

LAB

CEMENTLAB

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS

France Ciment





# Laure HELARD

Déléguée Générale

France Ciment

France Ciment



# KEYNOTE D'INAUGURATION




Michèle PAPPALARDO

Présidente de la Fondation
Université Gustave Eiffel


France Ciment



LAB

CEMENTLAB

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS

France Ciment



# MIXITÉ DES MATÉRIAUX

## Regards croisés

Mieux avec moins, grâce à la mixité des matériaux

France Ciment





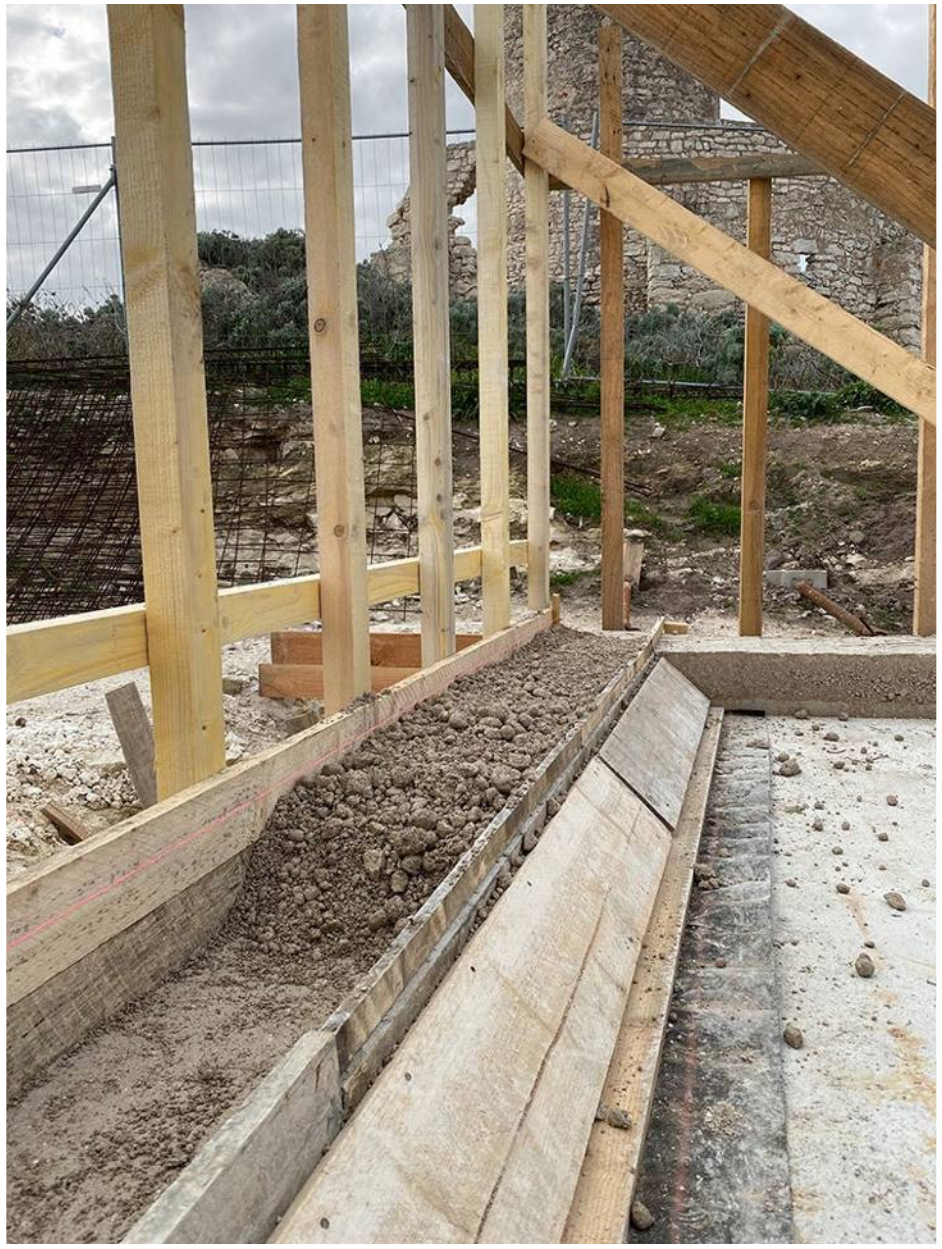
Jean-Philippe SPINELLI

Architecte, Buzzo Spinelli

Jacques BOUILLOT

Développement Hors Site et Solutions Bas Carbone, Eiffage Construction

France Ciment





# Crèche Montlaur

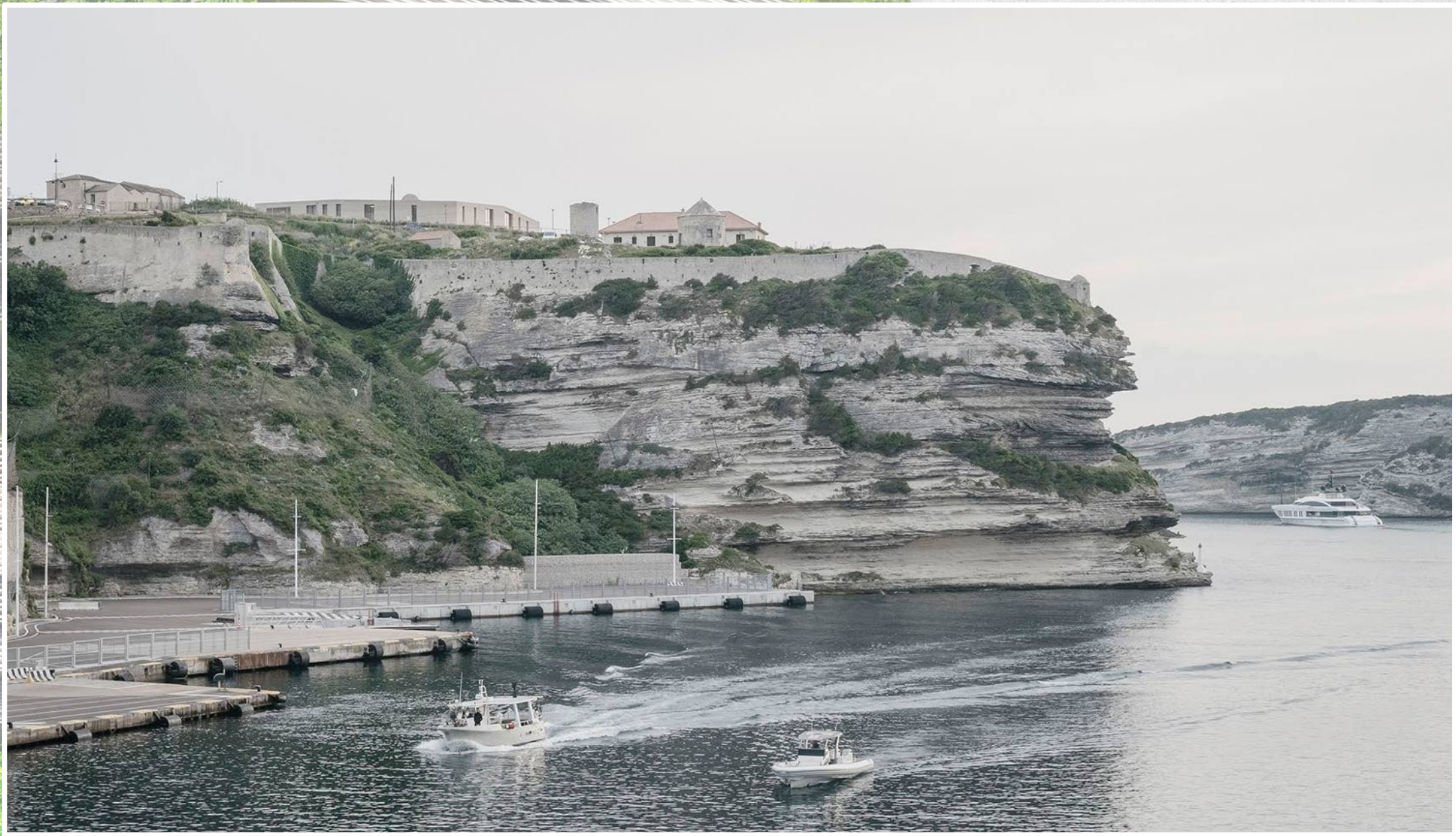
France Ciment





# Crèche Montlaur

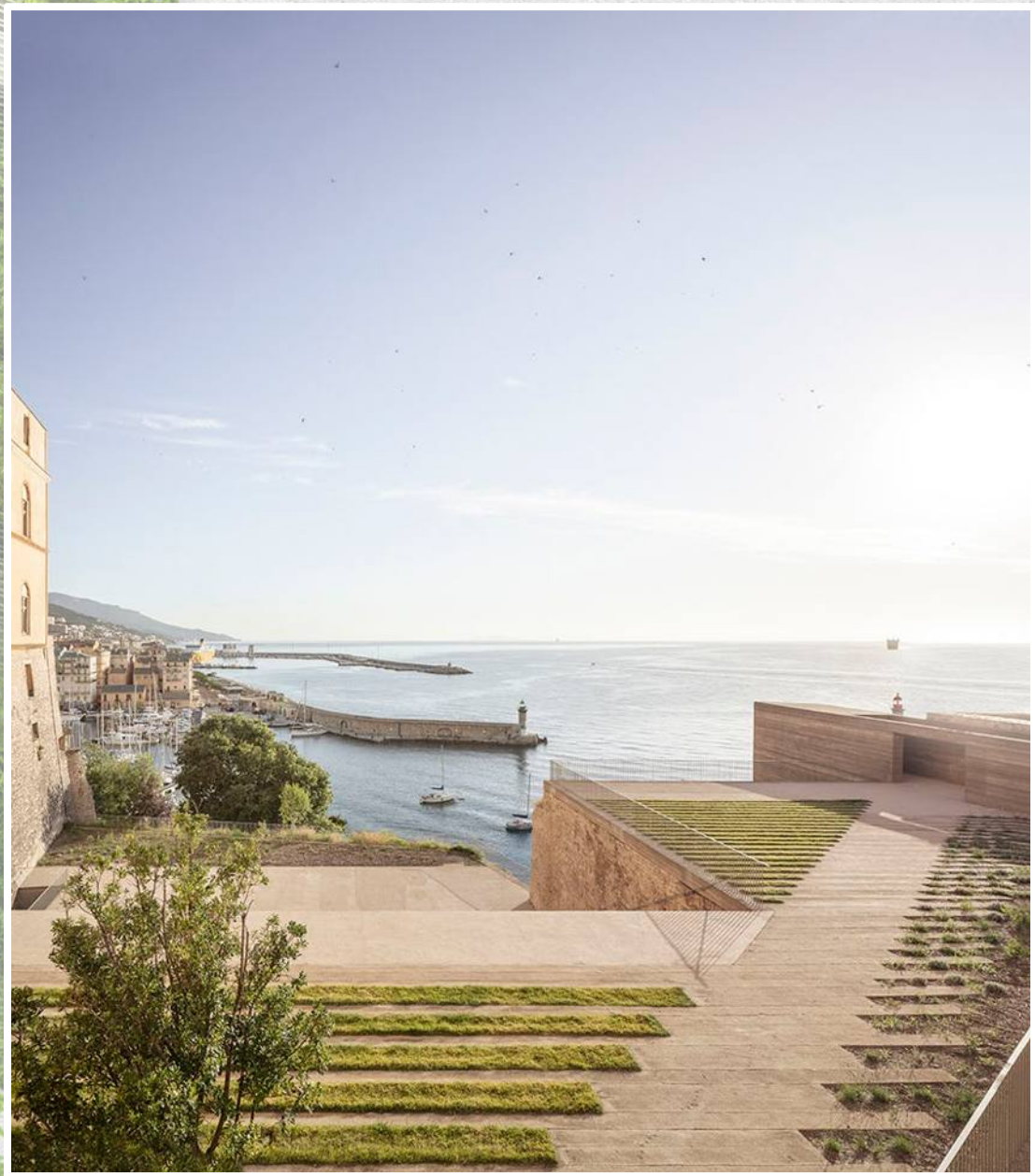
France Ciment



Crèche Montlaur

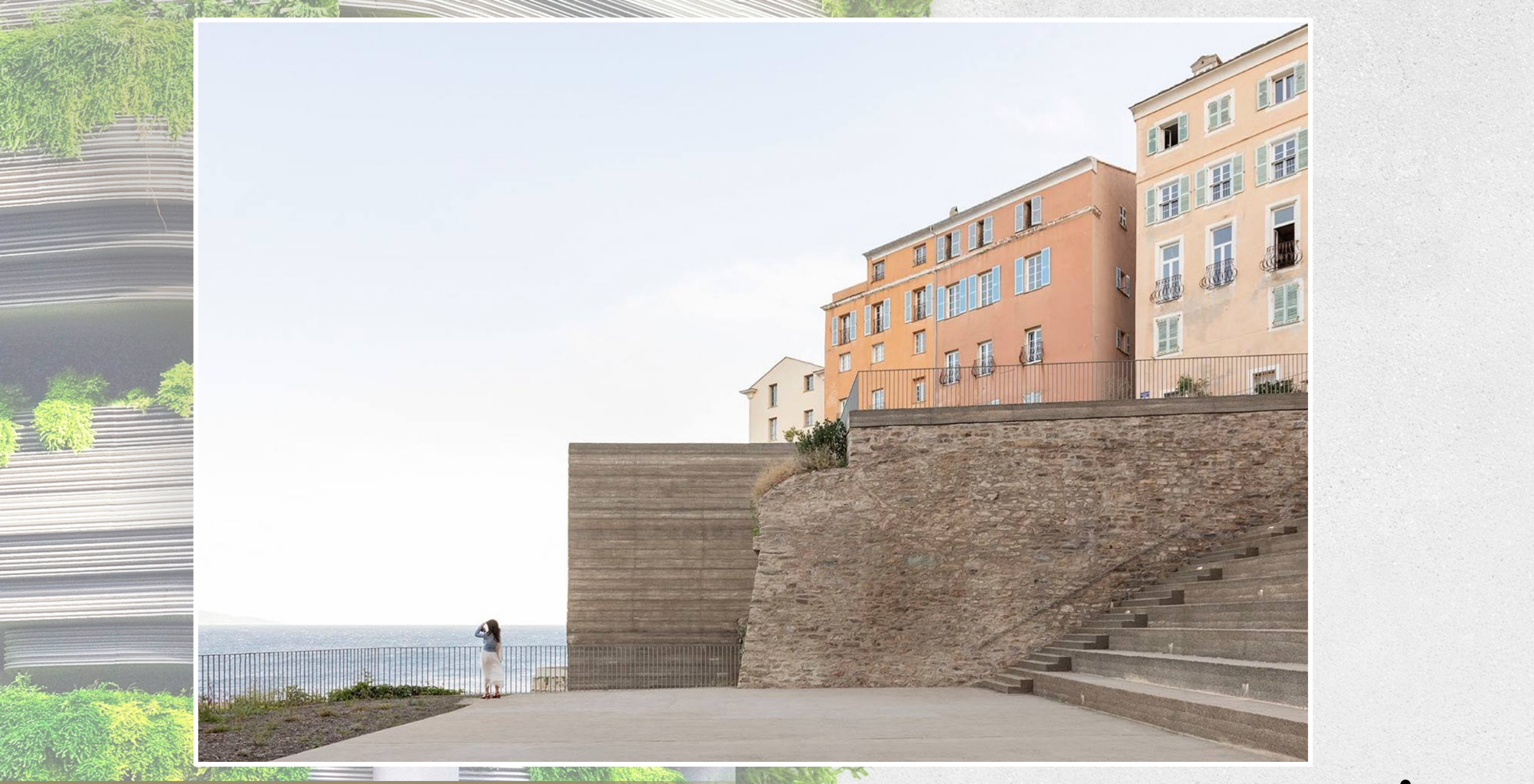
France Ciment





# Mantinum

France Ciment



Mantinum

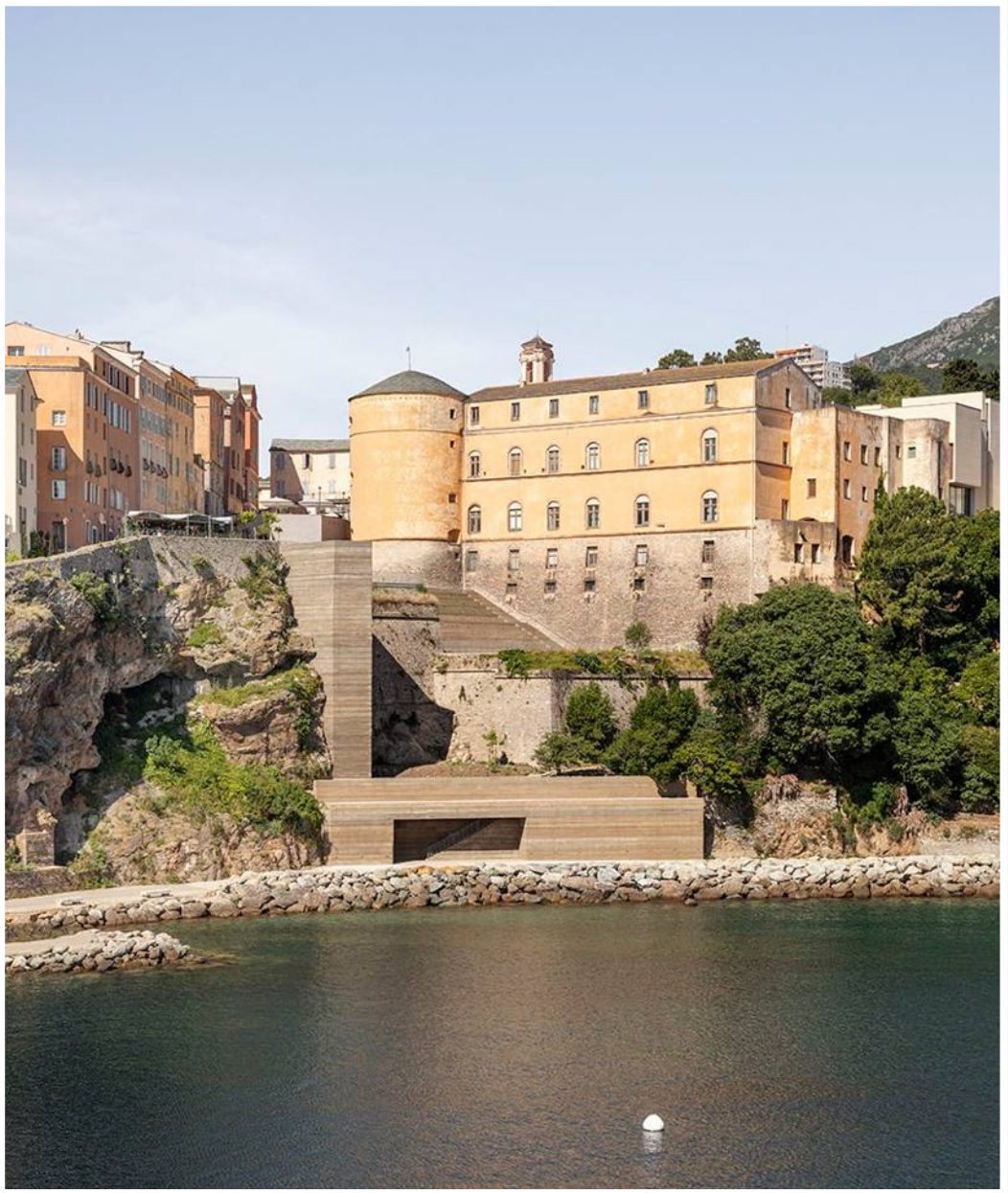
France Ciment



Mantinum

France Ciment





# Mantinum

France Ciment




Vaugirard

France Ciment






# Vaugirard

France Ciment



# SÉANCE Q & R

France Ciment



LAB

CEMENTLAB

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS

France Ciment

LES PITCHS



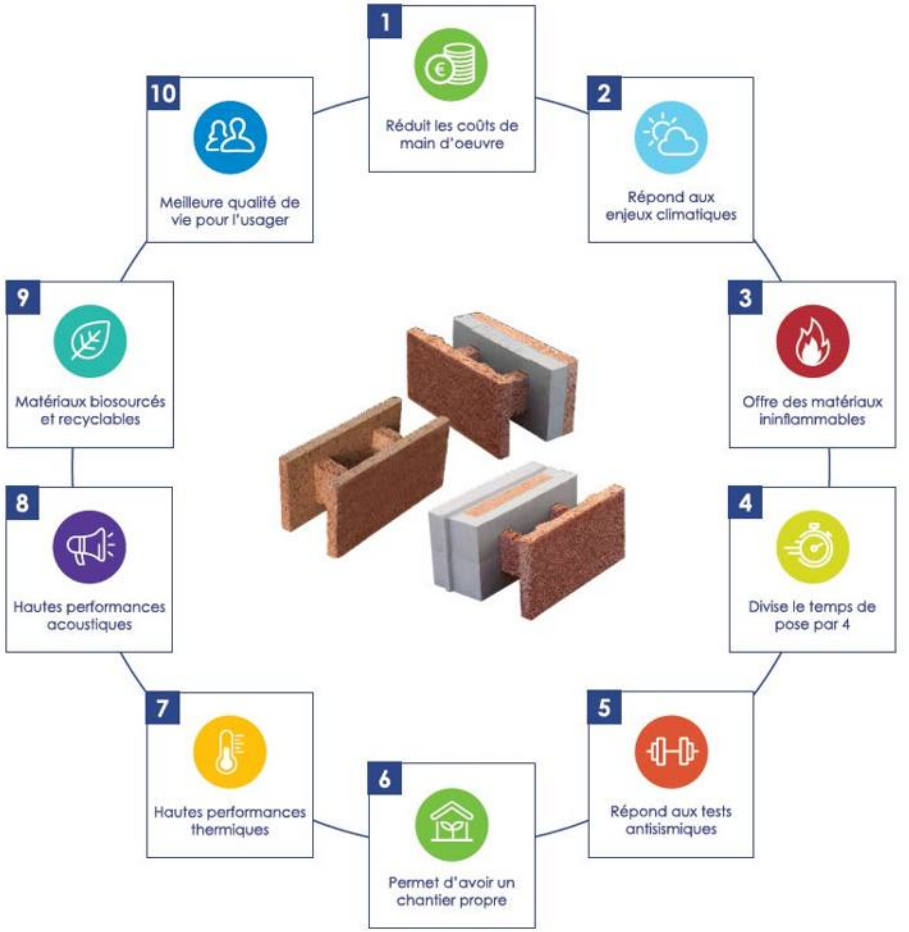
## Bruno COSTANTINI

### 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 :

CE CSTB le futur en construction NF



LAB

CEMENTLAB

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



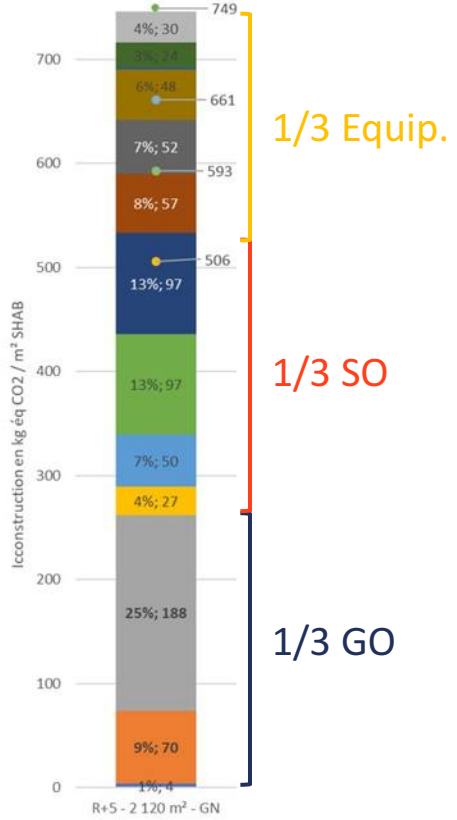
# co2st

La décarbonation à coût maitrisé

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

# 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)



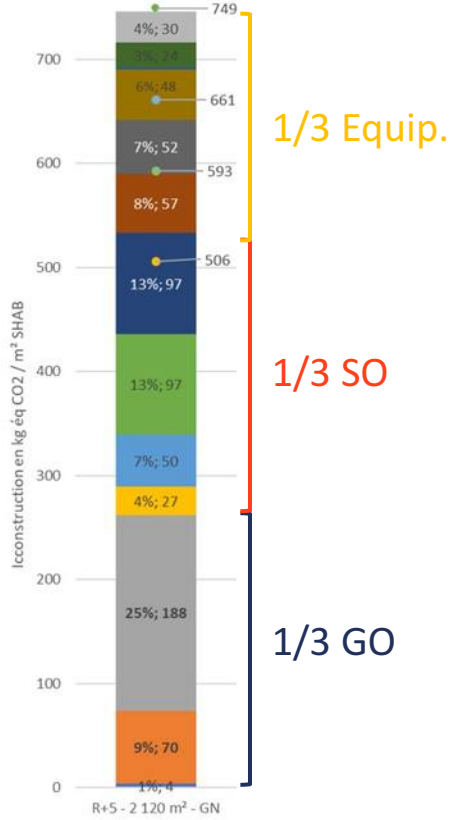
# Contexte

- 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)

⇒ 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 2nd 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

co2st

# 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 carbones différentes

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

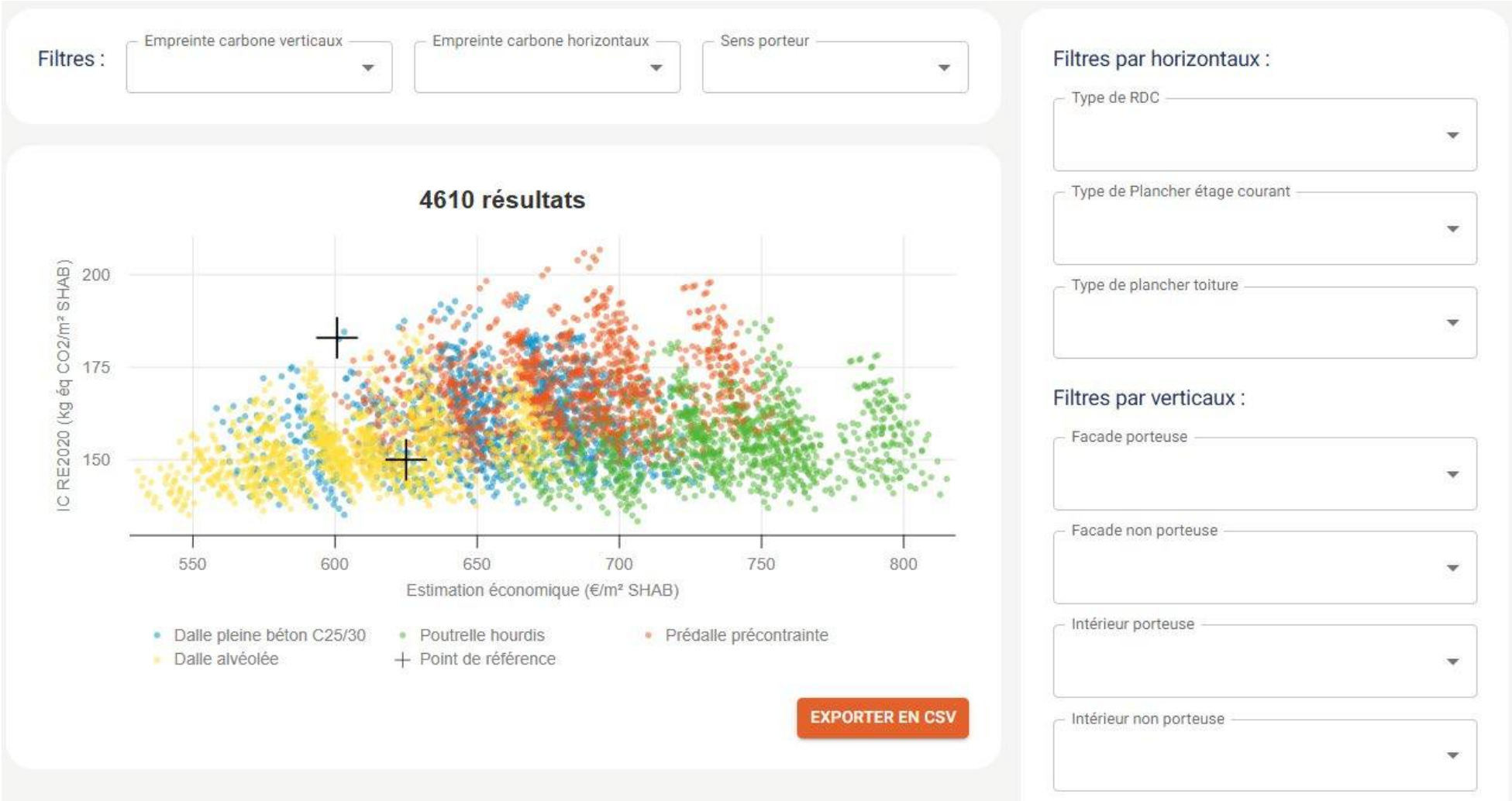
- Empreinte carbone standard : 220 kg éq $CO_2$ / $m^3$
- Empreinte carbone réduite 1 : 175 kg éq $CO_2$ / $m^3$
- Empreinte carbone réduite 2 : 145 kg éq $CO_2$ / $m^3$

*Valeurs Ic RE2020 pour un C25/30 XC1*

co2st

# Présentation des résultats

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




co2st

# Présentation des résultats

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

Choisir une sélection : Sélections enregistrées — Selection 1

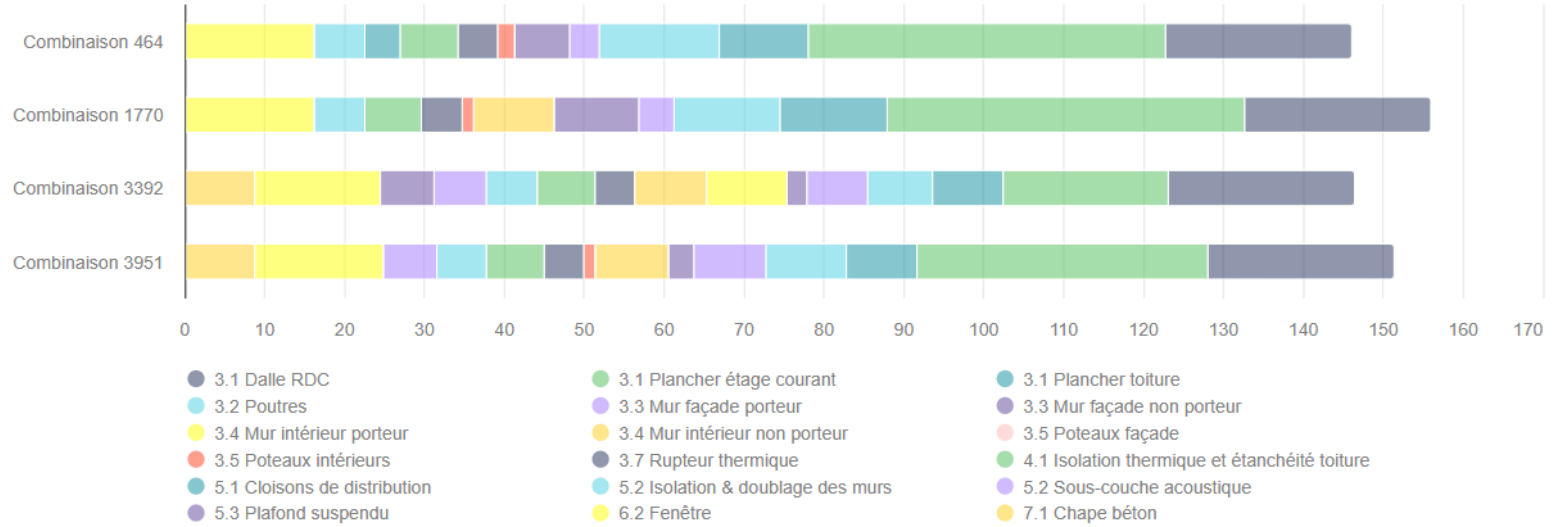
RÉSULTAT PAR PRODUIT | RÉSULTAT PAR SOUS LOTS | RÉSULTAT PAR LOTS

| 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)




co2st

# Un travail collaboratif

## Un développement porté par plusieurs experts dans leur domaine :

IDBA INGÉNIERIE DU BÉTON ARMÉ

HAXOM

Etudes Techniques Conseils

abéco ÉCONOMISTES DE LA CONSTRUCTION

GAMBA

France Ciment

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)

co2st

# 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**

co2st



LAB

CEMENTLAB

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

# Compositions

## Ciments



Clinker

+



Calcaire



Pouzzolane



Argiles activées



Laitiers

Substitutions minérales



Clinker

+



Biochar

Substitution biosourcée

LEON GROSSE Construction

Bâtir le vivre ensemble VICAT

# Le biochar

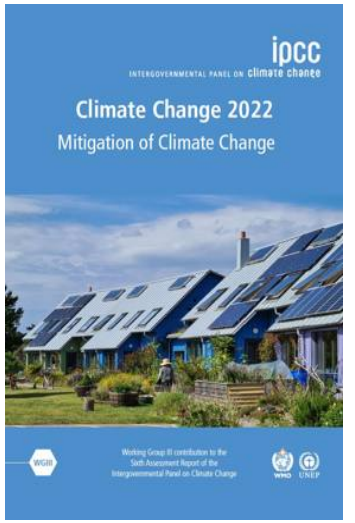
- Le biochar est
  - un carbone renouvelable
  - géochimiquement stable,
  - souvent de faible granulométrie,
  - dont les usages permettent de générer des puits de carbone permanents.

- 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

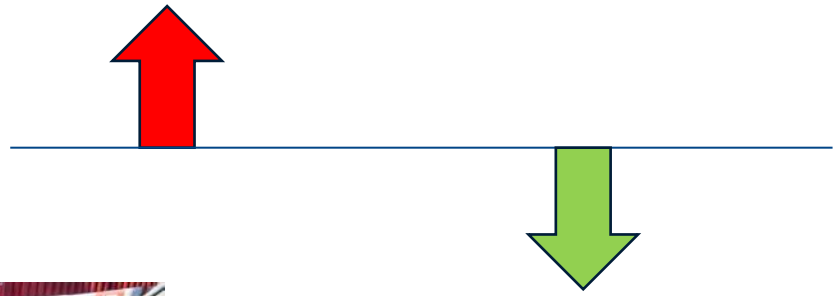
+



Biochar

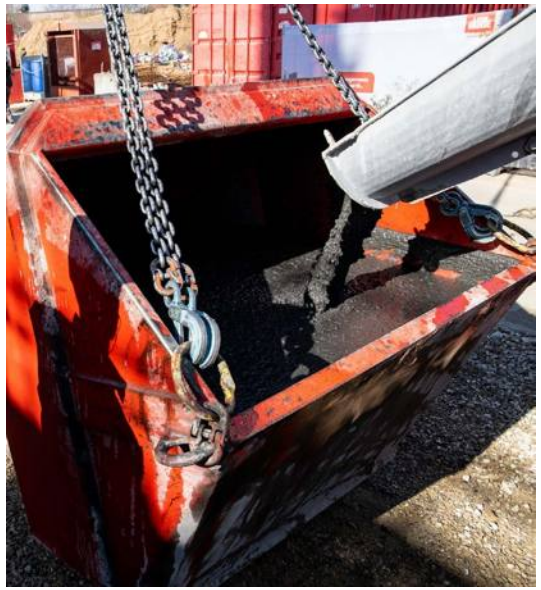
MODULE D'INFORMATIONS ENVIRONNEMENTALES

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



**= -15 kg/CO2éq/t***

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



**≈20 kg.$CO_2$éq/$m^3$*** pour un béton C25/30 XC1

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

LEON GROSSE Construction

Bâtir le vivre ensemble VICAT

# Siège de Léon Grosse – Bron

Maître d'ouvrage

Bureau de contrôle

Entreprise générale



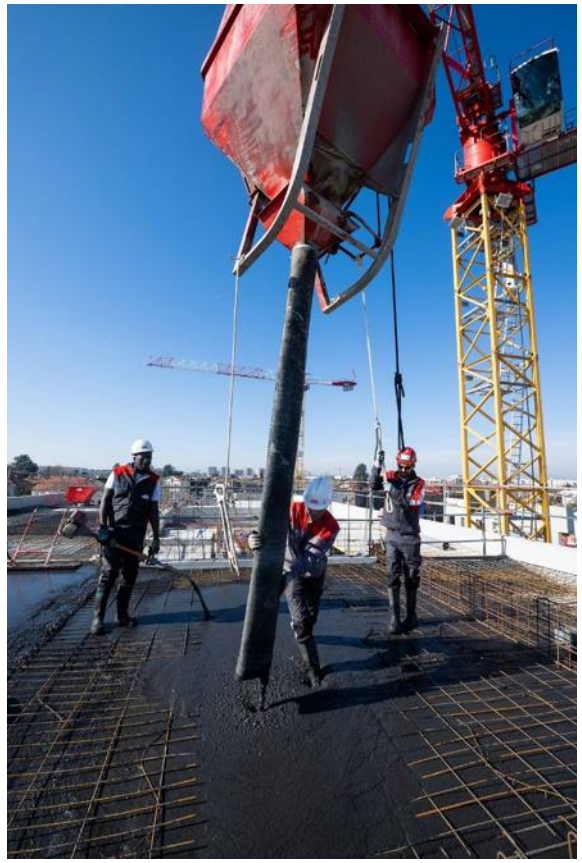


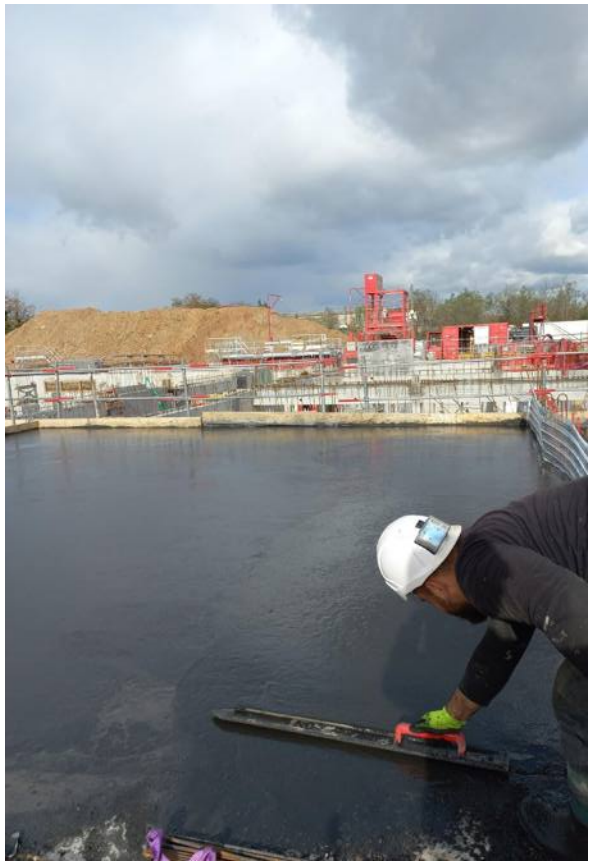

Construction

Bâtir le vivre ensemble

# Siège de Léon Grosse – Bron







**Durée du chantier :**
5 mois

**Date :**
Nov. 2022
à Mars 2023

**800 m³**
Béton bas carbone CARAT

**Planchers**

**90 %**
De gain carbone

LEON GROSSE Construction

Bâtir le vivre ensemble VICAT



LAB

CEMENTLAB

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS

France Ciment



# BÉTON ET SOBRIÉTÉ

France Ciment

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



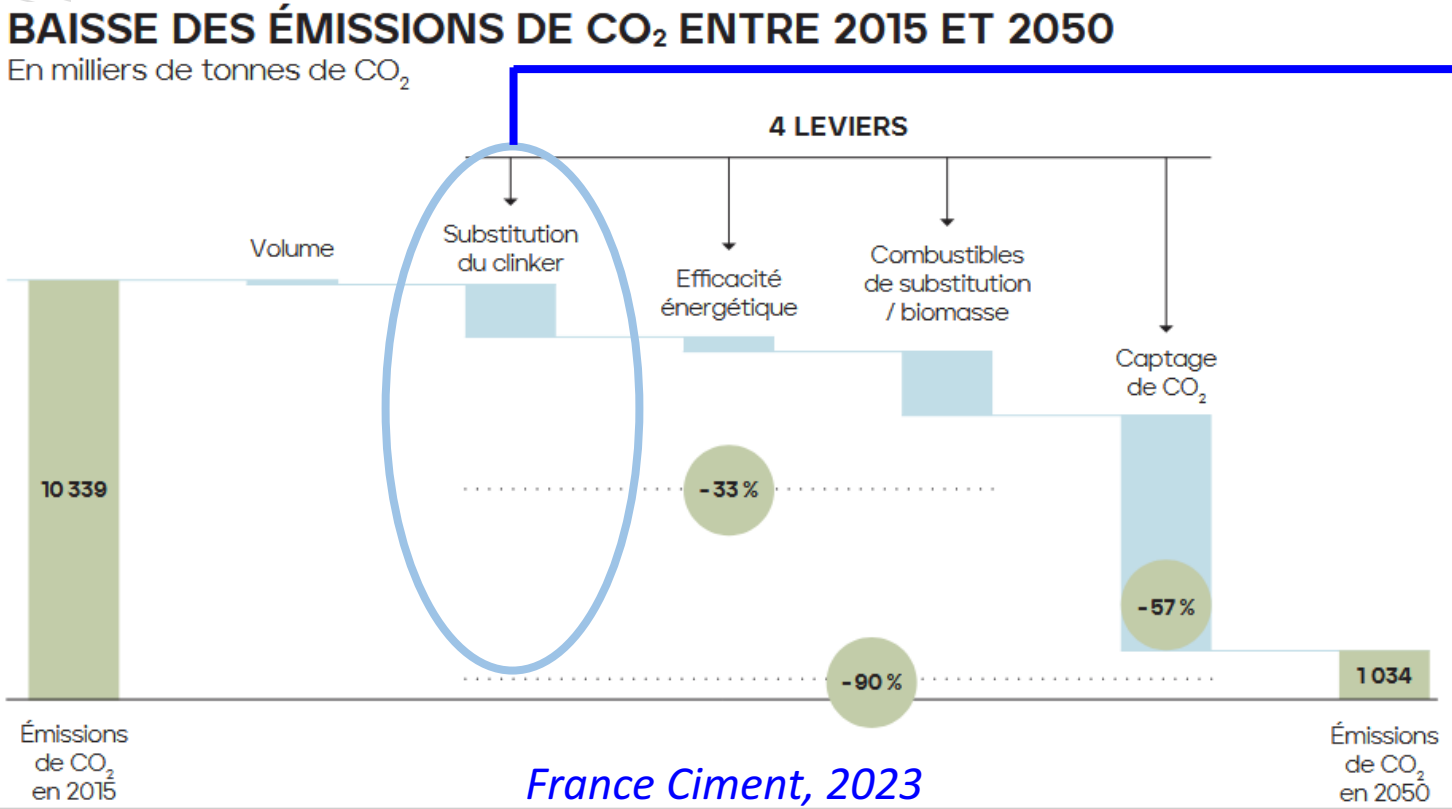
Amor BEN FRAJ

Directeur de recherche, Cerema

France Ciment

# • Décarbonation du secteur de la construction

- ❑ 24 Mt $CO_2$
- ❑ 240 Mt de déchets




*France Ciment, 2023*

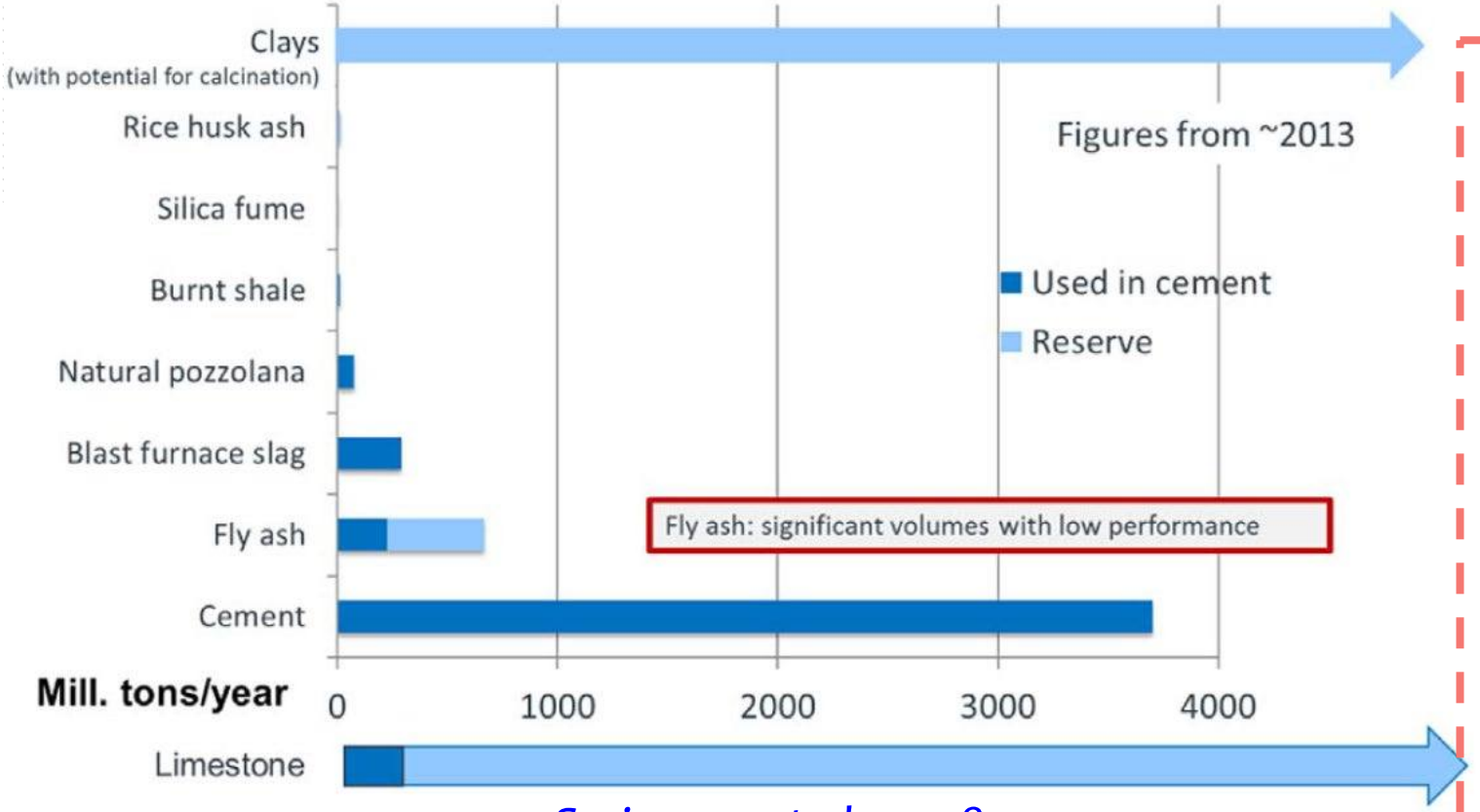
**Production française en 2023**

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

**Objectif: Moins de clinker**

# • Panorama des additions minérales

## A l'international




*Scrivener et al., 2018*

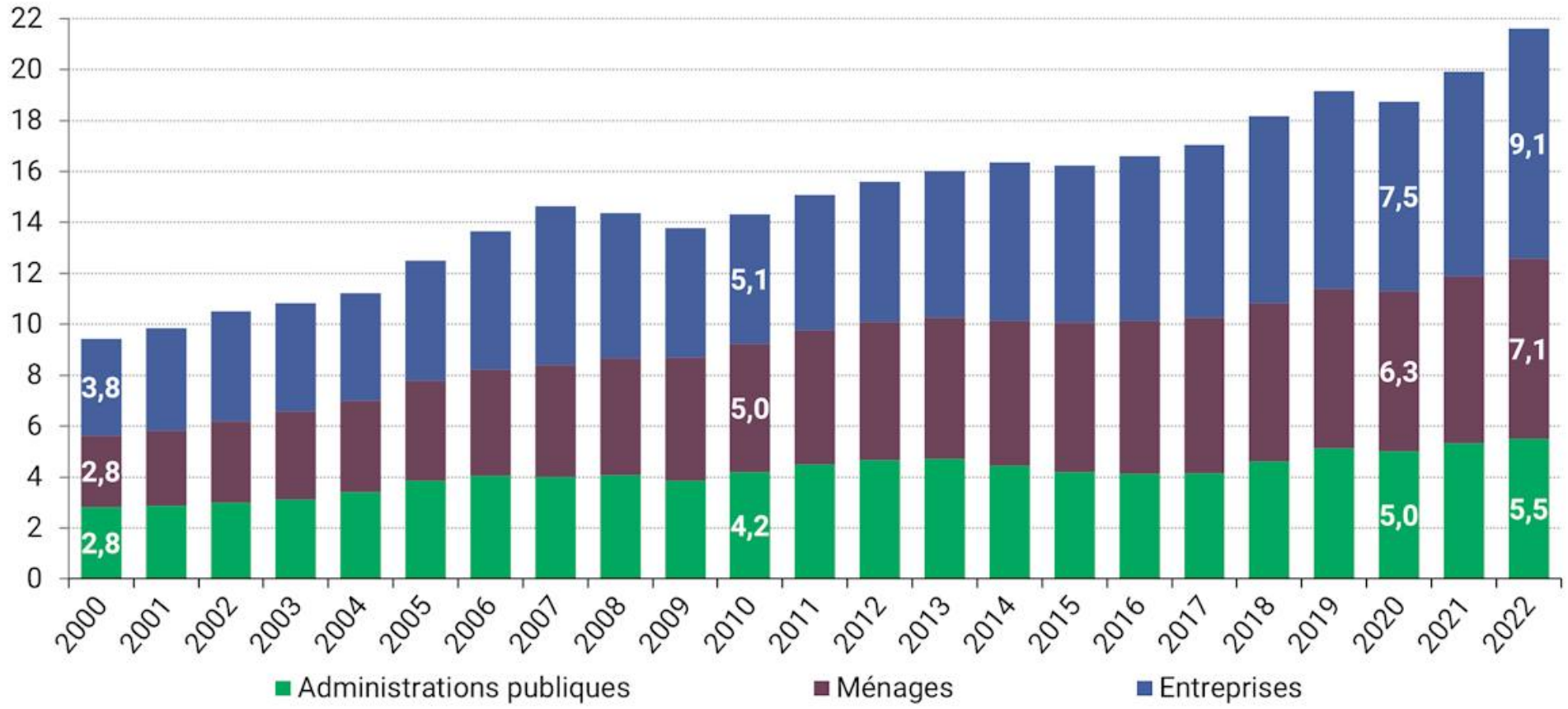
## En France

***180 Mt/an*** *de terres excavées;*

***+ 50 Mm³ de sédiments de dragage***

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

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

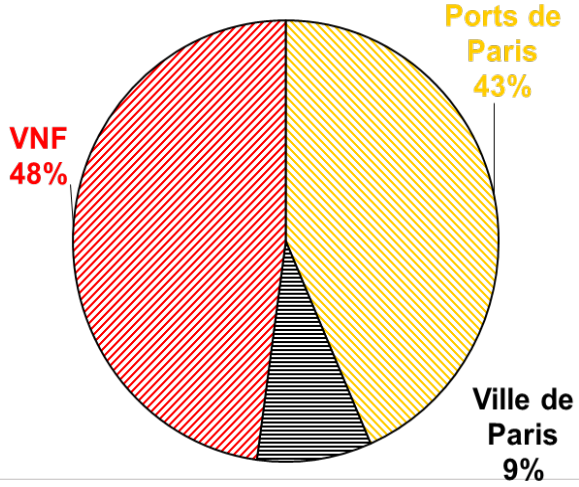



*SDES, compte satellite de l'environnement, 2024*

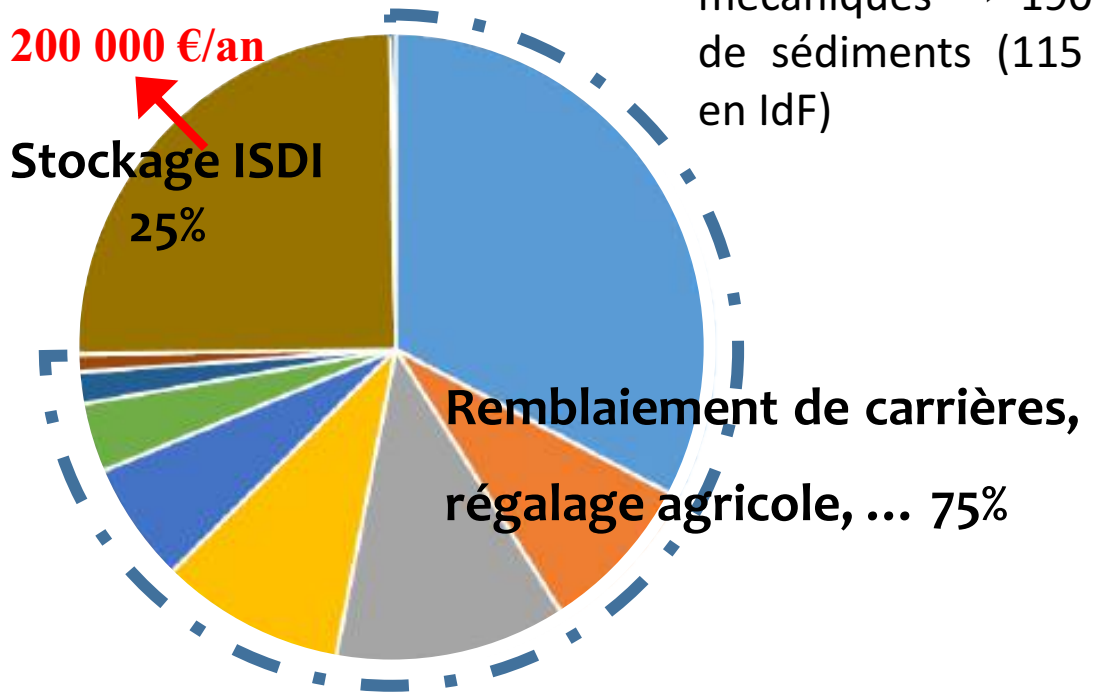
# • Les sédiments de dragage

## Gisement francilien (VNF) : projet SEDIFLUV




- 1468 km de cours d'eau
- 16 UHC
- En 2014 : 73 dragages mécaniques → 190 000 m³ de sédiments (115 000 m³ en IdF)

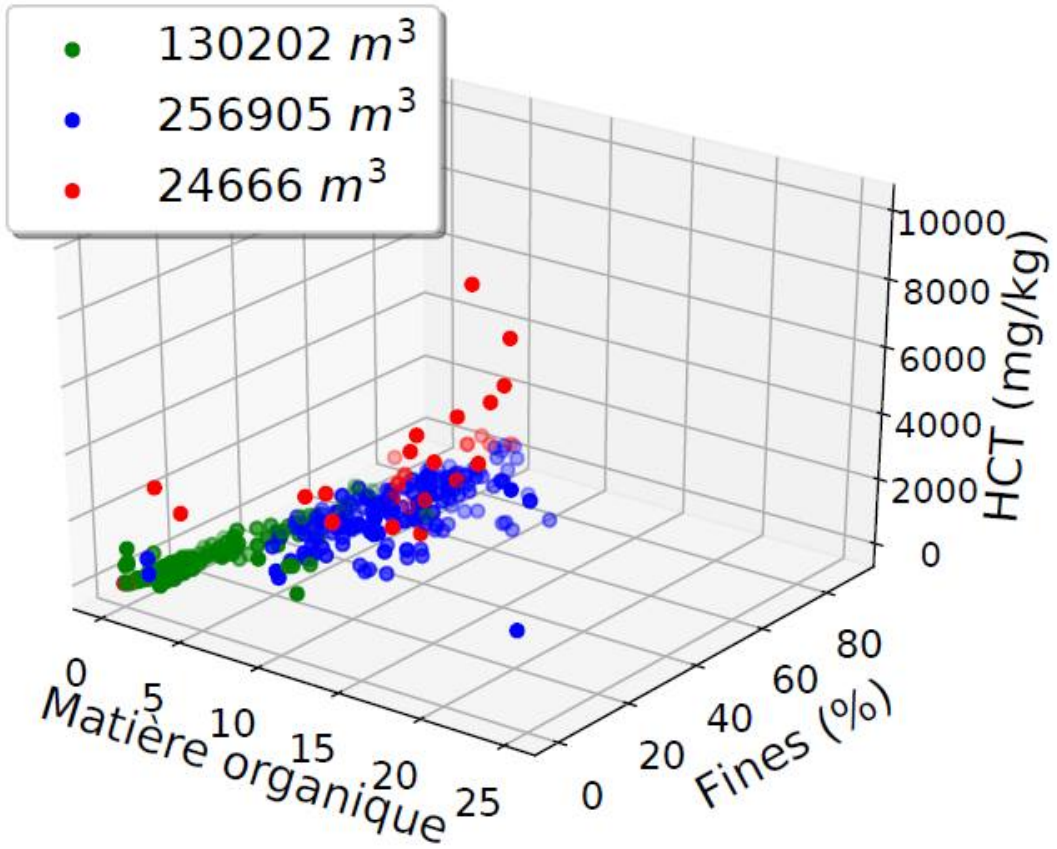



**Filières de valorisation**

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

**Variabilité des SD**
SD comme granulats
SD comme filler

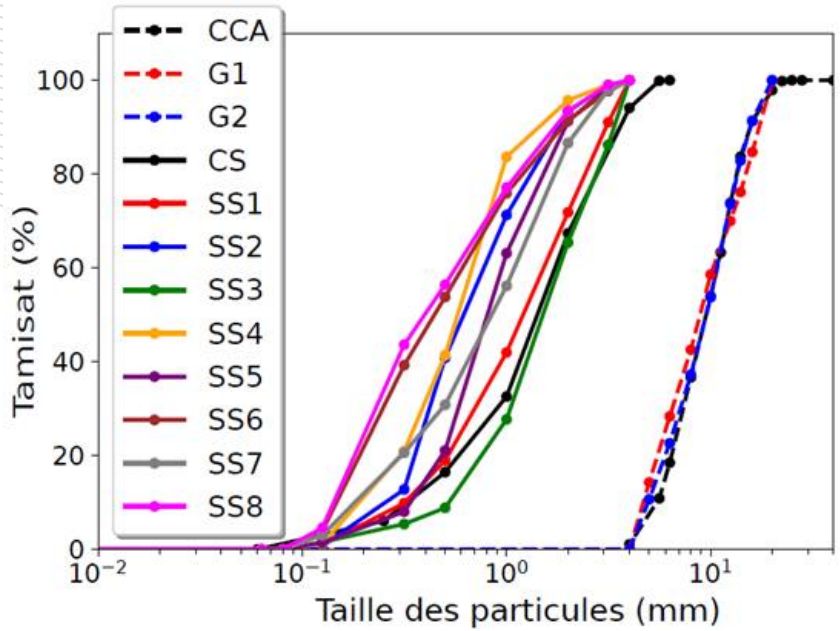
## Variabilité des SD franciliens (VNF) 2015→2017




- ❑ **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 | ρ (kg/m³) | 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)

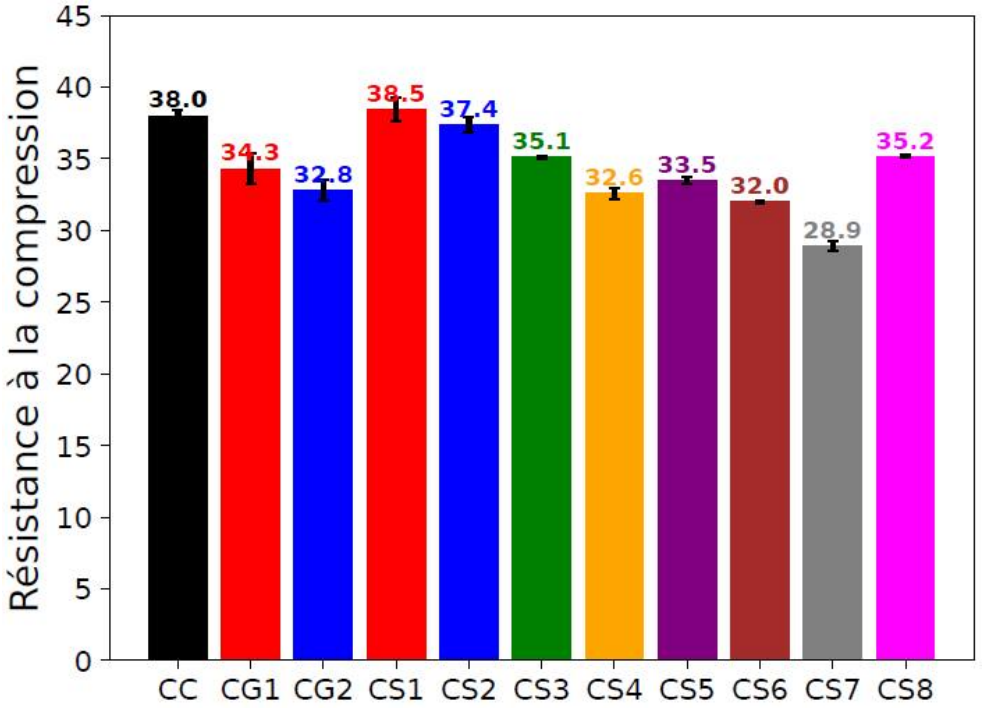
Variabilité des SD
**SD comme granulats**
SD comme filler

## 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




❑ **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)

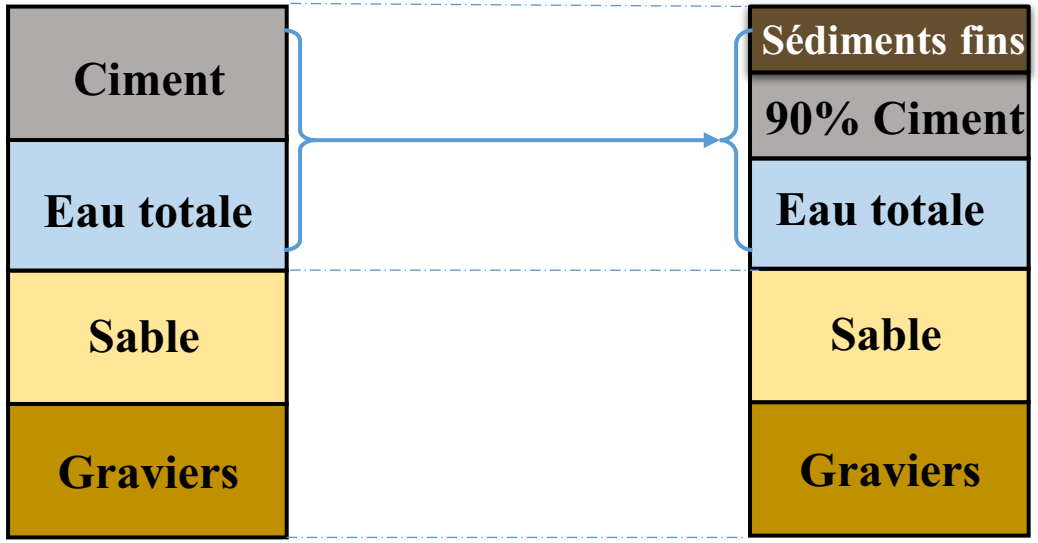
Variabilité des SD
SD comme granulats
**SD comme filler**

## 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)

Variabilité des SD
SD comme granulats
**SD comme filler**

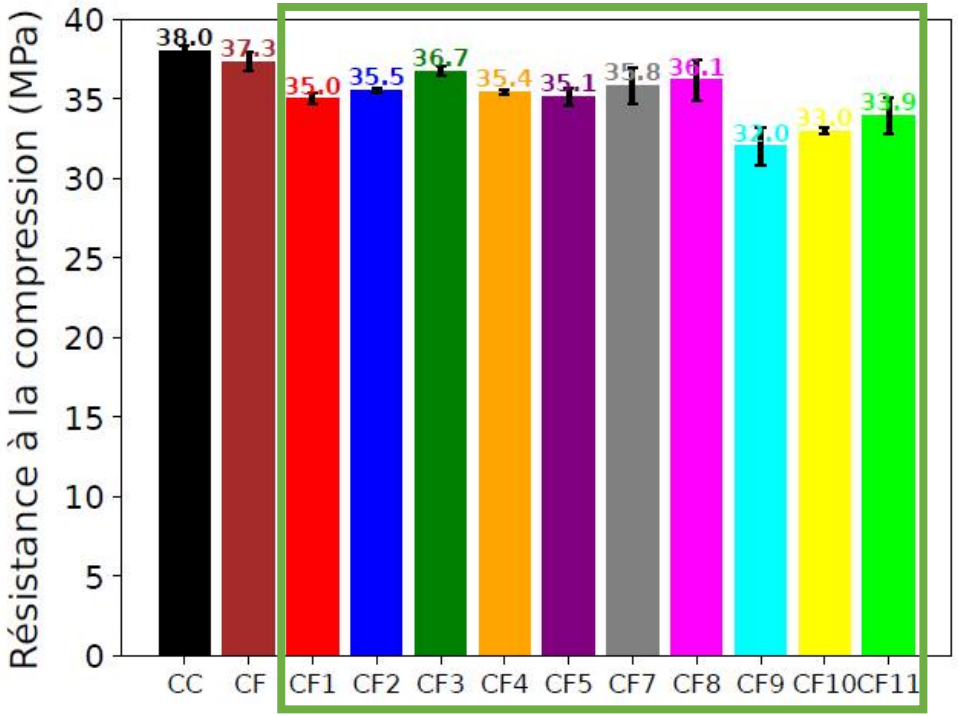
## I. Les bétons structurels à base de SD

**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 |

**MO=5-15%**

CC: béton de référence;
CF: bétons à base de filler calcaire
CFi: bétons à base de sédiments fins




❑ **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**

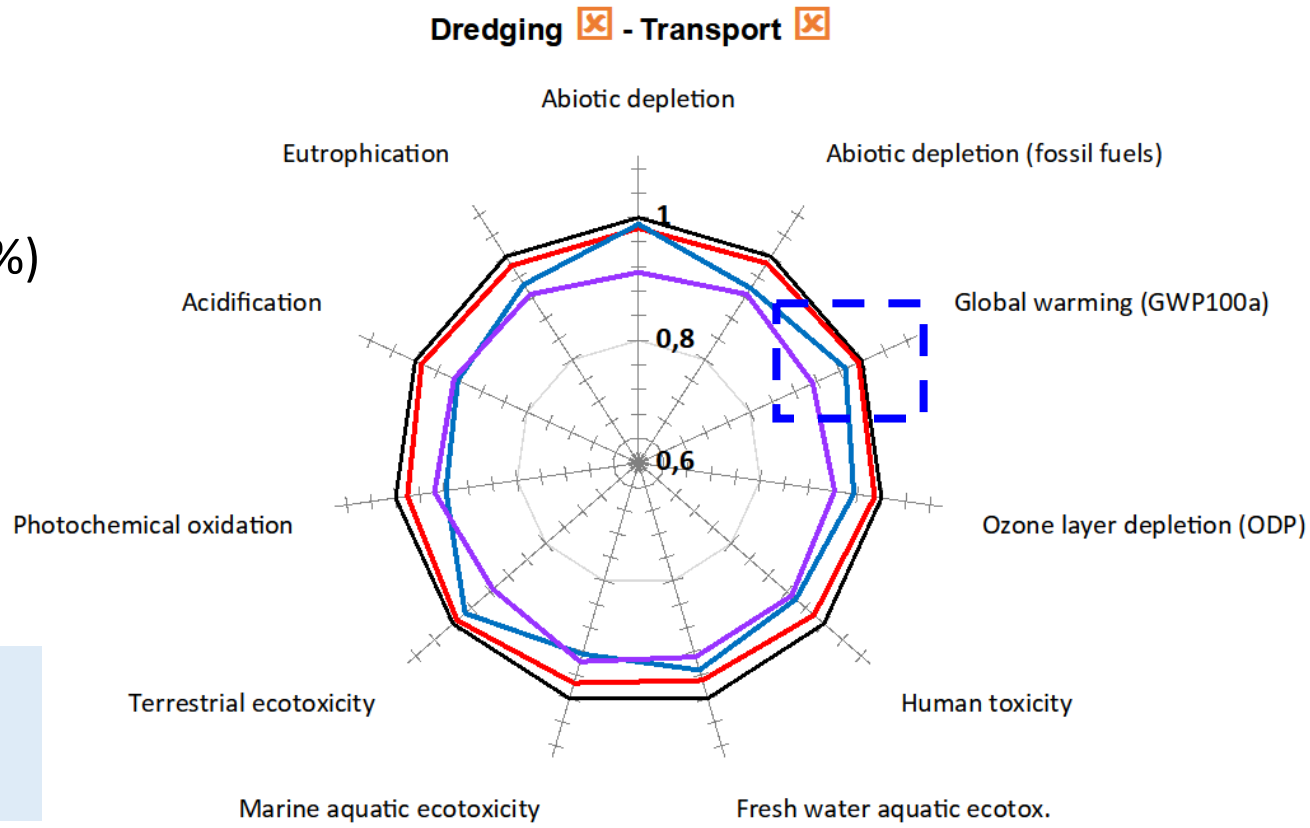
**F1**: béton de référence;

**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 ***$CO_2$ eq.*** par rapport à **F1**



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

## II. Les bétons drainants

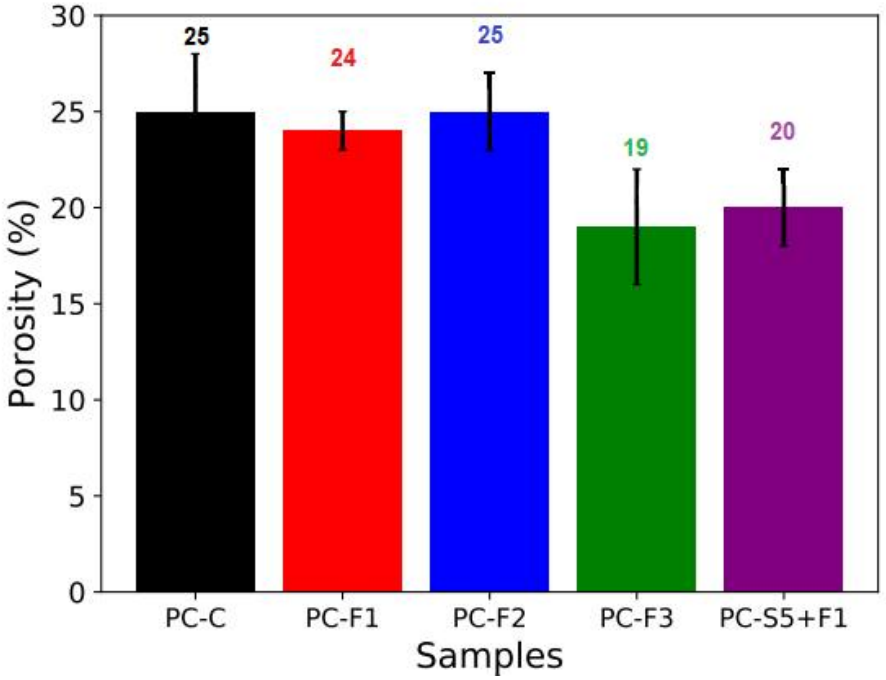
Variabilité des SD
**SD comme granulats**
**SD comme filler**

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



| | 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)

Variabilité des SD
**SD comme granulats**
SD comme filler

## II. Les bétons drainants

### Faisabilité d'une filière industrielle?

- **Site de Clamens/ Mitry-Mory**
- **Parking de 950 m²**
- **Pavés drainant par les joints**



| Formule | $R_T$ (Mpa) | Poids (kg) |
|---|---|---|
| **BGN** | 5,3 | 6,3 |
| **BS** | 4,0-4,4 | 5,7-6,0 |

**NF EN 1338** **3,6 MPa**





LAB

CEMENTLAB

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS

France Ciment

# TÉMOIGNAGES ACADÉMIQUES

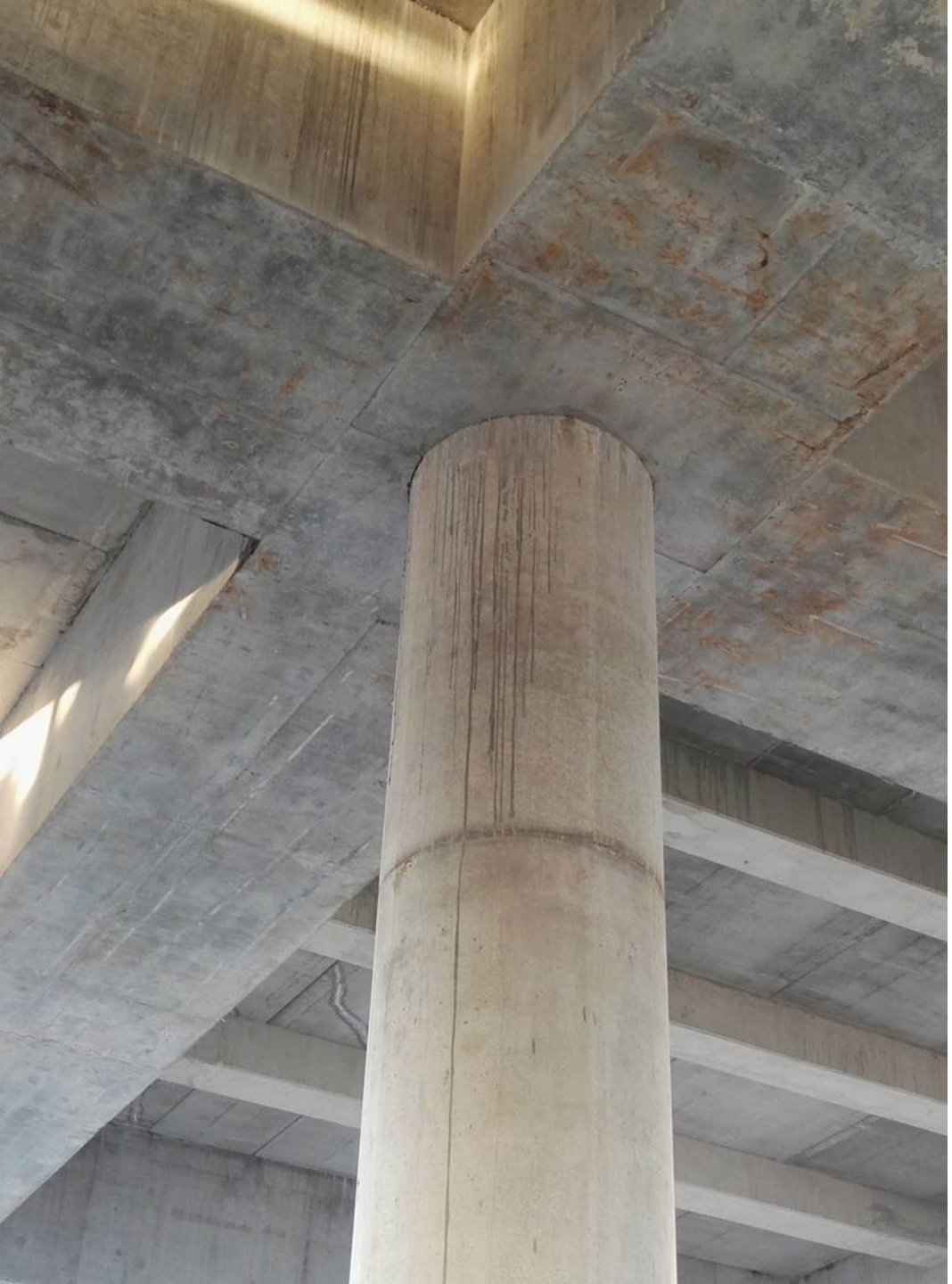



## Robine CALIXTE

Enseignante-Chercheure en
Génie Civil,  ESITC Paris


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

France Ciment



# 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 CO2 d'un mètre cube de béton varient en **fonction de la racine carrée de sa résistance** (Roussel et Habert, 2009)

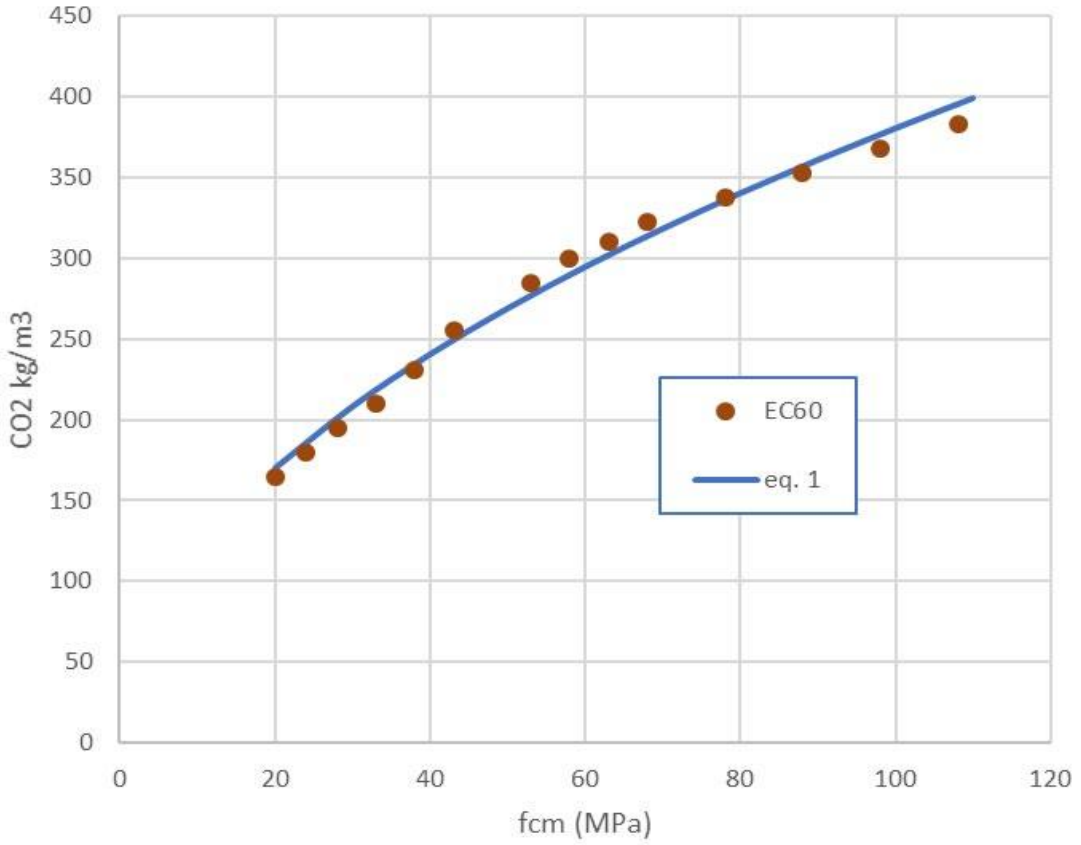
- **Classification de carbone** de (Arup, 2023) : relation entre la résistance en compression et le carbone incorporé par $m^3$

- Le carbone incorporé ($EC_c$) est proportionnel à la résistance moyenne en compression du béton ($f_{cm}$) selon la relation suivante :

$$\boldsymbol{EC_c\left(kg\,CO_2/m^3\right) = \alpha\, f_{cm}^{0.5}}$$

- $\alpha$ 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 :

$$EC_{s_low} = 2.4\ kg\ de\ CO_{2\ eqvlt}/kg$$

- Acier à fort carbone incorporé :

$$EC_{s_high} = 5\ kg\ of\ CO_{2\ eqvlt}/kg$$



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 $N_{Rd} = N_{Ed}$)

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

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

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

➢ **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 $A_s/A_c$)

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

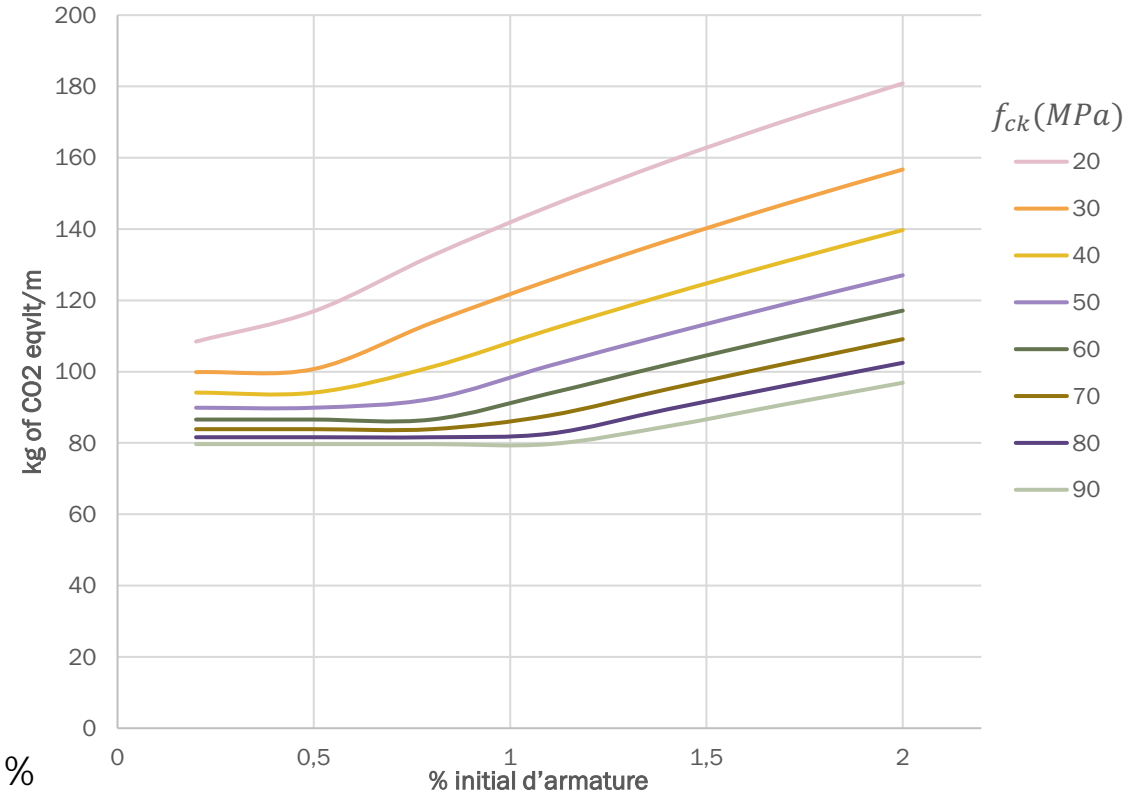
- $k_h, k_s$ et α sont des paramètres dépendant de la géométrie
- $f_{cd} = {}^{f_{ck}}/_{\gamma_c}$ avec $f_{ck}$ la résistance caractéristiques du béton et $\gamma_c$ le coefficient partiel du béton (égal à 1,5)
- $f_{yd} = {}^{f_{yk}}/_{\gamma_s}$ avec $f_{yk}$ la limite d'élasticité caractéristique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

# 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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ (kg/m³ 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 |
| $A_s$ (cm²) | 42 | 33 | 27 | 23 | 20 | 18 | 16 | 15 |
| $A_{s_real}$ (cm²) | 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 |
| $CO_{2_steel}$(kg/m) | 78.3 | 60.8 | 50.1 | 42.8 | 37.5 | 33.4 | 30.1 | 29.0 |
| $CO_{2_conc.}$ (kg/m) | 68.0 | 64.8 | 61.6 | 58.8 | 56.4 | 54.3 | 52.4 | 50.6 |
| $CO_{2_total}$ (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 CO2 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 %)

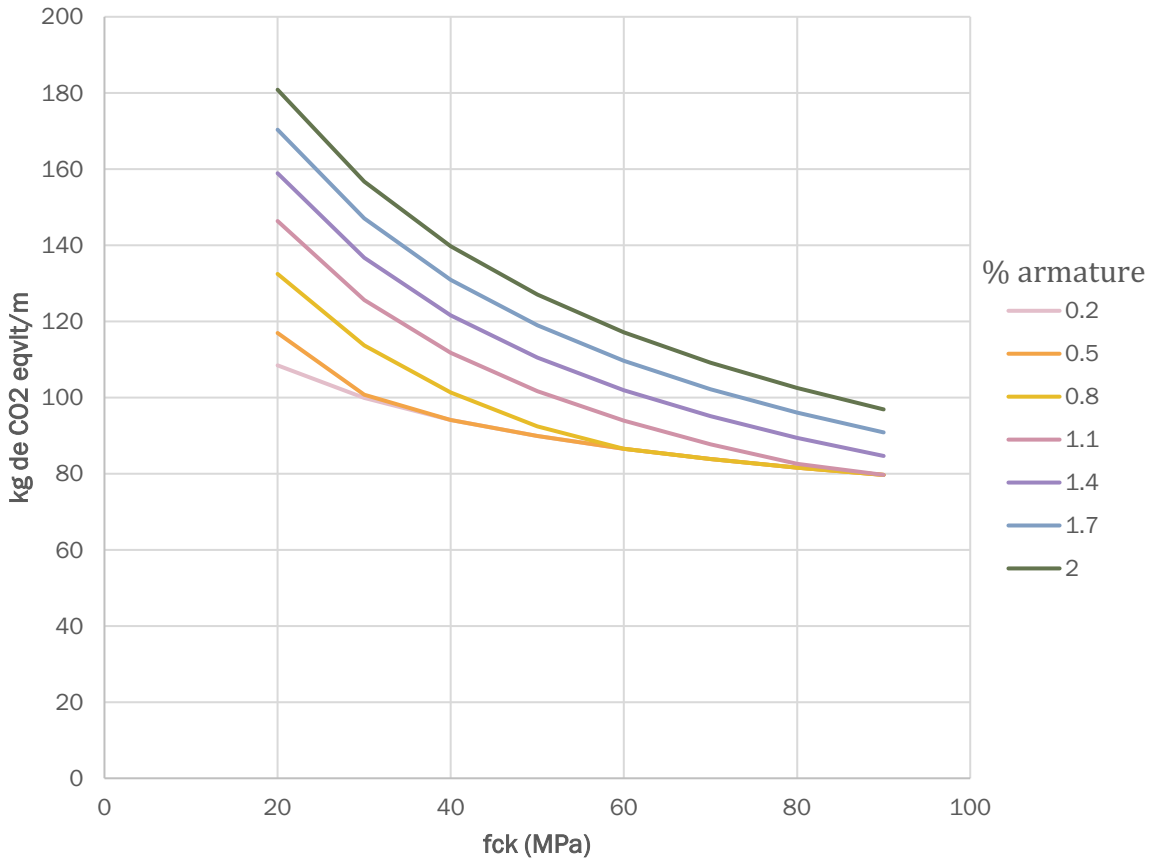
# Influence du pourcentage d'armature

*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) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| As/Ac (%) | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| 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 |

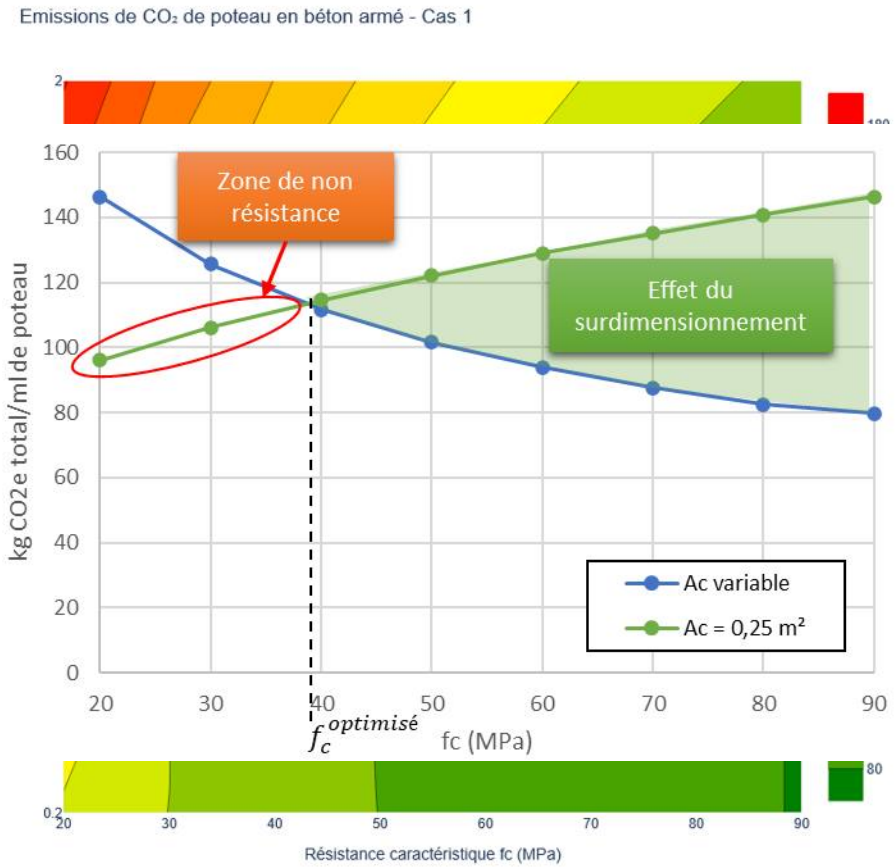
Pourcentage minimal d'armature




- 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**

# TÉMOIGNAGES ACADÉMIQUES



## Théodore SERBOURCE

Doctorant,
Sorbonne Université

Le verre recyclé en substitution du clinker

France Ciment

# CementLAB 2025

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

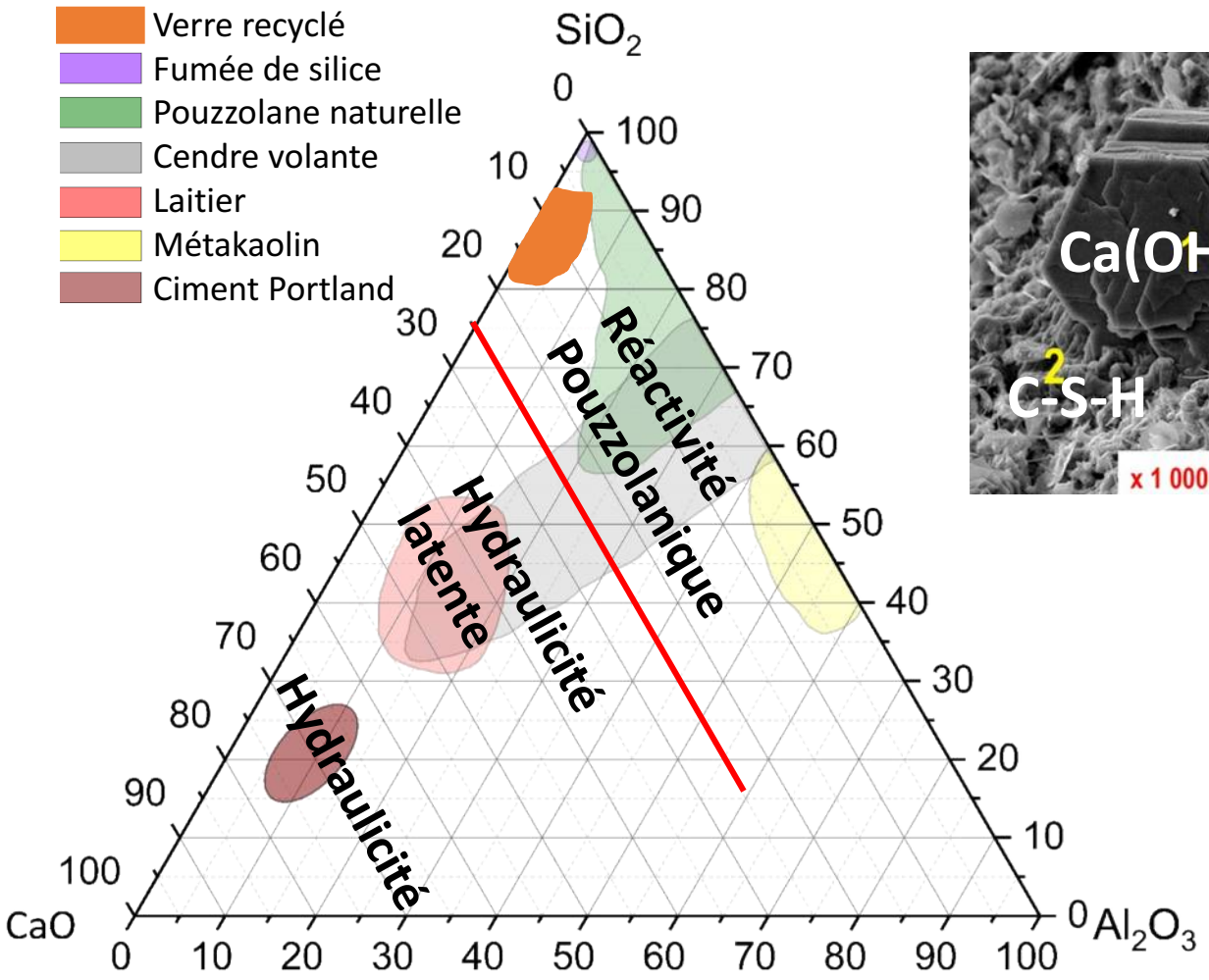
**Théodore Serbource**

**Laurence Galoisy (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 $CO_2$** : Substitution du clinker par les matériaux à hydraulicité potentielle et bas $CO_2$

Constituants du ciment et phases formées







**Hydratation des matériaux**

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

**Hydraulicité:**

**Clinker** + $H_2O$ → C-S-H + $\underline{Ca(OH)_2}$

Clinker

**Hydraulicité latente:**

$SiO_2$ + **CaO** + $\underline{Ca(OH)_2}$ → C-S-H

Laitier et cendre volantes calciques

**Réactivité Pouzzolanique:**

$SiO_2$ + $\underline{Ca(OH)_2}$ → C-S-H

Cendre Si-Al et pouzzolanes

C = CaO  A = $Al_2O_3$
S = $SiO_2$  H = $H_2O$

# Objectifs de la thèse

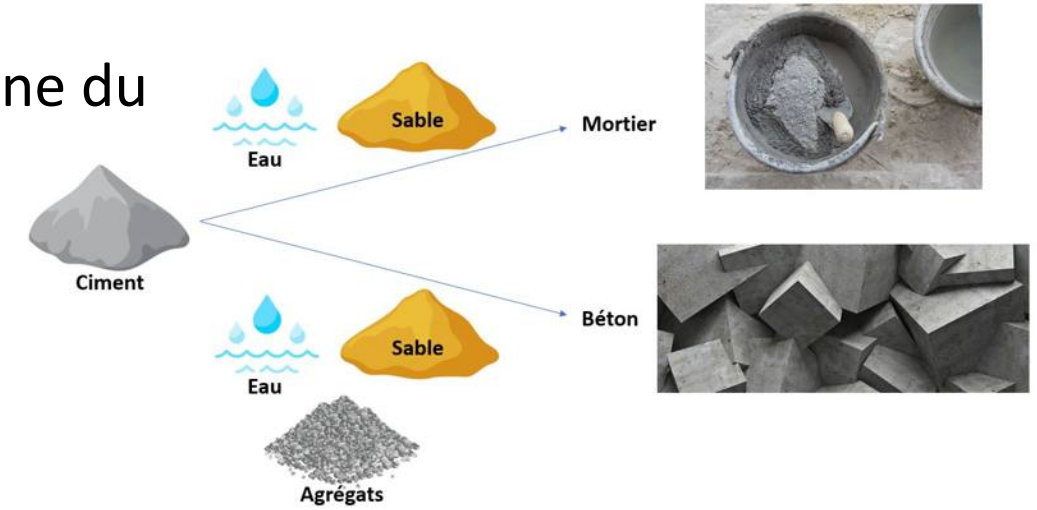
- Étudier fraction fine du verre recyclé → utilisation constituant principal du ciment, dans contexte des ciments bas carbone

➢ **1ère 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)

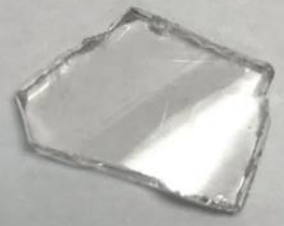
➢ **2eme étape : Ciments formulés :**

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

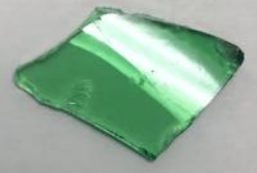


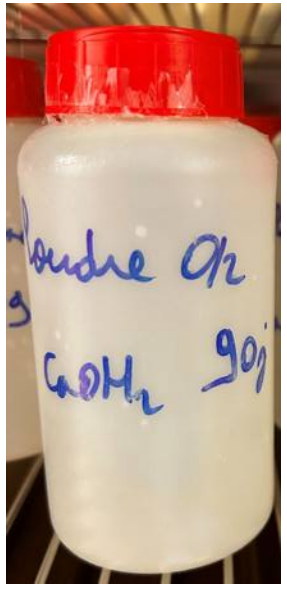
# Analyses effectuées : Caractérisation du verre et Réactivité

**Verre Incolore**



**Verre Vert**

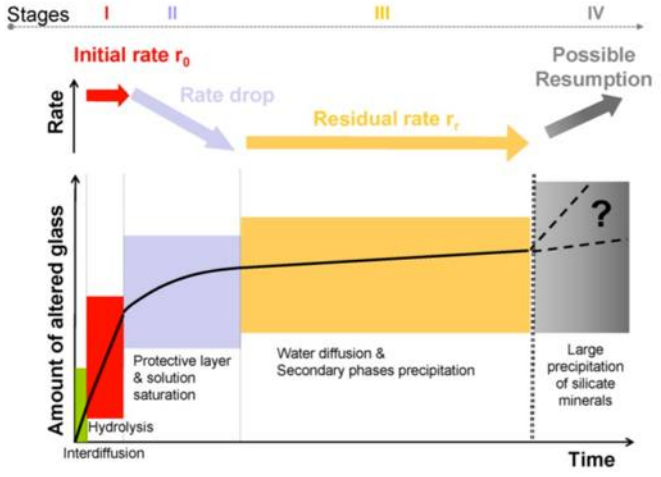




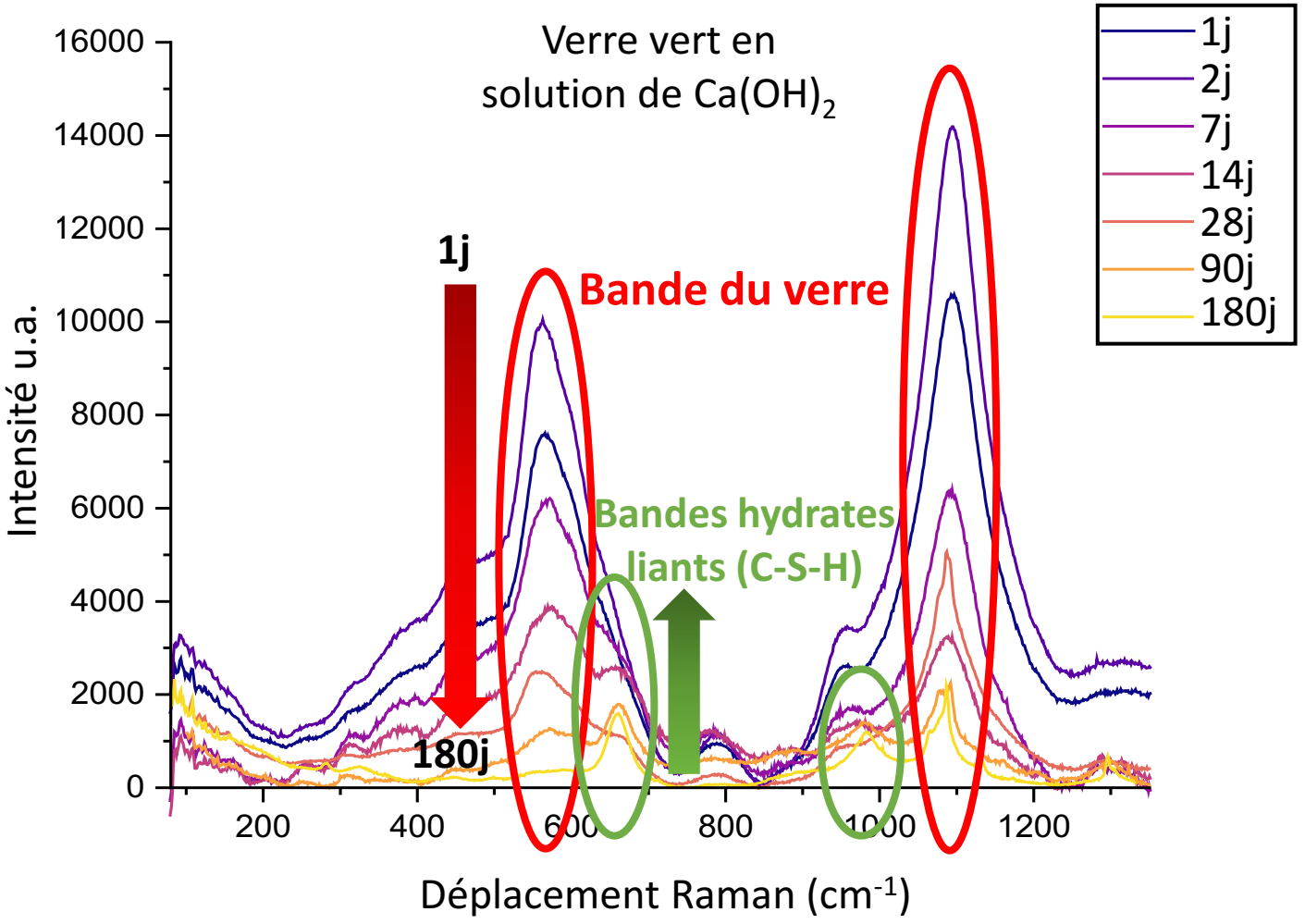
## Caractérisation du verre et Réactivité

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

→ Développer modèle de réactivité à 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

Calcin



Rejet de tri optique



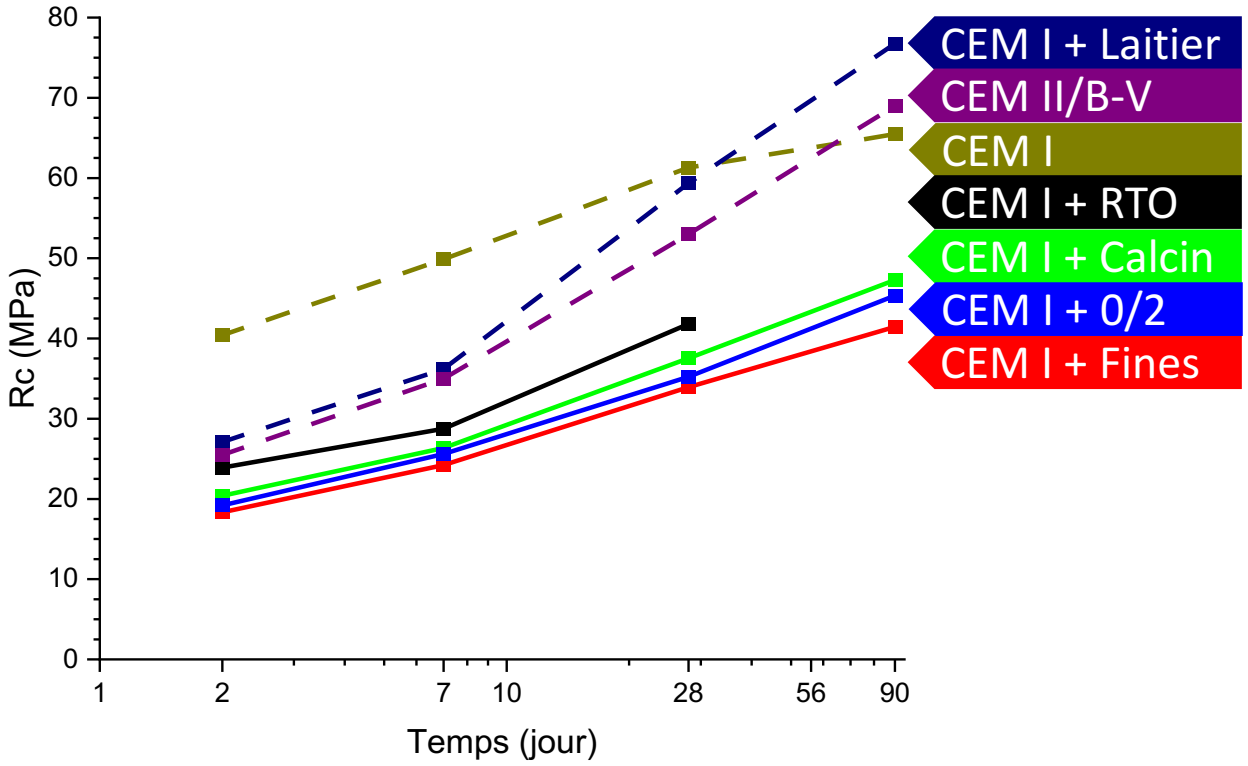
Fraction Fine du dépoussiérage



## Résistances Mécaniques

Pour construire => Rc

Mesure sur mortier des résistances mécaniques




Résultat > 32MPa → réaction pouzzolanique des verres

Mélange 70/30 Poudre 5µm

## Durabilités

Pour construire => Durabilité

Analyse Ciments formulés :

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

Poudre 5µm

# LES PITCHS



## Florence BOVET

Seqens

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

France Ciment




# Recygénie

Une première mondiale à Gennevilliers (92) : du béton 100% recyclé

Florence BOVET, Directrice du Patrimoine et de l'Expertise Immobilière, SEQENS

Seqens
Groupe ActionLogement

# 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

Seqens
Groupe ActionLogement

# 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.**

Seqens
Groupe ActionLogement

# Le projet : réaménagement de l'ilot Brenu




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

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






Livraison prévisionnelle : fin 2024






Livraison prévisionnelle : fin 2024







Livraison prévisionnelle : 1er trimestre 2026

FRANCE RELANCE

Pitch immo

LA COOP FONCIÈRE

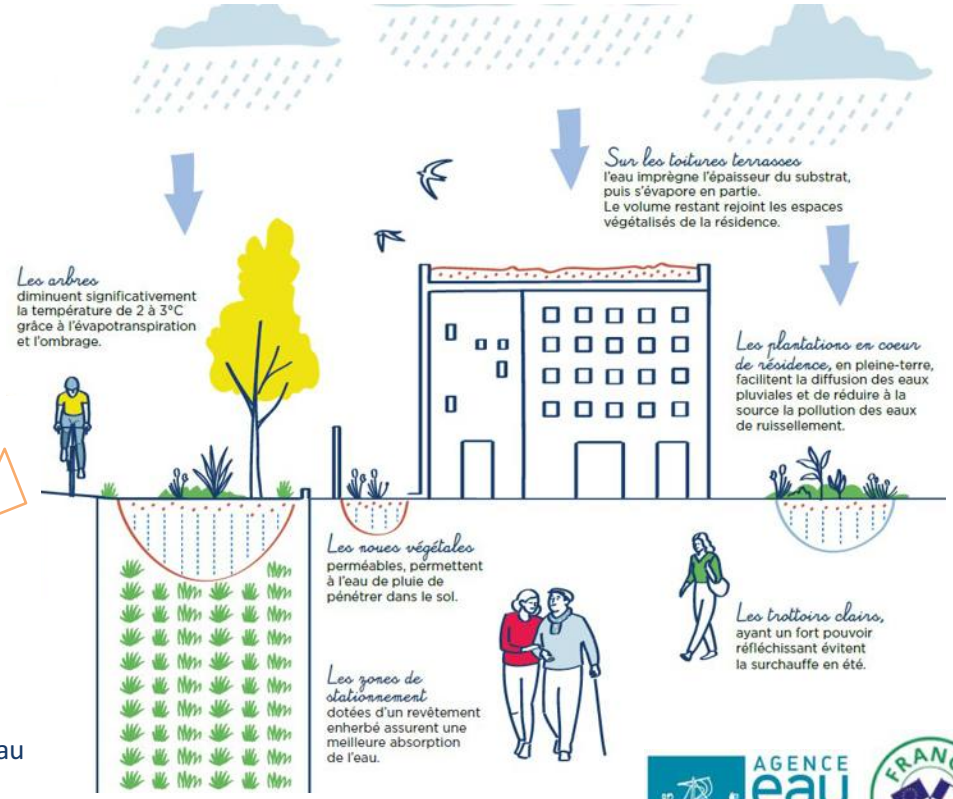
Seqens Accession
Groupe ActionLogement

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

AGENCE eau seine NORMANDIE

FRANCE RELANCE

Seqens
Groupe ActionLogement

# Le béton 100% recyclé

AFP

**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

DE L'EXTÉRIEUR, un chan- villons, de 10 % d'eau et 10 % de clinker, du calcaire et de

Une alternative au bois

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



Récygénie

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

ILOT BRENU- GENNEVILLIERS
1,1 ha

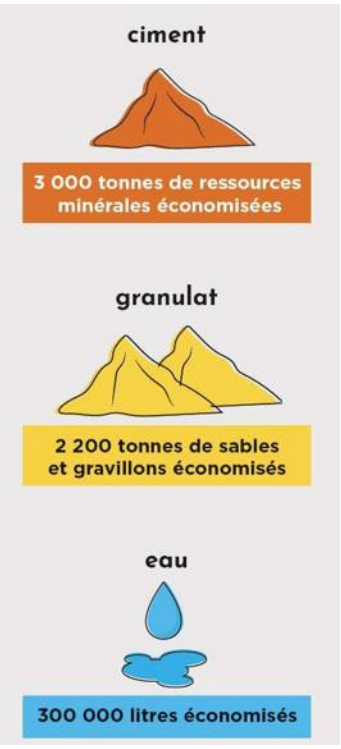


Seqens
Groupe ActionLogement










Récygénie HOLCIM DSD Démolition Dépollution Réhabilitation CSTB le futur en construction LEGENDRE

ATEx 3171_V1
Cas b

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

FRANCE RELANCE

Seqens AL
Groupe ActionLogement

# LES PITCHS



## Yoann HERRAN

### Unelo

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

France Ciment




# L’économie circulaire au service de  l’aménagement de voiries écoresponsables

SÉDIMENTS DE DRAGAGE



ECONOMIE CIRCULAIRE

TRAVAUX D'AMÉNAGEMENT ECORESPONSABLES





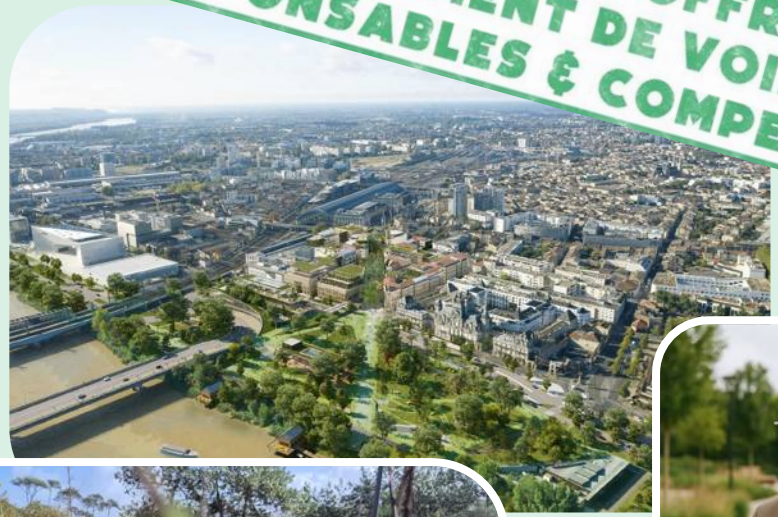
ECOPRODUITS ROUTIERS





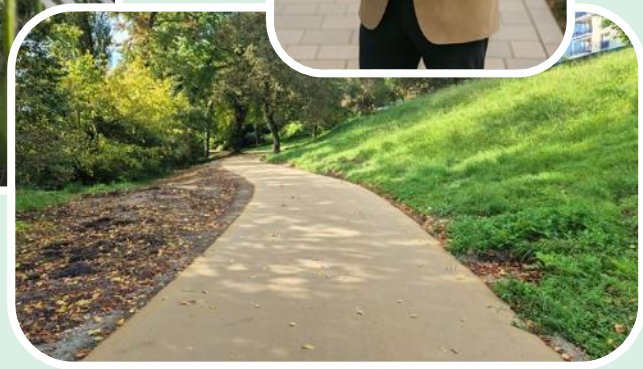

UNE FILIERE DE VALORISATION
COMPETITIVE & DURABLE

UNE NOUVELLE OFFRE
D'AMENAGEMENT DE VOIRIES
ECORESPONSABLES & COMPETITIVES









# Sédicompact

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



PARKINGS





VOIRIES
POIDS LOURDS



PISTES CYCLABLES



VERSION PERMEABLE

# Sédicompact

**Durabilité Exceptionnelle**

**Souveraineté territoriale**



**Dépendance aux énergies fossiles**



**Economies d'éclairage public**



**Préservation des ressources naturelles**



**Compétitif**

€

**Baisse des émissions de $CO_2$**




**Innocuité environnementale**





Version drainante

**Lutte contres les ilots de chaleur**



# 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





Ecoproduits routiers

## Mise en œuvre d'écoproduits routier

Unelo Academy





LES PITCHS



## Romain DUBALLET

XtreeE

Industrialisation
et robotisation :
optimisation matière

France Ciment




# XtreeE

## The large-scale 3D











**REHABILITATION**

2022, France

**Résidence Schumann, Poitiers (86)**

*Design & Manufacturing : Spie Batignolles / Emprinte*





**27 PREMURS COURBES**

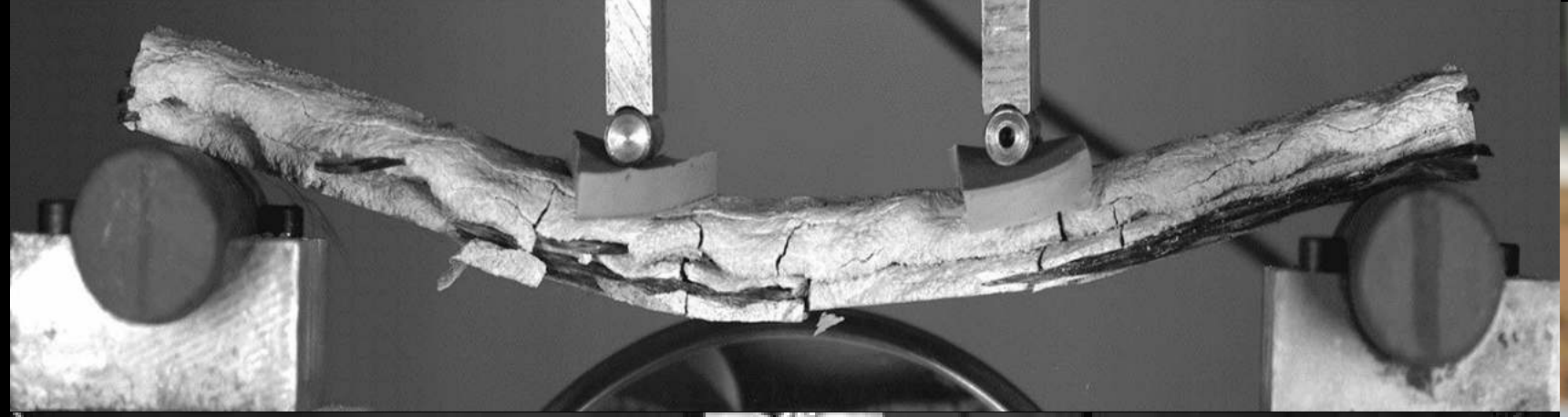
2022, France

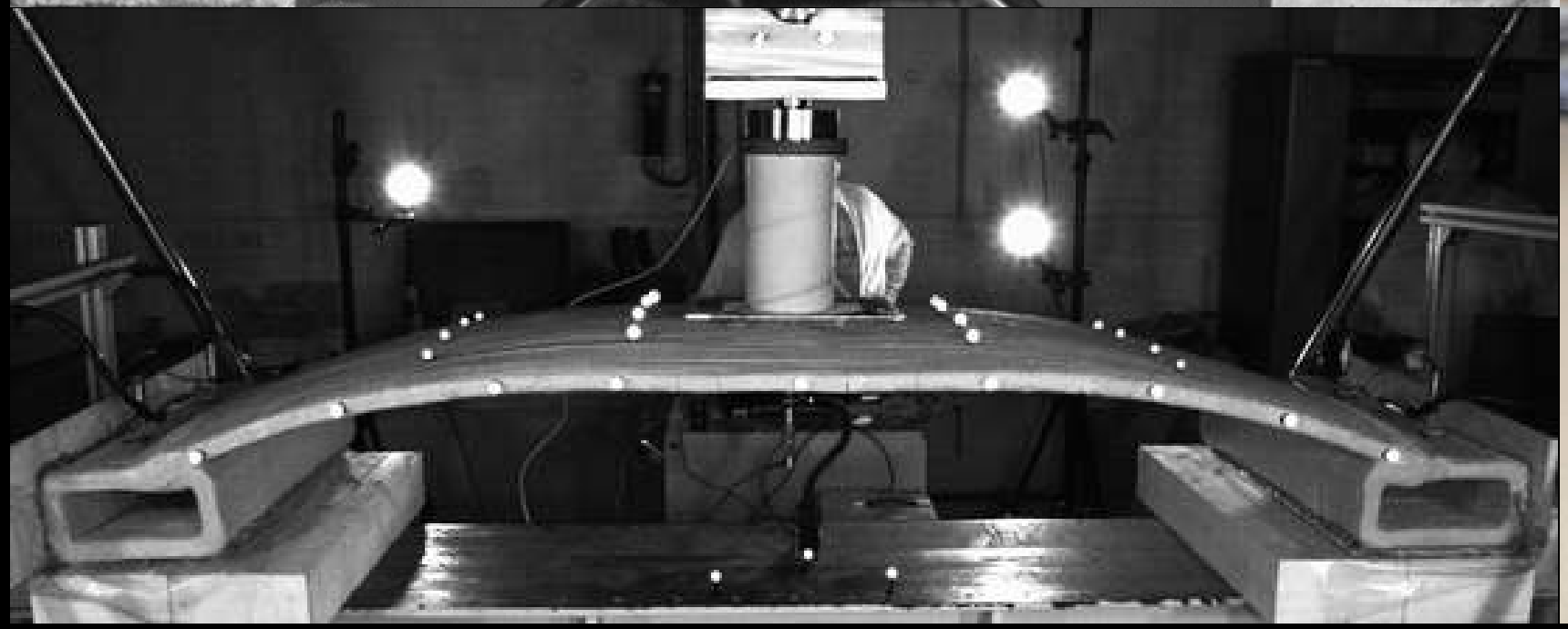
*Design & Manufacturing : Spie Batignolles / Emprinte*

**KRYPTON v2.0**
2024, France
*XtreeE*

**RECIFS ARTIFICIELS**
2025, France
*3D Concrete / LINEUP Océan*





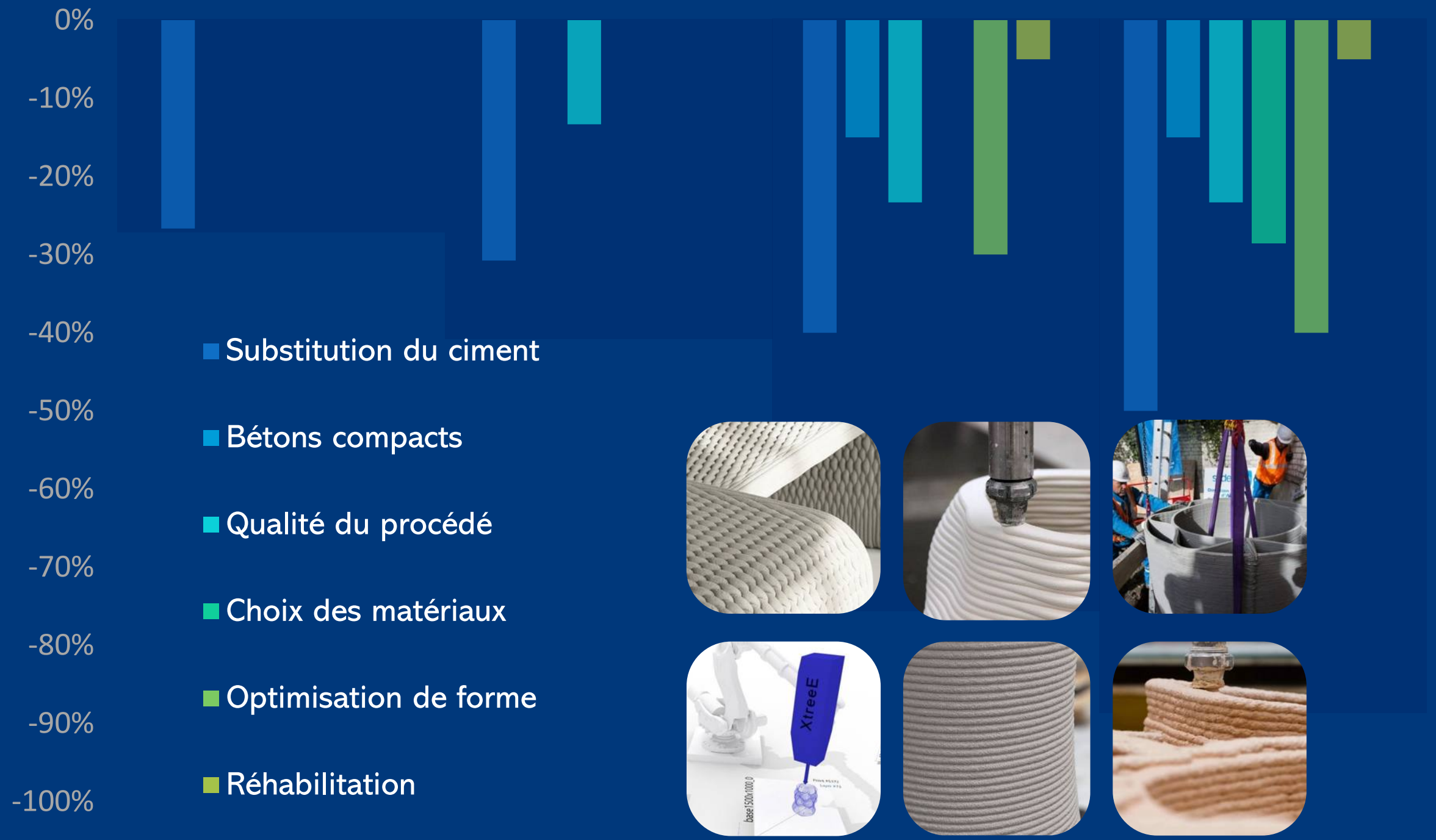




**COQUE EN BETON IMPRIME FIBRE**

2025, France

*Ecole Nationale des Ponts & Chaussées / XtreeE*


0%
-10%
-20%
-30%
-40%
-50%
-60%
-70%
-80%
-90%
-100%
Substitution du ciment
Bétons compacts
Qualité du procédé
Choix des matériaux
Optimisation de forme
Réhabilitation
XtreeE



# CAPTURE DU CARBONE

France Ciment

# Le CCS, une réponse aux enjeux de décarbonation

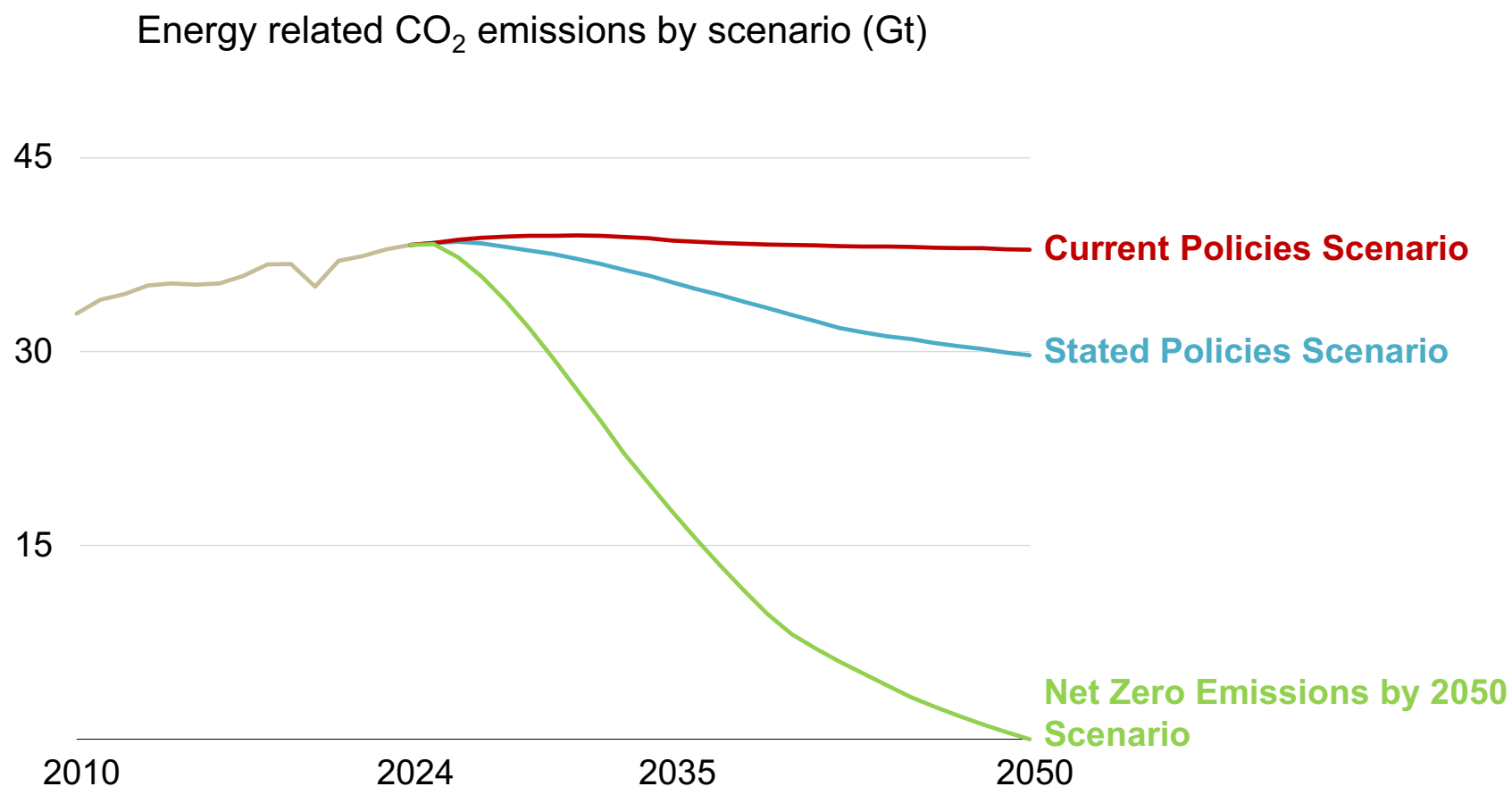



Mathilde FAJARDY

Analyste, AIE (Agence Internationale de l'Energie)


France Ciment

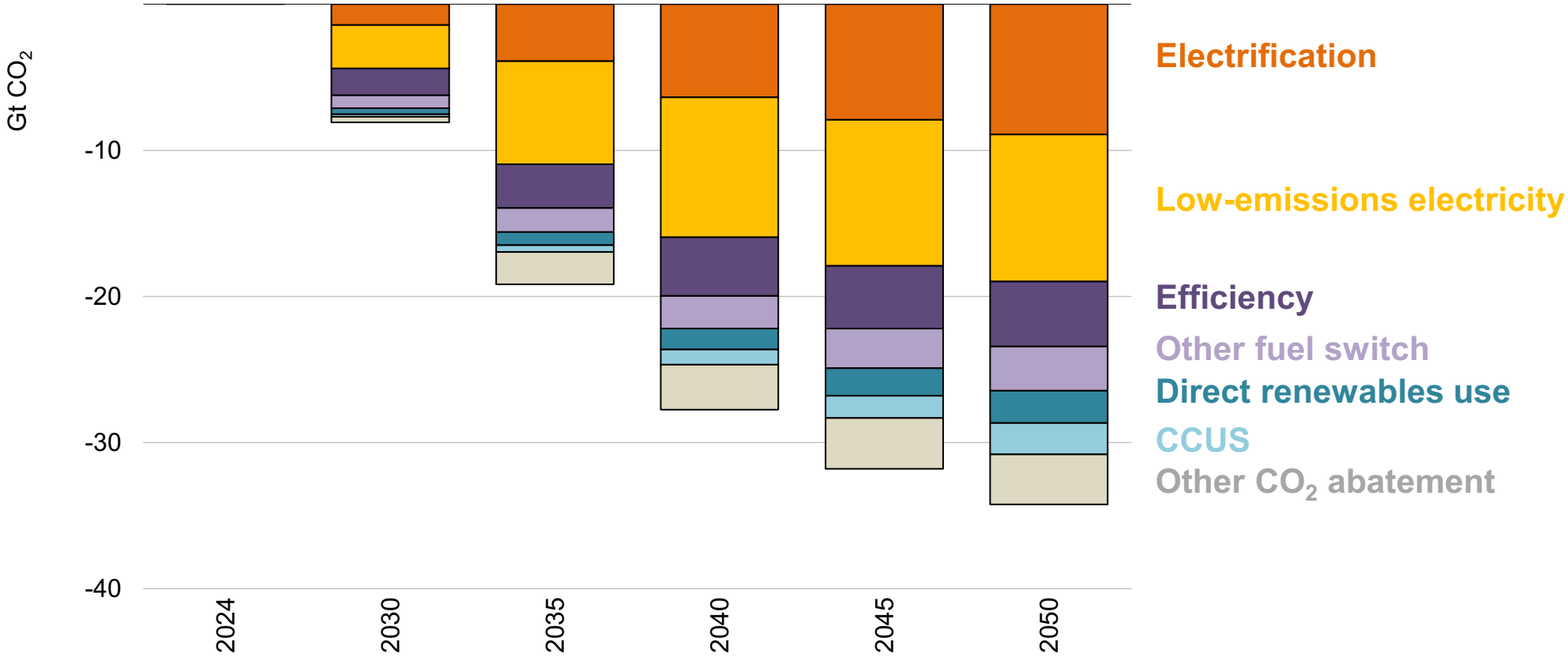
# Appréhender différents futurs du changement climatique




**Les scénarios permettent de comparer l'impact de différents choix en matière de politique énergétique. Le scénario normatif de neutralité carbone en 2050 ('net-zero') est le plus ambitieux**

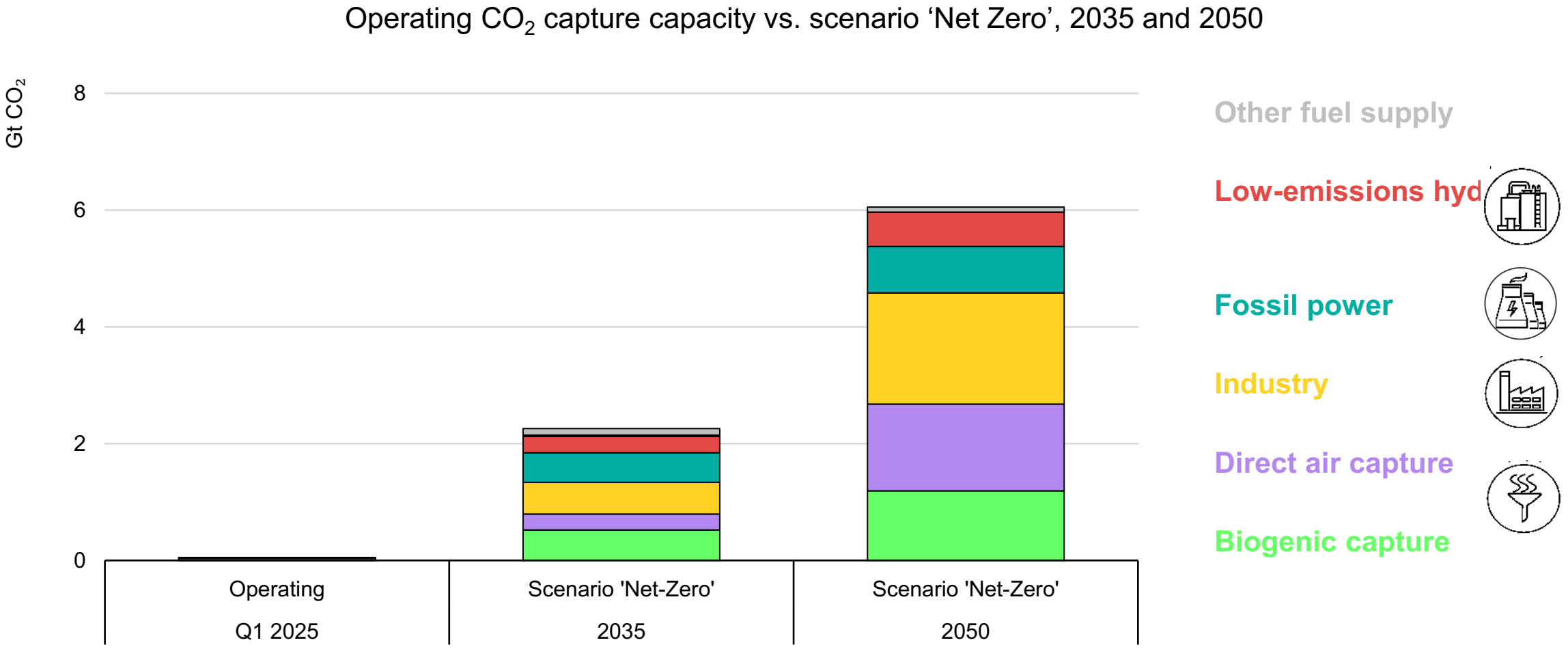
# Le CCUS n’est qu’une partie de la solution

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



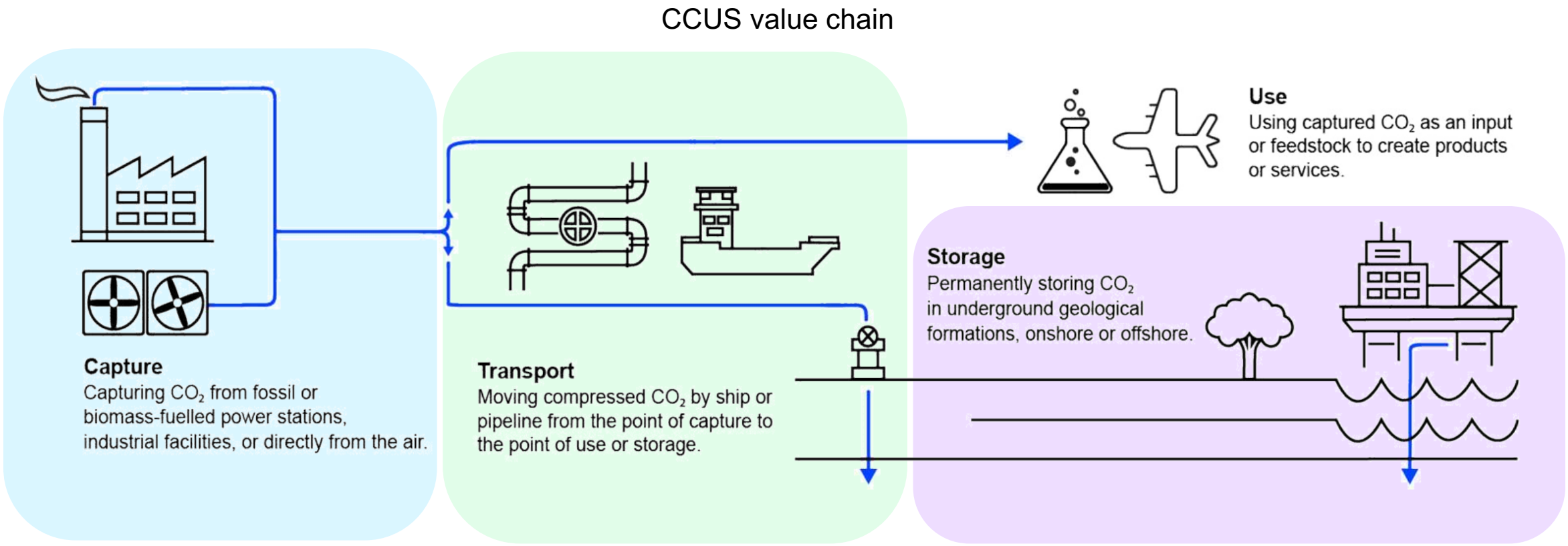

**L’électrification des usages, la décarbonation de l’électricité, et les gains d’efficacité représentent deux tiers des efforts de réduction d’émissions pour atteindre la neutralité en 2050. Le CCUS représente 6% des efforts**

# Quatre rôles stratégiques pour le CCUS



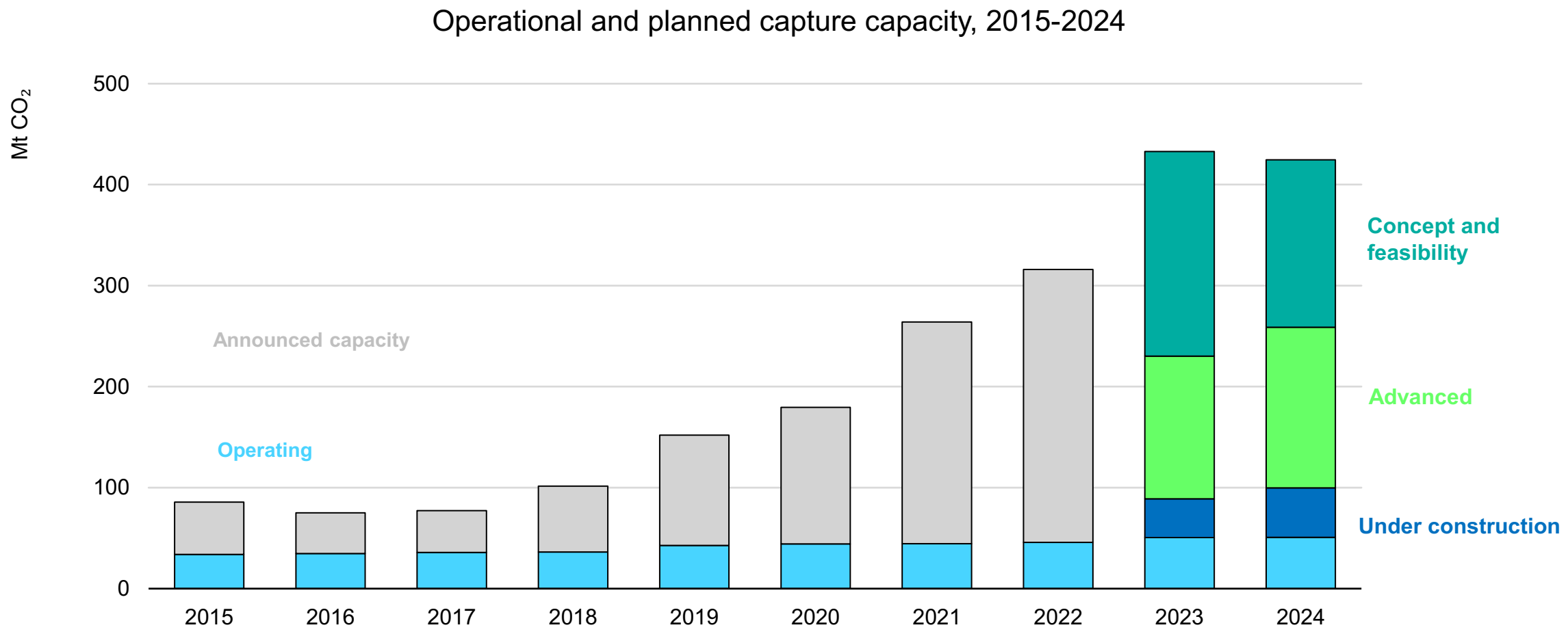

**Pour atteindre la neutralité carbone en 2050, les quantités de $CO_2$ captées doivent augmenter d’environ 50 millions de tonnes $CO_2$ aujourd’hui à 2,3 milliards de tonnes en 2035 and 6 milliards de tonnes $CO_2$ en 2050**

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



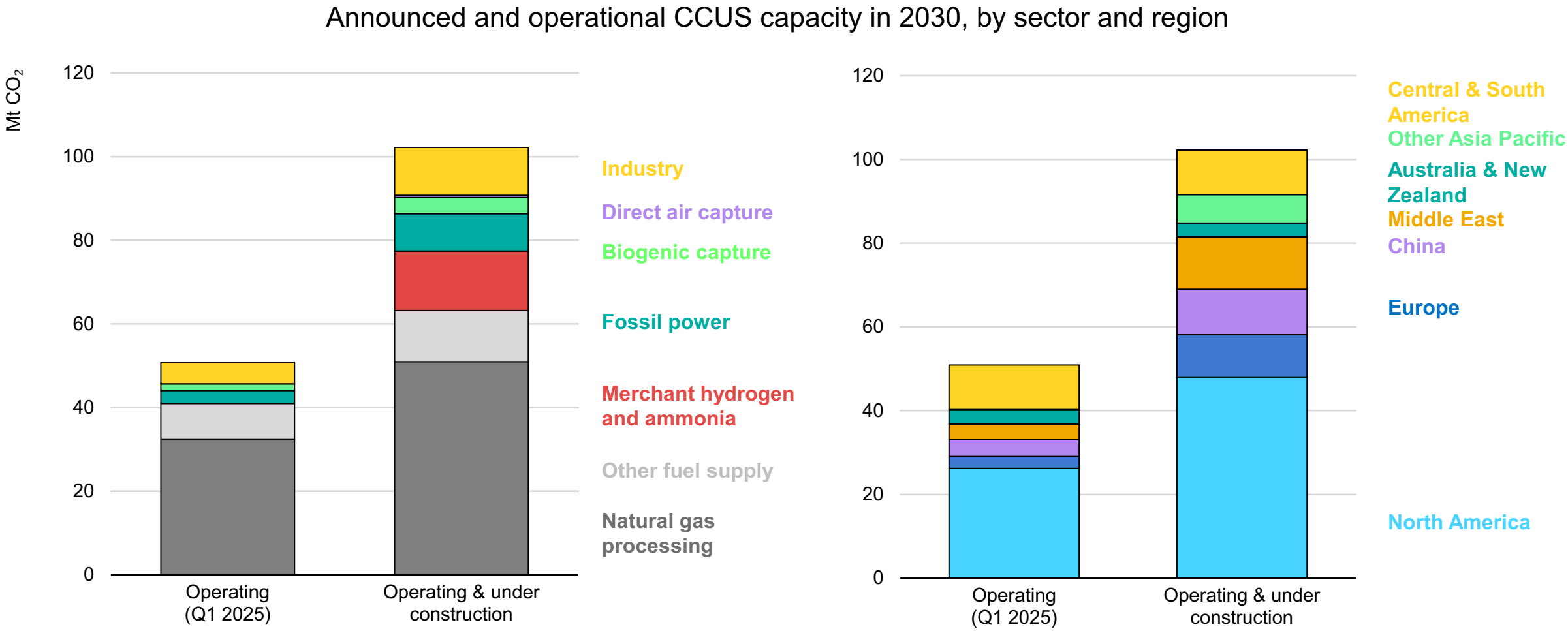

**Le marché du CCUS est structuré autour d'acteurs spécialisés dans différentes parties de la chaîne de valeur**

# Un déploiement plat mais un nouveau dynamisme



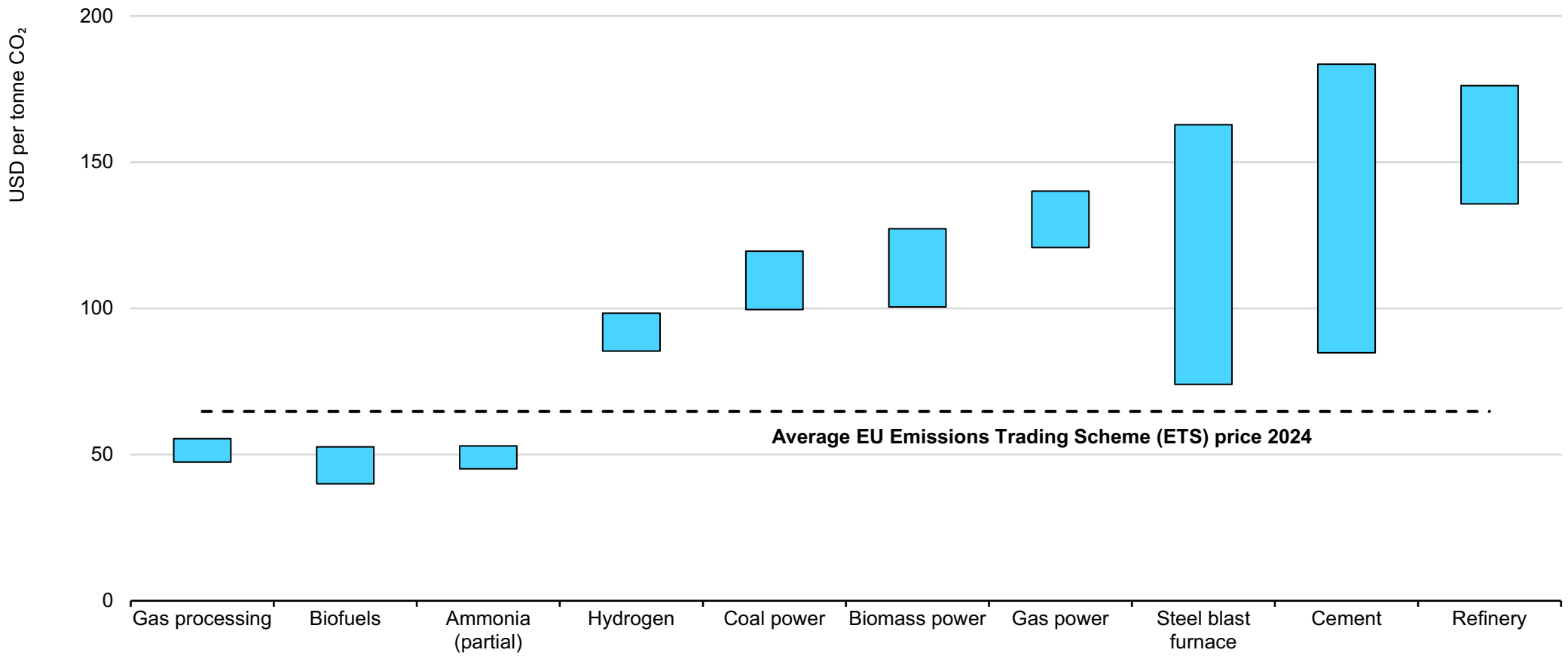

**Après une longue de période d'augmentation marginale des capacités de captage en ligne, la capacité pourrait doubler dans les prochaines années**

# Vers une diversification des secteurs et régions?




**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**

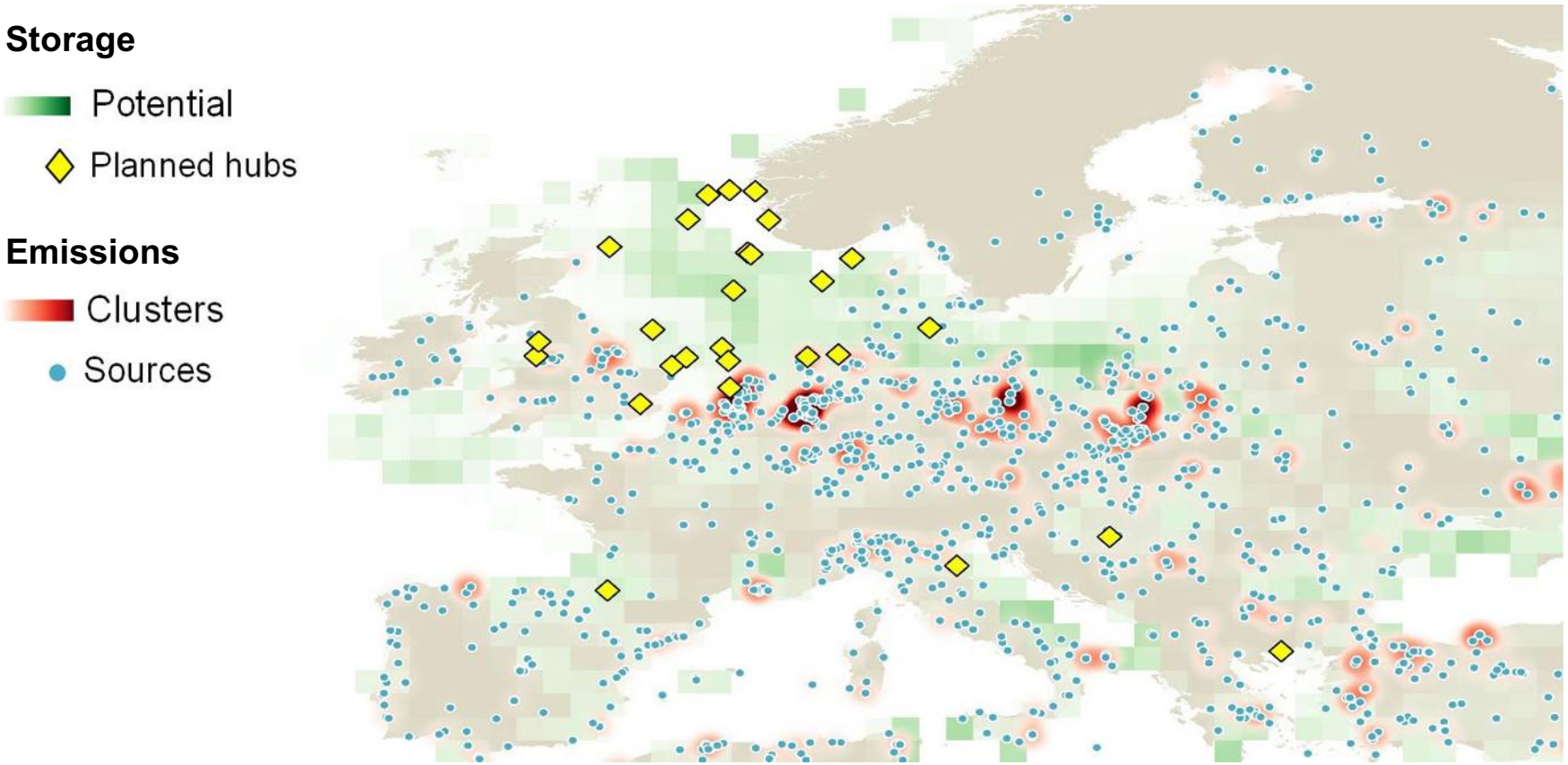
# Enjeu #1: améliorer la viabilité économique




**Les prix sur la tonne de $CO_2$ en vigueur ne rendent viables que certaines applications du CCUS, mais des outils existent pour soutenir des projets aux coûts plus élevés**

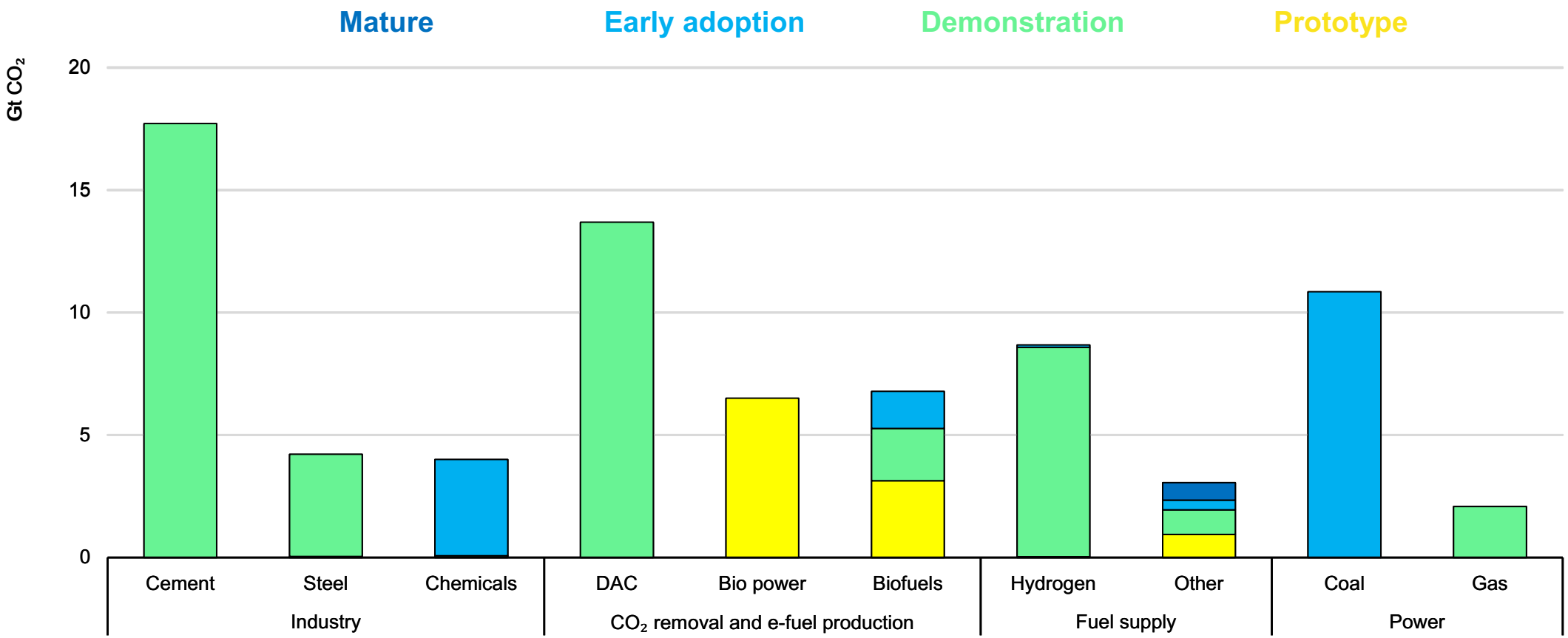
# Enjeu #2: coordonner les réseaux de transport & stockage de $CO_2$

$CO_2$ emissions clusters and storage hubs in planning in Europe, 2023




**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 echelle les secteurs clés




**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

CEMENTLAB

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS

France Ciment



# MESSAGE DE CLÔTURE




Bruno PILLON

Président France Ciment


France Ciment



LAB

CEMENTLAB

NOUVELLES APPROCHES CONSTRUCTIVES :

# MIXITÉ, SOBRIÉTÉ, CAPTURE DU CARBONE

JEUDI 20 NOVEMBRE 2025 - PARIS

France Ciment