



**LAB**

CEMENT**LAB**

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS



France Ciment



**Laure HELARD**  
Déléguée Générale  
France Ciment



KEYNOTE D'INAUGURATION



Michèle PAPPALARDO  
Présidente de la Fondation  
Université Gustave Eiffel



**LAB**

CEMENT**LAB**

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS



France Ciment

The image shows a modern building facade with a green wall. The building has a curved, layered structure with horizontal lines. The green wall is composed of various plants and foliage. A large, light blue graphic overlay is present, consisting of a large circle on the left and a smaller circle on the right. The text is centered within the large circle.

# MIXITÉ DES MATÉRIAUX

Regards croisés

Mieux avec moins, grâce à la mixité des  
matériaux



**Jean-Philippe SPINELLI**

Architecte, Buzzo Spinelli



**Jacques BOUILLOT**

Développement Hors Site et Solutions Bas  
Carbone, Eiffage Construction



France Ciment



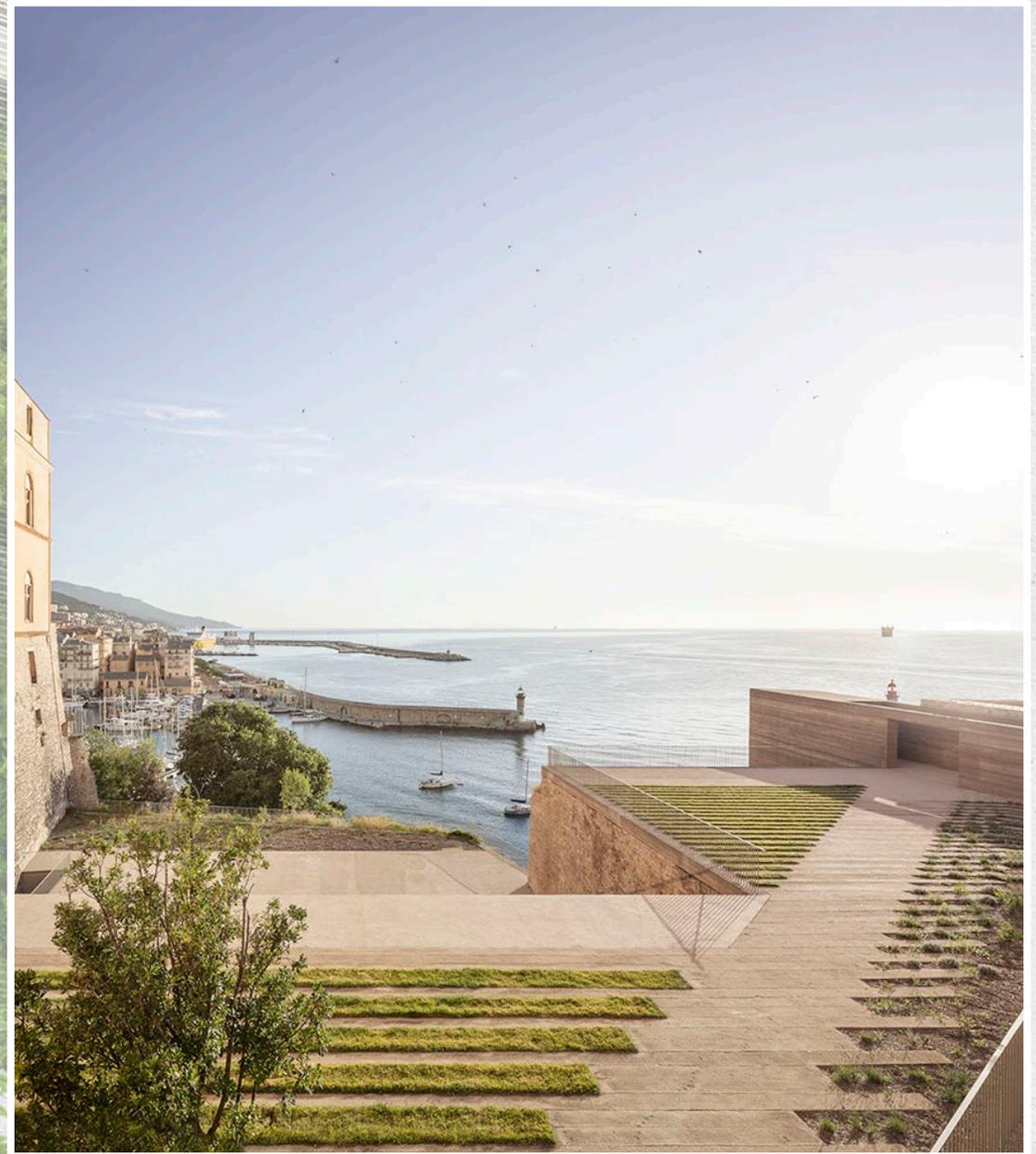
Crèche Montlaur



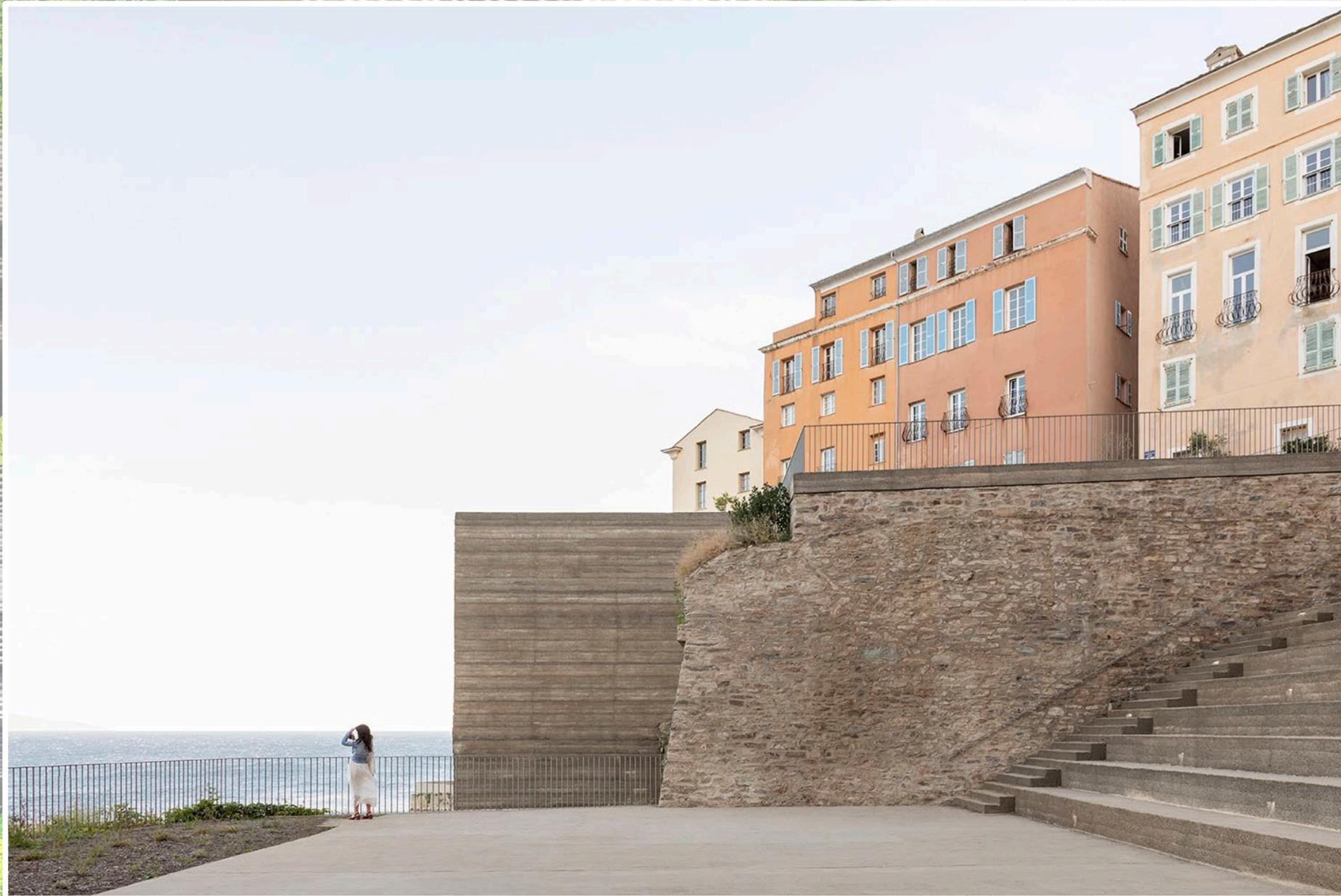
Crèche Montlaur



Crèche Montlaur



Mantinum



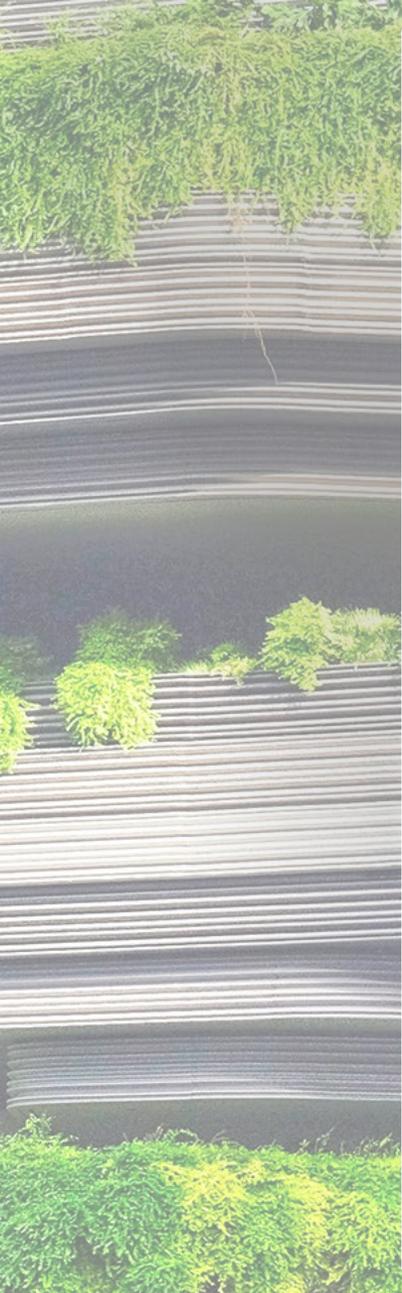
Mantinum



Mantinum



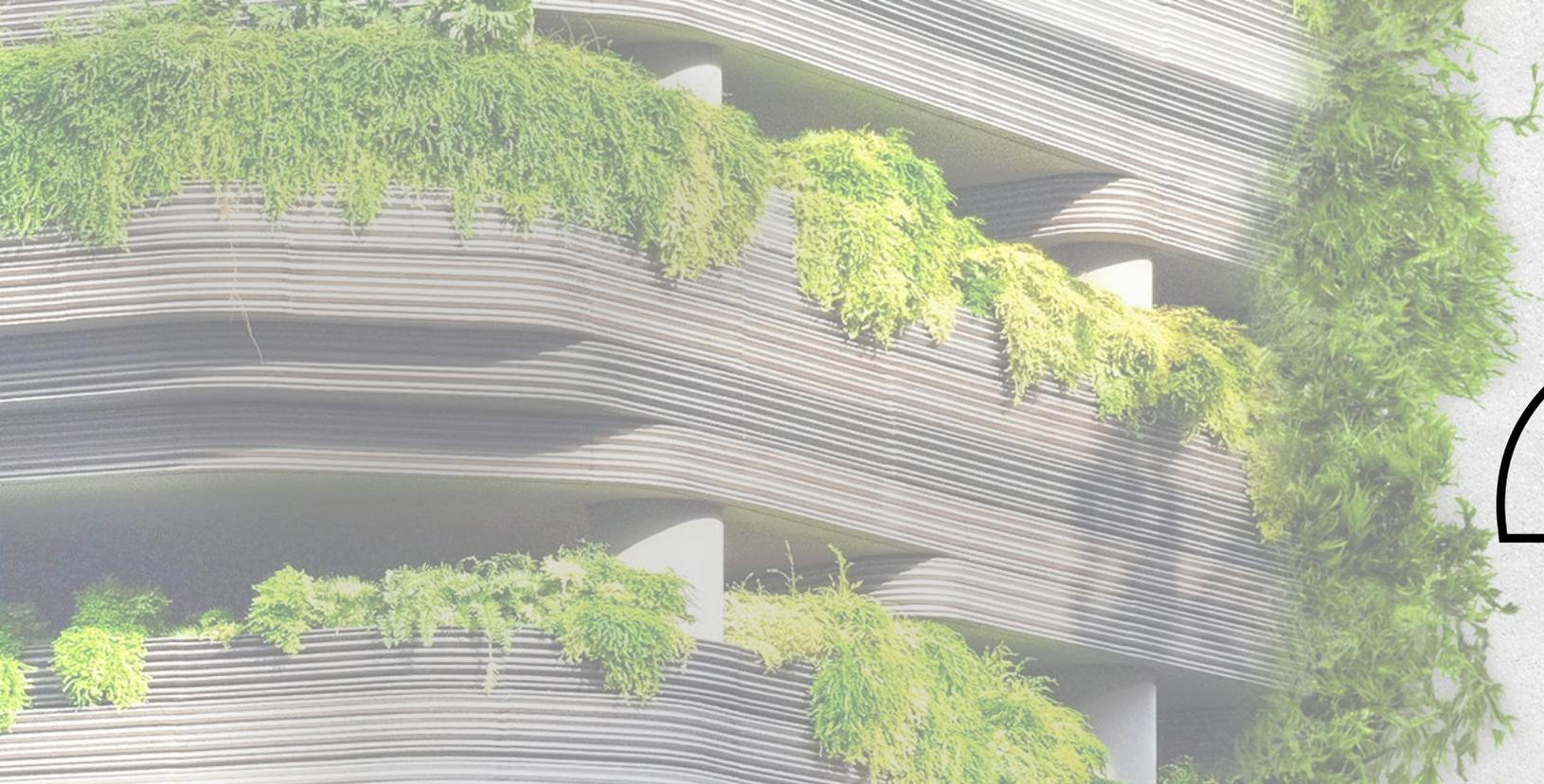
Mantinum



Vaugirard



Vaugirard



# SÉANCE Q & R





**LAB**

CEMENT**LAB**

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS



France Ciment



## LES PITCHS



**Bruno COSTANTINI**

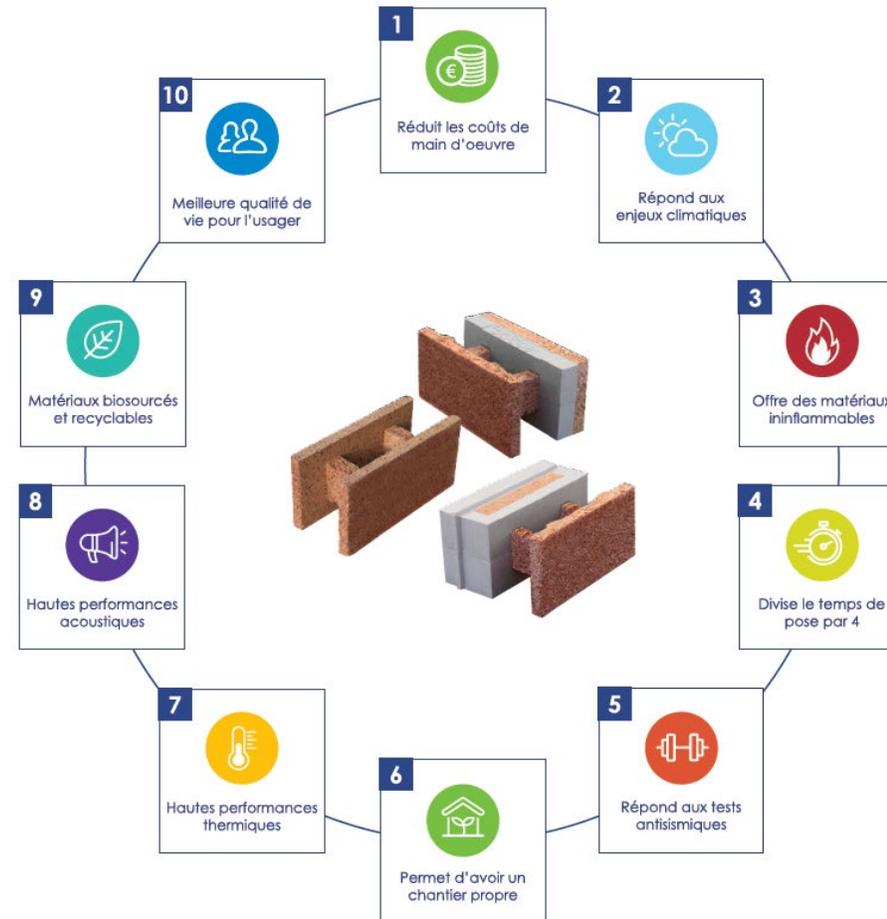
Isolblocs

Bloc de coffrage en béton  
de bois associé à son isolant  
servant de parement extérieur



France Ciment

# 10 raisons de choisir la solution mono-mur Isolblocs :



## Isolblocs répond aux normes :



The image features a modern building facade on the left, characterized by a green wall with various plants and a grey concrete wall on the right. The building facade has a wavy, layered structure with horizontal lines. The text is overlaid on the building facade. The background is a light grey concrete wall.

**LAB**

CEMENT**LAB**

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS



France Ciment

## LES PITCHS



Félicien THIOU

CO2ST.io

CO2ST : application digitale inédite d'aide à la décision, qui facilite les arbitrages entre systèmes constructifs



France Ciment

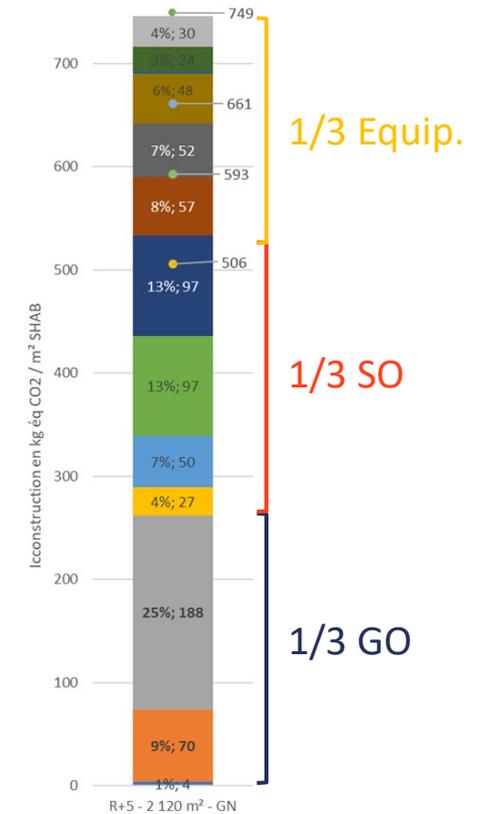


  
La décarbonation à coût maîtrisé

Application d'aide à la décision  
pour la conception de bâtiments  
englobant exigences techniques,  
empreinte carbone et coûts

# Contexte

- Janvier 2022 : RT~~2012~~ => RE2020
- Introduction d'un nouveau seuil réglementaire, **Ic construction**, mesurant l'impact carbone des matériaux de construction
- Renforcement de ce seuil tous les 3 ans : 2025, 2028 et 2031 (avec -31% en 2031 par rapport à 2022)



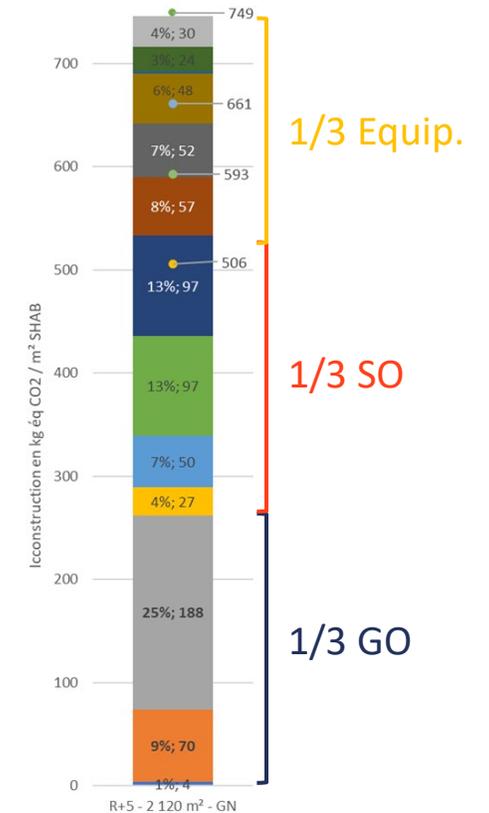
# Contexte

- Janvier 2022 : ~~RT2012~~ => RE2020
- Introduction d'un nouveau seuil réglementaire, **Ic construction**, mesurant l'impact carbone des matériaux de construction
- Renforcement de ce seuil tous les 3 ans : 2025, 2028 et 2031 (avec -31% en 2031 par rapport à 2022)

⇒ Nécessité de réduire régulièrement l'empreinte carbone des bâtiments neufs

⇒ Obligation de repenser les principes de conception des ouvrages au fur et à mesure des évolutions technico-carbo-économiques à venir

**Comment identifier rapidement la meilleure combinaison de solutions constructives pour un projet ?**



Avec ...



# CO2ST c'est ...

## Une application d'aide à la décision multicritère accessible à tous gratuitement

- Phase esquisse/APS/APD, au moment de la conception
- Pré-calcul de structure à partir de la saisie d'une 20aine de données pré-dimensionnant l'ouvrage
- Macro-lot clos couvert gros œuvre + une partie du 2<sup>nd</sup> œuvre (lot 3 à 7)
- Optimise le couple coût/carbone
- Comparaison de **4 600 combinaisons en une seule fois** ; évite les **itérations chronophages**
- Data transparentes, fiables (INIES, BETie, EIB) et actualisées régulièrement

# Produits embarquées

## Combinaisons établies à partir d'un triptyque de systèmes

### Systèmes horizontaux

- Dalle pleine BPE
- Poutrelle Hourdis béton + dalle BPE
- Prédalle précontrainte + dalle BPE
- Dalle alvéolée + dalle BPE

### Systèmes verticaux façade

- Voile plein BPE
- Maçonnerie béton porteuse (creux & isolantes)
- Maçonnerie brique porteuse
- Poteaux carrés BPE avec remplissage maçonnerie

### Systèmes verticaux intérieurs

- Voile plein BPE
- Maçonnerie béton porteuse
- Poteaux carrés BPE avec remplissage maçonnerie ou cloisons sèches

## Avec des empreintes carbone différentes

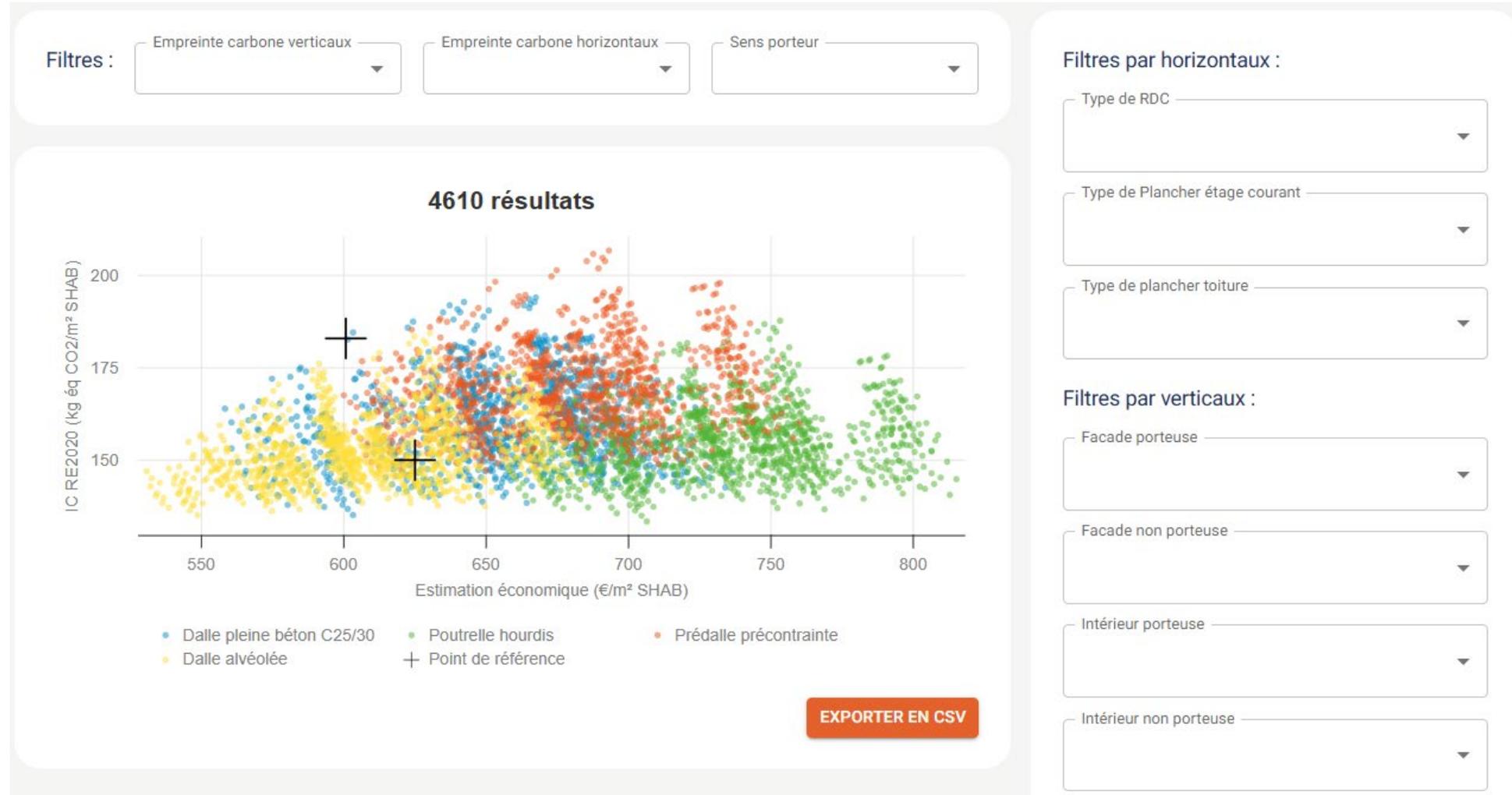
**Pour le Béton Prêt à l'Emploi (BPE), 3 empreintes carbone différentes disponibles :**

- Empreinte carbone standard : 220 kg éq CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>
- Empreinte carbone réduite 1 : 175 kg éq CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>
- Empreinte carbone réduite 2 : 145 kg éq CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>

*Valeurs Ic RE2020 pour un C25/30 XC1*

# Présentation des résultats

**Nuage de points positionnant chaque combinaison selon son couple coût/carbone**



# Présentation des résultats

## Analyse détaillée et comparative d'une sélection de combinaisons

Sélections enregistrées

Choisir une sélection : Selection 1

RÉSULTAT PAR PRODUIT RÉSULTAT PAR SOUS LOTS RÉSULTAT PAR LOTS

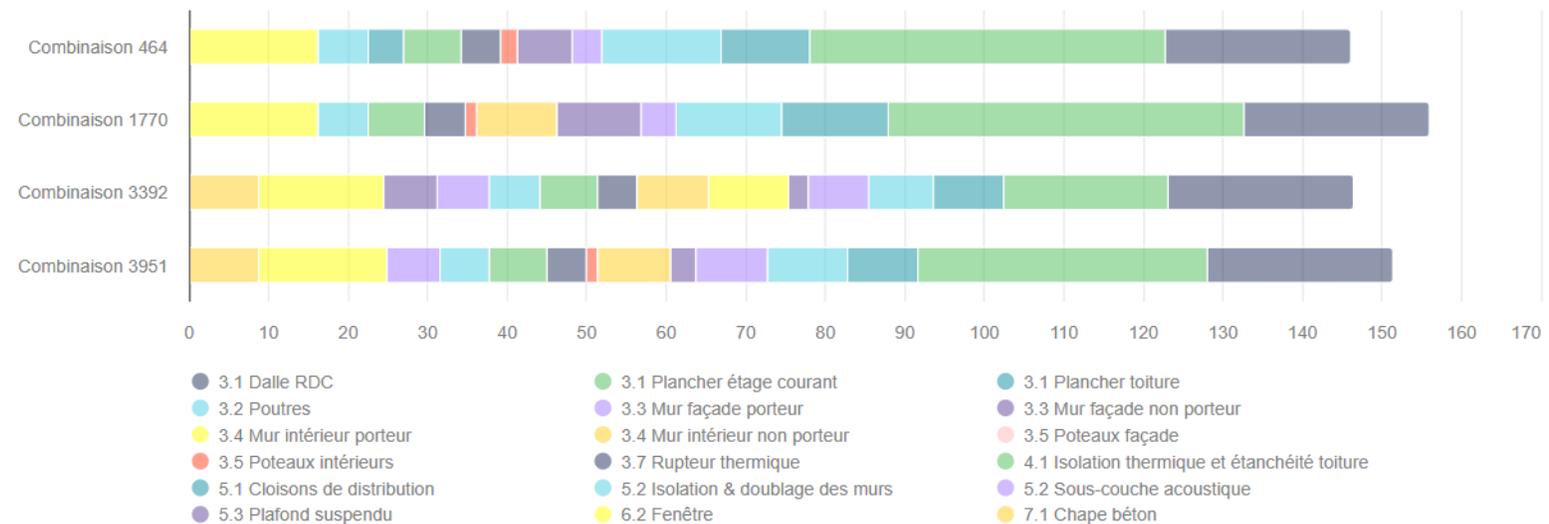
ID	Empreint...	Coût	Type de ...	Type de ...	EC BPE h...	Façade p...	Façade n...	Intérieur ...	Intérieur ...	EC BPE v...	Sens por...	Hauteur ...
464	145,98	587,01	Dalle ple...	Dalle ple...	Bas carb...	Murs en ...	Murs en ...	Poteau ...	Cloisons...	Bas carb...	X	14,80
1770	155,93	636,65	Dalle alv...	Dalle ple...	Standard	Voiles B...	Voiles B...	Poteau ...	Murs en ...	Très bas...	X	14,84
3392	146,40	700,71	Poutrelle...	Dalle ple...	Très bas...	Murs en ...	Murs en ...	Voiles B...	Voiles B...	Bas carb...	Y	15,40
3951	151,38	665,93	Prédalle ...	Dalle ple...	Très bas...	Murs en ...	Murs en ...	Poteau ...	Murs en ...	Très bas...	Y	15,00

1-4 of 4 < >

### Résultats détaillés par produits :

TÉLÉCHARGER

IC RE2020 (en kg éq CO2 / m² SHAB)



# Un travail collaboratif

Un développement porté par plusieurs experts dans leur domaine :



Accompagné par des collaborateurs des acteurs de la filière de la construction : Nexity, Groupe 6, Mazaud Construction, Pouget Consultant, Paris Ouest Construction, Pôle Habitat FFB, Gérard Sénior (architecte), Etienne Tricaud (architecte)



# Rejoindre la démarche CO2ST, c'est ...

**Jouer un rôle proactif dans la décarbonation de la construction :**

## **Partager**

une démarche, des expériences,  
des données...

## **Contribuer**

au développement de  
nouveaux outils...

## **Sélectionner**

des solutions constructives,  
des bonnes pratiques...

## **Participer**

à la diffusion, à la reconnaissance  
des outils et logiciels, dont CO2ST.

 Lancement officiel de CO2ST : lundi 8 décembre



**LAB**

CEMENT**LAB**

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS



France Ciment



## LES PITCHS



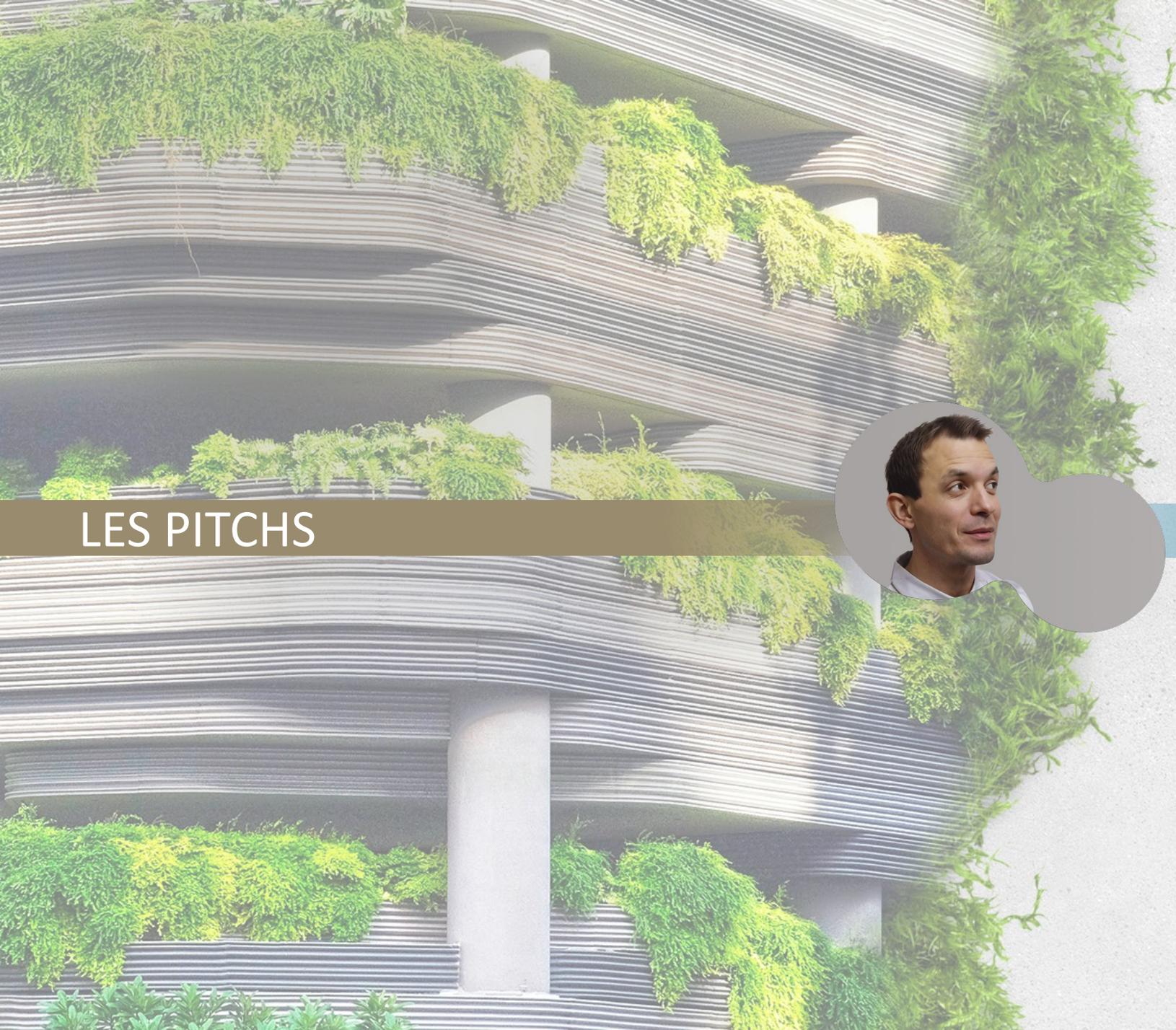
**Julie HOT**

LMDC – INSA Toulouse

Focus sur le biochar



France Ciment



## LES PITCHS



Emmanuel SAURIN

Léon Grosse

Focus sur le biochar



France Ciment

Liant bas carbone



Ciment & Biochar

## Ciments



Clinker



Calcaire



Pouzzolane



Argiles  
activées



Laitiers

Substitutions minérales



Clinker

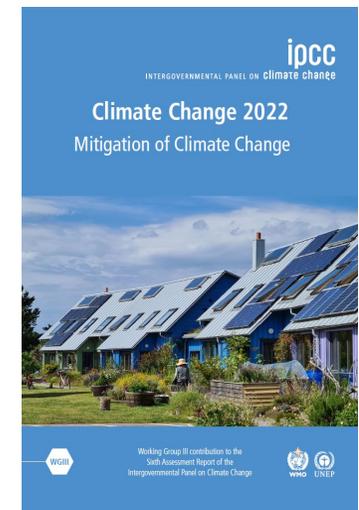
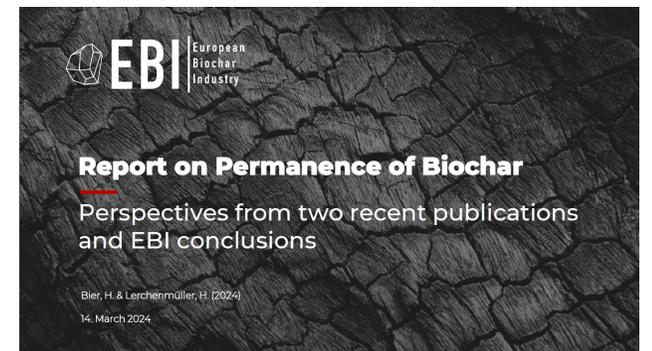


Biochar

Substitution biosourcée

# Le biochar

- Le biochar est
  - un carbone renouvelable
  - géochimiquement stable,
  - souvent de faible granulométrie,
  - dont les usages permettent de générer des puits de carbone permanents.
- Identifié par le GIEC dans son rapport de 2022, « Mitigation of Climate Change », comme une solution de stockage durable du carbone
- Produit par pyrolyse de résidus de biomasses, en particulier le bois



# Le poids carbone



Clinker

+



Biochar

MODULE D'INFORMATIONS  
ENVIRONNEMENTALES

CONFORME À LA NF EN ISO 14025, NF EN 15804+A1 ET NF EN 15804/CN



= -15 kg/CO<sub>2</sub>éq/t\*

\* valeur DEP (EN 15804-amendement A1,  
valable jusqu'au 31/12/2025)



≈20 kg.CO<sub>2</sub>éq/m<sup>3</sup>\* pour un béton C25/30 XC1

\* statique sur l'ensemble du cycle de vie (EN 15804-amendement A1, valable jusqu'au 31/12/2025)

# Siège de Léon Grosse – Bron

Maître d'ouvrage



Bureau de contrôle



Entreprise générale

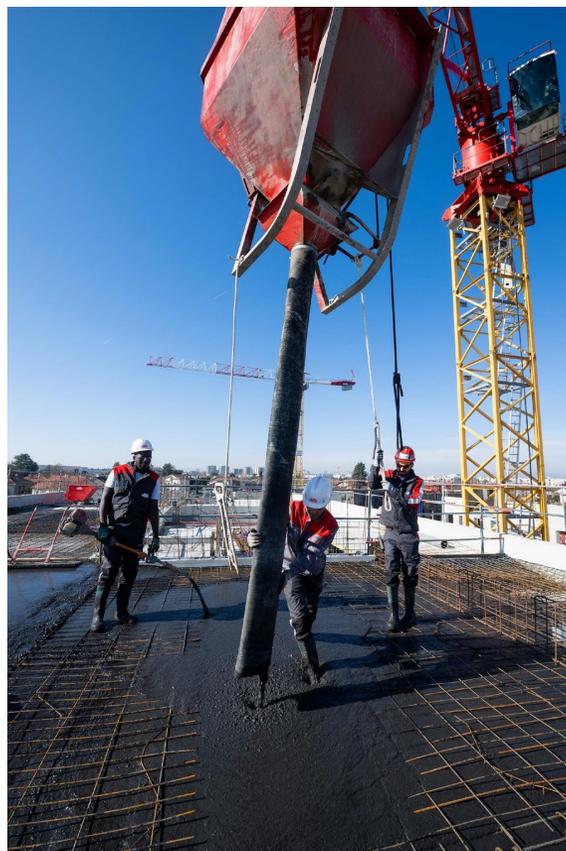


# Siège de Léon Grosse – Bron



**Durée du chantier :**  
5 mois

**Date :**  
Nov. 2022  
à Mars 2023



**800  
m<sup>3</sup>**  
Béton bas  
carbone CARAT

**Planchers**

**90 %**  
De gain  
carbone



**LAB**

CEMENT**LAB**

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS



France Ciment

The image shows a modern building facade with a lush green living wall. The building has a curved, ribbed structure. A large teal graphic overlay, consisting of two overlapping circles, is positioned in the center. The text "BÉTON ET SOBRIÉTÉ" is written in white, uppercase letters within the larger teal circle. The background is a light gray, textured surface.

# BÉTON ET SOBRIÉTÉ

The background of the slide features a photograph of a modern building facade with a prominent green wall. The building's exterior is composed of horizontal, wavy, metallic-looking panels. The green wall is a lush, vertical garden with various types of green plants. In the center of the slide, there is a circular portrait of a man with short dark hair and a beard, wearing a light blue shirt. The portrait is set against a white background and is partially overlaid by a dark blue horizontal bar.

Mieux avec moins,  
en intégrant innovation et  
circularité dans la chaîne de  
valeur



**Amor BEN FRAJ**

Directeur de recherche, Cerema

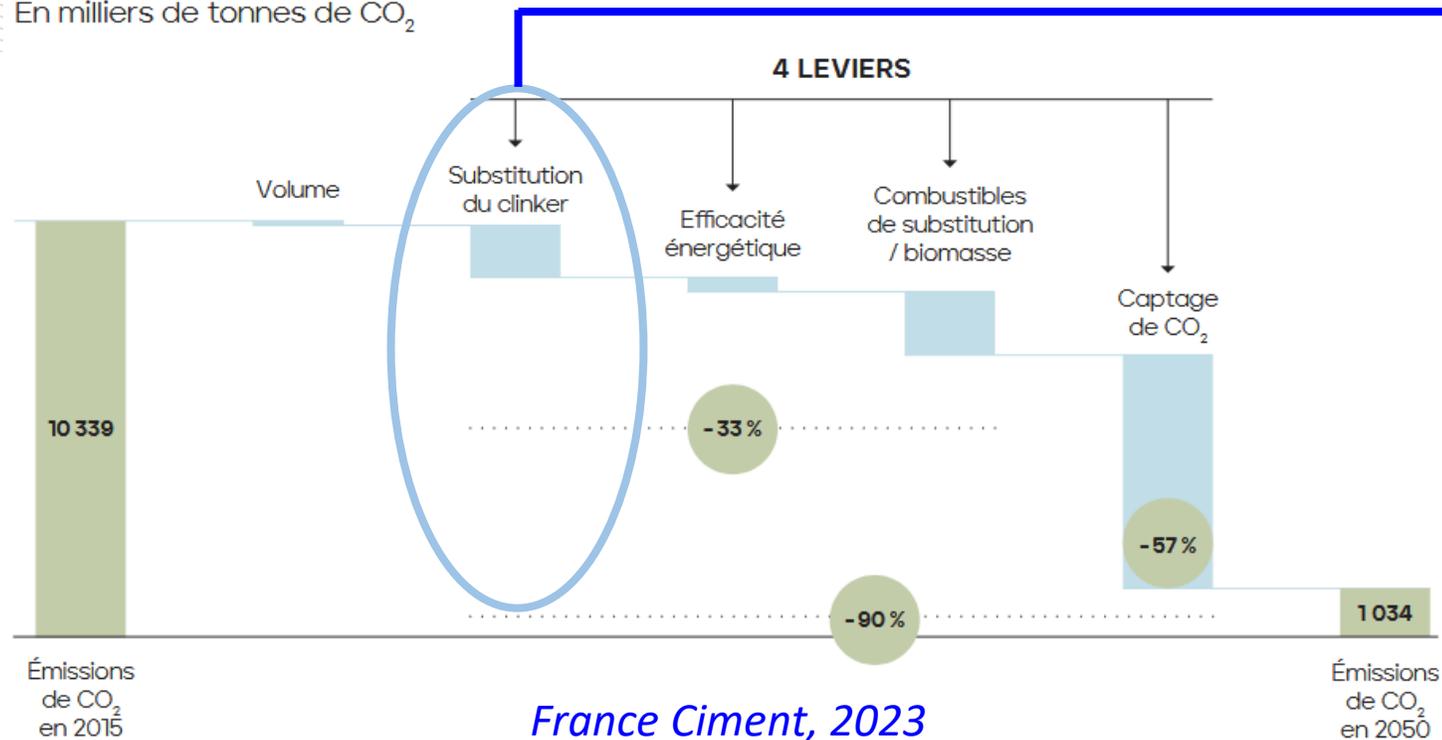
# • Décarbonation du secteur de la construction

❑ 24 Mt CO<sub>2</sub>

❑ 240 Mt de déchets

## BAISSE DES ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> ENTRE 2015 ET 2050

En milliers de tonnes de CO<sub>2</sub>



Production française en 2023

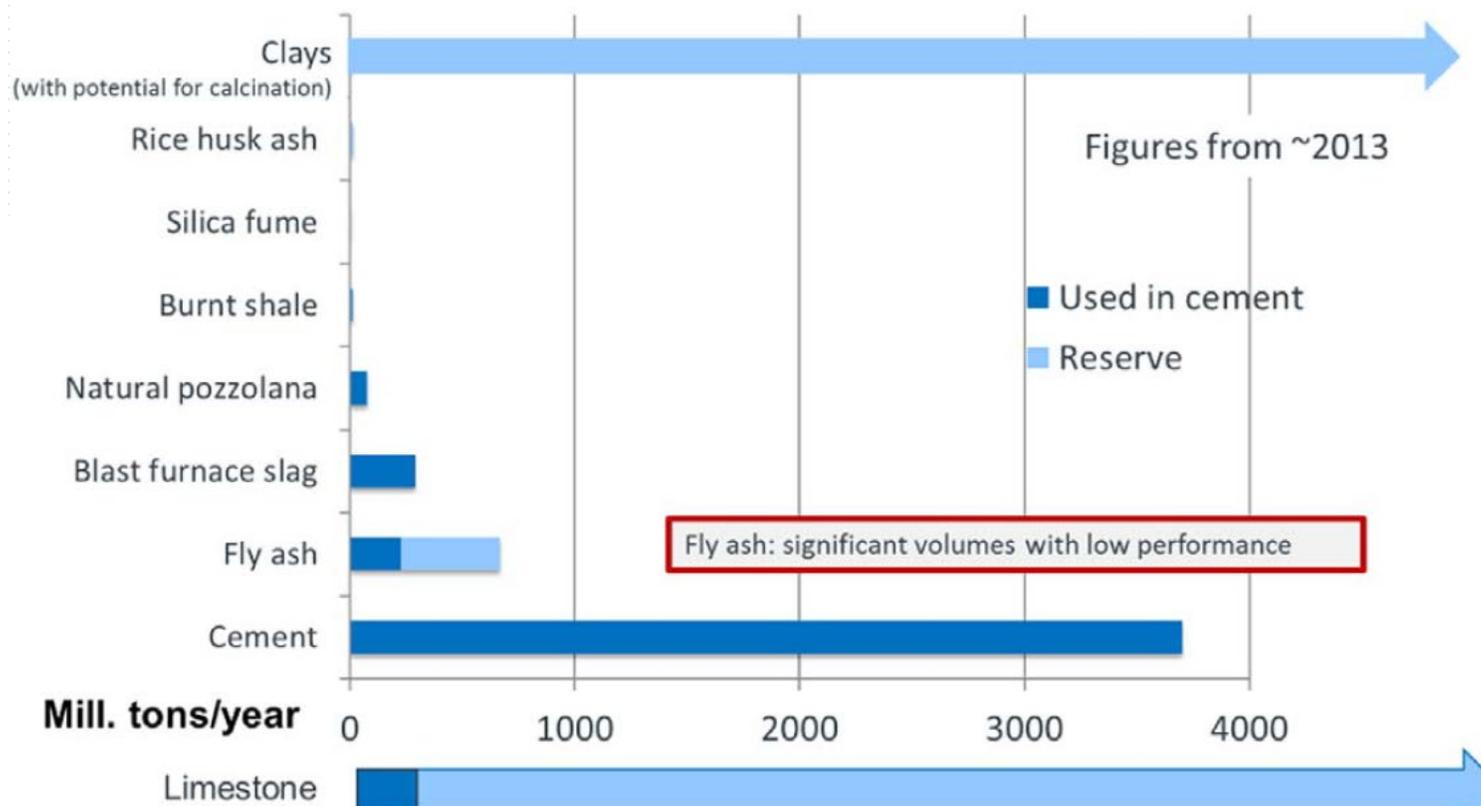
10,5 Mt de clinker  
15,4 Mt de ciment

Objectif: Moins de clinker

# • Panorama des additions minérales

## A l'international

## En France



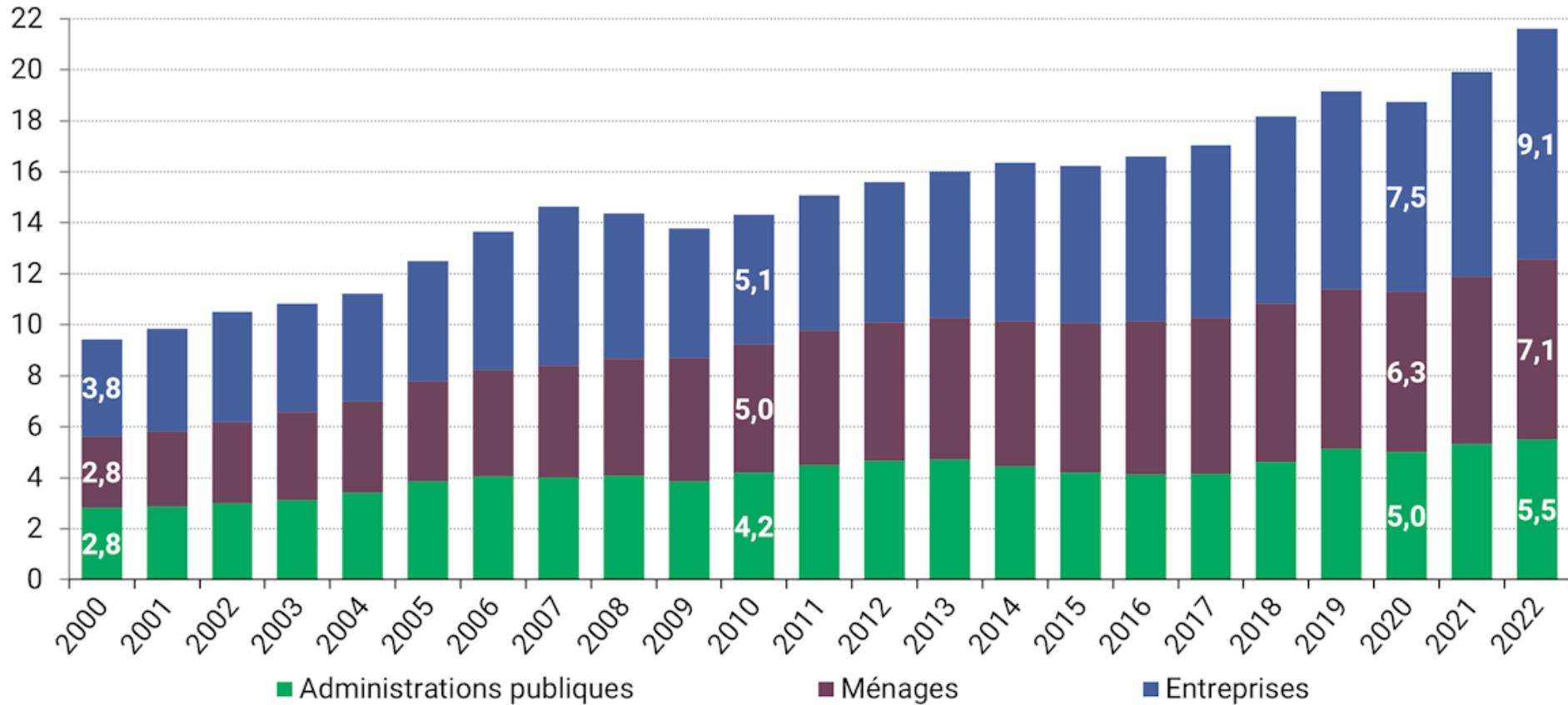
Scrivener et al., 2018

**180 Mt/an** de terres excavées;

**+ 50 Mm<sup>3</sup>** de sédiments de dragage

Fines de recyclage (**230 Mt** de déchets de construction, SDES, 2024)

# • Coûts inhérents à la gestion des déchets en Md€



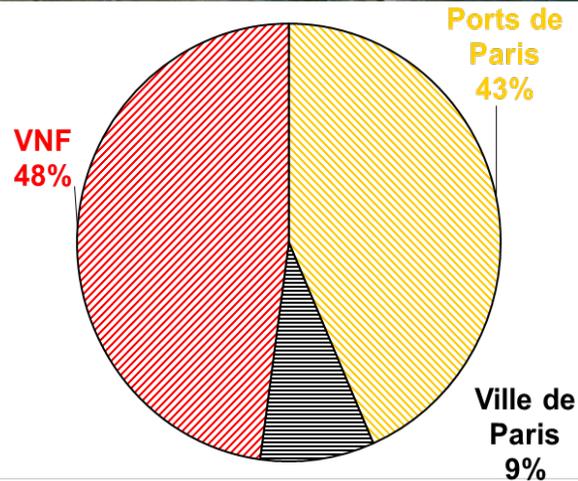
SDES, compte satellite de l'environnement, 2024

# • Les sédiments de dragage

Gisement francilien (VNF) : projet SEDIFLUV

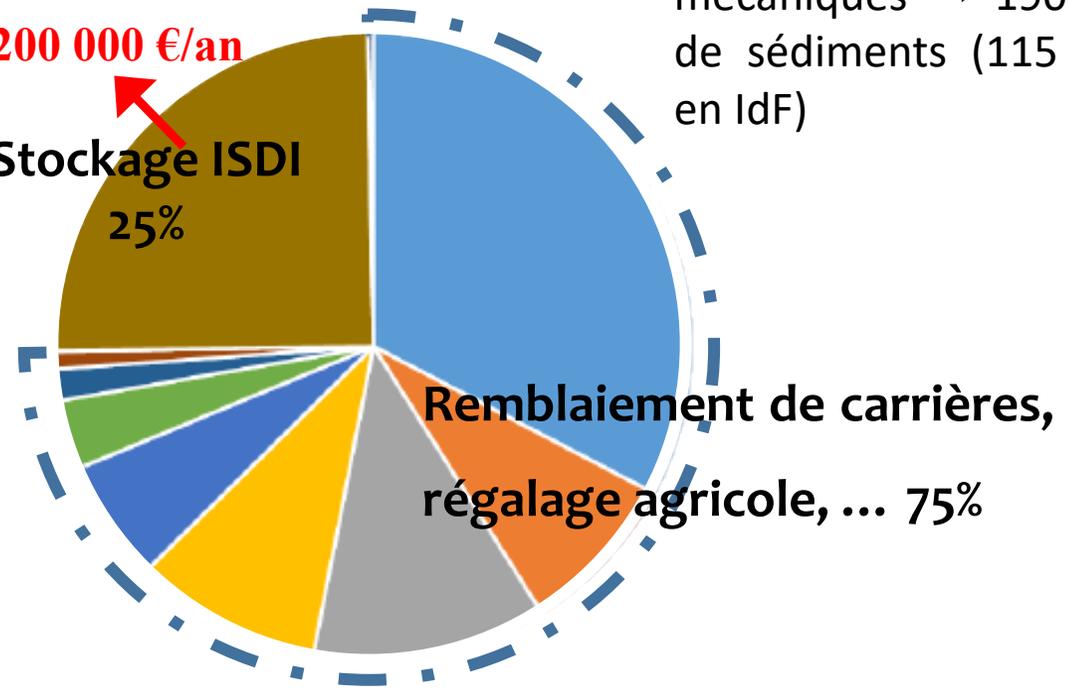


@ VNF



200 000 €/an

Stockage ISDI  
25%



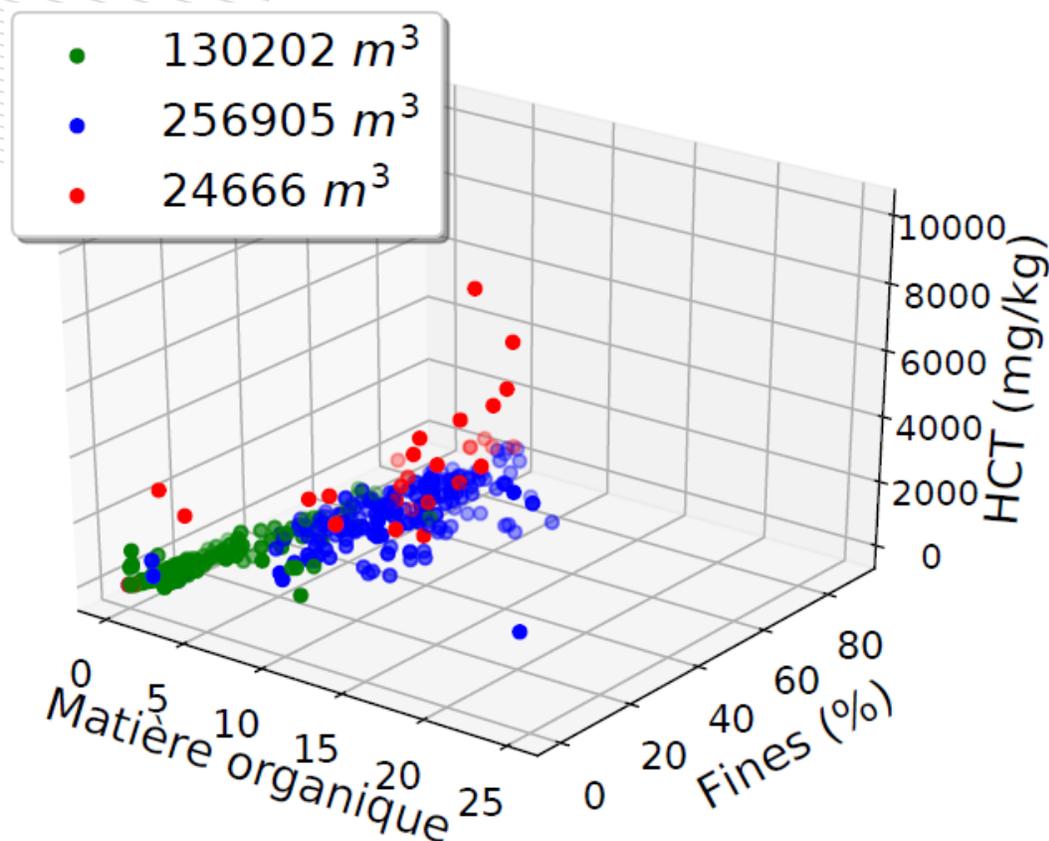
Filières de valorisation

- 1468 km de cours d'eau
- 16 UHC
- En 2014 : 73 dragages mécaniques → 190 000 m<sup>3</sup> de sédiments (115 000 m<sup>3</sup> en IdF)

# • Les bétons à base de sédiments de dragage (SD)

Variabilité des SD franciliens (VNF) 2015 → 2017

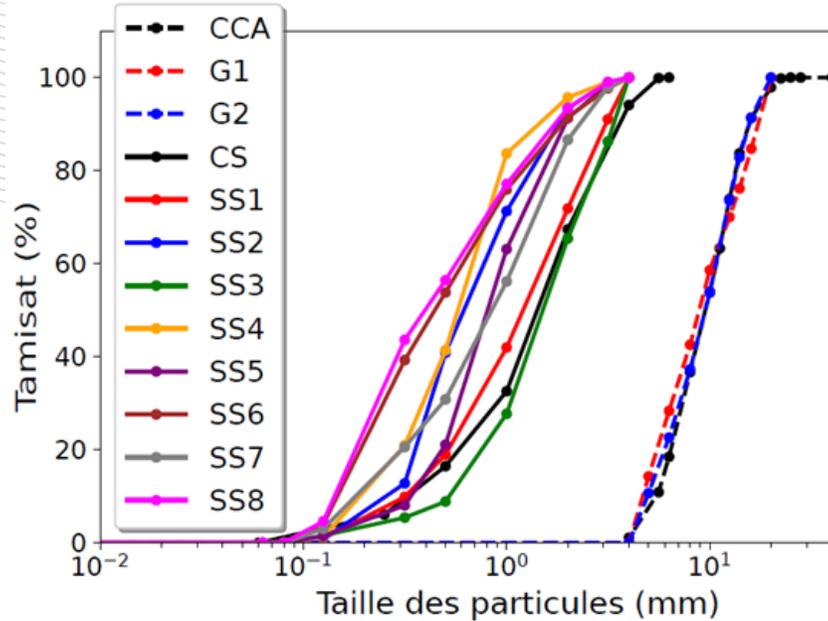
Variabilité des SD  
SD comme granulats  
SD comme filler



- 32% : Très facilement valorisable
- 62% : Valorisable, moyennant un traitement
- 6% : Non inerte (HCT), non dangereux
- Propriétés stables d'une année à l'autre

# • Les bétons à base de sédiments de dragage (SD)

Variabilité des SD  
SD comme granulats  
SD comme filler



SD 4/20 mm



SD 0,063/4 mm



SD < 0,08 mm

➤ Des matériaux très hétérogènes

Granulats	Granulométrie	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Abs (%)	MO (%)	% coq.
Granulats conventionnels	Sable 0/4 mm	2406	4,7	-	-
	Gravier 4/20 mm	2528	2,32	-	-
Sédiments	Sable 0,063/4 mm	2034-2406	3,7-17,2	2,01-3,62	-
	Gravier 4/20 mm	1995-2308	4,1-11,8	nd	24

# • Les bétons à base de sédiments de dragage (SD)

## I. Les bétons structurels à base de SD

**Un C30/37  
XC4  
S4**

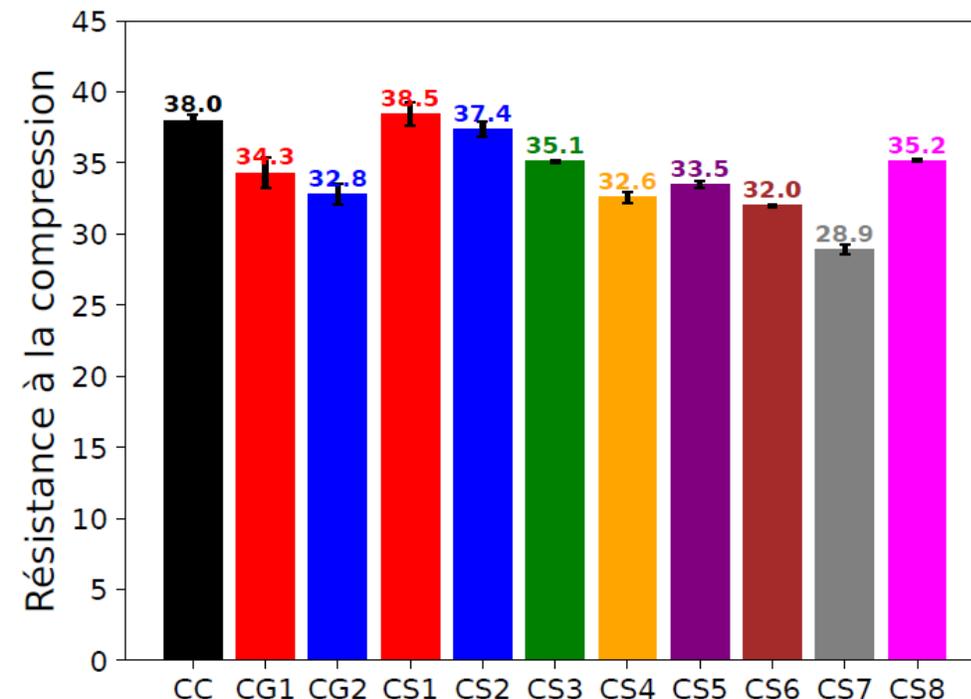
	CEM I	0/4 N	0/4 S	4/20 N	4/20 S	$E_{eff}/C$
CC	335	881,1	-	814,4	-	0,55
CS	335	616,8	30% vol.	814,4	-	0,55
CG	335	881,1	-	570,1	30% vol.	0,55

CC: béton de référence;

CS: bétons à base de sédiments sableux

CG: bétons à base de sédiments graveleux

Variabilité des SD  
SD comme granulats  
SD comme filler



☐ 2 C30/37; 7 C25/30 et 1 C20/25 (CS7)

**Exceptés S6 et S7, tous les sédiments répondent aux critères de la NF EN 12620+A1**

# • Les bétons à base de sédiments de dragage (SD)

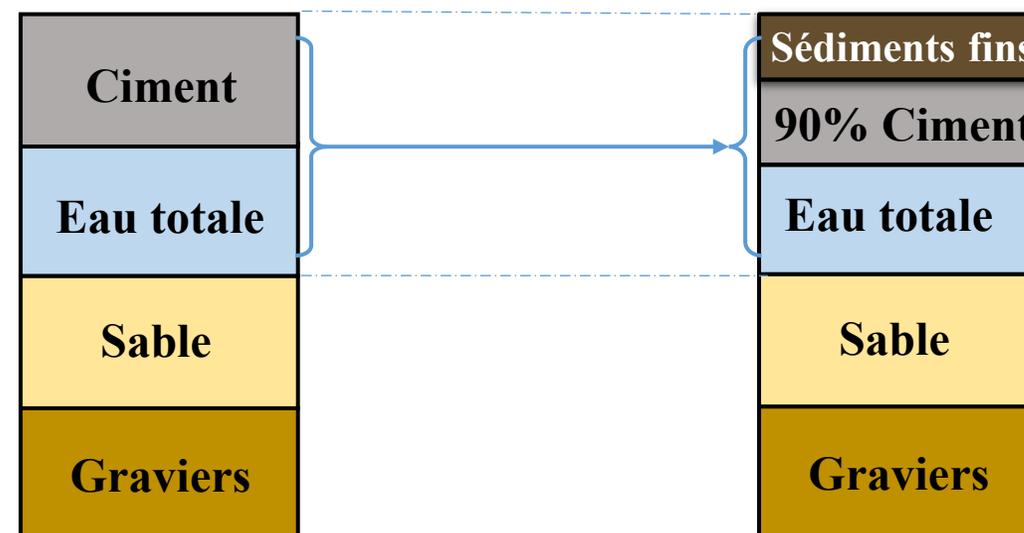
Variabilité des SD  
SD comme granulats  
SD comme filler

## I. Les bétons structurels à base de SD

### Formulation (Sédiments fins comme addition au ciment)

Incorporation des sédiments fins :

- Utilisation de **90% du ciment**
- Le volume total **constant**
- Le rapport Eau/Liant **constant**



# • Les bétons à base de sédiments de dragage (SD)

## I. Les bétons structurels à base de SD

**Un C30/37**  
**XC4**  
**S4**

	CEM I	Filler	Fines	0/4 N	4/20 N	$E_{eff}/L$
CC	335	-	-	881,1	814,4	0,55
CF	301,5	31,7	-	881,1	814,4	0,55
CFi	301,5	-	10% vol.	881,1	814,4	0,55

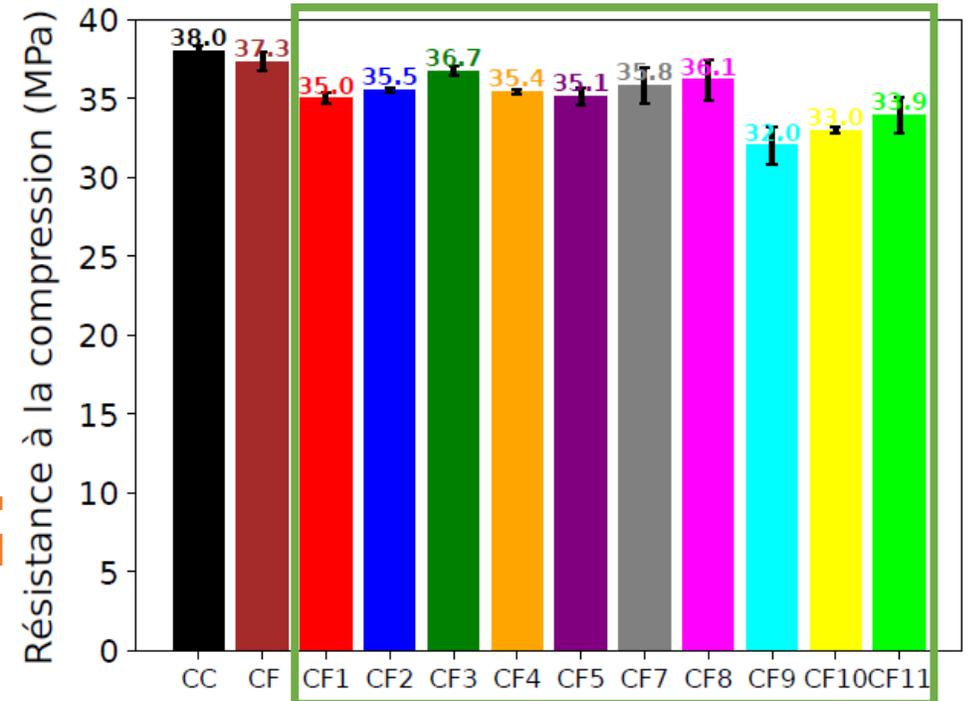
CC: béton de référence;

CF: bétons à base de filler calcaire

CFi: bétons à base de sédiments fins

**MO=5-15%**

Variabilité des SD  
SD comme granulats  
SD comme filler



☐ 8 C30/37 et 3 C25/30 (CF9, 10 et 11)

**Tous les sédiments fins répondent aux critères de la NF EN 12620+A1**

# • Les bétons à base de sédiments de dragage (SD)

## I. Les bétons structurels à base de SD: impacts

Variabilité des SD  
SD comme granulats  
SD comme filler

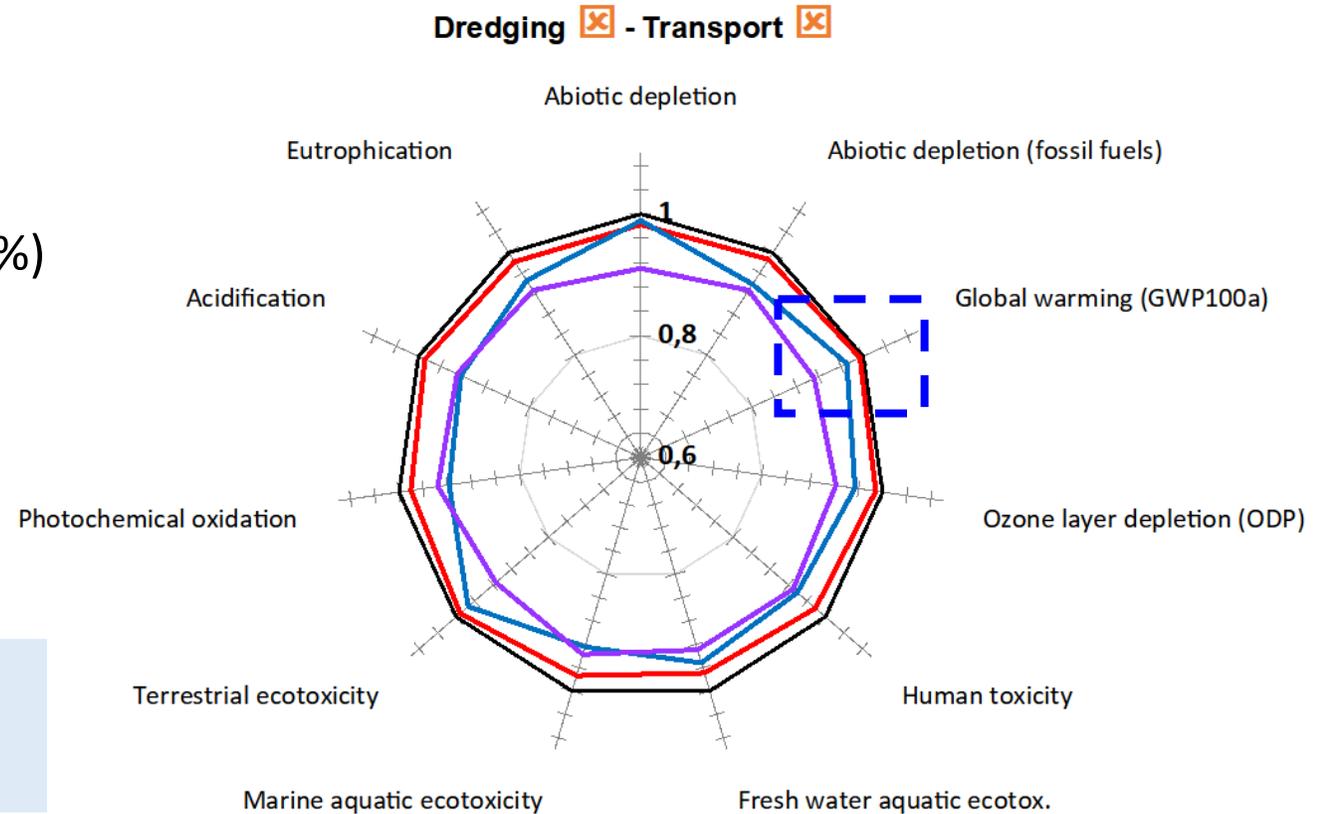
**F1:** béton de référence;

**F2:** béton à base de **sédiments graveleux** (30%)

**F3:** béton à base de **sédiments sableux** (30%)

**F4:** béton à base de **sédiments fins** (10%)

**F4** permet une baisse de **9 %** de **CO<sub>2</sub> eq.** par rapport à **F1**



# • Les bétons à base de sédiments de dragage (SD)

## II. Les bétons drainants

**Un Béton drainant**  
**Porosité >20%**  
**Rc = 15MPa**



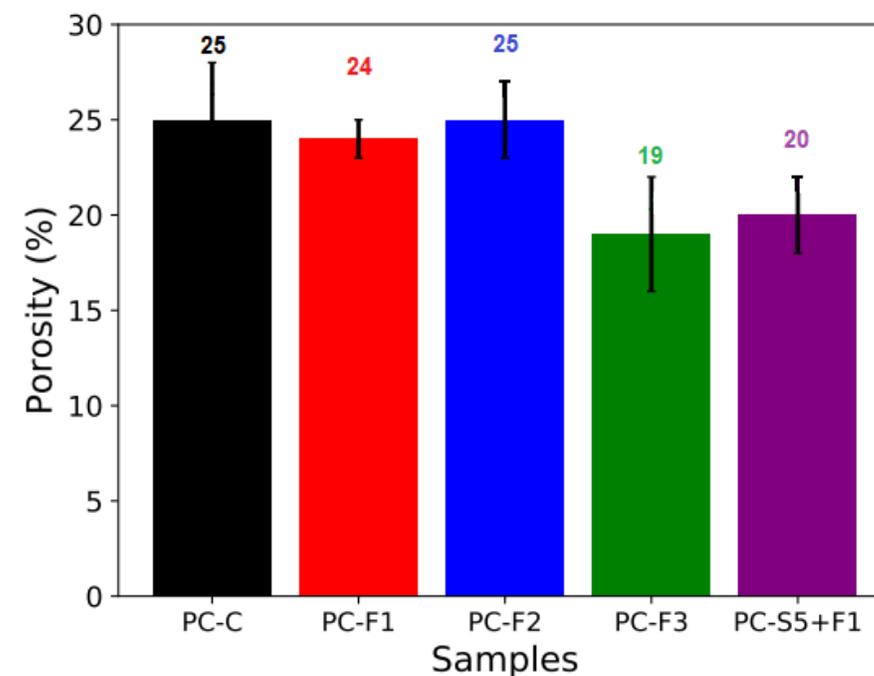
Variabilité des SD  
 SD comme granulats  
 SD comme filler

	CEM I	FS	0/4 N	0/4 S	4/8 N	$E_{eff}/L$
PC-C	312	-	98,5	-	1406,6	0,35
PC-S	312	-	-	~90	1406,6	0,35
PC-F	281	~50	98,5	-	1406,6	0,35

PC-C: béton de référence

PC-S: bétons à base de sédiments sableux

PC-F: bétons à base de sédiments fins



# • Les bétons à base de sédiments de dragage (SD)

## II. Les bétons drainants

### Faisabilité d'une filière industrielle?

- Site de Clamens/ Mitry-Mory
- Parking de 950 m<sup>2</sup>
- Pavés drainant par les joints



Formule	R <sub>T</sub> (Mpa)	Poids (kg)
BGN	5,3	6,3
BS	4,0-4,4	5,7-6,0

**NF EN 1338 3,6 MPa**

Variabilité des SD  
SD comme granulats  
SD comme filler





**LAB**

CEMENT**LAB**

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS



France Ciment



## TÉMOIGNAGES ACADÉMIQUES



**Robine CALIXTE**

Enseignante-Chercheure en  
Génie Civil, ESITC Paris

Optimisation de l'impact gaz  
à effet de serre de poteaux  
en béton armé



# Optimisation de l'impact gaz à effet de serre de poteaux en béton armé

---

ROBINE CALIXTE - ESITC PARIS, LMPS (CALIXTE@ESITC-PARIS.FR)

JEAN-MICHEL TORRENTI - UGE, CEREMA, UMR MCD, ESITC PARIS

MÉLANIE CHATENET - ESITC PARIS

# Des actions pour atteindre les objectifs environnementaux ...

---

## ➤ Secteurs des matériaux

- Réduction de l'utilisation du clinker dans le ciment
- Production d'acier à base d'aciers recyclés et avec des fours électriques à énergies décarbonées
- Utilisation de matériaux biosourcés,
- ...

## ➤ Ingénieurs concepteurs

- Optimisation des conceptions
- Amélioration des résistances et réduction des quantités de matériaux
- Augmentation de la durabilité des matériaux
- ...

**Quelle est l'influence du dimensionnement, de la résistance en compression et du pourcentage d'armature sur les émissions de gaz à effet de serre de poteau circulaire en béton armé ?**

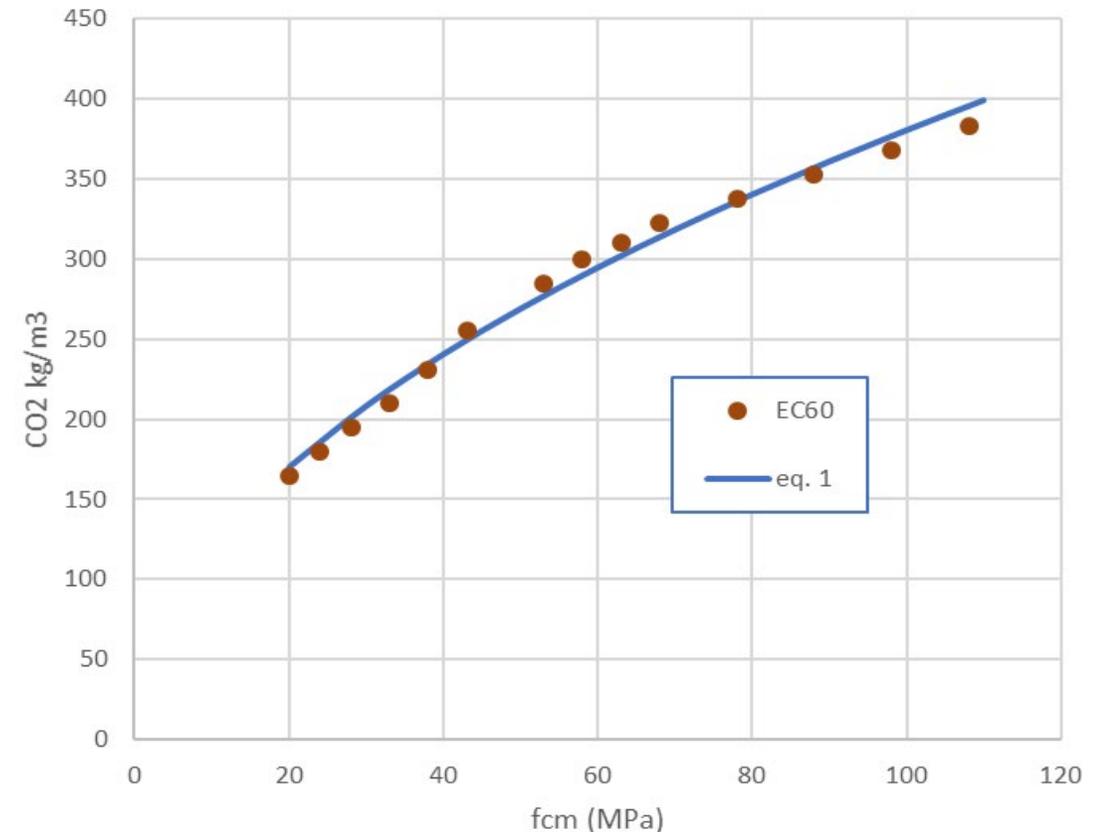
# Les émissions de GES du béton dépendent de sa résistance

- Les émissions de CO<sub>2</sub> d'un mètre cube de béton varient en **fonction de la racine carrée de sa résistance** (Roussel et Habert, 2009)
- **Classification de carbone** de (Arup, 2023) : relation entre la résistance en compression et le carbone incorporé par m<sup>3</sup>
- Le carbone incorporé ( $EC_c$ ) est proportionnel à la résistance moyenne en compression du béton ( $f_{cm}$ ) selon la relation suivante :

$$EC_c \text{ (kg CO}_2\text{/m}^3\text{)} = \alpha f_{cm}^{0.5}$$

-  $\alpha$  une constante fonction du matériau traité (dans le cas présenté ici,  $\alpha = 38$ )

Relation carbone incorporé et résistance moyenne pour un béton EC60 (data de Kanavaris)



# Les émissions de GES de l'acier dépendent de sa production

---

- Le carbone incorporé des armatures en acier dépend de facteurs locaux :
  - Pourcentage de matériaux recyclés dans le mélange de base
  - Impacts  $CO_2$  de l'électricité utilisé pour la production

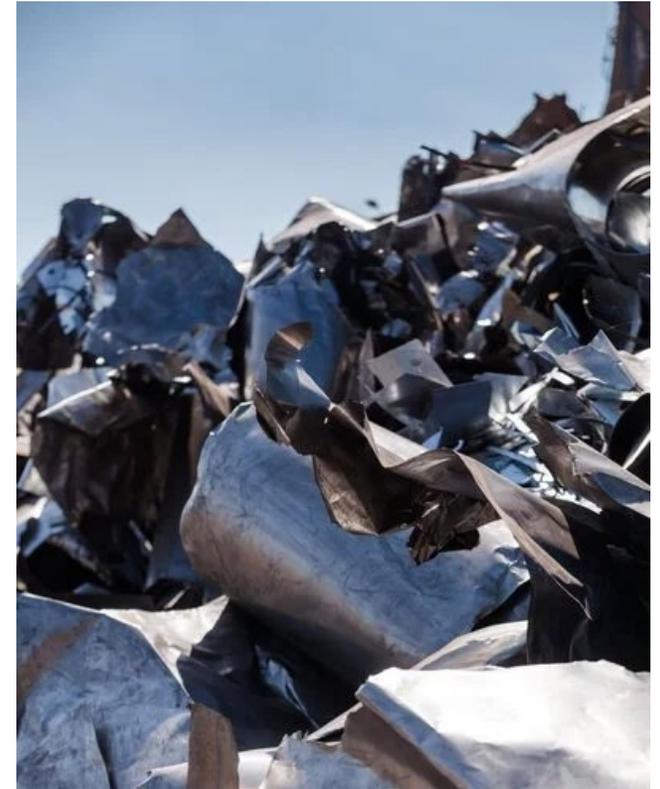
- Les données utilisées sont issues de la base de donnée [DIOGEN](#)

- Acier à faible carbone incorporé :

$$EC_{s\_low} = 2.4 \text{ kg de } CO_2 \text{ eqvlt/kg}$$

- Acier à fort carbone incorporé :

$$EC_{s\_high} = 5 \text{ kg of } CO_2 \text{ eqvlt/kg}$$



Aciers recyclés (sources : [ArcelorMittal](#))

# Approche de conception simplifiée

- Basée sur l'annexe française de l'Eurocode 2 (EC2 – norme FD P18-717)
- Approche simplifiée conservatrice
- Etendue pour l'utilisation de béton à haute performance et la conception de poteaux (pas uniquement une vérification)
- Méthode applicable aux poteaux bi-articulés avec charge centrée
- Hypothèses de conception :

➤ **Calcul de l'effort normal résistant  $N_{Rd}$**  (résolution pour  $N_{Rd} = N_{Ed}$ )

$$N_{Rd} = k_h k_s \alpha \left[ \frac{\pi D^2}{4} f_{cd} + A_s f_{yd} \right]$$

- $k_h, k_s$  et  $\alpha$  sont des paramètres dépendant de la géométrie
- $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c$  avec  $f_{ck}$  la résistance caractéristique du béton et  $\gamma_c$  le coefficient partiel du béton (égal à 1,5)
- $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$  avec  $f_{yk}$  la limite d'élasticité caractéristique de l'acier et  $\gamma_s$  le coefficient partiel de l'armature,
- $N_{Ed}$  est la charge appliquée à l'état limite de service

➤ **Calcul du ratio d'armatures minimale  $A_{s,min}$**  (pour éviter la rupture fragile et reprendre les flexions parasites)

$$A_{s,min} = \max\left(0,002A_c; \frac{0,1N_{Ed}}{f_{yd}}\right)$$

➤ **Résolution indirecte de l'équation de calcul de la section d'acier  $A_s$**

$$A_s = \frac{\left(\frac{N_{Rd}}{k_h k_s \alpha}\right) - A_c f_{cd}}{f_{yd}}$$

➤ **Détermination du diamètre du poteau  $D$**  (en fonction d'un pourcentage donné d'armature  $A_s/A_c$ )

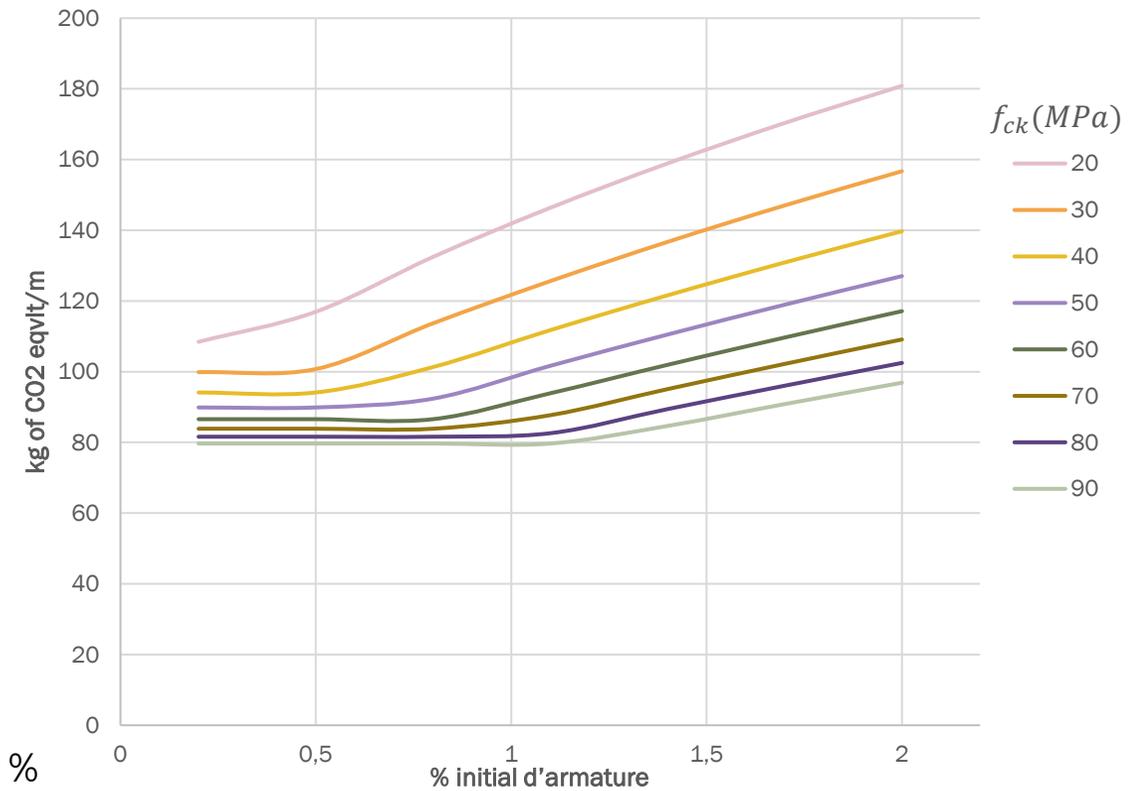
$$D = \sqrt{\frac{\left[\frac{N_{Rd}}{k_h k_s \alpha} - A_s f_{yd}\right]}{\frac{\pi f_{cd}}{4}}}$$

# Influence de la résistance en compression du béton

*Cas d'étude – Immeuble de 5 étages, aciers à faible impact*

Exemple de résultats pour un rapport initial  $A_s/A_c = 1.1\%$

$f_{ck}$ (MPa)	20	30	40	50	60	70	80	90
CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>3</sup> of concrete)	178.9	219.1	253.0	282.8	309.8	334.7	357.8	379.5
D(m)	0.70	0.61	0.56	0.51	0.48	0.45	0.43	0.41
$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	42	33	27	23	20	18	16	15
$A_{s\_real}$ (cm <sup>2</sup> )	42	33	27	23	20	18	16	15.5
$A_{s\_real}/A_c$ (%)	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.16
CO <sub>2\_steel</sub> (kg/m)	78.3	60.8	50.1	42.8	37.5	33.4	30.1	29.0
CO <sub>2\_conc.</sub> (kg/m)	68.0	64.8	61.6	58.8	56.4	54.3	52.4	50.6
CO <sub>2\_total</sub> (kg/m)	146.3	125.6	111.7	101.7	93.9	87.7	82.6	79.6



- Les émissions de carbone les plus faibles sont pour les résistances les plus élevées
- Une réduction de 24 % des émissions de CO<sub>2</sub> est possible en passant d'une résistance de 20MPa à 40MPa (sans prendre en compte le ratio minimal d'armature, pour  $A_s/A_c$  de 1,1 %)
- Le pourcentage minimal d'armature limite les effets de la résistance (13 % de gain avec le ratio minimal d'armature, pour  $A_s/A_c$  de 0,2 %)

# Influence du pourcentage d'armature

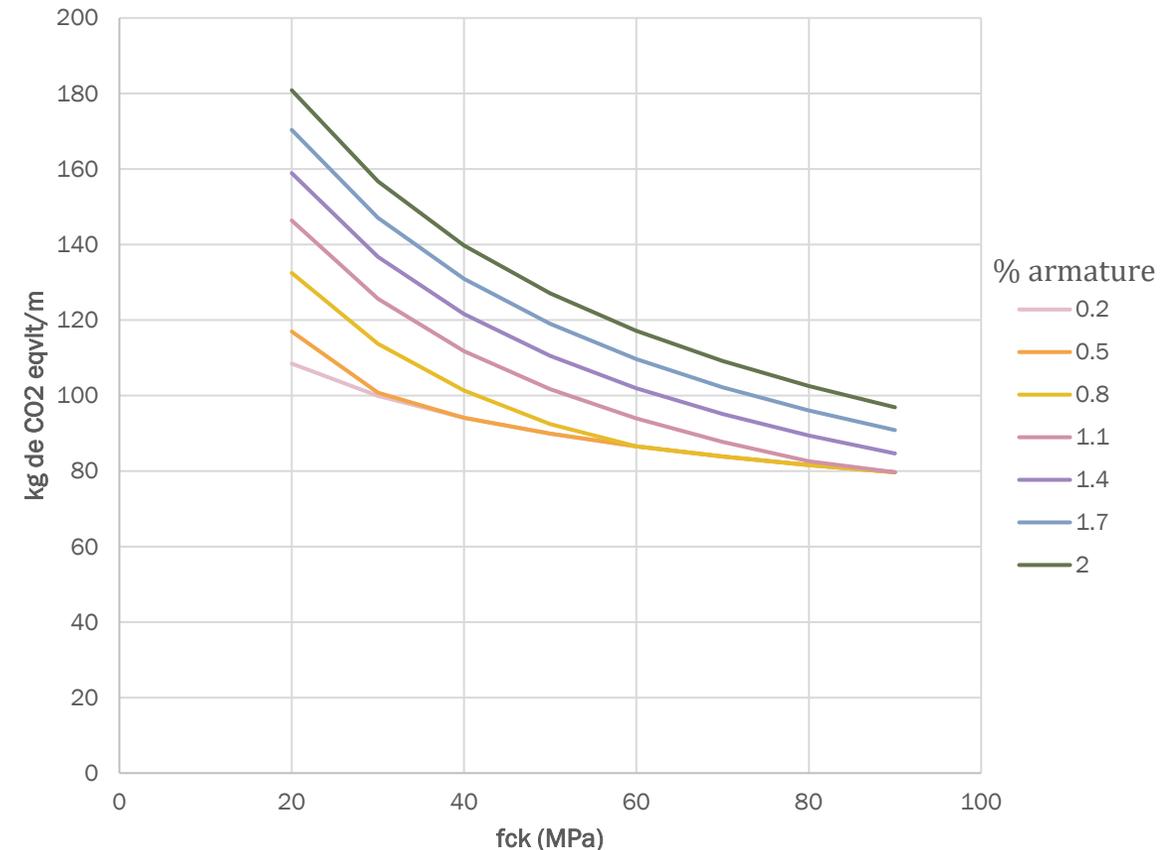
*Cas d'étude – Immeuble de 5 étages, aciers à faible impact*

Carbone incorporé (kg de CO2 équivalent par m de poteau) en fonction du % (initial) d'armatures et de la résistance du béton

		fck (MPa)							
		20	30	40	50	60	70	80	90
As/Ac (%)	0.2	108.5	99.9	94.1	89.9	86.6	83.9	81.6	79.7
	0.5	117.0	100.7	94.1	89.9	86.6	83.9	81.6	79.7
	0.8	132.5	113.7	101.3	92.4	86.6	83.9	81.6	79.7
	1.1	146.4	125.6	111.8	101.7	93.9	87.7	82.6	79.7
	1.4	158.9	136.7	121.6	110.5	101.9	95.1	89.4	84.7
	1.7	170.3	147.0	130.9	119.0	109.7	102.2	96.0	90.8
	2	180.9	156.7	139.7	127.0	117.1	109.1	102.5	96.9

Pourcentage minimal d'armature

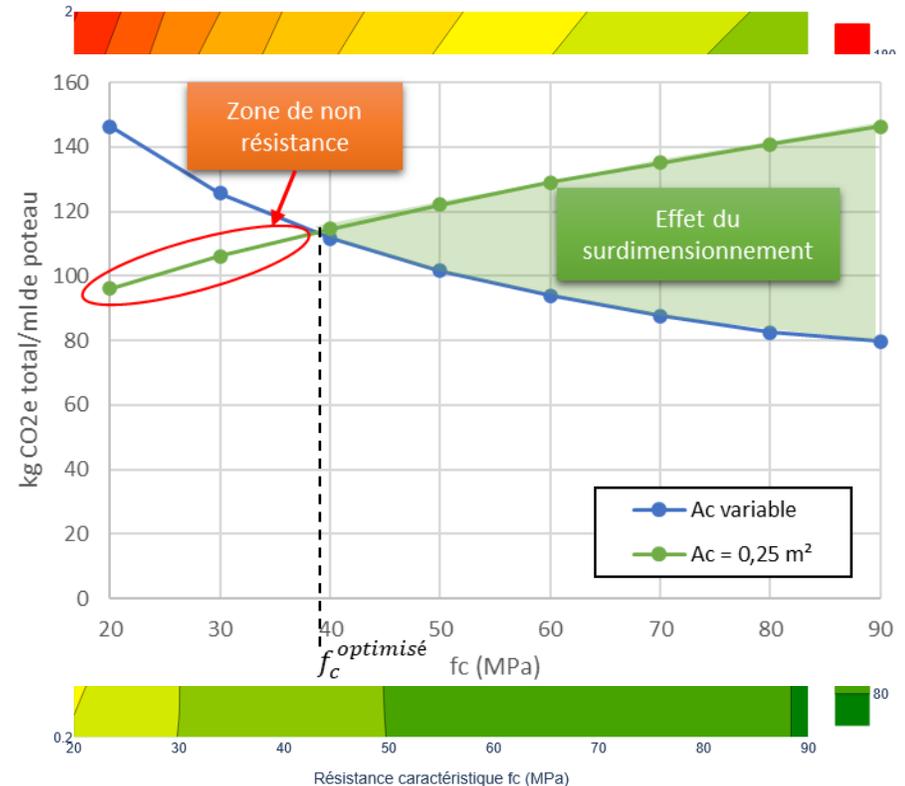
- **Le carbone incorporé le plus faible** est visible pour le pourcentage d'armature le plus faible ET la résistance du béton la plus élevée
- **Une réduction de 35 % des émissions de CO2 est possible** en passant d'un  $A_s/A_c$  de 1,1 % à 0,2% (pour un fck de 20MPa)
- **Le pourcentage minimal d'armature limite les effets** de gains possible



# Conclusions et perspectives

- L'optimisation de la conception permet de réduire les émissions de GES
  - Pour atteindre les émissions les plus basses il faut la **résistance du béton la plus élevée** et une **quantité d'armature la plus faible**
  - Le **pourcentage minimal d'armature** limite l'efficacité des optimisations
  - L'effet du **pourcentage minimal d'armature** augmente avec la résistance du béton et le chargement
  - Le **coût du béton** peut également être un facteur limitant
- 
- Utilisation de **béton haute performance bas carbone** permettrait de cumuler les gains et d'améliorer la durabilité
  - Point de départ d'une étude sur les **effets des surdimensionnements et des coefficients de sécurités**

Emissions de CO<sub>2</sub> de poteau en béton armé - Cas 1





## TÉMOIGNAGES ACADÉMIQUES



Théodore SERBOURCE

Doctorant,  
Sorbonne Université

Le verre recyclé en  
substitution du clinker



# CementLAB 2025

## Nouveaux constituants pour les ciments bas carbone : les fines de verre recyclé

**Théodore Serbource**

**Laurence Galois (Sorbonne Université)**

**Laurent Izoret (Sorbonne Université)**

**Sandrine Gauffinet (Institut Carnot Bourgogne)**

**Cécile Diliberto (Institut Jean Lamour Nancy)**

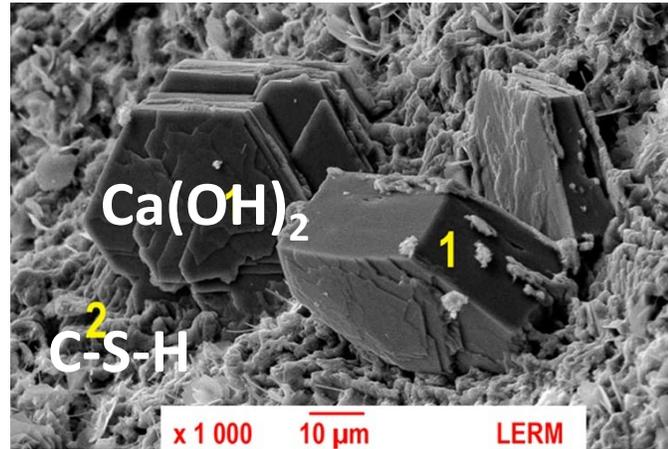
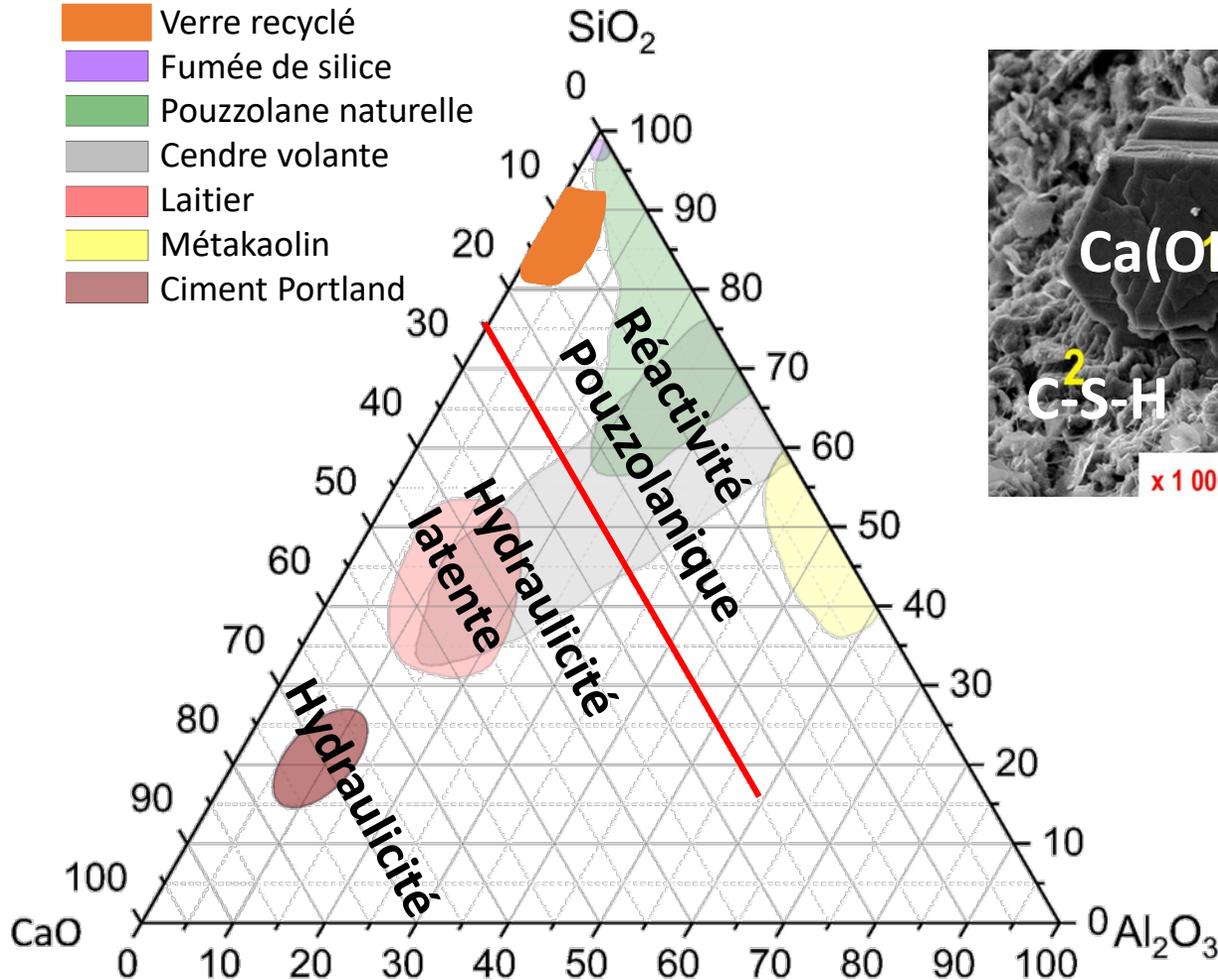
**Alain Trudel (France Ciment)**

# Contexte bas carbone du ciment

**Diminution émission de CO<sub>2</sub>** : Substitution du clinker par les matériaux à hydraulité potentielle et bas CO<sub>2</sub>

Constituants du ciment et phases formées

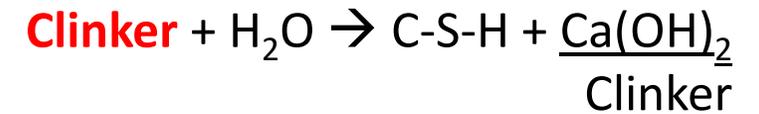
- Verre recyclé
- Fumée de silice
- Pouzzolane naturelle
- Cendre volante
- Laitier
- Métakaolin
- Ciment Portland



## Hydratation des matériaux

**C-S-H (Calcium-Silicate-Hydrate)** :  
Produit d'hydratation du ciment  
→ résistance mécanique du ciment

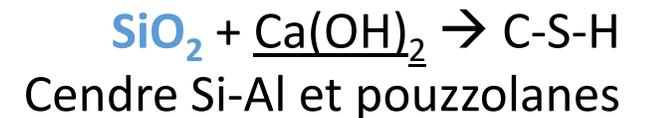
### Hydraulité:



### Hydraulité latente:



### Réactivité Pouzzolanique:



C = CaO    A = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
S = SiO<sub>2</sub>    H = H<sub>2</sub>O

# Objectifs de la thèse

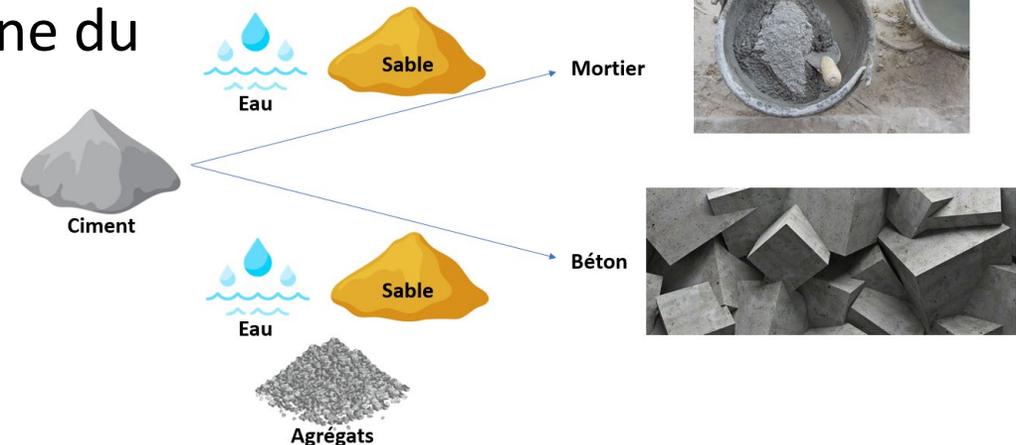
- Étudier fraction fine du verre recyclé → utilisation constituant principal du ciment, dans contexte des ciments bas carbone

➤ **1<sup>ère</sup> étape : Réaction à l'eau de la fraction fine (<0/9mm) du verre recyclé :**

1. Détermination structure du verre à l'échelle atomique
2. Détermination caractéristiques de réactivité en milieu cimentaire (pH>12)

➤ **2<sup>ème</sup> étape : Ciments formulés :**

1. Formulation de ciments contenant la fraction fine du verre recyclé
2. Essais mécaniques des ciments formulés sur mortiers et bétons
3. Durabilités sur bétons



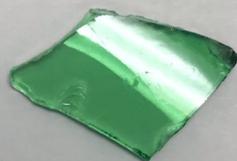
# Analyses effectuées : Caractérisation du verre et Réactivité

## Caractérisation du verre et Réactivité

Verre Incolore

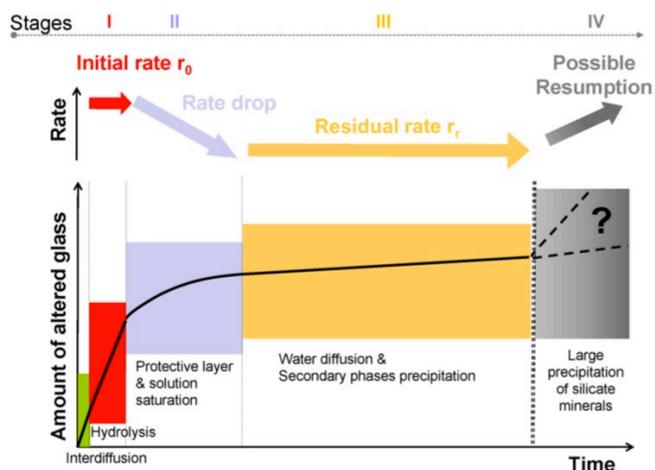


Verre Vert

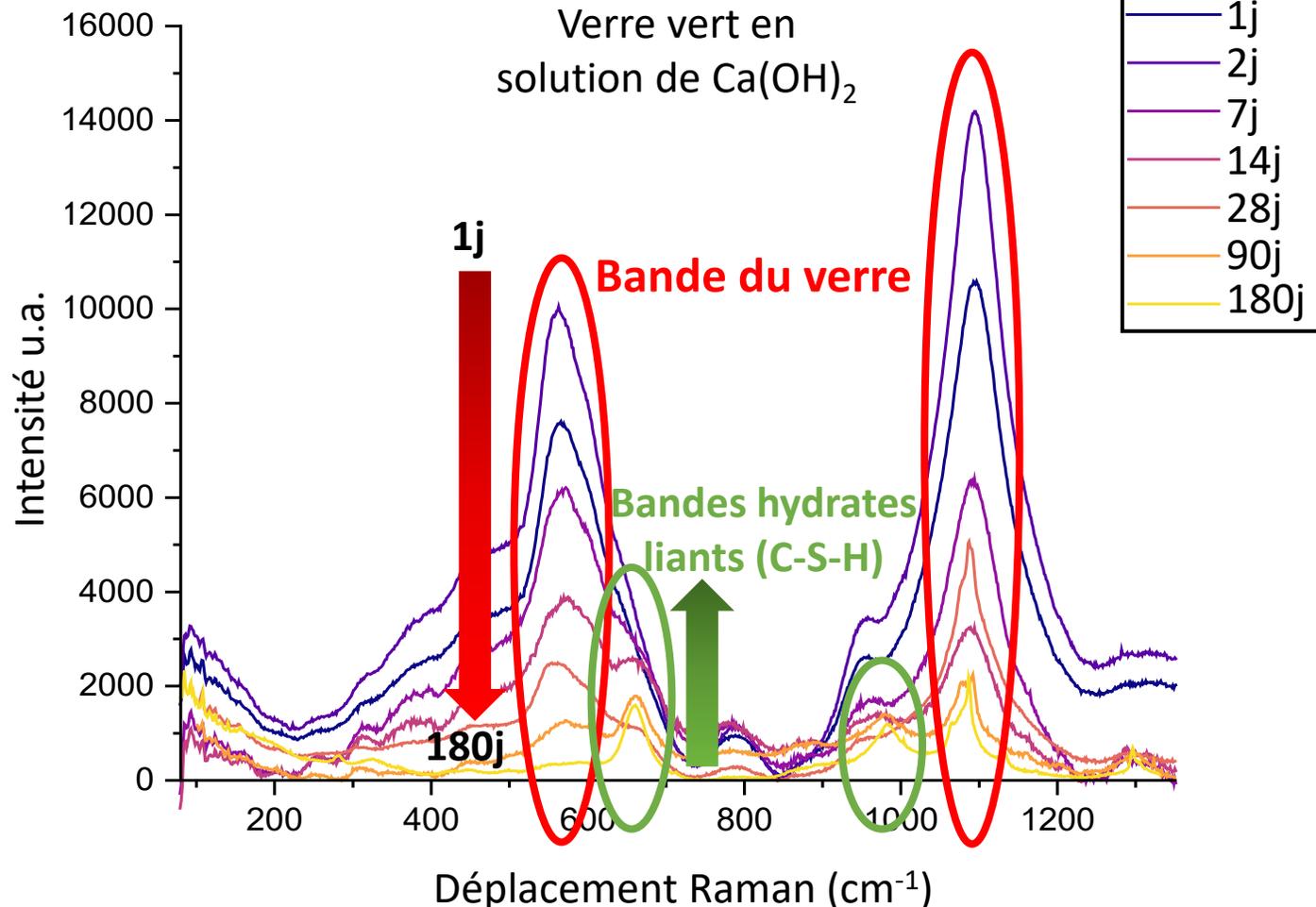
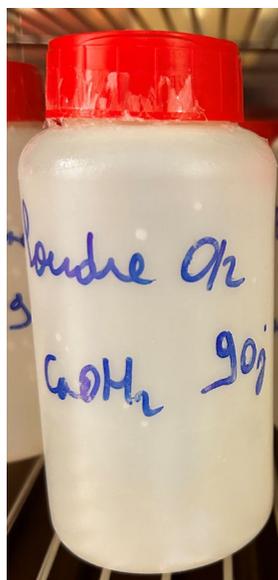


Démonstration de production hydrates liants (C-S-H) sur surface des verres

→ Développer modèle de réactivité à  $\text{pH} > 12$

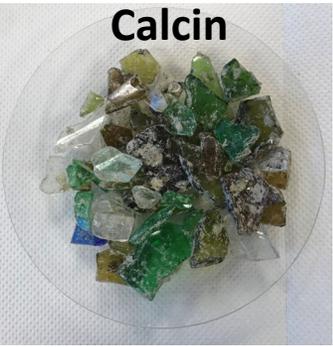


Echantillon macro



**Disparition du verre** mesuré à la surface du verre au cours du temps  
**Apparition des hydrates liants (C-S-H)** à la surface du verre

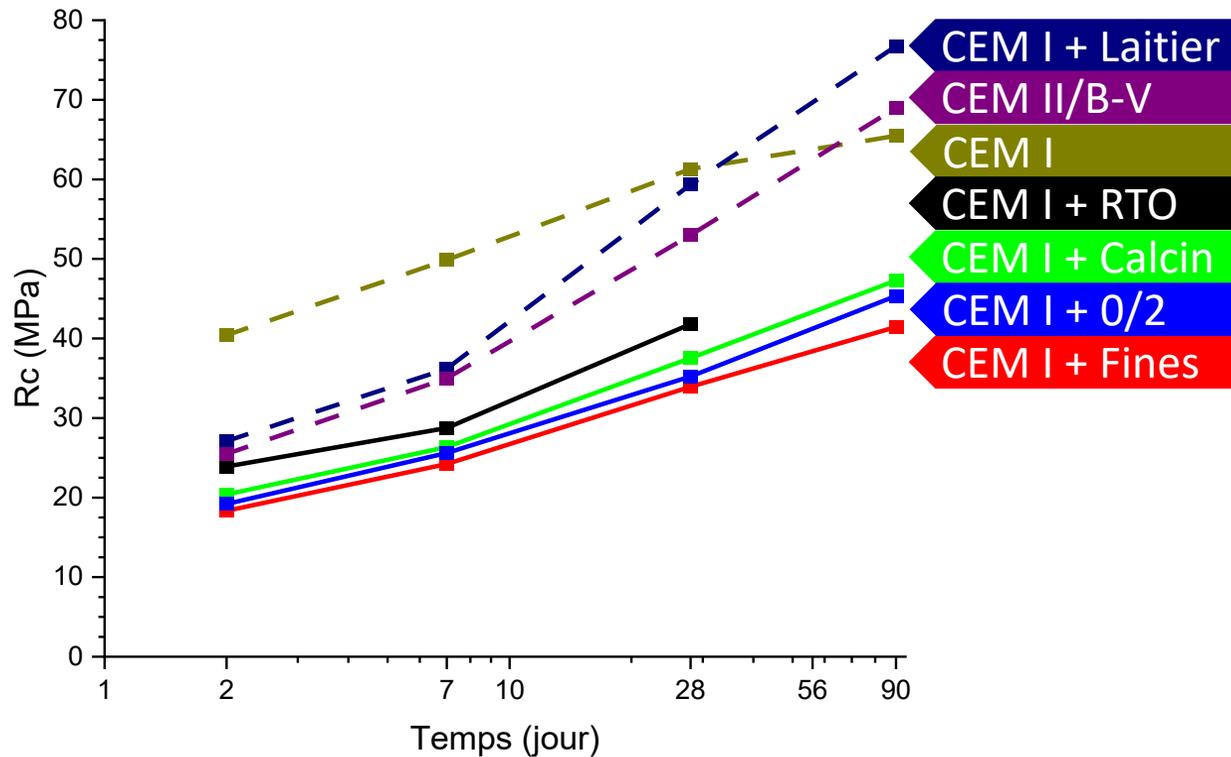
# Analyses effectuées : Résistances Mécaniques



## Résistances Mécaniques

Pour construire => Rc

Mesure sur mortier des résistances mécaniques



Résultat > 32MPa → réaction pouzzolanique des verres

Mélange 70/30

Poudre 5 $\mu$ m

## Durabilités

Pour construire => Durabilité

Analyse Ciments formulés :

- Optimisation formulations
- Résistance Carbonatation
- Résistance Gel-Dégel
- Résistance Chlorures
- Résistance Alkali-Réaction

Poudre 5 $\mu$ m



## LES PITCHS



Florence BOVET

Seqens

Le projet Recygénie :  
construction d'un immeuble  
résidentiel utilisant  
uniquement du béton recyclé



# Présentation de SEQENS

107 000

logements dont

10 090

logements  
spécifiques

76%

de locataires  
satisfaits

250 000

locataires

72%

d'attribution  
à des salariés

6 439

dossiers  
d'attribution  
étudiés

333  
communes

6

directions  
départementales

2 301

logements  
livrés

4 000

logements  
réhabilités par an



1 681

collaborateurs dont

700

gardiens

100

managers de

proximité

22

conseillères  
sociales

# Au plus proche des territoires

## Une organisation volontairement décentralisée et opérationnelle

L'organisation de Seqens a été voulue décentralisée afin d'être au plus près des préoccupations de chaque secteur, de leurs représentants, élus, économiques ou citoyens.

**Nous comptons 6 directions départementales basées à Versailles, Levallois, Cergy, Aubervilliers, Créteil et Athis-Mons, et un siège social basé à Issy-les-Moulineaux.**

Nos Directions départementales sont des centres névralgiques, gérant 11 000 à 20 000 logements, chacune subdivisée en 3 à 7 territoires (4 000 à 5 000 logements), soit **25 directions immobilières en charge de l'entretien courant du patrimoine, de la concertation et de la relation quotidienne avec les locataires, de leurs besoins d'accompagnement.**

**Dans notre vision de l'économie de matière, notre patrimoine constitue notre première banque de matériaux, au cœur de notre stratégie de valorisation et de réutilisation.**

# Le projet : réaménagement de l'ilot Brenu



De **166 logements sociaux** démolis + 30 logements privés environ

**B et J**  
76 logements sociaux  
Seqens  
A26 Architectures



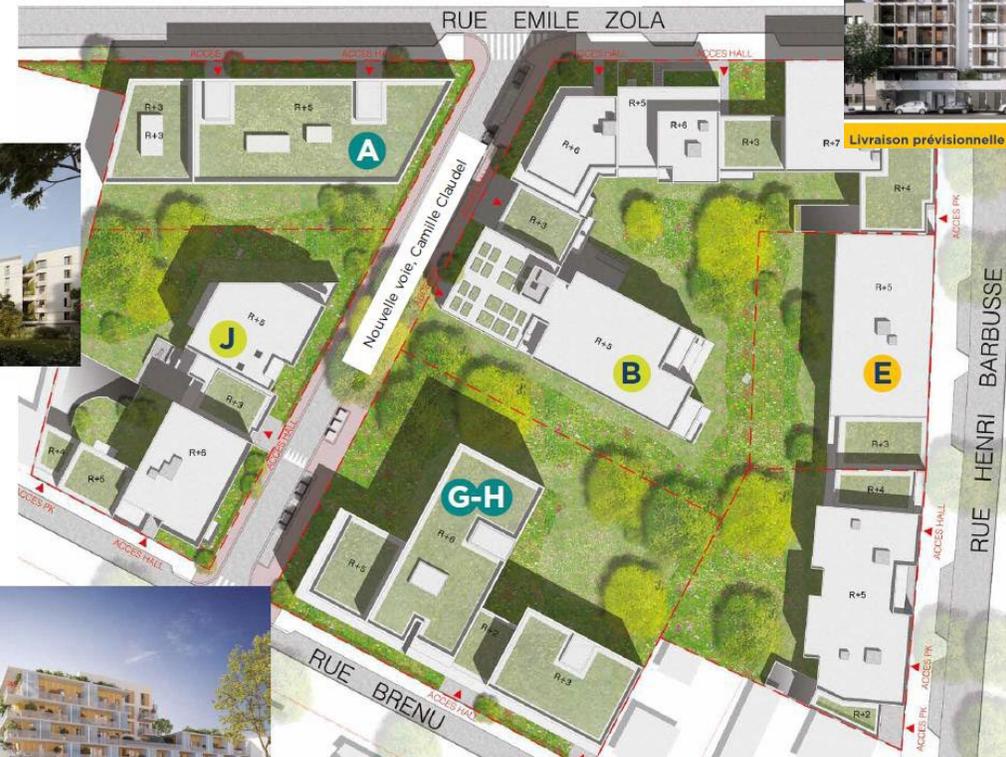
Livraison prévisionnelle : fin 2024

**A, G-H**  
A : 40 logements  
G et H : 57 logements  
Pitch Immo  
Daquin-Ferrière  
et Associés



Livraison prévisionnelle : fin 2024

A **320 nouveaux logements** + 1 voie nouvelle + espaces verts



**28 logements en BRS, SCCV\* de Genevilliers Brenu**  
Valero Gadant Architectes  
et Associés

\* La SCCV est composée de la Coopérative HLM Boucle de la Seine et de Seqens Accession.



Livraison prévisionnelle : 1<sup>er</sup> trimestre 2026



**Seqens**  
Groupe ActionLogement

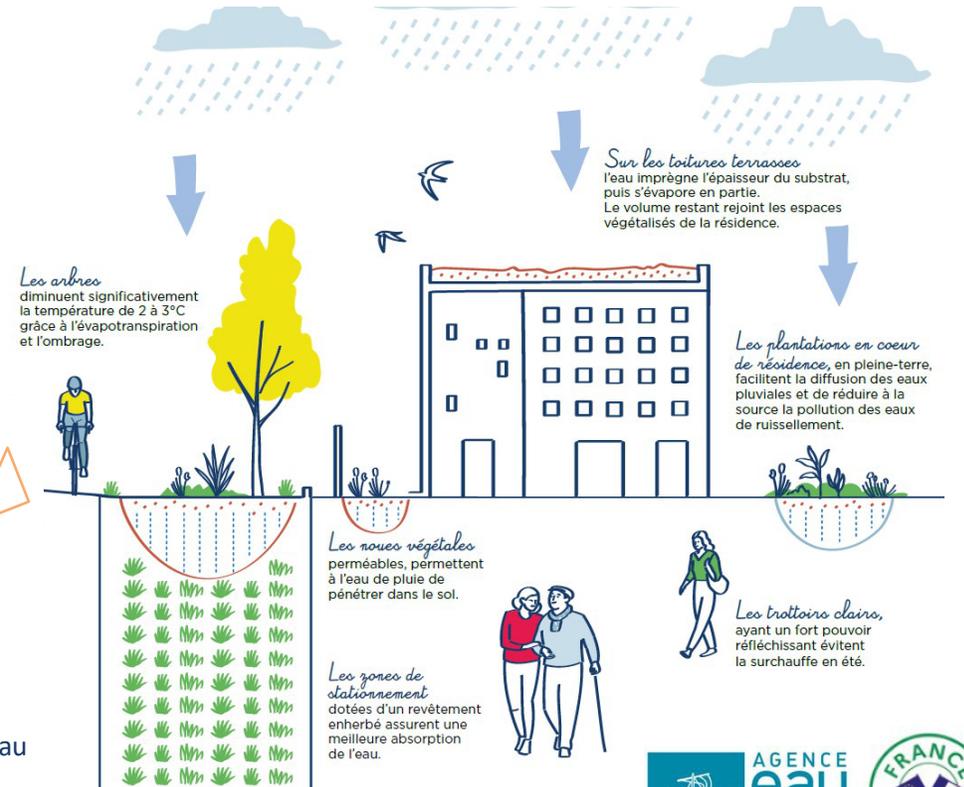
# Un projet exemplaire



**Gennevilliers**  
**énergie**  
Votre réseau de chaleur

**60% d'énergie renouvelable**  
grâce à la **BIOMASSE**

**Gérer l'eau de pluie** au  
plus près de sa chute



**Seqens**   
Groupe ActionLogement

# Le béton 100% recyclé



**Holcim et Seqens lancent la première construction au monde en béton 100% recyclé**

**GENNEVILLIERS** | Bâtir des logements avec un matériau réputé polluant mais recyclé : c'est le test mené par le groupe Holcim. La fabrication, présentée comme une première, est un véritable défi technique.

## Ici, même le béton devient écolo

Olivier Bureau, directeur général de l'activité HLM de Holcim, présente le projet. Une alternative au bois, de 10 % d'eau et 10 % de clinker, du calcaire et de la chaux. Une alternative au bois.

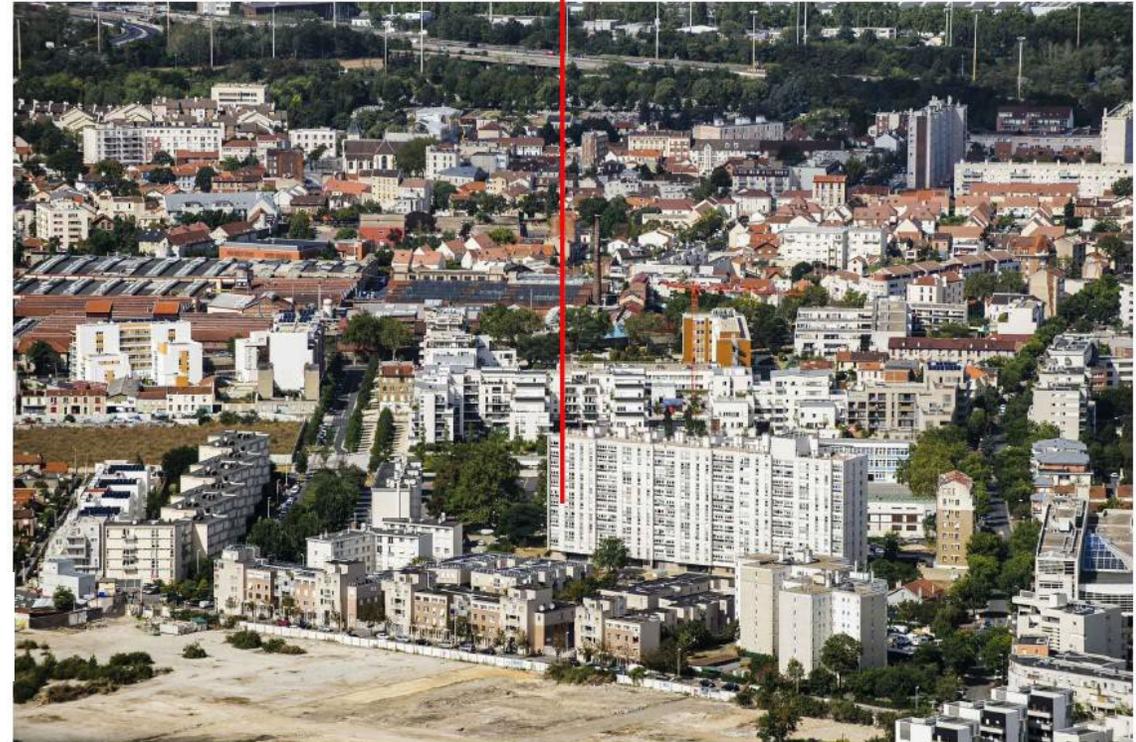
**Résidences en béton 100% recyclé : à Gennevilliers, le chantier a débuté**

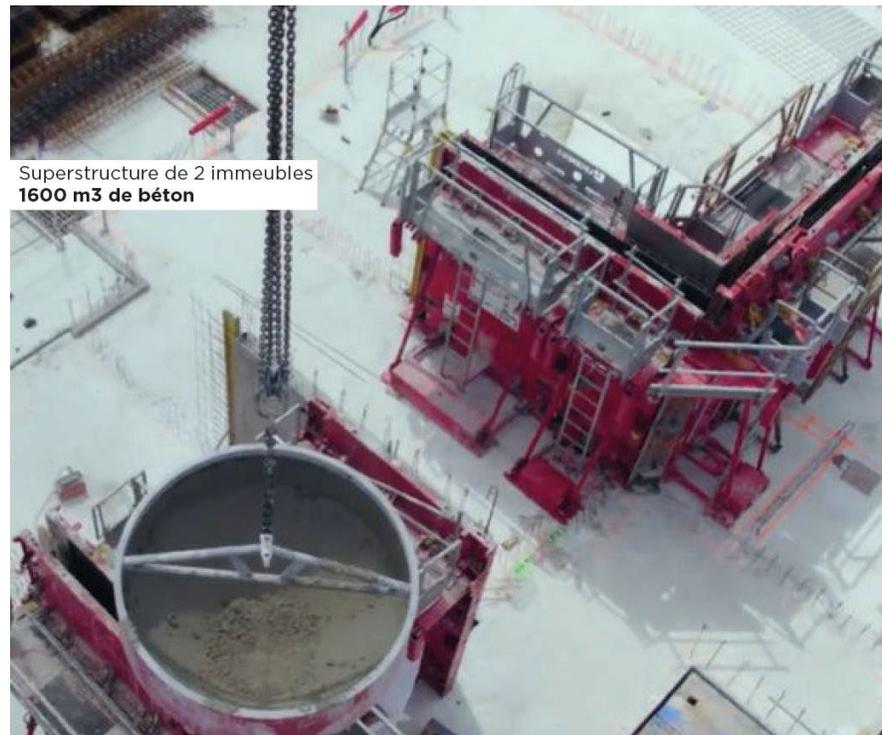


Récycgénie

Trophée de l'Innovation HLM dans la catégorie durable et circulaire

ILOT BRENU- GENNEVILLIERS  
1,1 ha





ciment



3 000 tonnes de ressources minérales économisées

granulat



2 200 tonnes de sables et gravillons économisés

eau



300 000 litres économisés



ATEX 3171\_V1  
Cas b

Le béton recyclé, une 1<sup>ère</sup> mondiale : tous les composants sont issus de matériaux recyclés jusqu'à la réalisation d'un clinker 100% recyclé





## LES PITCHS



Yoann HERRAN

Unelo

Des éco-voiries utilisant des sédiments de dragages et des ciments bas carbone



Unelo

L'économie circulaire au service de l'aménagement de  
voiries écoresponsables

SÉDIMENTS DE  
DRAGAGE



TRAVAUX D'AMÉNAGEMENT  
ECORESPONSABLES

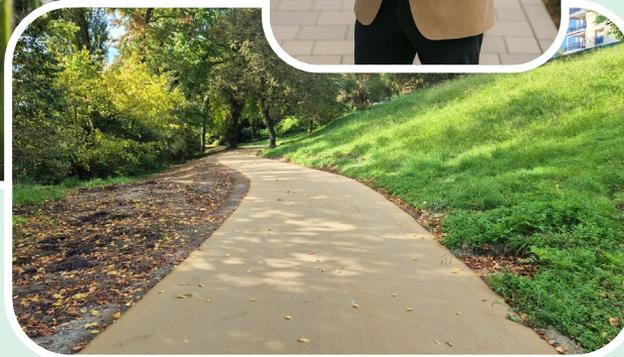
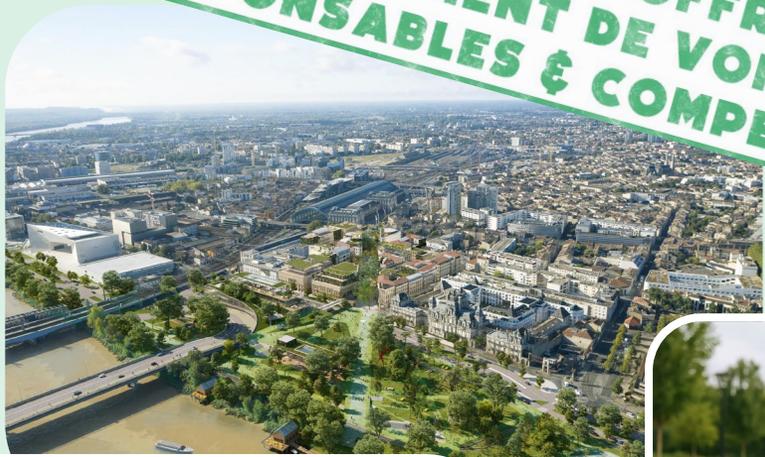


ECONOMIE  
CIRCULAIRE



**ECOPRODUITS ROUTIERS**

**UNE NOUVELLE OFFRE  
D'AMENAGEMENT DE VOIRIES  
ECORESponsABLES & COMPETITIVES**



**UNE FILIERE DE VALORISATION  
COMPETITIVE & DURABLE**



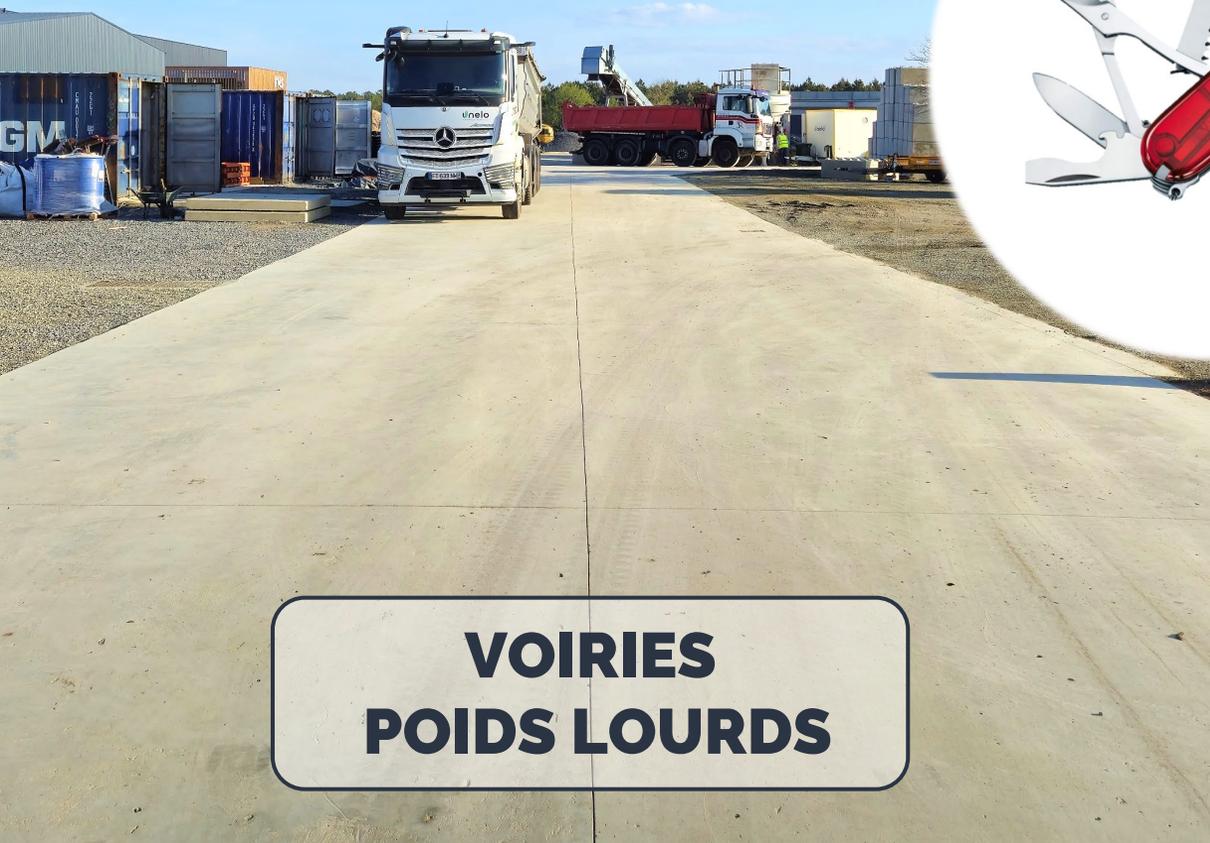


# Sédicom compact

Le BCR (Béton Compacté Routier) performant et respectueux de l'environnement



**PARKINGS**



**VOIRIES  
POIDS LOURDS**



**PISTES CYCLABLES**



**VERSION  
PERMEABLE**



# Sédicomact

**Durabilité  
Exceptionnelle**



**Préservation des  
ressources naturelles**



**Baisse des  
émissions de CO<sub>2</sub>**



**Compétitif**



**Innocuité  
environnementale**



**Souveraineté  
territoriale**



**Dépendance aux  
énergies fossiles**



**Economies  
d'éclairage public**



**Lutte contre les  
ilots de chaleur**



**Version  
drainante**

# UN SAVOIR FAIRE SUR L'ENSEMBLE DE LA CHAINE DE VALEUR

Accompagnement des producteurs de sédiment

**Unelo**  
Sédiroute



R&D – Développement de formulation



Industrie – Traitement / Fabrication

Unité de traitement des sédiments et fabrication d'écoproduits routier



Mise en œuvre d'écoproduits routier

**Unelo**  
Academy



**Ecoproduits routiers**





## LES PITCHS



Romain DUBALLET

XtreeE

Industrialisation  
et robotisation :  
optimisation matière



# XtreeE

The large-scale 3D





## REHABILITATION

2022, France

**Résidence Schumann, Poitiers (86)**

*Design & Manufacturing : Spie Batignolles / Emprunte*





**27 PREMURS COURBES**

2022, France

*Design & Manufacturing : Spie Batignolles / Emprinte*



## KRYPTON v2.0

2024, France

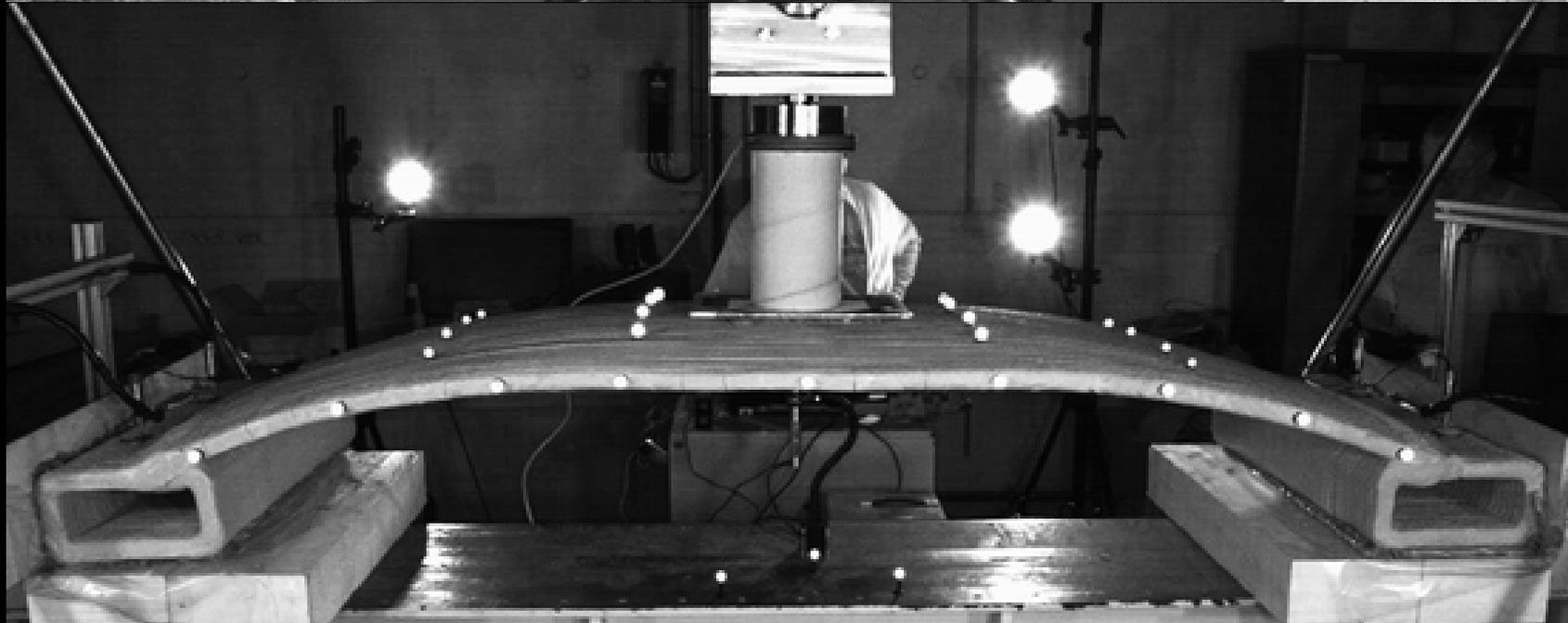
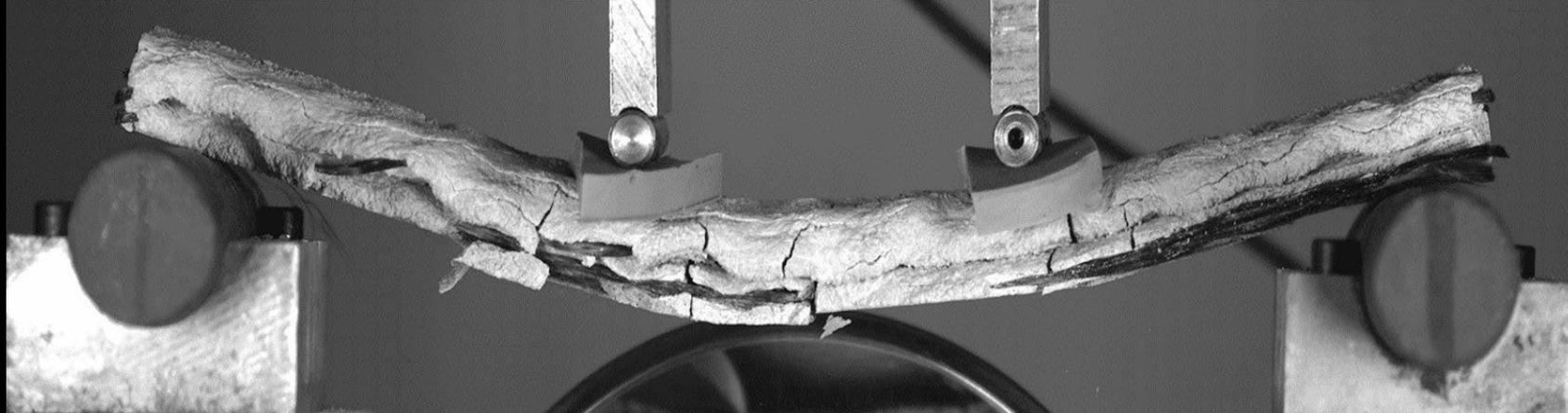
*XtreeE*

## RECIFS ARTIFICIELS

2025, France

*3D Concrete / LINEUP Océan*

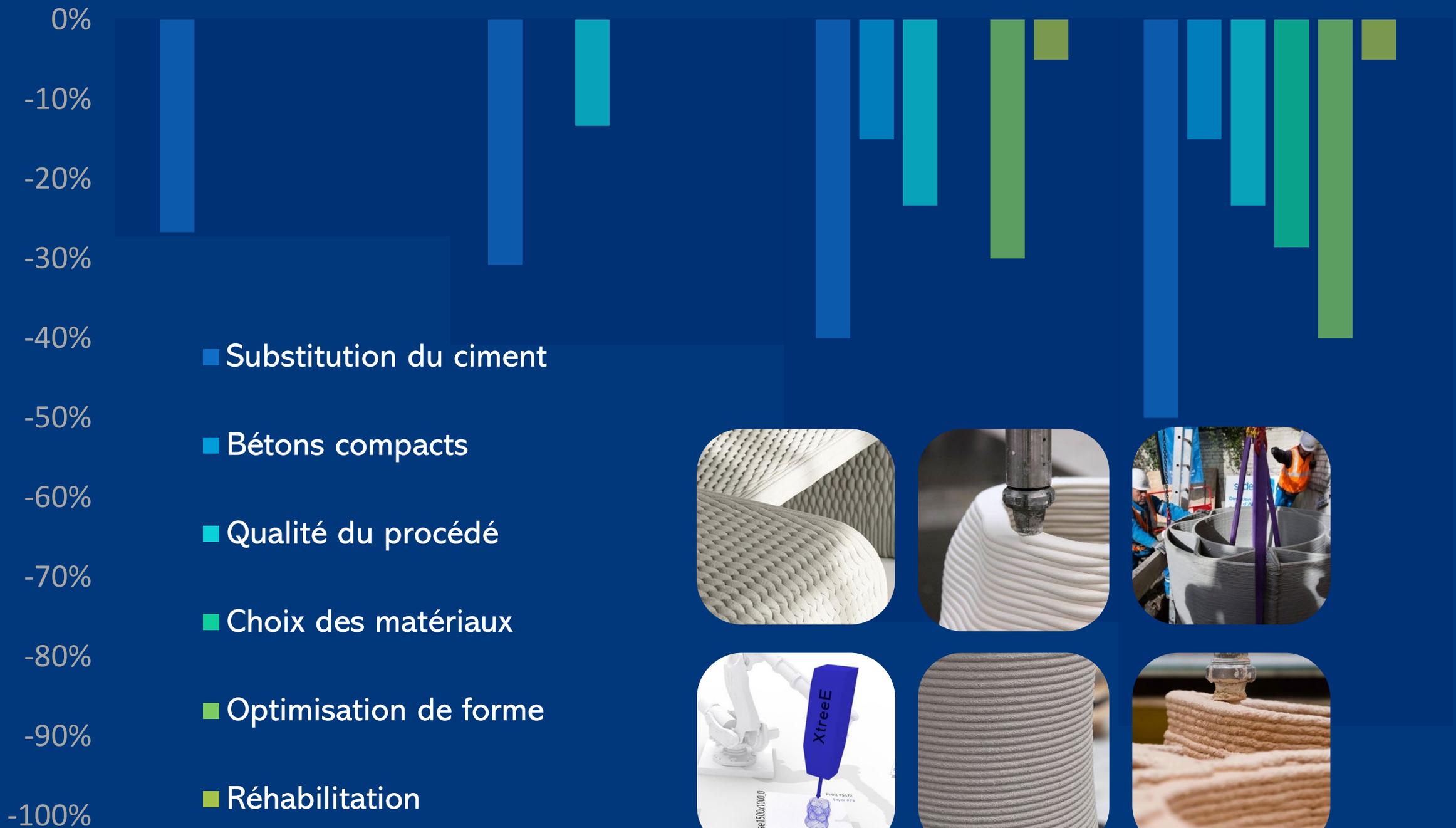




## COQUE EN BETON IMPRIME FIBRE

2025, France

*Ecole Nationale des Ponts & Chaussées / XtreeE*



■ Substitution du ciment

■ Bétons compacts

■ Qualité du procédé

■ Choix des matériaux

■ Optimisation de forme

■ Réhabilitation



The image shows a modern building facade with a lush green living wall. The building has a curved, metallic, ribbed exterior. The living wall is composed of various green plants, including ferns and succulents, growing in a grid-like pattern. A large, teal-colored graphic overlay is present, consisting of a large circle on the left and a smaller circle on the right, both overlapping the building and the living wall. The text "CAPTURE DU CARBONE" is written in white, uppercase letters on the large teal circle.

# CAPTURE DU CARBONE

The background of the slide features a modern building facade with a prominent green wall. The building's exterior is composed of horizontal, wavy, metallic-looking panels. The green wall is a lush, vertical garden with various types of green plants and foliage. In the center of the slide, there is a circular portrait of a woman with long brown hair and glasses, smiling. The overall aesthetic is clean, modern, and environmentally focused.

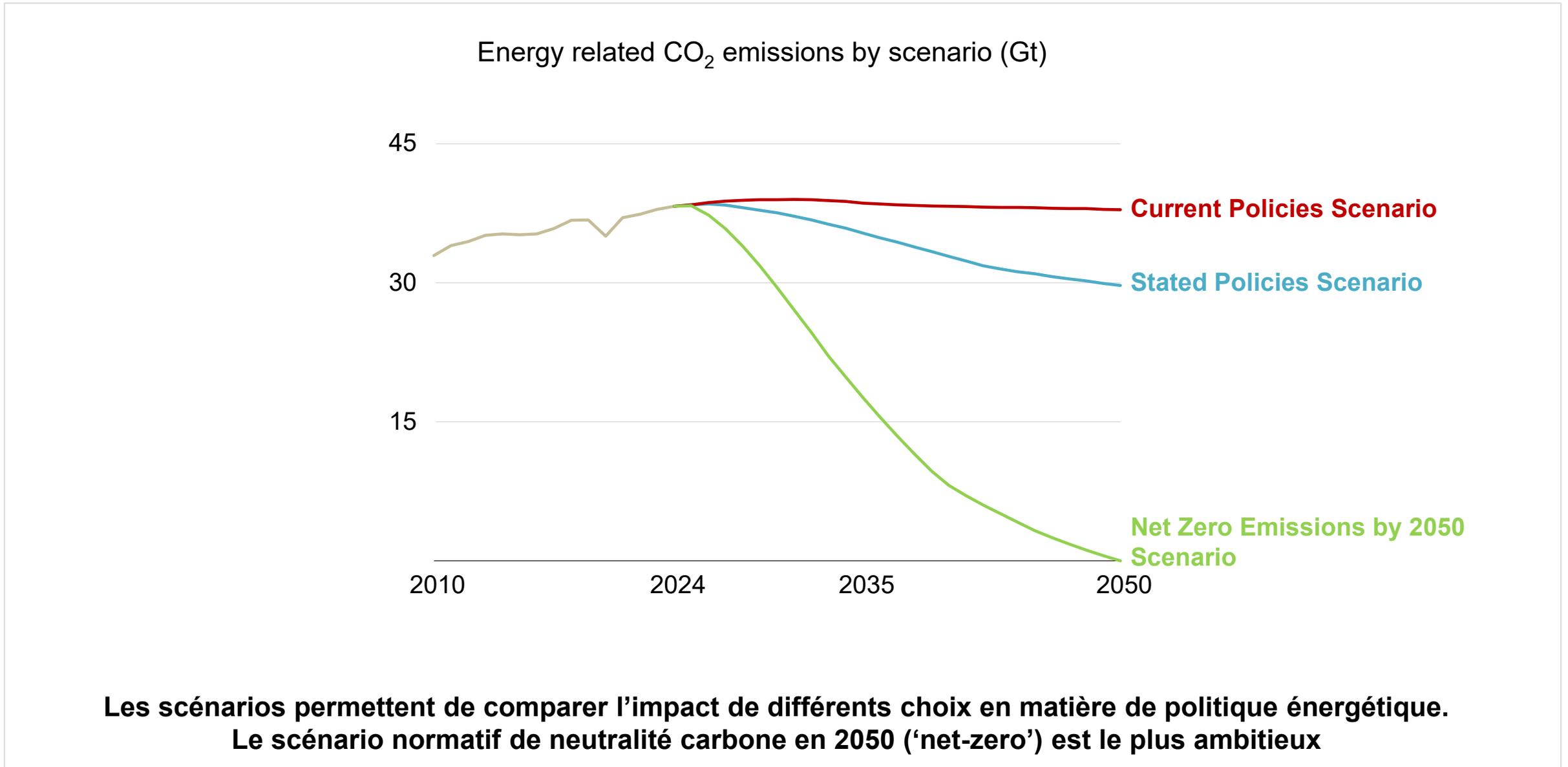
## Le CCS, une réponse aux enjeux de décarbonation



**Mathilde FAJARDY**

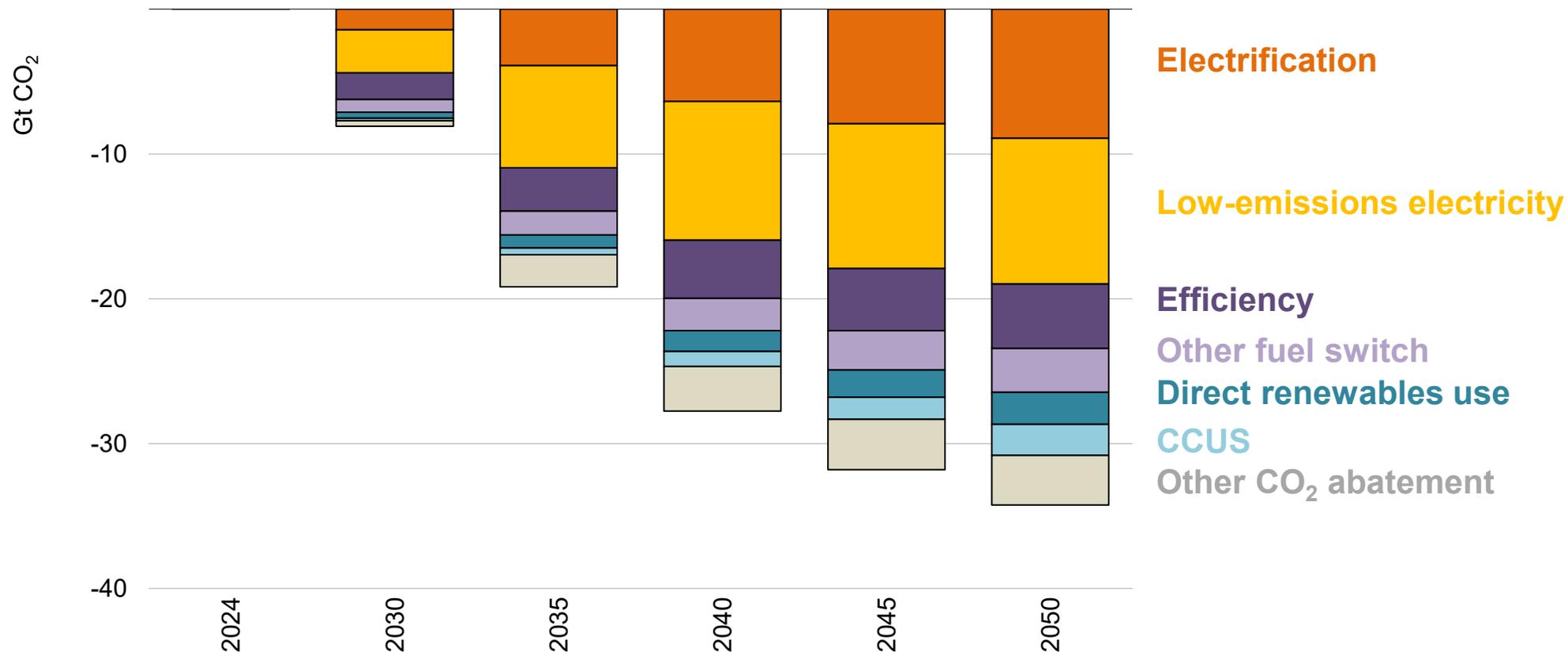
Analyste, AIE (Agence Internationale de l'Énergie)

# Appréhender différents futurs du changement climatique



# Le CCUS n'est qu'une partie de la solution

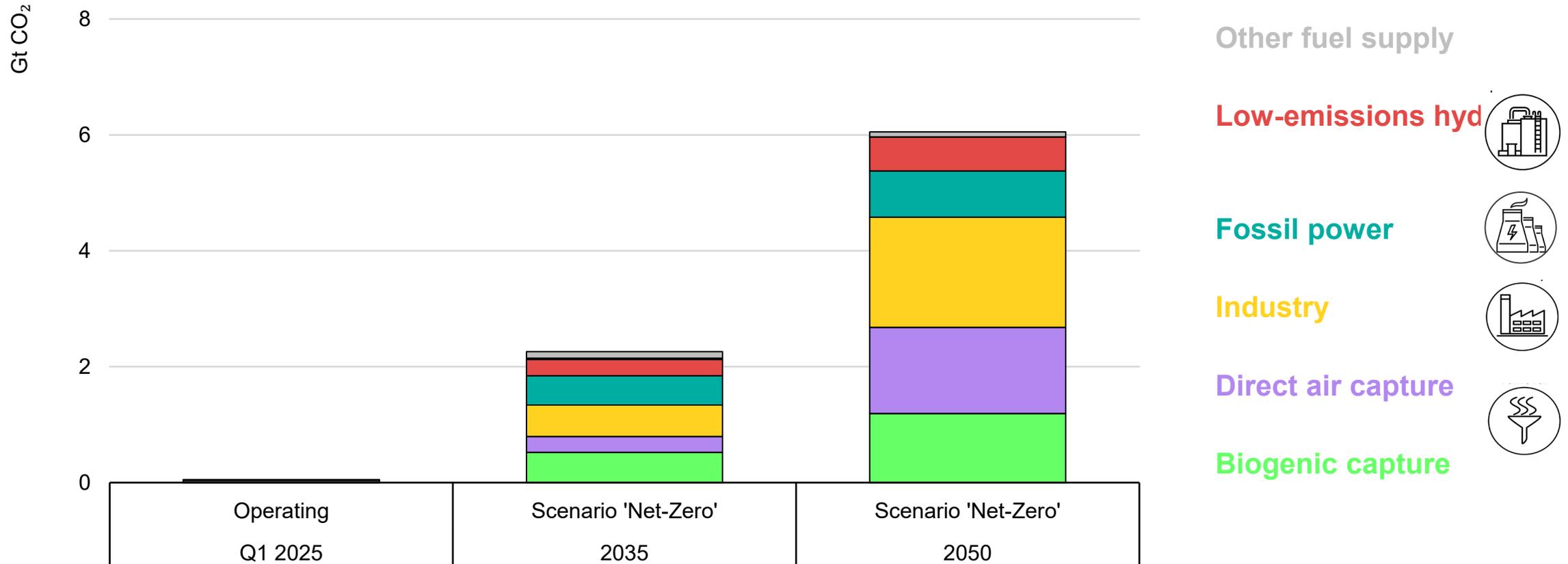
Levers employed to cut emissions in the scenario 'Net Zero', 2024-2050



**L'électrification des usages, la décarbonation de l'électricité, et les gains d'efficacité représentent deux tiers des efforts de réduction d'émissions pour atteindre la neutralité en 2050. Le CCUS représente 6% des efforts**

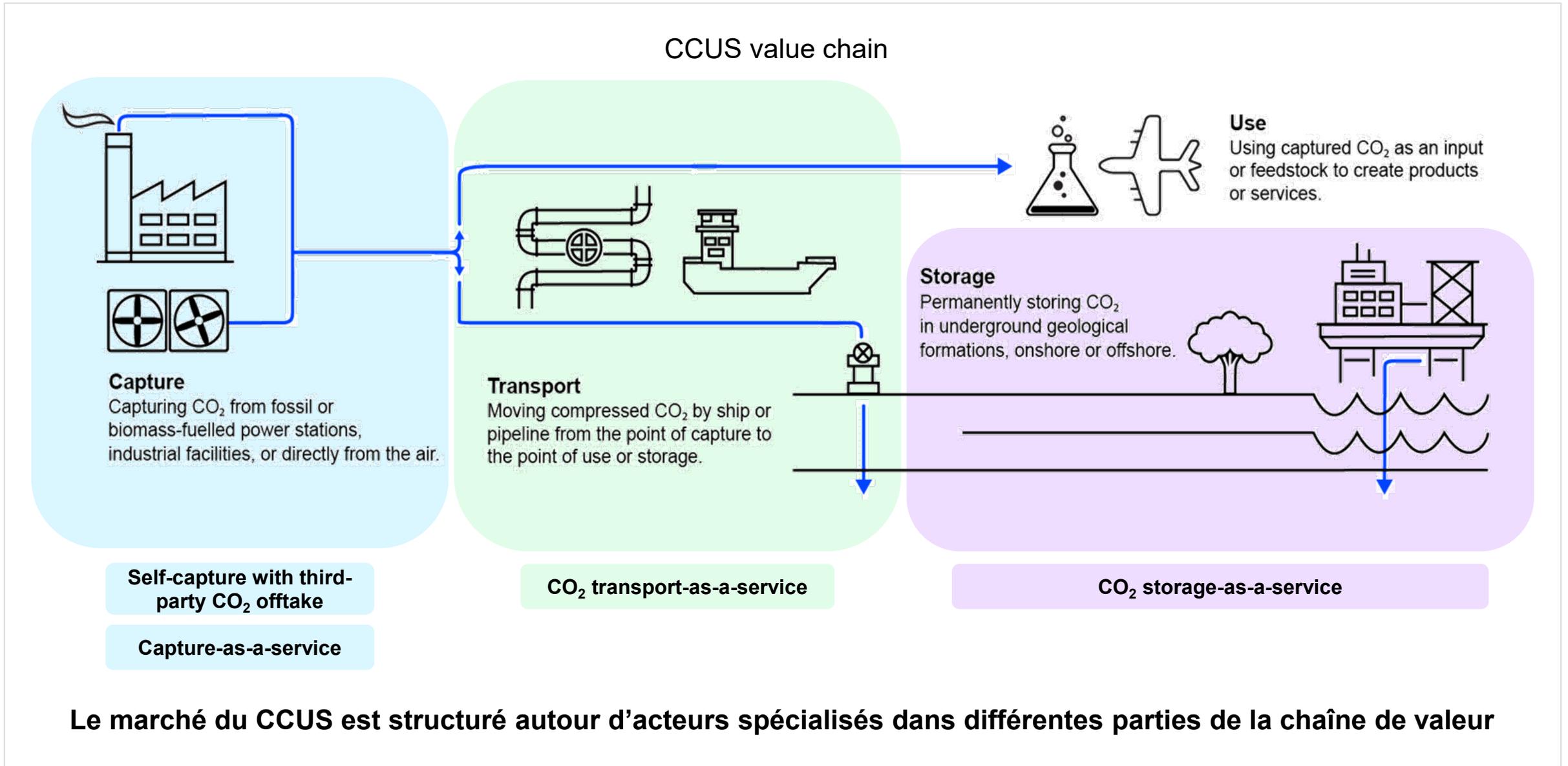
# Quatre rôles stratégiques pour le CCUS

Operating CO<sub>2</sub> capture capacity vs. scenario 'Net Zero', 2035 and 2050



**Pour atteindre la neutralité carbone en 2050, les quantités de CO<sub>2</sub> captées doivent augmenter d'environ 50 millions de tonnes CO<sub>2</sub> aujourd'hui à 2,3 milliards de tonnes en 2035 and 6 milliards de tonnes CO<sub>2</sub> en 2050**

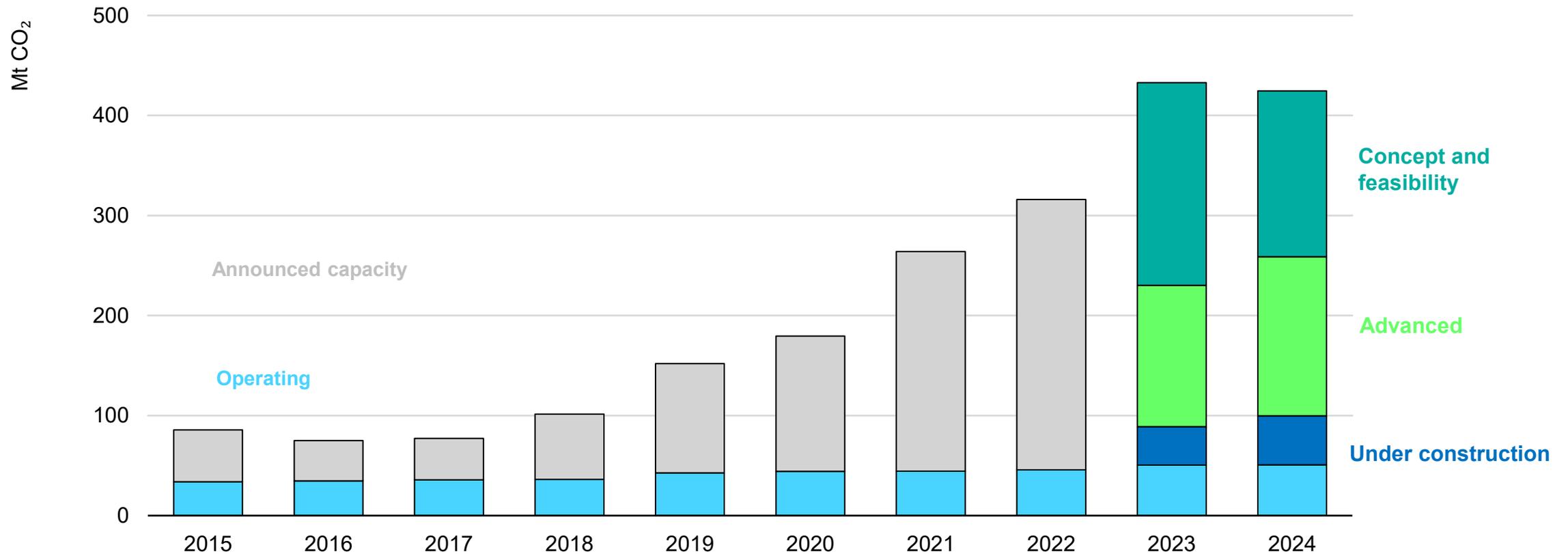
# La chaîne de valeur du CCUS: vers de nouveaux business modèles



Le marché du CCUS est structuré autour d'acteurs spécialisés dans différentes parties de la chaîne de valeur

# Un déploiement plat mais un nouveau dynamisme

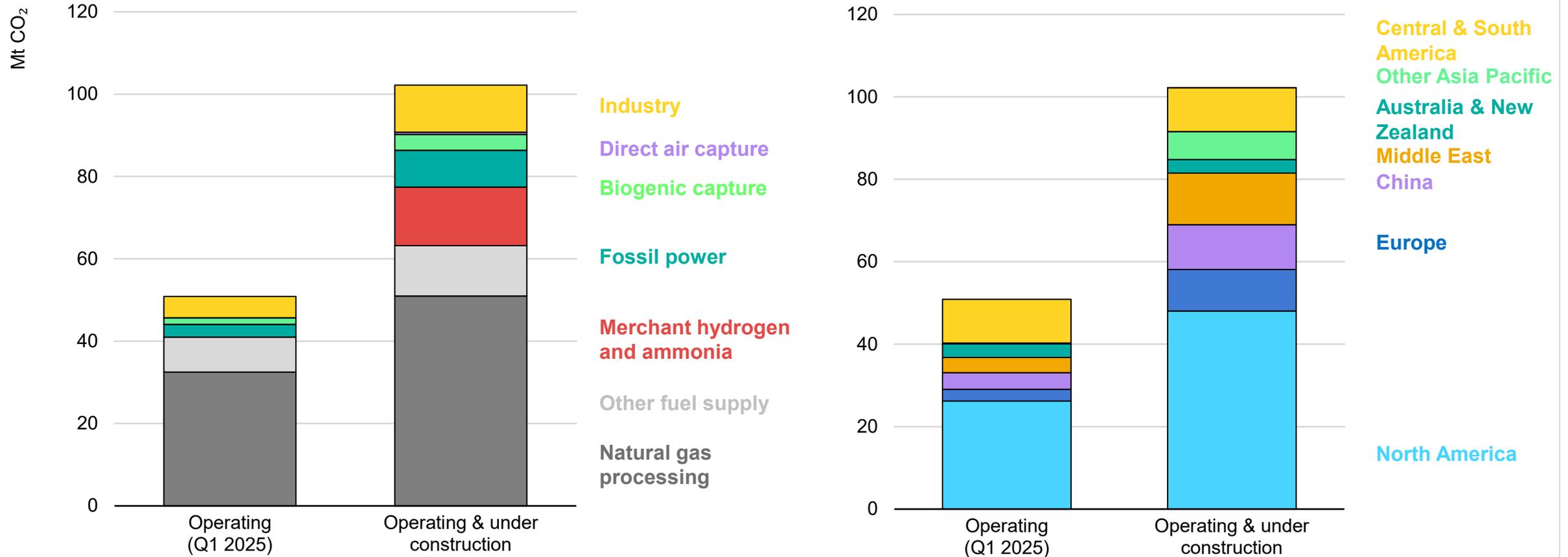
Operational and planned capture capacity, 2015-2024



**Après une longue période d'augmentation marginale des capacités de captage en ligne, la capacité pourrait doubler dans les prochaines années**

# Vers une diversification des secteurs et régions?

Announced and operational CCUS capacity in 2030, by sector and region



**Les annonces montrent une diversification vers des secteurs clés pour 'Net Zero', mais peu se concrétisent. Le déploiement reste concentré sur quelques régions, mais certains marchés évoluent rapidement**

# Enjeu #1: améliorer la viabilité économique

Levelised cost of carbon avoided for a range of applications

USD per tonne CO<sub>2</sub>

200  
150  
100  
50  
0

Gas processing   Biofuels   Ammonia (partial)   Hydrogen   Coal power   Biomass power   Gas power   Steel blast furnace   Cement   Refinery

Average EU Emissions Trading Scheme (ETS) price 2024

**Les prix sur la tonne de CO<sub>2</sub> en vigueur ne rendent viables que certaines applications du CCUS, mais des outils existent pour soutenir des projets aux coûts plus élevés**

# Enjeu #2: coordonner les réseaux de transport & stockage de CO<sub>2</sub>

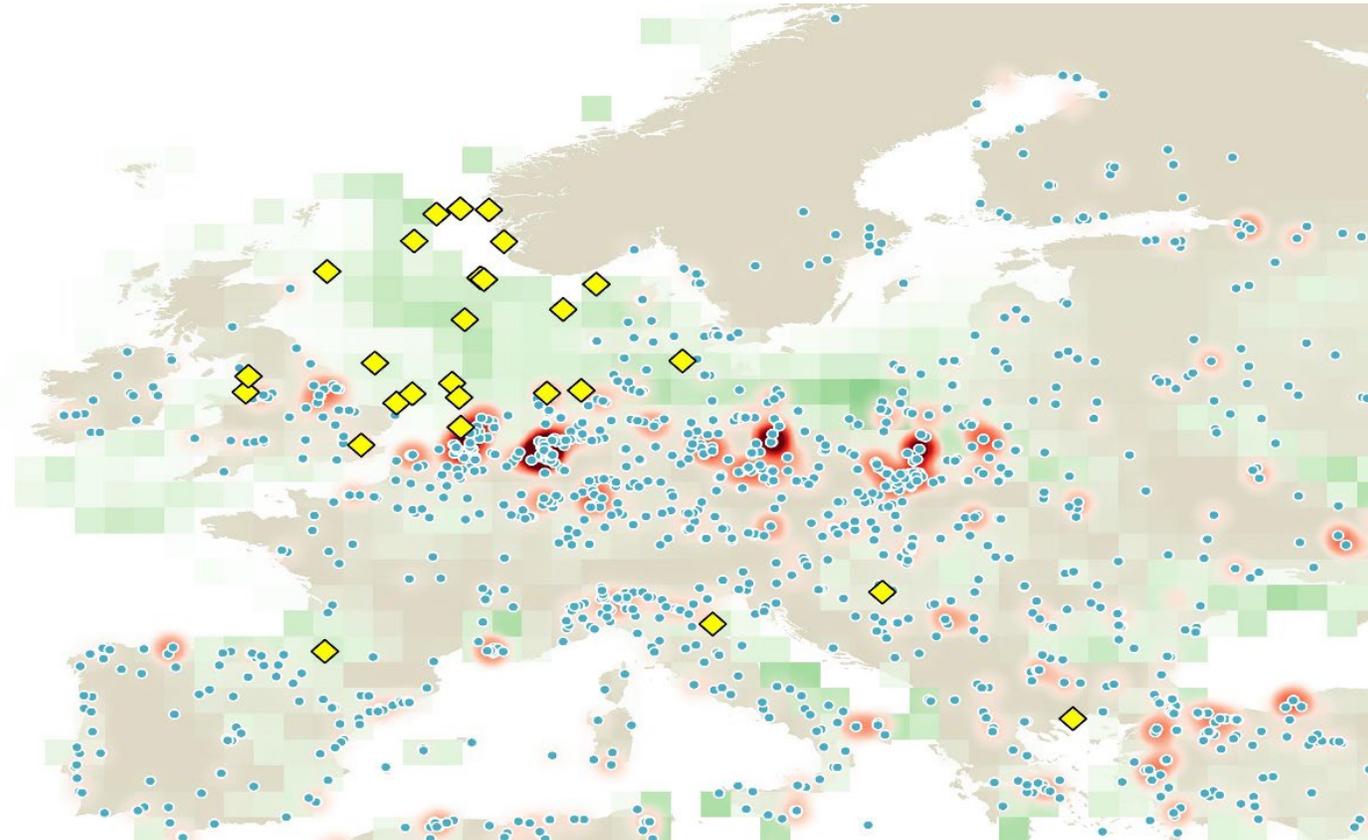
CO<sub>2</sub> emissions clusters and storage hubs in planning in Europe, 2023

## Storage

- Potential
- Planned hubs

## Emissions

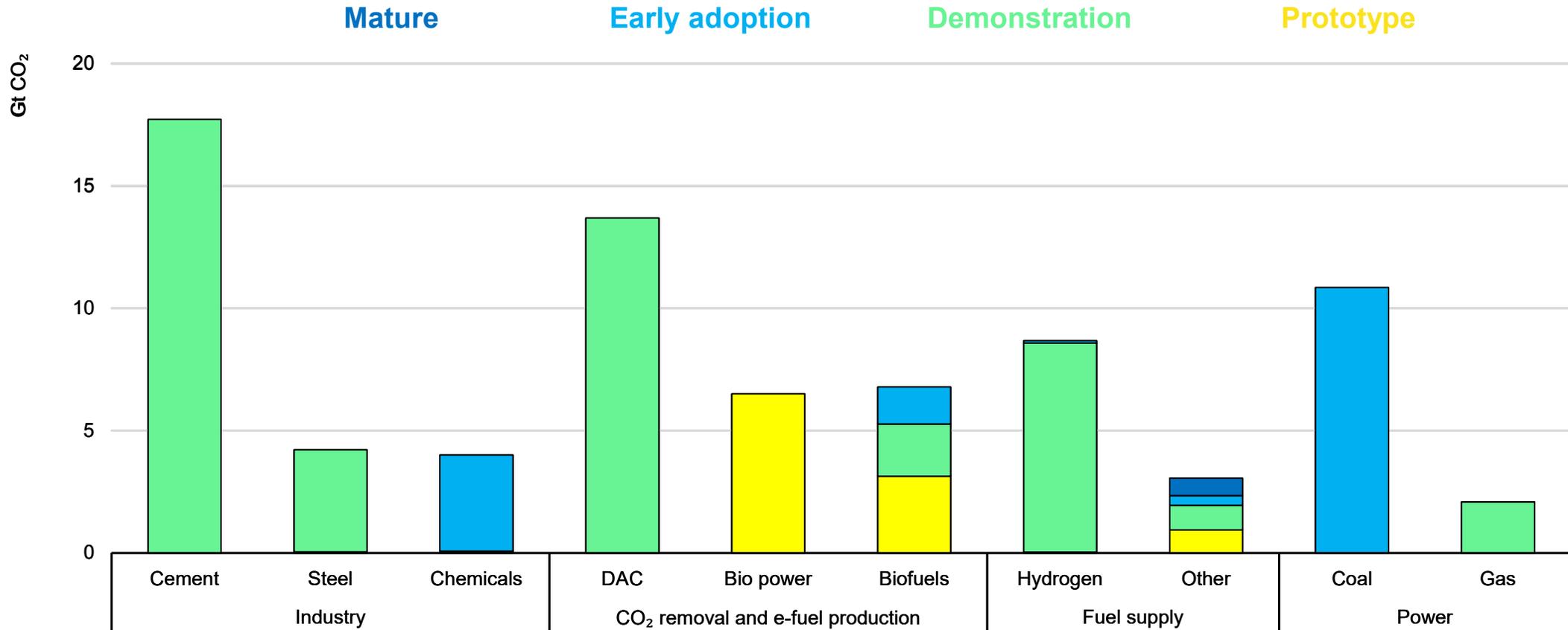
- Clusters
- Sources



**L'infrastructure doit prendre en compte les besoins de chaque secteur et région.  
Les gouvernements ont un rôle central à jouer dans la coordination des hubs**

# Enjeu #3: démontrer à grande échelle les secteurs clés

Cumulative capacity to 2050 in the Scenario 'Net-Zero' by maturity level



**Le soutien à la RD&D est nécessaire pour soutenir des démonstrateurs à grande échelle, et continuer de réduire les coûts et la demande en énergie du CCUS**



**LAB**

CEMENT**LAB**

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS



France Ciment



MESSAGE DE CLÔTURE



Bruno PILLON  
Président France Ciment



**LAB**

CEMENT**LAB**

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS



France Ciment