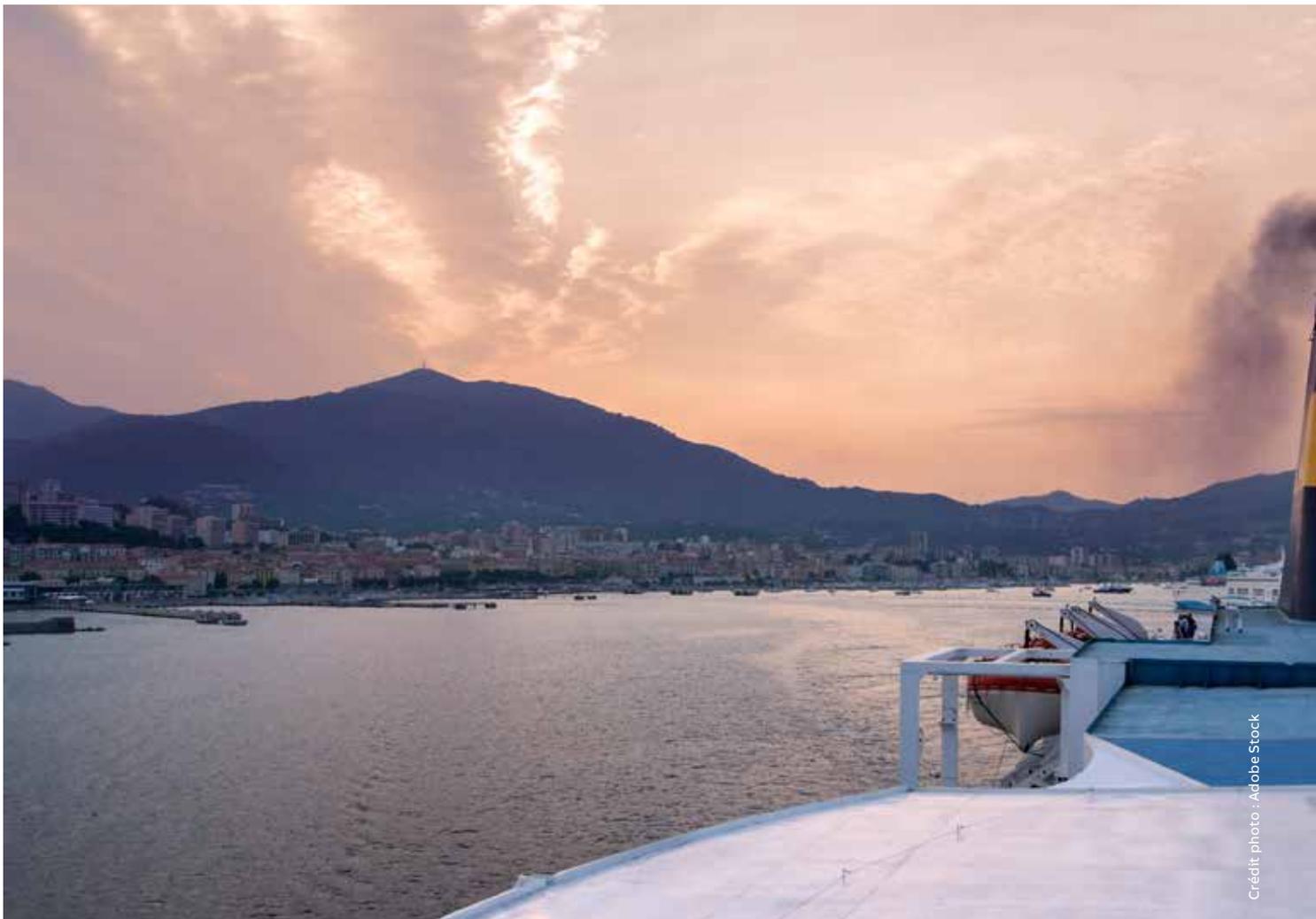


ÉLECTROMOBILITÉ

# Le navire à hydrogène...

## « QRV »\* ?

Le transport maritime recherche des solutions alternatives aux combustibles fossiles pour répondre aux besoins croissants et diversifiés du secteur. La pile à hydrogène pourrait bientôt réduire radicalement les gaz à effet de serre (GES) émis par les navires. Combinée à des technologies de batteries plus matures, elle améliore la densité énergétique et l'endurance des embarcations, ouvrant la voie à une navigation « zéro émission ».



\* Signaux de service employés par les opérateurs radio en navigation maritime et en aéronautique. Le code QRV signifie « Êtes-vous prêt ? » et QUK « Pouvez-vous m'indiquer l'état de la mer observée à... (lieu ou coordonnées) ? ».



— En avril 2018, le Comité de protection du milieu marin (MEPC) de l'Organisation maritime internationale a adopté une première stratégie visant à réduire les gaz à effet de serre émis par les navires. La décarbonation du secteur, sur le moyen et long terme, passe par de nouveaux systèmes propulsifs et des carburants zéro émission ou presque.

—  
**Klaus Vanska**  
**Sami Kanerva**  
 ABB Marine & Ports  
 Helsinki (Finlande)

klaus.vanska@fi.abb.com  
 sami.kanerva@fi.abb.com

**Jostein Bogen**  
 ABB Marine & Ports  
 Billingstad (Norvège)

jostein.bogen@no.abb.com

**George Skinner**  
 Ballard Power Systems  
 Vancouver (Canada)

L'Organisation maritime internationale (OMI) ambitionne de réduire de 50 % les émissions de GES d'ici à 2050 [1]. Un objectif qui ne pourra être atteint en se limitant à un ou deux combustibles alternatifs, d'autant que chaque substitut a aussi ses marchés et usages propres. Il faudra accompagner les clients dans l'étude des différentes alternatives et le choix, difficile, de la solution la plus adaptée à leurs besoins. Agrocarburant, biomasse (dont valorisation énergétique des déchets), soleil, vagues, vent : autant de sources d'énergie possibles dont la disponibilité dépend de la région, de la demande, des modes d'exploitation et de commercialisation, entre autres.

L'électricité d'origine renouvelable peut servir à produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau. Les carburants synthétiques comme l'ammoniac, le méthane ou le méthanol, encore largement issus de ressources fossiles, pourraient aussi être tirés de cette électricité verte. Les moteurs à combustion interne, technologie parfaitement maîtrisée, restent compatibles avec les carburants alternatifs comme l'ammoniac, moyennant le plus souvent quelques modifications. Les piles à combustible (PAC) proposent une autre voie. Le coût des combustibles fabriqués à partir d'énergie verte serait sensiblement identique, la différence venant de leur utilisation et de leur disponibilité.

—  
 La pile à combustible améliore la densité énergétique et l'endurance des navires, ouvrant la voie à une navigation « zéro émission ».

#### **De nouvelles pistes pour la mobilité durable**

Aucune alternative ne va sans contraintes. Par exemple, l'hydrogène a une densité énergétique faible ; son transport et son stockage exigent de le comprimer et de le refroidir à très basses températures ; l'ammoniac, très corrosif, doit aussi être refroidi, tandis que le méthanol est toxique. Sans compter que chacun a ses propres techniques de transport et de stockage. La panacée n'existe pas. Plusieurs pays anticipent l'essor de la demande et s'intéressent à la production d'hydrogène à partir



01

de diverses sources d'énergie, selon la géographie : solaire pour les Émirats arabes unis, géothermie pour l'Islande. Reste à résoudre le problème du transport de l'énergie jusqu'au lieu d'utilisation.

ABB et Ballard Power Systems viennent de signer un protocole d'accord sur le développement de piles à combustible nouvelle génération pour l'industrie maritime →1. Conçues, développées et validées conjointement, ces PAC devraient accélérer l'adoption de solutions de mobilité durables et aider les armateurs à répondre à une demande croissante de transport maritime propre. L'ambition d'ABB et de Ballard est d'optimiser les technologies existantes afin de faire passer la capacité des PAC du kilowatt au mégawatt : une solution pionnière adaptée aux grands navires →2. D'une puissance de 3 MW, le nouveau système tient dans un module de la taille d'un moteur marin traditionnel.

Innovateur et fournisseur mondial de solutions vertes, Ballard Power Systems déploie depuis le début des années 1980 des systèmes de piles à hydrogène destinés à un usage terrestre. C'est à la faveur de son rôle de conseiller auprès de l'Armée canadienne que Ballard s'est intéressé à l'hydrogène en mer.

« Les sous-marins de la Marine canadienne sont équipés de PAC depuis 1993, explique George Skinner, expert en sécurité chez Ballard. Ce seul fait démontre l'absence de danger de l'hydrogène : un tube d'acier immergé à des centaines de mètres, c'est bien le dernier endroit où l'on veuille embarquer un carburant dangereux ! »

Si l'hydrogène peut faire peur, il n'est pas forcément plus dangereux que d'autres carburants ; il est juste différent →3. « L'hydrogène a une énergie explosive plus faible par unité de volume, un point d'ignition plus bas et une vitesse de combustion et de dispersion plus élevée, rappelle George Skinner. Très inflammable, il requiert une prévention efficace des fuites, l'installation de systèmes de détection performants et une ventilation suffisante en permanence. Le Code international de sécurité pour les navires utilisant des gaz ou d'autres combustibles à faible point d'éclair [2] régit déjà son usage, et DNV GL anticipe une amélioration des conduites. De nouvelles règles et normes sont à l'étude. »

—  
**Objectif : réaliser un système de production d'énergie à sécurité intrinsèque en mer, à l'instar de ce qui se fait à terre.**

Acteur majeur de l'assurance qualité et de la gestion des risques, DNV GL a publié en janvier 2018 les premières règles pour les navires à hydrogène, calquées sur les référentiels d'autres secteurs utilisateurs de longue date. Pour George Skinner, « elles reprennent les grands principes applicables au gaz naturel liquéfié et à d'autres combustibles à faible point d'éclair. Les techniques de manipulation sont bien connues et la technologie est rodée. Le véritable défi est de développer l'infrastructure ».

—  
01 ABB et Ballard Power Systems se sont associés pour mettre au point des piles à combustible zéro émission destinées au transport maritime.

—  
02 Principe d'une pile à membrane échangeuse de protons (PEM)

L'objectif est d'obtenir un système de production d'énergie intrinsèquement sûr en mer, à l'instar de ce qui se fait à terre. Les PAC affichent une longue durée de vie et nécessitent peu de maintenance. Il n'empêche : « *L'hydrogène souffre à tort d'une image négative, liée à l'incendie qui provoqua la destruction du dirigeable allemand Hindenburg le 6 mai 1937, ainsi qu'à la bombe H (pour hydrogène), pourtant basée sur une réaction nucléaire, déplore George Skinner. Mais aujourd'hui, il est omniprésent dans l'industrie, l'aérospatiale et le transport* ».

Le croisiériste Viking Cruises a consulté la NASA, utilisatrice depuis des décennies du combustible, pour en savoir plus sur l'avitaillement. De même, les PAC du laboratoire de Ballard Power fonctionnent à l'hydrogène liquide. « *Nous sommes livrés deux fois par semaine depuis 20 ans. Approvisionner un navire en mer, c'est en gros la même chose, rien de bien sorcier* », ajoute-t-il dans un sourire.

« *Ensuite, tout n'est que souplesse. L'hydrogène est un vecteur énergétique, produit à partir de nombreuses sources (soleil, gaz, vent, eau, etc.).*

*Le Danemark en est un bon exemple : le surplus régulier d'énergie éolienne est converti en hydrogène pour une utilisation ultérieure. »*

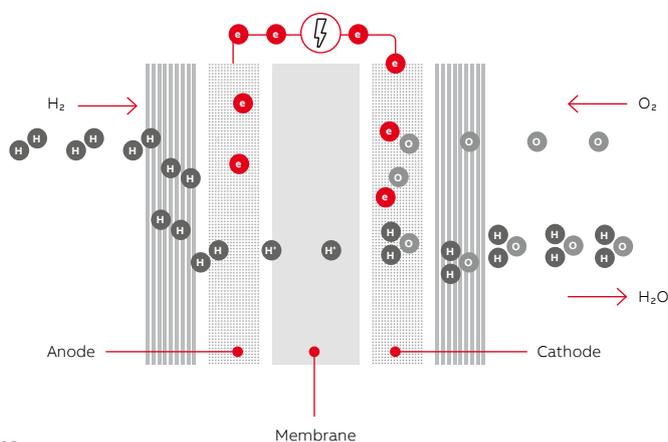
Autant de fabuleuses opportunités en mer, selon lui. « *Les volumes transportés mobiliseront les acteurs de l'énergie ; les infrastructures portuaires suivront et pourront approvisionner en hydrogène d'autres modes de transport (fret routier ou passagers). L'usage marin de l'hydrogène sera un catalyseur majeur de son développement économique. Les navires de croisière devraient adopter d'abord une solution hybride, le recours à la PAC étant réservé aux servitudes à quai et à la navigation dans les fjords. Mais l'hydrogène pourrait bien un jour assurer aussi l'alimentation électrique du bateau, y compris sa propulsion, et la production d'eau pour divers usages à bord.* »

—  
La combinaison de PAC et de batteries est essentielle à la vision « électrique, numérique, connectée » de l'avenir du transport maritime chez ABB.

#### HYBRIDship

La combinaison de PAC et de batteries est essentielle à la vision « électrique, numérique, connectée » de l'avenir du transport maritime chez ABB. Le Groupe mène à Trondheim (Norvège) des essais avec le laboratoire SINTEF Ocean pour optimiser les interactions PAC-batteries sur de courtes traversées (bac, ferry) et valider leur intégration en salle des machines par les chantiers navals Fiskerstrand. Ces travaux alimenteront aussi les futures révisions des règles gouvernant l'emploi de l'hydrogène à bord des navires.

Lancé en 2017 sous la houlette de Fiskerstrand Holding, le projet HYBRIDship est soutenu par le programme d'accélération technologique « Pilot-E », financé par le Conseil de la recherche norvégien, Innovation Norway et l'entreprise publique Enova. Il s'appuie sur le savoir-faire d'ABB dans le domaine de l'intégration système, la longue expérience de SINTEF Ocean dans la propulsion marine et l'expertise de SINTEF Industry en matière de PAC. Un ferry à hydrogène transportant des passagers sur une ligne intérieure sera opérationnel fin 2020 →4.



## DÉMYSTIFIER L'HYDROGÈNE

- L'hydrogène est l'élément le plus léger de l'univers. Il est insipide, inodore et non toxique.
- Une pile à combustible à membrane échangeuse de protons (PEM) laisse passer les protons mais pas les électrons, lesquels assurent la production électrique.
- Plus légère et plus compacte que son homologue à oxyde solide, la PEM fonctionne à plus basse température.
- L'hydrogène se disperse très vite dans l'air et tombe rapidement sous le seuil d'inflammabilité.
- Sa puissance de détonation est plus faible que celle d'autres combustibles courants.
- Sa combustion très rapide limite considérablement le temps d'exposition du personnel et des installations à la chaleur ou aux flammes.
- La chaleur rayonnée émise par un feu d'hydrogène est faible.
- Le seuil d'auto-inflammation de l'hydrogène est élevé, mais l'énergie nécessaire pour l'enflammer extrêmement faible, d'où l'importance des raccordements et d'une mise à la terre.
- L'hydrogène est converti directement en électricité et en chaleur, sans combustion.

L'alimentation par batteries jouera assurément un rôle crucial pour atteindre le zéro émission dans les fjords norvégiens à partir de 2026.

## Le programme conjoint ABB/SINTEF s'intéressera aussi à l'avitaillement en hydrogène et aux infrastructures de soutage.

Les essais simuleront les conditions caractéristiques d'une ligne régulière, sur un trajet de 10 kilomètres, pour tester la robustesse des systèmes de propulsion par PAC en usage intensif. Ce projet représente une étape importante dans l'utilisation concrète de l'hydrogène pour la propulsion marine. Il permettra notamment de définir la configuration optimale de la salle des machines pour accueillir les PAC et la cohabitation au quotidien avec d'autres systèmes à bord.

Le développement conjoint ABB/SINTEF s'intéressera aussi à l'avitaillement en hydrogène et aux infrastructures de soutage. Les résultats devraient accélérer les travaux de l'Autorité maritime norvégienne visant à actualiser la réglementation sur le combustible hydrogène.

### Demain, le navire autonome

Non polluantes, les PAC conviennent également au transport autonome. Exemptes de pièces mobiles, elles n'exigent qu'une maintenance minimale, à l'inverse de la mécanique des groupes motopropulseurs actuels. Elles s'intègrent bien dans une solution 100 % autonome puisqu'elles peuvent fonctionner plus longtemps sans intervention humaine sur site.

—  
03 Les atouts de l'hydrogène

04 Le premier ferry zéro émission, équipé de PAC, devrait entrer en service sur une ligne intérieure norvégienne fin 2020.

—  
Exempte de pièces mobiles et peu gourmande en maintenance, la PAC est le mode de propulsion idéal du navire autonome.

Compte tenu du calendrier réglementaire, les carburants alternatifs devraient faire leur apparition en mer dès 2025. Les PAC à hydrogène issu de sources renouvelables et le stockage de l'énergie par batteries assureront ainsi un transport 100 % propre. Alors, le bulletin météo marine ? « QUK »\* ? Temps clair, mer belle. On appareille ! ●

La recherche de carburants marins alternatifs n'est pour le moment qu'au stade du pilote. Aiguillonnés par le durcissement de la réglementation sur les émissions polluantes, les programmes de R&D et les projets lancés par des compagnies pionnières donnent le cap. Les croisiéristes s'intéressent aussi de plus en plus à la faisabilité de la technologie hydrogène, au premier chef pour des servitudes zéro émission dans les ports.

—  
**Bibliographie**

[1] Note de l'Organisation maritime internationale pour le Dialogue Talanoa de la CCNUCC, *ADOPTION OF THE INITIAL IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS AND EXISTING IMO ACTIVITY RELATED TO REDUCING GHG EMISSIONS IN THE SHIPPING SECTOR*, disponible (en anglais) sur : [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/250\\_IMO%20submission\\_Talanoa%20Dialogue\\_April%202018.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/250_IMO%20submission_Talanoa%20Dialogue_April%202018.pdf)

[2] Organisation maritime internationale, *International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGF Code)*, disponible (en anglais) sur : <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/SafetyTopics/Pages/IGF-Code.aspx?> consulté le 10 juillet 2019.



04