

Décarbonation du maritime, quelles avancées?

Le transport maritime est un important émetteur de gaz à effet de serre (GES). Les émissions annuelles de GES du transport maritime ont augmenté de 9,6% en 2018 par rapport à 2012. En 2018, le secteur a émis 1 076 Mt d'émissions de GES (en dioxyde de carbone équivalent, CO₂e). C'est à peu près l'équivalent des émissions annuelles de carbone du Japon. Cela représentait 2,89% du total des émissions anthropiques mondiales de CO₂. Le transport maritime est également l'un des principaux facilitateurs de l'utilisation continue des énergies fossiles. Les transports de combustibles fossiles représentent environ un tiers des volumes du transport maritime (11 % de charbon, 16 % de pétrole brut et 5 % de gaz). En outre, il a permis aux économies développées d'externaliser la fabrication dans les pays en développement, poussant ainsi une part importante de leurs émissions dans ces pays. L'organisation maritime internationale (OMI) estime que les émissions de CO₂ du transport maritime pourraient augmenter de 50% d'ici 2050 par rapport à 2008 selon les hypothèses de croissance du commerce. Quelles sont les incitations et leviers d'actions afin que le shipping converge vers la neutralité carbone ?

Une volonté encore trop timorée de l'OMI

L'OMI est l'organisation internationale chargée d'élaborer des réglementations internationales pour le secteur du transport maritime. Cela comprend des mesures visant à réduire les émissions de GES provenant du transport maritime international. Un des instruments juridiques à la disposition de l'OMI est la Convention internationale pour la prévention des Pollutions par les navires (MARPOL), adoptée en 1973 et amendée plusieurs fois depuis. L'annexe VI traite spécifiquement de la pollution de l'air par les navires. La "Initial IMO GHG Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships", adoptée en 2018, définit la direction vers la décarbonation du transport maritime international.

L'ambition est de réduire les émissions annuelles totales de GES d'au moins 50 % en 2050 par rapport à 2008. Ainsi qu'une réduction de 40% de l'intensité carbone de la flotte mondiale à l'horizon 2030 par rapport à 2008. La stratégie initiale de l'OMI fournit un calendrier pour trois types de mesures : court, moyen et long termes.

Les mesures mondiales actuelles visent à améliorer l'efficacité énergétique des navires. Depuis 2015, tous les navires nouvellement livrés doivent respecter une norme minimale d'efficacité énergétique de conception en fonction du type de navire et de sa taille, l'indice d'efficacité énergétique de conception (EEDI). Dans le même temps, l'OMI a également introduit un mécanisme pour améliorer l'efficacité énergétique des navires, le *Ship Energy Efficiency Management Plan* (SEEMP), via un indicateur opérationnel d'efficacité énergétique (EEOI) comme outil de surveillance.

Ces mesures s'appliquent à la fois aux nouveaux navires et à ceux déjà en service. Le but visé est une exploitation économe en carburant (optimisation des routes et de la vitesse, nouvelle hélice, récupération de la chaleur perdue...). Cependant, les impacts en matière de réduction des émissions sont assez limités.

Depuis l'adoption de la stratégie initiale de l'OMI en 2018, d'autres mesures ont été adoptées. Les facteurs de réduction sont devenus plus stricts. Les membres de l'OMI se sont mis d'accord sur deux mesures supplémentaires en 2021 : l'efficacité énergétique des navires existants (EEXI volet technique portant sur les caractéristiques du navire) et l'Indicateur d'Intensité Carbone (CII volet opérationnel sur l'exploitation du navire).

L'EEXI est une exigence technique qui vise à améliorer l'efficacité énergétique des navires existants en service (>400 GT). Le CII consiste en un ensemble de bilans carbonés opérationnels (navires > 5 000 GT). L'idée de la mesure, est que les navires sont évalués en fonction de leur intensité carbone sur une échelle de A à E : A étant la meilleure note et E la moins bonne. Si un navire est classé D ou E pendant trois années consécutives, ses propriétaires doivent soumettre un plan d'action pour améliorer la notation à au moins C. Administrations, autorités portuaires et autres parties prenantes peuvent fournir des incitations positives aux navires classés A ou B. Les mesures EEXI et CII seront probablement insuffisantes pour atteindre les niveaux d'ambition de la stratégie initiale de l'OMI. Il est peu probable qu'elles réduisent les émissions annuelles totales de GES d'au moins 50 % d'ici 2050, par rapport à 2008.

Un deuxième train de mesures dites de moyen /long termes est en cours de négociations et sera discuté lors du Comité de protection du milieu marin (MEPC 80) de l'OMI qui se tiendra en juillet 2023.

L'année sera cruciale pour la définition d'objectifs de décarbonation plus stricts que ceux initialement définis en 2018. Des mesures techniques (une norme d'intensité carbone des carburants par exemple) et économiques sont à l'étude. Les travaux de l'OMI sont stimulés par ceux de l'Union Européenne (UE), qui au travers du Pacte vert européen (*Green Deal*) souhaite faire de l'Europe le premier continent neutre en carbone d'ici 2050.

L'UE prescripteur environnemental du shipping

Le pacte vert européen a pour objectif intermédiaire à 2030, de réduire les émissions de GES de 55 % par rapport aux niveaux de 1990 grâce au paquet *Fit for 55* (juillet 2021). Plusieurs dispositifs réglementaires font l'objet de discussions. Cinq des propositions *Fit for 55* ont un impact sur les émissions de CO₂ du transport maritime :

- L'inclusion du transport maritime dans le système européen d'échange de quotas d'émission (ETS).

Les émissions de GES des navires (>5000 GT discussion en cours pour abaisser ce seuil) faisant escale dans les

ports de l'UE commenceraient à être tarifées avec une période de transition entre 2025 et 2027 (incluant les émissions de méthane et de protoxyde d'azote dès 2026). Les navires qui ne s'y conformeraient pas, pourraient être retenus ou se voir refuser l'entrée dans les ports¹.

- Un nouveau règlement sur les carburants maritimes durables, appelé *Fuel EU Maritime* propose d'introduire des objectifs moyens annuels pour l'intensité de GES de l'énergie utilisée par les navires (>5000 GT). Ces réductions commenceraient en 2025 avec une amélioration de 2% par rapport à une référence de 2020. Les exigences deviendraient de plus en plus strictes au fil du temps, avec une amélioration de 6% requise en 2030, pour aboutir à 80% en 2050. Cette norme de carburant s'appliquerait à 100% de l'énergie sur les trajets entre les ports de l'UE et à 50% de l'énergie pour les voyages entre les ports de l'UE et les ports hors UE. Les députés fixent en outre un objectif de 2% d'utilisation de carburant renouvelable à partir de 2034.

- Les porte-conteneurs et les navires à passagers seront tenus à partir de 2030 d'utiliser l'alimentation électrique à quai. Cette obligation s'appliquera à l'ensemble des ports européens d'ici 2035. Des exceptions pourront cependant s'appliquer.

- Une directive révisée sur la taxation de l'énergie vise à mettre fin aux exonérations fiscales pour les carburants marins conventionnels et encourage l'adoption d'alternatives.

- Une directive révisée sur les énergies renouvelables (RED III) qui établit le nouvel objectif à l'échelle de l'UE d'une part d'au moins 42,5% de l'énergie provenant de sources renouvelables d'ici 2030² et un nouvel objectif de réduction d'intensité de GES d'au moins 14,5% d'ici 2030 dans le secteur des transports, y compris le transport maritime. Reste aux acteurs du transport maritime à trouver les solutions pour atteindre ces objectifs.

La décarbonation, un enjeu géopolitique

Fait marquant de ce début d'année une volonté de la part de l'UE de "bâtir la souveraineté énergétique" en accélérant le développement des énergies vertes, avec le projet de règlement de la Commission européenne le "*Net zero industry act*".

L'objectif est que d'ici 2030, 40% des besoins de l'UE en "technologies propres" soient couverts par des capacités industrielles européennes. Ce projet est une réponse aux concurrences chinoises et étasuniennes qui mettent en place (et cela ne date pas d'hier) des mesures protectionnistes avec des aides d'État et des baisses d'impôts massives aux entreprises implantées sur leur sol. L'*Inflation Reduction Act (IRA)* de l'administration Biden, prévoit un investissement de 370 Mds\$ dans les technologies vertes, les énergies renouvelables, les transports et les économies d'énergies. Le message est "*Made in USA*" et qu'importe si cela contrevient aux règles de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC).

L'UE a quant à elle réaffirmé son attachement aux accords de libre-échange et au respect des règles de l'OMC. La libéralisation du recours aux aides publiques contrevient au

marché intérieur européen. Sa stratégie n'est pas celle des baisses d'impôts, ni des aides d'Etat, mais de la hausse des taxes sur l'énergie, de l'extension du marché des quotas d'émission à certains secteurs (transport routier, maritime, aviation, bâtiment), ainsi qu'un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières. Pour autant des plans de financement existent au sein de l'Union, avec *REPowerEU* et ses 250 Mds€, initialement prévus pour pallier les hydrocarbures russes, ainsi que les 225 Mds€ du plan de relance et de résilience pendant la crise du Covid 19.

Le "*Net zero industry act*" sera amendé dans les prochains mois par les États membres et les eurodéputés. Parmi les technologies vertes visées par le texte européen : les éoliennes, les panneaux solaires, l'hydrogène renouvelable, le stockage de CO₂, les électrolyseurs et piles à combustible, biogaz / biométhane pour ce qui concerne le secteur maritime. Contrairement à l'OMI qui applique un principe de neutralité technologique, et compte sur le marché pour faire des arbitrages, l'UE a réalisé une classification des activités favorables à l'environnement via sa taxonomie. A noter que le gaz et le nucléaire font partie des possibles. Quoi qu'il en soit l'objectif de la neutralité carbone d'ici 2050 coûtera très cher. Une étude du Det Norske Veritas (DNV) sur la projection d'une économie maritime neutre en carbone d'ici à 2050, estime que les investissements pour les navires s'échelonneront, selon les scénarios, entre 8 et 28 Mds\$ chaque année. Pour les infrastructures terrestres (production, distribution) cela représente 28-90 Mds\$ / an.

Les carburants alternatifs (toujours) un océan de possibilité

Il existe plusieurs postes où le gain environnemental peut être trouvé, à savoir la logistique (réduction de la vitesse, choix de l'itinéraire), l'hydrodynamisme (optimisation de la forme de la carène, système de lubrification de l'air, antifouling...) optimisation des moteurs (système de récupération de chaleur), le choix du carburant utilisé et enfin le traitement des fumées via notamment le *carbon capture*. Parmi ces cinq postes de réduction des émissions de GES qui peuvent être actionnés en simultanément, le choix du carburant est celui qui permet le gain environnemental le plus important. Les armateurs doivent utiliser des carburants à faible émission voir neutres en carbone. Ils peuvent également opter pour des "carburants bleus" qui sont des carburants conventionnels couplés avec la technologie du *carbon capture*. Sa pertinence dépendra de l'efficacité du captage du carbone ainsi que des infrastructures de stockage permanent du carbone capté et/ou de son utilisation.

La question principale est celle de la disponibilité en énergie renouvelable (électricité décarbonée, biomasse) pour produire des électrocarburants (e-MGO, e-LNG, eNH₃, e-méthanol) ou des biocarburants (bio-MGO, Bio-LNG, Bio-méthanol). Ce qui suppose en amont la suppression progressive de l'énergie fossile pour produire de l'électricité. Tous ces possibles engendrent de la complexité dans la prise de décision d'investissement.

¹ Début 2018, les quotas d'émission étaient négociés à 8€ / TCO₂, en mars 2022, le prix est passé à 80-90 € / TCO₂ et devrait encore augmenter au gré de l'offre et la demande.

² Récemment l'UE a intégré le nucléaire dans sa taxonomie énergétique. Nucléaire qui ne fait pas l'unanimité au sein des 27 États membres.

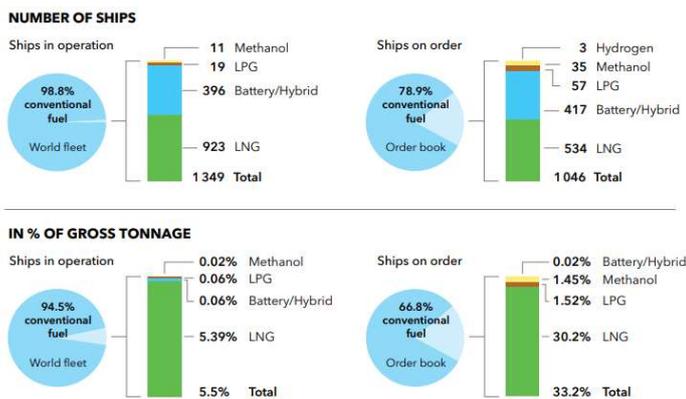
D'autres obstacles demeurent ; un investissement en capital fort, une absence de disponibilité, un manque d'infrastructure mondiale pour le soutage, le prix de ces carburants, la demande d'espace supplémentaire de stockage.

La sécurité est également une préoccupation majeure, avec parfois une absence de règles et de réglementations prescriptives compliquant la mise en œuvre de la technologie requise à bord.

L'applicabilité technique et la viabilité commerciale des carburants alternatifs varient considérablement selon les types de navires. Notons que la plupart des navires utilisant des carburants alternatifs peuvent également naviguer avec du fioul conventionnel.

Selon une étude du DNV en 2022, en termes de tonnage brut (GT), 5,5% de navires en exploitation et 33% de ceux en commande pouvaient opérer avec des carburants alternatifs (dont les méthaniers). Reporté aux nombres de navires, cela représente 1,1% de la flotte actuelle et 21% de celle en commande. Le GNL tient le haut du podium. Sur les 923 navires en opération au GNL, il y a 630 méthaniers et 293 navires d'un autre type.

Alternative fuel uptake in the world fleet by number of ships and gross tonnage, Source DNV 2022



Le Gaz Naturel Liquéfié (GNL), qui est un carburant marin fossile, est plébiscité par nombre d'armateurs, notamment pour les rouliers et les porte-conteneurs. Le short-sea, a été le premier à utiliser le GNL comme carburant marin. Pour les ferries, la tendance est celle de l'électrification tandis que d'autres se tournent vers la technologie de l'hydrogène et des piles à combustible pour augmenter leur autonomie. Il présente l'avantage d'être disponible à l'échelle mondiale, contrairement à la majorité des autres carburants alternatifs. Avec une performance de réduction de 20 à 25% des émissions de CO₂ et une quasi absence de SO_x, de NO_x et de particules fines. La filière est bien structurée. La liquéfaction du gaz naturel est obtenue en le refroidissant à une température de -162°C (à pression atmosphérique). Le stockage du GNL prend deux fois plus de place que le fioul lourd.

Lors du processus de combustion du moteur, le phénomène de "fuite de méthane" apparait. Une partie du carburant n'est pas brûlée et s'échappe dans l'atmosphère. Le méthane principal composant du GNL, dure moins

longtemps dans l'atmosphère que le CO₂ mais son impact en tant que GES est 80 fois plus important sur une période de 20 ans. C'est le deuxième contributeur direct au réchauffement climatique. Les constructeurs commencent tout juste à mesurer ce phénomène, afin d'en déterminer la provenance et en quelle quantité. Hitachi Zosen Corporation (Hitachi Zosen), Mitsui O.S.K. Lines, Ltd. (MOL) et Yanmar Power Technology Co., Ltd. (YPT) travaillent sur un projet de recherche visant à réduire de 70% d'ici 2026 les fuites de méthane des navires alimentés au GNL.

Le méthanol (CH₃OH), est un produit chimique, toxique et corrosif largement utilisé dans l'industrie. Il est produit à partir de gaz naturel ou de charbon, mais peut être aussi issu de sources renouvelables (hydrogène, CO₂ recyclé, biomasse, déchets agricoles, bois). L'utilisation du méthanol élimine les émissions de SO_x et réduit les particules fines, tandis que les émissions de NO_x dépendent de la technologie utilisée. Il peut être stocké dans des réservoirs de carburant standard, il est liquide à température ambiante. Il est relativement plus facile à stocker et à manipuler que les carburants cryogéniques. Avantage non négligeable, il est possible de l'utiliser dans les moteurs conventionnels. Les coûts d'infrastructures sont donc plus modestes. La masse énergétique du méthanol est environ deux fois moins élevée que celle du fioul lourd, mais il est plus dense en énergie que l'ammoniac et l'hydrogène. Le besoin de stockage à bord sera plus important et celui de soutage fréquent. Il est facilement disponible dans les ports (141 ports), l'avitaillement par camion est également possible. Le risque d'incendie est prégnant avec un point d'éclair en dessous des 60 C°, ce qui nécessite des mesures de prévention des incendies supplémentaires lors de la manipulation et du stockage.

Le méthanol, était auparavant un choix dédié exclusivement aux pétroliers pour le commerce du méthanol, avec 11 navires en opération et 14 nouveaux pétroliers en commande. En 2022, 21 porte-conteneurs au méthanol ont été commandés.

Les biocarburants de première génération ou conventionnels³ sont une source de carburant largement développée pour le transport terrestre. Ils sont compatibles avec les moteurs marins modernes et peuvent être utilisés en toute sécurité à bord des navires. Cependant, ils entrent en concurrence directe avec la chaîne alimentaire, ce qui entraîne mécaniquement une augmentation des prix des produits agricoles.

Par ailleurs, le caractère pérenne de la production des agrocarburants peut être mis à mal, si elle est réalisée de manière non durable : épuisement des sols, pollution des eaux et destruction de milieux naturels.

L'Agence Internationale de l'Energie (AIE) estime que les biocarburants pourraient fournir jusqu'à 27% du carburant utilisé dans les transports dans le monde en 2050. La position des biocarburants dans le futur champ énergétique va principalement être conditionnée par le développement de la deuxième génération de

³ Un biocarburant est un carburant liquide ou gazeux créé à partir de la transformation de matériaux organiques non fossiles issus de la biomasse,

par exemple des matières végétales produites par l'agriculture (betterave, blé, maïs, colza, tournesol, pomme de terre, etc.).

biocarburants. Cette dernière n'interfère pas dans la production alimentaire, elle exploite les matières cellulosiques telles que le bois, les feuilles et les tiges des plantes ou celles issues de déchets. Elle n'est pas encore déployée au stade industriel mais des perspectives de mise en application à moyen terme se dessinent. Leur production à grande échelle est prévue à l'horizon 2020-2030.

L'ammoniac (NH₃) est généralement créé en extrayant l'hydrogène des hydrocarbures et en le combinant avec de l'azote extrait de l'air liquéfié. Dans les conditions ambiantes c'est un gaz incolore avec une odeur piquante caractéristique. Il est actuellement produit à partir de gaz naturel mais il existe un potentiel de captage du carbone pour réduire l'empreinte des émissions (ammoniac bleu) ou de le produire à partir de sources renouvelables (ammoniac vert). La chaîne d'approvisionnement doit être créée d'autant plus facilement que l'ammoniac est déjà une marchandise transportée par voie maritime. L'ammoniac est une molécule à la fois toxique à faible concentration et corrosive. C'est un combustible qui présente plusieurs défis de sécurité. Sa combustion doit être contrôlée pour minimiser les émissions de protoxyde d'azote (N₂O), un gaz avec 273 fois le potentiel de réchauffement global du CO₂. Sa densité énergétique est également faible environ trois fois moins que les fiouls conventionnels, ce qui réduit considérablement l'espace à bord pour le transport de marchandises. Il existe des études pilotes, mais le verrou technologique est encore aujourd'hui trop important.

L'hydrogène (H₂) est un vecteur d'énergie sans carbone lorsqu'il est produit à partir d'électricité renouvelable, et est déjà testé à bord des bateaux de navigation intérieure. L'hydrogène est à la fois un explosif et une molécule hautement inflammable. Sa faible densité volumétrique obligera les navires à stocker une quantité importante à bord. Il doit être stocké en utilisant une technologie cryogénique à très basse température (-253°C) ou dans des conditions de très haute pression (>250 bar). Contenu de sa faible densité énergétique l'hydrogène est plus adapté au short-sea qu'aux navires hauturiers.

L'UE souhaite devenir le hub mondial de l'hydrogène vert. Une nouvelle institution publique, la Banque européenne de l'hydrogène, dotée de 3 Mds € de financement devrait voir le jour. Elle lancera ses premières enchères pilotes pour la production d'hydrogène renouvelable dans le cadre du Fonds pour l'innovation, à l'automne 2023. Le mode opératoire est encore flou à ce stade.

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) dans une fiche technique "Rendement de la chaîne hydrogène, cas du Power to H₂ to Power" (2020) dresse un état des rendements estimés de différents équipements (électrolyseur, compresseur, pile à combustible) pour évaluer le rendement global de la chaîne ". Cette cascade de transformations se traduit, par une dégradation du potentiel énergétique, et un rendement de la source électrique à l'usage de l'ordre de 25%, voire 30% avec les meilleurs équipements actuels. L'Ademe souligne que le stockage électrochimique par accumulateurs ou batteries présente un rendement bien meilleur (de l'ordre de 70% selon l'agence).

L'e-méthane, consiste à transformer de l'électricité en hydrogène par électrolyse de l'eau (ce qui permet entre autres de stocker de l'électricité lorsqu'elle est excédentaire sur le réseau par rapport à la demande). En février 2020, le démonstrateur Jupiter 1000 avait injecté pour la première fois sur le réseau gazier de l'hydrogène produit par "Power to gas" à partir d'électricité d'origine renouvelable, la famille des e-carburants.

Une autre installation sur le site de Jupiter 1000 vient d'être mise en service afin de produire quant à elle un gaz de synthèse ou "e-méthane" par "méthanation", procédé qui "consiste à mélanger de l'hydrogène vert et du CO₂ recyclé". Ledit gaz de synthèse peut être injecté directement dans les réseaux gaziers, "ne nécessite pas la construction de nouvelles infrastructures de transport et permet de diviser en moyenne par deux les rejets de GES dans l'atmosphère" par rapport au gaz naturel, souligne GRTgaz.

Le nucléaire est le seul substitut qui présente la même densité énergétique que le pétrole. Les petits réacteurs modulaires (SMR) utilisant la technologie des réacteurs à sel suscite un regain d'intérêt. De nouvelles technologies de réacteurs doivent d'abord être développées et exploitées à terre avant une exploitation à bord, afin d'accumuler de l'expérience et ainsi de mieux maîtriser les risques et les coûts. Pour que la propulsion nucléaire soit adoptée de manière significative dans le transport maritime, l'acceptabilité sociétale devra être au rendez-vous.

L'usage du vent en tant que propulsion principale ou auxiliaire (hybridation des propulsions) des navires de commerce revient en force. Énergie inépuisable, sûre et gratuite couplée à des systèmes de routages météo, elle présente de nombreux avantages. Elle utilise une énergie primaire sans système de transformations complexes (énergie primaire, conversion en électricité, transport, conversion en carburant de synthèse, transport, combustion) bien souvent subventionnée et où chaque étape de production entame le rendement énergétique final. Enfin, au regard du panel de solutions, ces technologies peuvent équiper aussi bien des navires neufs qu'être installées en retrofit. La propulsion vélique est une des rares technologies offrant potentiellement des économies de carburant à deux chiffres dès aujourd'hui. Son usage ne fait pas concurrence à d'autres secteurs.

Il n'y a pas de solution miracle, la décarbonation du transport maritime nécessite des ressources énergétiques majeures pour produire des carburants propres, une plus grande efficacité énergétique et une amélioration de la logistique. L'incertitude sur le prix et la disponibilité des sources d'énergie signifient que la flexibilité du carburant et les solutions *Fuel Ready*, restent des stratégies clés pour atténuer le risque d'investir dans des actifs bloqués. Le défi climatique, est à l'évidence un énorme challenge énergétique mais qui ne manque d'initiatives.

Camille VALERO