

Hydrogène maritime : le courage des choix

Par Victorien Erussard, président fondateur d'Energy Observer

La décarbonation du transport maritime se joue désormais à l'échelle géopolitique. Après avoir adopté en 2023 une feuille de route ambitieuse vers la neutralité carbone en 2050, avec des étapes intermédiaires en 2030 et 2040, l'Organisation maritime internationale a franchi un nouveau cap en avril 2025 en validant le Net Zero Framework : un cadre qui fixe une norme mondiale de carburant bas carbone, met un prix explicite sur la tonne de CO₂, applique un surcoût aux navires les plus émetteurs et oriente les recettes à la fois vers les pays les plus vulnérables et vers le déploiement de carburants et de navires zéro ou quasi zéro émission. Sous la pression des États-Unis, qui ont menacé de surtaxer les exportateurs appliquant ce mécanisme, son entrée en vigueur a été décalée d'un an. Ce décalage montre à quel point ce progrès reste politiquement réversible et combien il appelle un leadership clair et constant.

Ce clivage est net. D'un côté, des États, des armateurs et des industriels qui se bougent, investissent, préparent les chaînes d'avitaillement, adaptent les chantiers. De l'autre, des responsables politiques et quelques grands intérêts maritimes qui agitent la peur d'une « taxe mondiale » pour défendre les rentes fossiles et demander du temps supplémentaire. Or le coût réel, c'est l'inaction : en France, la Cour des comptes a rappelé qu'en l'absence de politiques renforcées, la dégradation environnementale pourrait peser jusqu'à 11,4 % du PIB d'ici 2050.

Oui, le GNL a joué son rôle de transition, avec une nette amélioration de la qualité de l'air dans les zones portuaires et une première baisse des émissions de gaz à effet de serre par rapport au fioul lourd. Il a aussi montré que le secteur maritime était capable d'investir vite et massivement. Mais on ne fera pas la neutralité carbone avec des solutions de transition. Pour que les carburants réellement bas carbone sortent des prototypes et deviennent compétitifs face aux fossiles, il faut un prix prévisible du carbone maritime et une feuille de route stable. C'est ce couple qui déclenche la spirale volume/massification : il sécurise l'investissement dans les usines d'hydrogène bas carbone et d'e-fuels, dans les infrastructures portuaires d'avitaillement et dans les nouvelles technologies associées (piles à combustible de forte puissance, unités de conversion des e-carburants à bord, solutions de stockage avancé, propulsion vélique). Repousser ce signal d'un an, c'est mécaniquement donner un avantage aux retardataires et renchérir l'apprentissage de ceux qui innovent.

Les batteries resteront, elles, indispensables pour les courtes distances, les manœuvres portuaires, les trajets fixes et comme tampon de puissance à bord. Il ne s'agit donc pas d'opposer batterie, hydrogène et carburants de synthèse, mais de les articuler selon les usages et les profils de mission.

Ce débat, entre visions contradictoires et solutions transitoires, illustre une réalité simple : nous n'avons plus le temps des hésitations. Dans un contexte de bouleversements climatiques et d'incertitudes technologiques, les annonces ne suffisent plus. Il faut faire des choix, tester et accélérer. Parmi les pistes crédibles, l'hydrogène bas carbone est incontournable et doit jouer un rôle clé, mais il se heurte encore à des réticences, à des incompréhensions technico-économiques et à la tentation de prolonger le recours aux solutions fossiles ou seulement intermédiaires.

Entre foisonnement et confusion : le piège de l'indécision

Les alternatives au fioul marin se multiplient. Peut-être trop ! Biocarburants, GNL, hydrogène, carburants de synthèse comme le méthanol ou l'ammoniac, ou encore diesel de synthèse (XTL) : toutes présentent des atouts, mais aussi des limites, qu'elles soient environnementales, technologiques ou économiques. Parmi elles, la contrainte de stockage à bord est déterminante. En

prenant le diesel comme référence, le GNL demande 1,6 fois plus de volume, le méthanol 2,1 fois, l'ammoniac 3 fois, l'hydrogène liquide 4 fois l'hydrogène gazeux nécessite de 8 à plus de 12 fois le volume du diesel selon la pression de stockage (350 à 700 bar). Ce sont des écarts non négligeables, aux conséquences directes sur la conception des navires, la capacité de fret et les infrastructures à terre, sans parler des coûts complets d'usage.

Des leviers immédiats existent pourtant pour réduire ces besoins en énergie embarquée. Outre la réduction de la vitesse, l'optimisation des routes ou le design plus efficient des coques, la propulsion vélique (ailes rigides, voiles, rotors) offre un potentiel considérable. Elle permet de diminuer la consommation énergétique de 10 à 35 % sur des navires existants, voire jusqu'à 80 % sur des navires conçus pour. En plus de ces gains directs, elle facilite l'intégration de carburants bas carbone, plus volumineux que les carburants fossiles. En allégeant la propulsion mécanique, elle réduit les besoins en stockage énergétique.

Biocarburants : une fausse évidence

Parmi les alternatives aujourd'hui disponibles, les biocarburants occupent une place à part. Compatibles avec les moteurs existants, ils séduisent par leur apparente simplicité. Mais cette facilité masque des impacts profonds. Les biocarburants de première génération, issus de cultures alimentaires (soja, colza, huile de palme), soulèvent des enjeux bien connus : déforestation, perte de biodiversité, usage intensif de terres agricoles. Dans un monde aux ressources limitées, cette concurrence entre carburant et alimentation pose un dilemme éthique et écologique.

Les filières de seconde génération, basées sur les déchets ou résidus agricoles, sont plus vertueuses, mais leur déploiement reste très limité. Remplacer seulement 10 % du carburant fossile du transport maritime nécessiterait bien plus de ressources que ce qui est aujourd'hui mobilisable, ce qui est révélateur de leurs limites. Des recherches visent une troisième génération, à base de microalgues ou de biomasses aquatiques. Ces solutions n'entrent pas en concurrence avec l'alimentation et offrent de bons rendements potentiels, mais elles restent expérimentales, coûteuses et lointaines. Au-delà de ces contraintes, les biocarburants deviennent aujourd'hui une réponse partielle face aux réglementations (quotas, ETS, exigence de taux d'incorporation). Leur usage trop systématique peut créer un effet d'éviction : on atteint les objectifs de court terme et l'on évite certaines pénalités, mais au détriment des investissements plus lourds dans les solutions de rupture. Les biocarburants ont un rôle à jouer dans le bouquet énergétique maritime, mais ce rôle doit être encadré, fondé sur la transparence, l'origine des matières premières, et sans compromettre la décarbonation de fond que le secteur appelle.

GNL : un progrès réel, mais une solution transitoire

Le gaz naturel liquéfié a marqué une avancée notable dans la réduction des polluants atmosphériques liés au transport maritime. Il a permis de diminuer fortement les émissions de soufre, d'oxydes d'azote et de particules fines, notamment dans les zones portuaires. Son adoption a aussi démontré la capacité du secteur à investir, innover et s'adapter. Côté climat, le GNL émet jusqu'à 23 % de CO₂ en moins que les carburants marins classiques. Mais ce bénéfice relatif peut être limité par les risques de fuites de méthane le long de la chaîne d'extraction et d'approvisionnement. Ce phénomène, appelé methane slip, touche notamment certains moteurs à double carburant. Les motoristes les plus avancés annoncent désormais des taux de fuite proches de 1 % en conditions optimales, bien en dessous des valeurs de référence de 3 à 3,5 % fixées par l'OMI ou l'Union européenne. En l'état actuel, malgré ses bénéfices sanitaires et les améliorations technologiques en cours, le GNL ne peut suffire à atteindre à lui seul les objectifs de neutralité carbone. Il doit rester

une solution transitoire, utile à court terme, mais appelée à être complétée par des carburants de synthèse véritablement neutres sur l'ensemble de leur cycle de vie.

Hydrogène : la fondation indispensable du mix de demain

Alors que s'estompent les illusions d'une solution unique, une évidence s'impose : la décarbonation du transport maritime passera, dans tous les scénarios plausibles, par des chaînes énergétiques bâties autour de l'hydrogène bas carbone. Ce vecteur énergétique irrigue l'ensemble des solutions durables : il peut être utilisé directement dans des piles à combustible ou dans des moteurs adaptés, ou transformé en carburants de synthèse comme le méthanol ou l'ammoniac. Comme pour certains segments de l'aéronautique, l'hydrogène n'est pas une alternative parmi d'autres, il en est le socle.

Sous forme gazeuse, il alimente déjà des piles à combustible à basse température, comme celles testées à bord d'Energy Observer depuis 2017. Propre, silencieuse, sans particules ni NO_x, cette solution convient à certaines navigations côtières ou fluviales. Mais ses limites (densité énergétique, compacité des réservoirs, logistique portuaire) restreignent encore son usage aux petits navires ou aux trajets à escales fréquentes.

L'hydrogène liquide offre une densité massique bien plus élevée, adaptée aux navires de plus grande taille ou à longue autonomie. Déjà utilisé dans l'aéronautique expérimentale ou certains ferries, il présente néanmoins des défis techniques liés à son stockage cryogénique à -253 °C : consommation énergétique pour la liquéfaction, gestion des pertes par évaporation, exigences de sécurité. C'est précisément l'axe qui sera exploré par le projet EO2, un cargo de 12 000 tonnes qui embarquera 42 tonnes d'hydrogène liquide et 4,8 MW de piles à combustible, avec une décarbonation attestée à 98 % (analyse well-to-wake). Ce projet, sélectionné parmi 85 propositions dans le cadre du Fonds pour l'Innovation de l'Union européenne, bénéficie d'un soutien de 40 millions d'euros pour démontrer l'intégration de cette technologie en conditions réelles, dans l'attente de sécuriser un affréteur alors que les premières solutions d'avitaillement en LH₂ commencent enfin à se structurer dans les ports européens

Comme le GNL, l'hydrogène soulève la question des émissions fugitives. S'il n'est pas un gaz à effet de serre direct, il peut perturber la dégradation du méthane en réagissant avec les radicaux hydroxyles (OH), essentiels à l'équilibre atmosphérique. Son potentiel de réchauffement global est aujourd'hui estimé autour de 9 à 12 sur 100 ans dans les travaux les plus prudents et peut atteindre, selon certaines modélisations plus pessimistes, l'ordre de 100 sur 100 ans si l'on agrège plusieurs effets indirects. Sa durée de vie atmosphérique reste toutefois de l'ordre de deux ans, contre une dizaine d'années pour le méthane et plusieurs siècles pour une part significative du CO₂. Ces effets sont donc à surveiller, avec des systèmes de détection et de réduction des fuites, mais ils ne remettent pas en cause l'avantage climatique d'un hydrogène renouvelable ou bas-carbone correctement maîtrisé, en particulier dans les usages maritimes les plus intensifs.

Méthanol : un carburant de synthèse qui interroge

Parmi les carburants de synthèse, le méthanol apparaît comme l'un des plus accessibles. Facile à stocker, liquide à température ambiante, compatible avec les infrastructures existantes, il séduit par sa simplicité d'usage et son potentiel de déploiement rapide. Plusieurs armateurs l'ont déjà intégré à leur stratégie et des navires propulsés au méthanol sont en service ou en construction. Le méthanol peut donc être un bon outil pour certaines grandes lignes transcontinentales ou pour des services réguliers, lorsque l'hydrogène direct est trop contraignant.

Mais cette apparente évidence repose sur des conditions strictes. Tout dépend de son origine. S'il est produit à partir de gaz naturel, ce qui est aujourd'hui majoritaire, son intérêt climatique est faible. Seul l'e-méthanol, issu de la combinaison d'hydrogène renouvelable et de CO₂ durablement capté, peut prétendre à un véritable bénéfice environnemental. Encore faut-il que le CO₂ provienne de sources compatibles avec la neutralité carbone (biogéniques, extraites de l'air, issues d'industries difficilement décarbonables) sans créer d'effet d'aubaine pour prolonger des activités fortement émettrices. Dans tous les cas, la disponibilité, la localisation et le coût du carbone capté restent des freins majeurs. À cela s'ajoutent des risques sanitaires et environnementaux : le méthanol est toxique, émet des particules fines à la combustion et demande des précautions de manipulation. Son rendement énergétique global reste inférieur à celui de l'hydrogène utilisé directement, en raison des pertes à chaque étape de transformation. Le méthanol peut avoir un rôle dans le futur mix maritime, mais à condition que sa production soit strictement encadrée, traçable et réservée aux cas où l'usage direct d'hydrogène est impossible. Faute de quoi, il pourrait devenir une nouvelle impasse technologique.

Ammoniac : un vecteur sans carbone, au potentiel exigeant

Parmi les carburants de synthèse issus de l'hydrogène bas carbone, l'ammoniac se distingue par une promesse unique : il ne contient aucun atome de carbone ; théoriquement, sa combustion n'émet donc pas de CO₂. Il offre une densité énergétique massique intéressante, s'appuie sur une molécule déjà produite à grande échelle et son principal ingrédient, l'azote, est disponible partout à bas coût. Cette option comporte toutefois des défis : en combustion directe, l'ammoniac est toxique, difficile à enflammer et peut générer des NO_x ainsi que des émissions particulières ; cela impose des systèmes de dépollution et des protocoles de sécurité exigeants.

C'est pourquoi Energy Observer retient pour EO3 (navire-laboratoire de la nouvelle expédition « En quête de la neutralité carbone », construction début 2026) une approche hybride : d'une part un moteur à combustion interne alimenté à l'ammoniac, avec post-traitement des émissions ; d'autre part une pile à combustible haute température alimentée par de l'hydrogène issu du craquage *in situ* de l'ammoniac. Le démonstrateur embarquera également une chaîne hydrogène-pile à combustible basse température (afin d'enrichir le retour d'expérience : rendements, profils d'émissions, maintenance, exploitabilité). EO3 testera ces voies en conditions marines réelles pour documenter les compromis techniques et opérationnels. L'ammoniac ne sera pas universel ; bien utilisé et correctement maîtrisé, il peut toutefois devenir l'un des piliers du futur mix énergétique maritime.

Diesel de synthèse : une compatibilité sans rupture, mais une efficacité relative

Certains acteurs misent sur le diesel de synthèse, issu de procédés XTL combinant hydrogène renouvelable et CO₂ capté. Proche du gazole fossile, ce carburant offre une compatibilité immédiate avec les moteurs et infrastructures existants. Il permettrait un déploiement sans adaptation majeure de la flotte ou des ports, notamment sur des segments isolés ou difficiles à électrifier. Cette simplicité a un coût : le rendement global est bien inférieur à celui de l'hydrogène utilisé directement et la production est très énergivore. Son usage ne se justifie que dans des cas spécifiques, à condition d'un approvisionnement rigoureux et durable. Son coût reste pour l'instant élevé.

Stabiliser pour transformer

Hydrogène direct, méthanol, ammoniac, diesel synthétique : toutes les solutions bas carbone reposent sur un même fondement, un hydrogène décarboné disponible à grande échelle. Celui-ci peut être produit par électrolyse à partir d'énergies renouvelables ou d'électricité décarbonée, y

compris nucléaire. Le reformage du gaz avec captation du CO₂ peut jouer un rôle, sous réserve de garanties environnementales strictes. À plus long terme, d'autres pistes comme l'hydrogène « naturel », encore en cours d'étude de viabilité technique et économique, pourraient compléter le mix.

Ce n'est pas une question de couleur, mais de cohérence et d'empreinte carbone. Chaque filière doit être évaluée selon sa capacité à décarboner massivement, sa soutenabilité, son acceptabilité sociale et sa compatibilité avec nos objectifs industriels et climatiques. Cela inclut des solutions aujourd'hui émergentes, mais qui pourraient jouer un rôle croissant demain, comme la propulsion nucléaire civile.

Ce choix n'est pas seulement technologique. Il est stratégique, énergétique et géopolitique. Mais pour transformer l'essai, il faut déclencher la spirale vertueuse de la massification. Plus les volumes augmenteront, plus les coûts baisseront, et plus les alternatives bas carbone deviendront compétitives. Selon l'Agence internationale de l'énergie, le coût de production de l'hydrogène à faibles émissions reste aujourd'hui largement supérieur à celui des solutions fossiles conventionnelles. Mais l'AIE souligne que cet écart pourrait significativement se réduire d'ici 2030 dans certaines régions à fort potentiel renouvelable, comme l'Australie, le Moyen-Orient, l'Afrique ou l'Amérique latine, à condition de bénéficier d'un cadre politique stable et d'investissements massifs dans les infrastructures.

Cela suppose un engagement collectif : des armateurs et affréteurs dans leurs choix d'investissement, des chargeurs dans leurs exigences de transport, des pouvoirs publics dans leur régulation et leur soutien, et des consommateurs dans leurs arbitrages. C'est à cette condition que les solutions innovantes franchiront le cap du démonstrateur vers la norme industrielle.

Dans cette course mondiale, même si la dynamique s'amorce un peu partout, ce sont les puissances asiatiques comme la Chine, le Japon ou la Corée du Sud qui avancent le plus vite, avec des stratégies industrielles coordonnées, des partenariats public-privé ambitieux et une capacité d'exécution impressionnante.

Nous n'avons plus le luxe d'attendre ou d'hésiter. L'Europe doit rester unie, ambitieuse et offensive. Elle dispose d'atouts industriels, scientifiques et réglementaires solides. Mais pour tenir le rythme, elle doit agir avec une vision commune, une volonté politique forte et un soutien stable aux projets structurants. Trop souvent, les calendriers sont repoussés, les dispositifs tardent à se déployer et les clauses de revoyure entretiennent une forme d'incertitude qui nourrit l'attentisme. À cela s'ajoute une exigence immédiate de résultats : retards, dépassements ou surcoûts sont perçus comme des échecs, alors qu'ils sont inhérents à l'innovation. Cette instabilité fragilise les pionniers et freine les investissements. Ce n'est pas l'innovation qui échoue, mais l'absence d'un cap clair et d'un cadre durable.

L'hydrogène, comme toutes les grandes vagues énergétiques antérieures, demande du temps, de la rigueur, une logistique nouvelle. Mais il est la condition d'une transition profonde et maîtrisable. Il faut être constant, exigeant et solidaire pour structurer cette filière, c'est la clef de la résilience qui a fait notre industrie nucléaire, celle du GNL et les succès actuels des industries renouvelables. Cela passe aussi par la formation des marins, ingénieurs et techniciens, sans laquelle aucune transition ne tiendra dans la durée. Cela suppose des signaux durables, une ambition politique transpartisane et une mobilisation collective autour des projets à fort impact. La transition énergétique maritime est un défi stratégique. Elle ne se décrète pas. Elle se construit. Et, plus que jamais, elle doit s'accélérer.

Tribune co-signée également par :

- Laurent Antoni, directeur exécutif de l'IPHE (International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy)
- Louis Blanchard, président de Qair
- Philippe Boucly, président de France Hydrogène
- Pierre-Étienne Franc, co-fondateur et directeur général d'Hy24
- Florence Lambert, PDG de Genvia, ancienne directrice du CEA Liten

Liste des sources :

1. Part des émissions maritimes mondiales (3 %) – IMO, Global Maritime Forum
2. Objectifs de l'OMI (neutralité 2050, jalons 2030/2040) – IMO GHG Strategy 2023
3. Comparaison des volumes de stockage énergétique – DNV, IEA
4. Réduction de consommation avec propulsion vélique (10-35 %, 80 %) – IWSA, ADEME
5. Capacité réelle des biocarburants à couvrir 10 % des besoins – IEA, Transport & Environment
6. Réduction CO₂ du GNL (jusqu'à 23 %) – IEA, ICCT, DNV GHG Pathway
7. Taux de methane slip (1 %, 3-3,5 %) – IMO, motoristes (MAN Energy, etc.)
8. PRG de l'hydrogène, durée de vie atmosphérique – Publications PNNL, Nature
9. Données EO2 (42 t LH₂, 4,8 MW, 40 M€) – Dossier Innovation Fund UE 2024
10. Prévisions AIE sur le prix de l'hydrogène vert – Rapport AIE 2025