

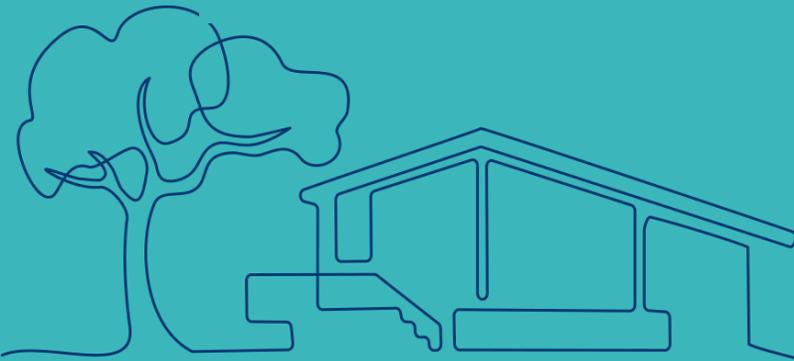
La démarche ACV et les ciments bas carbone



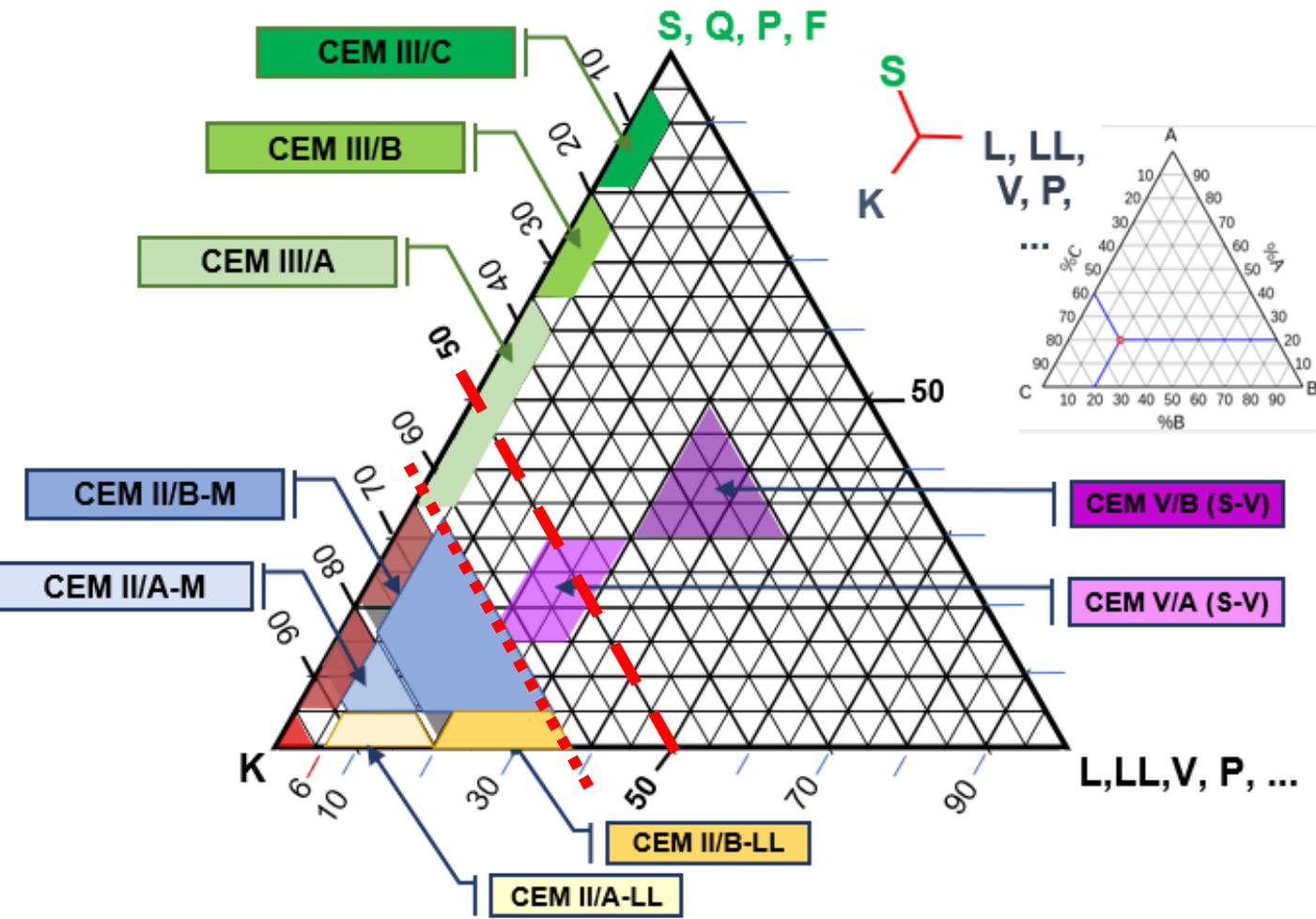
La démarche ACV et les ciments bas carbone

Les ciments bas carbone: les normes nhEN197-5 et prEN197-6

La démarche ACV



Les ciments à basse empreinte environnementale



Ordre de grandeur:
Empreinte environnementale =
contenu en clinker des ciments

Espace à combler entre 50 et 65% de clinker et <50%

C'est la fonction de la norme nhEN197-5

La norme nhEN197-5: petit historique de sa genèse



- ✓ 2006 CEN/TC51 Dresde : **Ciments bas CO2**
- ✓ 2009 CEN/TC51 Montreux: **Projet CEM X**
- ✓ 2012 CEN/TC51 Athènes: Etude des limites de composition pour l'EN197-1.
- ✓ 2013 CEN/TC51 Strasbourg: Décision de scinder les compositions en CEM II/C-M et CEM VI
- ✓ 2015 CEN/TC51 Prague: les projets K-S-LL, K-V-LL et K-P-LL sont validés. Les formules K-S-V déposées tardivement seront intégrées
- ✓ CEN/TC51 + CE 2015 : 1ere réunion pour le lancement de la normalisation harmonisée
- ✓ CEN/TC51 + CE 2016 : première version soumise à la CE
- ✓ 2017: perte de contact avec la CE
- ✓ 2018: atermoiements de la Commission: le RPC n'est plus valide et donc « hors la loi »; 1ere annonce de la révision
- ✓ **Milan 2019 : décision de rédiger une norme non harmonisée**



La norme nhEN197-5: les fonds baptismaux



- ✓ **CEN/TC51 Dresde 2006**: décision de normaliser des nouveaux types de ciments

- ✓ **Objectifs Définir ces ciments:**
 - A basse empreinte CO₂
 - Composés de constituants classiques et selon des méthodes de fabrication traditionnelles: EN197-1
 - Présentant des propriétés d'usage acceptables pour les bétons structuraux: rhéologie, résistance mécanique et durabilité.

- ✓ **Programme**: investiguer expérimentalement le champ des compositions et valider la durabilité en lien avec le CEN/TC51 -TC104]/WG12



EN197-1 → nhEN197-5: la famille s'agrandit



NF EN 197-1

Main types	Notation of the 39 products (types of common cement)		Composition (percentage by mass *)											Minor additional constituents	
			Main constituents												
			Clinker	Blast-furnace slag	Silica fume	Pozzolana		Fly ash		Burnt shale	Limestone	L	LL		
natural	natural calcined	siliceous				calcareous									
	Type name	Type notation	K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L	LL			
CEM I	Portland cement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Portland-slag cement	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM II	Portland-silica fume cement	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Portland-pozzolana cement	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5		
CEM II	Portland-fly ash cement	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5	
			CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
	Portland-burnt shale cement	CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
			CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5	
Portland-limestone cement	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5		
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5		
CEM II	Portland-limestone cement	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
			CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5	
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
CEM II	CEM II/A-M	80-88	<-----12-20----->										0-5		
	CEM II/B-M	65-79	<-----21-35----->										0-5		
CEM II	Portland-composite cement ^c	CEM II/C-M (S-P)	50-64	16-44	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
			CEM II/C-M (S-V)	50-64	16-44	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
			CEM II/C-M (S-L)	50-64	16-44	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
			CEM II/C-M (S-LL)	50-64	16-44	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
			CEM II/C-M (P-L)	50-64	-	-	16-44	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
			CEM II/C-M (P-LL)	50-64	-	-	16-44	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
			CEM II/C-M (V-L)	50-64	-	-	-	-	16-44	-	-	-	6-20	-	0-5
			CEM II/C-M (V-LL)	50-64	-	-	-	-	16-44	-	-	-	-	6-20	0-5
CEM III	Blast furnace cement	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
			CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
			CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM IV	Pozzolanic Cement ^c	CEM IV/A	65-89	-	<-----11-35----->						-	-	0-5		
			CEM IV/B	45-64	-	<-----36-55----->						-	-	0-5	
CEM V	Slag-pozzolanic cement ^c	CEM V/A	40-64	18-30	-	<-----18-30----->				-	-	-	0-5		
			CEM V/B	20-38	31-49	-	<-----31-49----->				-	-	-	0-5	
CEM VI	Composite cement ^c	CEM VI (S-P)	35-49	31-59	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
			CEM VI (S-V)	35-49	31-59	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
			CEM VI (S-L)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5

CEM I : CK + Gypse

CEM II : CK+ L, S, V + Gy

CEM II/C : CK+S+P/V/L; CK+P+L; CK+FA+L + Gy

CEM III: CK+ Slag+ Gy

CEM IV : CK + P + Gy

CEM V : CK + S+ V + Gy

CEM VI: CK + S + V/P/L

NF EN 197-5

nhEN197-5: le tableau de composition



Tableau 1 — Ciment Portland composé CEM II/C-M et ciment composé CEM VI

Principaux types	Notation des produits (types de ciments)		Composition (pourcentage en masse ^a)										Constituants secondaires
			Constituants principaux										
			Clinker	Laitier de haut fourneau	Fumée de silice	Pouzzolane		Cendre volante		Schiste calciné	Calcaire		
						Naturelle	Naturelle calcinée	Siliceuse	Calciq				
Nom	Notation	K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L ^c	LL ^c		
CEM II	Ciment Portland composé ^d	CEM II/C-M	50-64	←..... 36-50→								0-5	
CEM VI	Ciment composé	CEM VI (S-P)	35-49	31-59	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM VI (S-V)	35-49	31-59	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM VI (S-L)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM VI (S-LL)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5

^a Les valeurs indiquées dans le tableau se réfèrent à la somme des constituants principaux et secondaires.

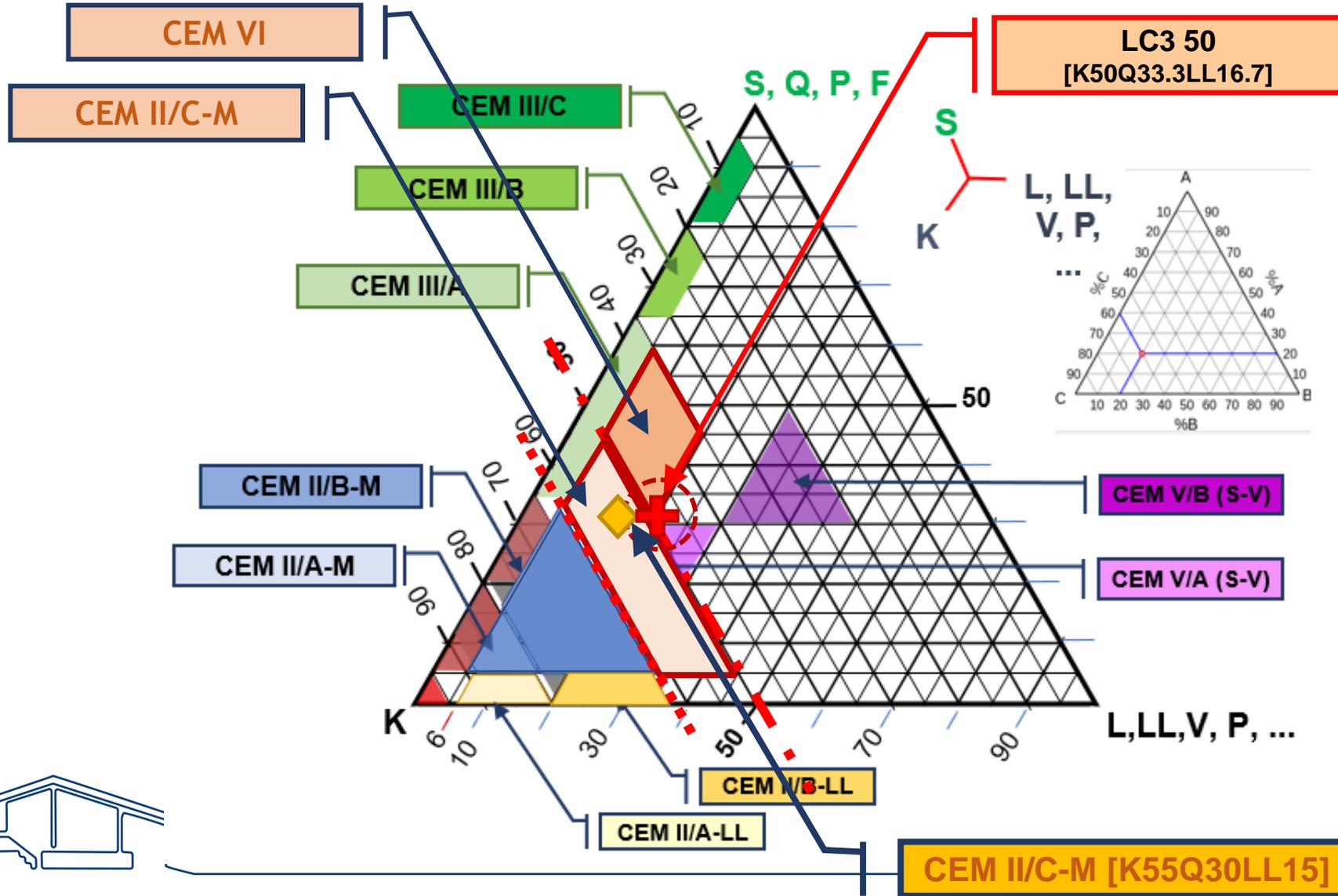
^b En cas d'utilisation de fumée de silice, la proportion de fumée de silice est limitée entre 6 % et 10 % en masse.

^c En cas d'utilisation de calcaire, la proportion de calcaire (somme de L et LL) est limitée entre 6 % et 20 % en masse.

^d Le nombre de constituants principaux autres que le clinker est limité à deux et ceux-ci doivent être déclarés dans la désignation du ciment (voir des exemples à l'Article 6).



nhEN197-5: le diagramme de composition



nhEN197-5: la durabilité (1/2)



✓ **EN 16912:** Lignes directrices pour soutenir la normalisation européenne des nouveaux ciments.

→ **3 catégories:**

1- ciments traditionnels, 2- ciments traditionnels avec un ou plusieurs nouveaux constituants 3- ciments « nouveaux »

→ **Point commun:** procurer des essais de durabilité sur béton pour assurer l'aptitude à l'emploi

→ **Réalisation d'un « dossier technique »** pour prise de décision par le CEN/TC51

- Description du produit soumis à évaluation
- Essais d'usage « ciment » et essais de durabilité « béton »
- Essais complémentaires: santé, environnement



nhEN197-5: la durabilité (2/2)



- ✓ **EN 197-5: essais de durabilité « béton »**
 - Carbonatation (3% CO₂) : OK
 - Diffusion des Chlorures (NT Built 443) : OK
 - Résistance aux sulfates (CUR 45): OK
 - Gel-dégel: Gel interne OK
 - Gel-dégel: écaillage: non OK
 - Retrait et fluage: OK

nhEN 197-5 : intégration EN 206/CN

- ✓ **Etape 1: édition dans la collection AFNOR (NF)**
- ✓ **Etape 2: Soumission à la CN P18B**
 - **Essais de confirmation: Carbonatation MoP PerfDub**



nhEN197-6: Fines de Béton Recyclé (F)



- ✓ A la suite d'un Dossier Technique déposé par la France
- ✓ nh EN 197-6: reconnaissance des Fines de Béton Recyclé comme constituant agréé des ciments
 - Désigné par la Lettre F
 - Le composant F est donc un filler
 - Favorise l'économie circulaire par recyclage
 - Définition de 4 nouvelles classes de composition
 - CEM II/A-F
 - CEM II/A-M, B-M et C-M ; F en mélanges avec les autres constituants « classiques » (well tried and proven)



prEN 197-6 : le tableau de composition



Main types	Notation of the products (types of cement)		Composition (percentage by mass) ^a											
			Main constituents											Minor additional constituents
			Clinker	Recycled concrete fines	Blast-furnace slag	Silica fume	Pozzolana		Fly ash		Burnt shale	Limestone		
							natural	natural calcined	siliceous	calcareous		L ^c	LL ^c	
Type name	Type notation	K	F	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L ^c	LL ^c		
CEM II	Portland-recycled-fines cement	CEM II/A-F	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland-composite cement ^d	CEM II/A-M	80-88	6-14	←----- 6-14 ----->								0-5	
		CEM II/B-M	65-79	6-20	←----- 6-29 ----->								0-5	
		CEM II/C-M	50-64	6-20	←----- 16-44 ----->								0-5	

^a The values in the table refer to the sum of the main and minor additional constituents.

^b In case of the use of silica fume, the proportion of silica fume is limited to 6-10 % by mass.

^c In case of the use of limestone, the proportion of the sum of limestone and recycled concrete fines (sum of L, LL and F) is limited to 6-20 % by mass.

^d The number of main constituents other than clinker is limited to two and these main constituents shall be declared by designation of the cement (for examples, see Clause 6).



nhEN197-6: Fines de Béton Recyclé (F)



✓ CEN/TC51: décision de mise à l'enquête CEN

→ Période du 9 juin au 9 septembre 2022

→ Données (très) récentes

- Pas d'impact de la nature du granulats primaire sur les résistances (Calcaire versus silico-calcaire)
- Pas d'impact sur la demande en eau malgré les finesses élevées
- Pas d'impact de la proportion de F dans le mélange F-LL sur les résistances
- → Possibilité de relever la teneur max de 20 à 35%

→ Discussion en cours au sein de la CN P15A

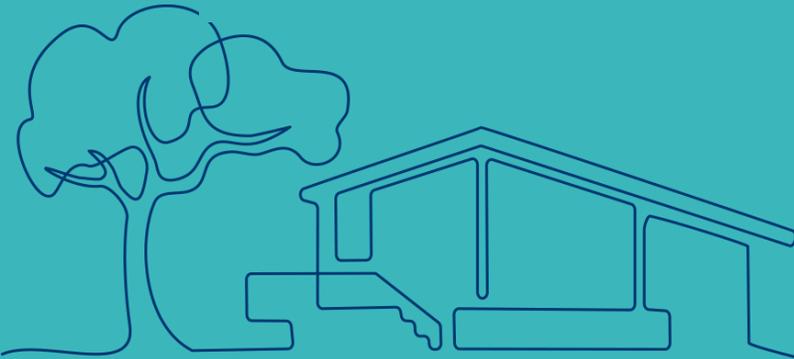
→ Potentialité de publication CEN fin 2022, publication NF début 2023



La démarche ACV et les ciments bas carbone

Les ciments bas carbone: les normes nhEN197-5 et prEN197-6

La démarche ACV



L'empreinte carbone du ciment et du béton en France



Un chiffre qui va
vous surprendre...



1,8 %
Part du béton
dans l'empreinte CO₂
en France, soit 13,66 Mt CO₂
(15,66 Mt CO₂ y/c armatures, soit 2,1 %)
dont 1,6 % (11,61 Mt CO₂)
pour le ciment⁽²⁾.

	Unité	France 2018
Empreinte ⁽¹⁾	Mt CO ₂	749
Émissions ⁽¹⁾	Mt CO ₂	425
Population	M.hab.	66
Empreinte par habitant	t/hab	11,3

Consommation de ciment ⁽²⁾	Mt	18,58
Empreinte ciment ⁽²⁾	Mt CO ₂	11,61
Empreinte béton	Mt CO ₂	13,66
Empreinte armatures ⁽³⁾	Mt CO ₂	2

Part des ciments	%	1,5%
Part des bétons	%	1,8 %
Part des bétons armés	%	2,1 %



(1) <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-01/datalab-essentiel-204-l-empreinte-carbone-des-français-reste-%20stable-janvier2020.pdf>

(2) Données Atilh 2018

L'empreinte carbone du ciment le reflet de notre consommation



749
Mt CO₂ / an

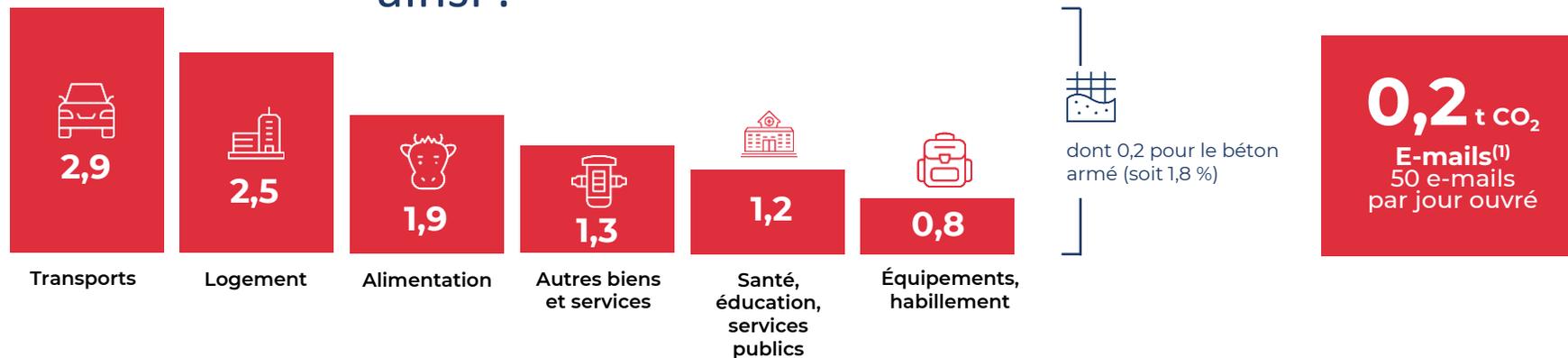
≈ **11** t CO₂
par habitant par an

67
millions
d'habitants⁽²⁾

En moyenne, un français a une empreinte carbone de 11 tonnes de CO₂⁽¹⁾ et a besoin d'un peu moins de 1 m³ de béton par an.



qui se répartissent ainsi :



Sources :

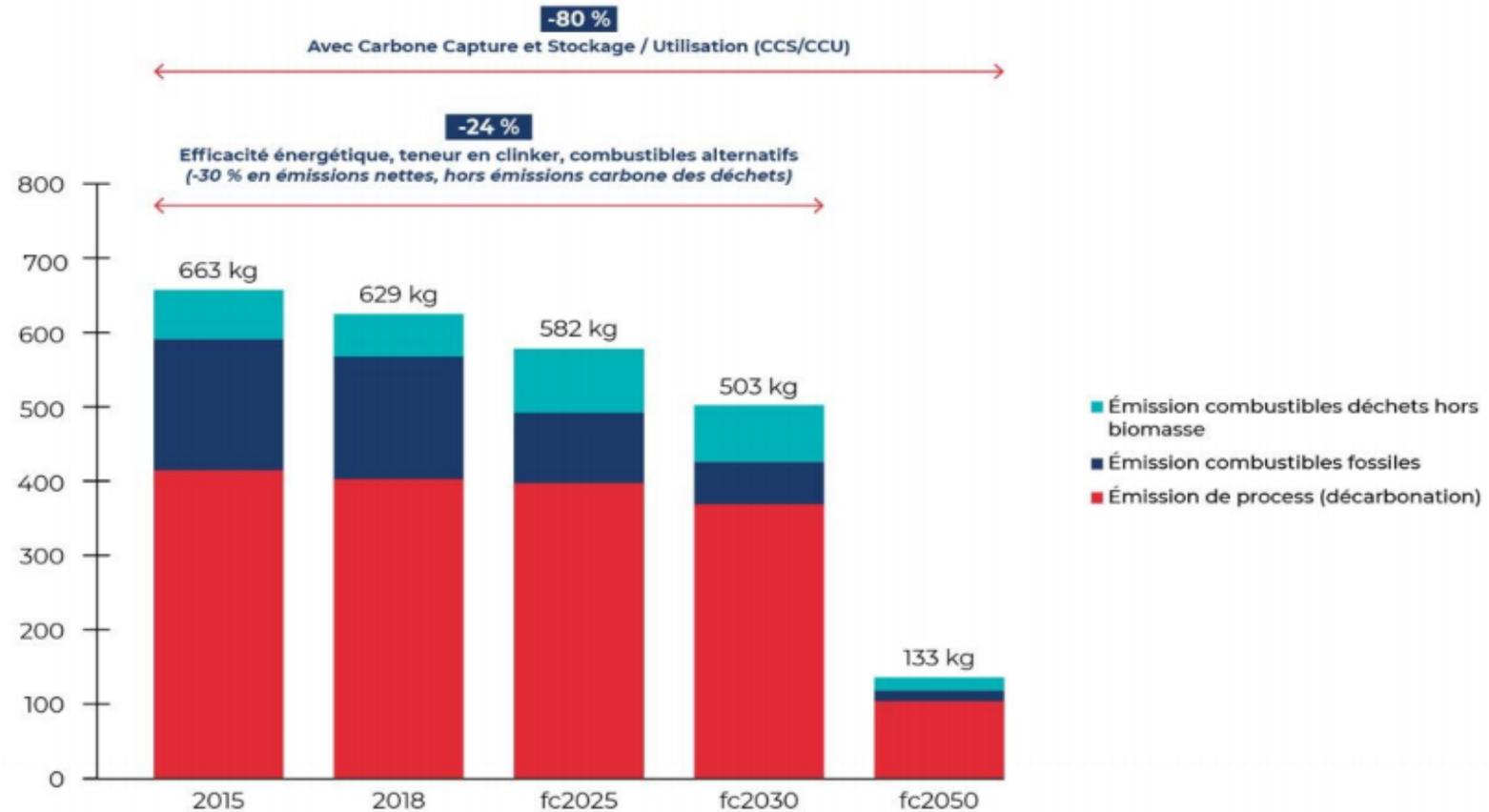
(1) <https://ree.developpement-durable.gouv.fr/themes/defis-environnementaux/changement-climatique/empreinte-carbone/article/l-empreinte-carbone-de-la-france>

(2) INSEE, Eurostat

Objectif de décarbonation de l'industrie cimentière



Évolution des émissions CO₂ du secteur cimentier (en kgCO₂/T. de ciment)



Sources :

(1) <https://www.ecologie.gouv.fr/france-relance-publication-feuille-route-decarbonation-filiere-ciment>

(2) <https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/5041-plan-de-transition-sectoriel-de-l-industrie-cimentiere-en-france-9791029718212.html>

Principe de l'Analyse de Cycle de Vie

Méthode normalisée (ISO 14040 & 44), multi-critères et multi-étapes, visant à mesurer les effets quantifiables des impacts des produits ou des services sur l'environnement, sur la base d'une unité fonctionnelle

- Multi-critères = changement climatique mais pas seulement (eutrophisation, acidification, énergie, déchets, ...)
- Multi-étapes = l'ensemble du cycle de vie (à l'inverse du bilan carbone qui est plutôt une approche « site » donc mono-étape)



L'Analyse de Cycle de Vie dans la construction



En France, le secteur du bâtiment a été l'un des précurseurs en terme d'affichage environnementale

- **2003/2005 : Mise en place de la norme Française NF P 01-010 détaillant les règles pour la réalisation des FDES (Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire)**
- **2006 : Mise en ligne de la Base INIES, espace de déclaration des FDES**
- **2014 : Publication de la norme Européenne EN 15804**
- **2022 : Entrée en vigueur de la RE2020 en remplacement de la RT2012, fixant des seuil d'impact sur le changement climatique pour la construction et l'utilisation des bâtiments neufs en France**

L'industrie cimentière publie les DEP de ces ciments depuis 2008, et la filière béton publie des FDES depuis 2005

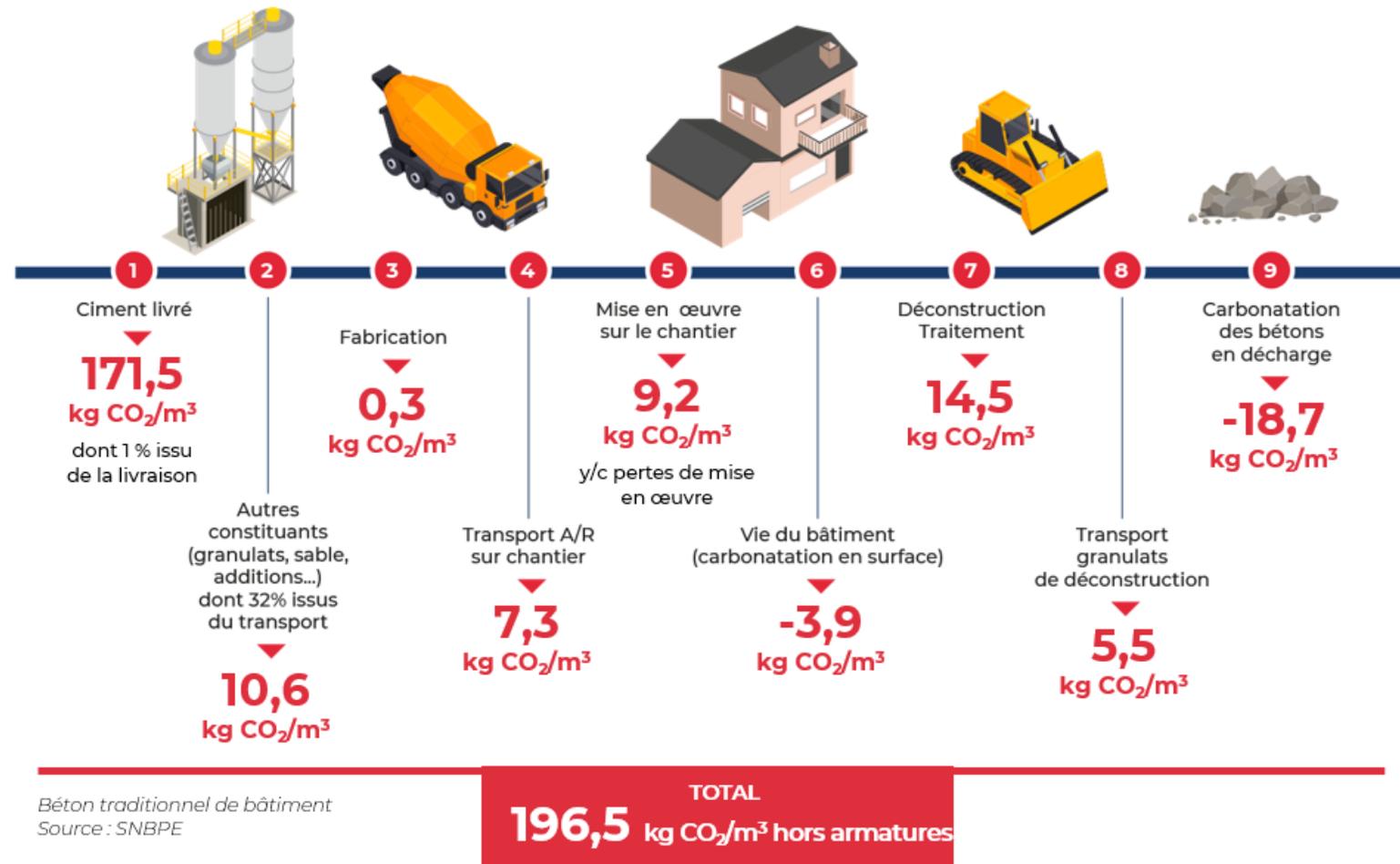


L'Analyse de Cycle de Vie d'un béton

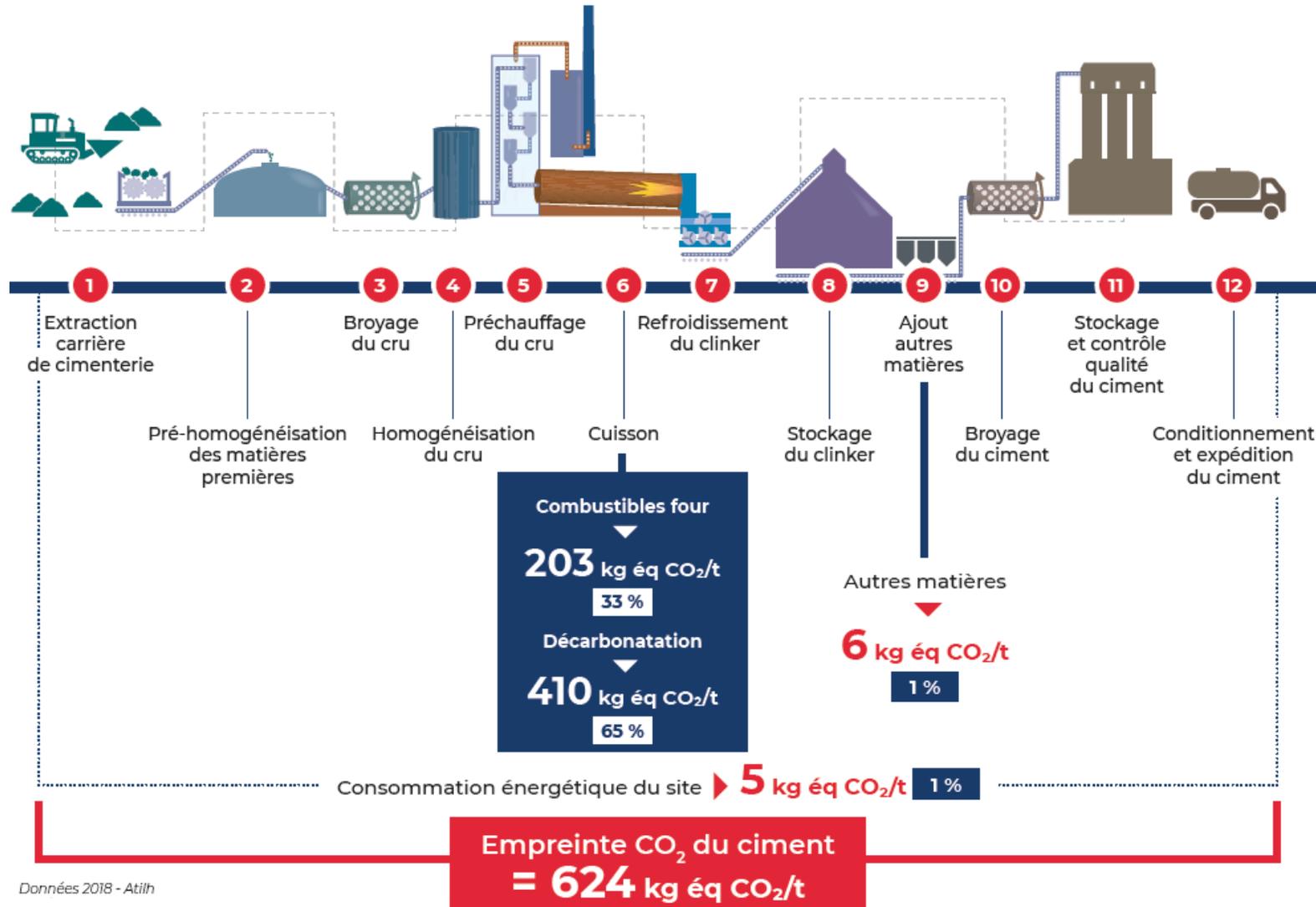
Empreinte carbone pour un béton « classique » C25/30 XC1 à base de CEM II/A

→ Ciment ≈ 75%

→ SNBPE : seuil pour un
béton bas carbone pour
cette performance :
180 kg éq CO₂ / m³



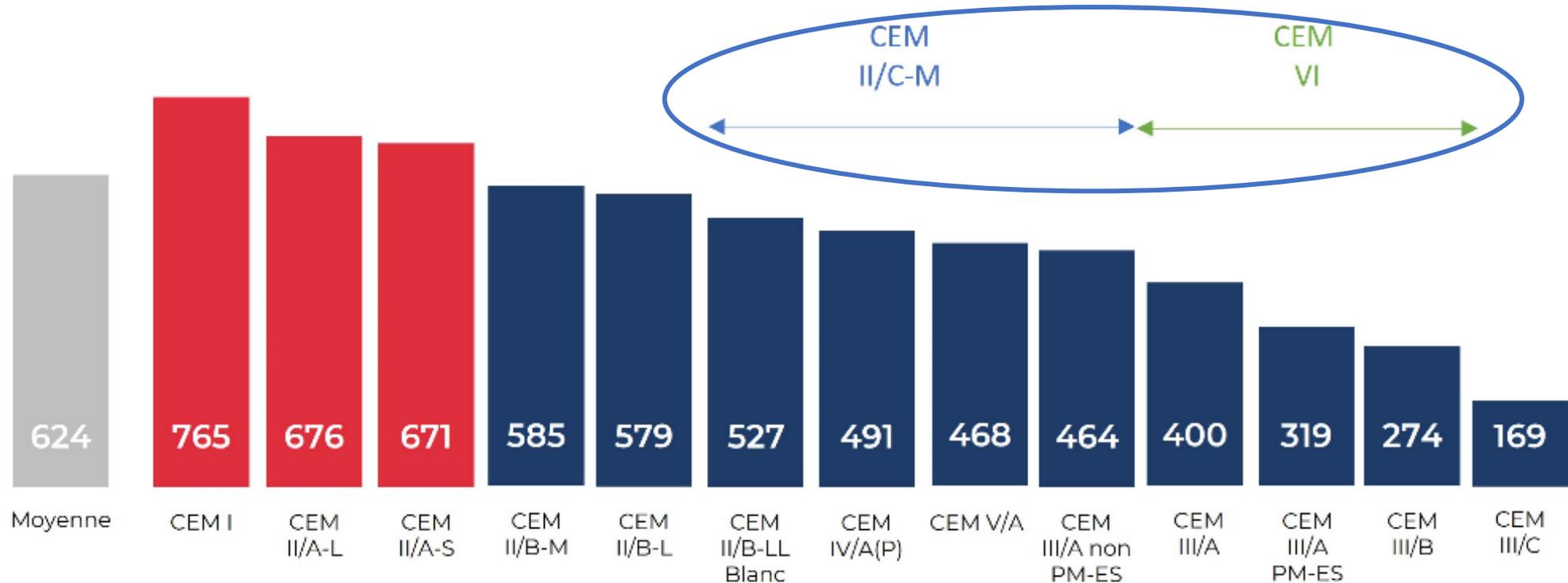
Empreinte carbone des ciments



Empreinte carbone des ciments



L'empreinte carbone des ciments varie selon leur composition, et notamment selon leur teneur en clinker



Attention, valeurs sans affectation du laitier de haut-fourneau

Empreinte carbone des ciments



	kgCO ₂ /t	CEM I	CEM II/A-LL15	CEM II/B-LL25	CEM IV/A-P19	CEM V/A S20V21	CEM III/A-S40	CEM III/B-S72	LC3
Clinker	806	0,94	0,79	0,71	0,76	0,55	0,46	0,29	0,50
Gypse	8	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,035	0,055	
Calcaire	2,5		0,15	0,24			0,01		0,17
Laitier	45					0,20	0,48	0,65	
Cendre	10					0,21			
Pouzzolane	2				0,19				
Argile Calcinée	260								0,33
		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00	1,00
Procédé	II	6,7	4,76	3,99	6,5	5,3	4,85	5,00	4,0
Broyeur	kWh	67,00	47,60	39,90	65,00	53,00	48,50	50,00	40
	kg CO ₂ /kWh		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	kgCO ₂ /T ciment	764,8	642,4	577,3	509,6	460,0	397,3	268,4	493,3

Tableau 1 — Ciment Portland composé CEM II/C-M et ciment composé CEM VI

Principaux types	Notation des produits (types de ciments)		Composition (pourcentage en masse ^a)										Constituants secondaires	
			Constituants principaux											
			Clinker	Laitier de haut fourneau	Fumée de silice	Pouzzolane		Cendre volante		Schiste calciné	Calcaire			
						Naturelle	Naturelle calcinée	Siliceuse	Calciq		L	LL ^c		
Nom	Notation	K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L	LL ^c			
CEM II	Ciment Portland composé ^d	CEM II/C-M	50-64											0-5
CEM VI	Ciment composé	CEM VI (S-P)	35-49	31-59	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM VI (S-V)	35-49	31-59	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM VI (S-L)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM VI (S-LL)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5

^a Les valeurs indiquées dans le tableau se réfèrent à la somme des constituants principaux et secondaires.

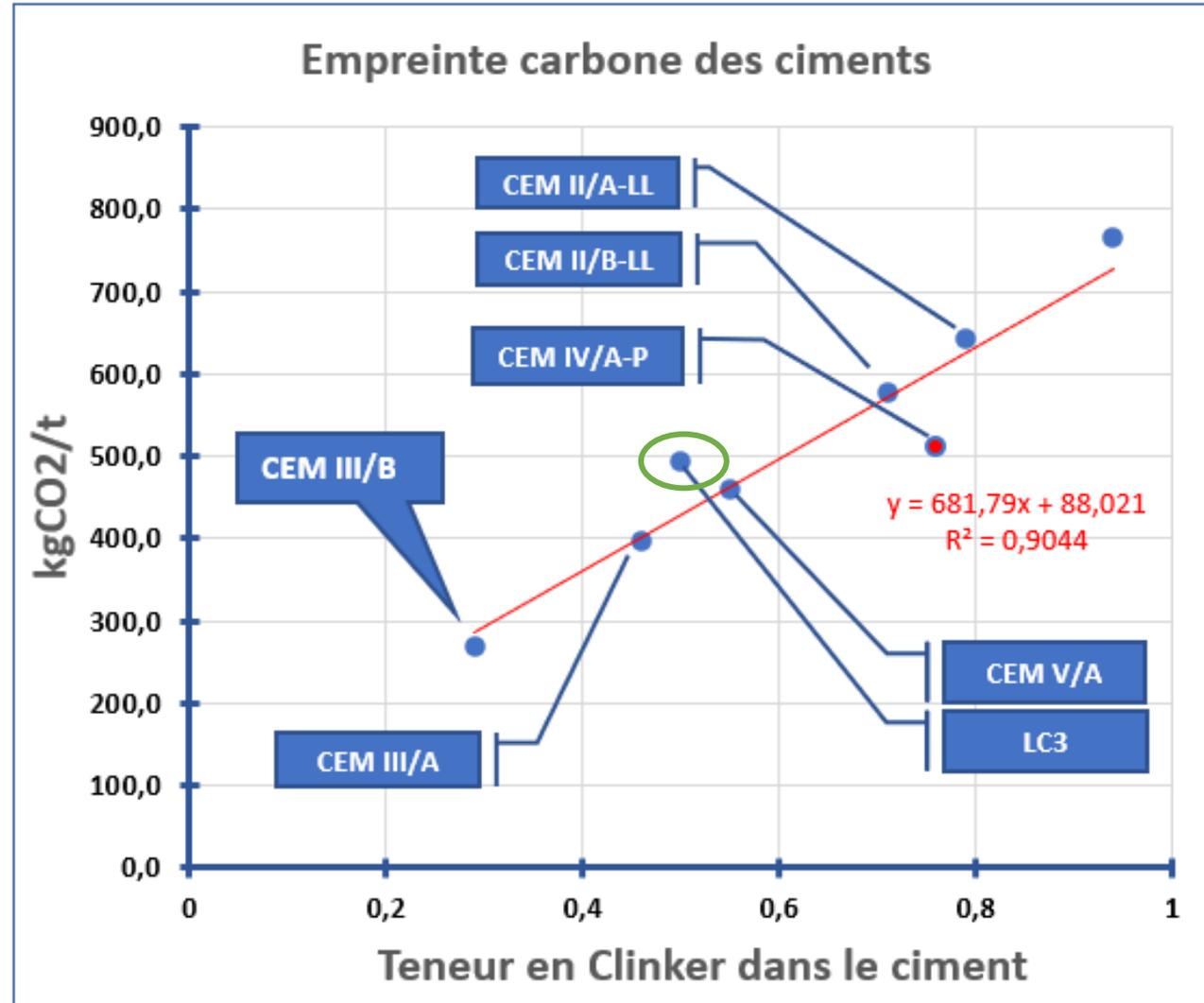
^b En cas d'utilisation de fumée de silice, la proportion de fumée de silice est limitée entre 6 % et 10 % en masse.

^c En cas d'utilisation de calcaire, la proportion de calcaire (somme de L et LL) est limitée entre 6 % et 20 % en masse.

^d Le nombre de constituants principaux autres que le clinker est limité à deux et ceux-ci doivent être déclarés dans la désignation du ciment (voir des exemples à l'Article 6).



Empreinte carbone des ciments



Affectation des laitiers de haut-fourneau

Les laitiers sont des sous-produit solides (ou scories) qui se forment au cours de l'élaboration d'un métal par fusion.

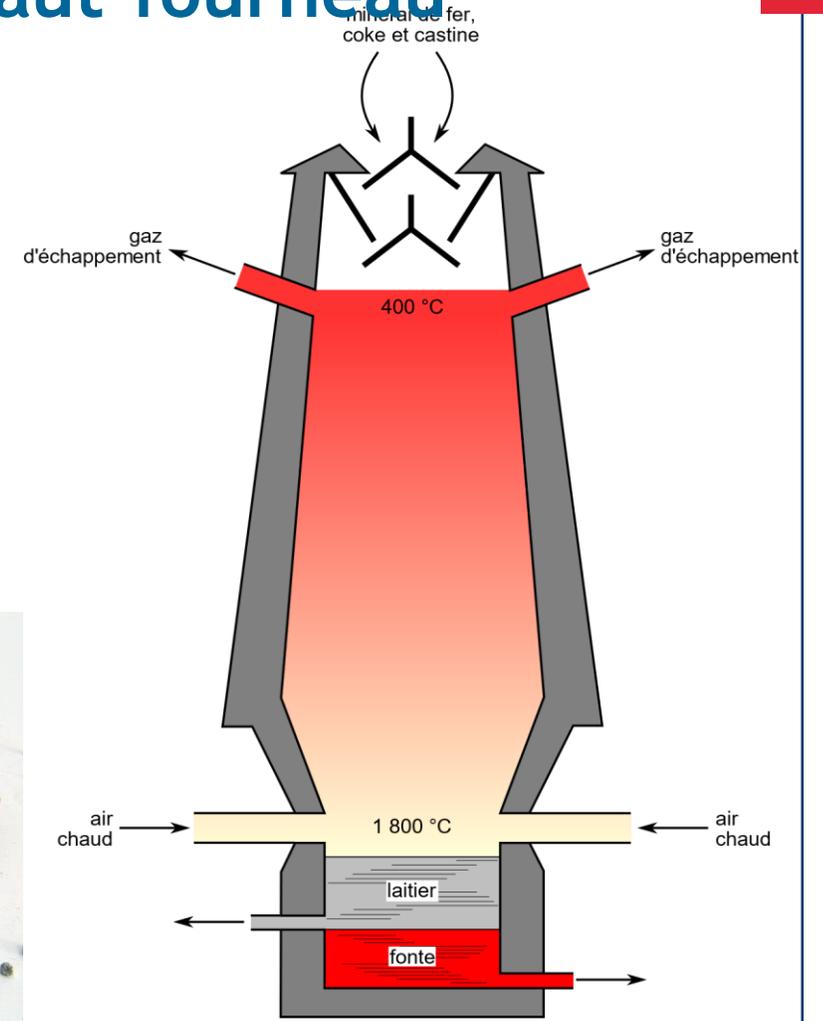
Pour le laitier de haut-fourneau, il s'agit donc d'un co-produit de la production de fonte dans un haut-fourneau.



Laitier moulu (Source : Ecocem)



Laitier granulé



Principe de fonctionnement
d'un haut-fourneau



Affectation des laitiers de haut-fourneau



Le principe de l'affectation économique est de répartir entre les coproduits (ici la fonte et le laitier) l'impact environnemental du process (ici le haut-fourneau) sur la base du poids économique portés par chacun des coproduits.

⇒ l'objectif de cette approche est de traduire et prendre en compte la finalité même de l'existence du process : une aciérie existe pour faire de l'acier (via la fonte). Néanmoins, la production du laitier a aussi un intérêt économique qui doit être pris en compte

Application pour la fonte et le laitier proposée par INIES et la DHUP en accord avec la norme EN 15804 :

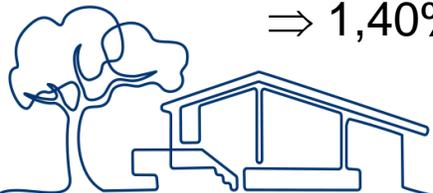
- 0,275 t de laitier pour 1 tonne de fonte
- 25 €/t de laitier et 410 €/t de fonte

$$\frac{(20 \text{ €/t}) * (0,275 \text{ t})}{(410 \text{ €/t}) + (20 \text{ €/t}) * (0,275 \text{ t})} = 1,32\%$$

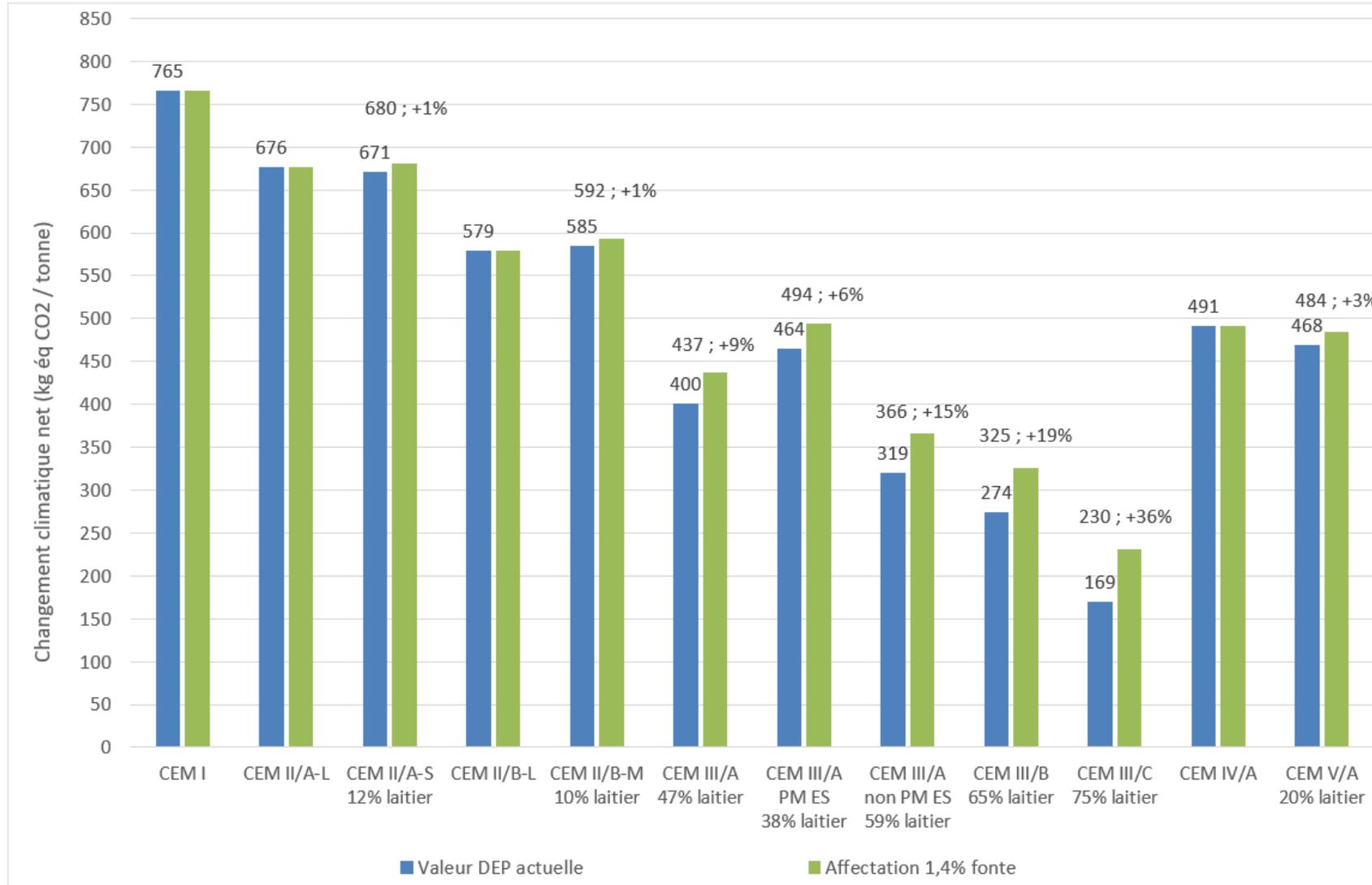
⇒ Affectation à 1,32%, arrondi à 1,40%

Impact du process haut-fourneau : 1 623 kg éq CO₂ / tonne de fonte

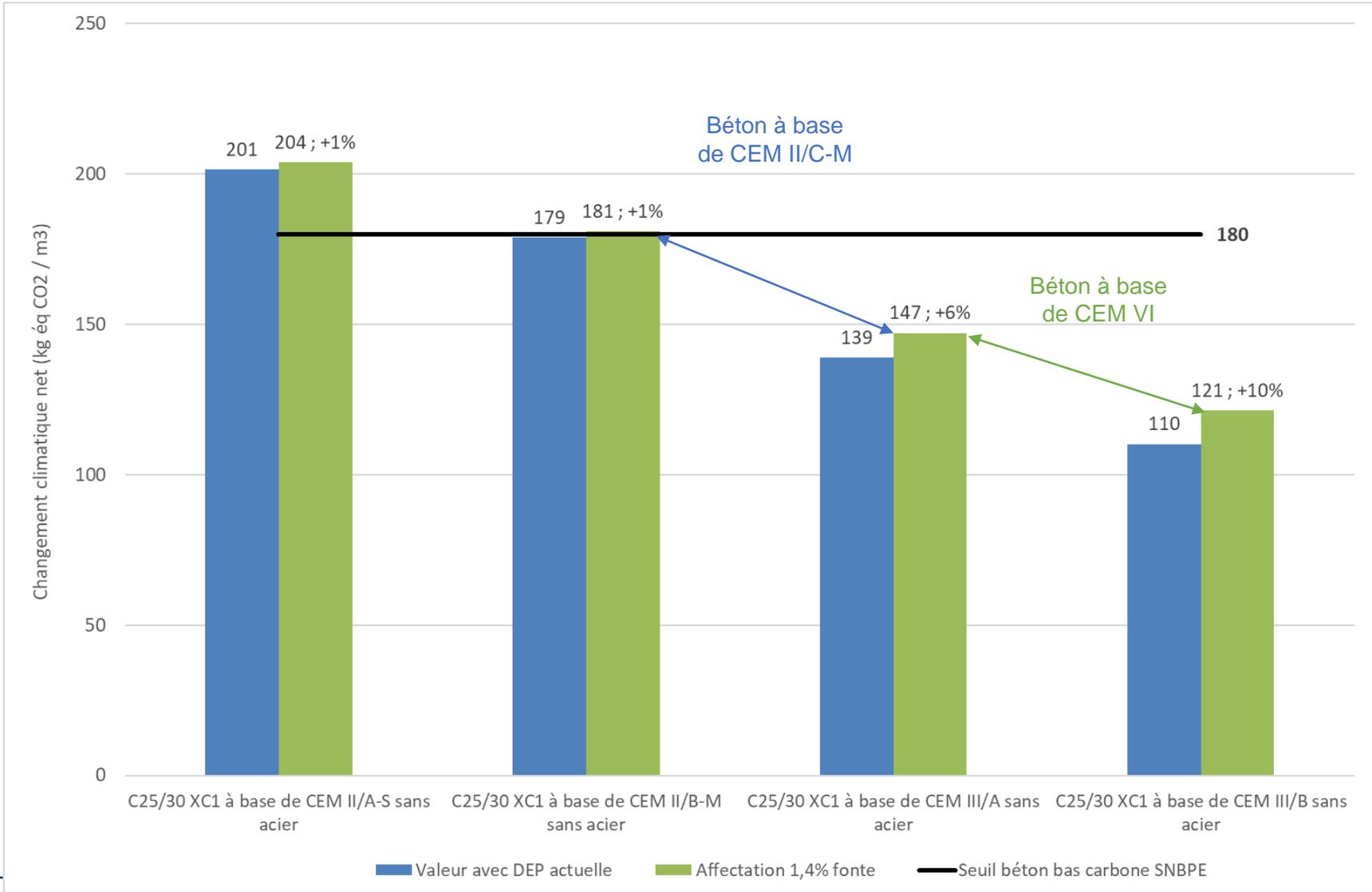
⇒ 1,40% x 1 623 = 23 kg éq CO₂ pour 0,275 t de laitier, soit **83** kg éq CO₂ / tonne



Affectation des laitiers de haut-fourneau : influence sur les ciments



Affectation des laitiers de haut-fourneau : influence sur les bétons



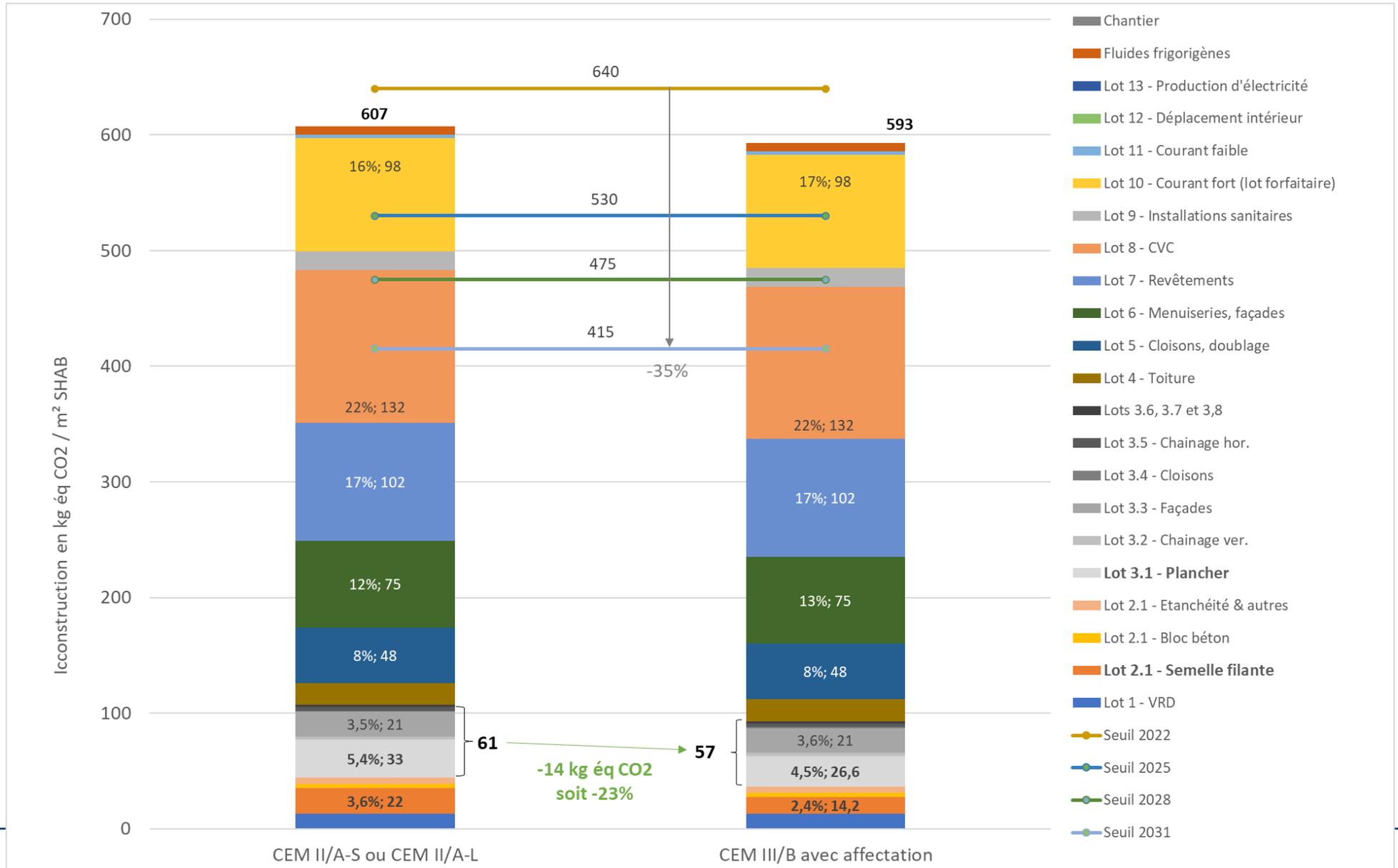
MI plain-pied
de 100 m²

Calcul RE2020

Objectif :
-35% en 2031



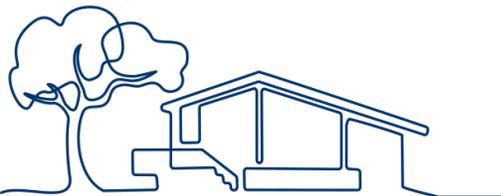
[Retour au sommaire](#)



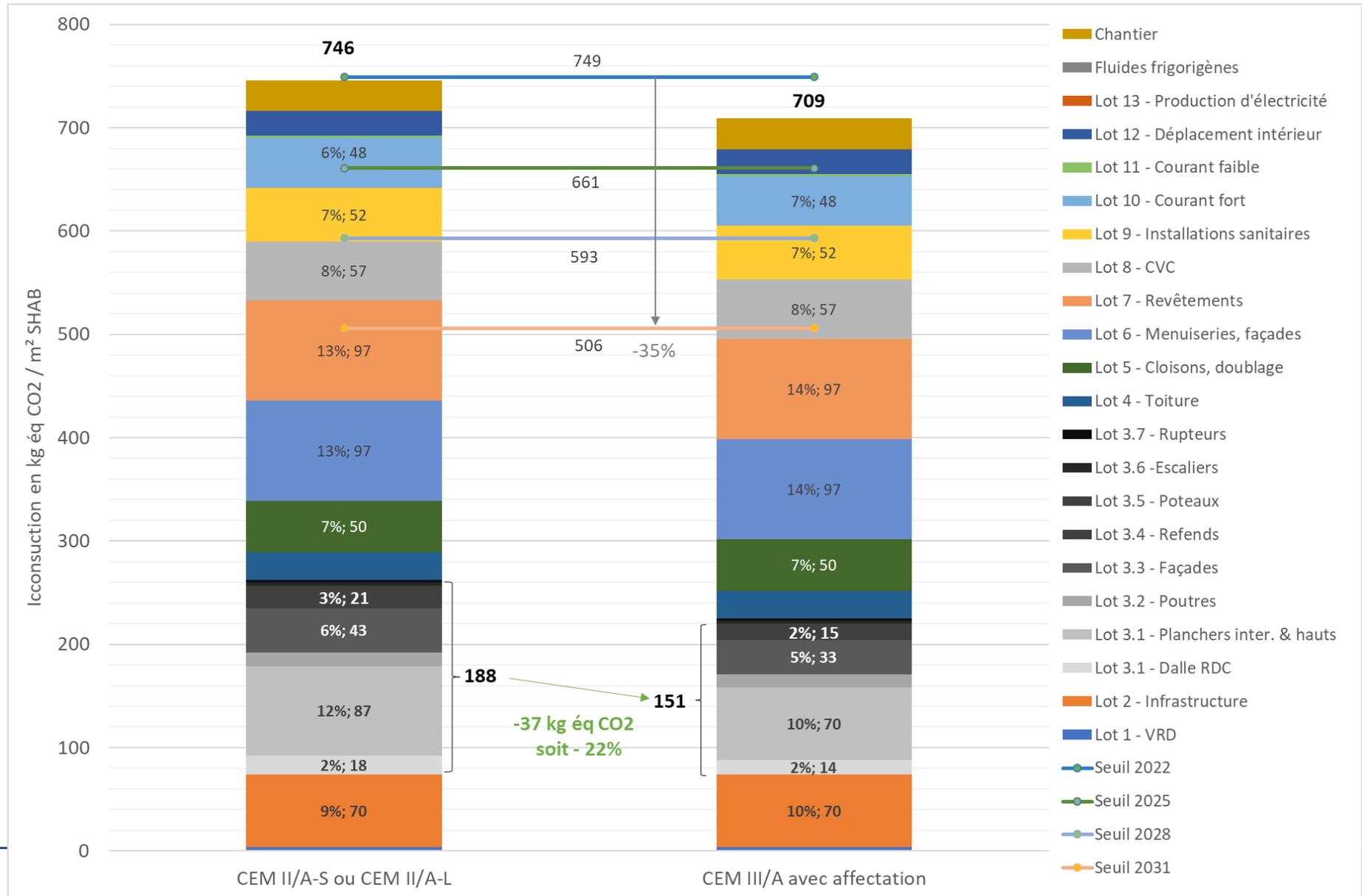
Collectif de
2 120 m²

Calcul RE2020

Objectif :
-35% en 2031



[Retour au sommaire](#)



Conclusions



Dans l'objectif de décarbonation de l'industrie cimentière, les ciments bas carbone représentent l'un des leviers les plus importants, et doivent continuer à faire l'objet de développement :

- Réduction de la teneur en clinker des ciments : CEM II/C-M, CEM III, CEM VI
- Réduction de l'impact de la production du clinker : optimisation des process (combustibles alternatifs, efficacité énergétique, CCS/CCU)

Néanmoins, cette performance doit être mesurée au niveau du produit final, c'est-à-dire du béton. Et avec l'objectif RE2020 de -35% d'ici 2031, l'usage seul des ciments bas carbone n'est pas un levier suffisant :

- Optimiser les formulations des bétons : additions, adjuvantation, approche performancielle, squelette granulaire, ...
- Repenser l'usage du béton à l'échelle de l'ouvrage : quantités mises en œuvre, modes constructifs, réversibilité de l'ouvrage, ...

