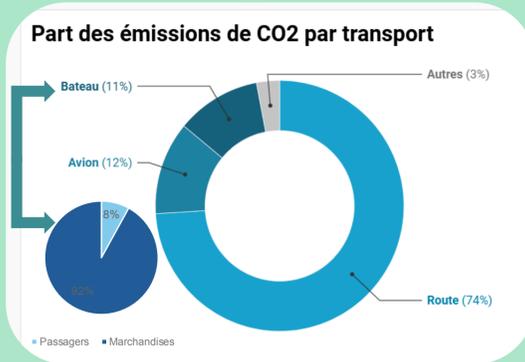


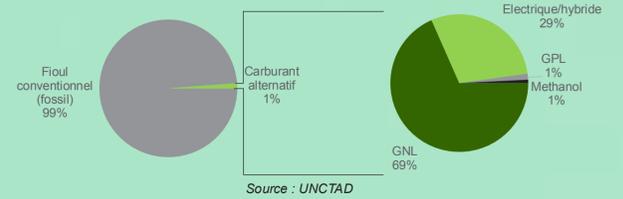
Le transport maritime en quelques chiffres

- 95 000** Nombre de navires de commerce dans le monde
- 3%** des émissions de CO₂ mondiales
- 1 Md de T** de CO₂ émis en 2018
- 99%** Part des énergies fossiles pour le secteur maritime
- 80 à 90%** du transport international
- 70%** des émissions de CO₂ du transport national

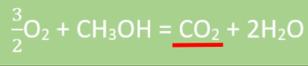


Objectif de l'OMI : (Organisation maritime Internationale)

diviser par deux l'empreinte carbone du secteur maritime d'ici 2050



Le méthanol

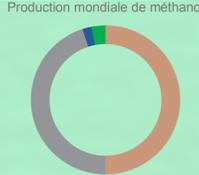


Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Possibilité de le produire de façon durable (bio-méthanol et e-méthanol) Moins nocif pour l'environnement que le fuel lourd (aucun NO_x, peu de SO_x, neutre en CO₂) Utilisable sous forme liquide donc facilement stockable → usage possible dans le transport de passagers Possibilité de l'utiliser comme additif dans un moteur classique (drop-in fuel) 	<ul style="list-style-type: none"> Actuellement fabriqué à 90% grâce aux énergies fossiles Densité énergétique faible (15,6MJ/L) Beaucoup plus inflammable que le fioul donc risque d'incendie Les flammes de combustion sont invisibles à l'œil nu 145\$-290\$/kWh (production e-méthanol) → 3 à 6 fois plus cher que du GNL

Méthanol marron
➢ Charbon

Méthanol bleu
➢ Capture de CO₂ dans l'atmosphère et gaz naturel

Méthanol vert
➢ Bio-méthanol pour biomasse
➢ E-méthanol pour H₂ vert et capture de CO₂



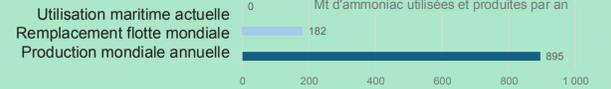
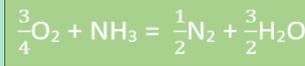
Méthanol gris
➢ Gaz naturel

Infrastructures à adapter

- Aménagements de moteurs (**total** ou **hybride fioul**, dont la **conversion** coûte environ **11% du prix total** d'un transporteur et +15% si hybride)
- Stockages spécifiques sur bateau : prévoir **2,5 fois plus d'espace** par rapport à un stockage de fioul classique
- La **capture de CO₂** dans l'**atmosphère** pour la production de e-méthanol nécessite des **aménagements** supplémentaires, on peut également le capturer en sortie de combustion pour **éviter** la récupération en atmosphère
- 25 à 35% moins cher d'adapter un bateau pour méthanol que pour GNL
- Des porte-conteneurs au méthanol **existent** (Maersk), et la tendance est à la **hausse**



L'ammoniac

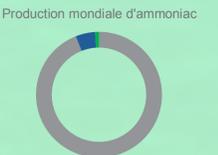


Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Pas d'émission de CO₂ Pas d'émissions de SO_x Possibilité de l'utiliser comme dans un moteur avec de l'hydrogène Habitude de travailler avec l'ammoniac donc plus facile à manipuler et étudier Peut être utilisé dans un moteur ou dans une pile à combustible (sans émission) Stockage liquide, mieux que le gaz 	<ul style="list-style-type: none"> Actuellement, fabriqué à 94% à partir d'énergies fossiles Production élevée de NO_x Produit toxique et corrosif → peu d'usage pour le transport de passagers Liquide à -33° C donc difficile à stocker et densité énergétique faible (11,5MJ/L) 143\$-219\$/kWh (production e-ammoniac) → 3 à 4 fois plus cher que du GNL, difficile de faire baisser les coûts Pas de drop-in fuel

Ammoniac gris
➢ Reformage méthane

Ammoniac bleu
➢ Capture de CO₂ et gaz naturel

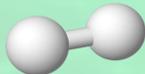
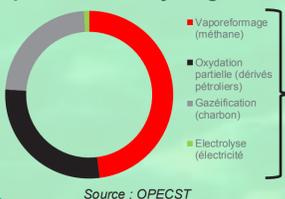
Ammoniac vert
➢ E-ammoniac pour électrolyse avec H₂ vert et capture de CO₂



Infrastructures à adapter

- Nouveau type de moteur (**pas hybride fioul**) : traitement des émissions de NO_x, système d'allumage plus puissant, changement du système d'injection (la conversion coûte environ **16% du prix total d'un transporteur** et +22% si hybride)
- Stockage complexe : **2 fois plus d'espace** par rapport au fioul maritime, et besoin de le **refroidir** à -33° C (plus chers que pour le méthanol) → mesures de **sécurité**
- Infrastructure **portuaire** d'approvisionnement à changer
- Aucun porte-conteneur à l'ammoniac**, production à lancer

Répartition des modes de production d'hydrogène



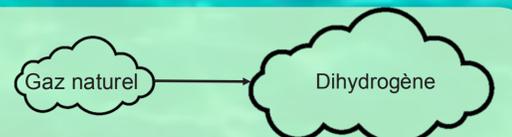
Le dihydrogène : un acteur de fond

Le **dihydrogène** reste une alternative à considérer pour **décarboner le secteur maritime**. Bien qu'il puisse être vert dans certaines conditions, trois problèmes principaux subsistent :

- principalement produit à partir d'**énergies fossiles**
- faible énergie volumique**
- très inflammable donc dangereux

Difficile à stocker/transporter

Néanmoins, le **dihydrogène est utilisé pour fabriquer de l'ammoniac et le méthanol**, donc il reste nécessaire d'en fabriquer en amont pour effectuer une transition énergétique.



Pour une **même quantité d'énergie**, volume **trois fois supérieur** dans les mêmes conditions et volume **8 fois supérieur** pour un carburant fossile



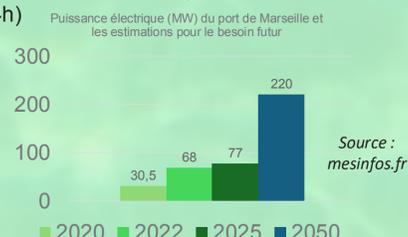
Les batteries

Une autre option viable pour faire des trajets plus courts ou par escales.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Pas d'émission directe par combustion (CO₂) Peu chère en production d'électricité Possibilité de changer les batteries à quai Sujet des batteries et moteur électriques connus Très bon rendement énergétique comparé à la combustion Batteries recyclables 	<ul style="list-style-type: none"> Besoin de métaux rares, accolé à la production de voiture électrique Moins de place pour les conteneurs Consommation d'électricité élevée Trajets courts (autonomie de 1500 à 5000km) et petits bateaux Poids élevé

➢ Pas de CO₂ direct, mais nécessite une production d'électricité la plus **verte** possible : retourne au cas du e-méthanol et e-ammoniac

➢ **Electrification** des infrastructures portuaires pour permettre des recharges >100MW (220MW pour recharger un porte-conteneur en 24h)



Les possibilités



Semble être une bonne solution de **transition** (court-terme) grâce au **drop-in fuel** et aux **faibles coûts/aménagements** de stockage. En termes d'émissions il reste toujours du **CO₂ qui est produit**.



Solution viable, qui permettra d'**éviter** toute production de **CO₂** qui reste la priorité en termes d'émission, mais qui reste **chère** et **technique**.



Possibilité intéressante, notamment en **facilité** et en **émission 0**, mais qui nécessite des **métaux rares**.

Mais toutes ces possibilités convergent toutes vers le **même besoin** : la **nécessité de produire du H₂ vert**, lui-même issu d'**électricité verte**. Étant donné les **besoins de production colossaux** de chacune de ces énergies, le futur proche se résumerait à envisager une utilisation **complémentaire** de ces différentes possibilités. Une solution se basant sur une **diversité énergétique** du secteur semble être la plus plausible.

Sources :

Batteries : <https://www.nature.com/articles/s41560-022-01065-y>
IRENA : <https://www.irena.org/Publications/2021/Oct/A-Pathway-to-Decarbonise-the-Shipping-Sector-by-2050>
Décarbonation : <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/4/415>

