

Le clinker, principal émetteur de CO₂

Le clinker est le « principe actif » hydraulique (il réagit chimiquement avec l'eau pour former des hydrates liants) est le résultat de la cuisson à 1 450°C d'un mélange de calcaire et d'argiles. Avec l'augmentation de la température le long de la ligne de cuisson, il se produit plusieurs phénomènes : une fois les argiles déshydratées et déshydroxylées pour donner un mélange réactif silico-alumineux plus ou moins ferrifère, c'est au tour du calcaire de se dissocier thermiquement pour donner de la chaux vive et du CO₂. Autrement dit, le four de cimenterie défait en quelques minutes ce que la nature a mis des millions d'années à produire. Ensuite, la chaux réagit sur la silice pour former des silicates de calcium et sur l'alumine pour donner des aluminates de calcium. Ceux-ci fondent à partir de 1375°C et permettent d'accélérer les réactions chimiques et finir par former à 1 450°C les phases C₃S, C₂S, C₃A et C₄AF, et chaux libre résiduelle (CaO), minéraux constituant du clinker (Ck).

En tenant compte les différentes étapes du procédé cimentier, l'émission thermique (toute réaction de combustion produit CO₂+H₂O) représente 33% de l'émission totale, soit 262 kgCO₂/kg Ck ; la décarbonatation du calcaire représente elle 65% soit 529 kgCO₂/kg Ck et les servitudes (électriques) du procédé constituent 2% des émissions, soit 15kg CO₂/kg Ck. Le total fait 806 kg CO₂/Kg par kg de clinker (Ck), comme le schématise la figure 1 :

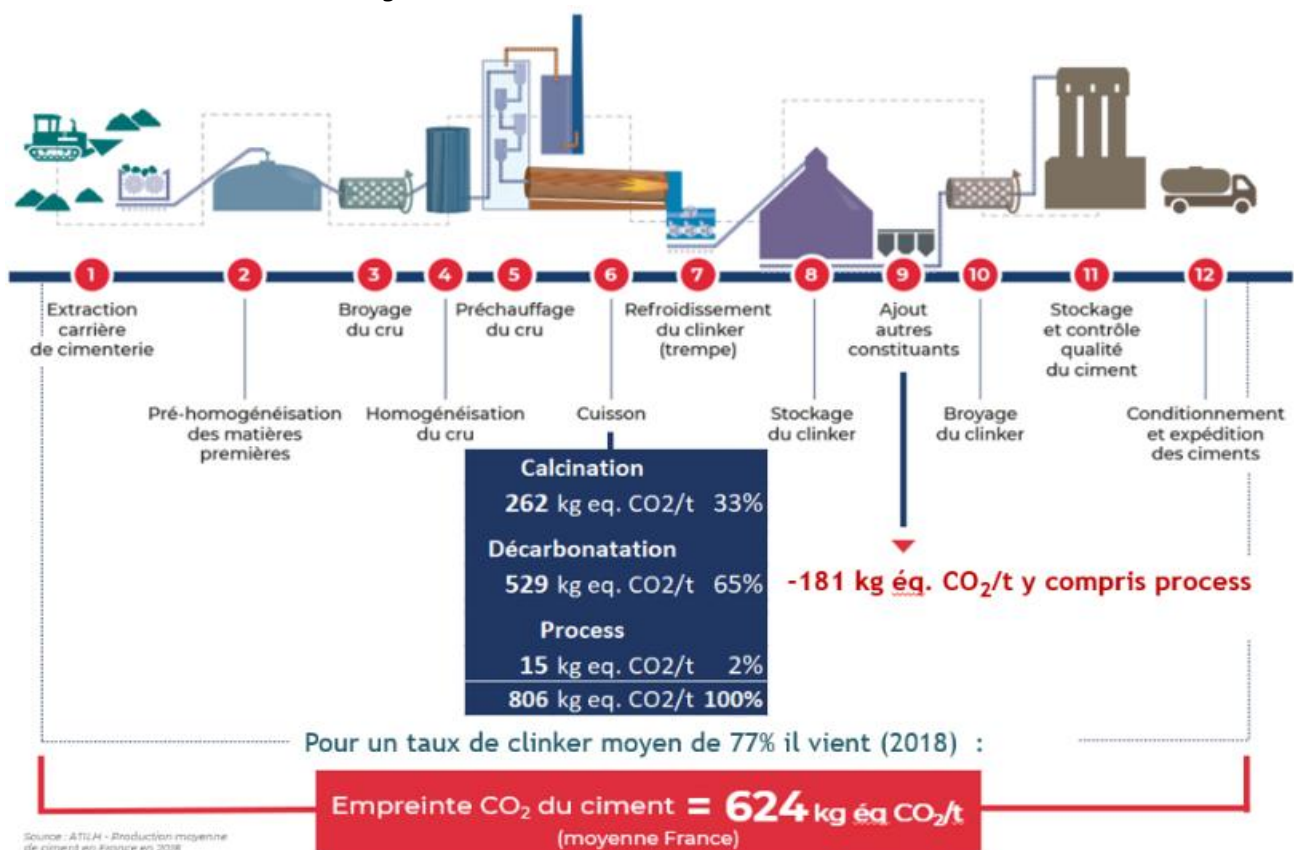


Figure 1 : schéma du procédé cimentier et calcul de l'empreinte carbone du clinker et du ciment

Les matériaux cimentaires ; le ciment n'est pas constitué que de clinker

Les MHP : Depuis plus de 100 ans l'industrie cimentière utilise des Matériaux à Hydraulicité Potentielle (MHP) qui sont des **matériaux actifs**, soit à hydraulicité latente (Laitiers de haut fourneau, cendres volantes calciques), soit pouzzolaniques (cendres volantes, fumées de silice, pouzzolanes naturelles, calcinées ou non). Chacun de ces produits possède un teneur en CO₂ réduite selon son statut industriel et permet la production de C-S-H en complément de ceux du clinker.

Les pseudo-inertes : silice et calcaire. Ce dernier est un constituant particulièrement intéressant car il est le matériau le plus bas émetteur de CO₂ et représente le matériau le plus disponible et le plus couramment utilisé. Sa basse empreinte carbone est liée au fait qu'il s'agit d'un matériau naturel (donc déjà fabriqué par la nature) qui ne nécessite aucun traitement en dehors de son extraction et son broyage. Micronisé convenablement, le calcaire est un constituant efficace qui favorise les réactions d'hydratation.

Tous ces matériaux sont appelés « constituants autres que le clinker » et entrent dans la constitution des ciments.

Le ciment et son empreinte carbone

Le ciment est donc constitué de clinker, de constituants principaux autres que le clinker (>5%), de constituant secondaires (<5%) et de gypse. Son empreinte carbone peut se calculer comme la somme pondérée du poids carbone de ses constituants, augmenté d'un facteur de procédé (forfaitisé), selon l'équation suivante :

$\sum_{i=1}^n w_i X_i + \Pi$ avec w_i la proportion pondérale de chacun des constituants, X_i le poids CO₂ associé à chacun des constituants et Π , le facteur de procédé calculé en valeur forfaitaire à 0,10 kgCO₂/kWh. Ce mode de calcul n'est qu'approché car le calcul complet doit être réalisé selon les dispositions de la norme NF EN15806. Toutefois, ce calcul d'ordre de grandeur permet de mettre en évidence une tendance générale. Celle-ci indique que l'empreinte carbone du ciment est proportionnelle à la teneur en clinker du ciment, comme le montre le diagramme de la figure 2 :

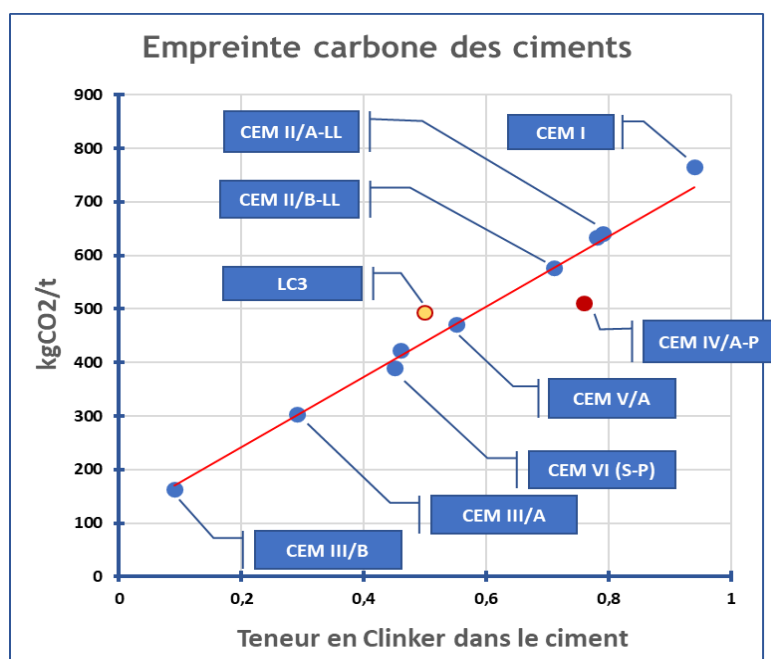


Figure 2 : variation de l'empreinte carbone du ciment (KgCO₂/t) en fonction de la teneur en clinker du ciment

La tendance est quasi-linéaire et le calcul, bien qu'un ordre de grandeur est assez sensible aux conditions réelles : le point rouge (CEM IV/A-P) voit son empreinte abaissée non seulement par sa teneur en Pouzzolane (P) mais par le fait que ce clinker particulier est produit avec un taux très élevé de combustibles secondaires qui abaissent son empreinte carbone par rapport au calcul « moyen » évoqué ci-dessus. Le point jaune (ciment LC3) se trouve au dessus de la tendance générale du fait des émissions thermiques de la calcination du kaolin.

Conclusion

Un calcul simple de l'ordre de grandeur de l'empreinte carbone du ciment montre que celle-ci est inversement proportionnelle à la teneur en clinker. Nous avons donc là un guide efficace pour la formulation des ciments bas carbone. Dans le troisième épisode de notre saga, nous verrons les leviers de la décarbonation.