement la production de biens essentiels des utilisateurs finaux. »**

Ref.: Guidance Document Processes4Planet, 2020  
[Candidates for European Partnerships in digital, industry and space | European Commission \(europa.eu\)](#)

# Le ciment et la chaux: l'avenir issu de la terre

**vs.**

*notre avenir remis en question  
par... le transfert de carbone de la terre  
vers l'atmosphère*

## Le ciment et la chaux

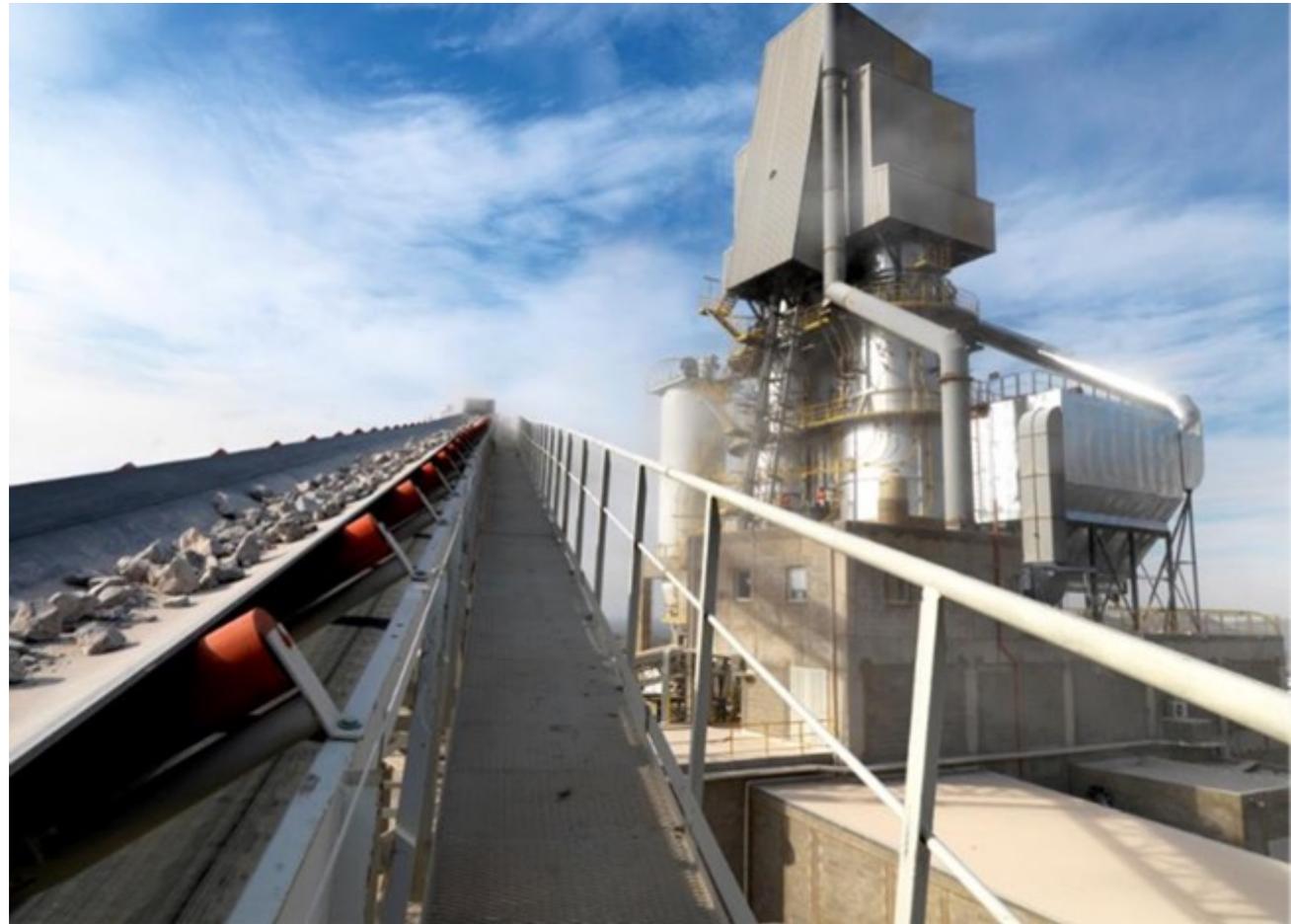
*des industries qui s'appuient  
sur les ressources de notre  
sous-sol*

*(et de plus en plus  
des ressources-déchets)*



[Cette photo](#) par Auteur inconnu est soumise à la licence [CC BY-NC](#)





# Producteurs de ciment et de chaux actifs en Belgique

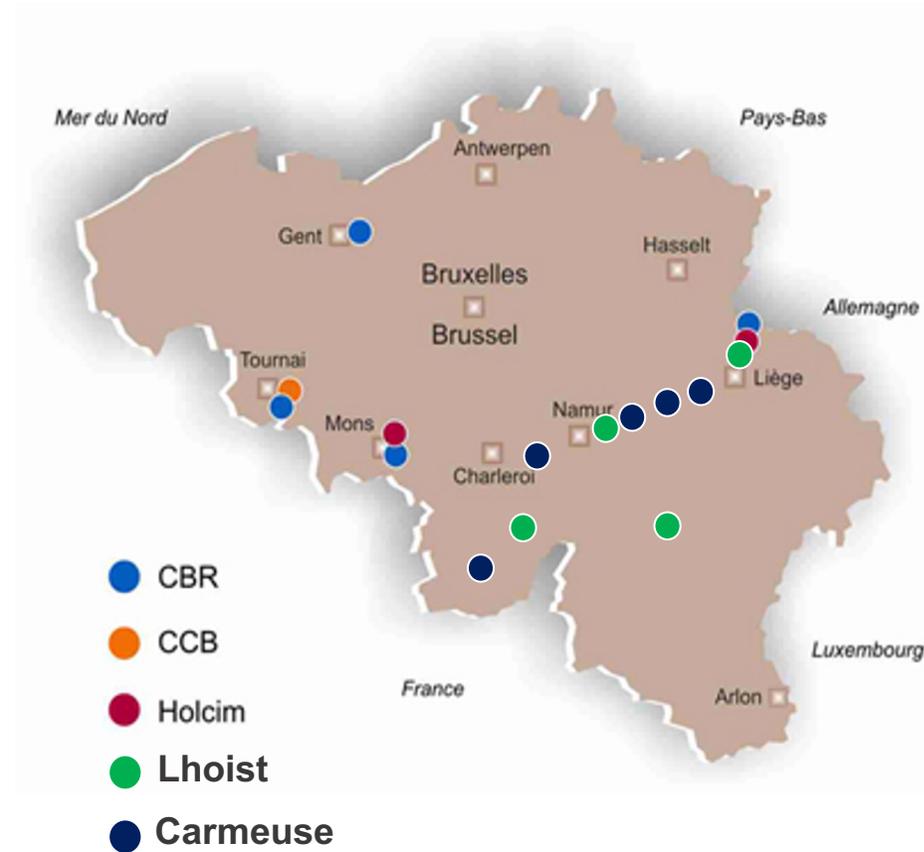
## Ciment :

environ 6,7 millions de tonnes



## Chaux :

environ 1,5 millions de tonnes



---

# Satisfaire des besoins essentiels de notre société **tout en réduisant drastiquement** son empreinte environnementale

*(pour permettre la satisfaction des besoins des générations futures – Rapport Brundtland 1987)*



# **Le béton a des propriétés spécifiques qui le rendent *(en très grande partie)* irremplaçable**

*(impossible à substituer à large échelle par d'autres matériaux)*



**Durabilité dans le temps**  
**/ résilience**



**Inertie thermique**



**Versatilité**

**Résistance au feu**



**Faible coût (cycle de vie)**

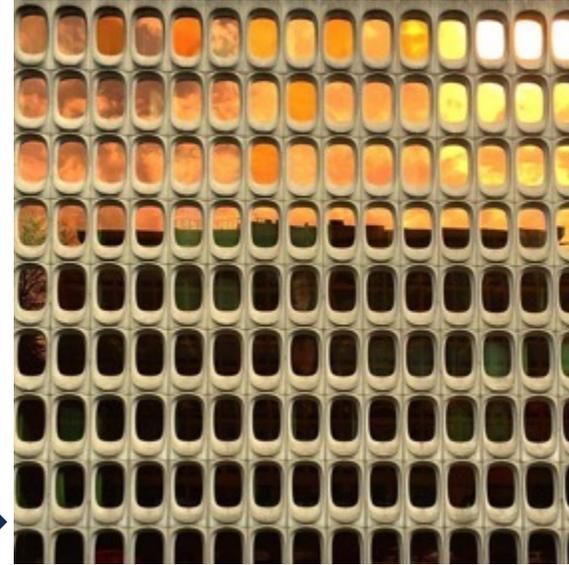
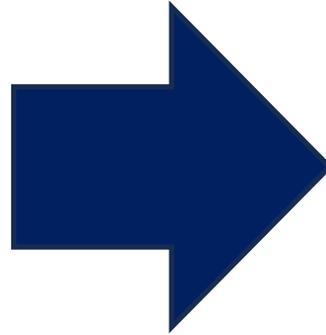


**Béton préfabriqué,**

**Béton prêt à l'emploi**

**Mortiers secs ou préparés**

**Coulis de ciment**



# Travaux d'infrastructure pour la neutralité carbone et l'adaptation au changement climatique

Réseaux de transports publics

Infrastructures de gestion de l'eau

Solutions de collecte de l'eau de pluie

Infrastructures de résilience face aux phénomènes climatiques extrêmes

Protection contre la montée des mers





**La chaux est un maillon  
indispensable d'une multitude  
de chaînes de valeur**



**Acier**



**Traitement des fumées  
protection de l'environnement**



**Génie civil / infrastructure**



**Matériaux de construction**



**Agriculture et élevage**



**Traitement de l'eau**

**+ métaux non ferreux, verre, ...**



# Le béton et la chaux ont aussi de (grosses) faiblesses

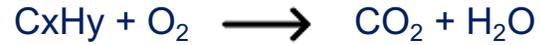


**Empreinte carbone  
initiale  
(énergie grise /  
'embodied CO<sub>2</sub>' )**

*sans possibilité de réduction  
par le recyclage  
(contrairement à l'acier,  
l'aluminium, le verre, ...)*

**Consommation élevée  
de ressources  
minérales non  
renouvelables**

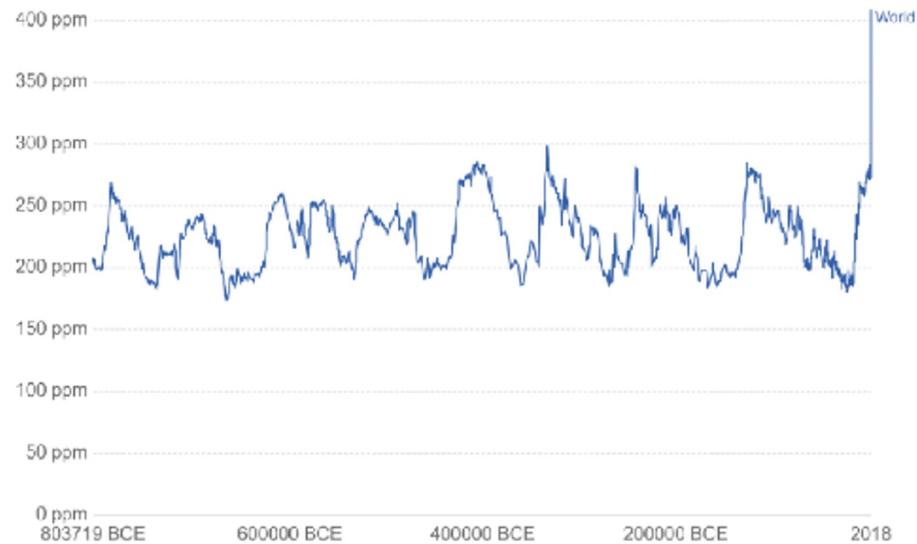
- Ces secteurs industriels participent
- à la perturbation par l'homme du cycle naturel du carbone



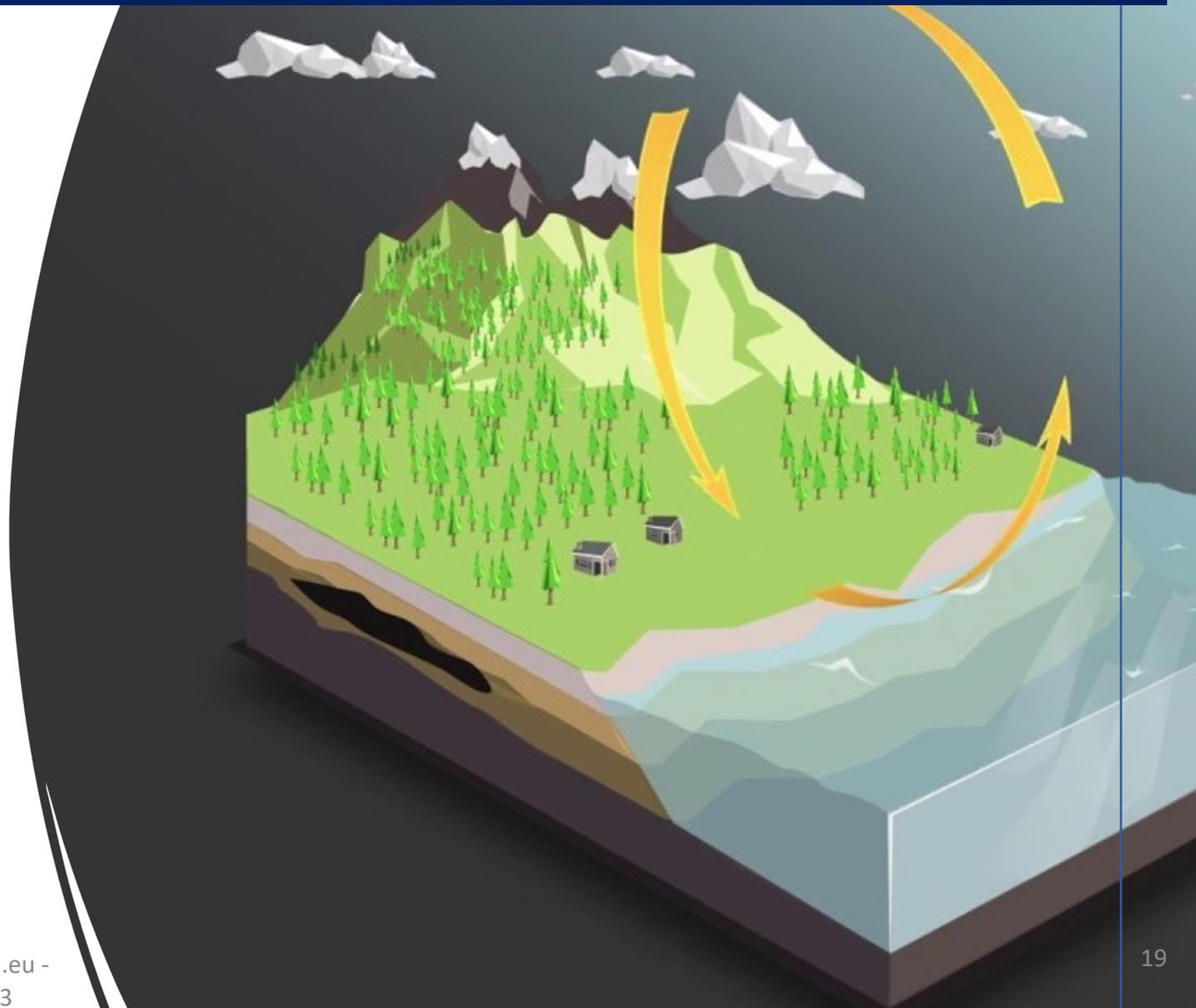
### Atmospheric CO<sub>2</sub> concentration

Global average long-term atmospheric concentration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), measured in parts per million (ppm). Long-term trends in CO<sub>2</sub> concentrations can be measured at high-resolution using preserved air samples from ice cores.

Our World  
in Data

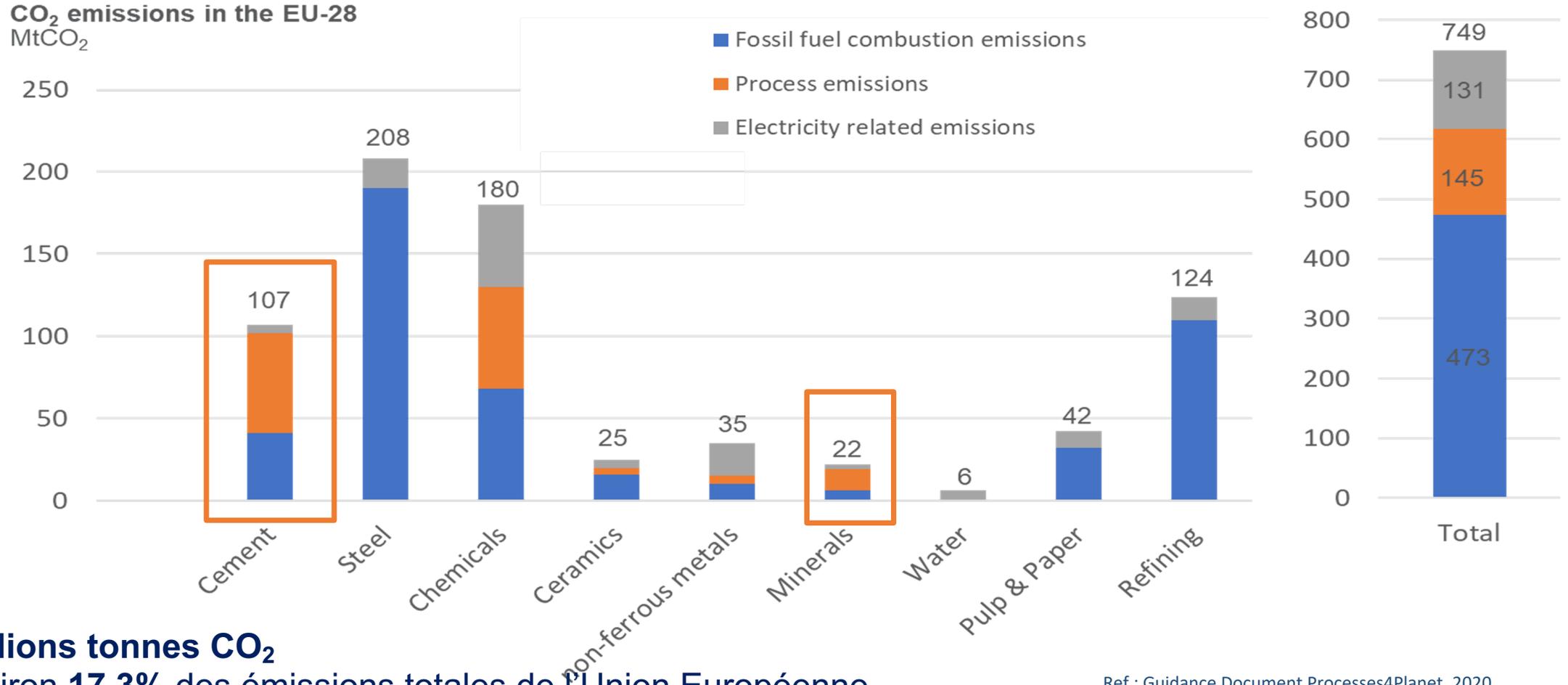


Source: EPICA Dome C CO<sub>2</sub> record (2002-2018), Global Development and Organizations, Earth and Environmental Science, CO<sub>2</sub> emissions - CC BY



# Emissions totales des « industries de procédés » dans l'Union Européenne

CO<sub>2</sub> emissions in the EU-28  
MtCO<sub>2</sub>



**749 Millions tonnes CO<sub>2</sub>**  
soit environ **17.3%** des émissions totales de l'Union Européenne  
(ref. : EEA, 2019, émissions annuelles, UE 28).

Ref.: Guidance Document Processes4Planet, 2020  
Candidates for European Partnerships in digital, industry and  
space | European Commission (europa.eu)

# L'Union Européenne représente environ 7% de la production mondiale de ciment (chiffres 2022)



**Emissions totales mondiales  
du secteur cimentier  
estimées à  
environ 2,7 Giga tonnes CO<sub>2</sub>**

*(5 à 8% des émissions totales)*

*Le secteur de la chaux:  
moins de 20% de cette valeur ?  
(chiffres non confirmés)*



# Quelles innovations technologiques et non technologiques pour réduire l'empreinte climatique de ces secteurs ?

# Processus de fabrication de la chaux

## Extraction et preparation des matières premières

### Extraction de la pierre en carrière

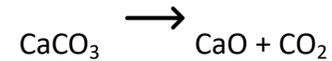
Calcaire ou dolomie

### Préparation des matières premières

Concasseurs, broyeurs, criblage

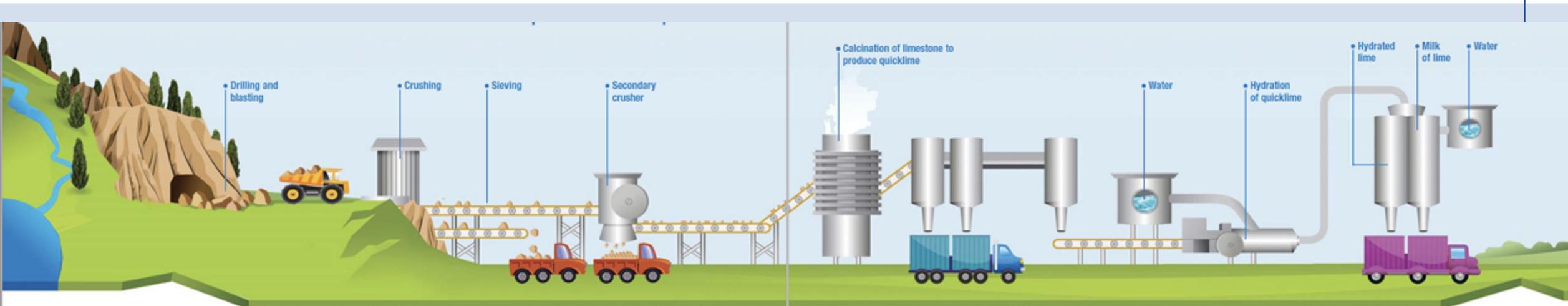
## Calcination

A environ 900°C, la réaction de décarbonatation transforme le calcaire en chaux vive.



## Broyage/ Hydratation

Chaux vive ou chaux hydratée



Schematic flow-chart of the lime production process – source: European Lime Association

# Processus de fabrication de la chaux

## 6 grands types de fours pour la cuisson de la chaux

Kiln type	Energy type used for lime and dolime manufacture	
	Heat use/consumption <sup>(1)</sup> GJ/tonne	Kiln electricity use kWh/tonne
Long rotary kilns (LRK)	6.0–9.2	18–25
Rotary kilns with preheater (PRK)	5.1–7.8	17–45
Parallel flow regenerative kilns (PFRK)	3.2–4.2	20–40
Annular shaft kilns (ASK)	3.3–4.9	18–35 <sup>(2)</sup> Up to 50 <sup>(3)</sup>
Mixed feed shaft kilns (MFSK)	3.4–4.7	5–15
Other kilns (OK)	3.5–7.0	20–40

<sup>(1)</sup> Heat use/consumption represents about 80 % of the total energy consumption to produce lime  
<sup>(2)</sup> For limestone grain sizes of between 40 and 150 mm  
<sup>(3)</sup> For limestone grain sizes of <40 mm  
*Source:* [46, Germany, 2006], [54, EuLA, 2006], [64, Czech Republic, 2006], [168, TWG CLM, 2007]

Les émissions de CO<sub>2</sub> de procédé: environ **70%** des émissions totales directes des fours à chaux

Source: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control), Frauke Schorcht, Ioanna Kourti, Bianca Maria Scalet, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho, 2013.

# Processus de fabrication du ciment

## Extraction et preparation des matières premières

**Extraction de la pierre en carrière**  
calcaire  
**Concassage**

**Ajout d'autres composants:**  
 $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

**Préparation du cru / de la farine:**  
broyage, homogénéisation

## Calcination et clinkérisation

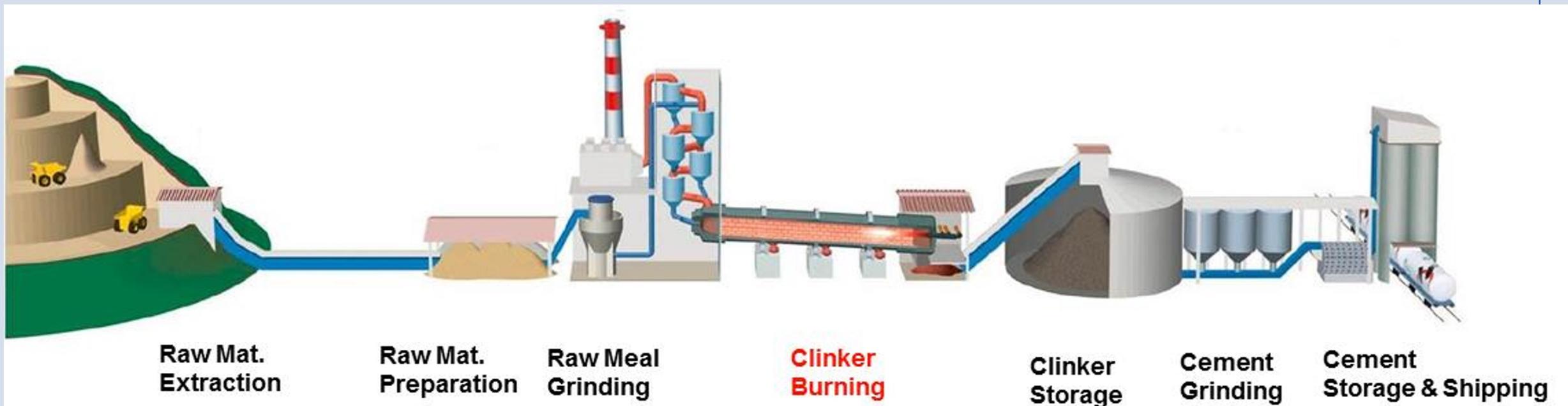
**Calcination du calcaire**  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$  (900°C)

**Clinkérisation:** réactions du CaO avec les autres oxydes de Si, Al et Fe pour former du clinker (1450°C)

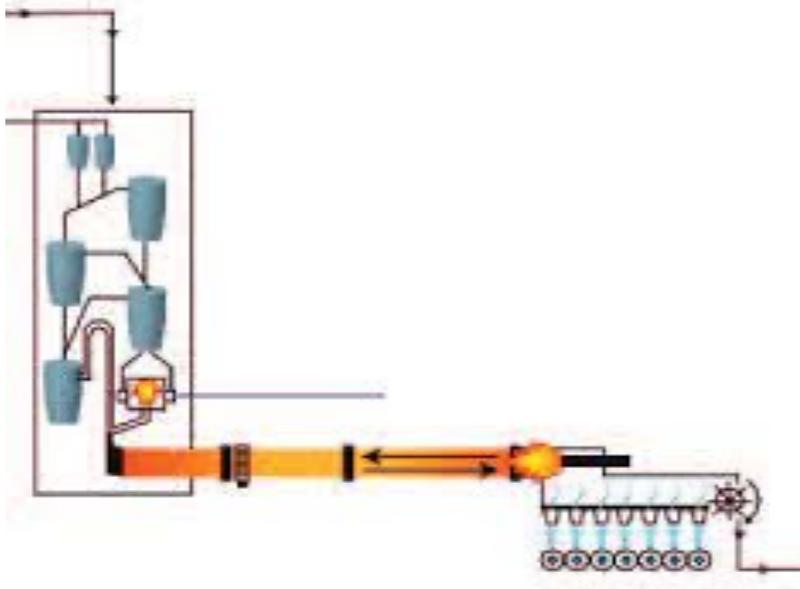
**Trempe** du clinker

## Mouture des divers types de ciments

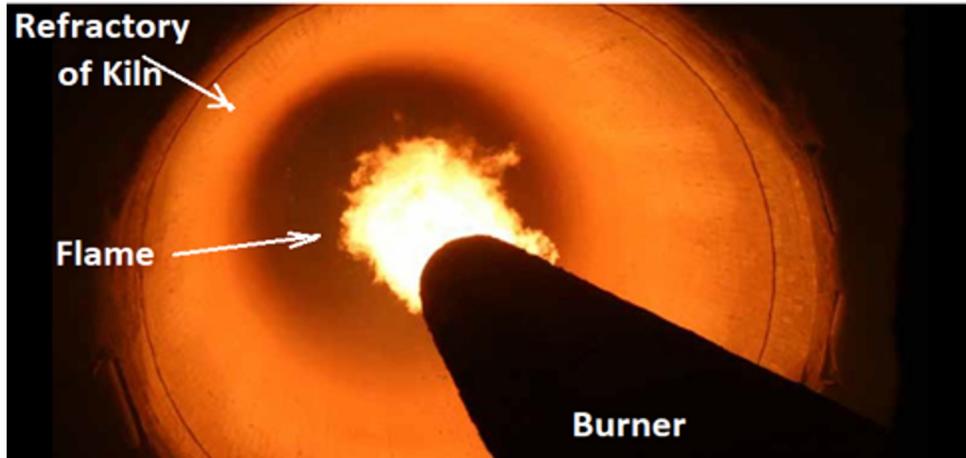
**Broyage** du clinker avec les autres composants du ciment: gypse, laitier, cendres volantes, calcaire broyé, ...



# Processus de fabrication du ciment



Les émissions de CO<sub>2</sub> de procédé: environ **60%** des émissions totales directes des fours à clinker



# Les leviers d'action du secteur cimentier vers la neutralité carbone

## **Clinker :**

Utilisation de matières premières décarbonatées

Co-processing de déchets et biomasse

Amélioration de l'efficacité énergétique des fours

Capture du CO<sub>2</sub> et stockage/utilisation

## **Béton:**

Optimisation de la composition des bétons

Normes basées sur la performance plutôt que la composition

## **(Re) carbonatation du béton:**

Impact quantifié récemment (environ 6%) et reconnu dans un rapport du GIEC (Sixth Assessment Report 2021)

## **Ciment :**

substitution d'une partie du clinker dans les ciments argiles calcinées, ou autres substituts (calcaire broyé, fines de béton recyclé, etc)

## **Construction:**

utilisation responsable du béton

**Destination Zéro**



# « Sufficiency »: sobriété, efficacité matière



**Extension de la durée de vie des structures  
en béton**

(source: projet ZIN, Bruxelles)

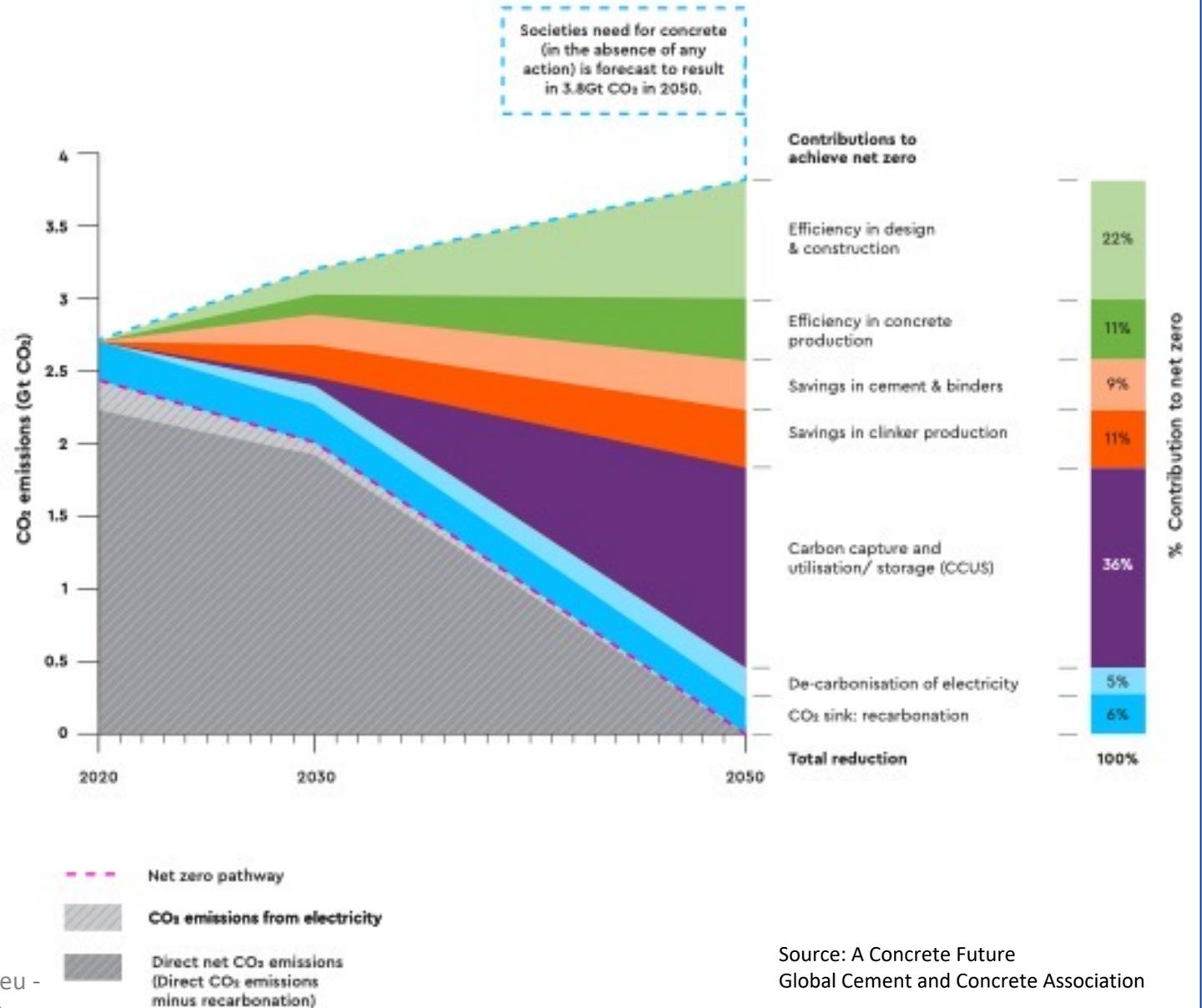


**Structures plus fines**

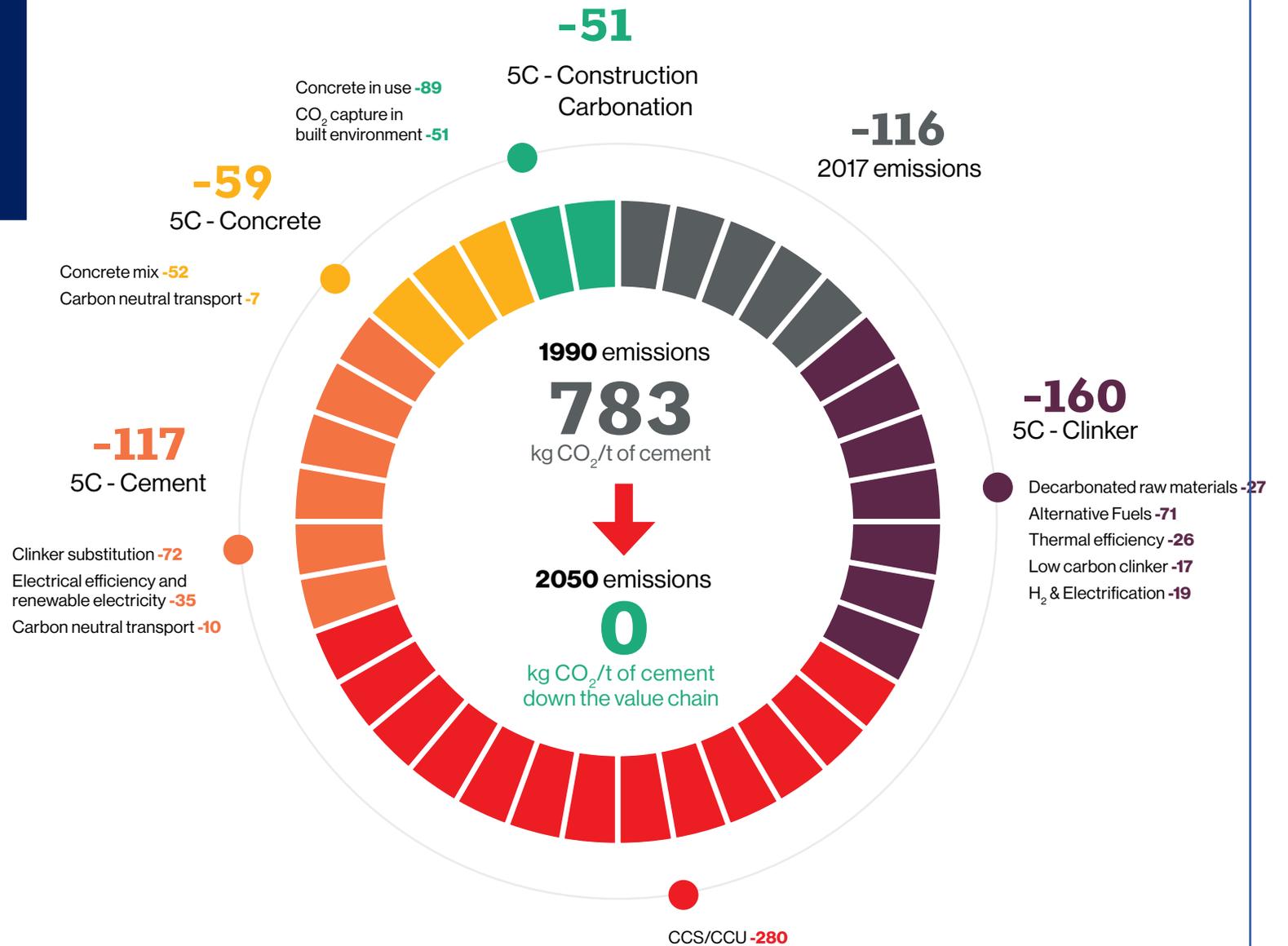
**+ Réduction des surfaces moyennes, partage des surfaces + Fin de l'étalement urbain**

# Feuille de route du secteur cimentier mondial vers la neutralité carbone

## The Net Zero Pathway



# Feuille de route du secteur cimentier européen vers la neutralité carbone



# Les leviers d'action du secteur chaufournier vers la neutralité carbone

## Efficacité énergétique des fours :

A long terme, les technologies les moins efficaces énergétiquement ne devraient être utilisées que pour les produits de spécialités (ex. chaux dolomitique frittée)

## CCUS

Capture du CO<sub>2</sub> et stockage/utilisation

## Carbonatation de la chaux

Environ 1/3 du CO<sub>2</sub> de procédé émis lors de la fabrication de la chaux est recapturé spontanément

## Changement de vecteurs énergétiques

Électrification, passage à l'hydrogène/e-fuels, combustibles dérivés de la biomasse ou dérivés de déchets

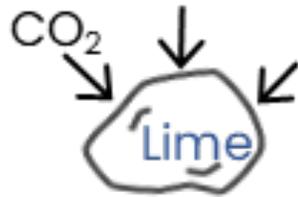
## Efficacité matière:

Réduction des dosages de matière décarbonatée pour le même usage

**Destination Zéro**

# Les leviers d'action du secteur chaufournier vers la neutralité carbone

## 2 spécificités



Pendant la durée de vie des produits dans lesquels la chaux est utilisée, du CO<sub>2</sub> atmosphérique est capturé.

Politecnico di Milano: jusqu'à **33% du CO<sub>2</sub> de procédé émis** est recapturé spontanément.

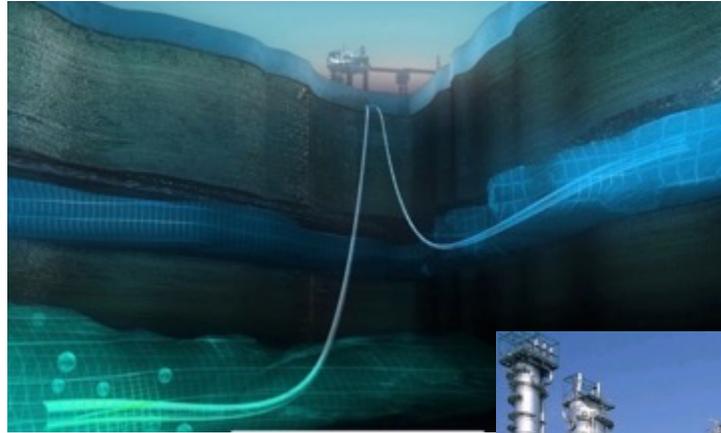
## BECCS

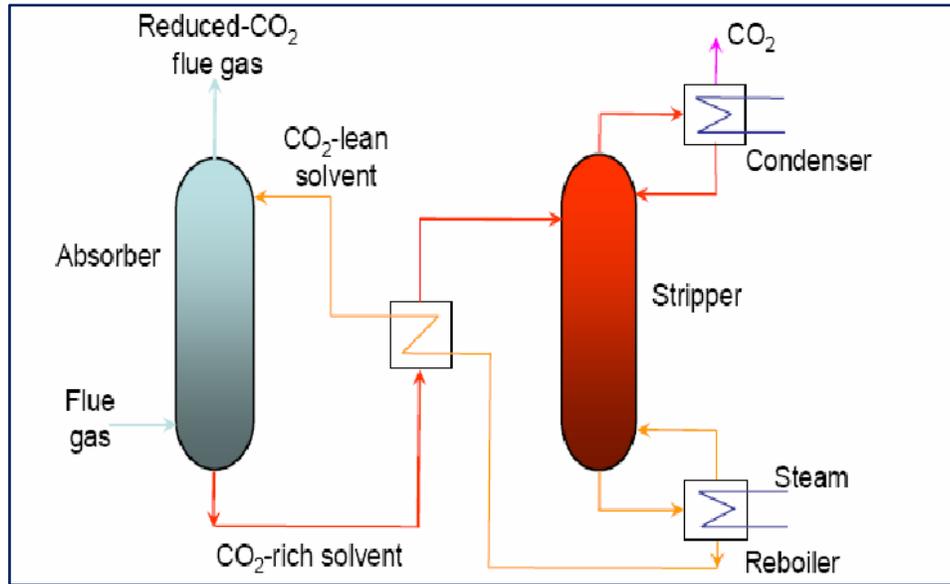
Bioenergy with carbon capture and storage

Un four à chaux fonctionnant - partiellement ou totalement - avec des combustibles biomasse et équipé de CCS agit comme un « **extracteur de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère** » extrêmement efficace.

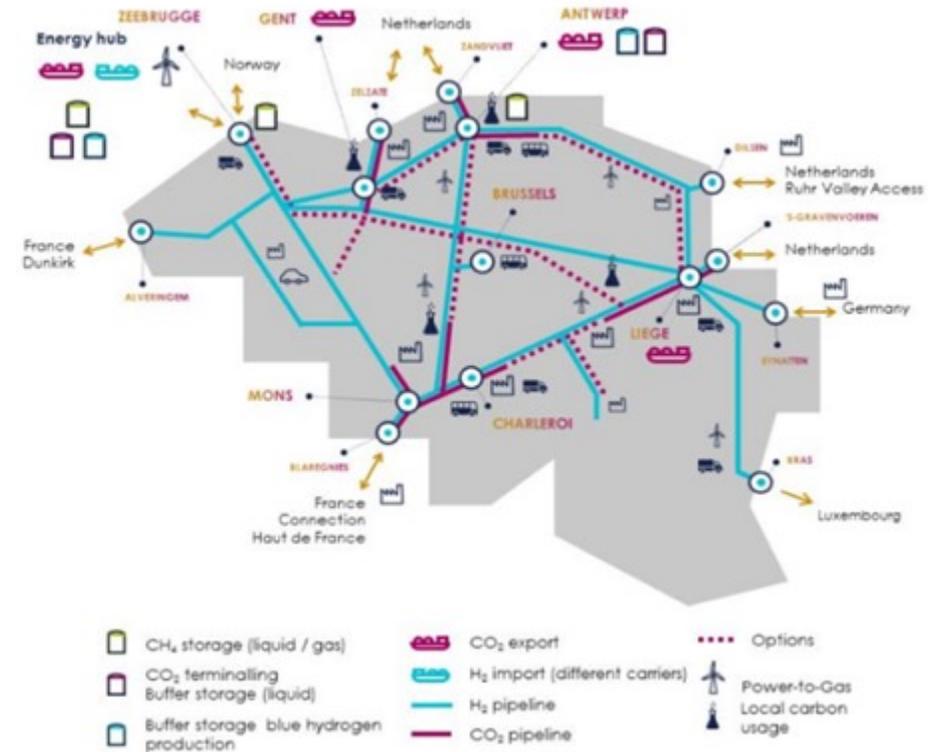
Il élimine de manière permanente le CO<sub>2</sub> absorbé pendant la croissance des ressources de biomasse, tout en générant un produit ayant la capacité de lier de manière permanente le CO<sub>2</sub> atmosphérique grâce à une réaction chimique de carbonatation.

# Carbon Capture and Utilisation or Storage

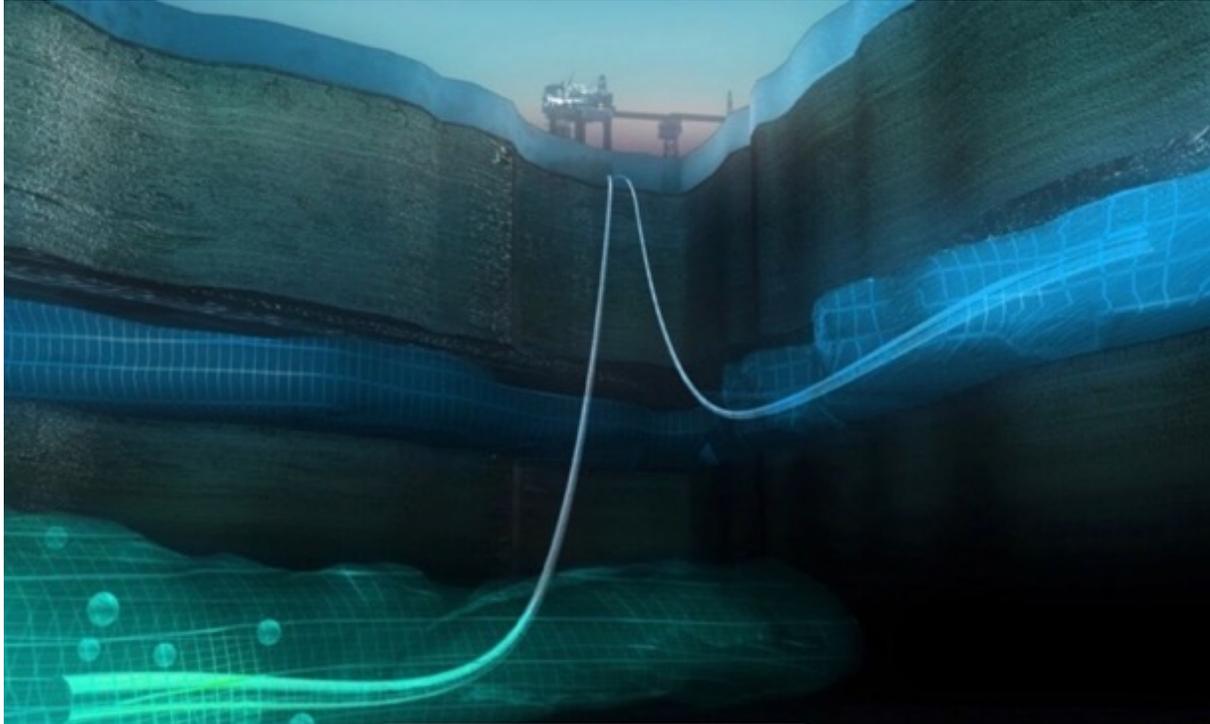




**Schéma de procédé :  
capture du CO<sub>2</sub> avec un solvant amine (Mohammed Isah,  
2014)**



**Plan de développement d'un réseau de pipelines et  
de terminaux CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub> en Belgique  
(source : Fluxys)**

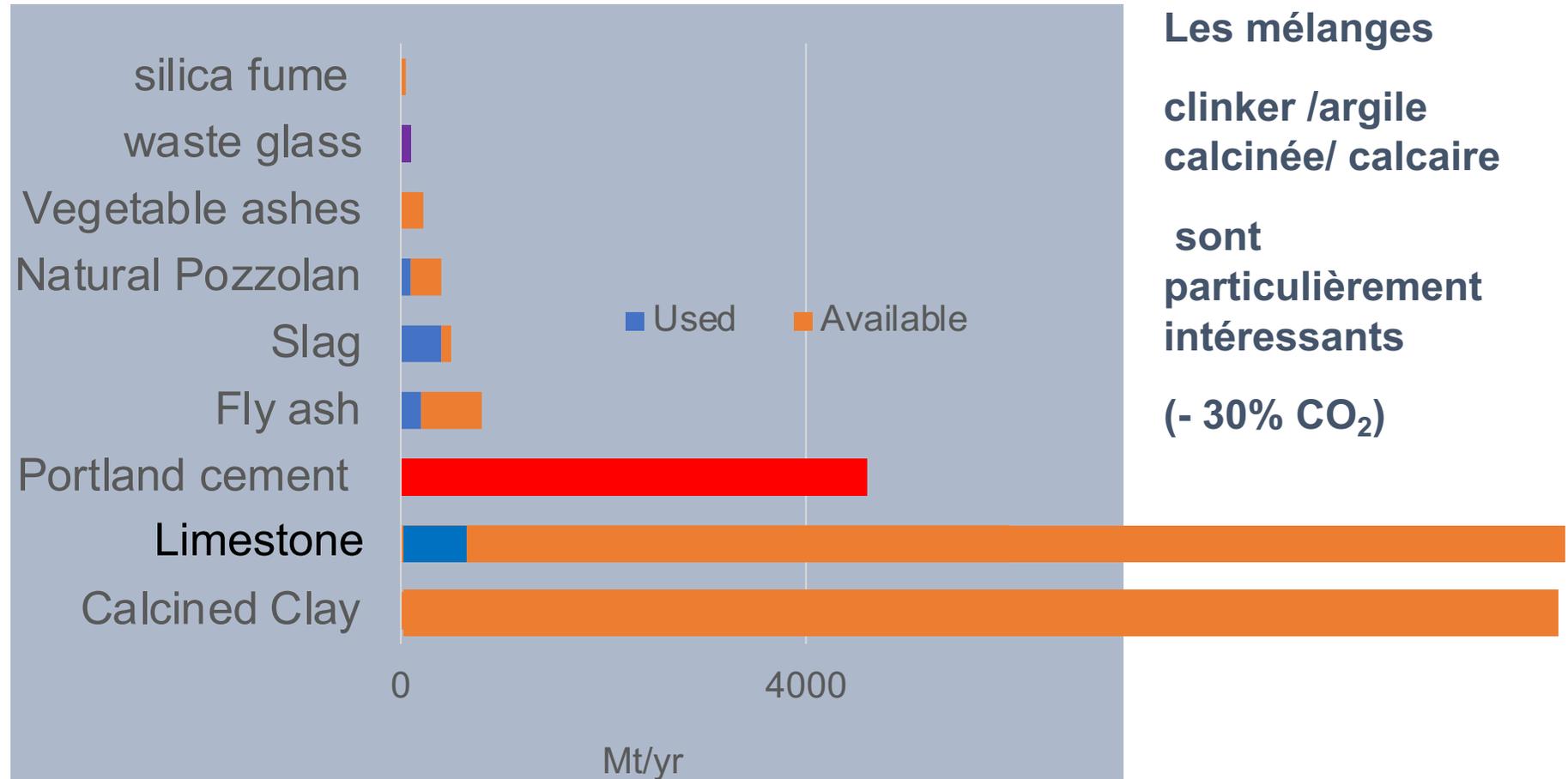


**Injection dans des formations géologiques profondes**



**Utilisation dans la production de composés chimiques, d'e-fuels, de matériaux de construction carbonatés**

# Les ciments aux argiles calcinées: nouveau substitut clinker



Les mélanges  
clinker /argile  
calcinée/ calcaire  
sont  
particulièrement  
intéressants  
(- 30% CO<sub>2</sub>)

# Projets dans le secteur du ciment en Belgique: exemples

## **ANTHEMIS:** HeidelbergMaterials Antoing

technologies Oxyfuel et Amine dans une unité hybride  
800.000 tonnes de CO<sub>2</sub> capturées par an.

## **GO4ZERO:** Holcim Obourg

Four voie sèche, calcaire transporté par train depuis le Tournaisis  
Capture du carbone, transport et séquestration

## **CCB / Cimentir:** Gaurain-Ramecroix

Augmentation des combustibles de substitution  
Capture du carbone, transport et séquestration

## **LEILAC:** HeidelbergMaterials Lixhe

Unité de séparation du CO<sub>2</sub> de procédé, permettant l'obtention d'un gaz de haute pureté

# Projets dans le secteur de la chaux en Belgique: exemples

## POWER TO METHANE / COLUMBUS PROJECT Carmeuse / ENGIE / John Cockerill

Up to 160 kt CO<sub>2</sub> emissions avoided/y

This Carbon Capture and Utilisation (“CCU”) project will concentrate CO<sub>2</sub> from an innovative type of lime kiln and combine it with green hydrogen to produce synthetic methane, that can be injected into the gas grid or used in the transport or industry sectors. The green hydrogen will be produced by a 100 MW electrolysis unit, powered by renewable electricity.

## CO<sub>2</sub>NCREAT PROJECT Lhoist / Prefer / Orbix / Fluxys

 20 kt CO<sub>2</sub> emissions avoided / y

The CO<sub>2</sub>NCREAT Project aims at utilising ca 20.000 tons/y of CO<sub>2</sub> captured from a lime kiln as feedstock for the production of construction blocks, incorporating residues from the stainless-steel industry. Liquefied CO<sub>2</sub> transportation between the capture and utilization units will be achieved through pipelines.

# Premier défi: accès compétitif aux infrastructures et vecteurs énergétiques nécessaires à la transformation

Accès à de  
l'électricité  
décarbonée à prix  
compétitif



Capacités suffisantes  
de stockage  
géologique du CO<sub>2</sub>



Accès à  
l'infrastructure de  
transport du CO<sub>2</sub>



Accès à des  
combustibles dérivés  
de la biomasse, de  
déchets, à  
l'hydrogène vert et  
aux e-fuels



## Deuxième défi: financer la transformation

Le déploiement des innovations à grande échelle requiert des investissements massifs: **1,5 milliards à 2 milliards d'euros d'investissements nécessaires pour la décarbonation du seul secteur du ciment en Wallonie**

Si l'objectif de neutralité carbone doit être atteint en 2050, les technologies doivent être validées et prêtes à déployer dès 2030.

- **Secteurs “intensifs en capital”**: nécessité d'activer des ressources financières très élevées et de générer des volumes de production élevés pour garantir un retour sur investissement à la hauteur des attentes.
- **Cycles d'investissement très longs** (longue durée de vie des installations): ces secteurs n'ont qu'un à deux cycles d'investissement jusqu'en 2050.



## En conclusion



Coupole en béton du panthéon de Rome,  
2<sup>ème</sup> siècle



**L'avenir est aux ingénieur.e.s solidaires**

[www.isfbelgique.org](http://www.isfbelgique.org)  
[bmathieu@isfbelgique.org](mailto:bmathieu@isfbelgique.org)



# A new Executive Master in Sustainability Transformation



**10 months**

September > July



**2 days/week**

Fridays and Saturdays



**English**

## Common Core

**My personal manifesto**

**The burning platform**  
B. Collignon

**Leading Sustainable Transformations**  
V. Vangeel

**Measuring progress**  
**Assessing impacts**  
E. Tonga

## Optional modules

**Sustainable business strategies**  
C. Bande

**Sustainable Supply Chain**  
E. Van Poucke

**Enabling regulatory framework**  
A. Colombo

**Sustainable business culture**  
V. Vangeel

**Sustainable operations**  
B. Mathieu  
Key enabling technological and non technological innovations to achieve environmentally sustainable operations

**Diversity, equity and inclusion**  
C. Toma

**Sustainable Finance**  
M. Hudon, S. Bereau, C. Dumas

**Sustainable marketing**  
S. Rothenberger, C. Janssens, V. Bruneau

+ mandatory group project : real-world business case

Le premier Executive Master post-universitaire entièrement consacré à la transformation durable des entreprises

Organisé par la Solvay Brussels School

[bernard.mathieu@solvay.edu](mailto:bernard.mathieu@solvay.edu)

Présentation Bernard Mathieu - [www.hop3.eu](http://www.hop3.eu) - [bernard.mathieu@solvay.edu](mailto:bernard.mathieu@solvay.edu) - juin 2023

**Merci pour votre intérêt !**

[bernard.mathieu@solvay.edu](mailto:bernard.mathieu@solvay.edu)  
[bernard.mathieu@hop3.eu](mailto:bernard.mathieu@hop3.eu)