

100 kilomètres d'autonomie. Une borne de recharge rapide (plus volumineuse et plus complexe) fait de même en seulement 15 minutes. Cependant, la rapidité de la recharge pose des questions de puissance, nous y reviendrons. Autre critère, la technologie de recharge : elle peut être conductive ou inductive selon que le véhicule est alimenté par un câble électrique ou sans fil (dans le premier cas, le rendement est meilleur, mais la seconde option est plus pratique). Diverses architectures de recharge sont également disponibles selon les utilisations : sur borne, par pantographe, ce bras articulé qui se déploie par exemple au-dessus des bus électriques... En fonction des choix, la recharge a lieu lorsque le véhicule est à l'arrêt ou même en mouvement.

MATURITÉ ET VIEILLISSEMENT

Pour s'y retrouver dans ce champ des possibles, ENGIE étudie ces différentes solutions et s'intéresse en particulier à leur maturité, leur impact sur le vieillissement des véhicules, leur interopérabilité et leur potentiel de déploiement à moyen et long termes. Pour ce faire, les chercheurs procèdent à des évaluations régulières et approfondies des solutions et technologies de recharge, que ce soit lors de tests en laboratoire ou en environnement ouvert, ou bien dans le cadre d'analyses approfondies de solutions déployées aux quatre coins du monde.

Ont ainsi été testés, par exemple, l'impact sur le vieillissement des batteries de la recharge rapide par rapport à la recharge normale et la possibilité pour la voiture de renvoyer de l'énergie au bâtiment ou au réseau. La facilité d'installation et d'usage de différentes solutions de recharge a aussi été évaluée en conditions réelles.

PLUS VITE, MOINS CHER ET SANS SOUCI

En limitant les investissements, en réduisant les puissances et le nombre de chargeurs nécessaires, la recharge dite « intelligente » offre de nombreux avantages aux utilisateurs ainsi qu'aux gestionnaires de sites de recharge et de réseau électrique. Elle consiste à adapter la recharge des véhicules aux autres consommations du site et à maximiser l'utilisation de l'énergie produite localement, par exemple par des panneaux solaires. Un nombre croissant de solutions commerciales proposent une partie de ces fonctionnalités. Elles se retrouvent toutes dans SMATCH, la solution de recharge de véhicules électriques d'ENGIE. En outre, SMATCH prend en compte les besoins spécifiques de chaque utilisateur, anticipe les productions locales, les consommations et les besoins des véhicules. Elle tient également compte des contraintes du réseau, des tarifs du marché de l'énergie et de la production de CO₂ par le mix énergétique, variable dans le temps.



L'autre ressort du déploiement de la mobilité électrique concerne la quantité d'électricité nécessaire pour alimenter l'ensemble des véhicules et sa disponibilité. Cette question est directement liée au nombre et à la taille des batteries mises en fonction. En Europe, une mobilité et un transport entièrement électrifiés entraîneraient une augmentation de 15 à 20 % des besoins en énergie électrique. Cet accroissement est certes significatif, mais il restera gérable s'il est étalé dans le temps.

UN BESOIN DE PUISSANCE

Autre facteur essentiel, la rapidité de la recharge pose, nous l'avons vu, des problèmes de puissance. Le rechargement d'une seule voiture électrique dans un temps équivalent à celui d'un traditionnel plein de carburant nécessiterait la puissance délivrée par une éolienne tournant à plein régime. C'est inimaginable en pratique. Qui plus est, le réseau électrique n'est pas partout suffisamment dimensionné pour permettre les appels de puissance simultanés d'un grand nombre de véhicules électriques. Dans ce cas, une gestion intelligente des recharges est essentielle.

De plus, la façon dont les véhicules sont rechargés peut occasionner des anomalies sur le réseau électrique (chutes de tension, surcharge de transformateurs, variation de fréquence, etc.). Au-delà de certaines limites, ces perturbations requièrent des interventions coûteuses. Pour y faire face, ENGIE évalue, avec différents gestionnaires de réseau électrique, les impacts qualitatifs et quantitatifs de ces perturbations, par des mesures détaillées de cycles de charge, pour différents types de chargeurs et véhicules électriques.

Répondre à ces problématiques est d'autant plus important que la mobilité électrique, appelée à se développer, est aujourd'hui bien accueillie. Des études montrent que 95 % des utilisateurs de voitures électriques ne voudraient pas revenir à une motorisation thermique.

De nouvelles opportunités s'ouvrent alors. Selon les besoins, on peut imaginer les véhicules fournir de l'énergie aux bâtiments ou au réseau. Ces nouvelles perspectives d'usage des batteries aideraient à maximiser la consommation locale des productions renouvelables intermittentes. Le même concept peut s'étendre à des communautés locales d'énergie, où la production électrique d'un foyer participerait à la recharge du véhicule d'un voisin, et où le véhicule d'un autre alimenterait la maison d'un quatrième. Le développement de telles communautés impose de réels changements de paradigmes, dont la mobilité électrique n'est qu'une première étape. En vous impliquant dans de tels projets, le rêve de 2035 deviendra réalité, et vous dormirez plus longtemps ! ■

Vers des croisières plus propres

Afin de répondre aux nouvelles exigences environnementales qui lui sont imposées, l'industrie maritime peut compter, à court et moyen termes, sur de nouveaux carburants.



L'AIDAnova est le premier paquebot de croisière fonctionnant au gaz naturel liquéfié (GNL).

En 2018, l'AIDAnova fut mis en service par la compagnie Aida Croisies. Ce navire, construit par les chantiers Meyer Werft, était inédit : il s'agissait du premier paquebot de croisière fonctionnant au gaz naturel liquéfié (GNL). Cet exemple illustre l'engagement de l'industrie maritime vers une diminution de son empreinte écologique. Le chemin sera long, mais la tendance est irrémédiable...

Historiquement, le transport maritime utilise des fiouls lourds pour sa propulsion. Issus des fractions lourdes de la distillation du pétrole brut, ces carburants renferment les résidus les plus polluants, et notamment des composés soufrés. Leur combustion libère du CO₂, des oxydes de soufre (SO_x) ainsi que des oxydes d'azote (NO_x) et des particules fines. Le transport maritime serait responsable d'un peu moins de 3 % des émissions globales de CO₂ en 2018, soit l'équivalent des émissions de l'Allemagne.

L'Organisation maritime internationale a décidé de réagir et a fixé des objectifs ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre (50 % d'ici à 2050 par rapport à 2008) et impose depuis 2015 une diminution progressive du taux maximal de soufre autorisé (de 3,5 % en 2015 à 0,5 % en 2020) dans les soutes de quelque 50 000 navires en circulation et dans toutes les mers du globe. Dans les zones à émissions contrôlées (dites SECA pour *Sulfur emissions controlled area*) qui comprennent les côtes nord-américaines et les mers d'Europe du Nord, la limite est encore plus restrictive avec un taux maximal de soufre de 0,1 %, appliqué dès 2015.

Pour répondre à ce défi, différentes solutions s'offrent aux armateurs. La première consiste à remplacer les fiouls lourds par du

LES AUTEURS
FRÉDÉRIC LEGRAND ET
GABRIELLE MENARD,
ENGIE LAB CRIGEN

gasoil marin ou des fiouls bas soufre, moyennant des modifications mineures des moteurs. Toutefois, les surcoûts opérationnels (les carburants de substitution sont sensiblement plus chers) de cette option sont importants et la question clé sur ce nouveau produit reste sa disponibilité et son prix qui va croître sous l'effet d'une demande plus importante. Dans un premier temps, ce sera par défaut la solution la plus massivement adoptée, car elle ne requiert pas d'investissement important.

LE CHOIX DES SOLUTIONS

Une autre piste est de rendre plus propre l'utilisation des fiouls lourds en mettant en place de nouveaux systèmes de récupération et de nettoyage des fumées. Cependant, cette solution n'est pas forcément adaptée à tous les navires et surtout, elle ne traite qu'une partie du problème en éliminant le soufre sans enlever les NO_x et les autres polluants. Cette solution offre le meilleur retour sur investissement, mais elle n'est pas sans risque sur la durée, car elle soulève la question du traitement des déchets soufrés. En outre, son bilan carbone est mitigé. En effet, le fonctionnement des dispositifs installés (des absorbeurs-neutralisateurs) augmente la consommation du navire et donc ses émissions de gaz à effet de serre. Au 1^{er} mai 2019, moins de 2 400 navires étaient concernés.

Dernière option, le changement complet de carburant. Il implique le plus souvent d'investir dans un nouveau navire, pour les armateurs ayant une stratégie à long terme. Les fiouls lourds sont alors remplacés par du GNL, voire, nous y reviendrons, par du bio-GNL ou de l'hydrogène. Aujourd'hui, le GNL est le plus largement utilisé, l'AIDAnova en témoigne. En effet le GNL répond à l'ensemble des exigences

environnementales puisqu'il supprime les émissions de soufre et de particules fines, réduit de 80 % celles de NO_x et de 20 % celles de CO_2 . Il est par ailleurs disponible en grandes quantités et les motorisations GNL pour des navires de différents tonnages sont disponibles. Son développement reste néanmoins limité, car la chaîne logistique de distribution du produit n'est pas encore adaptée à cet usage. Le retour sur investissement est aussi plus long.

Avec moins de 400 navires fonctionnant au GNL en service ou en commande, le marché est encore une niche, mais certaines études annoncent un potentiel de 35 millions de tonnes par an pour le GNL à l'horizon 2035, soit approximativement 10 % de part de marché. En 2017, ENGIE a lancé conjointement avec Mitsubishi, NYK line et Fluxys, l'armement du navire avitailleur *Engie Zeebrugge* (voir ci-dessous). Avec une capacité en GNL de 5 000 mètres cubes, il peut alimenter en carburant tout type de navire opérant en Europe du Nord à partir du port de Zeebruges, ce qu'il fera à partir de 2020, sous la marque Gas4Sea.

MIEUX QUE LE GNL

Pour répondre à ce nouveau marché, ENGIE a lancé des programmes de recherche ambitieux sur la production et l'utilisation des gaz verts pour le transport maritime. L'un d'eux répond au comportement thermodynamique complètement différent du GNL par rapport aux autres carburants. Le GNL est un liquide cryogénique dont la composition chimique évolue à mesure qu'il s'évapore en gaz naturel, celui qui est brûlé par les moteurs. Ces changements au cours du voyage se traduisent par l'évolution de paramètres primordiaux pour le fonctionnement des moteurs, dont l'indice de méthane (cet indice, lié à la composition du gaz, rend compte de la qualité de sa combustion). On pourrait installer un chromatographe pour suivre en continu la composition du GNL, mais l'appareil est cher. On peut désormais faire autrement : ENGIE Lab CRIGEN a développé Smart Gauge, un algorithme calculant la composition du GNL dans les soutes du navire tout le long du trajet à partir de la pression et de la température mesurées en temps réel et de la composition initiale.

Malgré son faible impact environnemental, le GNL ne permet pas d'éliminer complètement les émissions de CO_2 et de NO_x . Deux nouveaux carburants pourraient y remédier. Le premier est le bio-GNL (ou biométhane liquide). Il permet de réduire les émissions de CO_2 de 90 % par rapport aux fiouls lourds et ne nécessite aucun investissement supplémentaire pour un navire fonctionnant au GNL. Le développement du bio-GNL reste toutefois limité à cause de son coût de production. Fort de son expertise dans le GNL depuis plus de soixante ans, ENGIE Lab CRIGEN

a lancé un programme de recherche visant à réduire de 40 % le coût de liquéfaction du biogaz par des procédés innovants. En 2020, des tests seront réalisés sur le site du CRIGEN à Stains puis sur le terminal méthanier de Montoir-de-Bretagne pour valider le fonctionnement de la nouvelle technologie. L'objectif en 2021 est de pouvoir installer la solution chez un partenaire ENGIE. Le bio-GNL pourrait remplacer le GNL à l'horizon 2030.

À plus long terme, l'hydrogène liquide serait un carburant adapté à la mobilité maritime. De fait, à condition qu'il soit produit de façon renouvelable, son utilisation n'émet aucun gaz à effet de serre, ni NO_x , SO_x ou particules. Les solutions actuelles pour produire, stocker et transporter de l'hydrogène liquide restent limitées. ENGIE a lancé un programme de

“ Le transport maritime a largement entamé sa transition vers le zéro carbone ”



L'Engie Zeebrugge peut alimenter en GNL tout type de navire fonctionnant avec ce carburant.

recherche pour diviser par deux les coûts de production et de transport de ce liquide en développant de nouveaux procédés de liquéfaction. Des projets sont également en cours en Amérique du Sud pour proposer à des industriels des solutions de transport maritime à base d'hydrogène.

Contredisant sa réputation de secteur plutôt conservateur, le transport maritime a largement entamé sa transition vers le zéro carbone. Plusieurs solutions sont disponibles, et ENGIE accompagne les acteurs de cette filière pour réduire l'empreinte environnementale. Un jour, la croisière s'amusera avec bonne conscience. ■

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



© CALIX

Usine pilote LEILAC1.

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.