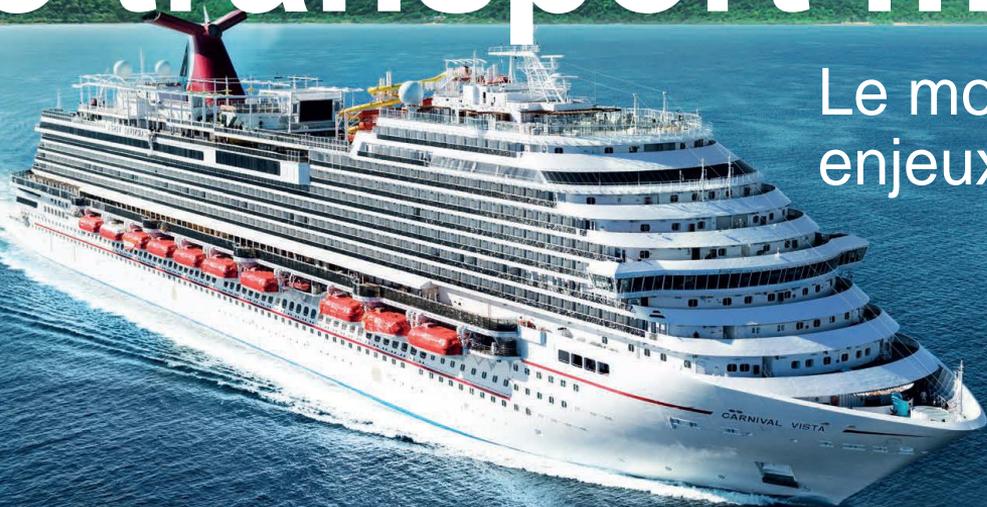


Le transport maritime

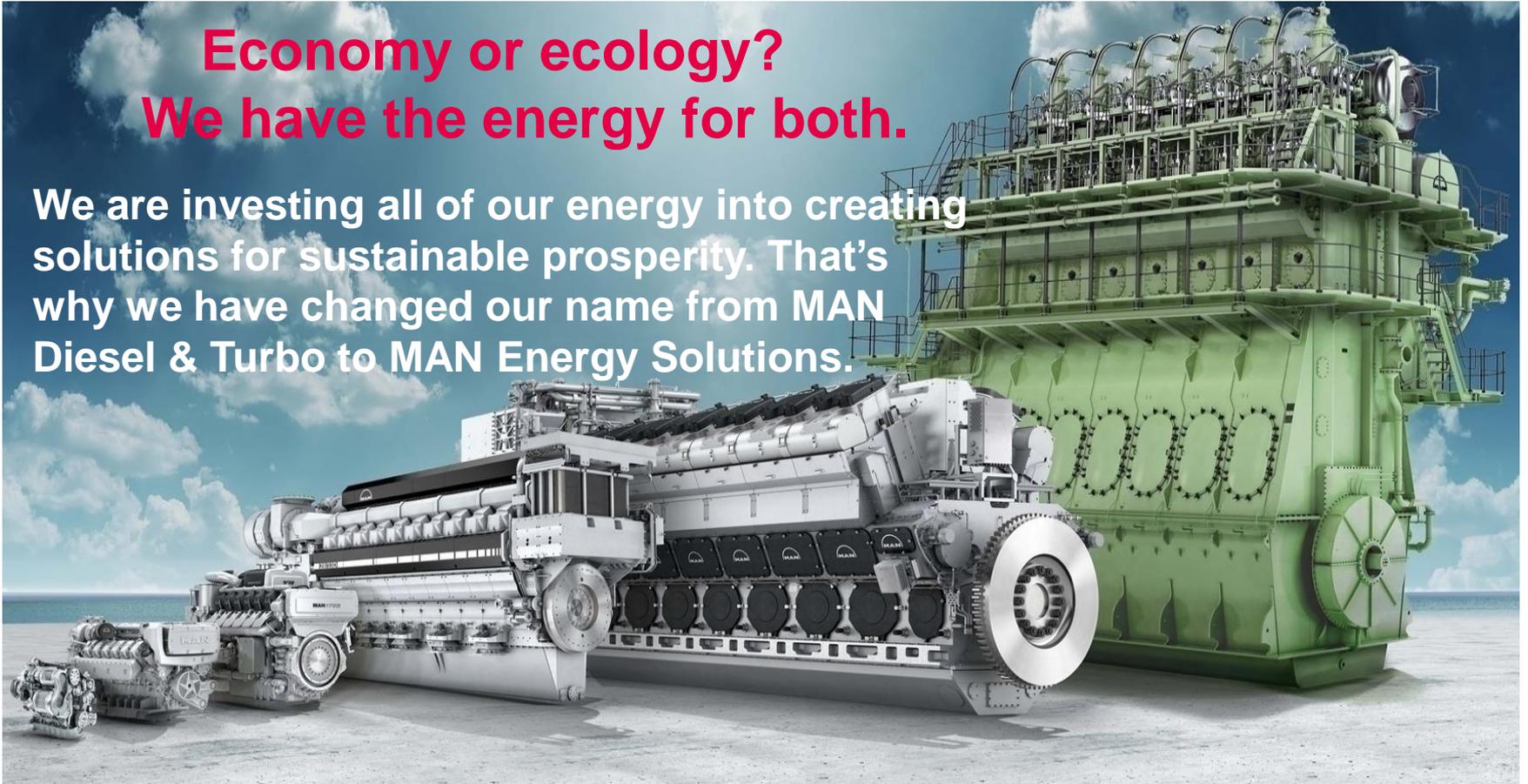
Le moteur diesel face aux enjeux environnementaux



MAN Energy Solutions

**Economy or ecology?
We have the energy for both.**

We are investing all of our energy into creating solutions for sustainable prosperity. That's why we have changed our name from MAN Diesel & Turbo to MAN Energy Solutions.



MAN Energy Solutions France



Le dernier industriel
historique français pour
les grands moteurs diesel



Vous avez dit Diesel?

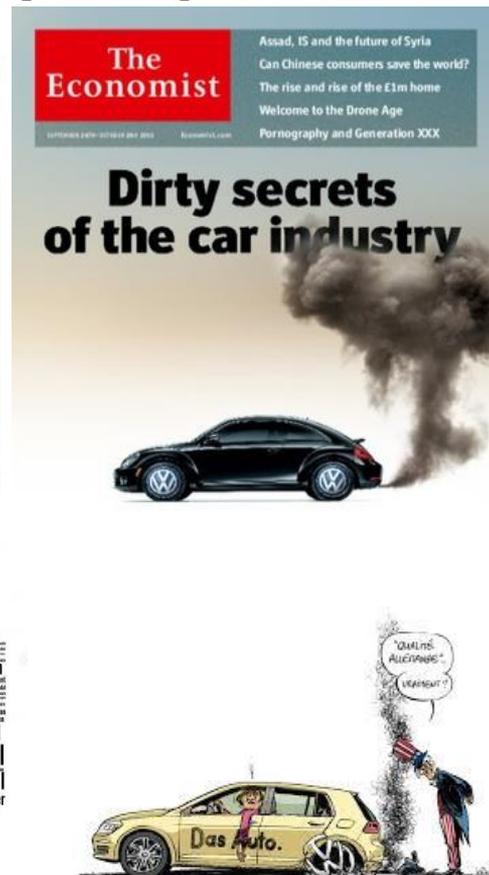


Marseille dans le top européen des ports les plus pollués à cause des croisiéristes

Par Guillaume Allier le 08.06.2019 à 10h24

ABONNÉS

Un nouveau rapport alarmant sur la pollution atmosphérique dans les grands ports européens classe Marseille parmi les plus mauvais passagers. Les navires de croisières, toujours plus imposants, toujours plus nombreux, et dont les rejets équivalent à plusieurs millions d'automobiles, sont pointés du doigt.



L'impact du transport maritime sur les émissions de CO₂ est limité

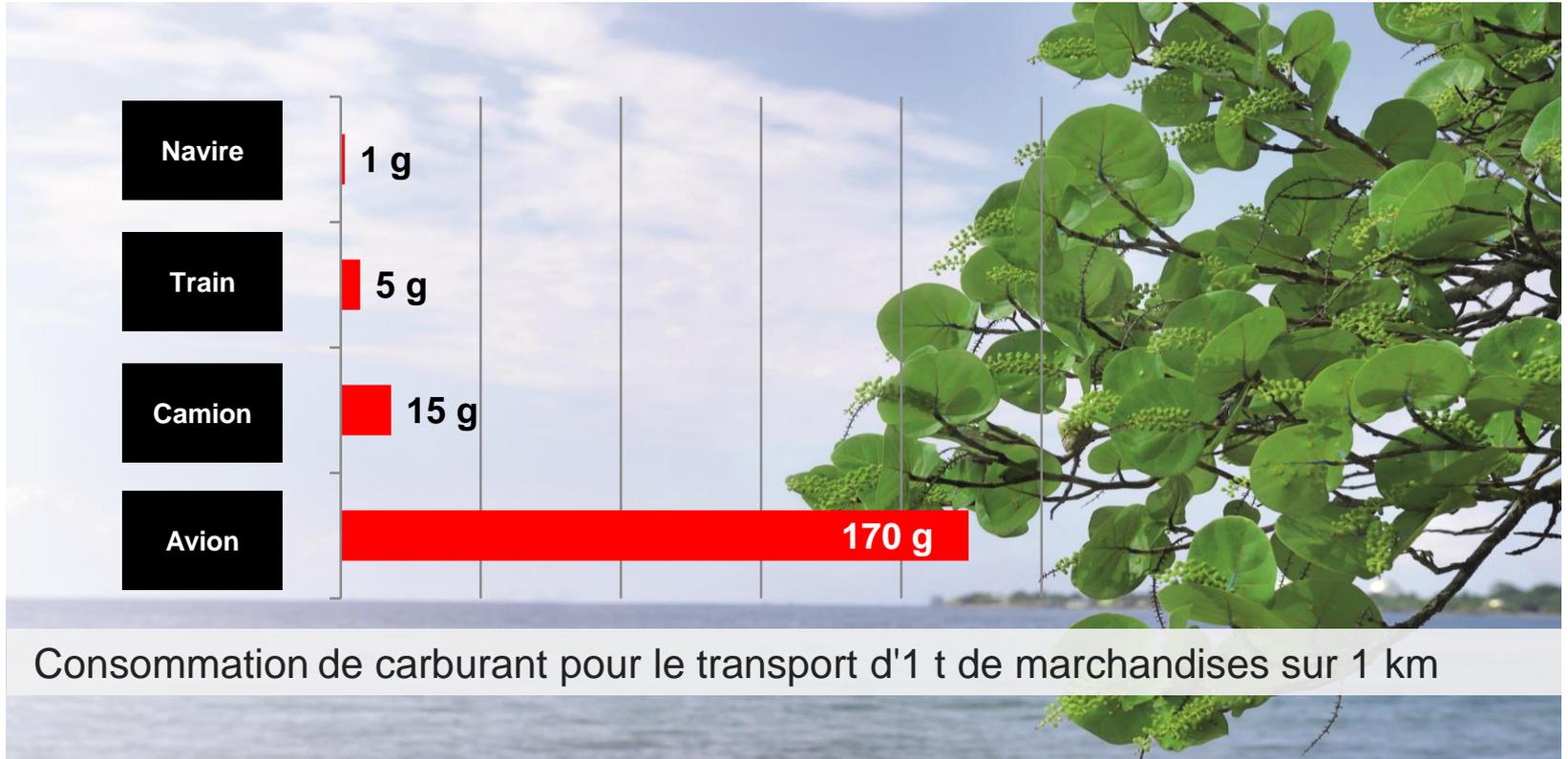
En 2015, l'ensemble des navires qui sillonnaient les océans ont contribué à environ **2,6 % des émissions planétaires de CO₂** (932 millions de tonnes de CO₂).

Rapport ICCT 2017

87 % de ces émissions sont dues au **commerce des marchandises** qui représente lui-même **90 % du commerce mondial !**



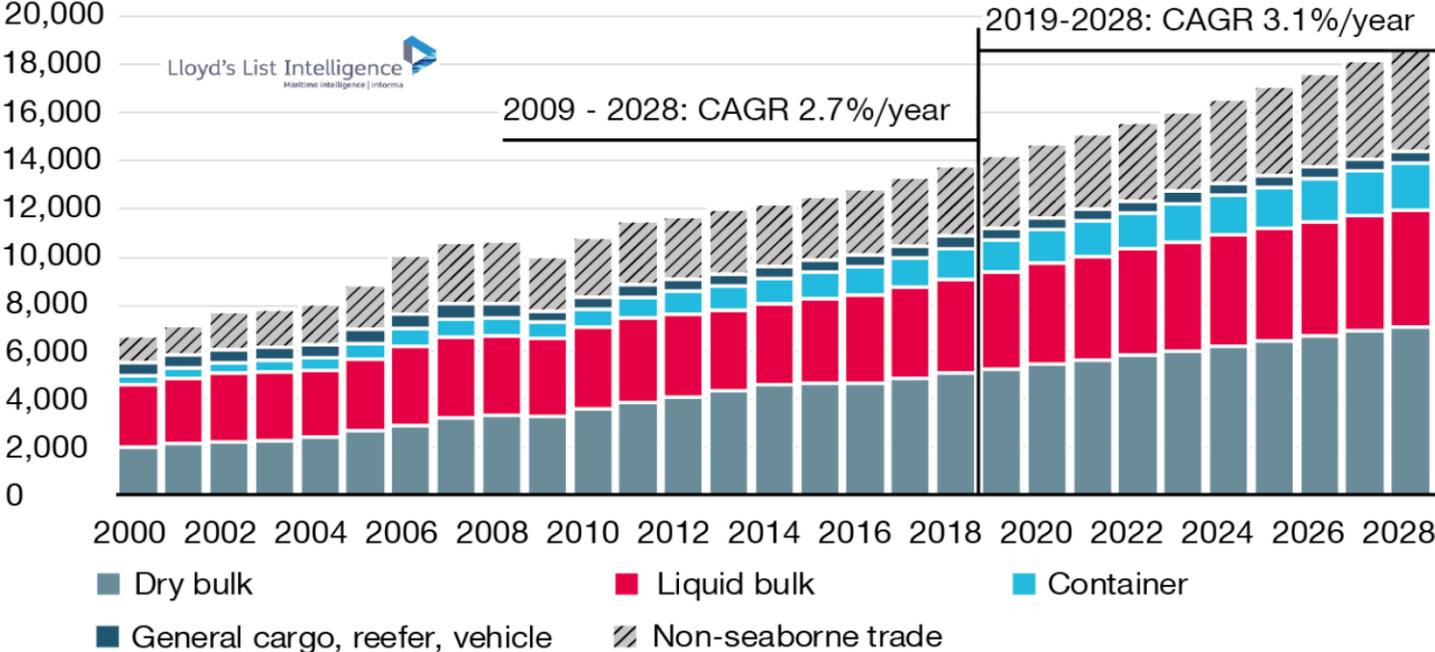
Malgré une consommation absolue élevée, les navires sont le moyen de transport le plus efficace



Le commerce international va continuer de croître

Trade

Million tonnes



Globalement le commerce maritime va augmenté de 30% dans les 10 prochaines années

Le transport maritime ne reste pas à l'écart de l'Accord de Paris



Un accord international sur le climat, applicable à tous les pays fixant, comme objectif une limitation du réchauffement mondial entre 1,5 °C et 2 °C d'ici 2100.

LE TRANSPORT MARITIME, DERNIER SECTEUR À S'ENGAGER (ENFIN) POUR LE CLIMAT

Réunis à Londres toute la semaine, les 173 États membres de l'Organisation maritime internationale (OMI) se sont enfin accordés pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de 50 % d'ici 2050, par rapport au niveau de 2008. Le transport maritime était le dernier secteur de l'économie mondiale à rester à l'écart de l'Accord de Paris sur le climat.



Le transport maritime s'engage à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 50 % d'ici 2050, par rapport à 2008, une avancée importante dans la lutte contre le changement climatique.
@Pixabay

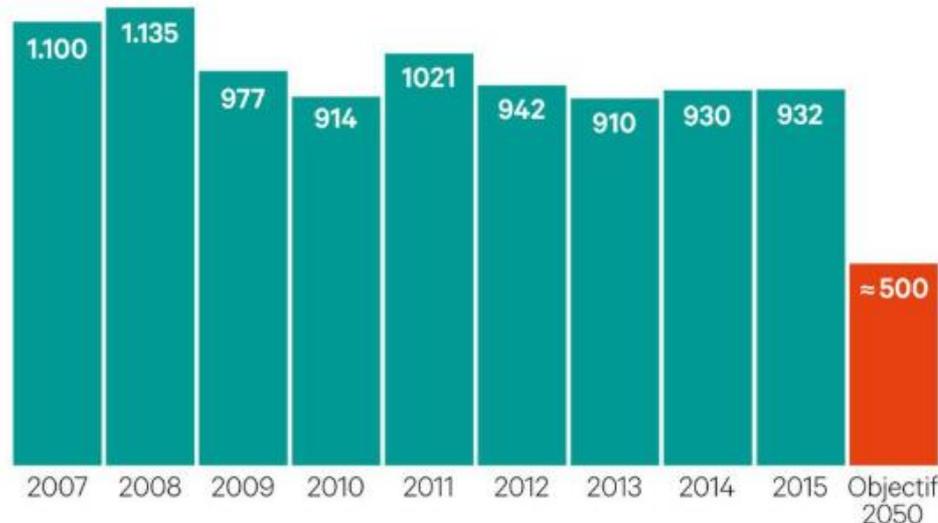
L'IMO s'engage dans une réduction drastique des gaz à effet de serre

L'agence des Nations Unies a approuvé en avril 2018 une **stratégie de réduction des émissions de GES** générées par les activités de transport maritime compatible avec la COP 21.

Son objectif est **de réduire les émissions annuelles totales de GES d'au moins 50 % d'ici à 2050 par rapport à 2008, et les émissions de CO2 d'au moins 40 % d'ici à 2030, et jusqu'à 70 % d'ici à 2050.**

Emissions de gaz à effet de serre par l'industrie du transport maritime

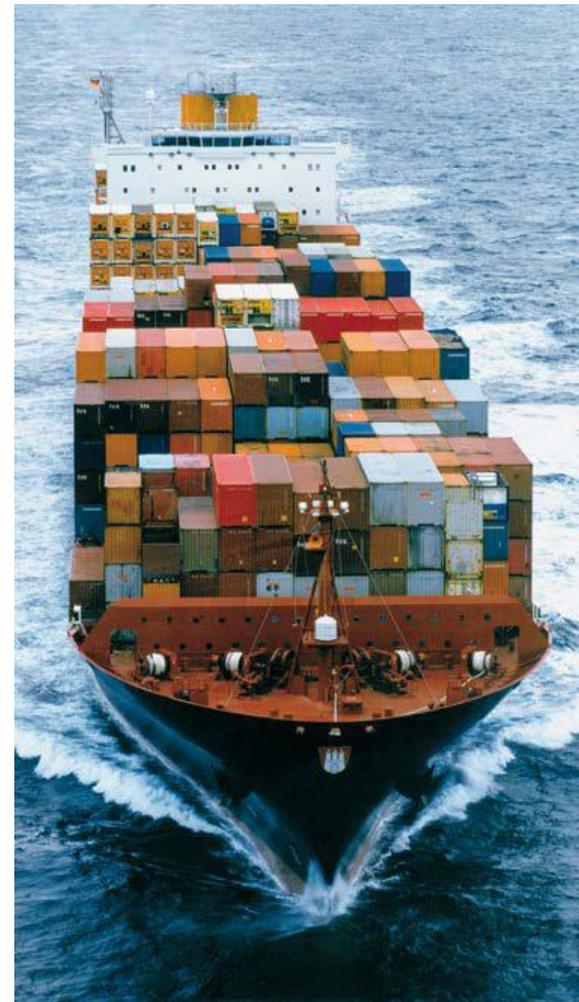
En millions de tonnes de CO2



«LES ÉCHOS» / SOURCES : INTL MARITIME ORGANIZATION, THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION

Agenda

- 1** La réglementation internationale
- 2** Les technologies de réduction des NOx
- 3** Les technologies de réduction des SOx
- 4** L'efficacité des navires / EEDI
- 5** Particules / suies
- 6** Les technologies d'optimisation des systèmes propulsifs des navires
- 7** Les navires du futur?



Principaux effets des polluants atmosphériques issus de la combustion

Polluant	Effets sur la santé	Effets sur l'environnement
Ozone troposphérique O₃		Potentiel élevé d'émission GES Pluies acides
Monoxyde de carbone CO	Insuffisance d'oxygène: cœur, circulation, système nerveux	Indirectes par formation d'ozone
Dioxyde de carbone CO₂	Pas d'effet connu sur la santé	Effet de serre important
Hydrocarbure HC (y compris méthane)	Certains sont cancérigène	Le méthane produit un effet de serre potentiellement élevé Formation d'ozone
Oxyde d'azote NO_x	NO ₂ : Irritation du système respiratoire et autres problèmes	Effet de serre potentiellement important, Formation d'ozone
Dioxyde de soufre SO₂	Gaz irritant pouvant provoquer des affections respiratoires	Acidification de l'environnement
Particules PM	Irritation des voies respiratoires Certaines particules cancérigènes	Absorption et diffusion de la lumière

Sans oublier les Composés Organiques Volatils (COV), les polluants organiques persistants (POP), l'ammoniac (NH₃)...

Des réglementations environnementales en place depuis de nombreuses années

La réglementation concernant les émissions:

- Réglementation NOx IMO (et EPA)
- Réglementation SOx IMO (et EPA)
- Réglementation CO2 par l'EEDI IMO
- Mesures des particules (pas de limitations) de EPA

Possibles réglementations futures des émissions:

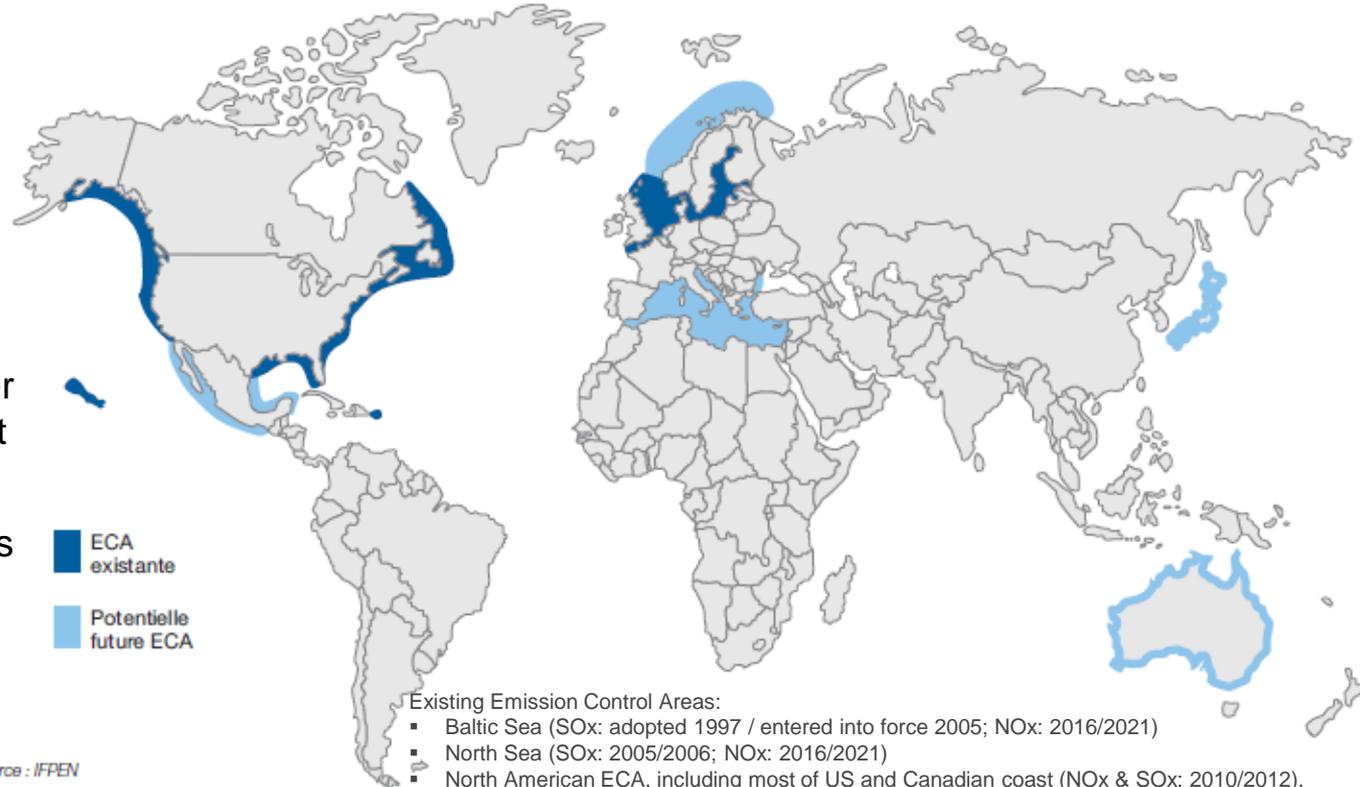
- Fuite de méthane (methane slip)
- Particules (PM)
- Carbon suie - black carbon (BC)
- Fuite d'ammoniac



Les Zones de Règlementation des Emissions polluantes s'étendent

Les zones de réglementation des émissions de polluants (**ECA**) portant sur les NOx et SOx: aujourd'hui la Mer du Nord, la mer Baltique et Amérique du Nord,

Extension future des zones ECA, en particulier pour la Méditerranée,

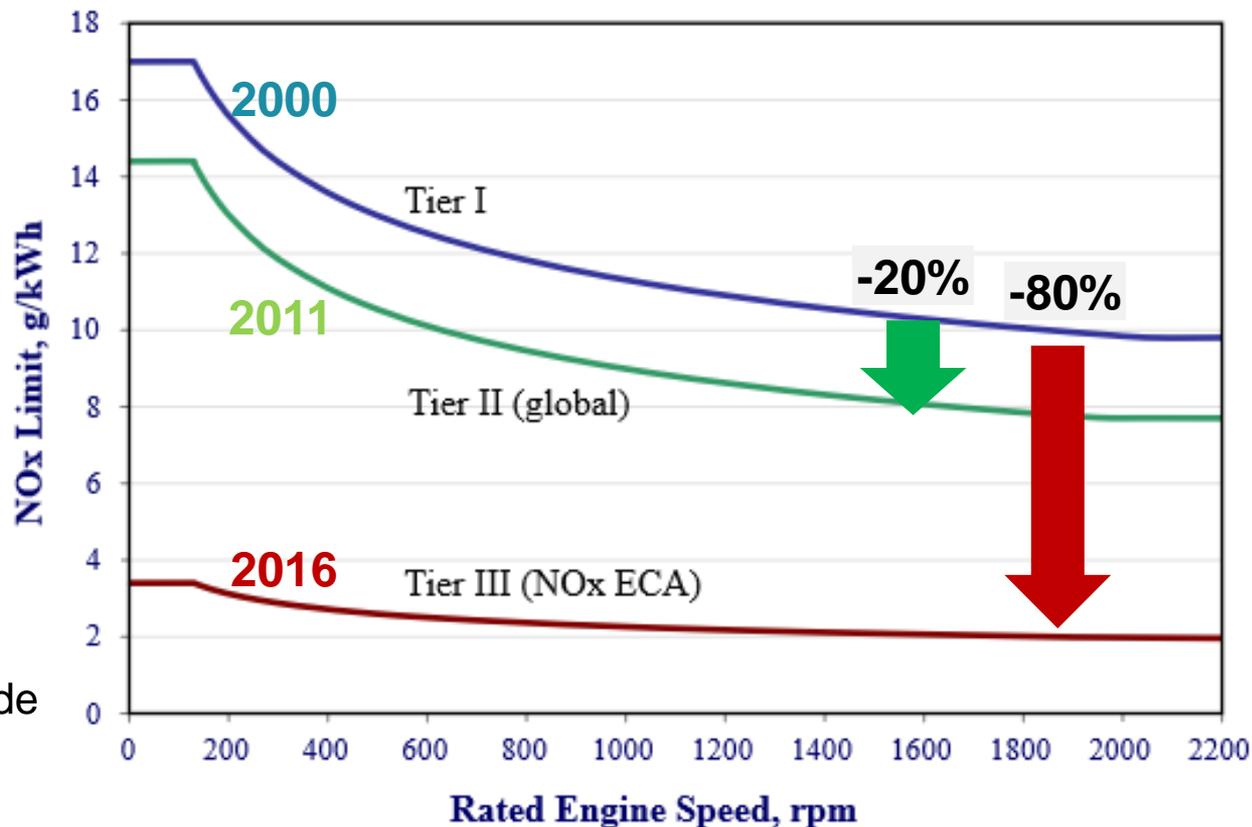


Les limitations réglementaires NOx



Entre 2000 et 2016, la limite d'émissions des NOx a été réduite de

- **80%** dans les zones ECA,
- **20%** dans le reste du monde



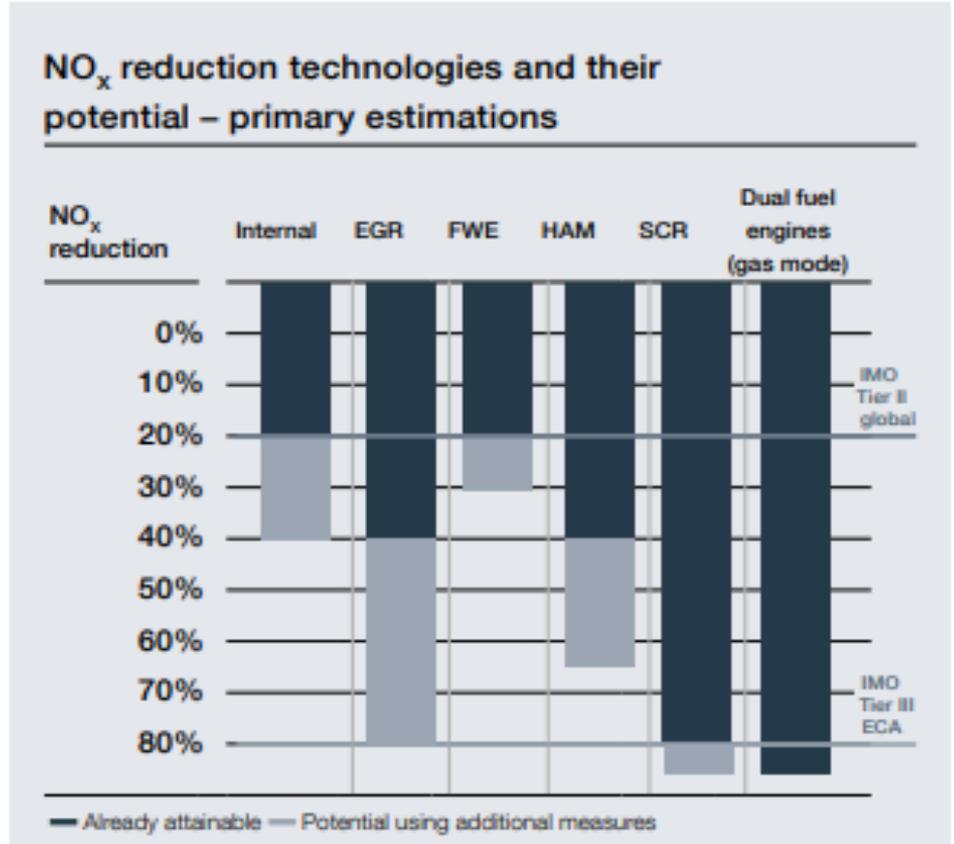
Technologies pour réduction des NOx

Moteurs Diesel 4-temps

Les NOx (principalement NO₂ et NO₃) se forment par **le pic de température** pendant la combustion.

Pour limiter la formation des NOx:

- Réduire le pic de température et “lisser” la combustion,
- Réaliser des compromis avec consommation
- Post traitement des gaz d'échappement
- Combustibles gazeux

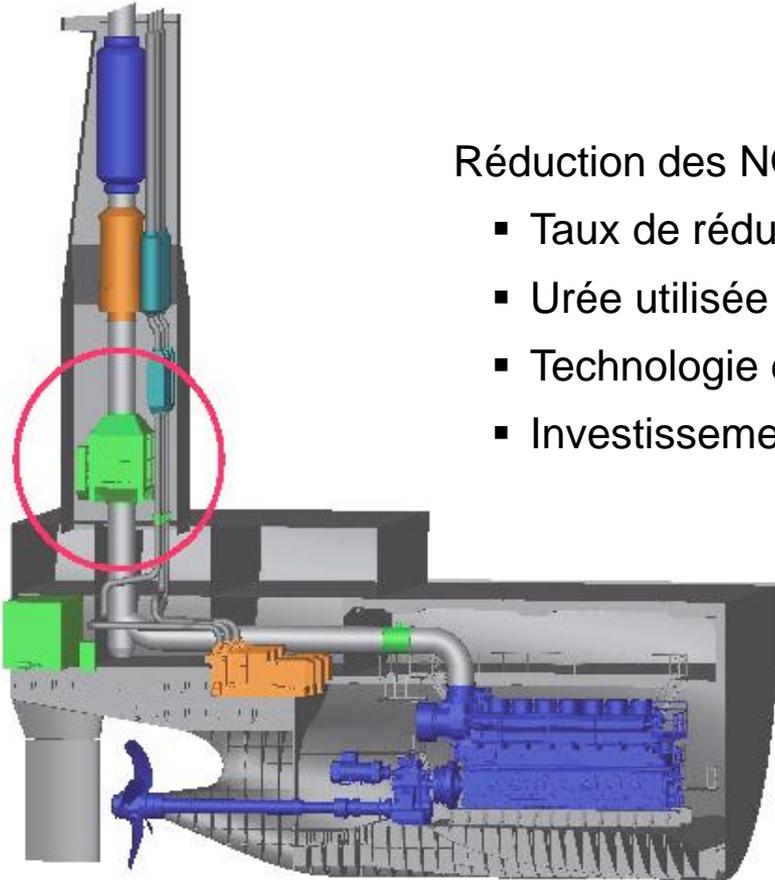


Réduction des NOx par recirculation des gaz d'échappement (EGR)



- La recirculation des gaz d'échappement provoque un **ralentissement du processus de combustion et diminue la température** de combustion,
- Un potentiel de réduction des NOx jusqu'à **80%**, disponible même à charge partielle,
- **Technologie éprouvée** pour les applications on-road, en développement pour les moteurs fonctionnant avec des combustibles avec une teneur en soufre importante,
- Solution peu utilisée pour les moteurs 4-temps (encombrement, complexité).

Réduction des NOx par catalyseur



Réduction des NOx par catalyseur SCR:

- Taux de réduction important (**85 -90%**),
- Urée utilisée comme agent réducteur,
- Technologie éprouvée,
- Investissement faible.

Contrainte principale: maintenir une **charge moteur > 25%** pour conserver une température à l'entrée du catalyseur évitant la formation de sulfate d'ammonium.

Les limitations réglementaires SOx

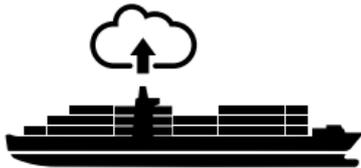
Les émissions de SOx ne peuvent pas être influencées par le processus de combustion.

Solutions:

- Changement de combustible (MGO, **gaz** ...)
- Traitement des gaz d'échappement (**scrubber**)



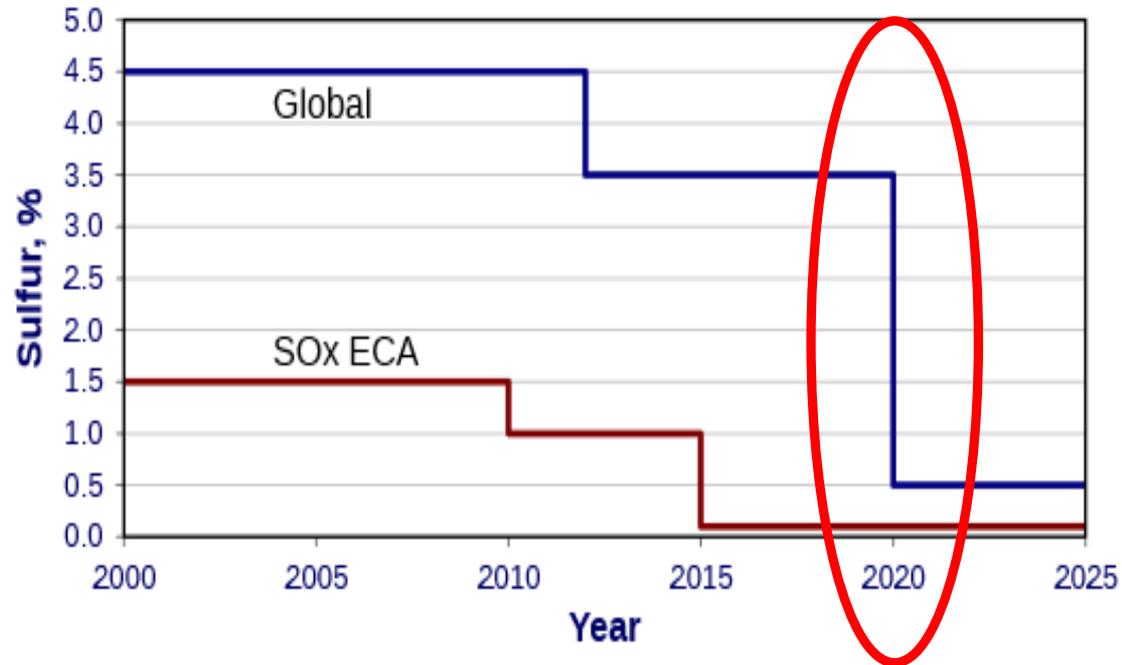
Low Sulfur Fuel



Exhaust gas cleaning systems (Scrubbers)



Liquid Natural Gas



Le traitement des fumées: scrubber

FONCTIONNEMENT

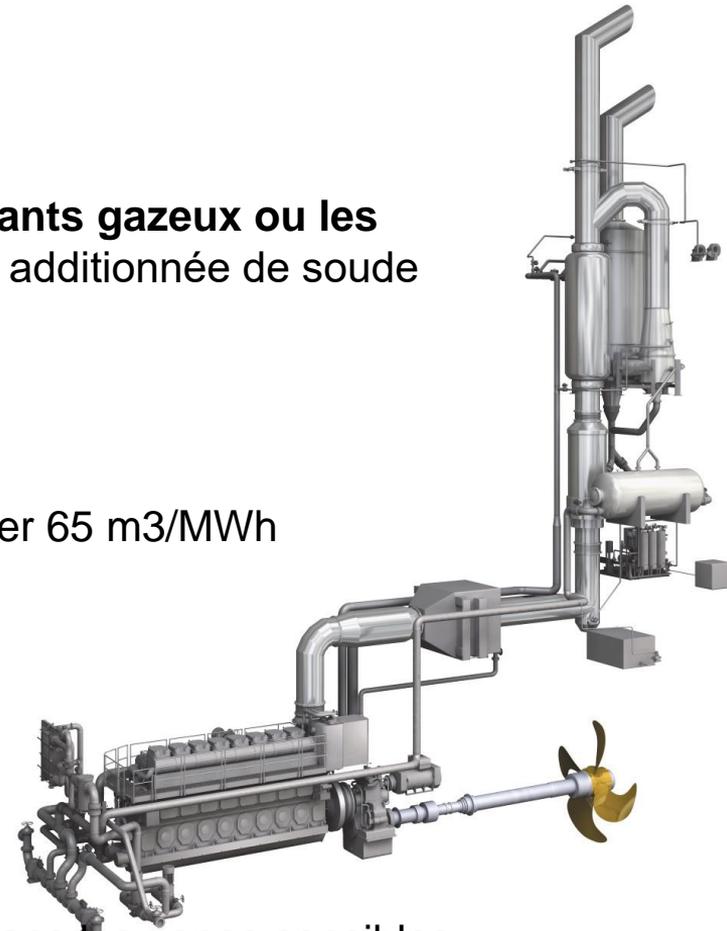
Lavage des gaz d'échappement en solubilisant les **polluants gazeux** ou les **poussières** par l'eau de mer (open loop) ou par de l'eau additionnée de soude (closed loop).

AVANTAGES

- Utilisation possible du fuel lourd,
- Pas de produits consommables (open loop), eau de mer 65 m³/MWh
- Plusieurs systèmes disponibles sur le marché,
- Retrofit possible d'installations existantes.

CHALLENGES

- Complexité du fonctionnement,
- Demande importante d'énergie (1,3 ~1,7 % MCR),
- Fumée blanche (réchauffage des gaz d'échappement)
- Nécessité de stockage des eaux chargées en soufre dans les zones sensibles.



Scrubber: un marché très actif de retrofit des navires existants



- Implantation d'un scrubber dans un navire existant: un investissement de l'ordre de 3 à 6 M€,
- Retour sur investissement très dépendant de l'écart futur entre le HFO et le MGO à très bas taux de soufre: sur la base des cours actuels, retour sur investissement à 2~3 ans pour les scrubbers Open Loop et à 3 ~3,5 ans pour les systèmes hybrides.,
- Nombreux armateurs engagés dans la transformation de leurs navires.



Des scrubbers français pour Brittany Ferries

85 paquebots de Carnival équipés de scrubbers d'ici 2020

Publié le 14/03/2017 17:14 | Mis à jour le 14/03/2017 18:08

Quatre-vingt-cinq des 102 paquebots de Carnival actuellement en service seront équipés de systèmes de lavage des gaz d'échappement (scrubbers) d'ici à 2020, a annoncé le groupe n° 1 mondial de la croisière maritime.

Les contrôles et les sanctions sont effectives

Tanker Owner and Operator Fined \$3 Million for Air Pollution Crimes in U.S. Caribbean ECA

August 27, 2019 by Captain



© Capt. Tony Powell
MarineTraffic.com

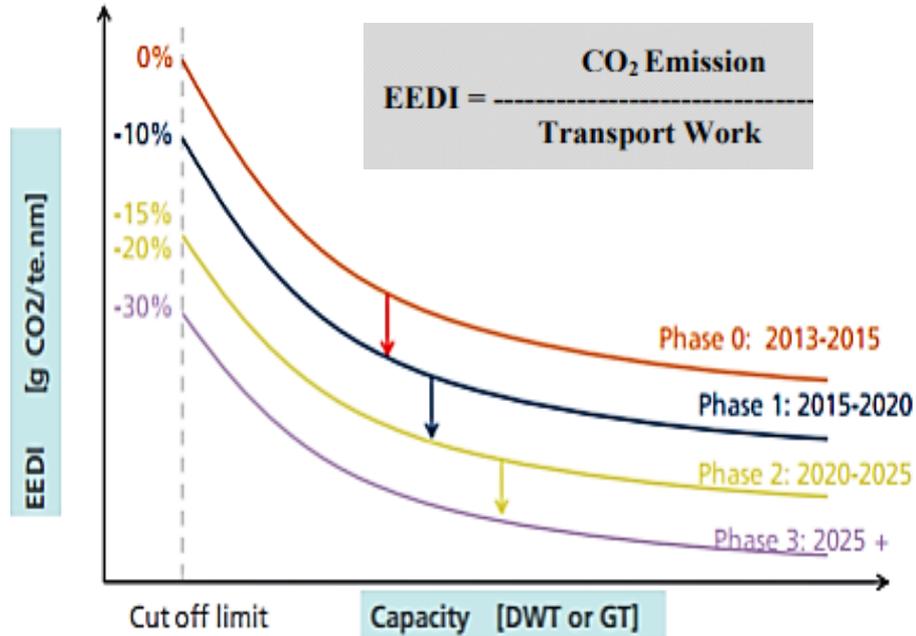
IT Ocean Princess. Photo: MarineTraffic.com/Capt. Tony Powell

En cas d'infraction à la réglementation, les sanctions touchent l'armateur **et** les officiers navigants.

The Greek owner and operator of a Panama-flagged oil products tanker, along with the vessel's senior officers, have been convicted of air pollution crimes in the United States for using bunker fuel that exceeded the maximum allowable sulfur limit in the U.S. Caribbean Emission Control Area.

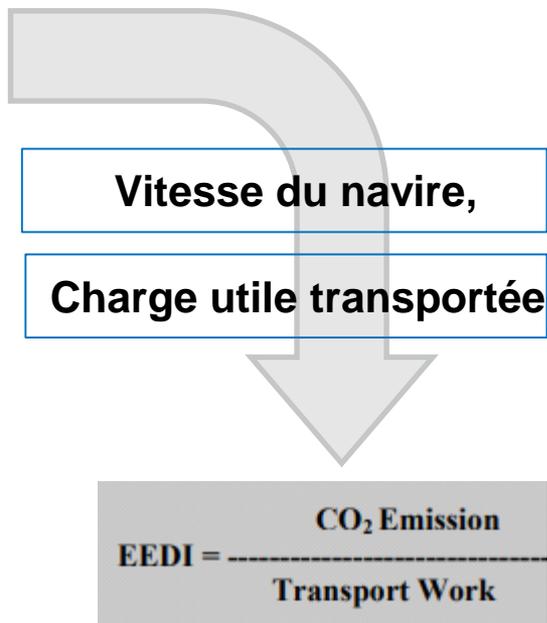
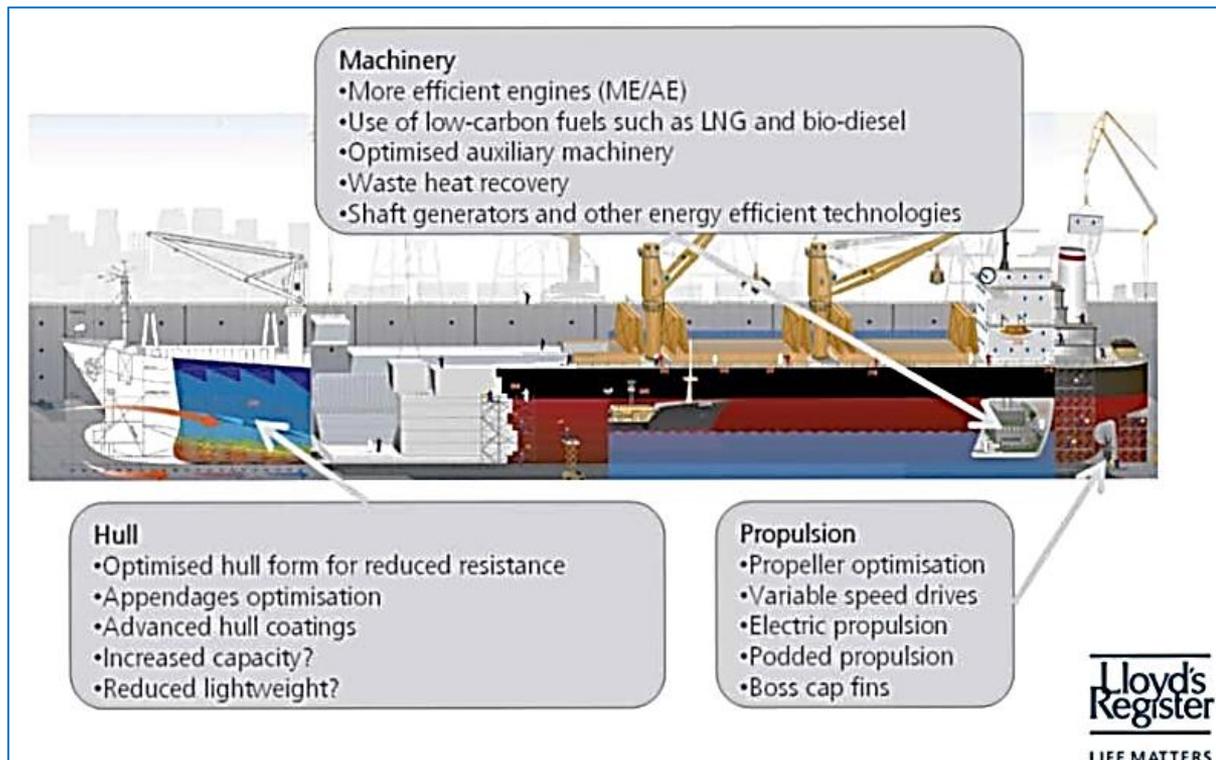
The tanker, the MT Ocean Princess, was owned by Lily Shipping and operated by Ionian Shipping & Trading. Both have been convicted and sentenced to pay a \$1.5 million each for various pollution, recordkeeping, and obstruction of justice crimes related to the operation of the tanker.

L'efficacité des navires imposée dès leur conception: *Energy Efficiency Design Index (EEDI)*



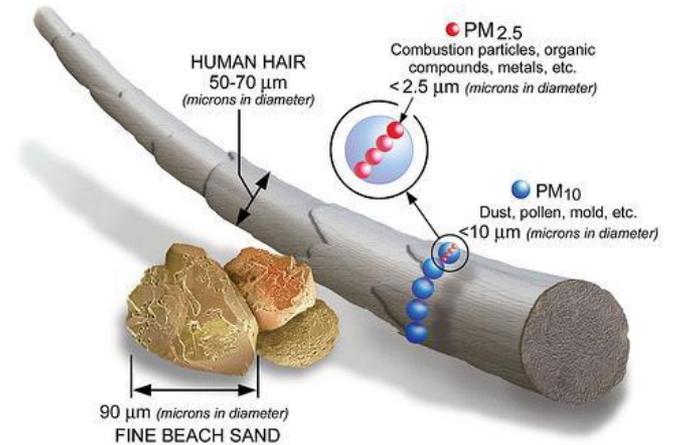
- L'IMO a défini un indice reflétant l'efficacité d'un navire,
- EEDI exprimé en gramme de CO₂ utilisé pour transporter 1 tonne de fret sur une distance de 1 mile nautique,
- Le principe est une réduction par phase de l'indice, par exemple, -10% pour la période 2015-2020 (une courbe par type de navire),
- EEDI obligatoire pour les nouveaux navires depuis 2013. Les Sociétés de Classification certifient l'EEDI du navire.

L'EEDI couvre l'ensemble des équipements du navire et ses conditions d'exploitation

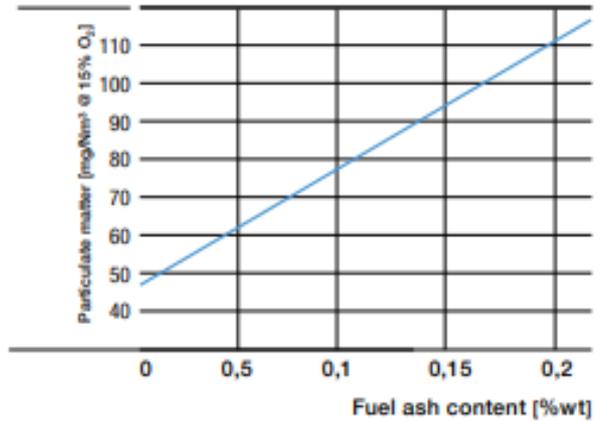


Les émissions de particules

- Les émissions de particules se forment en raison d'une **combustion incomplète** (suie), ou la **combustion d'huile de lubrification** ou par des **composants non-inflammable du combustible** (cendres).
- La **teneur en cendre** du combustible est un paramètre important pour l'émission de particules.
- **Remèdes:**
 - Réduire la formation de suie par une combustion « propre »: pulvérisation fine, réglage, adaptation turbo, design de la chambre de combustion
 - Le traitement des gaz d'échappement.



Particle Emissions Influencing Factors



Les filtres à particules

01/04/2019

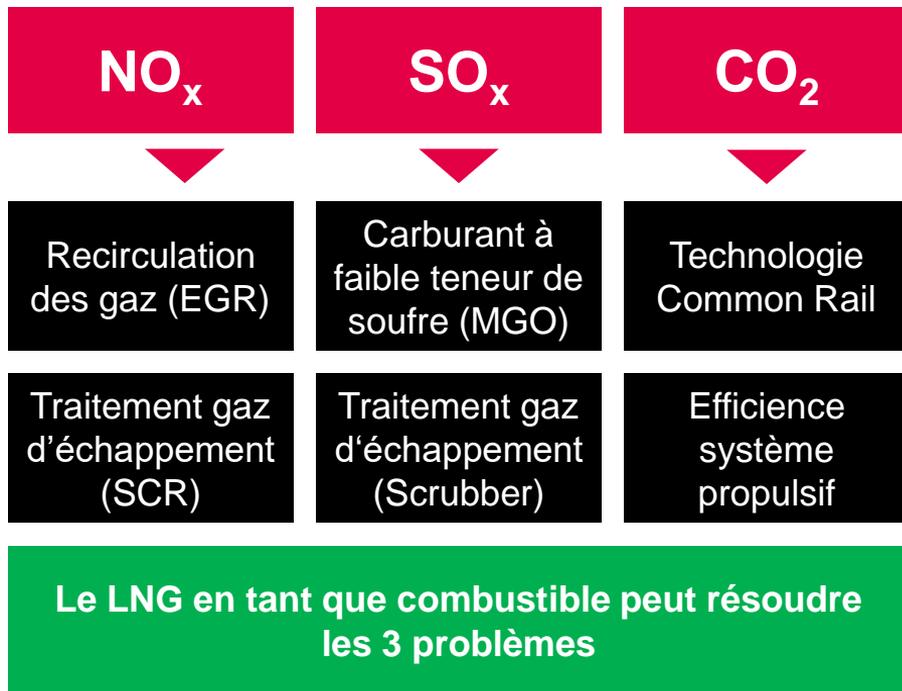
LA MERIDIONALE EXPERIMENTE UN FILTRE A PARTICULES NOVATEUR

UNE PREMIÈRE MONDIALE DANS LE DOMAINE DU TRANSPORT MARITIME !



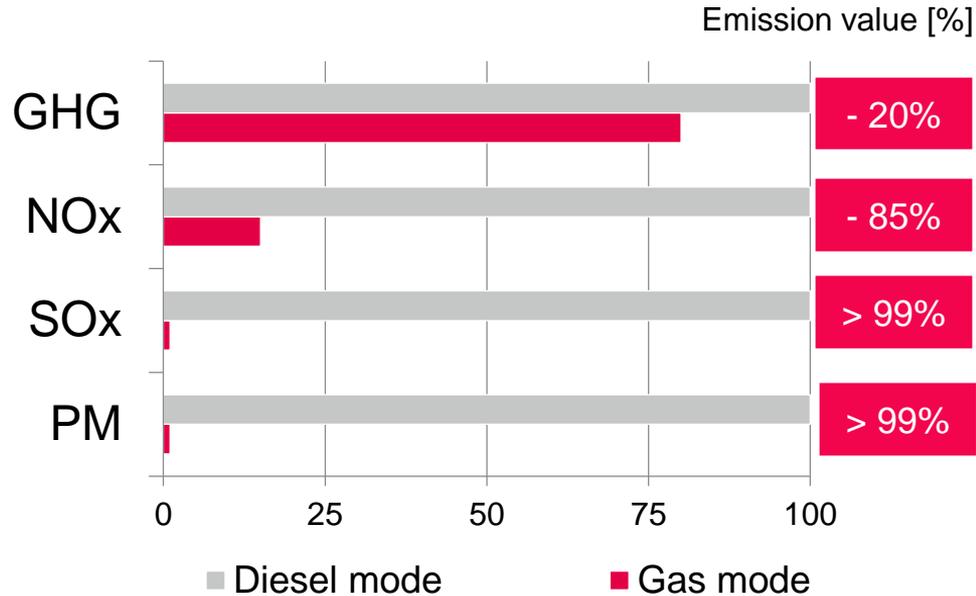
- Différents systèmes sont possibles et efficaces, mais leur encombrement et leur exploitation rendent leurs installations difficiles.
- L'**absence de réglementation** ne pousse pas le développement de la technologie.
- Néanmoins, certains armateurs expérimentent des solutions

La transition écologique dans le transport maritime avec le LNG*



* LNG: Liquefied Natural Gas, 90% méthane, liquide à -161°C

Le gaz est la meilleure solution disponible aujourd'hui



Le LNG permet de respecter les contraintes NOx, les limites de soufre **sans post-traitement** et de réduire les émissions de CO2 (sous réserve de contrôler le « methan slip »).



Dual-Fuel, la solution flexible pour la propulsion des navires



Dual-Fuel disponible pour les applications marine: **commutation liquide vers gaz ou vice versa à n'importe quel moment, à n'importe quelle charge**

- **Cycle Otto:** introduction du gaz en amont de la chambre de combustion:
 - Allumage par bougie ou injection pilote,
 - Indice méthane du gaz >70,
- **Cycle Diesel:** injection du gaz a haute pression dans la chambre de combustion
 - Pas de risque de détonation ou de défaut d'allumage,
 - Pas de «methan slip »
 - Moins sensible à la qualité du gaz,
 - Haut rendement,



Retrofit Dual-Fuel, un moyen d'accélérer la transformation énergétique

- Transformation Dual-Fuel des navires existants possible et permettant des améliorations importantes,
- Marché potentiel important et actif.



World's First Conversion of Container Ship to Dual-Fuel Operation Concludes Successfully



Damen Dunkerque assurera le retrofit GNL de la drague Samuel de Champlain

Le LNG, la solution disponible, mais des progrès encore nécessaires

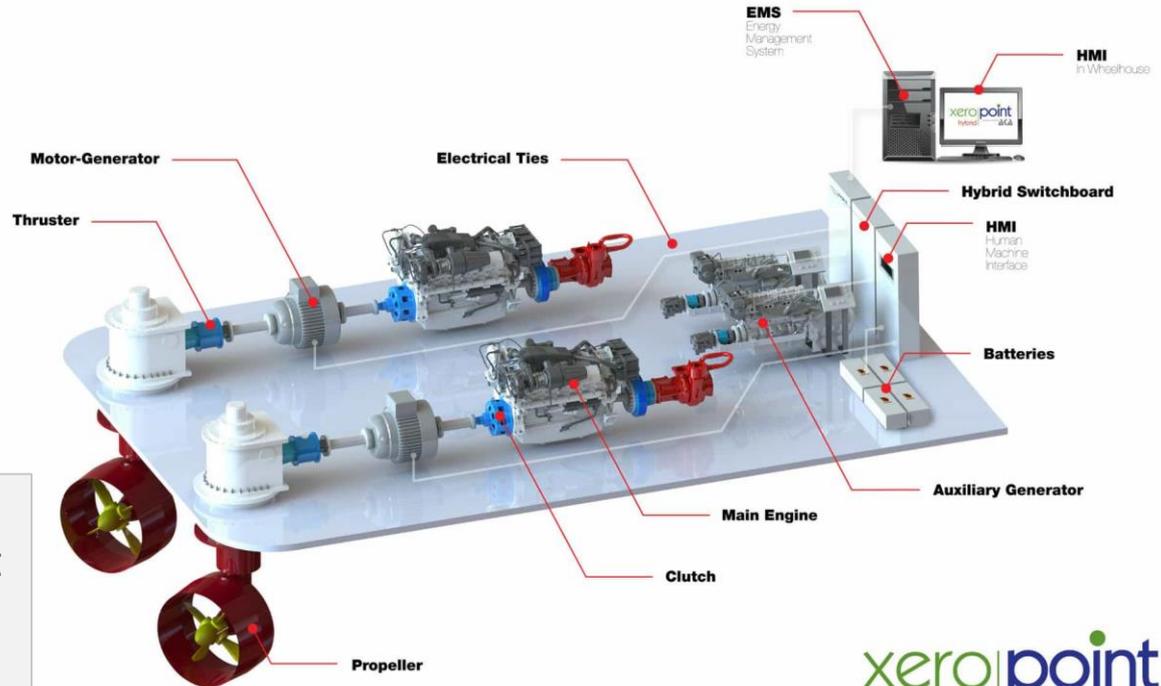


Lorsqu'il s'agit d'alternatives respectueuses de l'environnement au pétrole, le LNG est le carburant évolutif et économique actuellement disponible pour la grande majorité du transport maritime hauturier

Les challenges

- Poursuivre l'optimisation moteur et les possibilités de retrofitting,
- Investir dans les technologies critiques:
 - Post-traitement CH_4
 - Industrialisation de gaz CO_2 -neutre / de-fossilisé,
- Harmonisation et mise en œuvre de réglementations globales,
- Installation de stockage
- Logistique: infrastructures portuaires, re-fueling

Le système de propulsion hybride



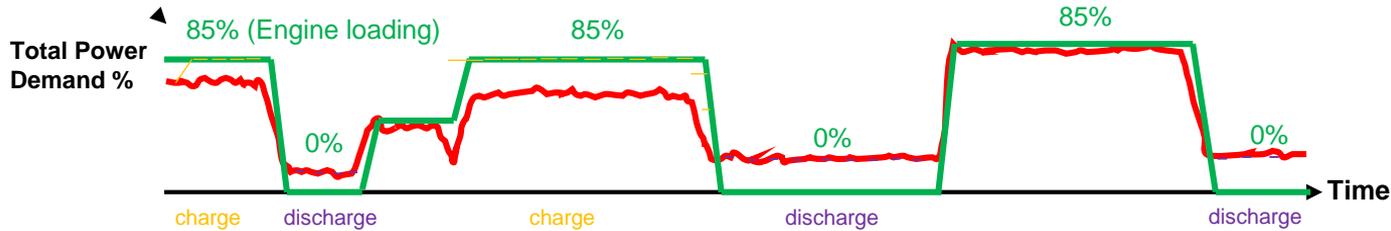
Un système associant moteurs Diesel, génératrices, batterie et **logiciel d'optimisation** pour une réduction des émissions et des couts d'exploitation

La propulsion hybride

Challenge

De nombreux navires ont un **profil de charge très variable** avec une part de charge partielle élevée. Les moteurs sont utilisés à faibles puissances avec des variations de charge fréquentes:

- **consommation de carburant élevée, usure accrue et niveaux d'émissions plus élevés (NOx, fumées).**



Solution

Ajouter un stockage d'énergie au système de propulsion permet:

- augmenter la charge des moteurs jusqu'au point de fonctionnement optimum: **consommation minimale**
- optimiser le fonctionnement: charge constante ou arrêt



Les bénéfices d'un système de propulsion hybride



- Economie sur le combustible,
- Puissance installée plus faible grâce à l'apport des batteries,
- Diminution de nombre d'heures de fonctionnement des moteurs et diminution des couts de maintenance,
- Fonctionnement zéro-émission et silencieux,
- Sécurité et la fiabilité accrues grâce à la redondance des systèmes,
- Efficacité hydrodynamique de l'hélice améliorée en fonctionnant sur un point optimum,
- Réduction des émissions de fumée.

Réduction de la vitesse des navires

Slow steaming

- En générale, une réduction de vitesse de 10% permet une **réduction de 20% des CO2**,
- Le *slow steaming* est une **tactique habituelle** pour gérer une variation importante du prix du combustible, ou de la capacité appelée,
- Une baisse importante de l'utilisation des moteurs peut conduire à des **problèmes de fiabilité** (corrosion, encrassement ...)
- Sur une même ligne, et à volume identique, le *slow steaming* conduit à **augmenter le nombre de navire, minimisant ainsi le gain CO2**

Ship speed indices

■ Bulk carriers ■ Tankers
■ Container ships



Note: Index 2008=100; 2019 data as of April 1

Source: Clarksons

"Réduire la vitesse des navires marchands":
cinq questions sur la mesure pour le climat
défendue par Macron au G7

Au port, arrêt des groupes au profit d'alternatives moins polluantes



Au port, alimentations du navire alternatives moins polluantes, évitant le fonctionnement des moteurs à faible charge (fumées, particules, CO₂), par exemple:

- Raccordement électrique: nécessité investissements portuaires, fréquence 50 vs 60hz, puissance appelée,
- Barge LNG,
- Containers LNG, Fuel Cell





De nouveaux combustibles *neutres-CO₂* nécessaires pour atteindre l'objectif 2050

New fuels in the market?



Ammonia as Marine Fuel

New fuel rules push shipowners to go green with LNG

New attempt with hydrogen as ship fuel in the Netherlands

In Depth: Methanol Is Ready for Use as Marine Fuel

Renewable methanol a 'fuel with a future' for passenger shipping

Battery, hydrogen and ammonia-powered ships by far the most efficient way to decarbonise the sector - analysis

Rotterdam Looks for Green Fuel Projects

Sailing on Solar

Could green ammonia decarbonise international shipping?

MAN, HHI Join Forces on LPG Dual-Fuel Engine

With Ammonia, There's No "Chicken or Egg" Dilemma

Oil's days as shipping fuel are numbered

Ship Operation Using LPG and Ammonia As Fuel on MAN B&W Dual Fuel ME-LGIP Engines

BW LPG to Retrofit 4 Ships to LPG-Propelled Dual-Fuel Engines

Shipping Heavyweight Orders World's First Mega-Container Vessel Retrofit to LNG

MAN Cryo Takes Further Step towards Cleaner Shipping in World-First liquid-hydrogen fuel-gas system

Waterfront to Add Four More Methanol-Fueled Ships

Boil-off Gas Operation on LNG Carriers with Dual Fuel Propulsion Plant

Emission Control Using Dimethyl Ether in Marine Applications

DNV GL predicts carbon-neutral fuels, including ammonia, to surpass oil for shipping by 2050

In Depth: Interview: Hydrogen Is the Ideal Zero-Emissions Fuel

Future maritime fuels with a small carbon footprint seen from a life cycle perspective

Strategy for selecting an optimal propulsion system of a liquefied hydrogen tanker

BP Marine to introduce low-sulphur fuel oil for shipping

LGP-Fuelled ME-LGIP to Power Chinese VLGC

Specification for Biofuel

NH3, futur carburant non-fossile?

Avantages du NH3 en tant que carburant vert:

- Combustion propre sans CO2 ni carbone,
- Synthèse de NH3 à l'aide d'énergie électrique renouvelable,
- Vecteur de transport/stockage de H2,
- Stockage avec une densité d'énergie élevée à <20 bar
- Faible risque d'incendie,
- Grâce à longue expérience de l'industrie des engrais, pratiques sécurité bien établies .



- Comparé à la pile à combustible SOFC, le moteur à combustion interne est la meilleure technologie (poids/puissance, temps de réponse, cout ...)
- MAN industrialise une solution NH3 pour ses grands moteurs DF,
- De nombreux projets sont en cours, en particulier pour les navires de transport de l'ammoniac.

METHANOL, un combustible marin novateur

METHANOL
AS A MARINE FUEL

A SAFE, COST EFFECTIVE, CLEAN-BURNING, WIDELY AVAILABLE
MARINE FUEL FOR TODAY AND THE FUTURE

- A low emissions fuel that meets increasingly stringent environmental fuel regulations.**
- Renewable fuel, infrastructure and storage ready.**
- One of the top ten chemical commodities shipped around the world each year. Under some alternative trade, it is readily available through existing global network infrastructure.**
- For over 100 years, proven globally, handled and used safely in a wide range of energy applications.**
- A clean, renewable liquid that meets demands of liquid and energy storage capacity.**

methanex
the power of life

Le méthanol est un carburant marin novateur, sûr et rentable, d'aujourd'hui et de demain.

- Méthanol réduit les **émissions** SOx, NOx et de particules,
- Production possible par des **énergies renouvelables**,
- Faible coût de modification de l'infrastructure de stockage et de ravitaillement en carburant pour traiter le méthanol,
- Coût de construction de nouveaux navires et de la conversion de navires existants au méthanol inférieur à d'autres conversions de carburant de remplacement,
- Un des cinq principaux produits chimiques expédiés chaque année dans le monde: **disponibilité du méthanol grâce à l'infrastructure mondiale existante**,
- Premiers navires en exploitation depuis 2016 avec des moteurs MAN Dual Fuel.

Technologies émergentes alternatives ou d'appoint

- Batterie électrique,
- Pile à combustible,
- Nucléaire,
- Voile, rotor Flettner, énergie éolienne
- Panneaux solaires,



Des navires 100% électriques

Short sea now has applications – 100 % battery powered car ferry on Oslo Fjord



La technologie pile à combustible H₂

La solution zéro émission la plus pratique et la plus viable?

MARITIME
STUDY ON THE USE OF FUEL CELLS IN SHIPPING
EMSA European Maritime Safety Agency



The Samskip-led Seashuttle project aims to develop a short-sea container ship powered by hydrogen fuel

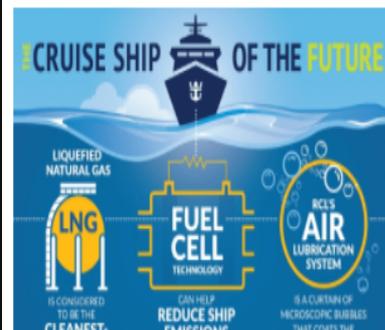
Norway invests in marine fuel cell projects

07 Jan 2019 by Gavin Lipstich

Two projects to power ships with hydrogen fuel cells have received funding under a Norwegian environmental scheme

Royal Caribbean to Deploy More LNG Ships, Advance Fuel Cell Tech

Posted by Lauren Tyler - October 14, 2016



Royal Caribbean Cruises Ltd. (RCL) says its newest class of ships will be powered by liquefied natural gas (LNG) and that it will also introduce the use of fuel cell technology, significantly reducing greenhouse-gas emissions.

According to the company, it has signed a

World's First Hydrogen-Powered Cruise Ship Scheduled

BY MAREX 2017-10-03 14:24:36

Viking Cruises has joined the ranks of shipping companies working to introduce fuel cell technology with the announcement last week of plans to build the world's first cruise ship fueled by liquid hydrogen.

Project manager Serge Fossati told a shipping conference in Norway that the ship will be around 230 meters long and will accommodate more than 900 passengers and a crew of 500. She will be based on the design of the cruise line's other ocean-going ships, such as the Viking Sun. Several tender ships to carry the fuel to the cruise ship are also part of the project.

So far, liquid hydrogen has not been used as marine fuel. A fuel cell will convert the hydrogen to electricity for propulsion and electric power on board. A fuel cell power pack consists of a fuel and gas processing system and a stack of fuel cells that convert the chemical energy of the fuel to electric power through electrochemical reactions. The process can be described similar to that of a battery, with electrochemical reactions occurring at the interface between the anode or cathode and the electrolyte membrane, but with continuous fuel and air supplies. Different fuel cell types are available, and can be characterized by the materials used in the membrane.

La propulsion nucléaire civile

Un problème d'acceptabilité sociale et de compétitivité économique

- La propulsion nucléaire des navires civils existe depuis de nombreuses années,
- Aujourd'hui, la propulsion nucléaire des navires civils est utilisée uniquement sur les brise-glaces russes,
- Le développement des technologies **SMR** (Small Modular nuclear Reactor) offre de nouvelles opportunités pour les grands navires (pétroliers, porte-container..)
- L'usage du nucléaire sur des navires civils se heurte à son **acceptabilité sociale et sa compétitivité économique**



Le vent et le solaire comme sources d'énergie d'appoint

- Pour les grands navires, de nombreux projets, mais encore peu de réalisations (ex: rotor Flettner, ou cerfs-volants),
- Gains attendus sur les émissions de CO2: **25%, 30%, ou plus ...?**
- Pour le transport de masse, le vent et le solaire restent des énergies renouvelables d'appoint.



CONCLUSION

- Le transport maritime contribue à environ **2,6 % des émissions planétaires de CO2 (2015)**. Il va croître de **+33% dans les 10** prochaines années.
- Au-delà des réglementations NOx ou SOx en place, l'IMO s'engage à **réduire les émissions annuelles totales de GES d'au moins 50 % d'ici à 2050 par rapport à 2008**,
- Ces objectifs ambitieux pourraient être atteints par l'abandon des combustibles fossiles au profit de **nouveaux combustibles non-fossiles e-fuels**, par **l'optimisation des systèmes** et de leur **exploitation** ou par de **nouvelles technologies**.
- Grâce à sa capacité à brûler avec efficacité tout type de combustible, le **moteur Diesel restera la solution dominante des systèmes de propulsion futurs**, en particulier avec ses versions Dual Fuel,
- Les motoristes doivent continuer à investir pour améliorer le moteur et **optimiser l'ensemble de l'appareil propulsif**. De fournisseur d'équipement, ils deviennent force de **proposition de solutions**.



**Merci pour
votre attention!**

Disclaimer

All data provided in this document is non-binding.

This data serves informational purposes only and is especially not guaranteed in any way. Depending on the subsequent specific individual projects, the relevant data may be subject to changes and will be assessed and determined individually for each project. This will depend on the particular characteristics of each individual project, especially specific site and operational conditions.