

Vers un béton net-zéro carbone

jean-michel.torrenti@univ-eiffel.fr



Accueil > Environnement

Le béton-ciment, troisième "pays" des émissions de gaz à effet de serre

EXPERT OPINION

It's time to end our 'dirty' concrete addiction

© 16 JUL 2020 | BY CONTRIBUTOR



ries and re r aph: ny

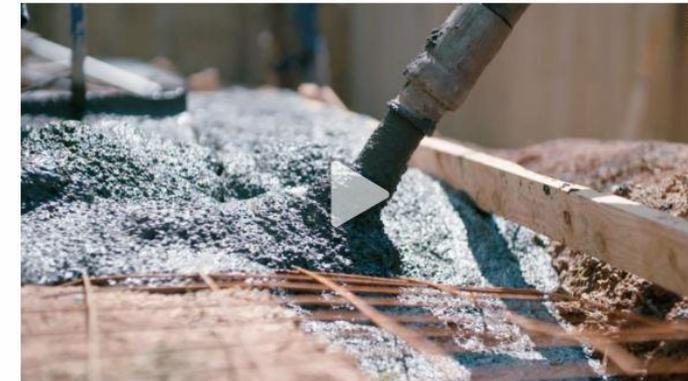
After water, concrete is the most widely used substance on the planet. But its benefits mask enormous dangers to the planet, to human health - and to culture itself

THE GLOBAL ENERGY CHALLENGE

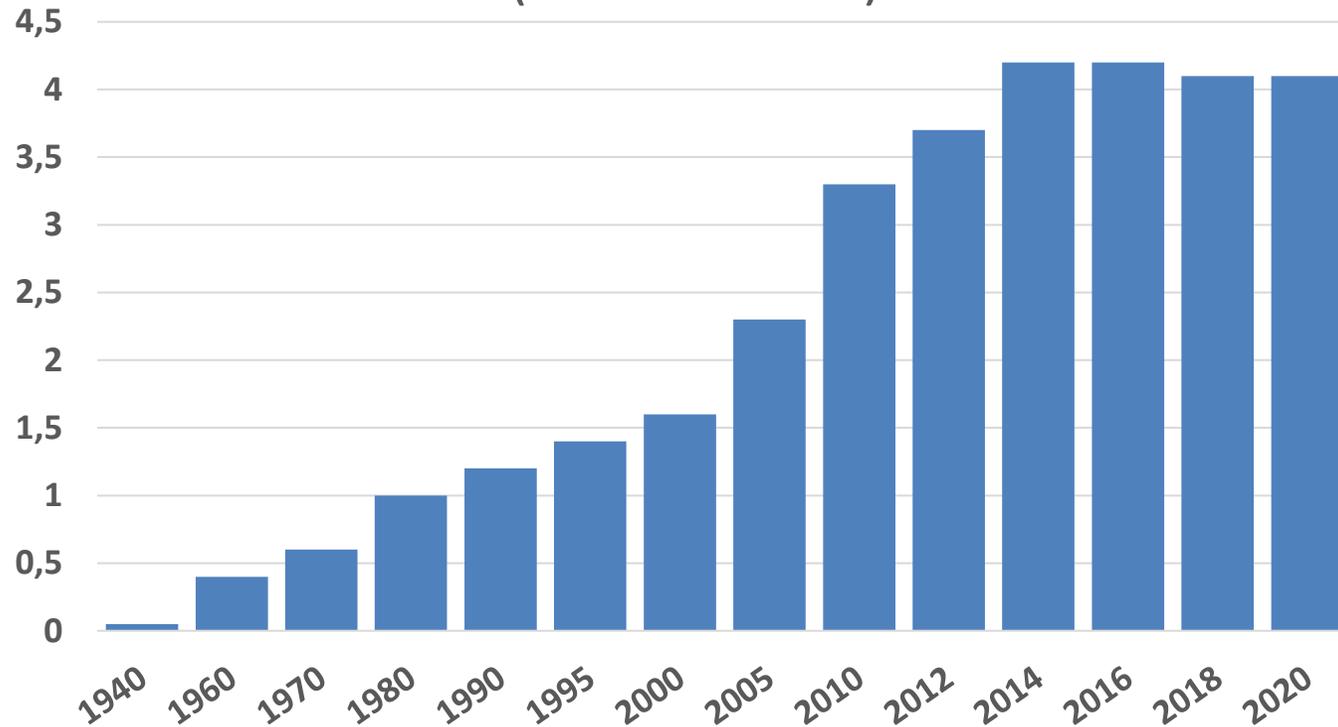
The cement industry produces more CO2 emissions than most countries. It may not survive

By Charles Riley, CNN Business

Updated 1649 GMT (0049 HKT) July 22, 2019



Production mondiale annuelle de ciment
(milliards de t)



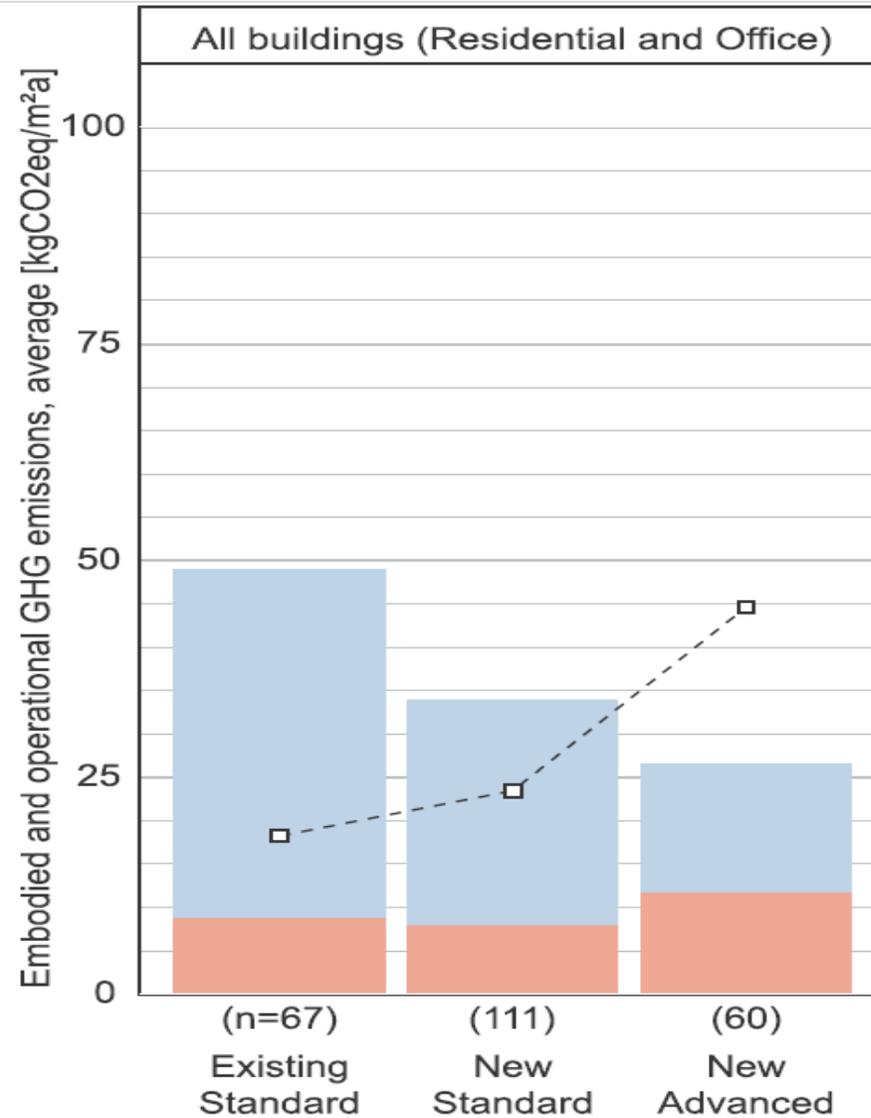
Production de ciment =
4,5% dans le monde (rapport
du GIEC) si on ne tient
compte que de la
décarbonatation du calcaire.

2,6 % du total des émissions de
CO₂ en France

98% de l'impact carbone du
béton vient du ciment



- ▶ En relatif, dans le bâtiment, la part des matériaux devient de plus en plus importante...

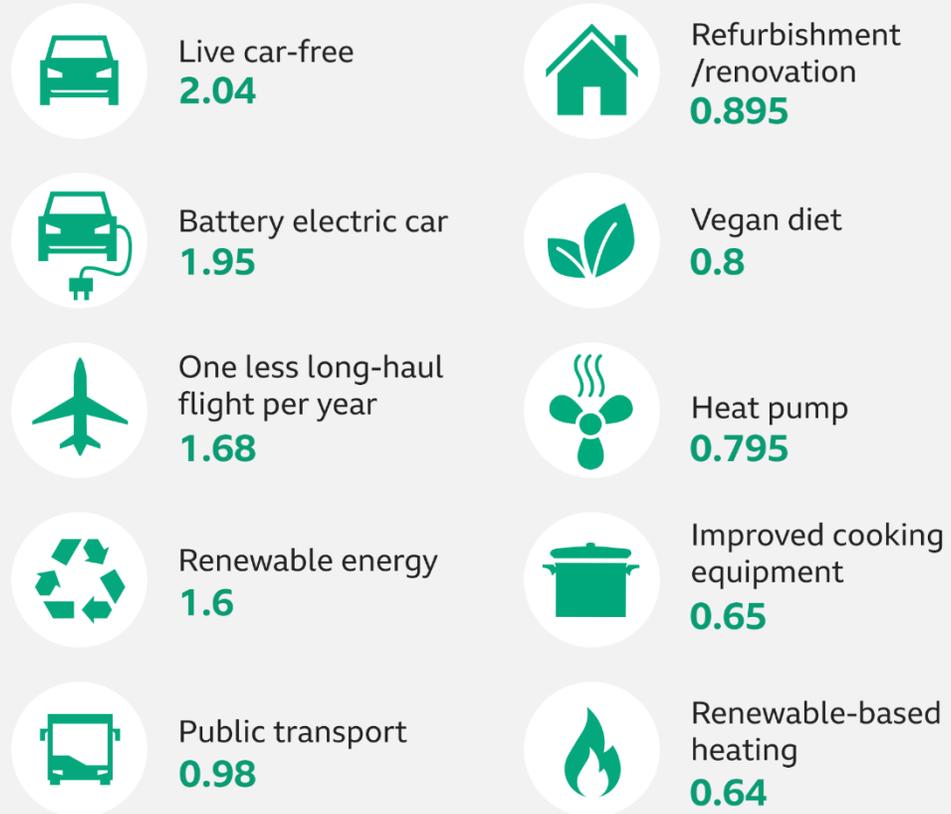


Légende :
 en bleu = émissions en service,
 en orange = émissions liées aux
 matériaux de construction ;
 ligne pointillé = ratio entre
 émissions matériaux et émissions
 en service



Top options for reducing your carbon footprint

Average reduction per person per year in tonnes of CO₂ equivalent



Source: Centre for Research into Energy Demand Solutions

BBC

Bâtiment avec une durée de service de 50 ans :

600kgCO₂/m² (seulement pour l'énergie grise – embodied carbon)

Surface = 350 000 m²
= 195 000 T of CO₂

Si vous sauvez 1%
= 1950 T of CO₂-!



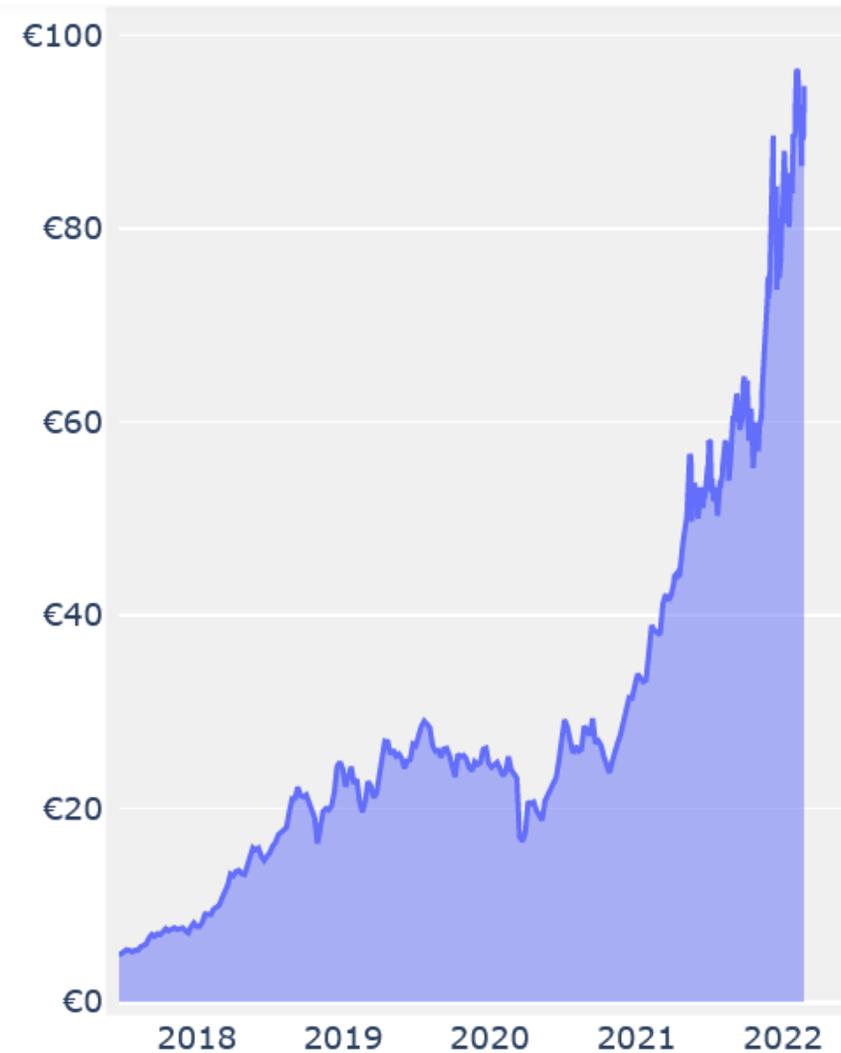
- Introduction dans la RE2020 d'un indicateur estimant le poids carbone/m² des bâtiments

Indicateurs (kg éq. CO ₂ /m ² de SHAB ou SU) PER=50ans	Explications
Impact sur le changement climatique des produits de construction et équipements et de leur mise en œuvre (I_{cconstruction}) Unité : kg éq CO ₂ /m ² de SHAB ou SU	Représente l'impact des contributions « Composants » et « Chantier », c'est le focus sur les produits de construction et équipements et leur mise en œuvre.
Impact sur le changement climatique des consommations d'énergie pendant la vie du bâtiment (I_{cénergie}) Unité : kg éq CO ₂ /m ² de SHAB ou SU	Représente l'impact du contributeur « Énergie », c'est un focus sur les impacts des énergies consommées pendant le fonctionnement du bâtiment.

Usage de la partie de bâtiment	Valeur de I _{cconstruction_maxmoyen}			
	2022 à 2024	2024 à 2027	2028 à 2030	À partir de 2031
Maisons individuelles ou accolées	640 kq éq. CO ₂ /m ²	530 kq éq. CO ₂ /m ²	475 kq éq. CO ₂ /m ²	415 kq éq. CO ₂ /m ²
Logements collectifs	740 kq éq. CO ₂ /m ²	650 kq éq. CO ₂ /m ²	580 kq éq. CO ₂ /m ²	490 kq éq. CO ₂ /m ²



- ▶ la Directive ETS, prévoit d'attribuer un certain nombre de quotas gratuits aux secteurs fortement énergétiques.
- ▶ Pour la période 2021-2030, cette attribution est diminuée chaque année de 2,2%.
- ▶ L'objectif de la Commission étant à terme la suppression des quotas gratuits, pour rester compétitives par rapport à la concurrence internationale, les industries européennes intensives en énergie devront fatalement réduire leur poids CO₂

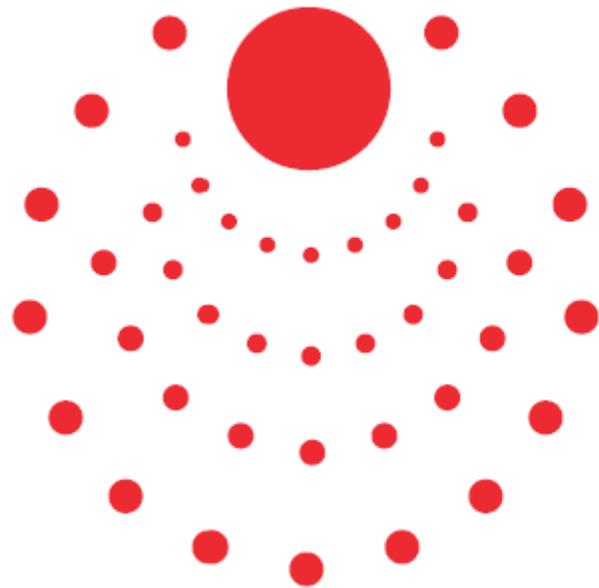


En conclusion, l'industrie cimentière et la filière béton
(comme l'acier ou le verre) n'ont pas le choix :

elles doivent diminuer leurs émissions de gaz à effet de
serre sinon le ciment et donc le béton ne seront plus
compétitifs.

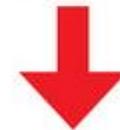


Pour abaisser l'impact CO₂ des bétons,
la stratégie 5C (Cembureau.eu)



**CLINKER
CEMENT
CONCRETE
CONSTRUCTION
CARBONATION**

1990 emissions
783
kg CO₂/t of cement



2030 emissions
incl. downstream
472
kg CO₂/t of cement
down the value chain



- ▶ Energie pour chauffer le four (environ 300kg/t de clinker):
 - Emploi de combustibles de substitution pour réduire ces émissions : objectif 60% de taux de substitution à l'horizon 2030 (au lieu de 40% actuellement en France)
 - Utilisation de déchets de bois issus du bâtiment
 - Pertes de chaleur mais le process est optimisé et ces pertes sont maintenant très faibles
- ▶ Broyage (mais pas en France car électricité très décarbonée)
- ▶ Décarbonatation du calcaire : cette partie représente environ 500kg/t de clinker et ne peut pas être réduite. Mais on peut capturer le CO₂ en sortie du four pour le recombinaison.



► Nouveaux clinkers :

- Liant utilisant de la bauxite en remplacement d'une partie du calcaire. Permet d'abaisser la température dans le four (1250-1300°C) et de diminuer le CO₂ dû à la décarbonatation. Réduction espérée 30%
- Autres recherches/liants comme les ciments alkali-activés, les géopolymères... mais, compte tenu de la composition de la croûte terrestre, il est probable que les liants à base de Portland continueront de prédominer.

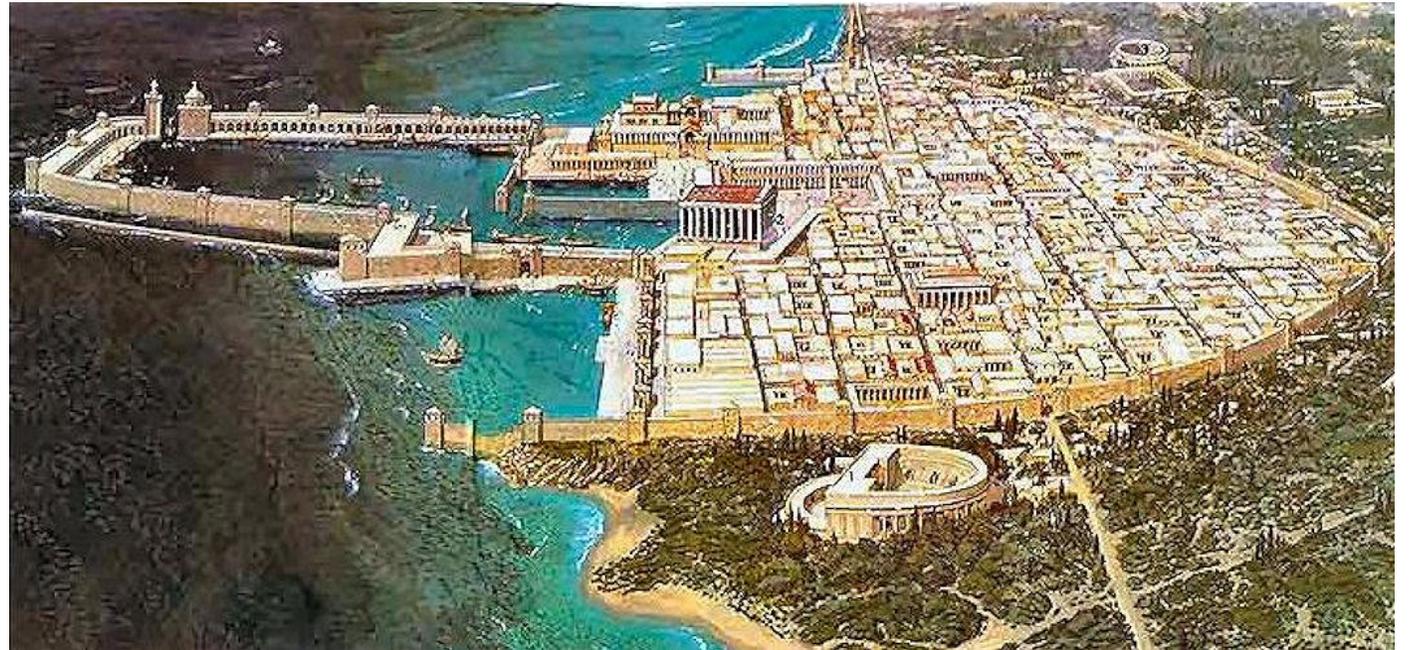
► Additions :

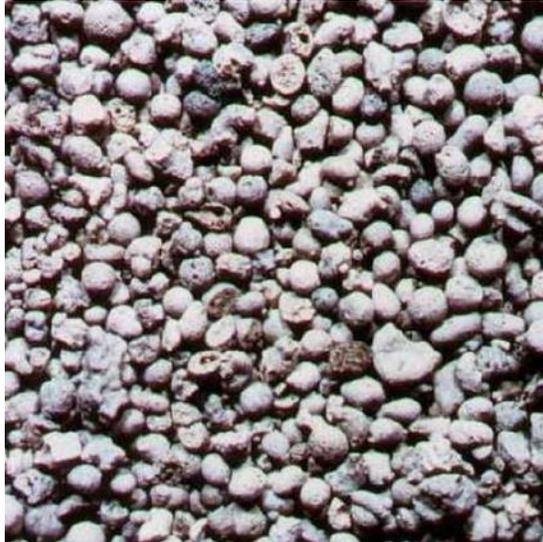
- Cendres volantes, metakaolin, fumée de silice
- Laitier de haut fourneau
- Argile calcinée

En 2050, taux de substitution devrait être de 30% environ...



- Cendres volantes, fumée de silice et metakaolin sont des réactifs pouzzolaniques i.e. ils réagissent avec la chaux





Gueulard



Cuve



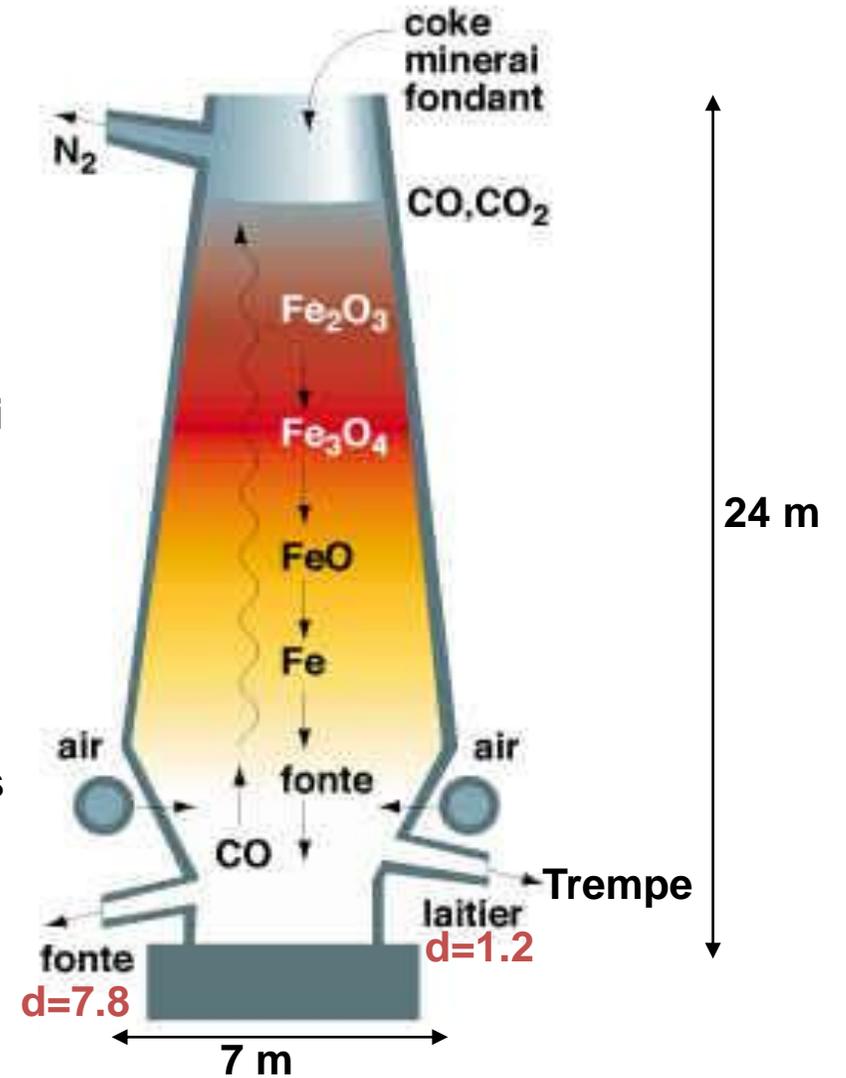
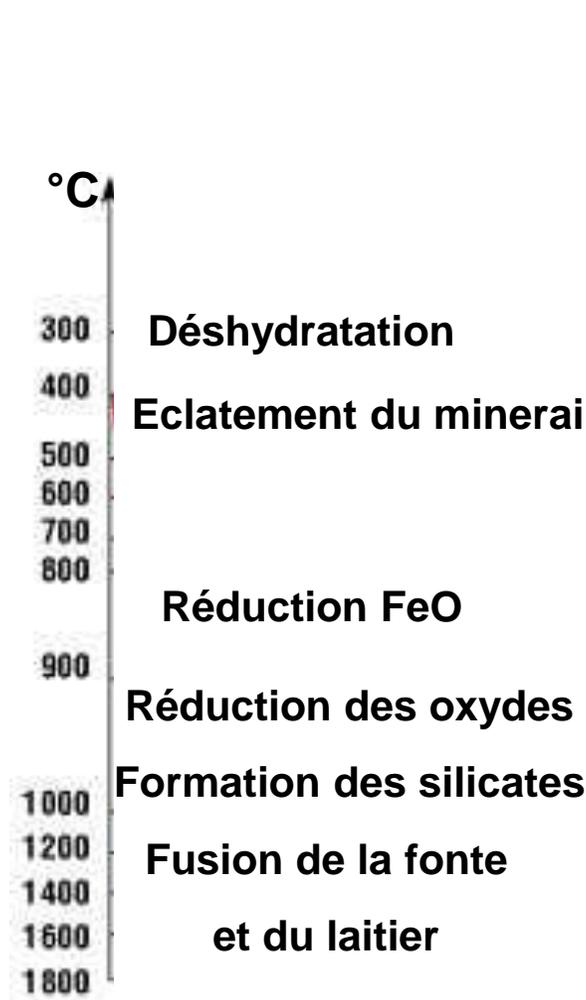
Ventre



Etalage



Creuset



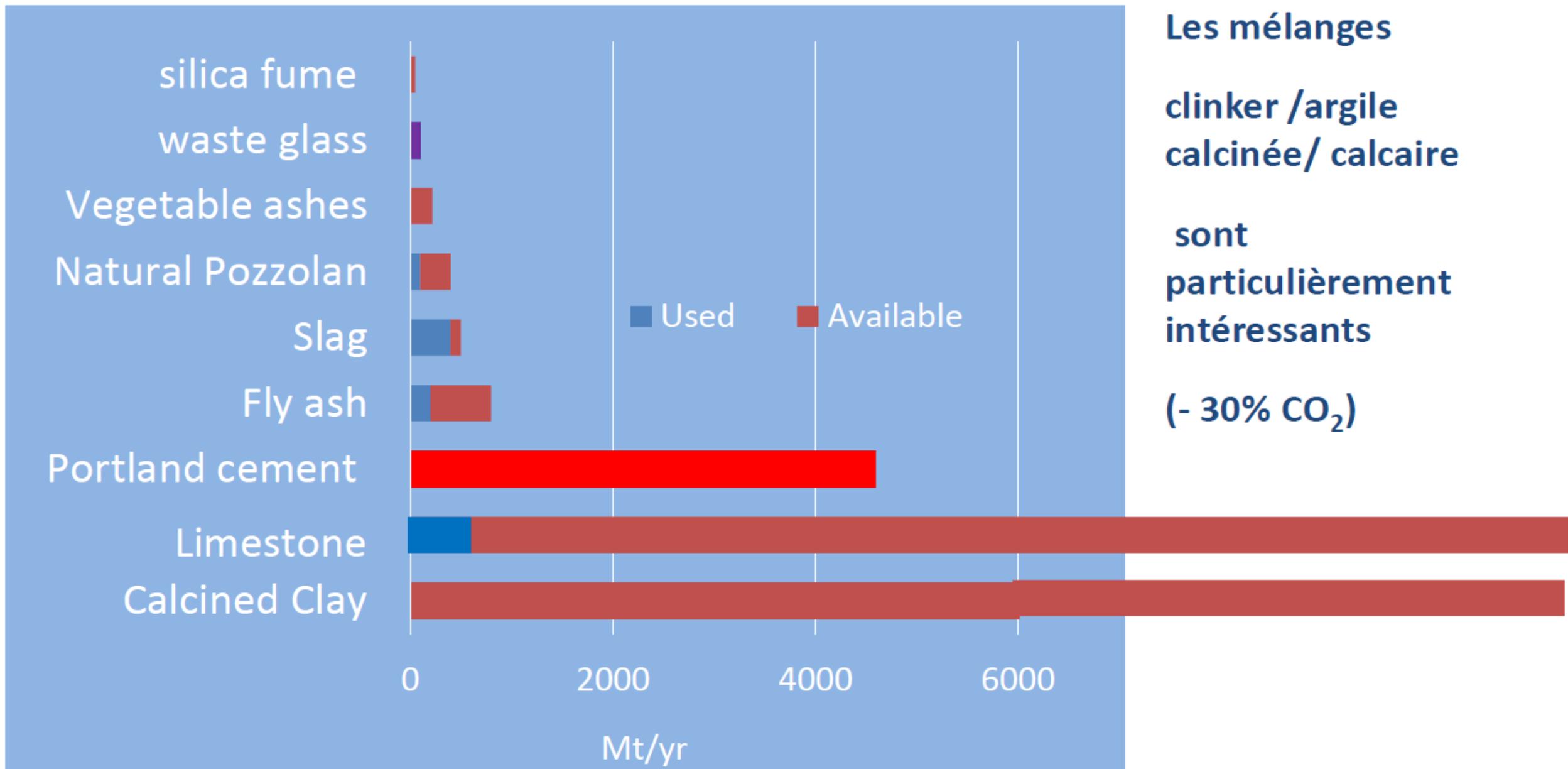
- ▶ Le laitier de haut fourneau est un très bon produit mais :

Slag type	Total % recovered	Percentage use of material recovered		
		Cement	Roadstone	Fertiliser
BF slag	99%	78%	21%	< 1%

[World steel ass.]

- ▶ + problème de la prise en compte des émissions différentes entre acier et ciment
 - Pour le béton, le laitier est un déchet (émission proche de 0)
 - Pour l'acier, c'est un co-produit (émission = -900kg de CO₂/t de laitier mis dans du ciment car évite du CO₂)
 - En France, le Min de la transition écologique devrait imposer environ 150kg de CO₂/t

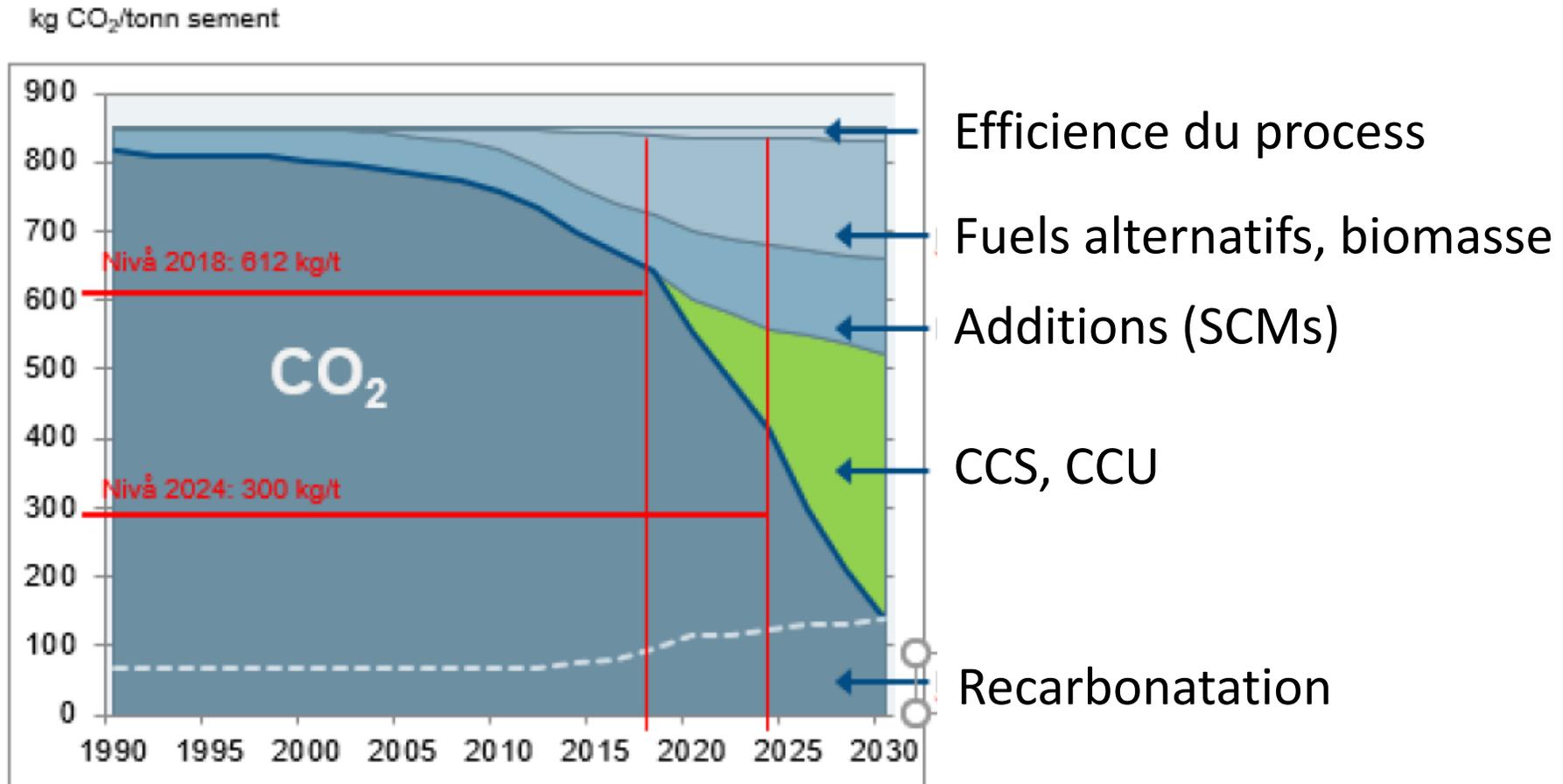


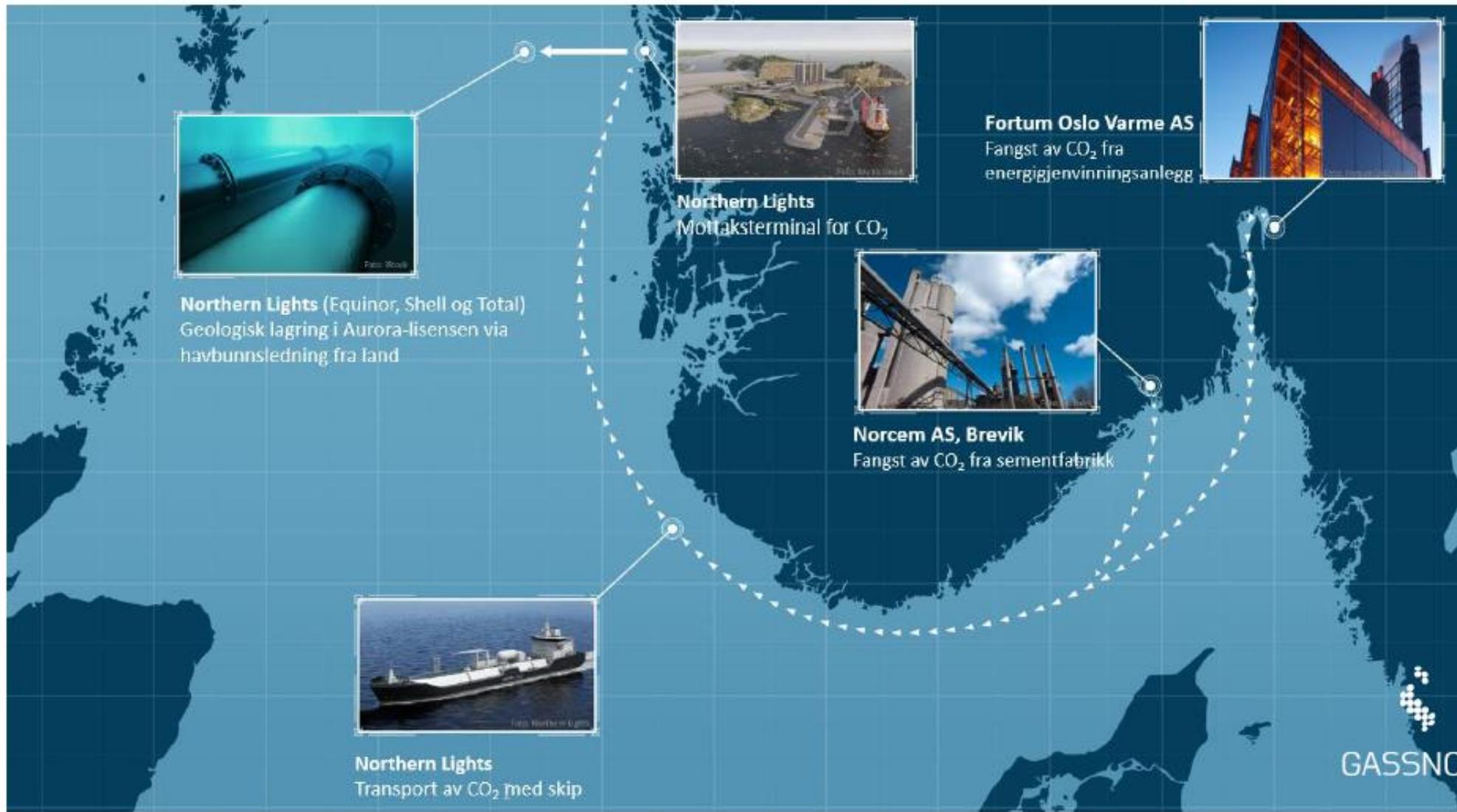


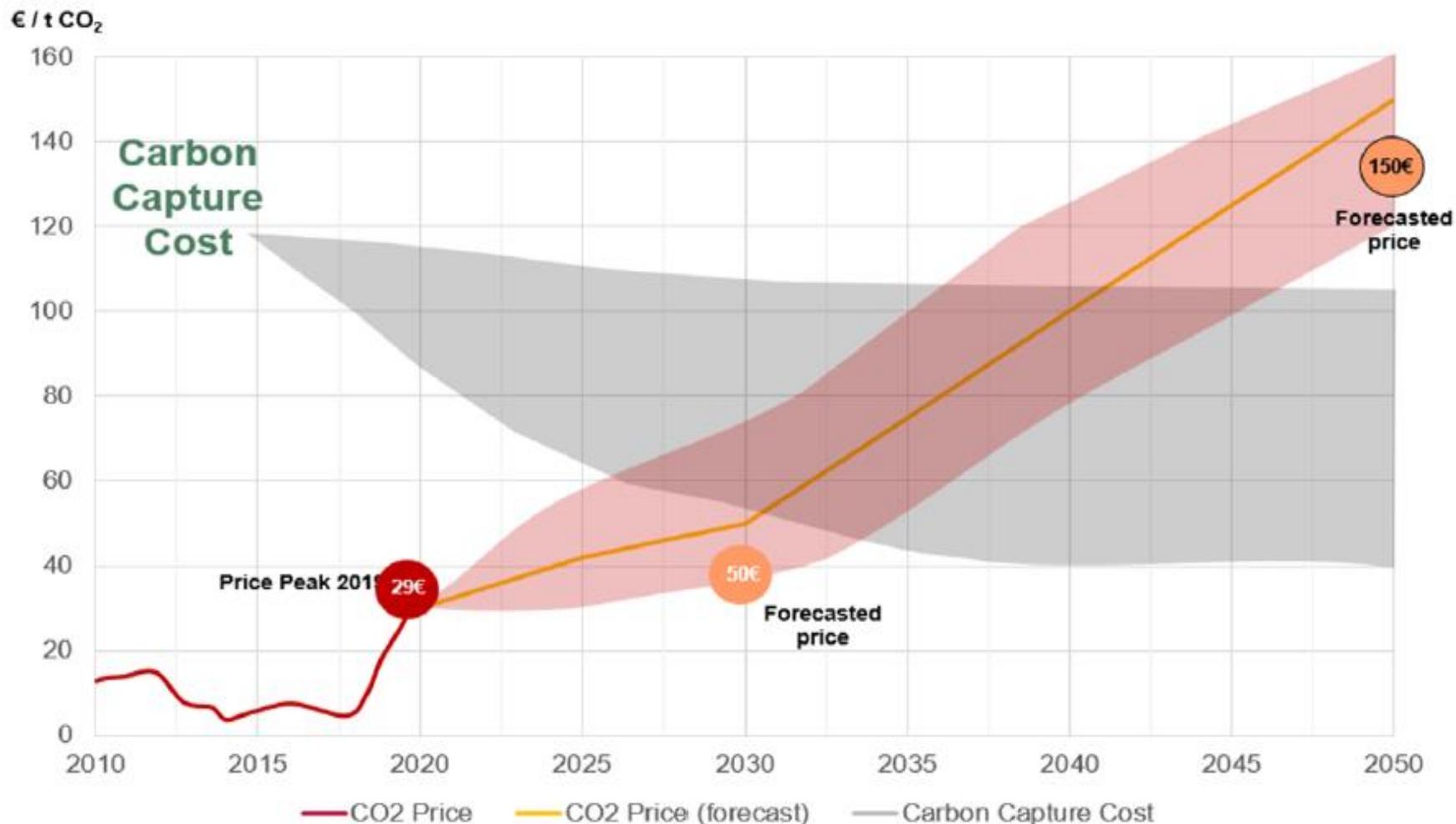
- ▶ Arrivée en France de nouveaux ciments composés :
 - CEM II/C-M (filler calcaire, cendres volantes et laitier), 60% de clinker
 - CEM VI, liant ternaire (calcaire + laitier ou cendres volantes ou metakaolin) avec moins de 50% de clinker.
- ▶ LC3 Limestone calcined clay cement : clinker+filler calcaire+argile calcinée (-30% sur les émissions de CO2)
- ▶ La question du jeune âge...



Pour réduire encore les émissions/ciment, il faudra passer par la capture du CO₂ en sortie du four (CCS et CCU – CO₂ capture and sequestration or utilization)







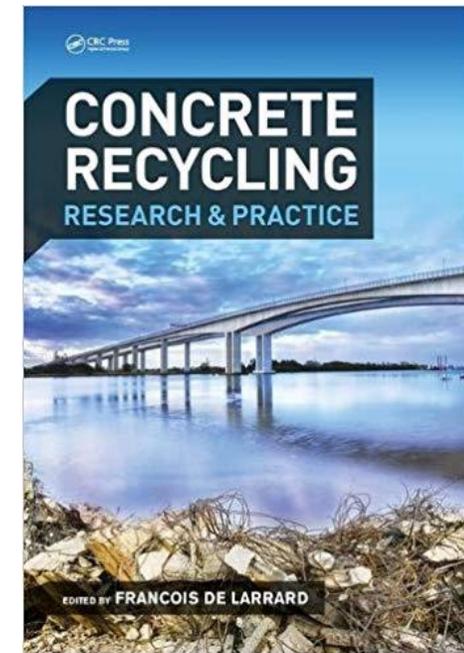
Mais besoin de très gros investissements

Quasiment 1 milliard de \$ pour 2 Mt de CO₂ capturées et stockées/an...



Un exemple de recherche sur l'utilisation du CO₂ capturé : le projet national FastCarb

- ▶ Disponibilité de béton déconstruit (20 MT/an)
- ▶ Préservation des ressources naturelles
- ▶ Recycler les bétons dans les bétons (Projet national RECYBETON)
- ▶ A long terme, les hydrates se recarbonatent
- ▶ Idée : faciliter ce processus pour stocker du CO₂, améliorer la qualité des granulats recyclés, les réutiliser dans des bétons et en diminuer l'impact CO₂.





Exemple chez Vicat

40kg de CO₂ fixé par t
de GBR
Le sable recyclé a alors
un poids carbone
négatif !



- ▶ A noter que dans le dernier rapport du GIEC (sorti en août 2021), la carbonatation naturelle est prise en compte et réduit les émissions liées au ciment.
- ▶ C'est normal de compter correctement les émissions. On estime que ce phénomène naturel permet de restocker environ 50% du CO₂ émis par la décarbonatation du calcaire.
- ▶ Mais du point de vue du climat malheureusement cela ne change rien...



► Mettre juste le ciment nécessaire :

- Optimisation de la composition (empilement granulaire notamment)
- Approche performantielle plutôt que prescriptive. Par exemple l'EN206/CN exige 350 kg/m³ de liant équivalent pour un béton soumis en zone de marnage en mer.
- Réduire les marges (surdosages)
- Prescrire le bon béton/classe d'exposition
- Utilisation des adjuvants (par exemple, pour une maniabilité donnée, un superplastifiant permet de réduire en partie la quantité de pâte donc de ciment)
- Importance de la formation des compagnons...



- ▶ Ne pas surdimensionner
- ▶ Tenir compte de l'aspect environnemental dans le process de dimensionnement (éco-construction)
- ▶ Avoir un bon indicateur i.e. pas $\text{kg CO}_2/\text{m}^3$ de béton mais par exemple $\text{kg CO}_2/\text{m}^3$ de béton /Mpa

Exemple du cahier des charges / JO2024

Dans le cas de recours au béton (notamment pour les infrastructures), celui-ci sera impérativement « **bas carbone** » :

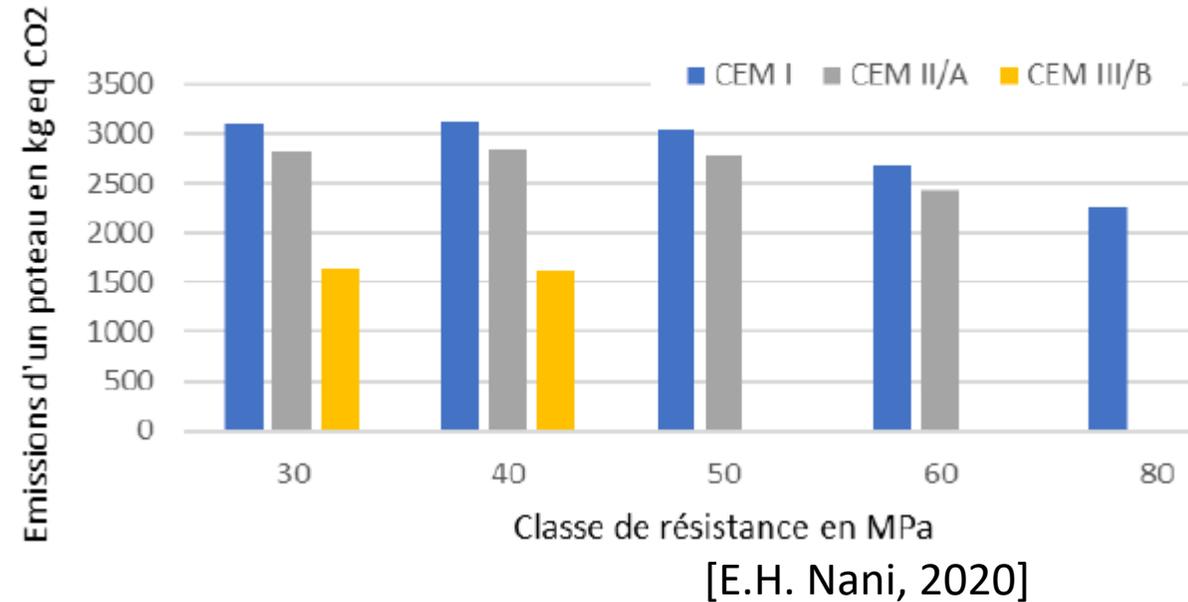
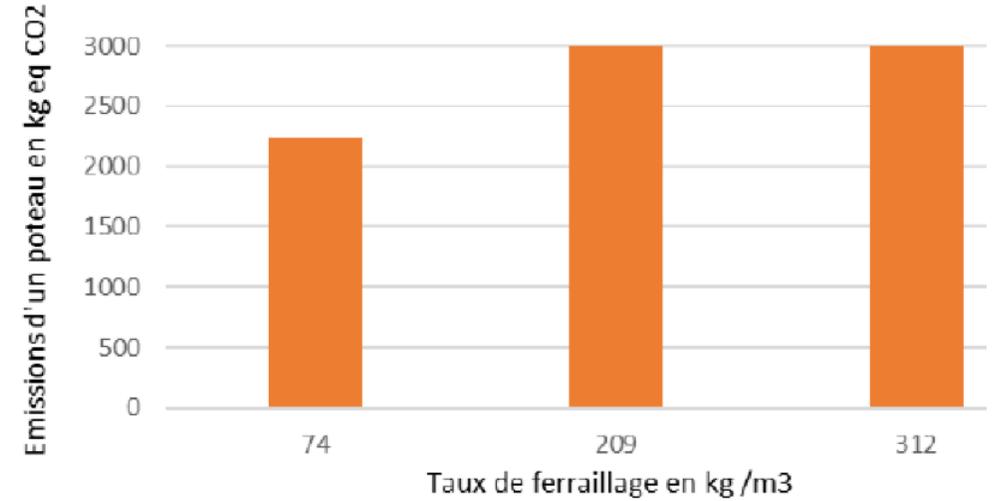
- Pour les bétons courants (Résistance inférieure ou égale à C30) : bétons à moins de $150 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ⁽¹⁵⁾
- Pour les bétons à plus haute résistance mécanique, réduire de 35% l'impact carbone par rapport à un ciment de type CEM I





Se placer au
ferraillage
minimum

Pour un ciment
donné,
augmenter la
résistance peut
être bénéfique



- ▶ Marier les matériaux, ne pas raisonner en filière
- ▶ Veiller à la durabilité
- ▶ Recycler voire ré-utiliser (et repenser la conception...)



Exemple de l'éco-quartier Lavallée à Chatenay-Malabry



- ▶ Un seul aspect ne suffira pas à diminuer suffisamment les impacts environnementaux des bétons : il faut jouer sur l'ensemble des facteurs, ce qui veut dire que tous les acteurs doivent prendre leur part!

