

La Transition énergétique dans le Transport Maritime où en sommes-nous ?



I) Le contexte des émissions mondiales du Transport Maritime

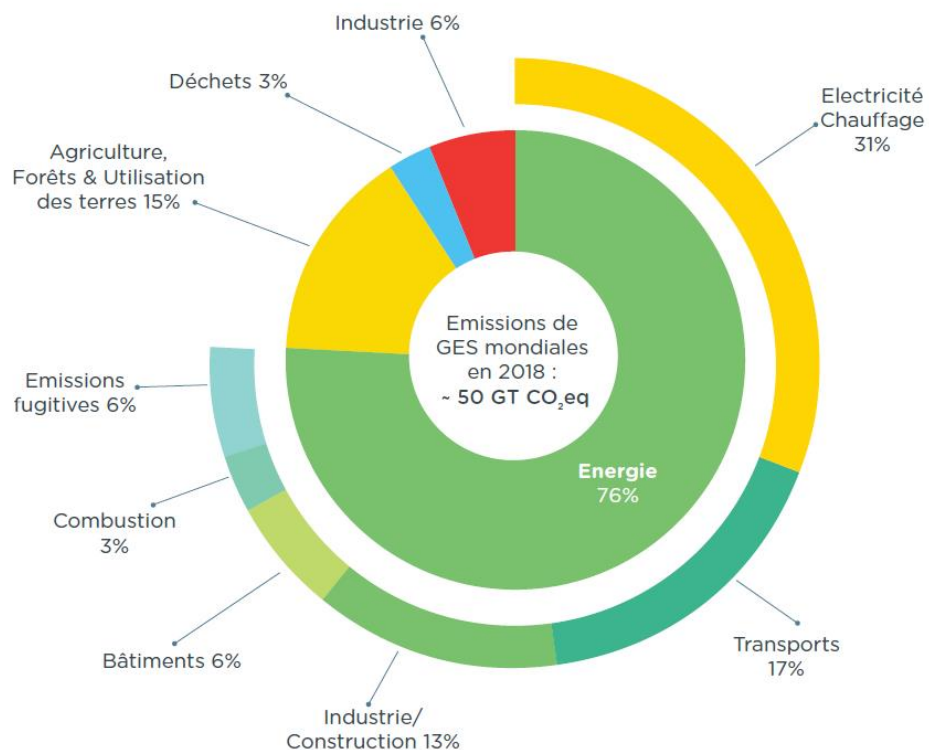
II) L'amélioration de la performance énergétique des navires

III) Les carburants marins bas carbone ou zéro carbone

LES EMISSIONS MONDIALES DE GAZ À EFFET DE SERRE DU TRANSPORT MARITIME

LA SITUATION ACTUELLE

Emissions mondiales de GES par secteur en 2018



Répartition des émissions de GES par secteur en 2018

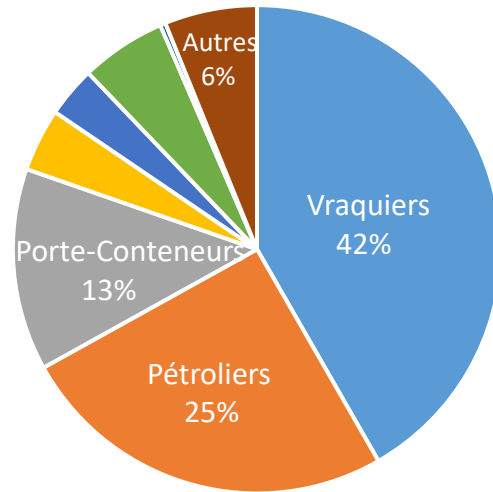
Source : Climate Watch, World Resource Institute

- Emissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) du Transport Maritime : **1 Milliard de Tonnes de CO₂e par an** (1,076 Milliard en 2018 selon l'Organisation Maritime Internationale)
- 2,9 % des émissions anthropiques mondiales de GES, liées à la combustion d'énergie
- Le Transport Maritime reste le moyen de transport le moins polluant à la tonne transportée environ 12 fois moins que le transport routier ou environ 70 fois moins que le transport aérien (d'après International Chamber of Shipping, Cluster Maritime Français)
- Plus de 80% des échanges internationaux se font par voie maritime , et le trafic maritime continue d'augmenter

Les émissions de CO₂ des différentes catégories de navires

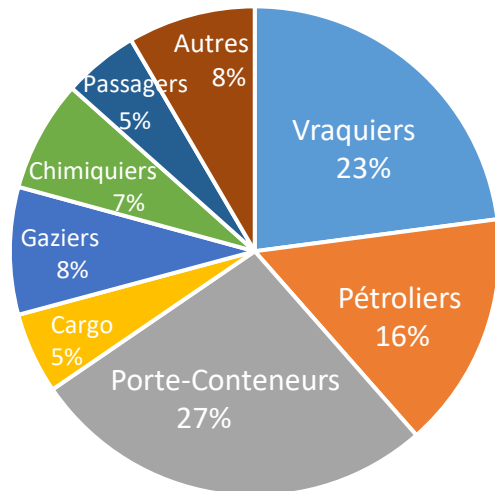
Les émissions varient largement suivant la taille et le type de navire

Flotte mondiale par type de navire (DWT)



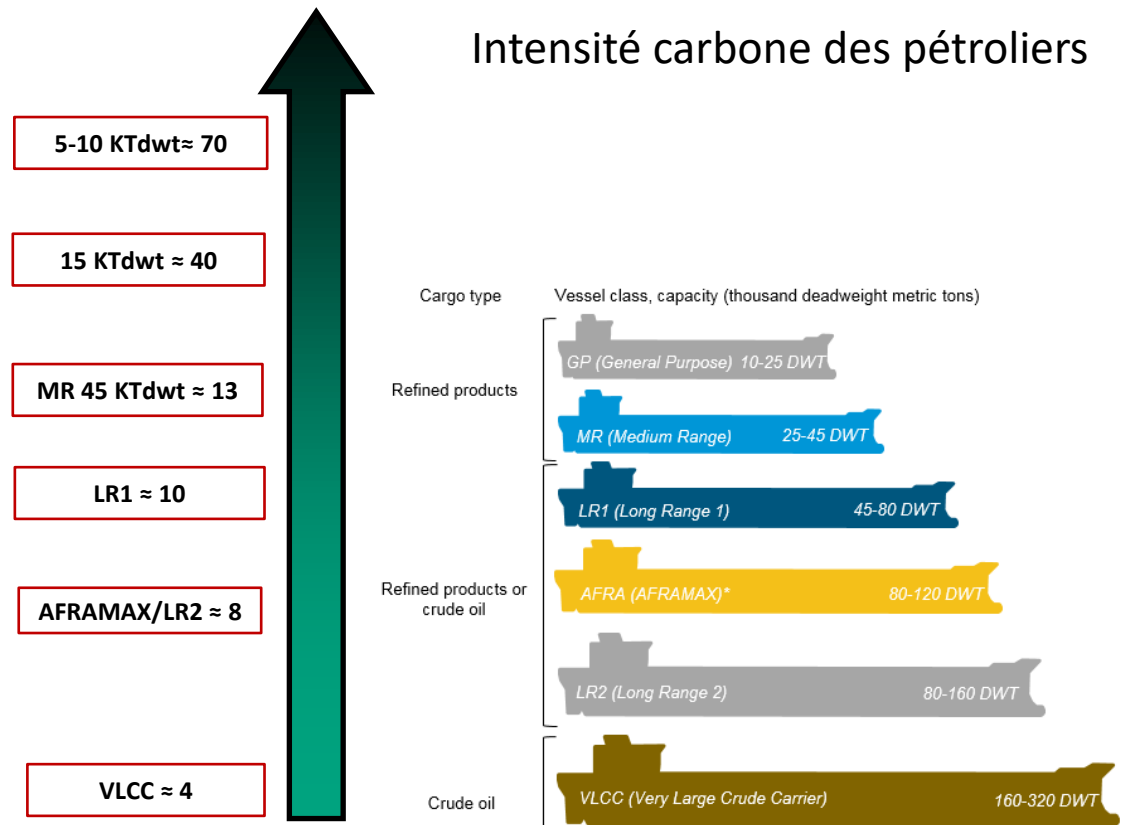
Source : 4th IMO study, 2018 Fleet

Emissions de CO₂ par type de navire

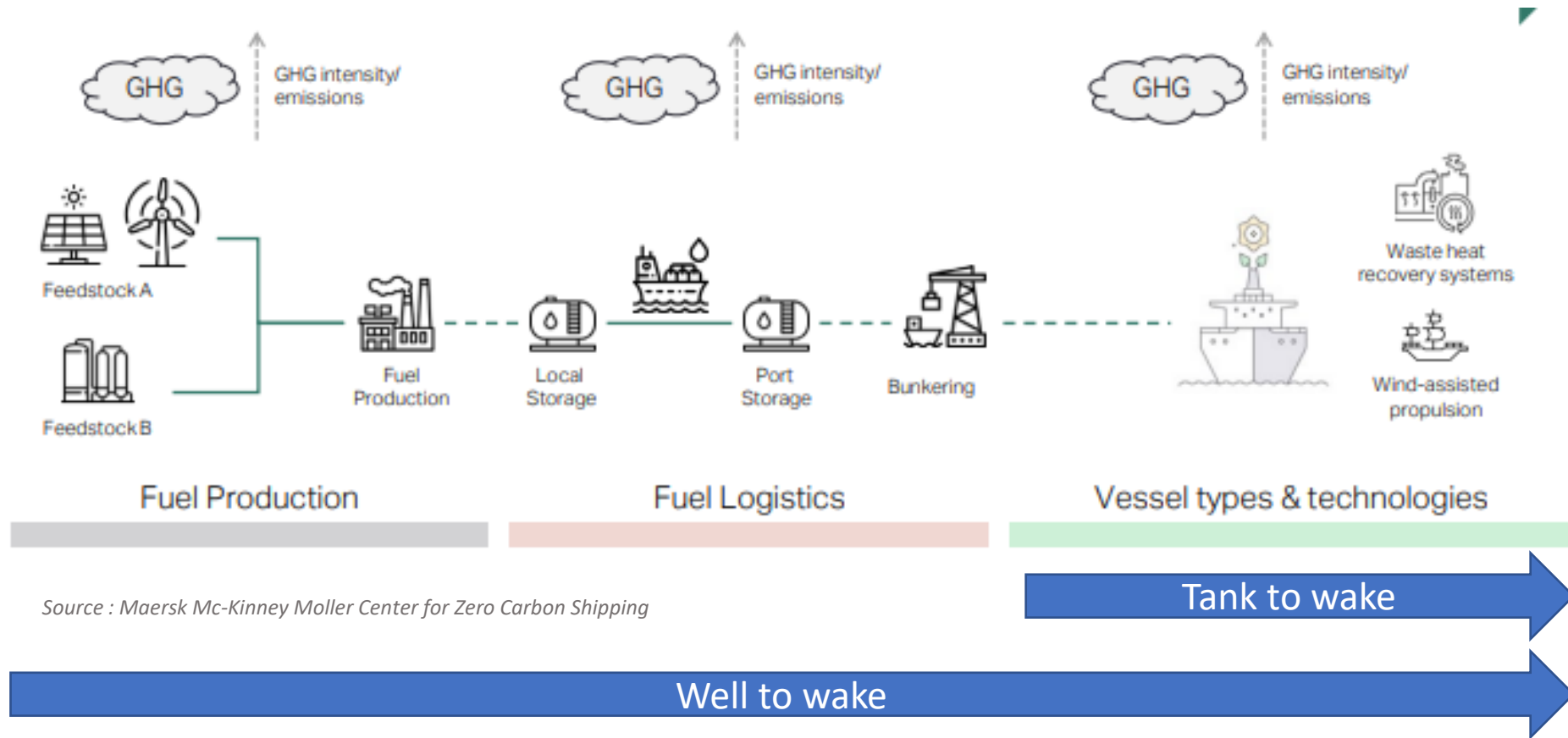


L'intensité carbone en gramme de CO₂ par tonnes et miles parcourus permet de mesurer l'efficacité de chaque navire en matière d'émissions

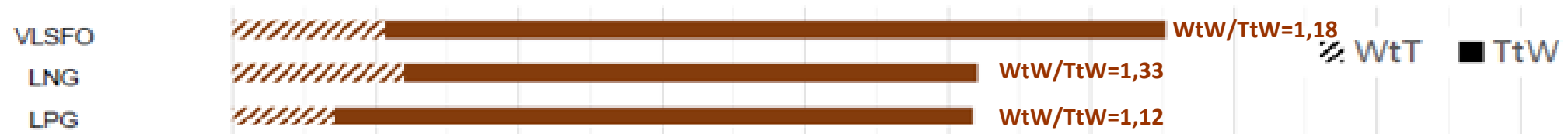
Intensité Carbone des Tankers
gCO₂/tons.miles



Plusieurs façons de mesurer les émissions



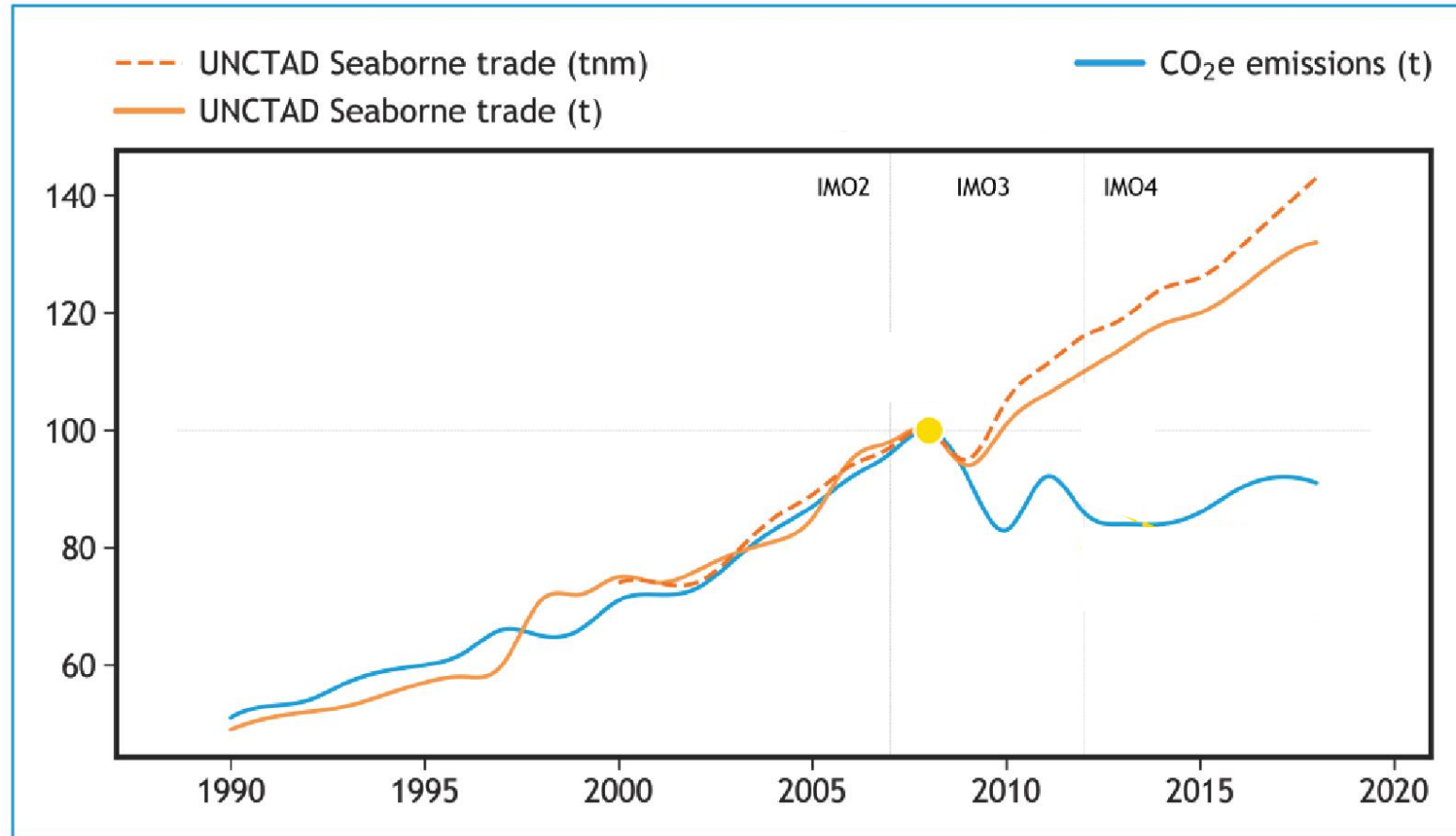
Source : Maersk Mc-Kinney Moller Center for Zero Carbon Shipping



L'évolution du trafic maritime et les perspectives

Selon la dernière étude de l' IMO (4th IMO study) , On peut distinguer 3 phases différentes dans l'évolution du Trafic maritime International :

- 1990-2008 émissions en ligne avec la croissance du trafic environ 4 % /an
- 2008-2014 Réduction des émissions et baisse significative de l'intensité carbone (CO₂e/t.nm)
- 2014-2018 Hausse modérée des émissions



Source : 4th IMO study

Des efforts considérables devront être faits si on veut atteindre la neutralité carbone dans le domaine Maritime

L'évolution du trafic maritime et les perspectives

Le trafic maritime sur 30 ans a été pratiquement multiplié par 3

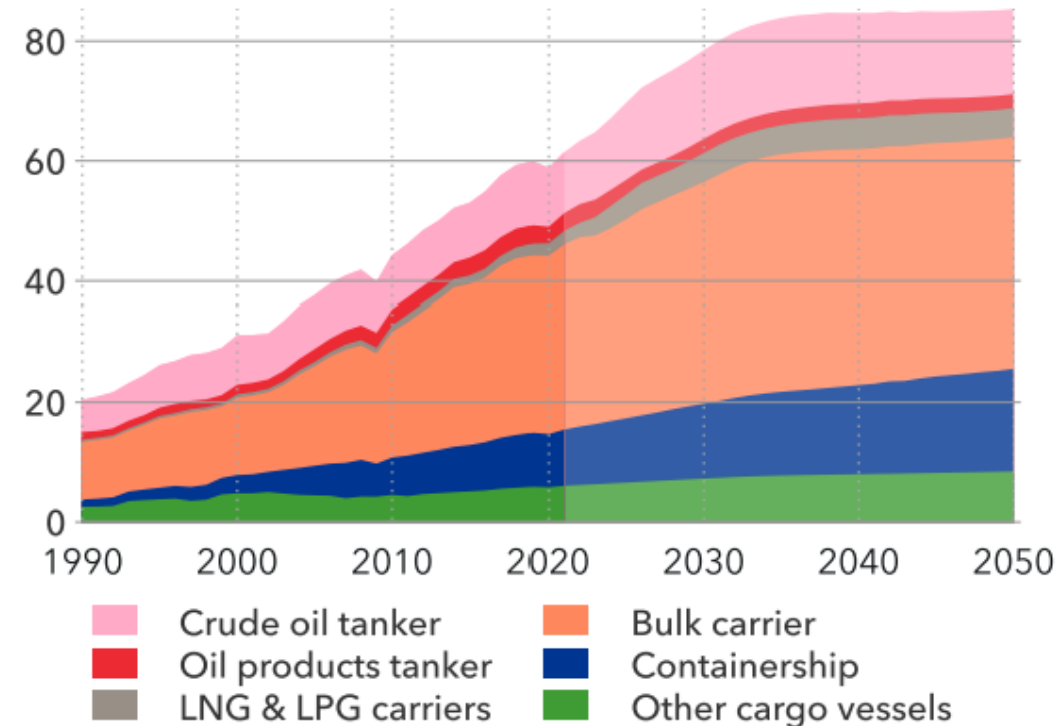
La multiplicité et la diversité des hypothèses économiques et géopolitiques rendent la prévision de l'évolution du trafic maritime difficile et aléatoire .

Différents modèles ont été développés conduisant à des augmentations de trafic de + 40% à +100% entre 2020 et 2050

World seaborne trade in tonne-miles by vessel type

Source : DNV

Units: Gt-nm/yr



DNV Maritime forecast to 2050
env. + 50 % (tonnes – miles)

Historical data source: IEA WEB (2022)

**Réduction de l'intensité Carbone
(émissions de CO₂ g/tonnes.miles)**

- 40% en 2030 (vs 2008)

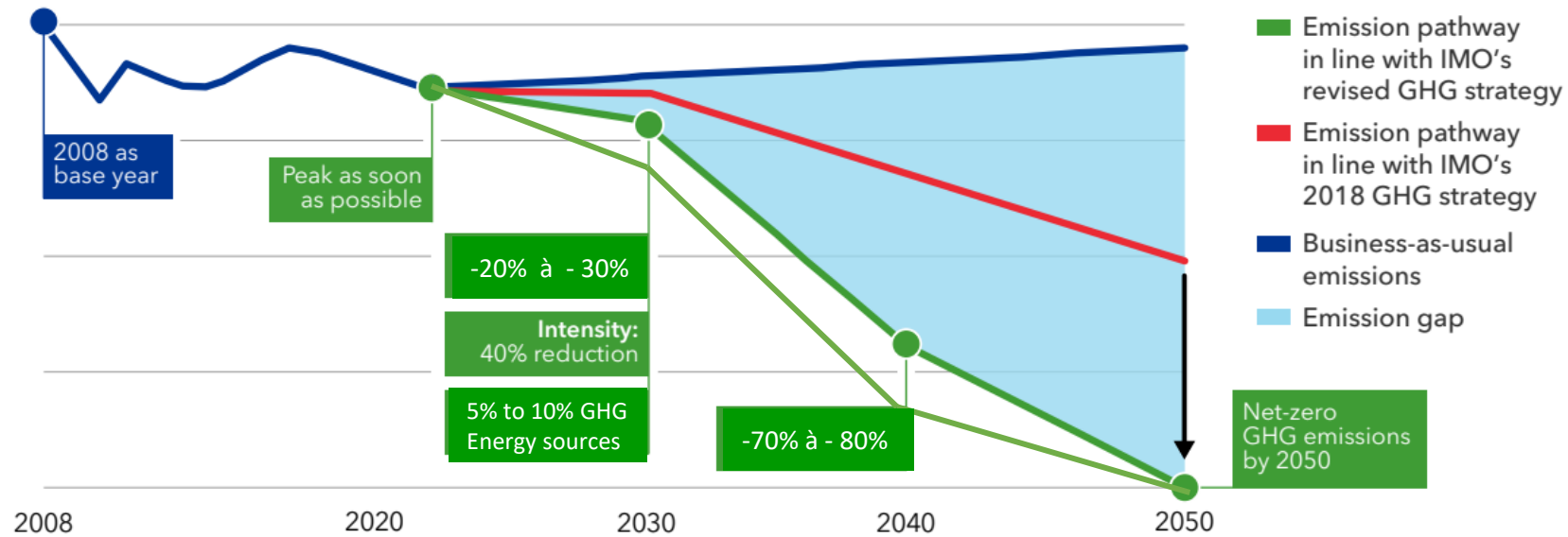
Stratégie révisée Juillet 2023

Réduction des émissions de GES

- 20% à -30% en 2030 vs 2008
- 70% à -80% en 2040 vs 2008
- net zéro vers 2050

Outline of ambitions and minimum indicative checkpoints in the revised IMO GHG strategy

Units: GHG emissions



Total: Well-to-wake GHG emissions; Intensity: CO₂ emitted per transport work; Fuel: Uptake of zero or near-zero GHG technologies, fuels and/or energy sources

Source DNV

Une évolution vers des émissions comptabilisées en cycle complet Well to Wake



Le paquet Européen « **Fit for 55** » inclut un important volet dédié au Transport Maritime .

4 Mesures principales ont été adoptées et seront applicables entre 2023 et 2026:

- **Directive d'Echanges de Quotas d'Emissions , ETS Directive**

Le transport maritime a rejoint le système européen de l'industrie à partir du 1 Janvier 2024. Pas d' allocation de quotas gratuits

Une entrée en vigueur progressive 40% en 2024, 70% en 2025, 100% en 2026

100% des voyages intra EU et 50% des voyages in/out

GES = CH₄ et N₂O à partir de 2026

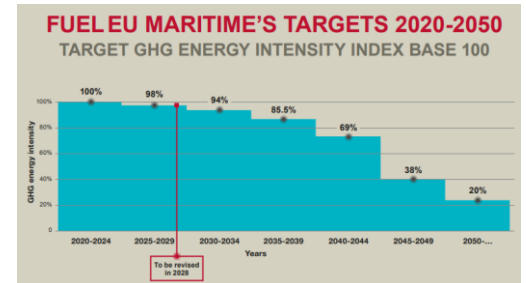
- **Règlement Fuel EU Maritime**

Pas d'obligation d'incorporation mais une réduction progressive de l'intensité GES: (ref. 2020: 91,16g CO₂/MJ)

-2% (2025), -6% (2030), -14,5% (2035), -31% (2040), -62% (2045), -80% (2050)

Approche Cycle complet (Well to Wake), GES = CO₂, CH₄, N₂O

Mécanisme de "pooling"



- **Règlement sur le déploiement d'Infrastructures pour les fiouls alternatifs AFIR**

Les ports principaux devront être équipés avant le 1er Janvier 2030 d'alimentation électrique à quai pour répondre à la demande d'environ 90% des porte conteneurs et navires à passagers en escale

- **Directive sur la Taxation de l'Energie,**

LES INITIATIVES PRIVÉES

De nombreuses entreprises, armateurs, affréteurs, chargeurs ont mis en place des politiques de maîtrise et de réduction de leurs émissions . Et de nombreuses coalitions regroupent des partenaires privés pour partager des projets communs.

Getting to Zero Coalition



Zero Emission Demo Vessel in operation by 2030

160 companies du secteur maritime, de l'énergie, des infrastructures et de la finance avec le support de nombreux gouvernements et IGO's



Finance aligned with IMO objectives and Paris agreement 1,5°C 2100

Les banques signataires représentent environ 65% de la finance mondiale du shipping



Chartering aligned with IMO objectives

Similaires aux Poseidon Principles mais adaptée aux affréteurs de navires



Carbon neutrality by 2050


















90 grands acheteurs regroupés pour utiliser leur pouvoir de prescription

5% of zero-emission ships by 2030 & 10% of goods shipped on zero-emission



Marine Insurance aligned with IMO objectives and Paris agreement 1,5°C 2100

Plusieurs Centres de R&D ont été lancés par l'industrie du shipping sur le thème de la décarbonation

	Partenaires fondateurs	Effectifs	Organisation & budget	Soutien Etat à la filière
 <p>2015</p> <p> Smart Maritime</p>		50	Sorte d'IRT (SFI) dédié à la décarbonation du maritime 3 m€ / an (projets R&D uniquement)	1,9Mrds NOK depuis 2015 dans la décarbonation Programme spécifique de 75M€/an sur du zéro-émission
 <p>2020</p> <p> Maërsk Mac Kinney Decarbonation Center</p>		100	60 m€ budget initial + financement sur projets (apport industriel, national et EU) Sélection de projets par un board Diffusion des résultats (fondation)	Co-lead mondial sur le programme GreenRoute porté au MEPC avec plusieurs pays et instances internationales
 <p>2010</p> <p> Fraunhofer Center for Maritime Logistics and Services</p>		25	Centre de recherche dédié dans le cadre des Fraunhofer 3 à 5 m€ budget annuels projets	Programme global de décarbonation des transports de 360Mrds€, dont un volet maritime de 45M€ sur le zéro-émission
 <p>2018</p> <p> Southampton Maritime Institute</p>		350	Mutualisation de moyens académiques humains et physiques sur le maritime : recherche, formation, entreprise	"Clean Maritime Plan" création du MERAS: 1,6M€ pour définir le programme et une enveloppe de 25M€/an pour des projets sur le zéro-émission
 <p>2021</p> <p> Global Center for Maritime Decarbonation & Singapore Maritime Institute</p>		70	Coordination stratégie nationale et projets 100 m€ budget initial de fonctionnement public / privé + financement sur projets	Plan national porté par la MPA avec un soutien de l'autorité

I) Le contexte des émissions mondiales du Transport Maritime

II) L'amélioration de la performance énergétique des navires

III) Les carburants marins bas carbone ou zéro carbone

Les améliorations hydrodynamiques

➤ Formes de coque

Systématisation des essais en bassin, calculs 3D et simulations

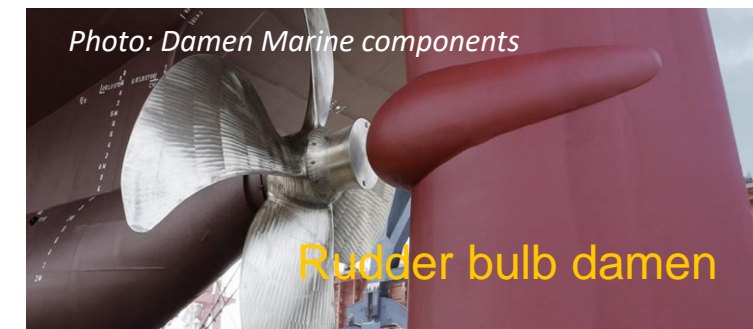
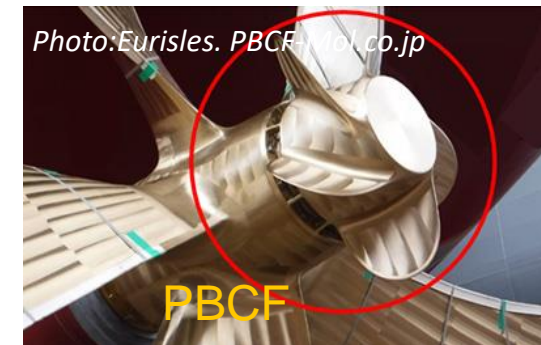
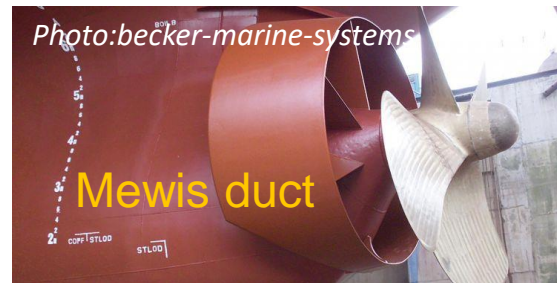
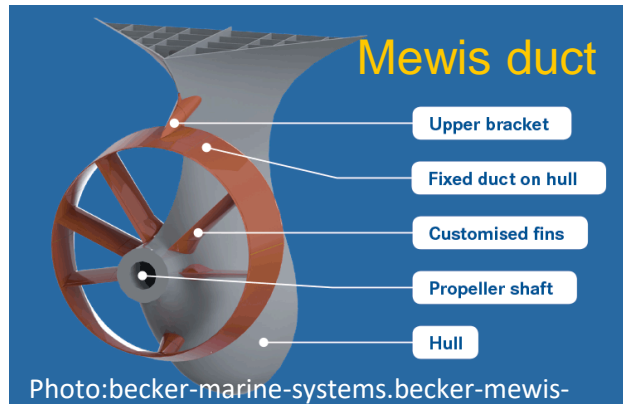
Bulbes d'étrave



➤ Appendices de coque type mewis duct , advanced rudder

Amélioration des écoulements autour de l'hélice

Optimisation du rendement



➤ Et aérodynamiques

Les systèmes à bulles ou “air lubrication”

Plus de 150 navires déjà en service
et près de 300 en commande
tous fournisseurs confondus



Source: Silverstream technologies

Gains annoncés par les fournisseurs

SHIP TYPE	SYSTEM OPERATIONAL SPEED (KTS)	TYPICAL OPERATIONAL DRAUGHT (M)	FLAT OF BOTTOM AS A % OF TOTAL WSA	NET SAVINGS SILVERSTREAM® SYSTEM PERFORMANCE
Cruise Ship	10-20	8-9	30-35%	5%-7%
New Generation RoRo	10-22	7-8	26-32%	5%-7%
Containership (>9,000 TEU)	10-23	14-16	25-30%	5%-6,5%
Gas Carriers (LNGC, VLECs and VLGCs)	10-19	9-12	35-40%	6%-9%
Large Wet & Dry Bulk Carrier (>100k DWT)	10-15	13-20	25-45%	6%-11%

Les moteurs thermiques

De nouvelles évolutions pour les moteurs marins :

Un contrôle électronique de l'injection ,

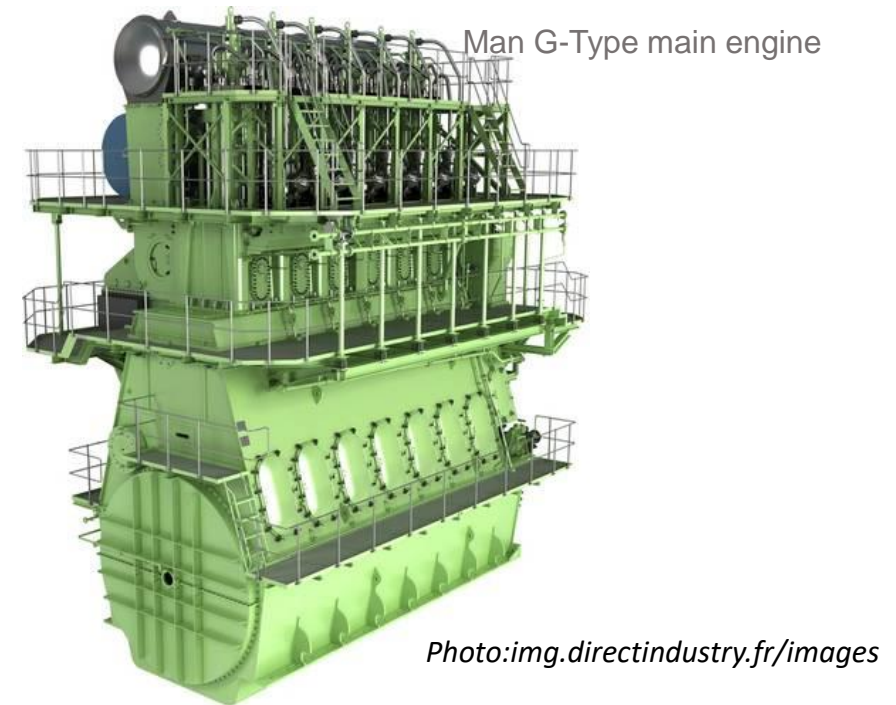
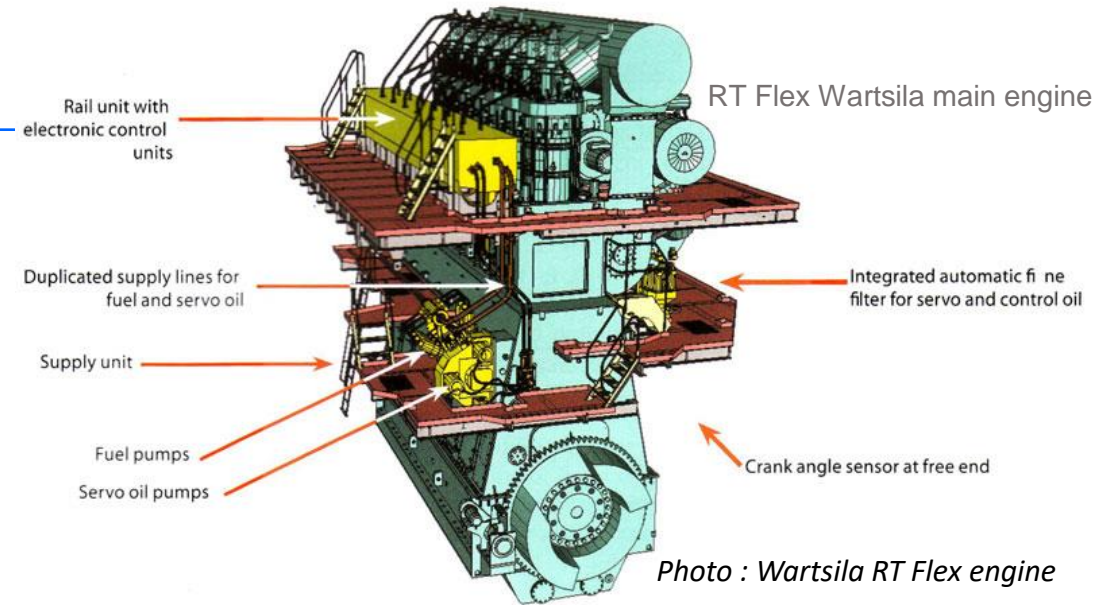
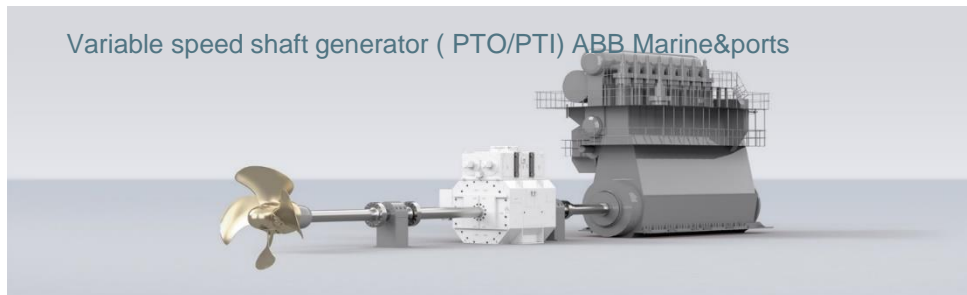
Un allongement de la course des moteurs,

L'utilisation des moteurs dans une plage de vitesse plus large ont permis une réduction significative des consommations

Avec de nouveaux équipements :

Générateurs attelés

Système de récupération de la chaleur des gaz d'échappements



Les Piles à combustibles

Un développement timide des piles à combustibles (génération électrique)

2 types de piles à l'étude :

- PEM (Pile à membrane échangeuse de protons) : « basse température » ~ 80°C, Fonctionnent à l'hydrogène avec un haut degré de pureté. Les plus compactes, moins lourdes , supportent les cycles transitoires et les cycles on-off.

- SOFC (Pile à oxyde solide) : « haute température » ~ 800°C, et produisent de la chaleur qui peut être utilisée à bord .
Fonctionnent avec de nombreux fiouls : LNG, LPG, Hydrogène , LOHC.



Photo:capman.com/Norled_MF-Hydra

***Le ferry Norvégien MF hydra opéré par Norled en service depuis mars 2023 (300 passagers et 80 voitures)
Propulsion :2 piles à combustibles (PEM) de 200 KW du fabricant Ballard (Canada)***



Photo: Ruud Coster/vessel finder

***Le Silver Nova navire de croisière de RCCL (propulsion LNG)
est équipé d'une pile à combustible de 4 MW couvrant la
capacité hôtelière permettant un fonctionnement à quai zero
carbone***

De l'assistance vélique à la propulsion à voile

Différentes Technologies , environ 50 navires équipés à fin 2024

- **Les rotors** : effet magnus

Une technologie en service sur de nombreux types de navires dans différentes versions

Dimensions max : diamètre 5 m , hauteur 35m



Pétroliers : Nemo1 ex Maersk Pelican



Sc connector : version inclinable



Navire à passagers :Copenhagen Scandlines
Photo: Scandlines/Norsepower



Le pétrolier Alcyone de Socatra équipé de 2 rotors 35mx5 en Mars 2024
Photo :Socatra/le Marin

Fabricants principaux : Norsepower , Anemoi Marine, ...



M/V Afros
64 Kdwt Geared ultramax build 2018 equipped with 4 rotors 2x16M on rails



400 KT Ore carrier fitted with wind rotors October 2024
Photo : Oman Observer



Bulk carrier Sea Zhoushan 325 KT
5x4x24m Norsepower rotor sails

- Les voiles type « Ailes »



VLCC (300 000 T dwt) New Aden - China Merchant Marine Energy Shipping construit au chantier de Dalian (DSIC) et livré en septembre 2022
 équipé de 4 voiles de chacune 40m de haut, surface de voile totale 1200 m2

VLCC New Aden
 Photo:Maritime Magazine/ CMES



Vraquier Berge Olympus 210 Kdwt
 construit en 2018 et équipé
 en octobre 2023 de voiles 37,5mx 20m
 (3000 m2)

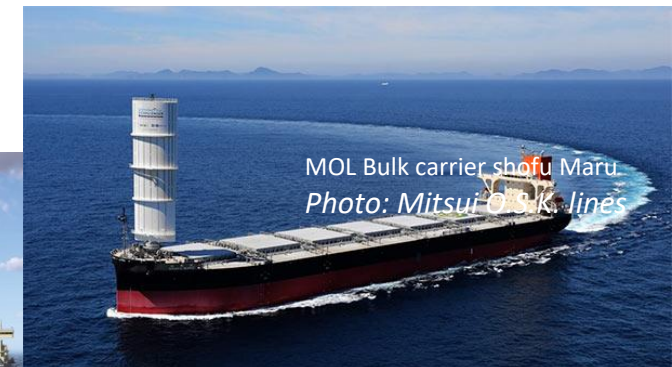
Berge Olympus
 Photo:Maritime Riviera/berge Bulk



Pyxis Ocean 81 KT bulk carrier
 Bar technologies/ Cargill/BAR/YARA/Mitsubishi
 Photo Cargill/Le Marin

Vraquier Pyxis Ocean 81 Kdwt
 2 voiles 37,5 x20 m repliables

Vraquier Shofu Maru 100 Kdwt- MOL
 Voile Wind challenger 15mx 53m



MOL Bulk carrier shofu Maru
 Photo: Mitsui O.S.K. lines

Un méthanier sera équipé
 en 2026 de 2 voiles de 49m



Crédit photo: MOL

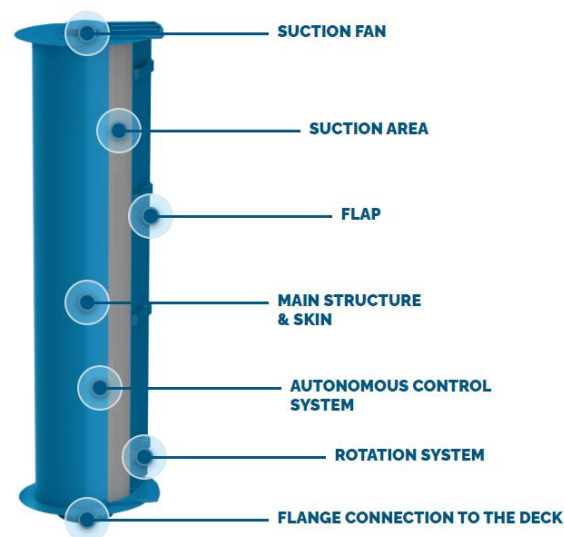
- Les profils aspirés

Bound4 blue, Econowind



Photo credit: bound4blue

Odjfell tanker équipera un premier navire en 2024 avec 4 e-sails de 22 m de haut



Source : Bound4blue

- Les Kites



Le premier Kite a été installé en 2008

LDA a testé pendant l'année 2022 un kite de 500M2 sur le Ville de Bordeaux et va prochainement tester le système Bound4 blue avec 3 voiles de 22 m

5 Kite Airseas et des options en commande pour l'armateur Kline



Des navires spécialisés

Canopee : Cargo à voiles propulsé par quatre ailes de 363 m² (~1500 m²) pour transporter les éléments du lanceur Ariane 6 vers la Guyane.

Projet développé par ©Alizés, Jifmar Offshore Services, Zéphyr & Borée, Neptune Marine, Oceanwings

Longueur: 121m

Largeur: 22 m

Creux 7,07m

Port en lourd: 3150t dwt

Propulsion auxiliaire : Diesel



Jusqu'aux cargos à voiles

Grain de sail

1^{er} cargo à voile de 24 m, capacité 50 T, livré en 2020, suivi par Grain de sail II L=52m , 350T de capacité, livré en janvier 2024

Towt

Longueur HT: 81,00m, Largeur: 11,90 m, Tirant d'air. 64,00 m

Equipage: 7 à 12 p. , Surface voiles : 2500 m²

Propulsion moteur: 2x422kWm , 1 propulseur d'étrave

Capacité fret : 1100 tonnes

Chantier Piriou,

2 navires livrés (août 2024), 6 autres en commande

Neoline

Le premier roulier NEOLINER , a été commandé en janvier 2023, steel cutting le 8 novembre 2023 au chantier RMK et livrable en 2025

Longueur : 136 m , surface voiles : 3000 m²,

1^{er} grément à balestron Solidsail des chantiers de l'atlantique

Capacité d'emport 5300 tonnes.

Grain de sail II quitte ST Malo le 15/03/24



Photo: Madelaine Tourmente/Le marin



Photo: Grain de sail



Illustration: Piriou/jeune Marine



Photo TOWT/MARINE&Océans



Illustration: Neoline / Le Marin

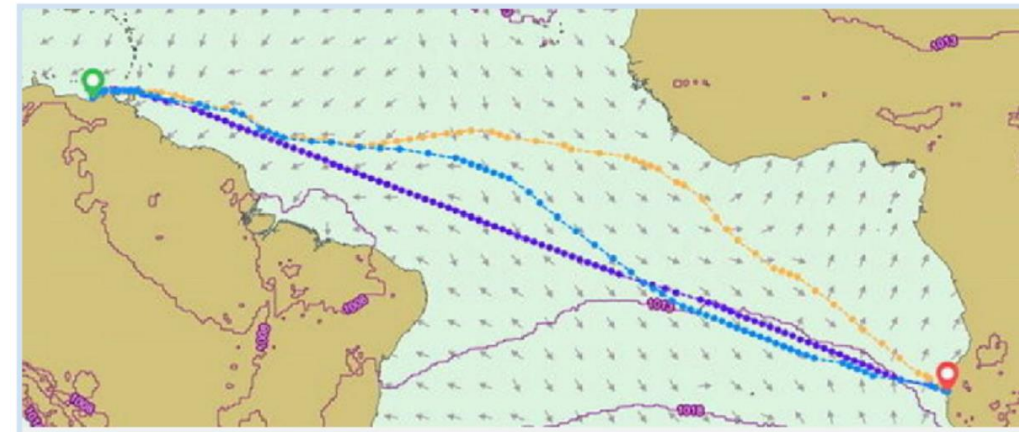


Illustration: Neoline / Atlanpole

L'optimisation des voyages

Le développement des techniques d'Intelligence Artificielle, d'analyse des données et des modélisations météorologiques permettent une utilisation croissante des outils numériques à bord et à terre pour optimiser les voyages selon de nombreux paramètres .

- Optimisation des consommations sur une route donnée
“ smart routing “par ajustement permanent de la vitesse et monitoring des paramètres machines
- Optimisation des voyages grâce au routing météo “weather routing” avec prise en compte du vent, de la houle , des courants,
- Reduction des temps d'attente au port “just in time arrival”

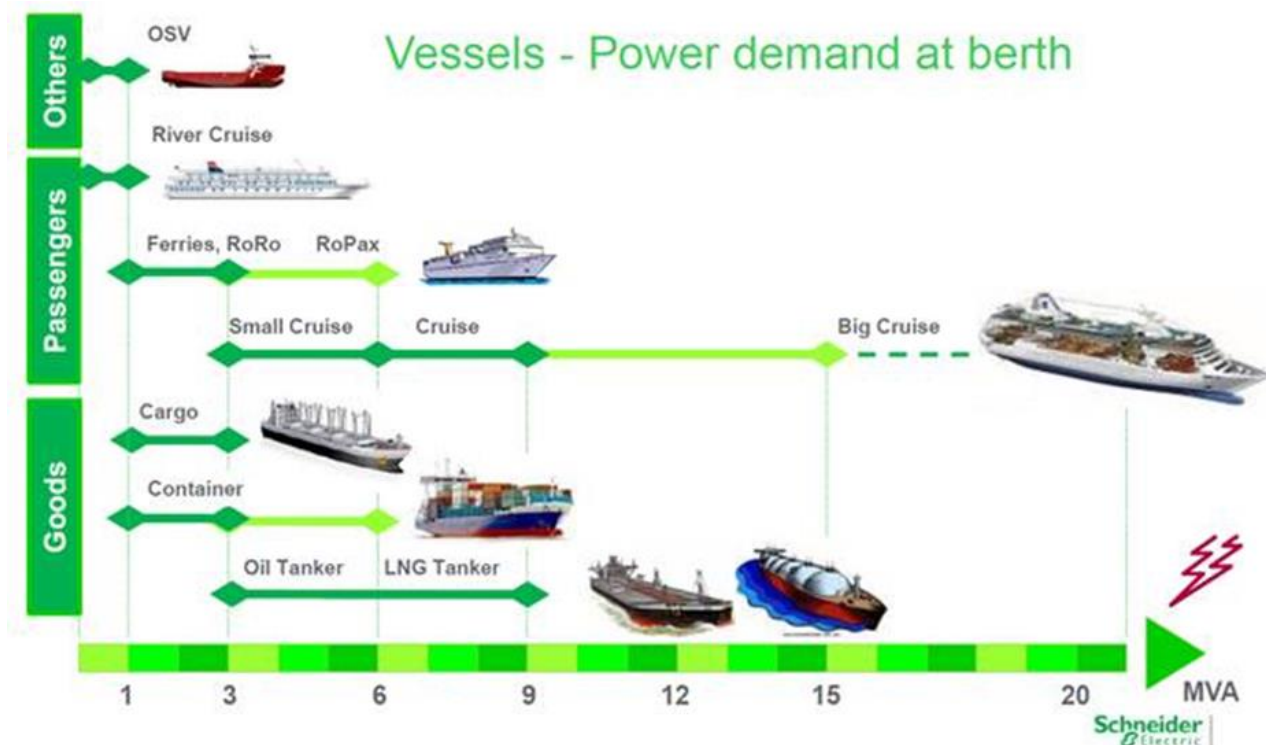
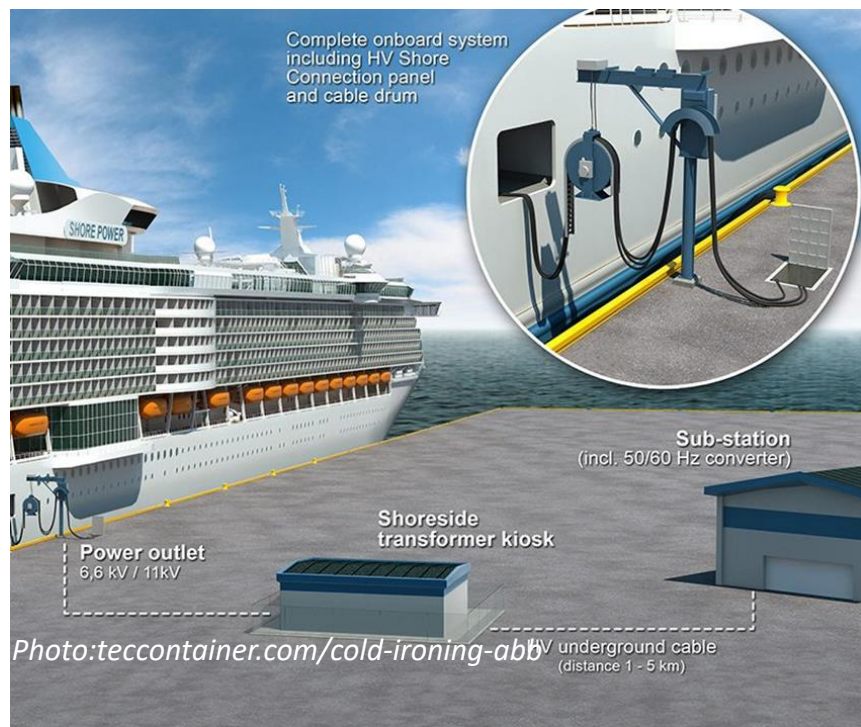


Least fuel, Shortest distance, Lowest total cost , photo : Ascenz Marorka

Le courant à quai

En escale la consommation des navires peut être très significative (groupes électrogènes), notamment sur les navires de croisière ou les porte conteneurs .

L'alimentation électrique à partir de la terre permet une réduction significative des émissions



Cette solution est déjà largement utilisée aux USA et au Canada

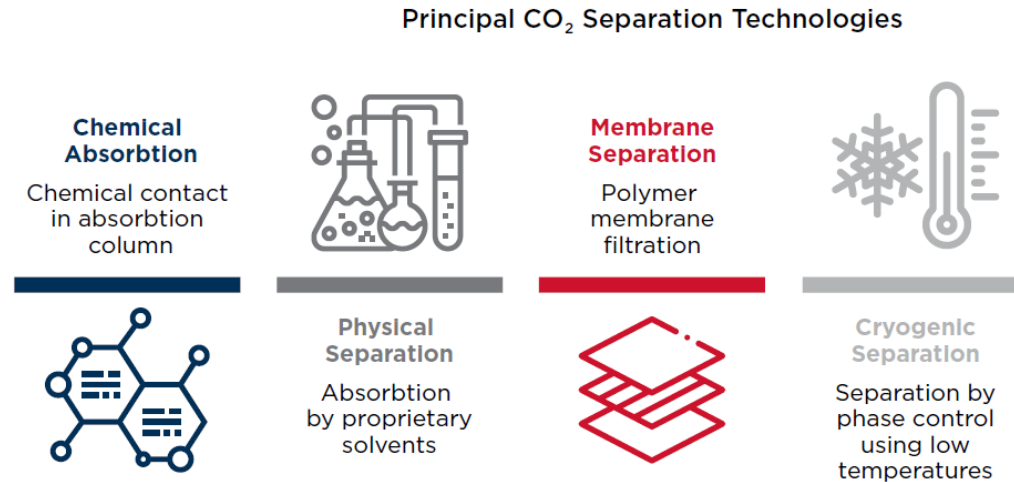
Elle deviendra obligatoire en Europe à partir de 2030 pour les navires à passagers et porte conteneurs

Certains ports Européens sont déjà équipés

Les systèmes de capture du carbone à bord

Le captage du carbone post combustion est une technique maîtrisée dans les procédés industriels à terre. Différents projets visent à tester et transposer ces techniques dans de petites installations pour équiper les navires

Principaux procédés de captage du carbone à bord, post combustion



Source : ABS sustainability outlook 2022

La voie chimique par absorption du CO₂ à base d'amine est la plus avancée. Elle permet des taux de capture très élevés avec une bonne pureté du CO₂ capté. Cela requiert néanmoins une consommation d'énergie supplémentaire (au moins 10%). D'autres procédés par adsorption ou séparation par membrane sont en cours de développement. La séparation cryogénique est également possible, elle demande cependant des quantités d'énergie importantes. D'autres procédés à l'état de projets visent à récupérer le CO₂ sous forme solide.

Le carbone être directement stocké à bord en solution après captage mais cela nécessite des capacités de stockage importantes. Il peut être aussi séparé puis liquéfié ou stocké sous pression, mais cela nécessite une consommation supplémentaire d'énergie.

I) Le contexte des émissions mondiales du Transport Maritime

II) L'amélioration de la performance énergétique des navires

III) Les carburants marins bas carbone ou zéro carbone

Les carburants marins actuels

Un marché mondial d'environ 280 Millions de Tonnes par an

Le fioul reste très largement dominant

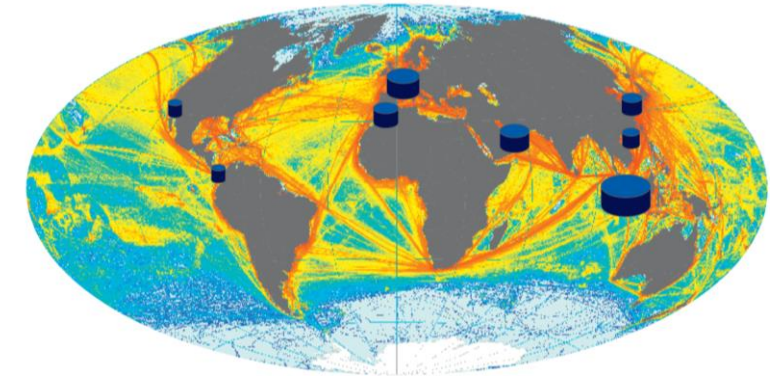
(env 95%) avec 3 qualités :

- Le **HSFO** (3,5% S) utilisé sur les navires équipés de scrubbers,
- Le **VLSFO** (0,5% S) , utilisé partout dans le monde hors zones SECA
- Le **MGO/MDO** ou ULSFO (0,1% S) est obligatoire en zone SECA,
- Le **LNG** représente env. 5% du fioul consommé (en équiv. Tonnes fioul)
il se développe rapidement avec près de 400 navires dual fuel
et plus de 600 méthaniers .

D'autres carburants sont également utilisés :

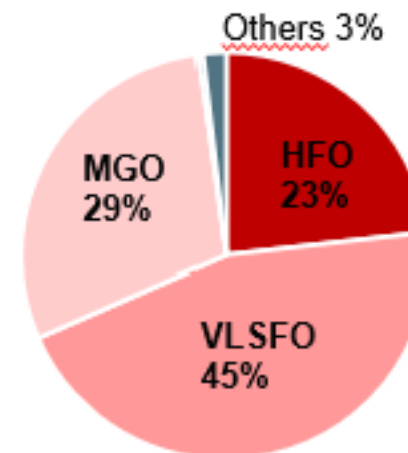
- Le LPG est progressivement utilisé sur certains transporteurs de LPG
- Le méthanol CH_3OH est utilisé par les navires transporteurs de méthanol
- L'éthane est utilisé par quelques transporteurs d'éthane
- Les **Biocarburants** commencent à se développer sur le marché des soutes

Les principaux hubs de soutage dans le monde



Ship traffic density from AIS Amount of fuel sold to shipping

54 The bunkering volumes in the different hubs shown in the figure are estimates based on IEA and other sources, combining ports and areas that are geographically close e.g., Algeiras and Gibraltar, Antwerp and Rotterdam



Bunker volume 2022

2022 Top bunker Country (in Mt)	
Singapore	48
China	20
USA (LA/LB 3Mt)	16
UAE (Fujairah 8Mt)	16
Netherland (Rdam 10 Mt)	12

Les principaux biocarburants marins

Biodiesel/HVO

Plus:

- “Drop-in” fioul permettant de réduire l’intensité carbone par incorporation (souvent de 20 à 30%) Peut être immédiatement mis en oeuvre dans les infrastructures existantes .
- Compatible avec les moteurs actuels.
- Faible SOx and PM (aromatics free).
- Bonne densité énergétique.

Moins:

- **Concurrence du transport routier et de l’aviation (HVO).**
- Contraintes de stockage pour les FAME (vieillessement) .

Biométhane (Liquide)

Plus:

- **Permet de réduire les émissions Ges WtW par rapport au gaz fossile**
- Faible SOx and PM.
- Possibilité d’utiliser des certificats d’origine dans certains pays, pour remplacer une livraison physique.
- Très bonne densité énergétique

Moins:

- **Disponibilité limitée de biométhane liquéfié pour le shipping.**
- **Méthane slip (comme pour le GNL).**
- Concurrence avec les usages locaux (énergie, transport local).

Biométhanol

Plus:

- **Liquide, facile à transporter et livrer**
- Faible SOx and PM.
- Modifications limitées des infrastructures de soutage à prévoir
- Bonnes propriétés de combustion .

Moins:

- Faible densité énergétique.
- **Disponibilité**

L’ usage des biocarburants pour le transport maritime s’est développé à partir de 2022 , mais reste marginal
Les productions restent limitées et les coûts de fabrication plus élevés que pour leurs carburants fossiles
La concurrence d’usage des autres formes de transport (routier et aérien) et la disponibilité sont les principaux facteurs qui limitent le développement des biocarburants .

Le développement des fiouls alternatifs Ammoniac , Hydrogène, Methanol

Les principaux fuels alternatifs qui font l'objet de R&D et de projets de développements sont

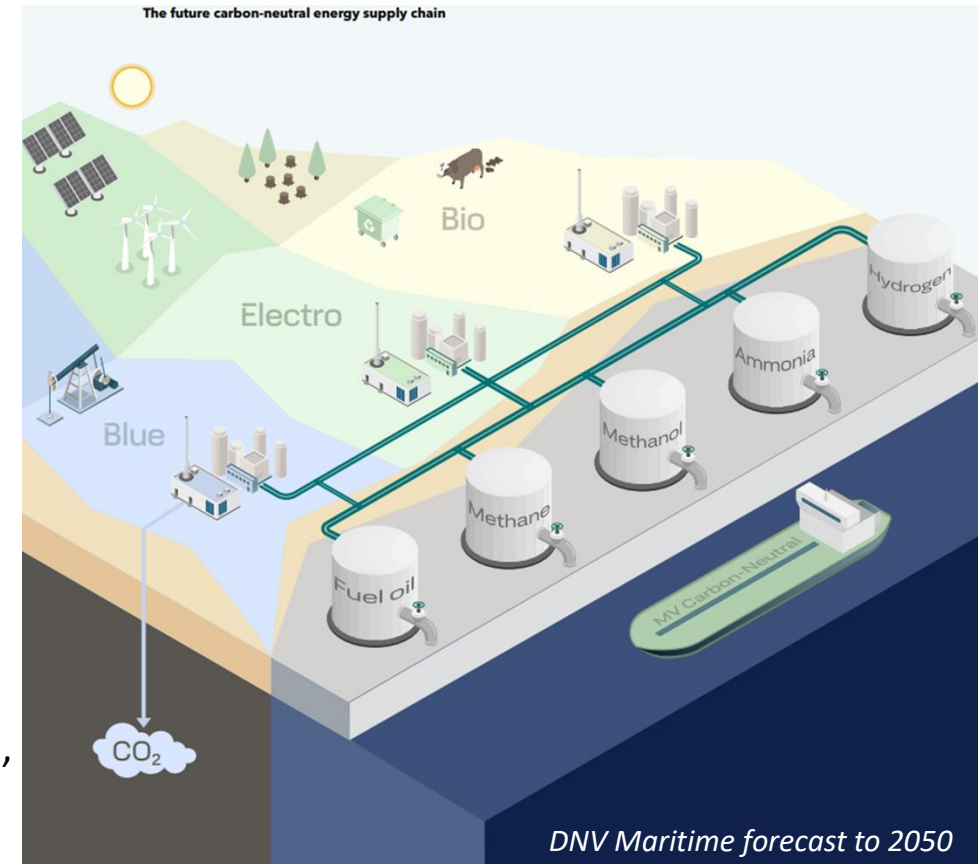
- L' Ammoniac (NH_3)
- L' Hydrogène (H_2)
- Le Méthanol (CH_3OH)

Les filières Grises, Bleues , Vertes

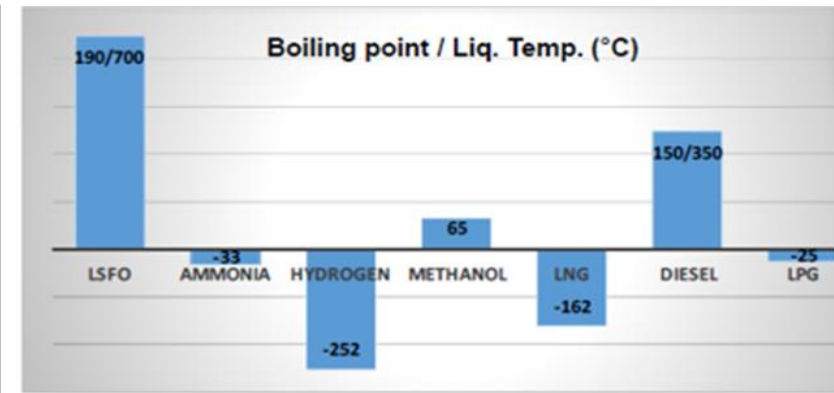
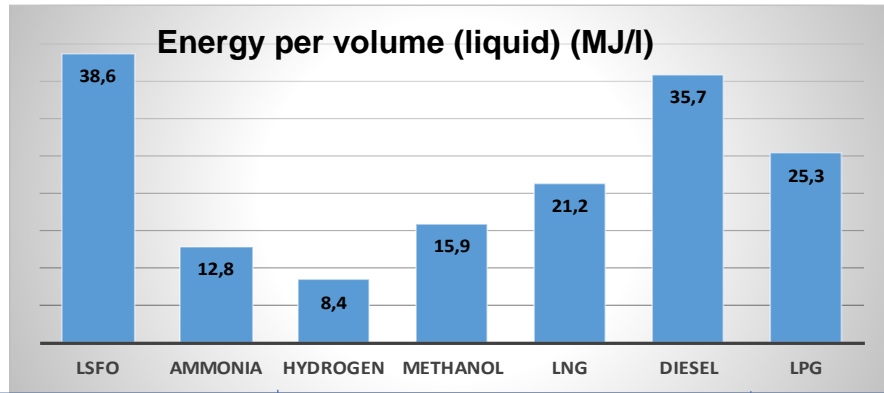
Aujourd'hui ces produits sont issus de ressources fossiles , et leur production génère du CO_2 : c'est la filière Filière GRISE,

	Ammonia	Hydrogen	Methanol
Worldwide demand (production capacity)	180mt (230mt)	70mt	80mt (120mt)
Seaborne market	20mt	No seaborne trade	30mt
Number of ports	~120		~100
Main usage	Fertilizers ~75% Plastics	Refining ~55% Ammonia	Chemicals ~55% Energy sector (transport)
Main Feedstock	Same for the 3 products : natural gas (coal in China)		
Main producing countries	China (33%), Russia, India, US	China (50%), Saudi Arabia	China, Middle-East
Main exports countries	Middle-East, Russia	-	Saudi Arabia, NL, US
Major producers	CF Industries, Yara	On-site captive consumption	Methanex, Proman, Sabc

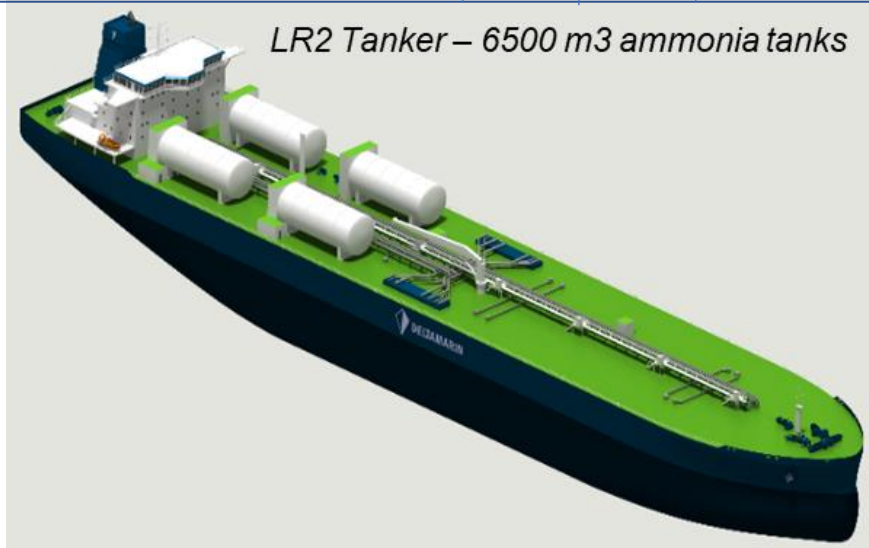
- La filière GRISE fortement émettrice de CO_2 ne présente pas d'intérêt pour la décarbonation du Transport Maritime
- On peut réduire les émissions de CO_2 en captant le CO_2 lors de la production, c'est la filière **BLEUE**
- Ou encore, en synthétisant les molécules à partir d'hydrogène vert (électrolyse et d'électricité d'origine renouvelable), c'est la filière **VERTE** .
On parle de fiouls synthétiques ou **Electro-FUELS** ou **E-Fuels**
Ces E-fuels très prometteurs, ont aujourd'hui des coûts de production très élevés



Les caractéristiques physiques des Fiouls marins



Volume ratio vs vlsfo	1	x 3	x 4.5	x 2.4	x 1.8	x 1.1	x 1.5



Main Characteristics of fuel	Units	Natural gas	Diesel	VLSFO	Methanol	Ammonia	Hydrogen
Energy per mass	MJ/kg	49.2	43	41.0	19.9	18.8	120.1
Density (liquid)	kg/l	0.431	0.830	0.940	0.799	0.682	0.070
Energy per volume (liquid)	MJ/l	21.2	35.7	38.6	15.9	12.8	8.4

Les fuels bas carbone ont des densités énergétiques faibles

Les fuels doivent être transportés sous forme liquide

La faible densité énergétique conduit à des volumes de stockage importants

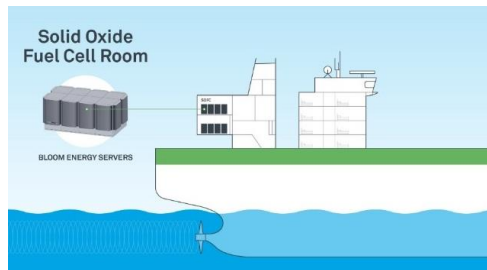
La disponibilité des équipements



Les grands moteurs 2 temps au GNL, Ethane, GPL, Méthanol sont disponibles

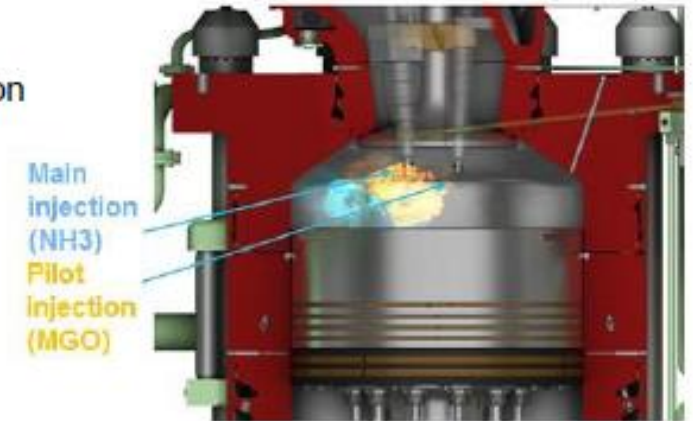
LNG		Ethane	Methanol	LPG	Ammonia
ME-GI	ME-GA	ME-GIE	ME-LGIM	ME-LGIP	2025 ?

WINGD




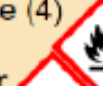

















Les piles à combustible sont encore limitées à des puissances limitées

Dual fuel combustion system



Les premiers moteurs 2T à ammoniac devraient être disponibles en 2025. (WinGD et MAN)

Les risques associés

	MGO	LNG	Methanol	Ammonia (liq.)	Hydrogen (liq.)													
Physical hazards	<ul style="list-style-type: none"> Flammable (2)  	<ul style="list-style-type: none"> Flammable (4)  Gas under pressure  	<ul style="list-style-type: none"> Flammable (3)  	<ul style="list-style-type: none"> Flammable (1)  Gas under pressure  	<ul style="list-style-type: none"> Flammable (4)  Gas under pressure  	<p>NH3 CONCENTRATION THRESHOLD</p> <table border="1"> <tr> <td>early warning</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5/100 ppm 50 ppm av</td> <td>100/200 ppm</td> <td>>1000 ppm 3 min</td> <td>2500/ 15000 ppm</td> </tr> <tr> <td>DETECTION THRESHOLD</td> <td>EYE AND THROAT IRRITATION</td> <td>IRREVERSIBLE EFFECT 1000 ppm=</td> <td>LETHAL EFFECT 0,7 g/m3</td> </tr> </table>	early warning				5/100 ppm 50 ppm av	100/200 ppm	>1000 ppm 3 min	2500/ 15000 ppm	DETECTION THRESHOLD	EYE AND THROAT IRRITATION	IRREVERSIBLE EFFECT 1000 ppm=	LETHAL EFFECT 0,7 g/m3
early warning																		
5/100 ppm 50 ppm av	100/200 ppm	>1000 ppm 3 min	2500/ 15000 ppm															
DETECTION THRESHOLD	EYE AND THROAT IRRITATION	IRREVERSIBLE EFFECT 1000 ppm=	LETHAL EFFECT 0,7 g/m3															
Health hazards	<ul style="list-style-type: none"> Acute toxicity  Aspiration hazard  Skin corrosion  Carcinogenic  Organ toxicity  		<ul style="list-style-type: none"> Acute toxicity  Specific target organ toxicity  	<ul style="list-style-type: none"> Acute toxicity  Skin corrosion  														
Env. hazards	<ul style="list-style-type: none"> Toxic to aquatic life  			<ul style="list-style-type: none"> Toxic to aquatic life  														

Tous ces fiouls alternatifs introduisent des nouveaux risques HSE et nécessitent des mesures de sécurité additionnelles
L'utilisation de ces fiouls demandent aussi une formation spécifique et adaptée des équipages

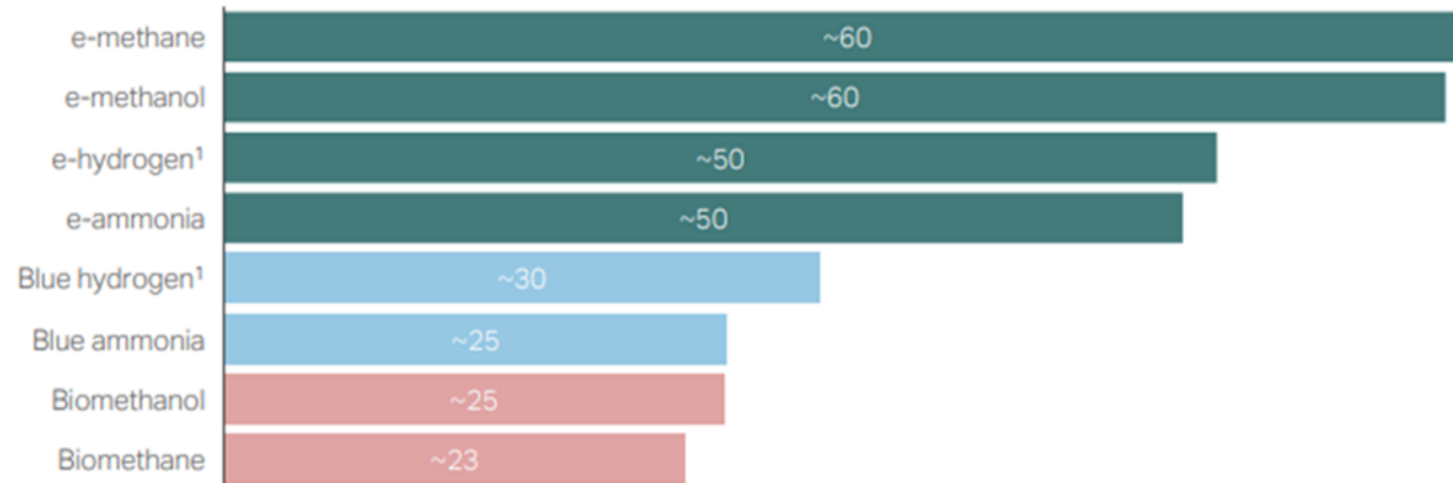
Coûts de production des fiouls marins et le prix du carbone

Les coûts de productions estimés des fiouls alternatifs sont très élevés et illustrent le coût potentiel de la transition énergétique

Ces fiouls ne pourront être compétitifs que si un coût du carbone est pris en compte via des mécanismes à définir

Estimated production price, 2025

USD/GJ



Estimated production price, 2025

USD/GJ



Source: Techno-Economic Model (NavigaTE) MMM Center for Zero Carbon Shipping

¹ Liquefaction of hydrogen is considered; Bio-oils are only commercially available after 2025.

² Actual fuel prices will be subject to various external factors including but not limited to supply/demand imbalances, local carbon pricing initiatives and subsidies.

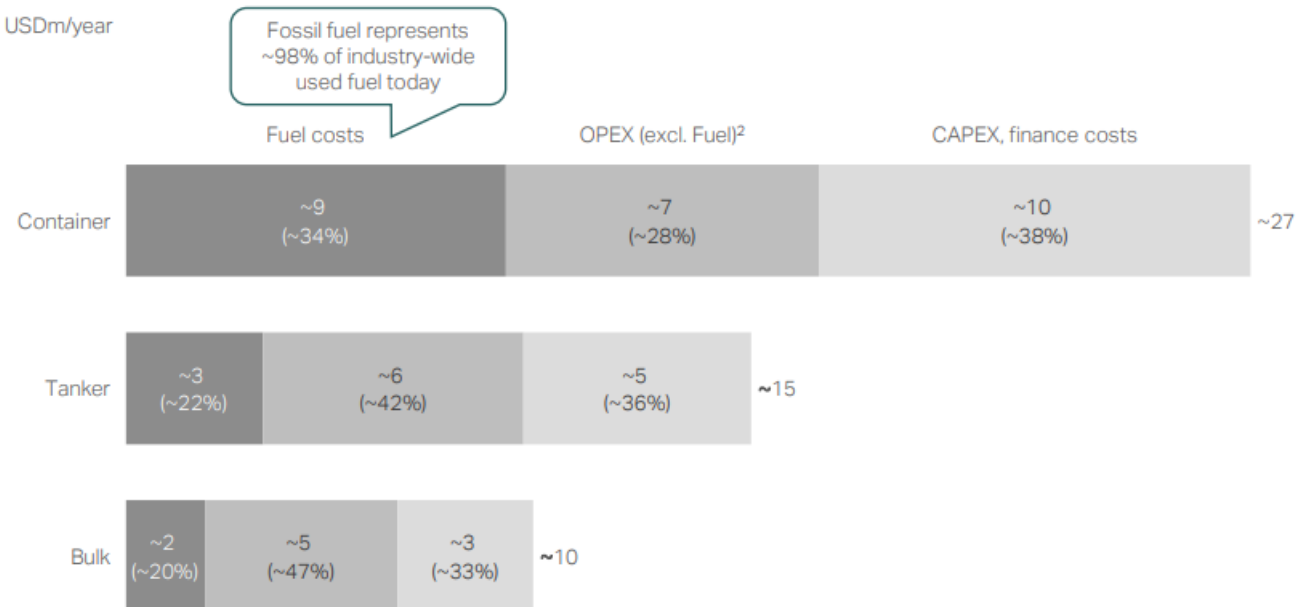
Source : MMM center for zero carbon shipping

Le fioul impacte fortement le coût total d'un navire pour l'armateur...

Fuel represents ~20-35% of total annual costs with almost the entire industry consumption being fossil-based

Total cost of ownership for various vessel types¹ in 2020

USDm/year



Shipowners and managers understand the importance of looking beyond purchase price and considering the total cost of ownership (TCO) of their vessels. Acquisition costs, operation and personnel costs all factor into the full expense of owning and operating a vessel.

In maritime, fuel is a significant proportion of the overall cost. Firstly, there is the direct fuel purchasing cost and secondly, the quality of fuel affects cost related to vessel maintenance and performance.

Maritime fuel costs make-up 20-35% of annual TCO, with container vessels having the highest proportion of fuel cost.

Source : MMM Center for Zero Carbon Shipping

La propulsion électrique : Hybride ou 100% batteries



Photo: Sparky/ Bureau Veritas

Sparky est le 1er remorqueur à propulsion électrique
Longueur 25 m , puissance 2800 KWh (batteries), capacité de traction au croc 70 tonnes (bollard pull)
Construit par le chantier Damen, et classé par le Bureau Veritas. Il a été livré au port d' Auckland en Juin 2022

Les batteries : une solution pour les courtes distances



Le Saint-Malo, ferry de Brittany Ferries à propulsion hybride GNL/ électrique sera mis en service en février 2025 avec des batteries de 11,3MWh, une des plus grande capacité au monde



Catamaran Cegonha Branca Photo Astilleros Gondan

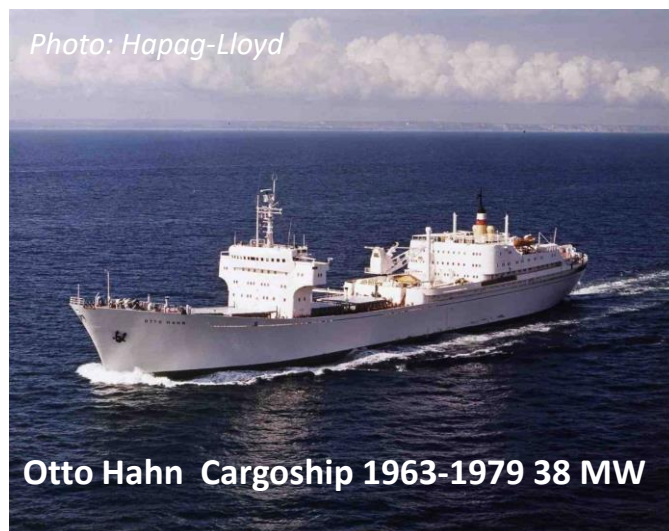
Le Cegonha Branca, ferry tout électrique de la compagnie Transjeto, livré en avril 2023
Long 40 m, 540 passagers, 1860 KWh recharge à quai 5 à 10 mn
Il relie les 2 rives du Tage à Lisbonne,

La propulsion nucléaire ?



160 navires à propulsion nucléaire sont en service à ce jour (2022).

Il s'agit essentiellement de navires militaires mais quelques projets civils ont été développés



Le brise-glace Lénine, 1^{er} navire civil à propulsion nucléaire a été mis en service en 1957



Des projets de petits réacteurs nucléaires SMR (Small Modular Reactors) sont à l'étude pour des applications maritimes.

Des applications pour des installations de production d'énergie en mer (de type FPSO) pourraient également être envisagées.

Les armateurs coréens Sinokor et HMM se sont associés en février 2023 avec d'autres partenaires pour étudier l'utilisation de SMR pour les navires .

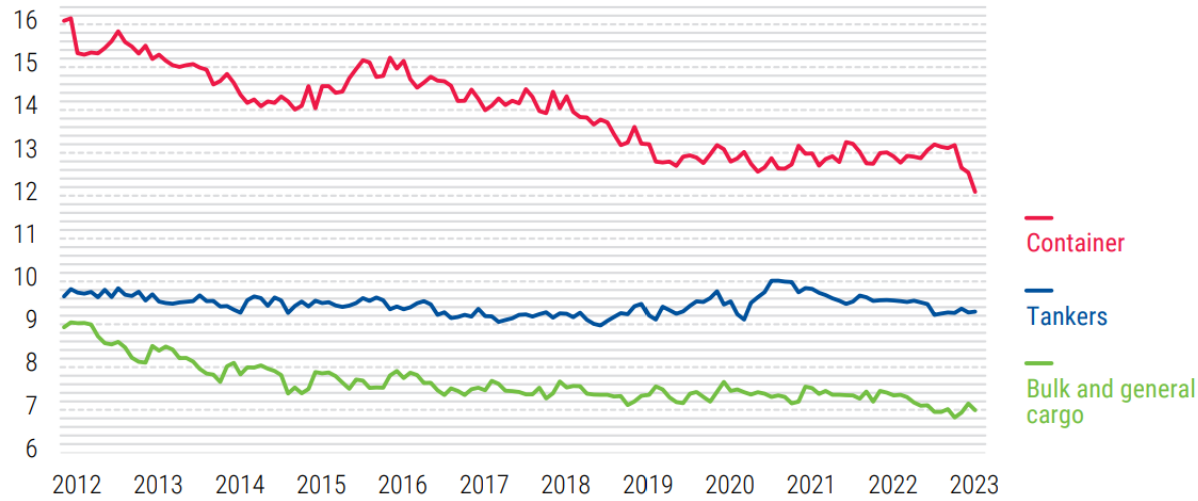


Différents acteurs (chantiers, classes , ingénierie nucléaire) se sont regroupés au sein de l'organisation Nuclear Energy Maritime Organisation (Nemo) pour proposer et développer des standards de pour le nucléaire maritime civil).

Ou en sommes-nous ?

L'intensité carbone des navires continue à baisser et le trafic international croît modérément

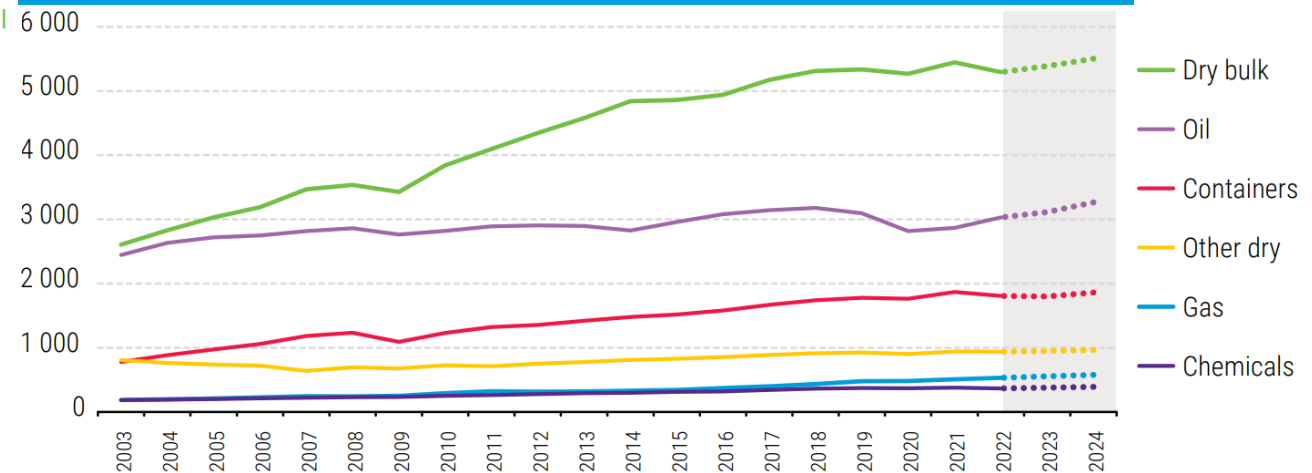
World fleet, three main vessel types, monthly carbon dioxide emissions per ton-mile, January 2012—March 2023
(Gram/ton*nautical mile)



Source: UNCTAD, based on data provided by Marine Benchmark, July 2023.

International maritime trade, 2003–2024
(Million tons loaded)

Croissance estimée 2023: 2,4%
prévue 2024-2028: 2,1-2,2%



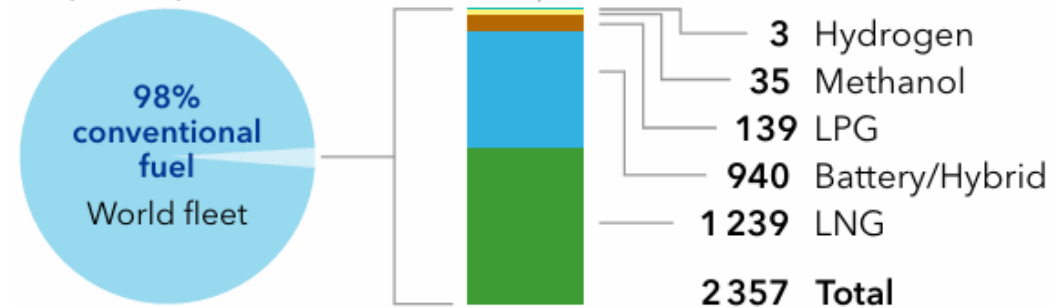
Source: UNCTAD secretariat, based on Clarksons Research, Shipping Intelligence Network time series (July 2023).

Situation générale : Flotte et carnet de commandes

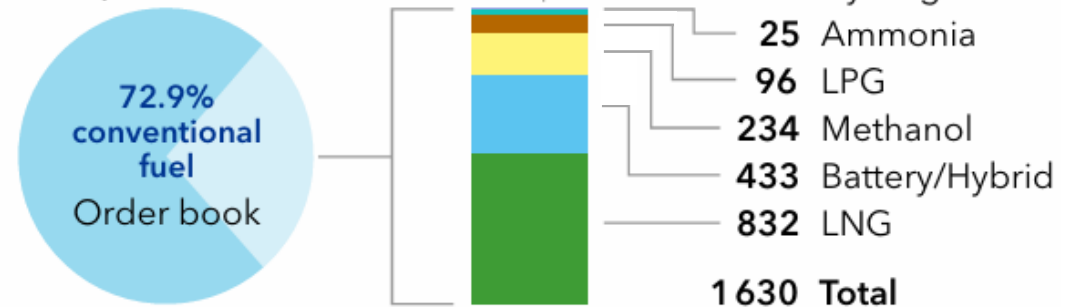
Alternative fuel uptake in the world fleet in number of ships (upper) and gross tonnage (lower), as of June 2024

NUMBER OF SHIPS

Ships in operation

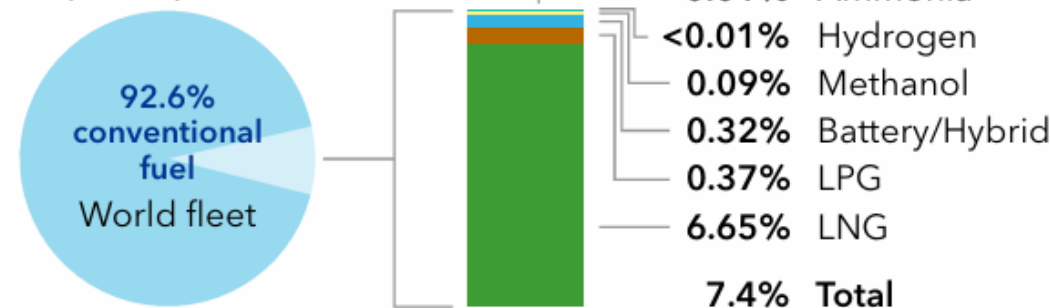


Ships on order

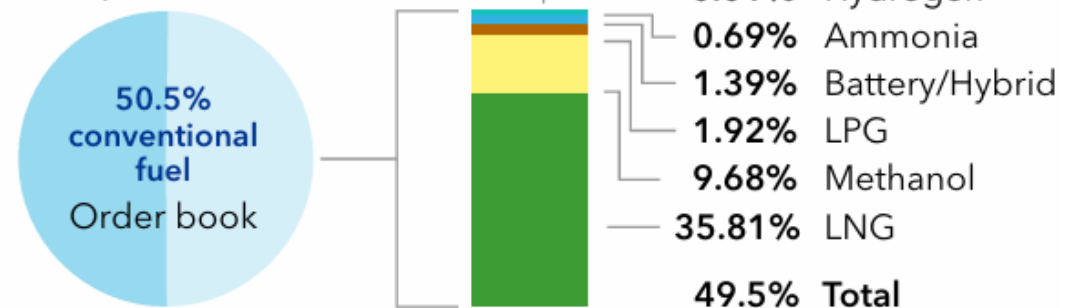


GROSS TONNAGE

Ships in operation



Ships on order



Sources: IHSMarkit (ihsmarkit.com) and DNV's Alternative Fuels Insights for the shipping industry - AFI platform (afi.dnv.com)

Merci !