



LILLE GRAND PALAIS
20, 21 & 22 JUIN 2023



JOURNÉES PROFESSIONNELLES DE LA CONSTRUCTION

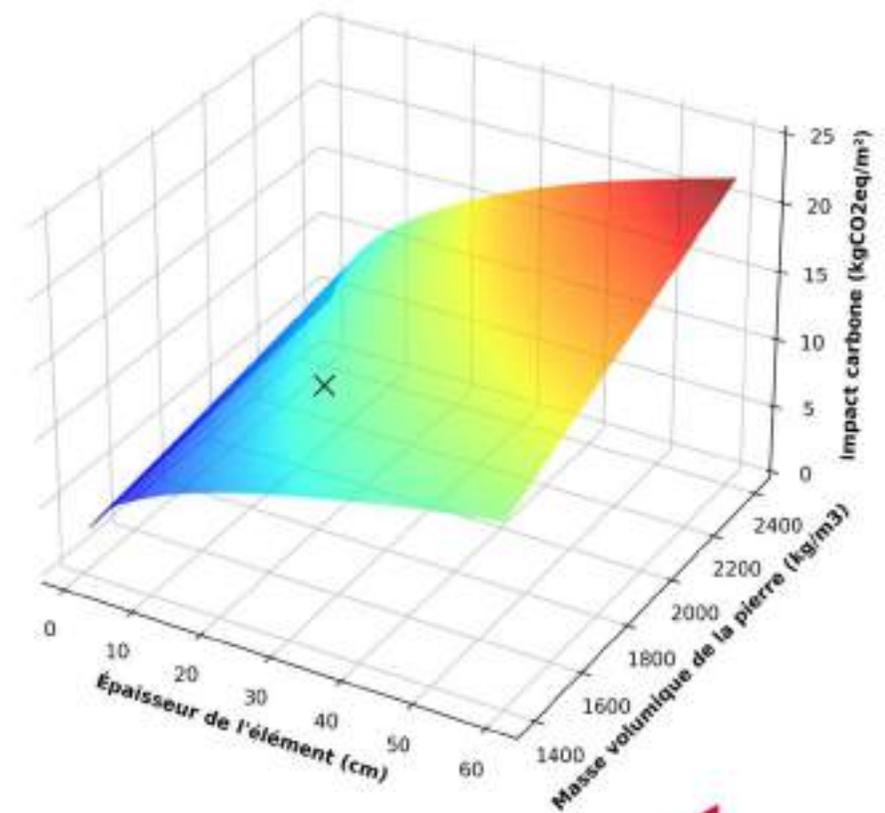


La pierre naturelle et l'environnement

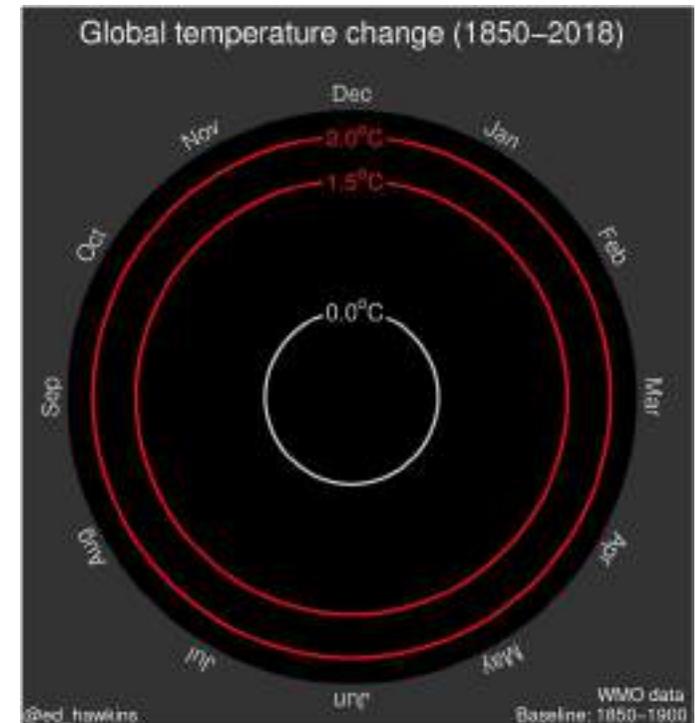
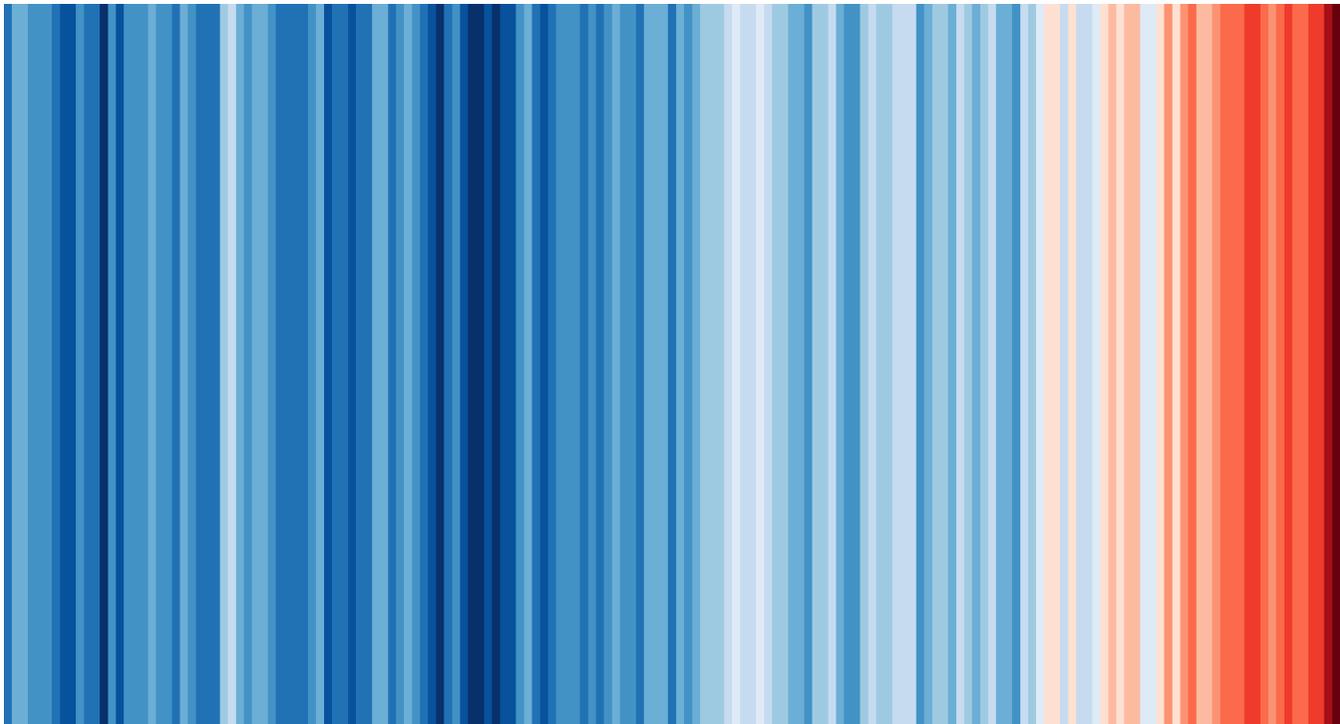
Tristan PESTRE

Chef de projet CTMNC, département ROC

pestre.t@ctmnc.fr



Enjeux de la décarbonation

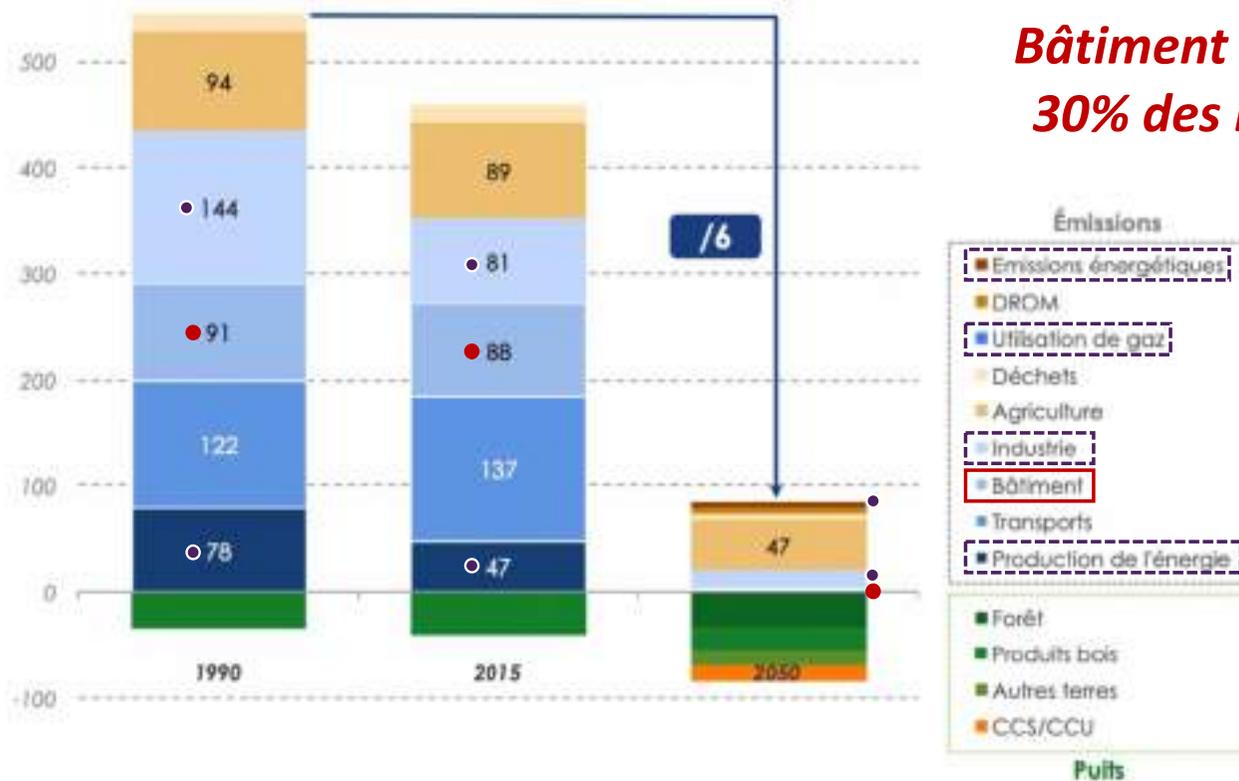


Enjeux de la décarbonation

- **Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)**, introduite par la **Loi de Transition Energétique pour la Croissance Verte (LTECV)**.
- Feuille de route de la France pour lutter contre le changement climatique.
- Orientations stratégiques pour TOUS secteurs d'activité (dont industrie et bâtiment).
- Trajectoire de réduction des **Emissions de Gaz à Effet de Serre (EGES)** jusqu'à 2050, avec des « budgets carbone ».
- Exemple : **industrie & bâtiment** [MtCO₂eq] :
 - 75 de 2019 à 2023 ; 65 de 2024 à 2028 ; 53 de 2029 à 2033.
 - 77 de 2019 à 2023 ; 59 de 2024 à 2028 ; 42 de 2029 à 2033.

Enjeux de la décarbonation

SNBC : évolution des émissions nettes de GES (MtCO₂eq)



**Bâtiment scopes 1, 2 et 3 ≈
30% des EGES Nationales**

Enjeux de la décarbonation

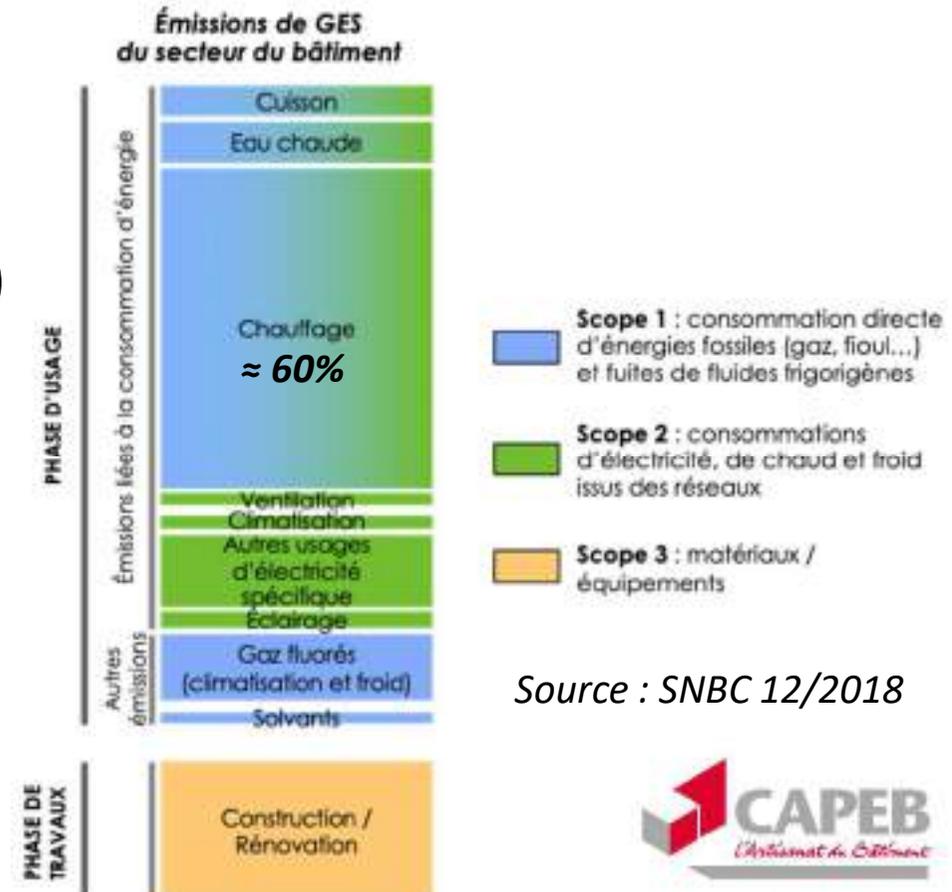
Répercussions sur le secteur du bâtiment :

- Neuf : **RE2020 « Réglementation environnementale 2020 »**
 - Réduction des consommations énergétiques (conception, enveloppe et systèmes),
 - Réduction des émissions de gaz à effet serre (en phase d'usage, mais aussi sur le reste du cycle de vie).
- Existant : **DPE « Diagnostic de performance énergétique »**
 - Affichage d'une « note » énergie et carbone des logements,
 - Obligatoire pour la vente et la location,
 - Audits énergétiques avant-vente (logements F et G ; E en 2025 et D en 2034).

Enjeux de la décarbonation

Emissions du bâtiment

1. Chauffage (- déperditions, + apports)
2. Construction (produits et équipements)
3. Electricité spécifique (électrodomestique, informatique)
4. Climatisation (pompes à chaleur)
5. Eau chaude sanitaire



Enjeux de la décarbonation

Pour les produits et constructions en pierre naturelle :

Bâtiments neufs et existants : solutions potentiellement différentes.

Evaluation des gains (- de chauffage, - de clim., + de confort).

Justification de l'impact environnemental des produits.

Pour la filière :

Evaluation des EGES (*industrie*), plan de décarbonation (- d'imports),

Confrontation aux alternatives et positionnement (*bâtiment*).

Le cycle de vie de la pierre naturelle

Etapas du cycle de vie :

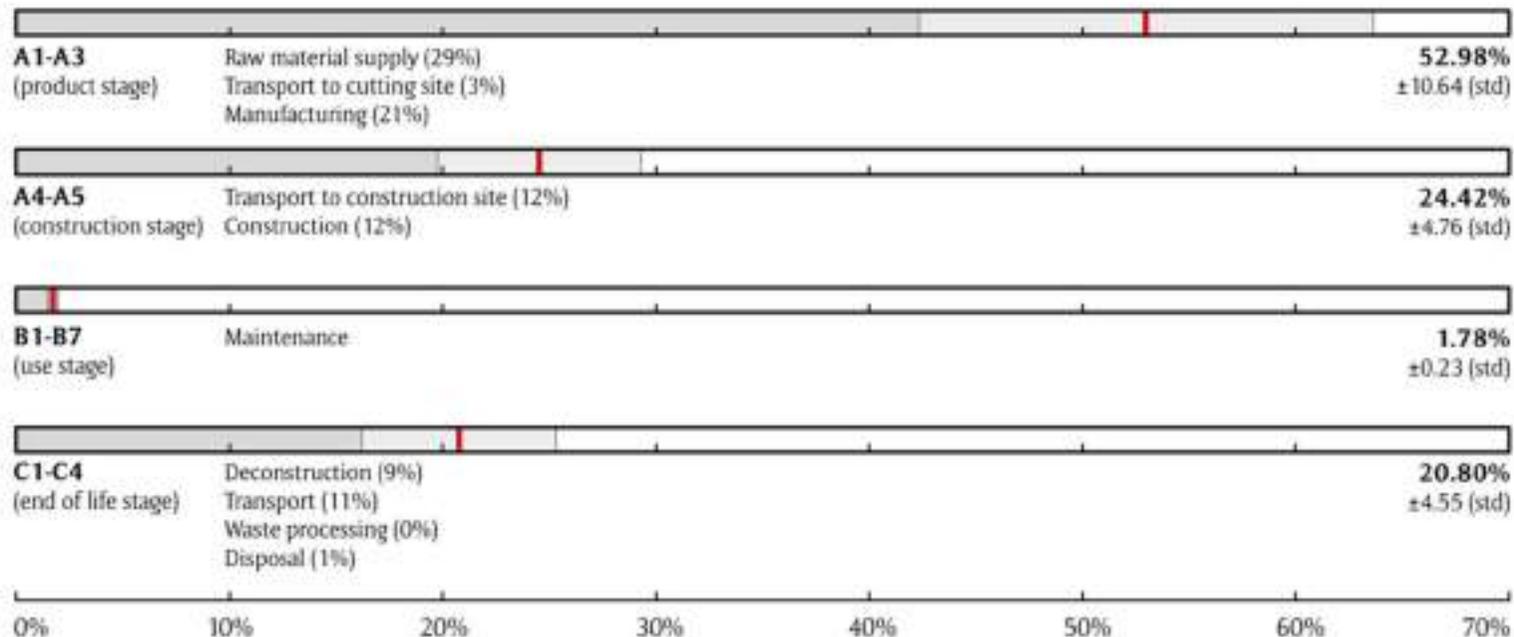
- A1: Extraction en carrière
- A2: Transport carrière – atelier de façonnage
- A3: Façonnage en atelier (et éventuelles finitions), emballage
- A4: Transport atelier – chantier
- A5: Installation dans le bâtiment
- B: Vie en œuvre / entretien
- C1: Déconstruction du bâtiment
- C2: Transport des matériaux déconstruits
- C3-C4-D: Traitement (élimination ou revalorisation) des matériaux de déconstruction.



Le cycle de vie de la pierre naturelle

Impact carbone par étapes du cycle de vie :

Cut-stone life cycle impact distribution
(static LCA)

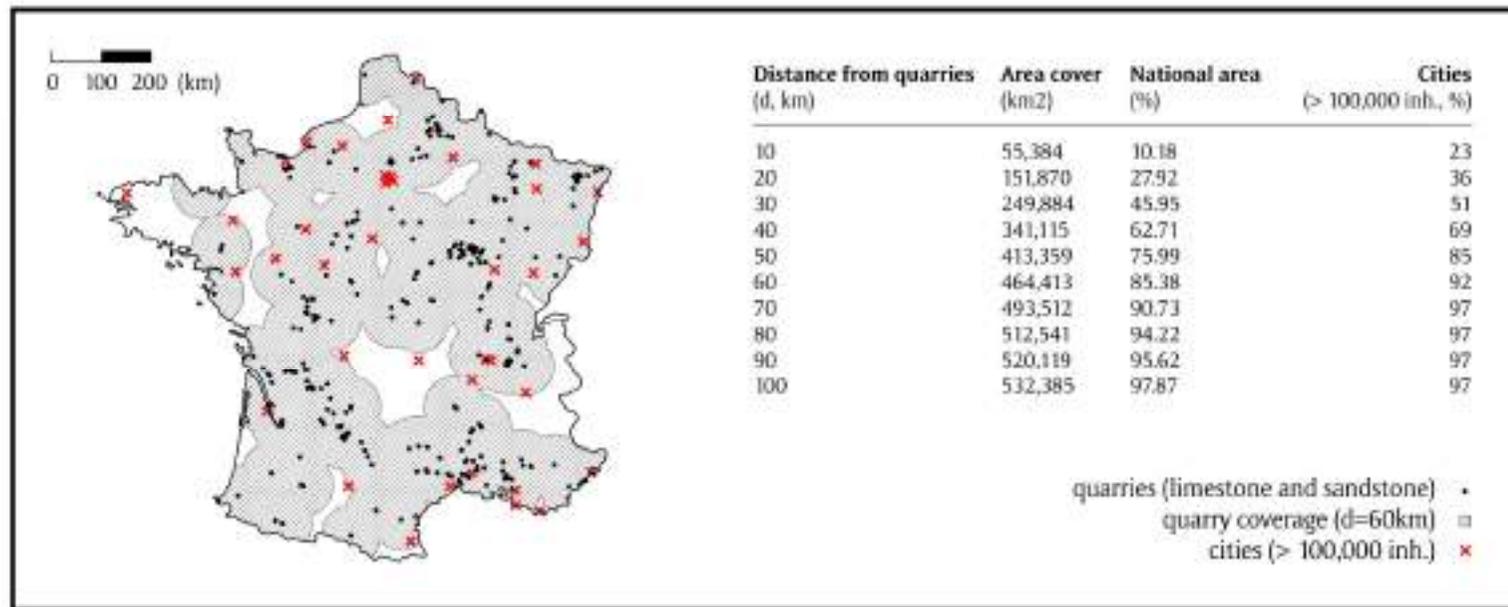


Source : De Toldi & Pestre, «The relevance of cut-stone to strategies for low-carbon buildings», Buildings & Cities 2023

Le cycle de vie de la pierre naturelle

Des gisements potentiellement locaux !... :

French quarry sector
(sandstone and limestone)



Le cycle de vie de la pierre naturelle

À déplacer avec modération :

Transport distance (A4) impact on embodied impact of cut-stone assemblies
NF P 01-010 standard

Truck transit
(Ecoinvent average, 2021)

Ship transit
(Transoceanic shipping)

Train transit
(Electrical, European grid average)

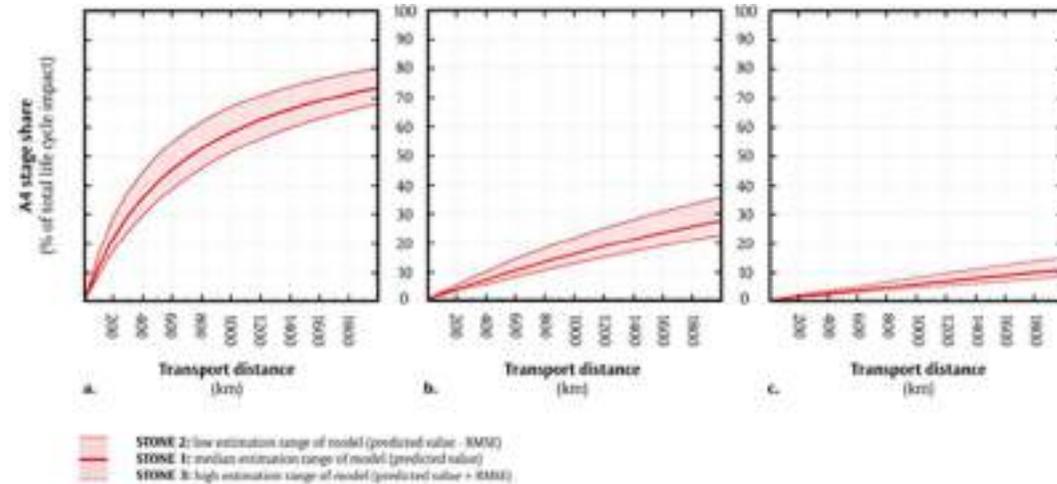
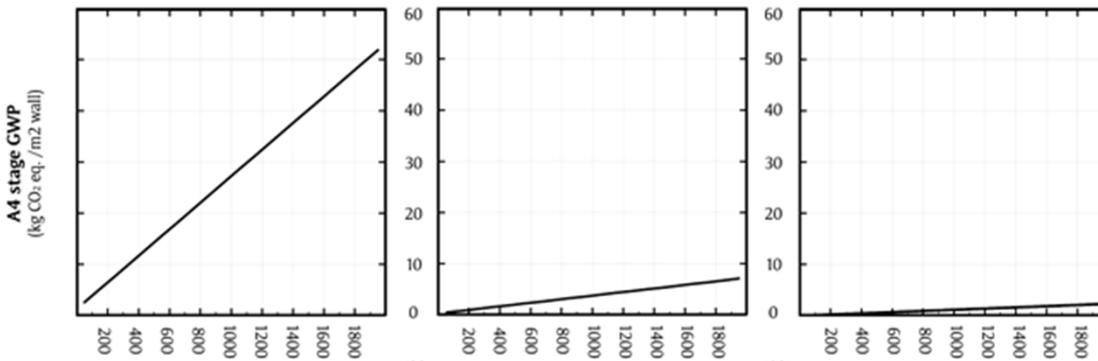
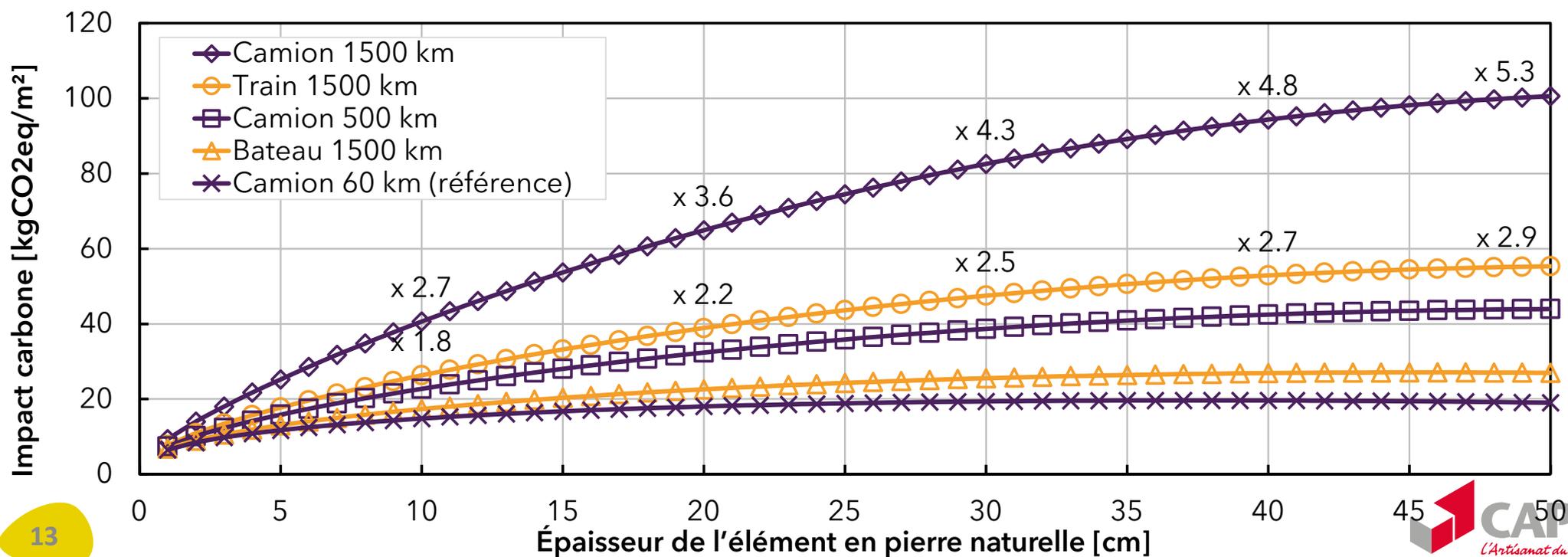


Figure 7: Impact of transport distance (A4) on carbon impact of a 1m² load-bearing cut-stone wall, assuming an average density of 1851 kg/m³, a thickness of 24cm, and static LCA.

Des FDES à la calculette carbone du CTMNC

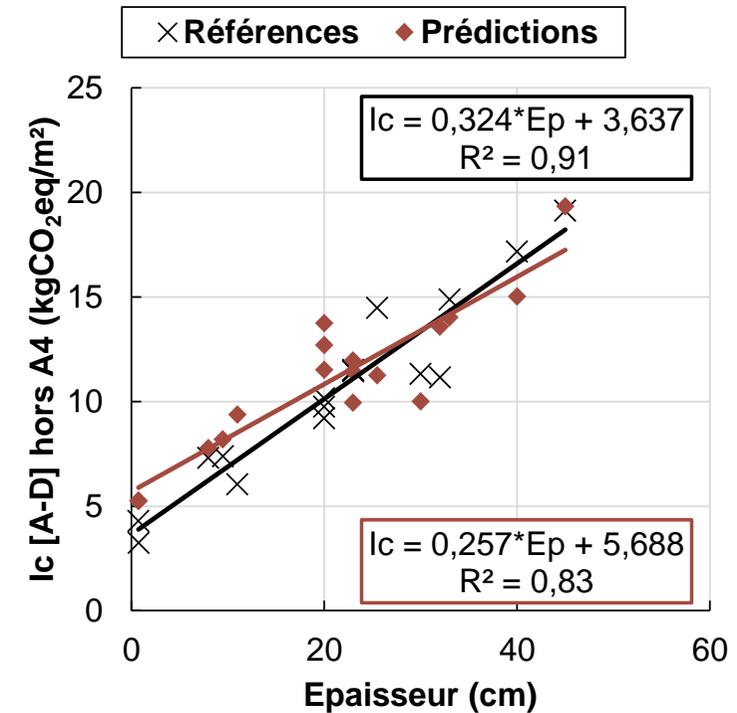
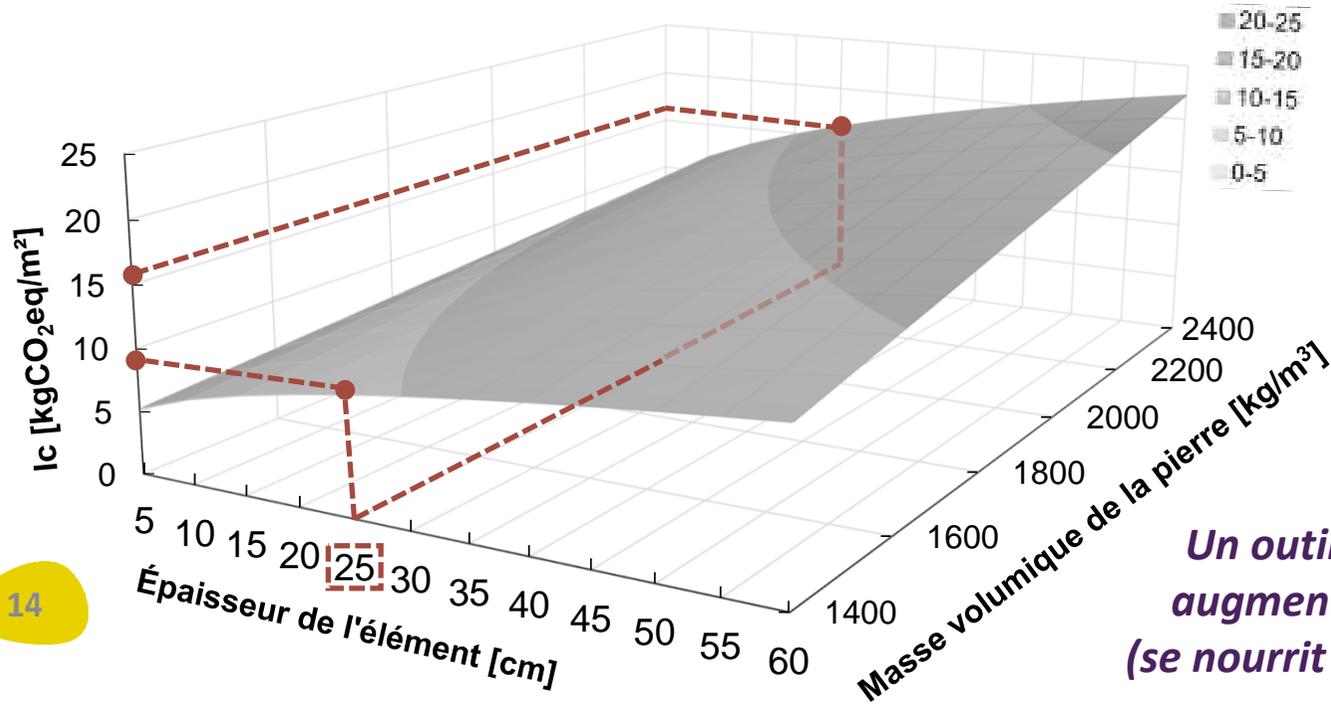
Récupération de données environnementales ... modélisation ... outil pratique



L'impact environnemental des produits ROC

Un impact carbone dépendant des éléments !

Impact carbone « Ic » des éléments de construction en pierre naturelle, sur le cycle [A-D], hors transport usine-chantier :

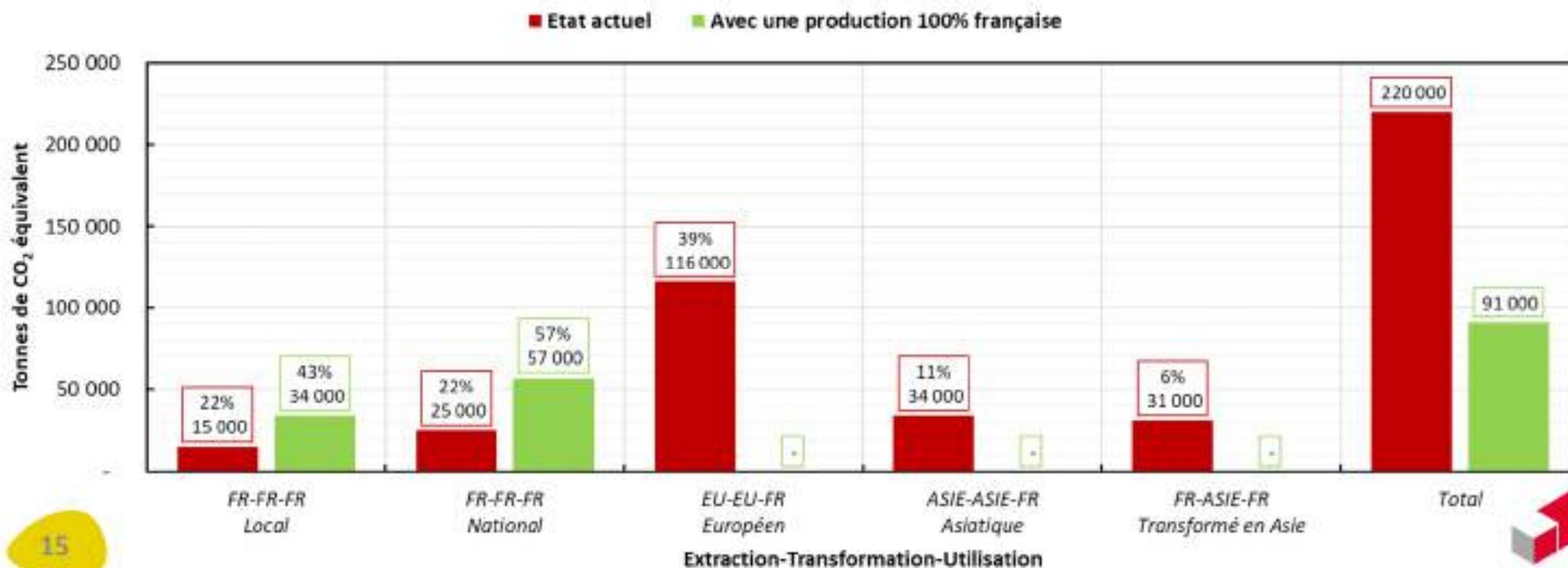


*Un outil dont la précision
augmentera avec le temps
(se nourrit des nouvelles FDES).*

L'impact environnemental de la filière ROC

Exploitation de l'outil : bilan carbone de la filière (impact des importations)

Impact carbone de la filière ROC en fonction des parts de marché (produits locaux et importés)

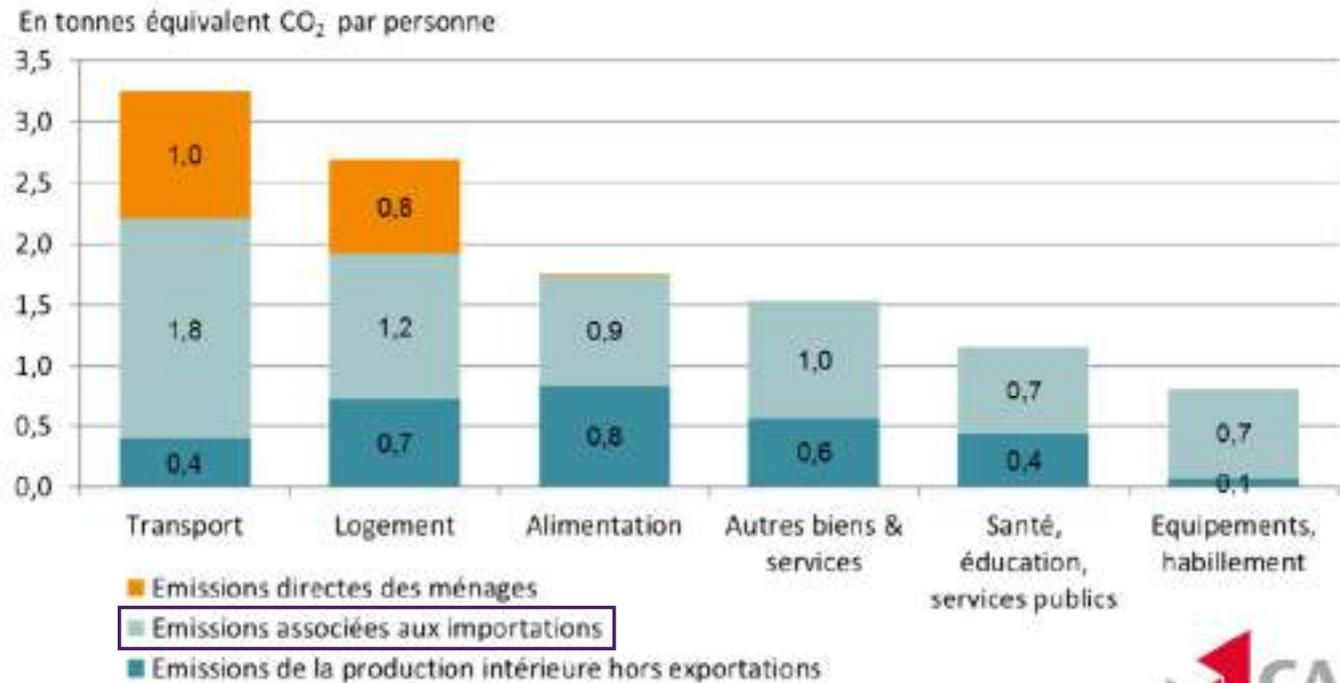
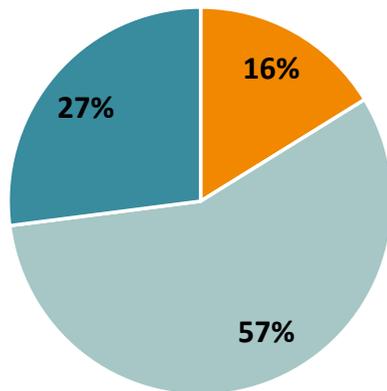


L'impact environnemental de la filière ROC

Impacts des importations : identifiés dans la SNBC

Empreinte carbone par postes de consommation en 2018

Source : SNBC, Synthèse, Mars 2020

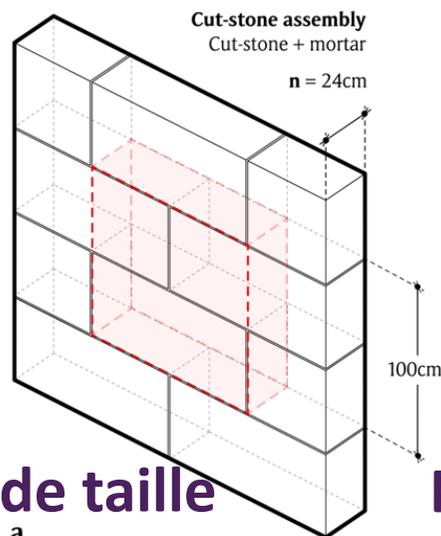


Note : L'empreinte portait sur les trois principaux gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O)
 Champ : France + Drom (périmètre Kyoto)
 Sources : Citepa, A/E, FAO, Douanes, Eurostat, Insee. Traitements : SDeS, 2019.

Comparaison avec d'autres produits

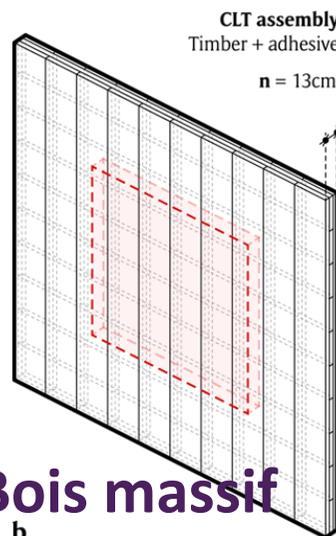
Article 2023 : The relevance of cut-stone to strategies for low-carbon buildings.

Functional unit (FU) for comparative LCA
(1m² Load Bearing Wall)



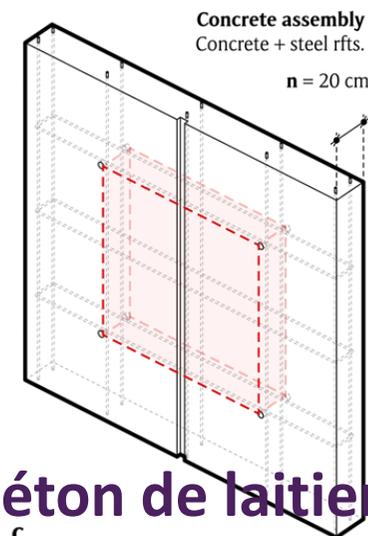
**Pierre de taille
massive**

a.



**Bois massif
contrecollé**

b.



**Béton de laitiers
(bas-carbone)**

c.



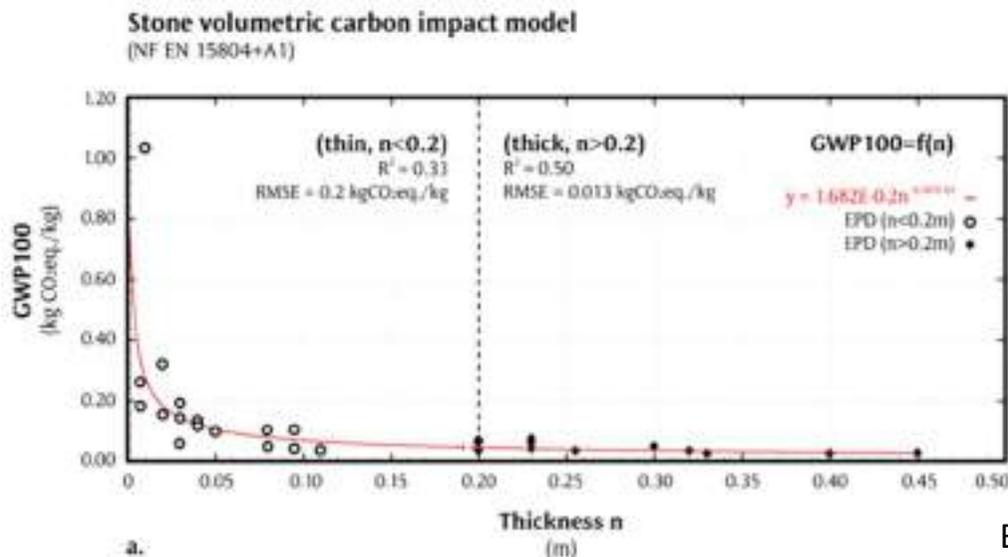
FU = 1m x 1m x n

n = typically implemented thickness (four story high collective housing developments, industry average)

Source : De Toldi & Pestre, «The relevance of cut-stone to strategies for low-carbon buildings», Buildings & Cities 2023

Comparaison avec d'autres produits

Exploitation de la méthodologie de la calcullette carbone.



$$GWP_{TH} = \delta n^\epsilon \quad (n > 0, 2)$$

BLS	TH = 100 ans		TH = 200 ans	
	δ	ϵ	δ	ϵ
50	1,68E-02	-6,107E-01	1,775E-02	-6,113E-01
100	1,456E-02	-5,789E-01	1,726E-02	-6,061E-01

BLS : Durée de vie du bâtiment (an)

TH : Horizon temporel pour le calcul des EGES (an)

n : épaisseur du produit (m)

GWP : potentiel de réchauffement global (kgCO₂eq/kg)

Comparaison avec d'autres produits

Relativement faible variabilité selon l'épaisseur,

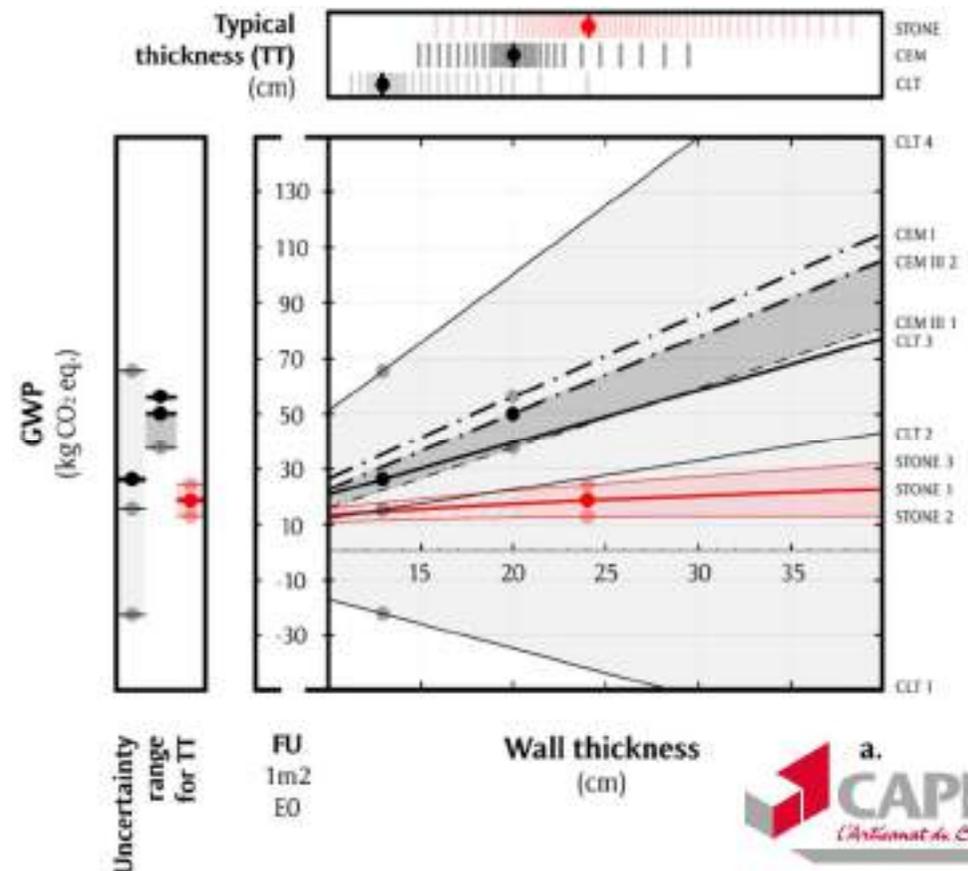
Bon positionnement,

Des performances supplémentaires /UF.

Comparative dynLCA
(1 m² load-bearing wall functional unit)

GWP₁₀₀
(50 years building life span)

- CLT 4: - sequestration during regrowth, + avoided sequestration (metabolic scaling model)
- CLT 3: - sequestration during regrowth, + avoided sequestration (decreasing growth rate model)
- CLT 2: - sequestration during regrowth
- CLT 1: - sequestration during growth (RE2020)
- STONE 3: high estimation range of model (predicted value + RMSE)
- STONE 1: median estimation range of model (predicted value)
- STONE 2: low estimation range of model (predicted value - RMSE)
- CONCRETE 1: CEM I
- CONCRETE 2: CEM III (direct attribution of GGBFS)
- CONCRETE 3: CEM III (economic attribution of GGBFS)



Comparaison avec d'autres produits

Une faible variabilité temporelle des émissions,

Solution durable à ajouter aux existantes.

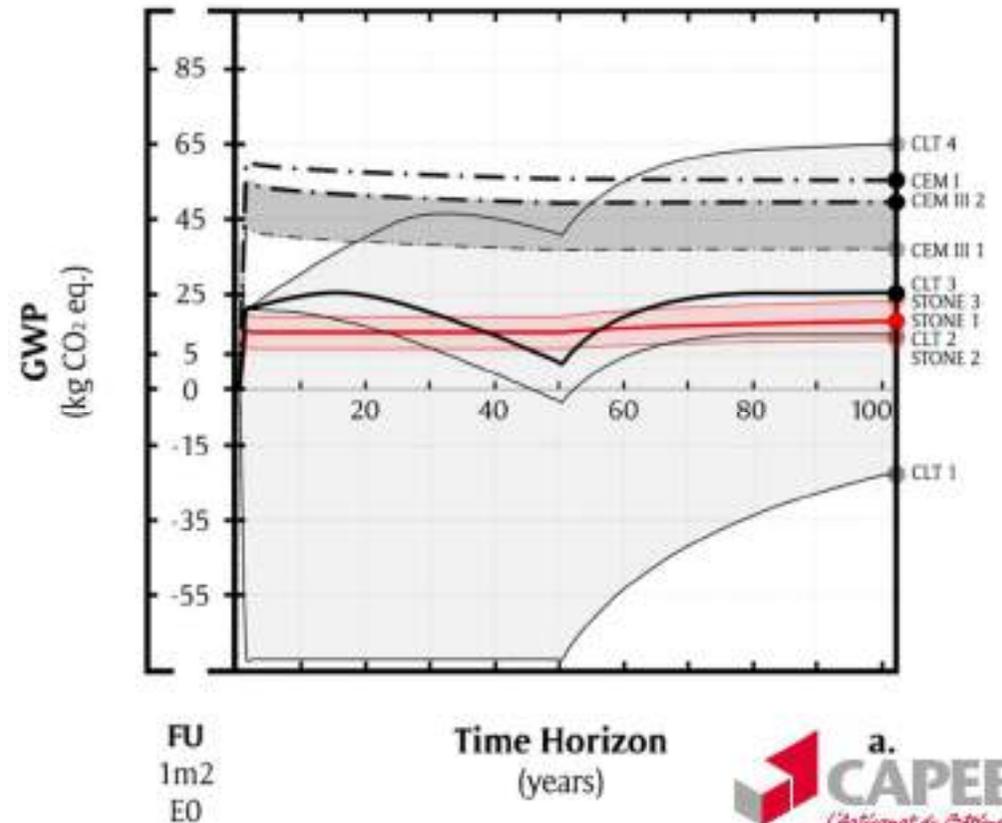
- CLT 4: - sequestration during regrowth, + avoided sequestration (metabolic scaling model)
- CLT 3: - sequestration during regrowth, + avoided sequestration (decreasing growth rate model)
- CLT 2: - sequestration during regrowth
- CLT 1: - sequestration during growth (RE2020)
- STONE 3: high estimation range of model (predicted value + RMSE)
- STONE 1: median estimation range of model (predicted value)
- STONE 2: low estimation range of model (predicted value - RMSE)
- - - CONCRETE 1: CEM I
- - - CONCRETE 2: CEM III (direct attribution of GGBFS)
- - - CONCRETE 3: CEM III (economic attribution of GGBFS)

Comparative dynLCA

(1 m² load-bearing wall functional unit)

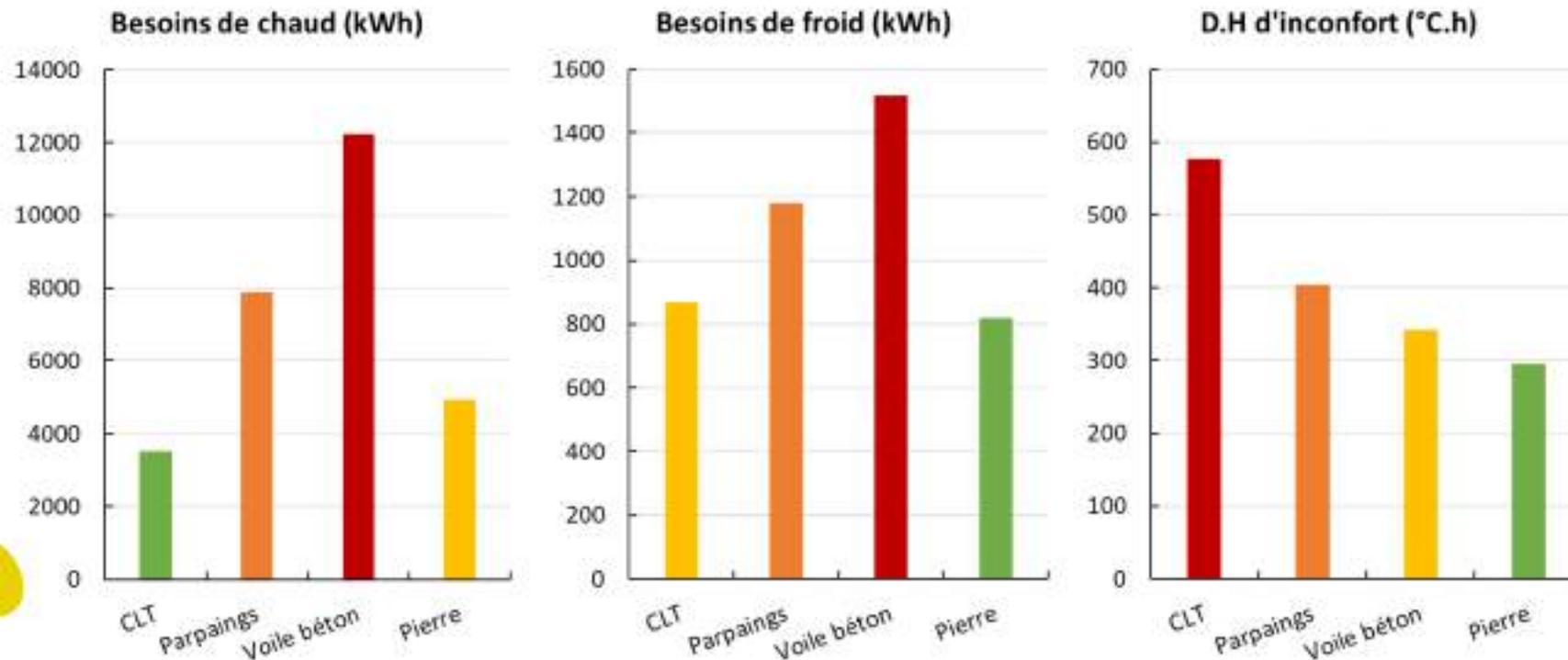
GWP_{dyn}

(50 years building life span)



Les gains énergétiques et de confort potentiels

- Simulation thermique dynamique (boite de 50 m², une fenêtre, autres parois isolées)



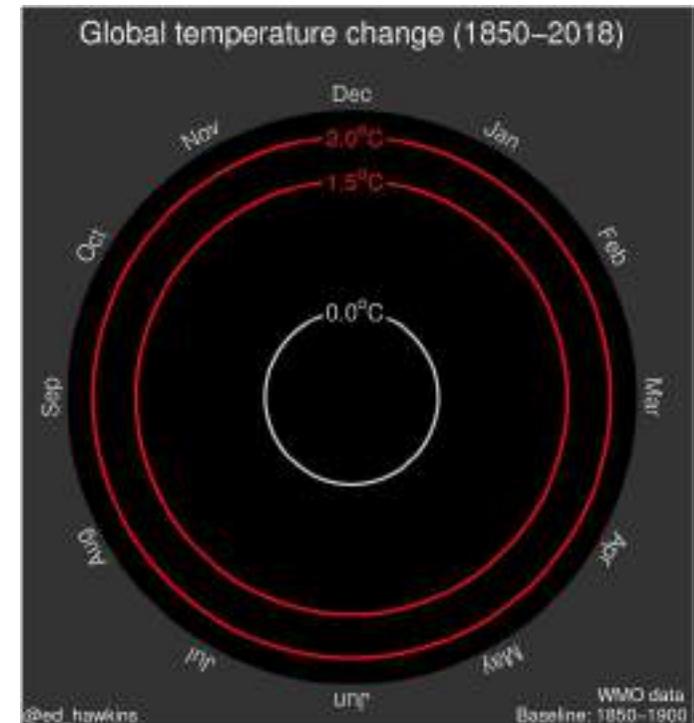
Les gains énergétiques et de confort potentiels

- STD (boite de 50 m², une fenêtre, autres parois isolées)

Parois verticales (non isolées)	Besoins de chaud (kWh)	Puissance de chauffage (kW)	Besoins de froid (kWh)	Puissance de climatisation (kW)	T° moy. sans chauffage (°C)	T° min. sans chauffage (°C)	T° max. sans chauffage (°C)	D.H d'inconfort (°C.h)
CLT + cloisons bois	3499	2106	869	2244	16.9	4.7	31.9	577
Parpaings enduits + cloisons parpaings	7881	4106	1180	3326	16.2	2.8	31.7	404
Voile béton + cloisons béton	12231	6083	1516	4478	15.9	2.2	31.6	342
Pierre massive + cloisons pierre	4955	2657	818	2037	16.5	4.9	30.2	295

Merci de votre attention !

Tristan PESTRE
CTMNC, département ROC
pestre.t@ctmnc.fr



Source : Ed Hawkins « 2018 visualisation update », Climate Lab Book, 12/2018



Terre et Pierre
Expertise et Innovation

INNOVATIONS, ÉTUDES ET RECHERCHES DANS LE DOMAINE DE LA PIERRE

**Martin VIGROUX – Chef de projet
CTMNC – Département ROC**

MAÇONNERIE

- Campagne expérimentale → Eurocode 6 + NF DTU 20.1

BIM

- Développement d'objets BIM en pierre naturelle

PIERRES ATTACHÉES (NF DTU 55.2) ET SÉCURITÉ INCENDIE

- Rédaction d'un *Guide de Préconisations*

RÉSISTANCE AU FEU DE LA MAÇONNERIE EN PIERRE NATURELLE

- Thèse CTMNC / CSTB + Projet ANR POSTFIRE

EXPERTISE SUR SITE : CONTRÔLE QUALITÉ DE LA PIERRE

- Vitesse de propagation du son

MAÇONNERIE

- Campagne expérimentale → Eurocode 6 + NF DTU 20.1

BIM

- Développement d'objets BIM en pierre naturelle

PIERRES ATTACHÉES (NF DTU 55.2) ET SÉCURITÉ INCENDIE

- Rédaction d'un *Guide de Préconisations*

RÉSISTANCE AU FEU

- Thèse CTMNC / CSTB + Projet ANR POSTFIRE

EXPERTISE SUR SITE : CONTRÔLE QUALITÉ

- Vitesse de propagation du son

Résistance à la compression d'un(e) ...



... pierre naturelle



... mur maçonné en
pierre naturelle

APPLICATION DIMAPIERRE-G
Outil d'aide au dimensionnement des maçonneries en pierre naturelle selon l'Eurocode 6
Version 2.08.04.39108

CTMNC PIERRE NATURELLE

PROJET: Test SOCIÉTÉ: Société
DATE: 12/18/2015

1/ CARACTÉRISTIQUES DE LA PIERRE
600 unités de 1/2 briques maçonnées en pierre naturelle
 $f_k = 12 \text{ MPa}$

2/ CARACTÉRISTIQUES DU MORTIER ET DES JOINTS
Caractéristiques du mortier et des joints
 $f_{td} = 5 \text{ MPa}$

3/ RÉSISTANCE CARACTÉRISTIQUE DE LA MAÇONNERIE
Calcul de la résistance caractéristique de la maçonnerie
 $f_k = 4,15 \text{ MPa}$

4/ CHOIX DU CALCUL

- >> Mur soumis principalement au chargement vertical
- >> Mur soumis principalement au chargement latéral
- >> Mur soumis aux charges combinées
- >> Mur soumis aux charges concentrées
- >> Mur soumis au cisaillement
- >> Etude d'un linteau

Mise à jour

Tous les chargements appliqués sur un mur

