

Pour une industrie zéro carbone

Les industries gourmandes en énergie (les IEI) ont très tôt cherché à améliorer l'efficacité énergétique de leurs procédés. Les efforts se poursuivent, mais des ruptures technologiques sont nécessaires.

Autour de vous, pour peu que vous soyez citoyen, quelques matériaux dominent le paysage : acier, ciment, verre... Ces produits omniprésents sont élaborés par les industries dites « énergie-intensives » (IEI) dont les émissions de gaz à effet de serre sont majeures, car fondées sur de nombreuses opérations très énergivores. Les puissances installées peuvent dépasser 200 mégawatts sur une seule installation, ce qui équivaut à une centaine de terrains de football équipés en panneaux photovoltaïques ! Au total, les secteurs acier-ciment-chimie représentent à eux seuls 5,4 gigatonnes de CO₂, soit plus de 15 % des émissions globales anthropiques. Dans ce contexte, comment parvenir à la neutralité carbone en 2050 ?

UNE COURSE DE VITESSE

Nous sommes à un point de bascule. Atteindre la neutralité carbone en 2050 implique à la fois de déployer des solutions allant bien plus loin que les meilleures techniques disponibles actuellement, et de s'engager dans une course de vitesse, l'horizon temporel étant proche au regard du temps nécessaire à de tels changements. À titre d'exemple, la durée d'exploitation d'un procédé cimentier ou sidérurgique dépasse souvent quarante ans. La recherche et le développement ont donc un rôle majeur à jouer, et ce dans plusieurs grandes thématiques.

L'une d'elles est l'efficacité des matériaux. Il s'agit de repenser le matériau pour lui conférer de meilleures performances. Le développement d'aciers plus légers par exemple réduit la consommation des véhicules.

Autre axe, l'intensification a pour but de tendre vers le « minimum d'énergie requis » (le MER) pour une transformation de la matière (chauffage, fusion, évaporation...). ENGIE accompagne les industriels dans cette démarche. On peut citer les travaux désormais à maturité industrielle dans le domaine des brûleurs à haute performance énergétique. Les rendements atteignent plus de 90 % grâce à un

LES AUTEURS

LUDOVIC FERRAND,
PHILIPPE BUCHET ET
JEAN-PIERRE KEUSTERMANS,
ENGIE

meilleur couplage entre le système de combustion et l'enceinte.

La piste de l'électrification est aussi intéressante. Les systèmes électriques des grands pays industriels sont en pleine mutation pour atteindre la neutralité carbone. Les infrastructures tendent à se complexifier avec la diversification et la décentralisation des sources.

Le premier avantage de l'électrification est la conversion directe en énergie verte (solaire, éolien, marine...). D'autre part, l'interaction avec

DÉCARBONER LE CIMENT



Usine pilote
LEILAC1.

© CALIX

L'industrie du ciment et du béton compte parmi les plus larges émetteurs de CO₂, contribuant à près de 5 % des émissions mondiales. Poussé par la croissance démographique et l'urbanisation, la demande en ciment a explosé sur les dix dernières années et cette tendance ne semble pas près de s'inverser. Cependant, la mise en place d'une solution décarbonée pour cette industrie est complexe. En effet, si 30 à 40 % de ses émissions CO₂ proviennent de la combustion de fuel pour lequel des carburants alternatifs décarbonés peuvent être une solution, 60 à 70 % des émissions CO₂ proviennent du procédé de

calcination du CaCO₃, et dans ce cas, une technologie de rupture sera nécessaire. On peut penser au développement de ciment et de matériaux alternatifs, ou bien à la capture du CO₂. Dans ce dernier cas, le découplage de la combustion et de la réaction de calcination dans le four à chaux réduit considérablement les coûts énergétiques liés à cette capture. Une telle approche a été développée dans LEILAC, un projet collaboratif mené par Heidelberg Cement et Calix. La suite, LEILAC2, a déjà été annoncée et ENGIE est partenaire, de 2020 à 2025, pour la partie électrification de ce procédé novateur et celle de la valorisation du flux de CO₂.

DE LA VIGNE AU VERRE



À partir des sarmants de vigne, on peut produire du biométhane exploitable par l'industrie verrière.

© Gabard

Si le verre peut être facilement recyclé après usage (50 % du verre d'emballage est constitué de verre recyclé), sa fabrication à très haute température requiert beaucoup d'énergie. Comment réduire cette

empreinte écologique notable ?

Trois options sont envisageables. Augmenter l'électrification des procédés de production de verre et utiliser de l'électricité renouvelable. Convertir les

fours, notamment de fusion de verre, à des combustibles renouvelables. Repenser et intensifier énergétiquement les procédés de production. ENGIE et un consortium d'industriels, notamment le verrier Verallia et la société

Xilowatt, se sont engagés dans la deuxième voie avec le projet *BioVive*. L'objectif, en trois ans, jusqu'en 2015, était de parvenir à alimenter un four de fusion de verre creux par un gaz de synthèse renouvelable (CO , H_2 , CH_4 ...) issu de la gazéification de la biomasse. Un pilote industriel a démontré la faisabilité de cette solution décarbonée. ENGIE poursuit par ailleurs ces travaux avec la mise en œuvre d'un procédé de production décentralisée de biométhane (le projet *Gaya*), vrai gaz naturel renouvelable, à partir de déchets ligneux issus de la taille de la vigne. D'autres solutions à base d'hydrogène vert produit de façon décentralisée sont à l'étude.

les IEI est évidente, tant ils seront des acteurs importants, de par leur capacité à jouer un rôle actif dans l'équilibrage des réseaux.

L'électrification peut être directe ou non. Dans le premier cas, on imagine en fonction des matériaux un chauffage par rayonnement effet Joule, par infrarouge, par induction... ENGIE est ainsi impliqué dans le projet de recherche européen *Destiny* pour les applications en céramique, ciment et acier, et dont l'objectif est de développer un nouveau concept de chauffage par microondes de matériaux granulaires.

HYDROGÈNE, BIOMASSE...

L'électrification indirecte regroupe les solutions où l'électron est transformé en un vecteur intermédiaire, comme l'hydrogène dans le « Power to Hydrogen », pour l'usage final, tel un chauffage à haute température. ENGIE a participé à la validation du concept pour les procédés industriels dans le cadre du Plan d'action national sur l'hydrogène. D'autres initiatives, tel le projet européen *Hybrit*, visent à remplacer le coke par de l'hydrogène dans les aciéries.

Les combustibles issus de la biomasse ont aussi un rôle à jouer dans la transition énergétique, et de fait, certains hauts-fourneaux sidérurgiques fonctionnent déjà avec de l'eucalyptus transformé en un équivalent de coke. Ce principe, encore difficilement transposable

partout, est un champ de recherche actif. Le projet *BioVive* mené par ENGIE est à ce titre emblématique (voir l'encadré ci-dessus).

La symbiose industrielle peut aussi aider à atteindre la neutralité carbone. Elle consiste à convertir les flux sortants (matière ou énergie) d'un acteur en ressources pour un autre. L'idée rencontre des difficultés à se déployer largement, même si de grands succès existent. ENGIE, via son outil *Be-Circle*, contribue à identifier et optimiser le potentiel des circularités sur un territoire géographique donné en modélisant les flux des industries d'une zone industrielle.

Dernière thématique, les IEI se prêtent bien à la capture du CO_2 , car par exemple les sources sont souvent concentrées sur un émetteur principal. Les travaux de recherche et les pilotes de démonstration se multiplient. L'objectif est à la fois de déterminer les procédés de captation les plus efficaces, et d'identifier les voies de réutilisation du CO_2 pour éviter son rejet dans l'atmosphère.

Ce panorama, loin d'être exhaustif, montre la diversité des approches et l'ambition allant au-delà de l'efficacité énergétique pour se tourner résolument vers la neutralité carbone. L'effort global à fournir reste immense, mais de nombreuses pistes sont prometteuses, pour qu'un jour, nous portions un nouveau regard sur les matériaux qui nous entourent. ■