

DÉCARBONER LE TRANSPORT MARITIME

Pierre MARTY
Maître de conférences
Centrale Nantes / LHEEA
Porteur du cluster CARGO



Sommaire

1. Panorama

2. Impacts

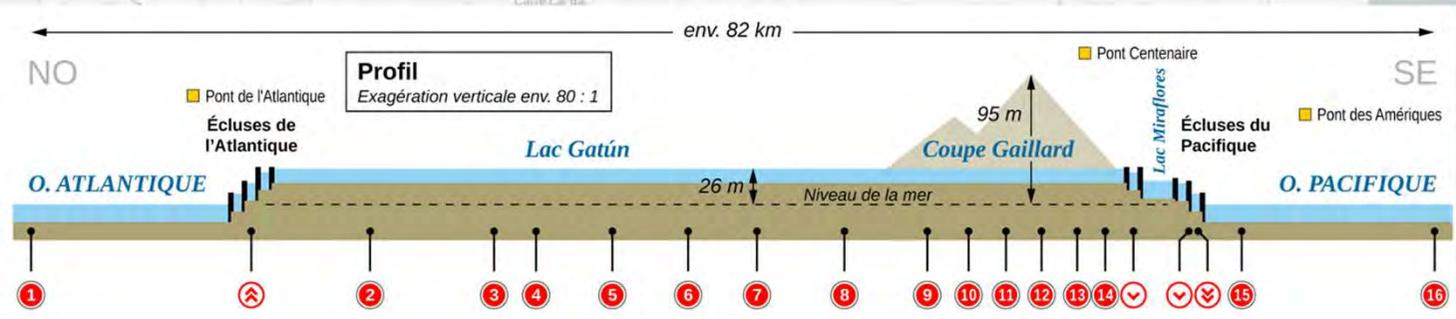
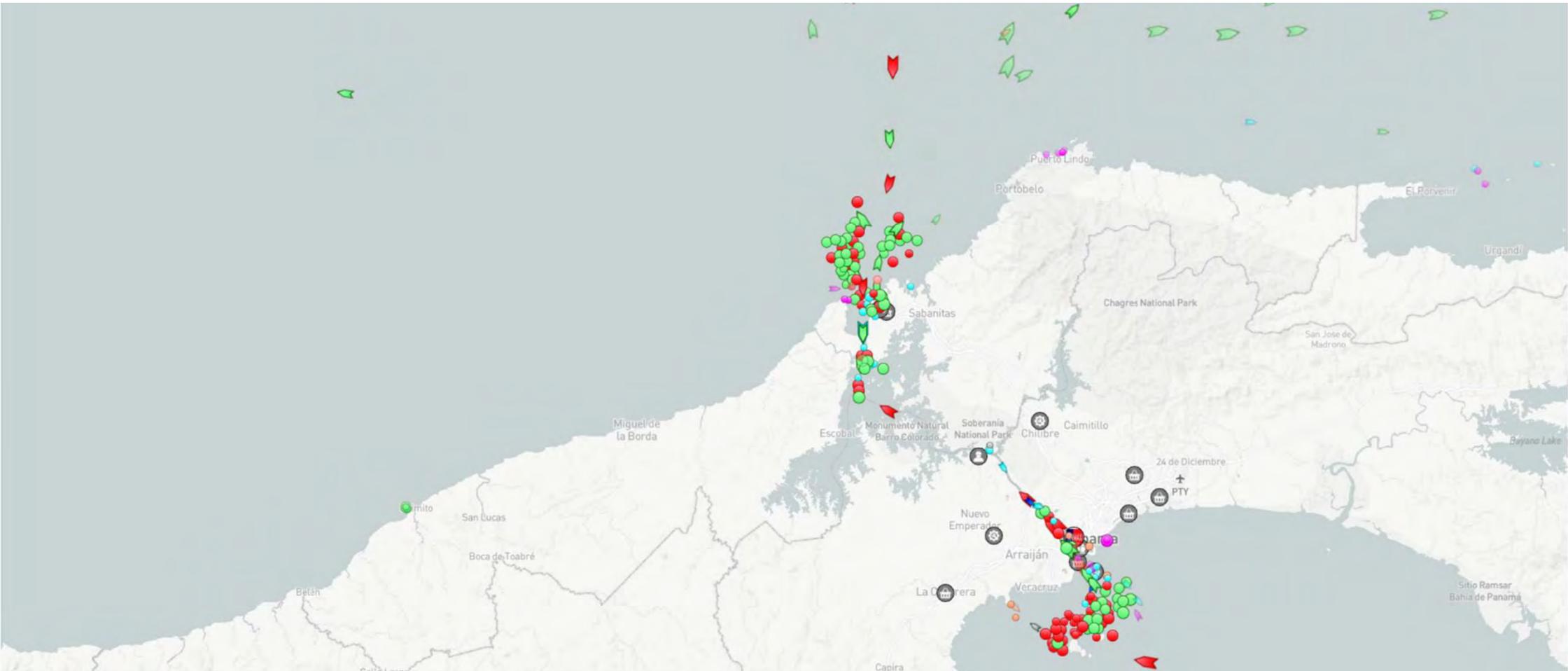
1. Non climatiques
2. Climatiques

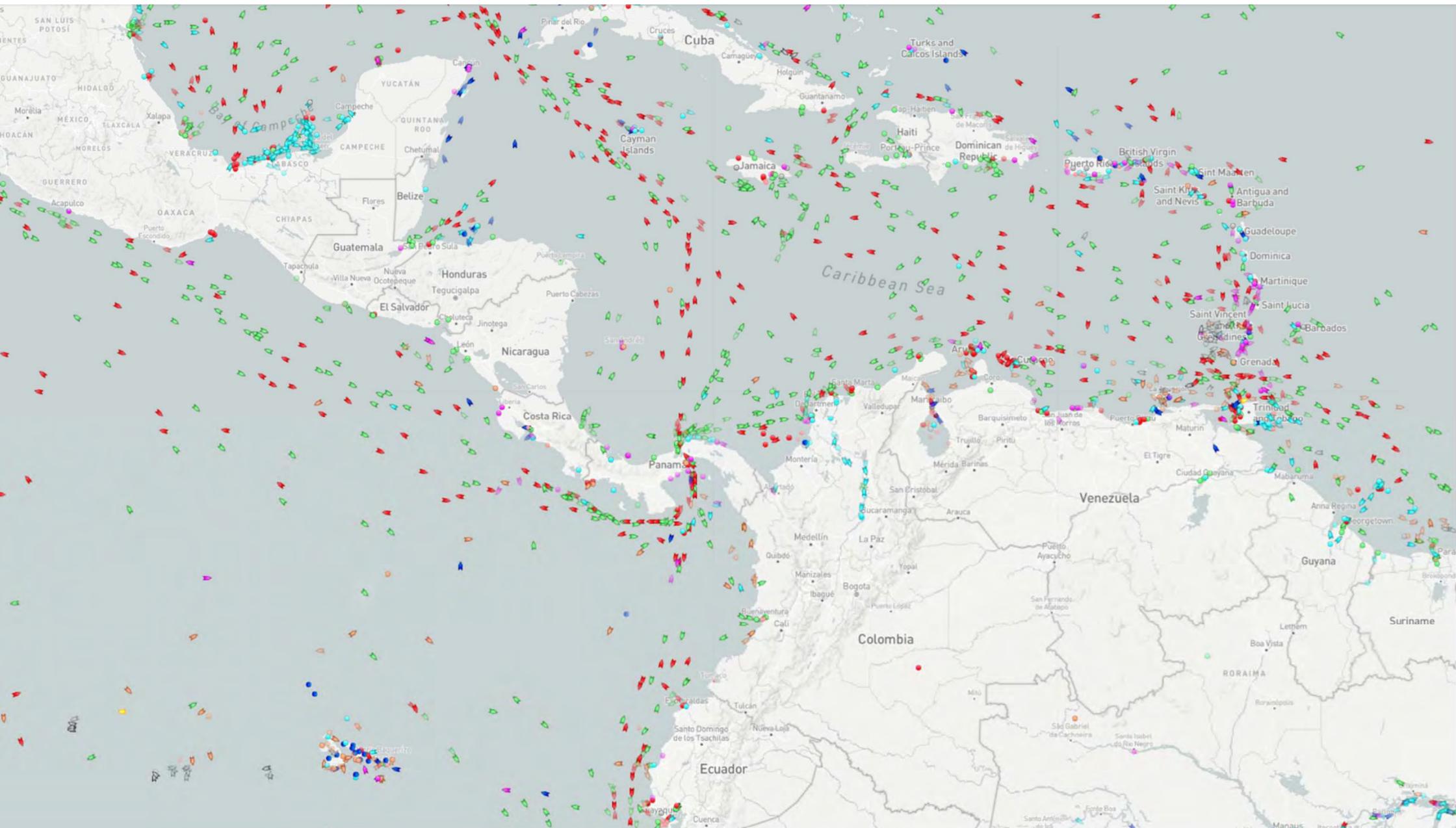
3. Solutions

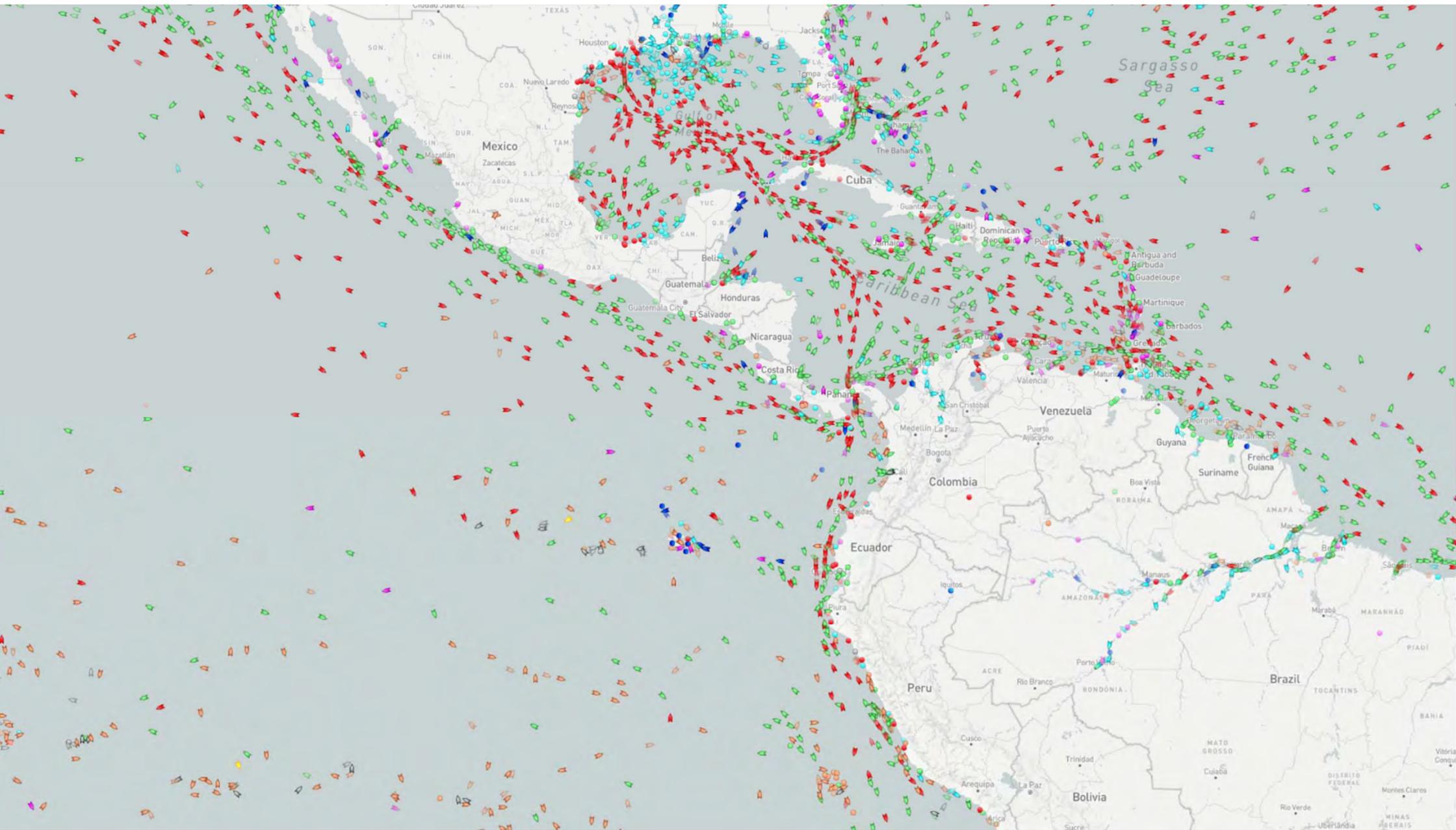
1. Sobriété
2. Efficacité
3. Énergies vertes

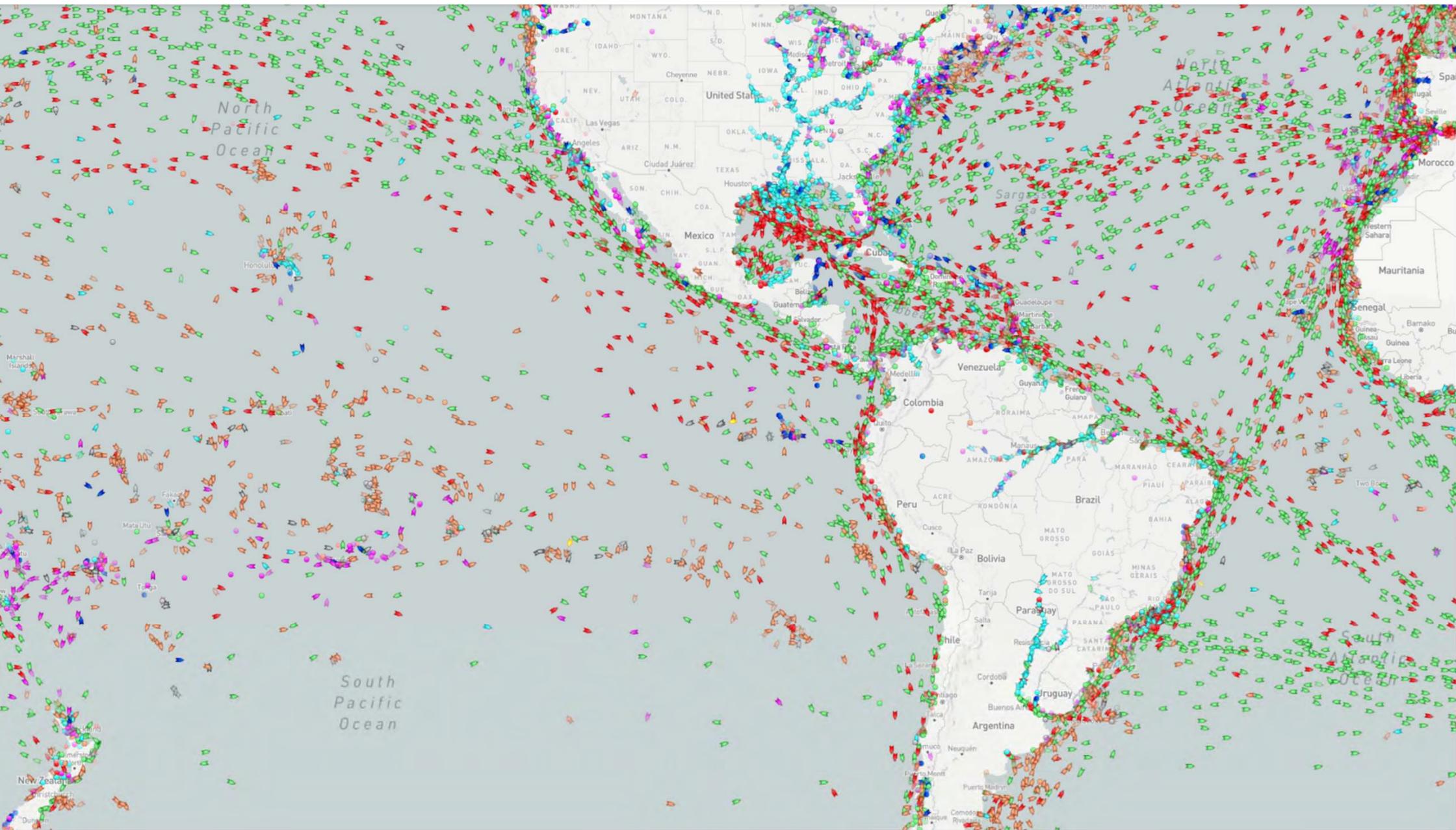
4. Conclusion

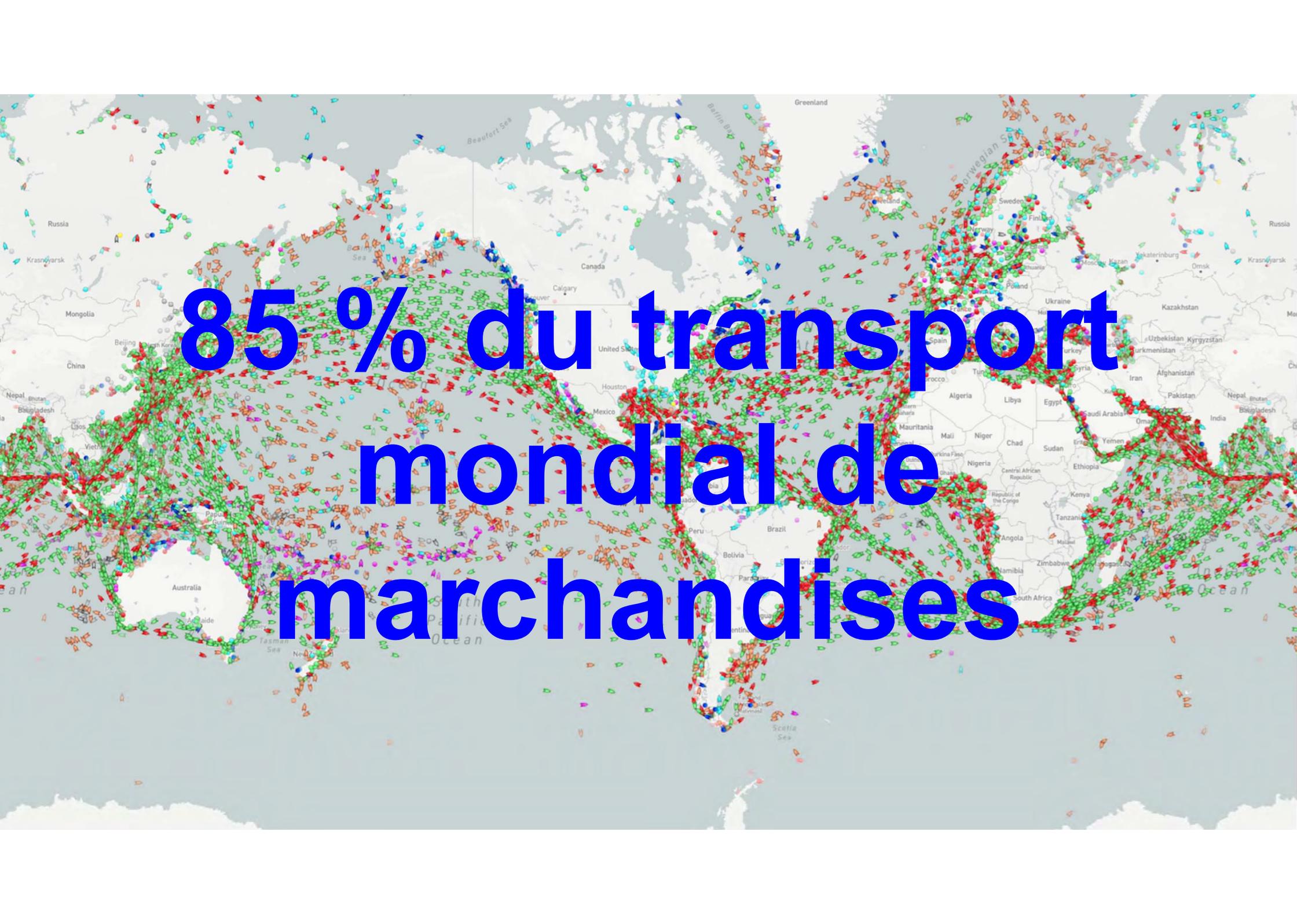
1. Panorama









A world map showing global shipping routes. The map is covered with a dense network of colorful lines and arrows, representing the movement of goods across the world. The text "85 % du transport mondial de marchandises" is overlaid in large, bold, blue letters across the center of the map.

**85 % du transport
mondial de
marchandises**

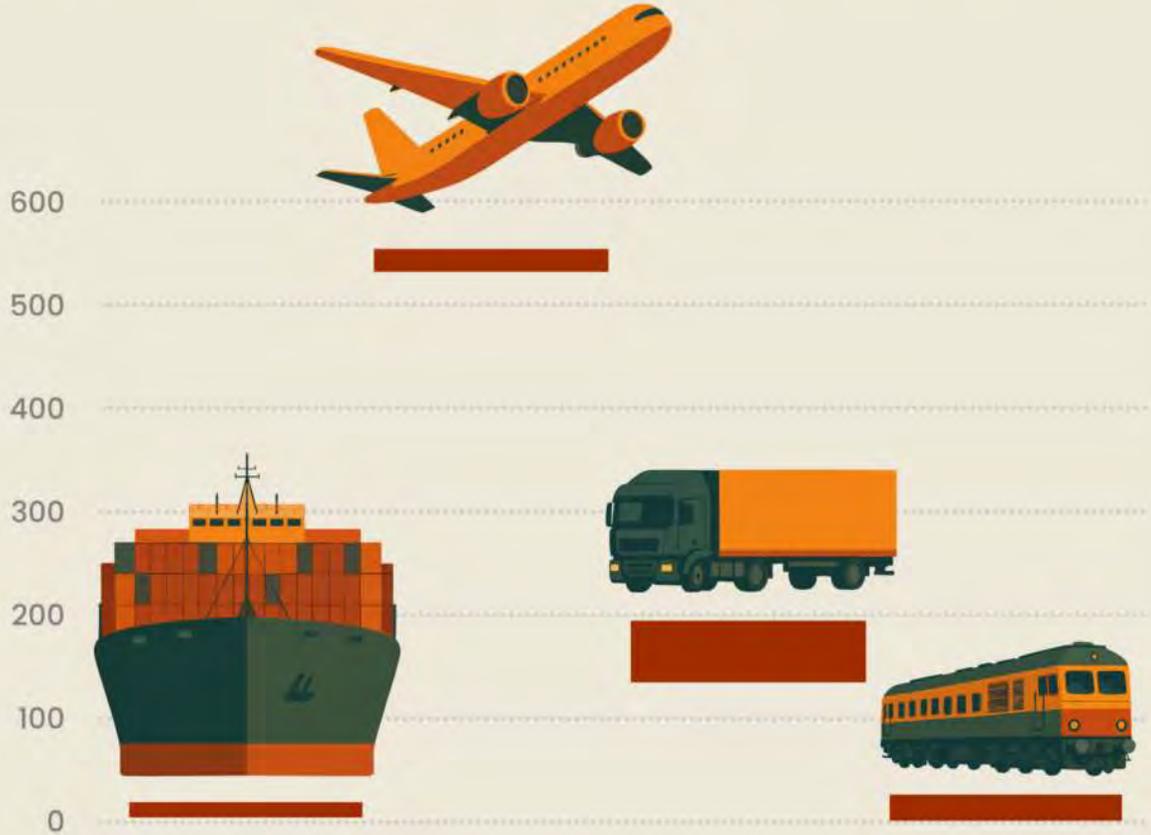
Question :

Classer ces modes de transport de marchandises du moins émetteur au plus émetteur de CO2 à la tonne par kilomètre transportée :



Intensité carbone des différents moyens de transport

gCO₂ / t.km



Sources : DEFRA (2022), EEA (2021), OMI (2019), Ministère de l'écologie et de la transition France (2018), chiffres compilés par Arnaud Garnier

23 000 “petits” conteneurs



400 m



Question :

Quelle longueur pour un train de marchandise équivalent ?

1 km

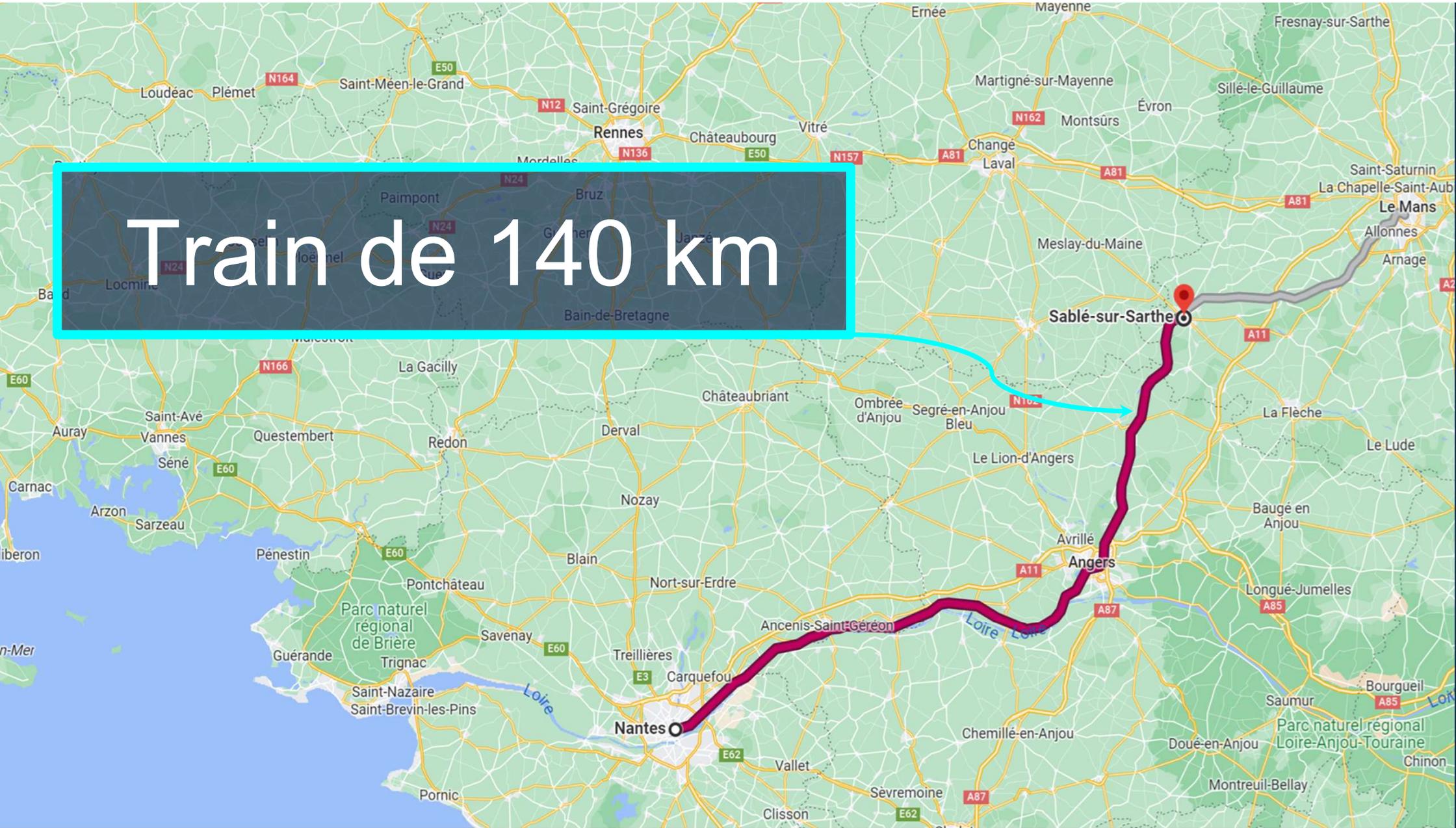
5 km

30 km

140 km



Train de 140 km





65 000 000 W

Question :

Ce moteur à la puissance équivalente de combien de Twingos (petite citadine essence) ?

16

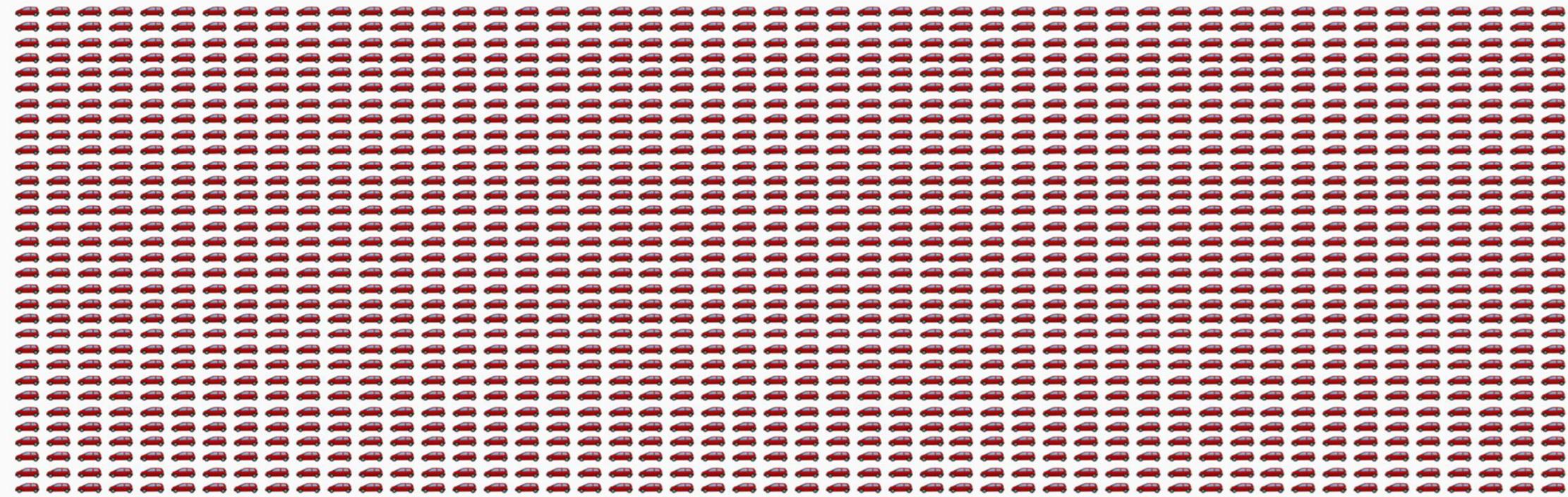
160

1600

16 000



1 600 Twingos !



**Une
excellente
efficacité
énergétique**



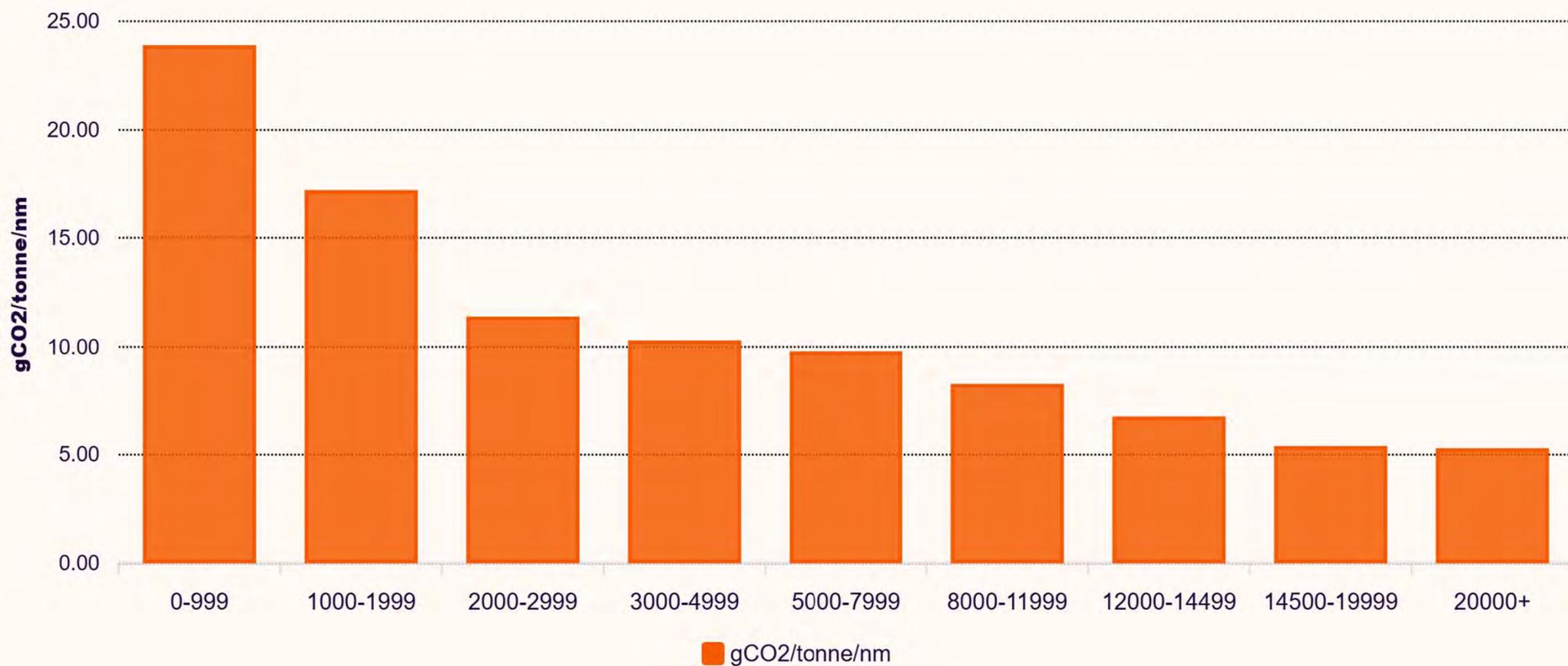
- 60 % de CO2

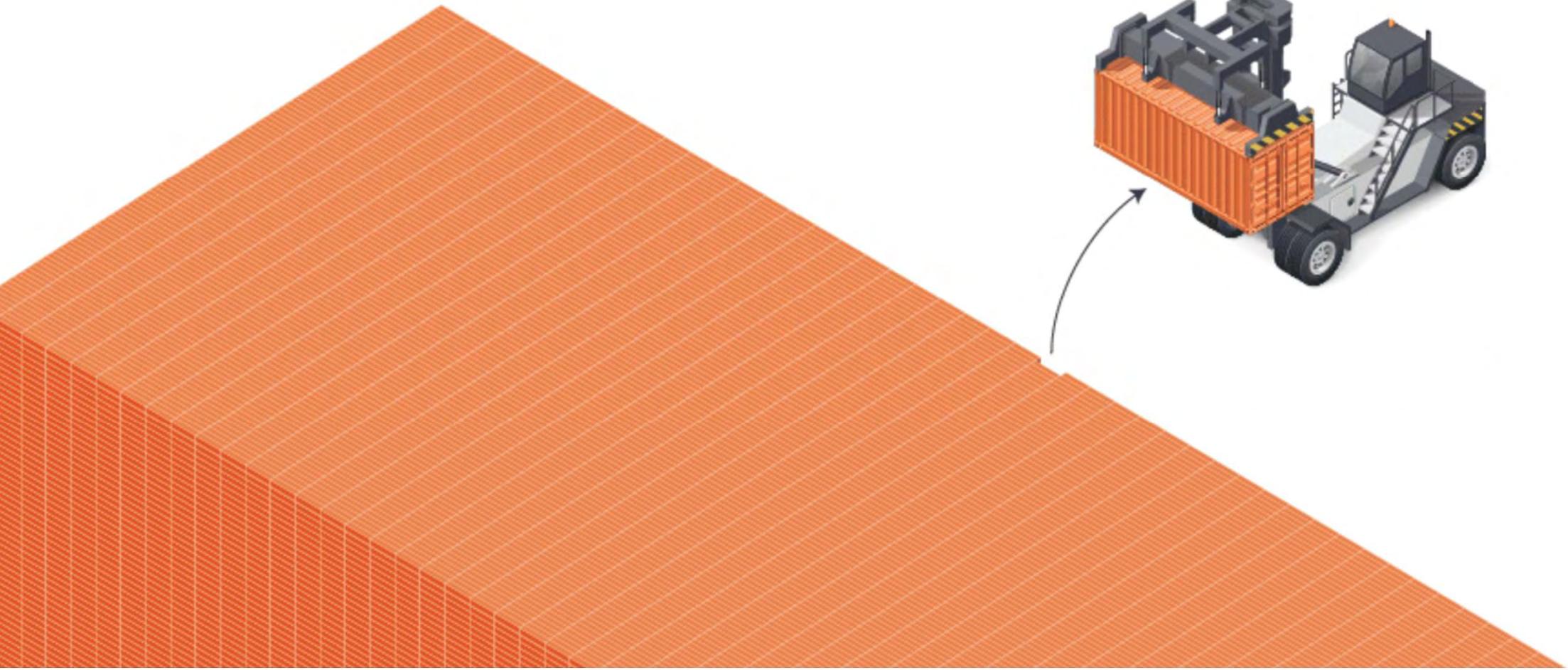


Taiwan

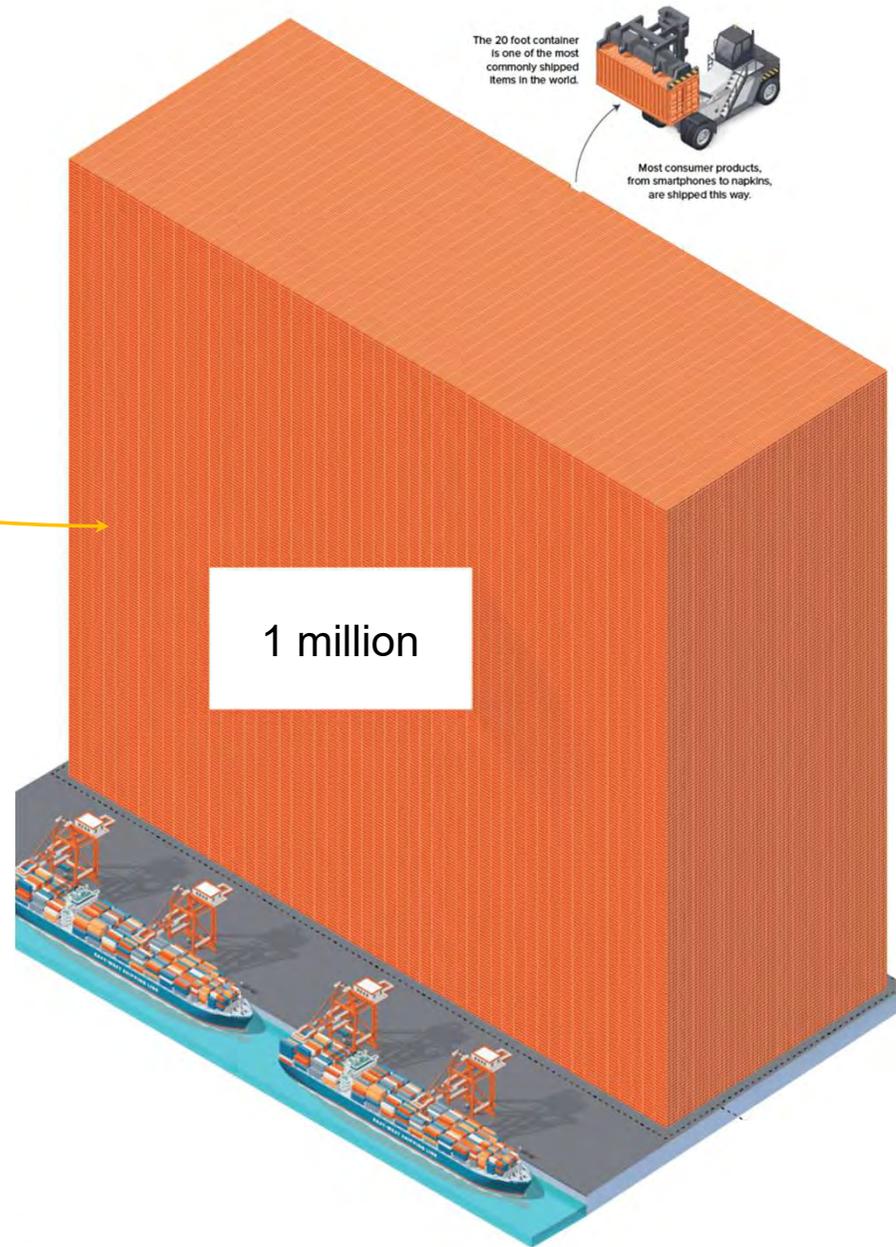
Une prime au gigantisme

Emissions de CO2 par taille de porte-conteneurs

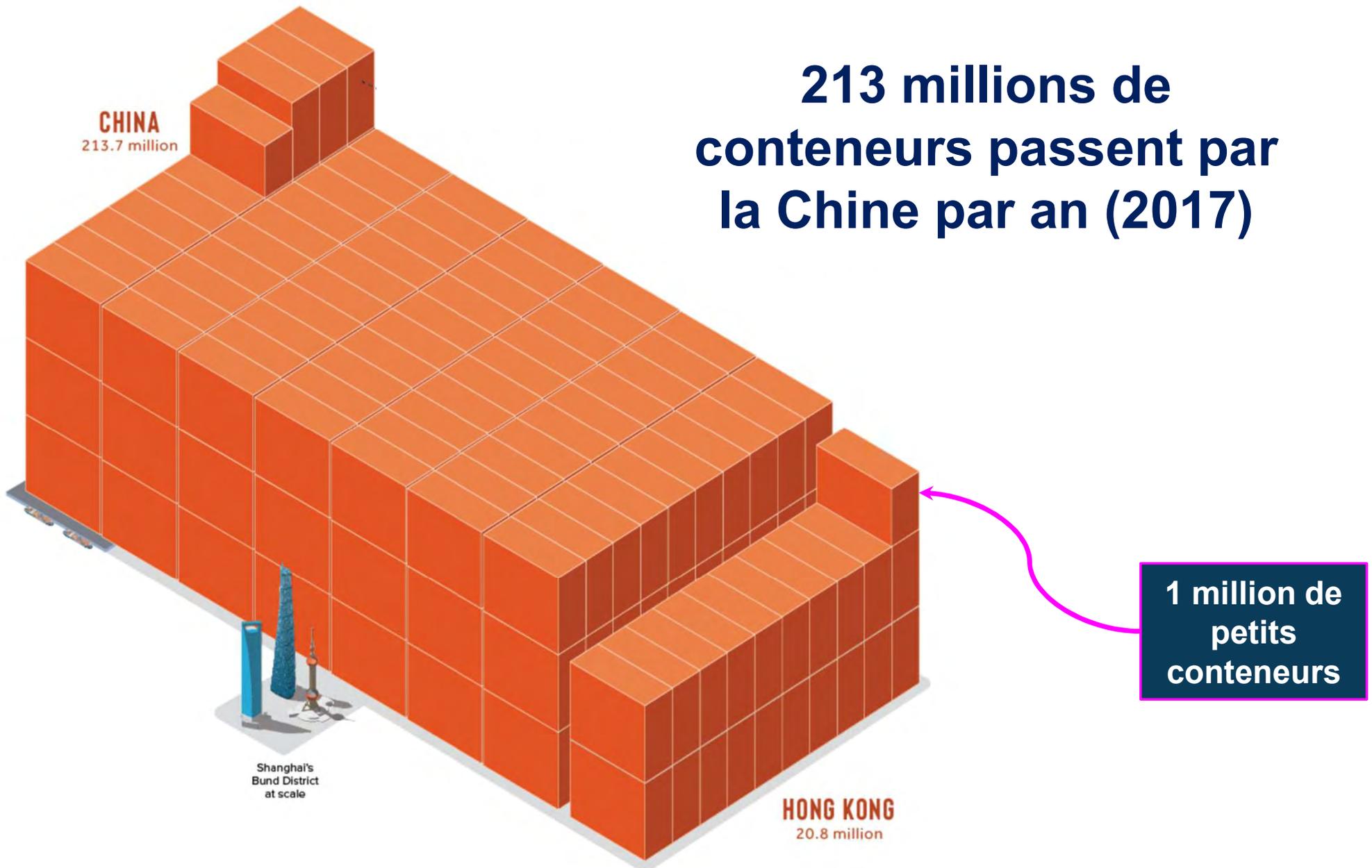


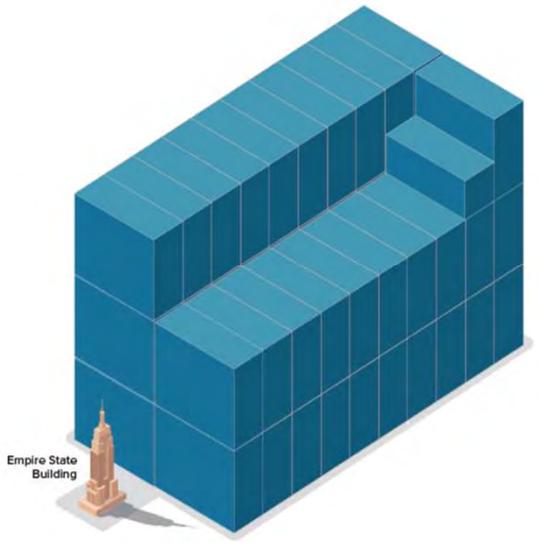


26 jours de trafic au Pays-Bas



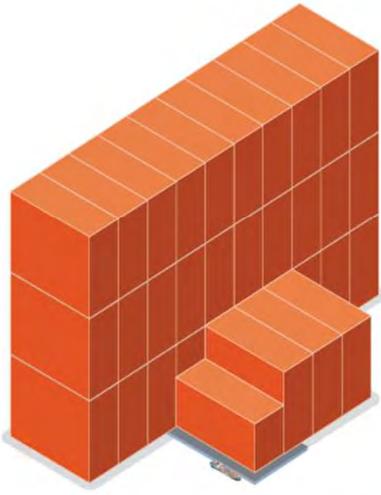
213 millions de conteneurs passent par la Chine par an (2017)



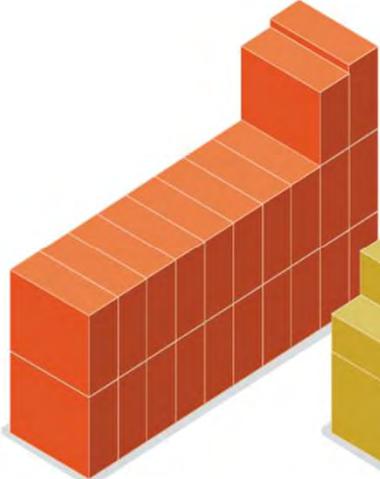


Empire State Building

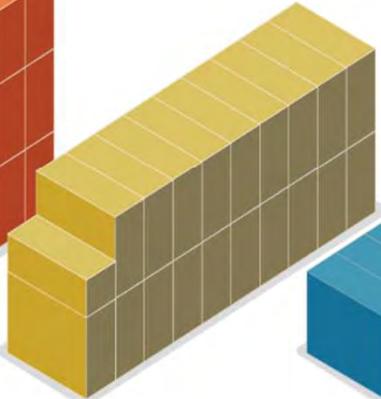
UNITED STATES
51.4 million



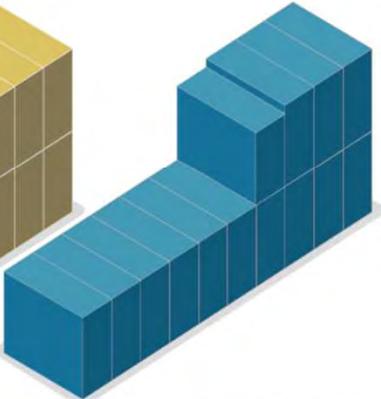
SINGAPORE Despite having a population of only 5.4 million people, Singapore moves the third most container traffic in the world.
33.6 million



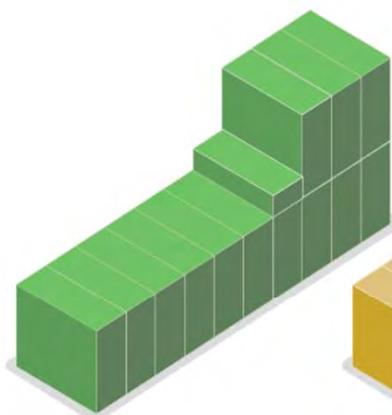
JAPAN
21.9 million



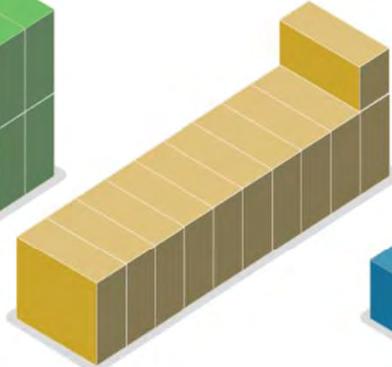
GERMANY
19.4 million



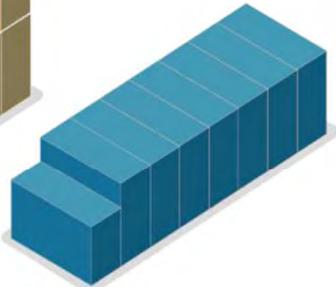
NETHERLANDS Only 15 years ago, the Port of Rotterdam was the world's busiest port. It has since been surpassed by seven ports in China alone.
13.9 million



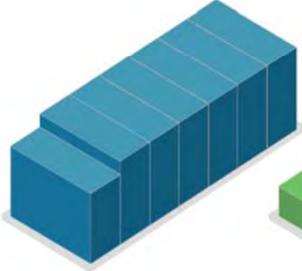
INDIA
13.3 million



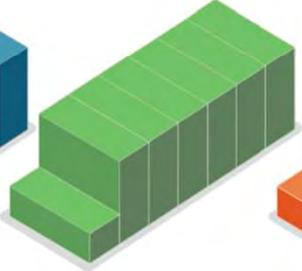
UNITED KINGDOM
10.5 million



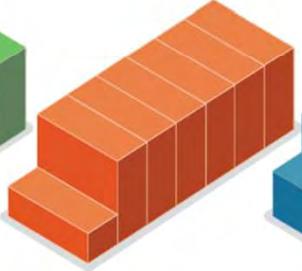
AUSTRALIA
7.7 million



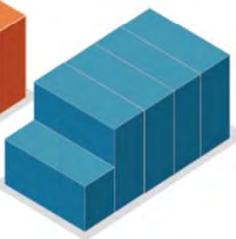
PANAMA
6.9 million



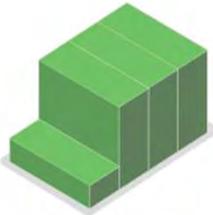
MEXICO
6.3 million



CANADA
6.3 million



RUSSIA
4.5 million



NEW ZEALAND
3.2 million



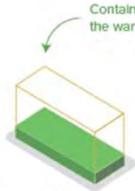
SWEDEN
1.6 million



KENYA
1.2 million



ICELAND
0.3 million



SYRIA
0.1 million

Container traffic prior to the war in Syria (2010)



D.R.C.
0.06 million

2. Impacts

2. Impacts

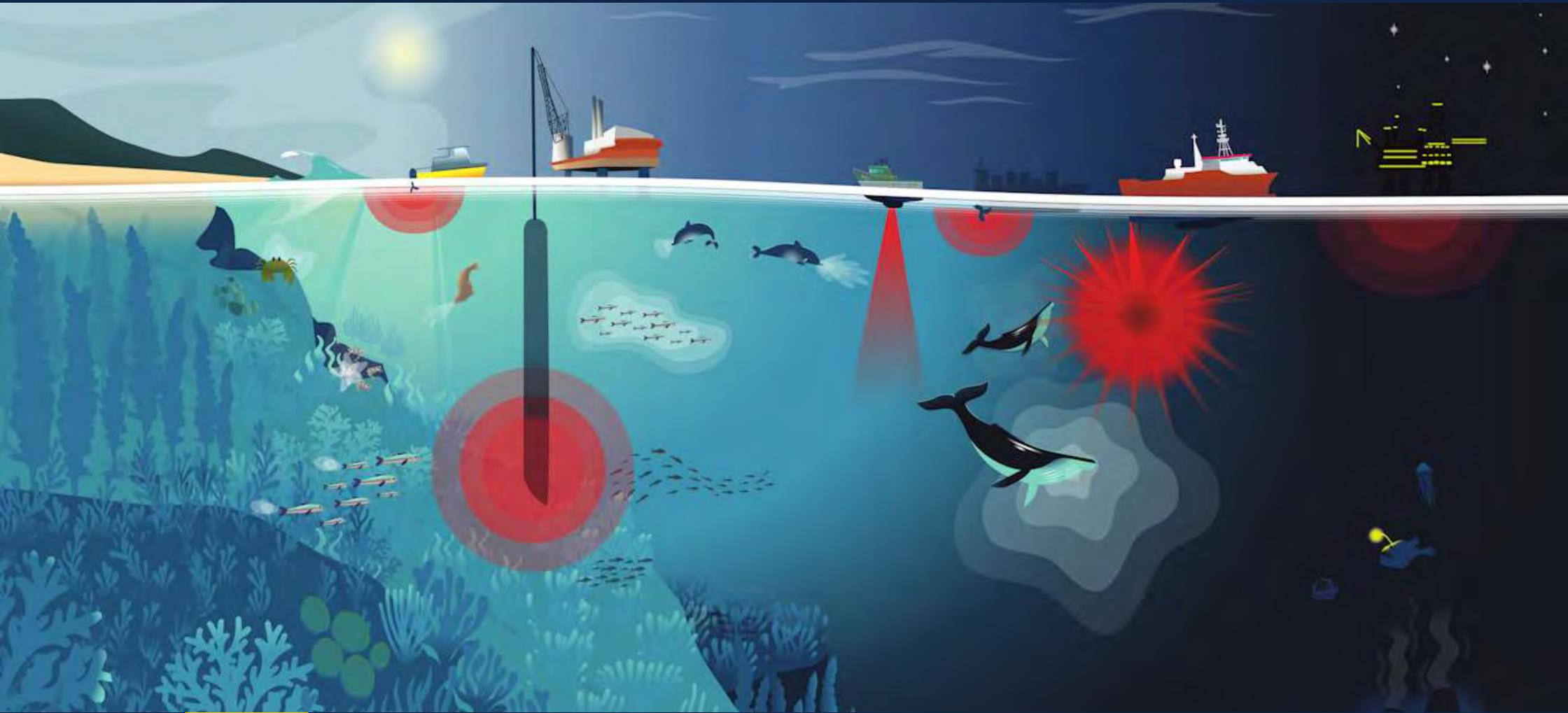
2.1 Non climatiques

Question :

Quels types d'impacts, autres que climatiques, connaissez-vous ?



Bruits sous-marins



Impact avec la faune



Déplacement d'espèces via les eaux de ballast



Pollution atmosphérique

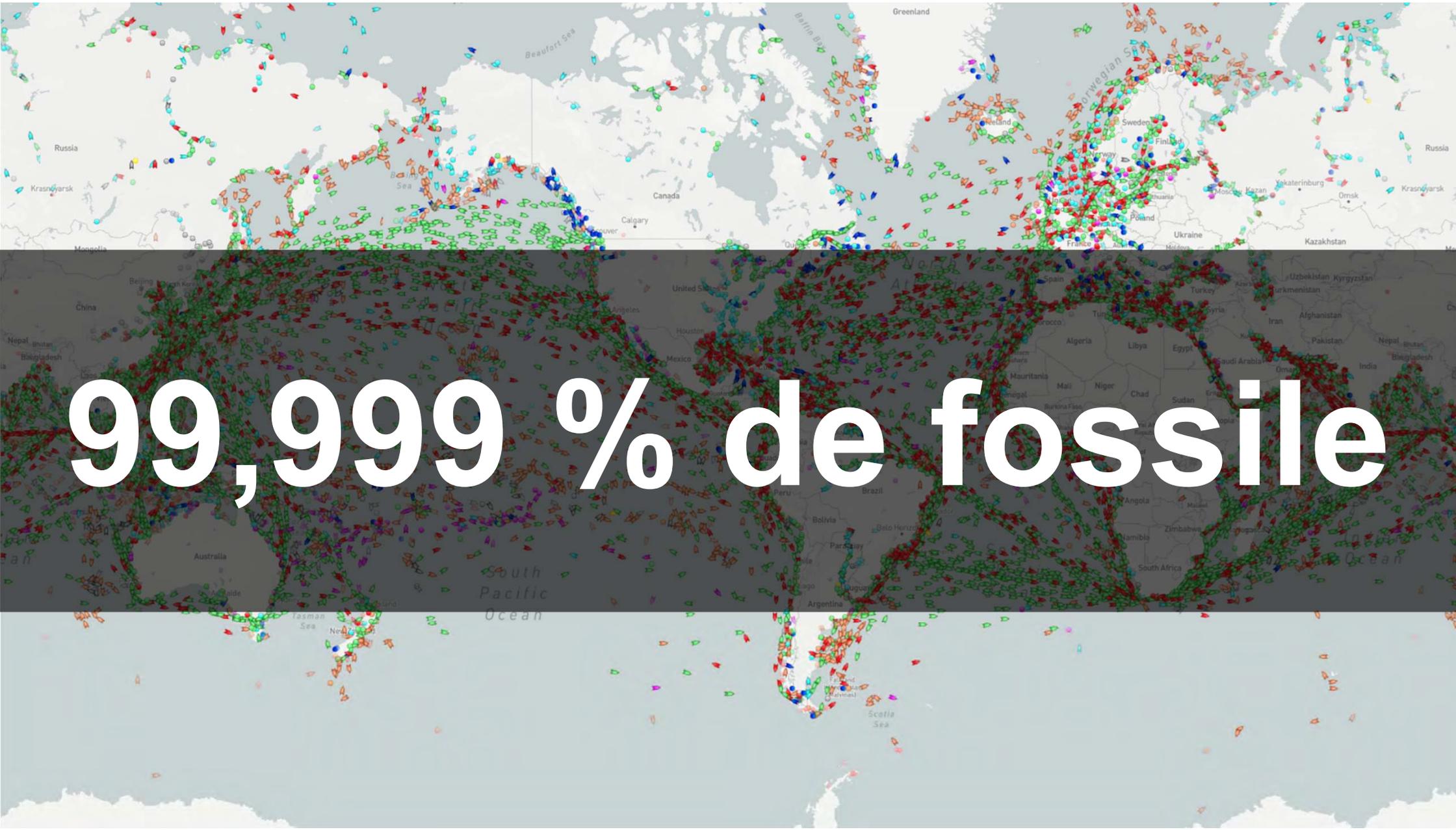


Autres

- Démantèlement
 - Construction
 - Pollution visuelle
 - Érosion du trait de côte et des hauts fonds
-

2. Impacts

2.1 Climatiques



99,999 % de fossile

Question :

Quelle est la part du transport maritime dans les émissions de CO2 mondiales ?

0, 2 %

2 %

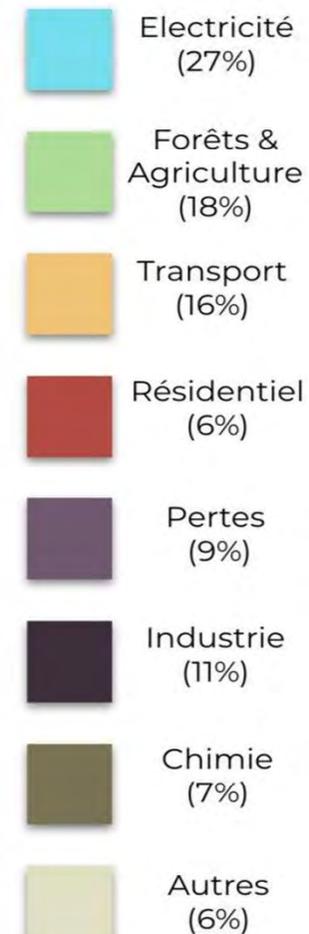
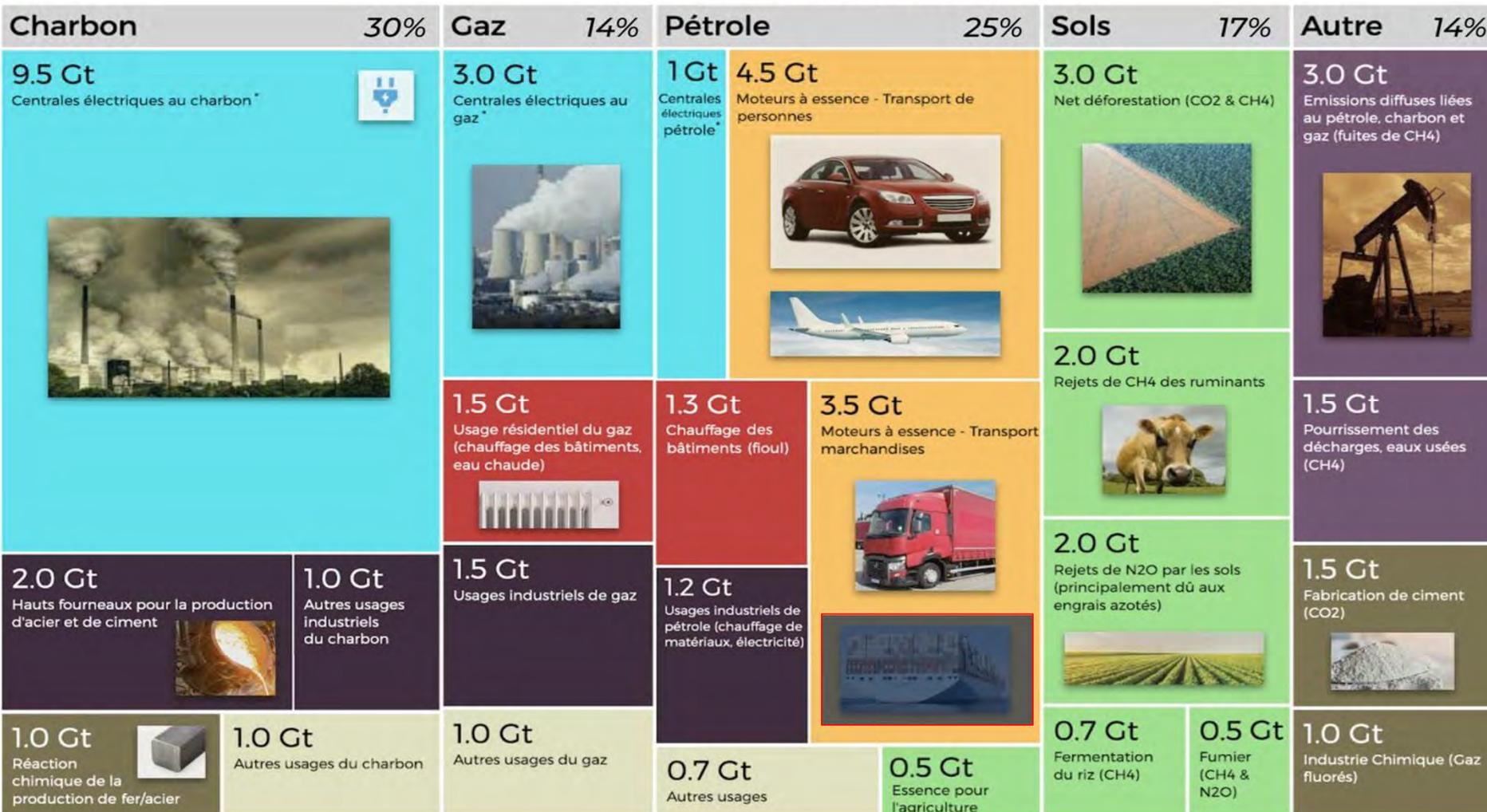


12 %

22 %

Sources d'Émissions de Gaz à Effet de Serre

Bilan mondial 2019, en Gt CO₂eq



Auteur: Guillaume Couairon

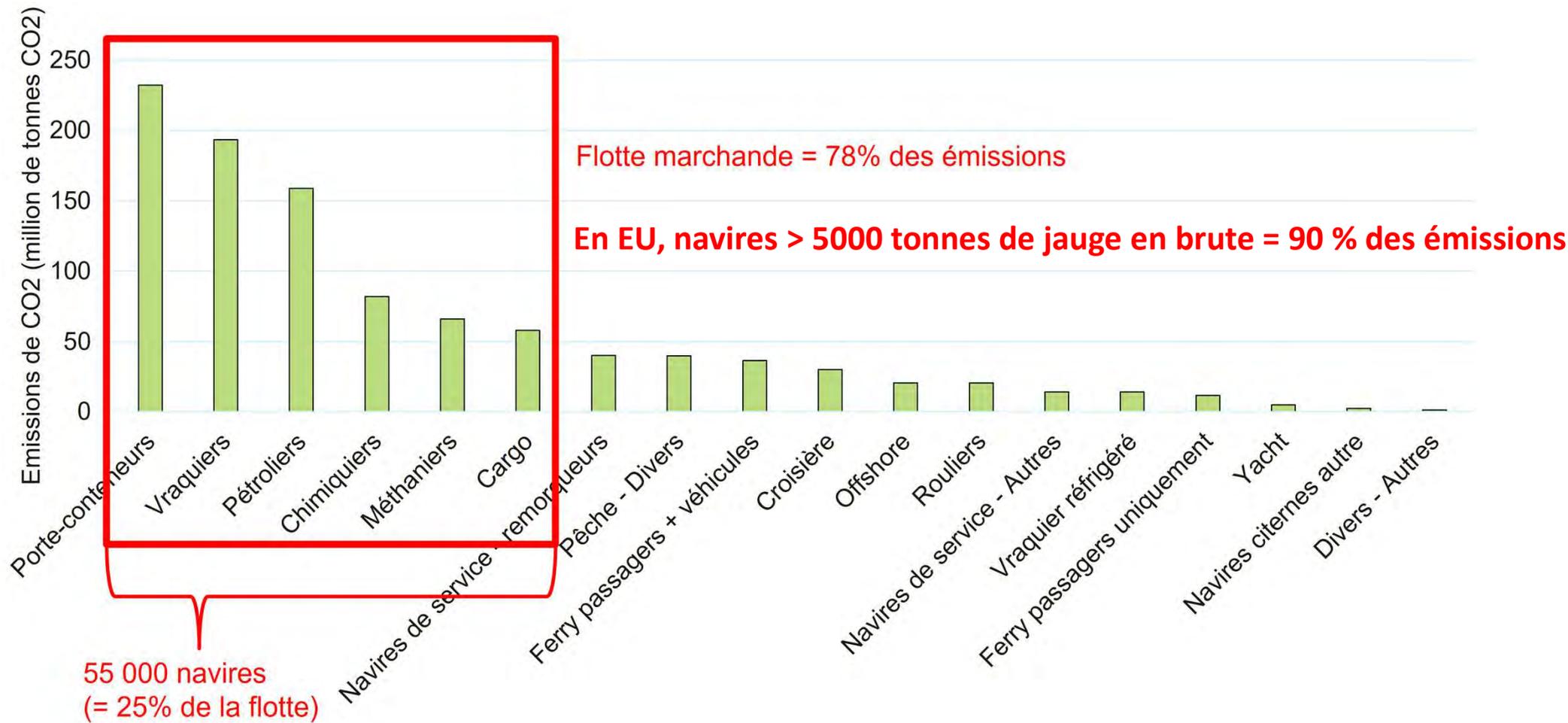
Sources: Diverses (IEA, Global Carbon Project, IPCC, FAO, World Resources Institute)

(*) Inclus centrales de production de chaleur par cogénération

Total: 50 Gt CO₂eq



Répartition des émissions de CO2 par segment



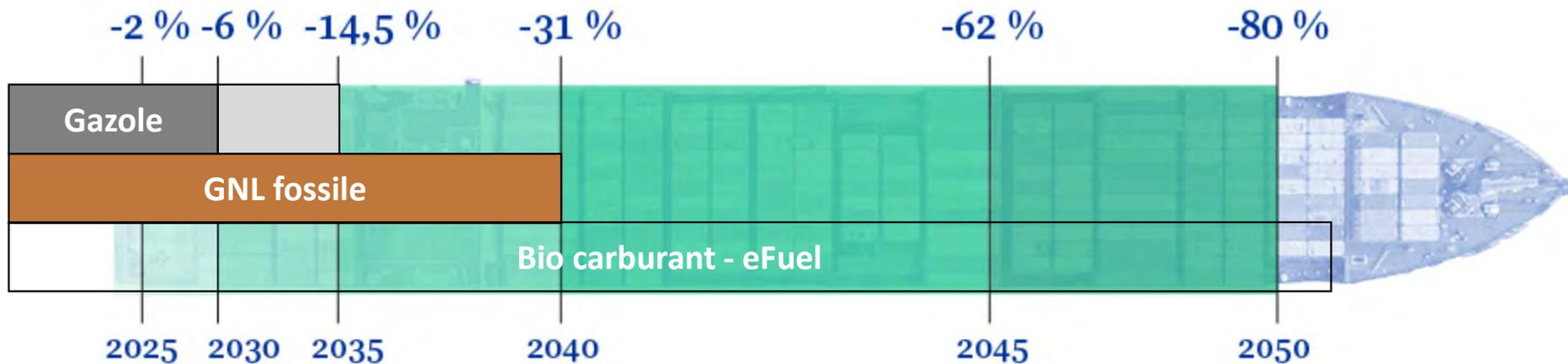
Secteur difficile à décarboner

- Flotte hétérogène
- Flotte ancienne et grande durée de vie
- Grande autonomie
- Cadre international
- Technologies encore peu matures

3. Solutions

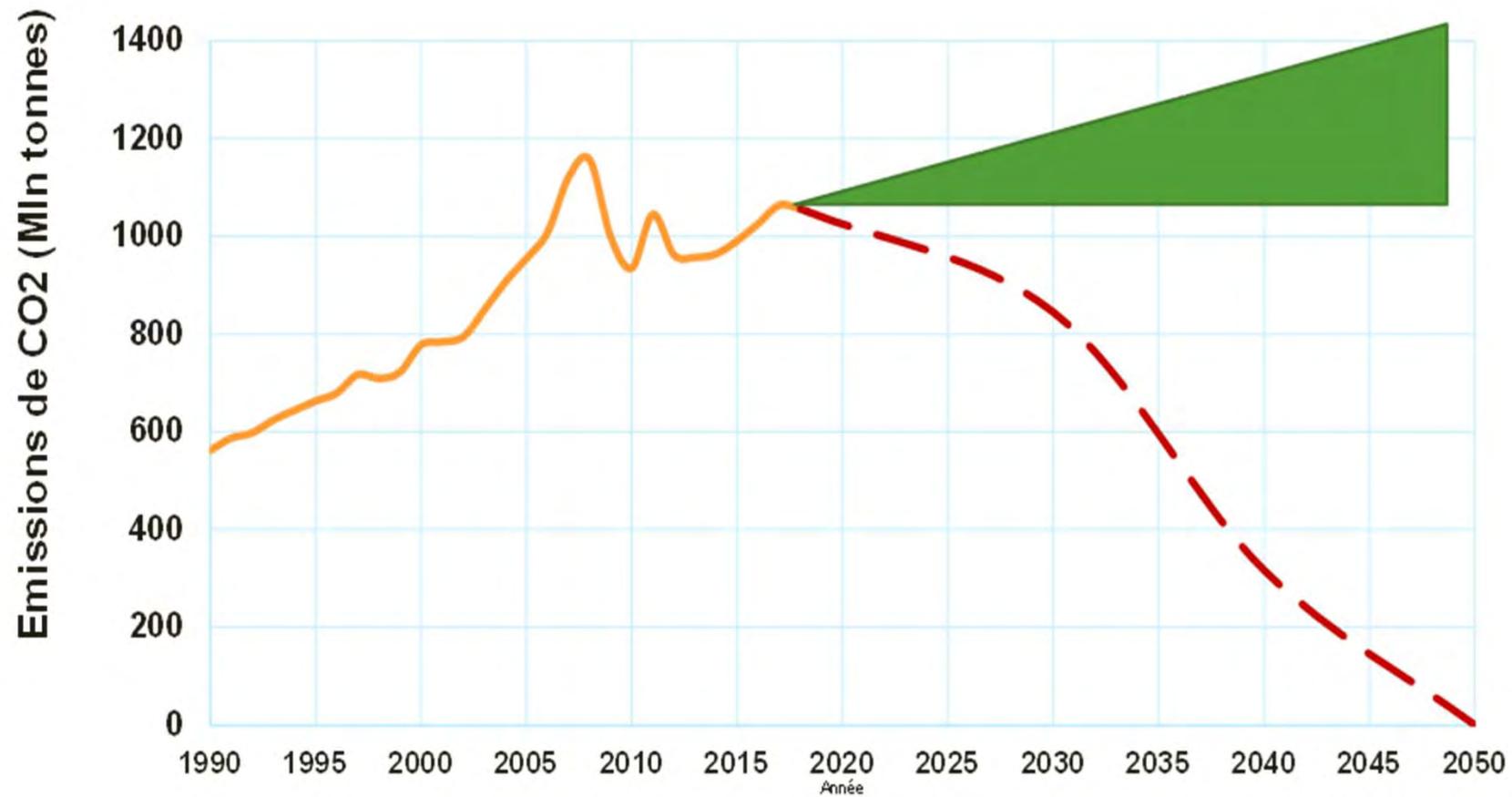
Fuel EU maritime : entrée en vigueur en 2024

Réduction annuelle moyenne de l'intensité en carbone par rapport à la moyenne de 2020



	Deadline
 Gazole comme combustible exclusif	2030
 Gazole comme combustible principal, avec hybridation vélique / batteries ou biocarburants	2035
 GNL fossile pour la propulsion des grands navires à condition de maîtriser le méthane slip	2040
 Part croissante de biocarburants du futur ou de carburants de synthèse produits à partir d'énergie décarbonée	
 Raccordement électrique à quai	2030

Quelle trajectoire de décarbonation ?



Trouver l'intrus :

Comment peut-on réduire les émissions
du transport maritime ?

On réduit la
vitesse

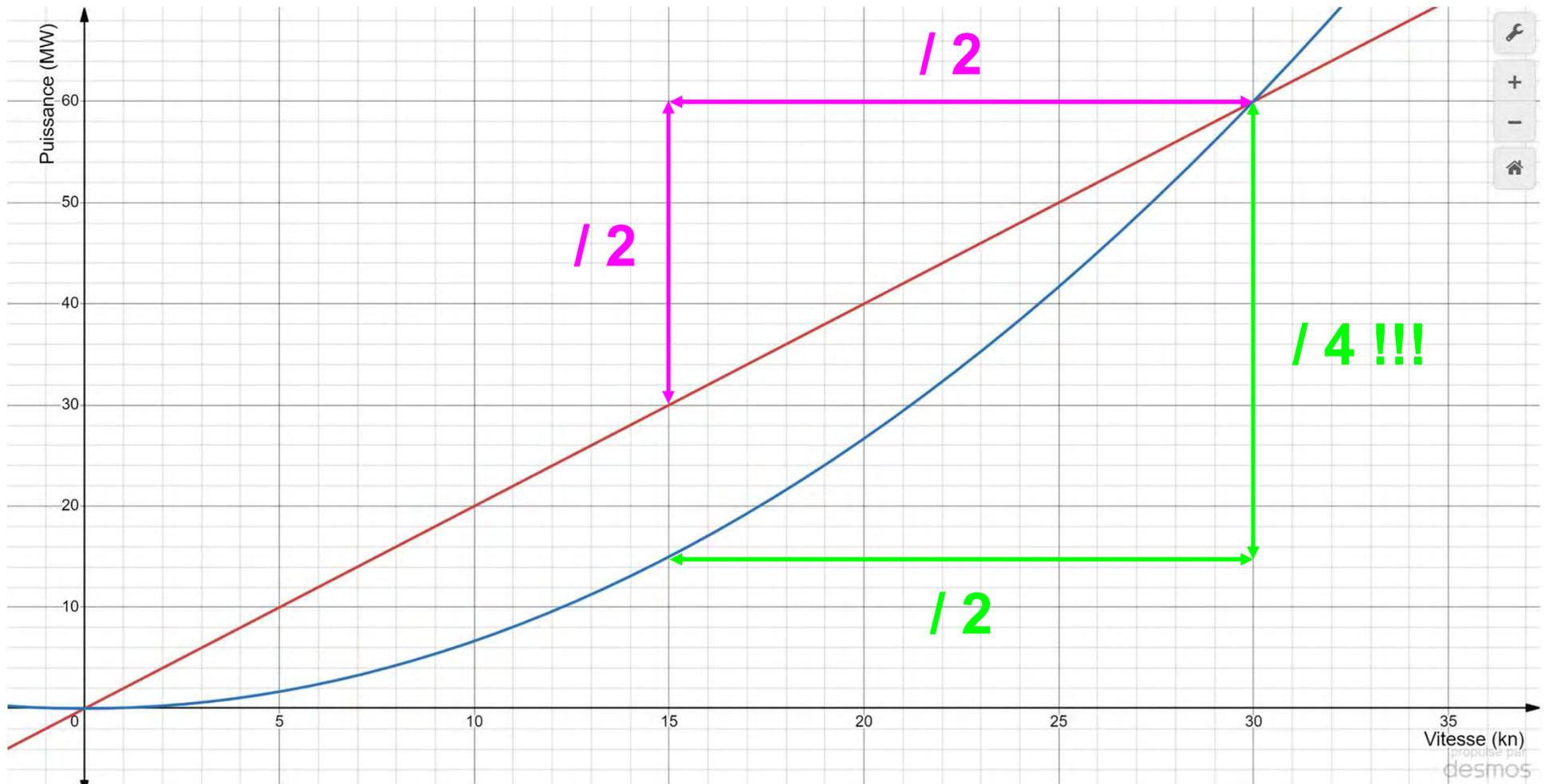
On
augmente
la vitesse



On utilise
des
énergies
bas
carbone

On
construit
des navires
plus
efficaces

La minute mathématique

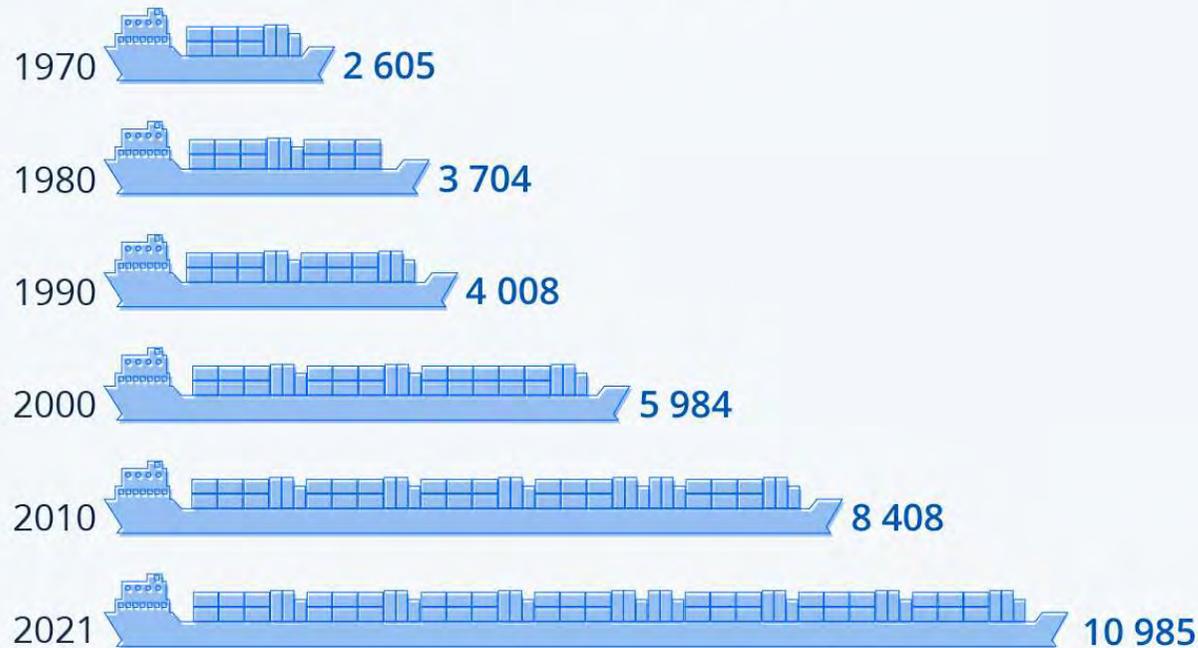


3. Solutions

3.1 Sobriété

L'essor du commerce maritime mondial

Évolution du volume de fret maritime dans le monde, en millions de tonnes de marchandises

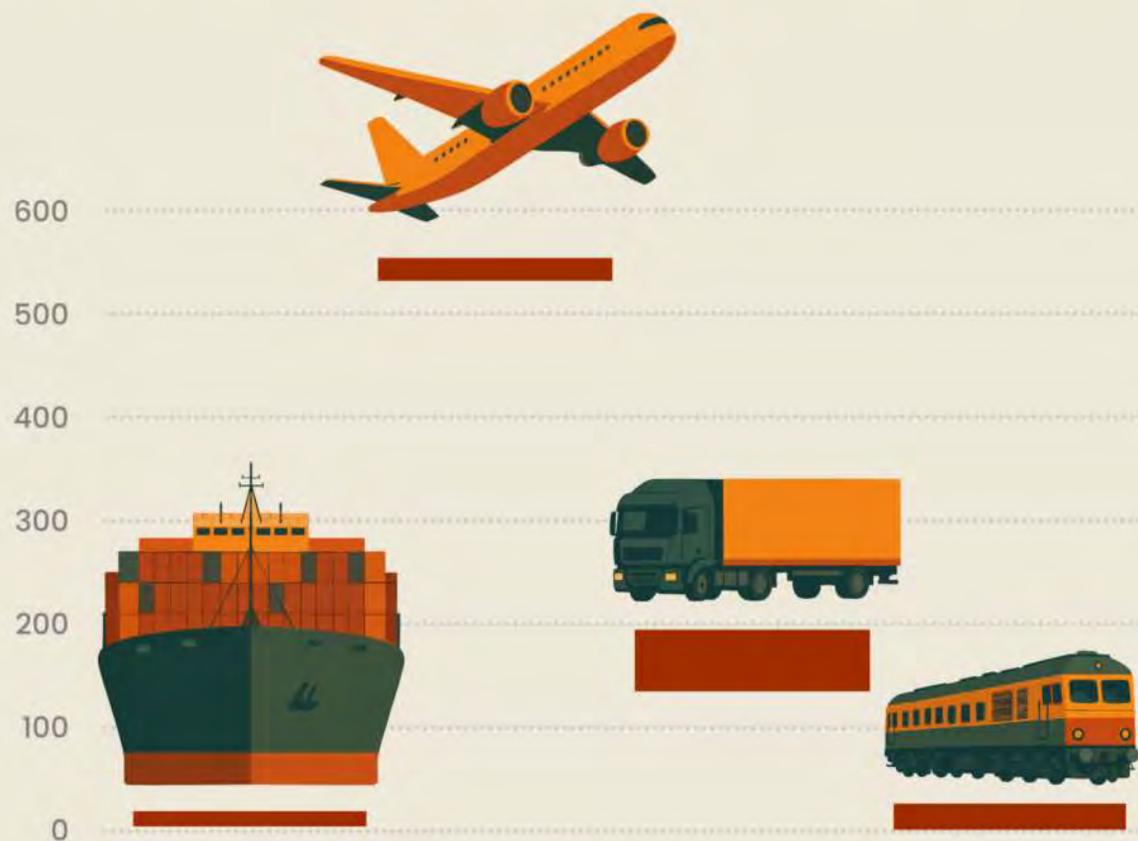


Source : UNCTAD



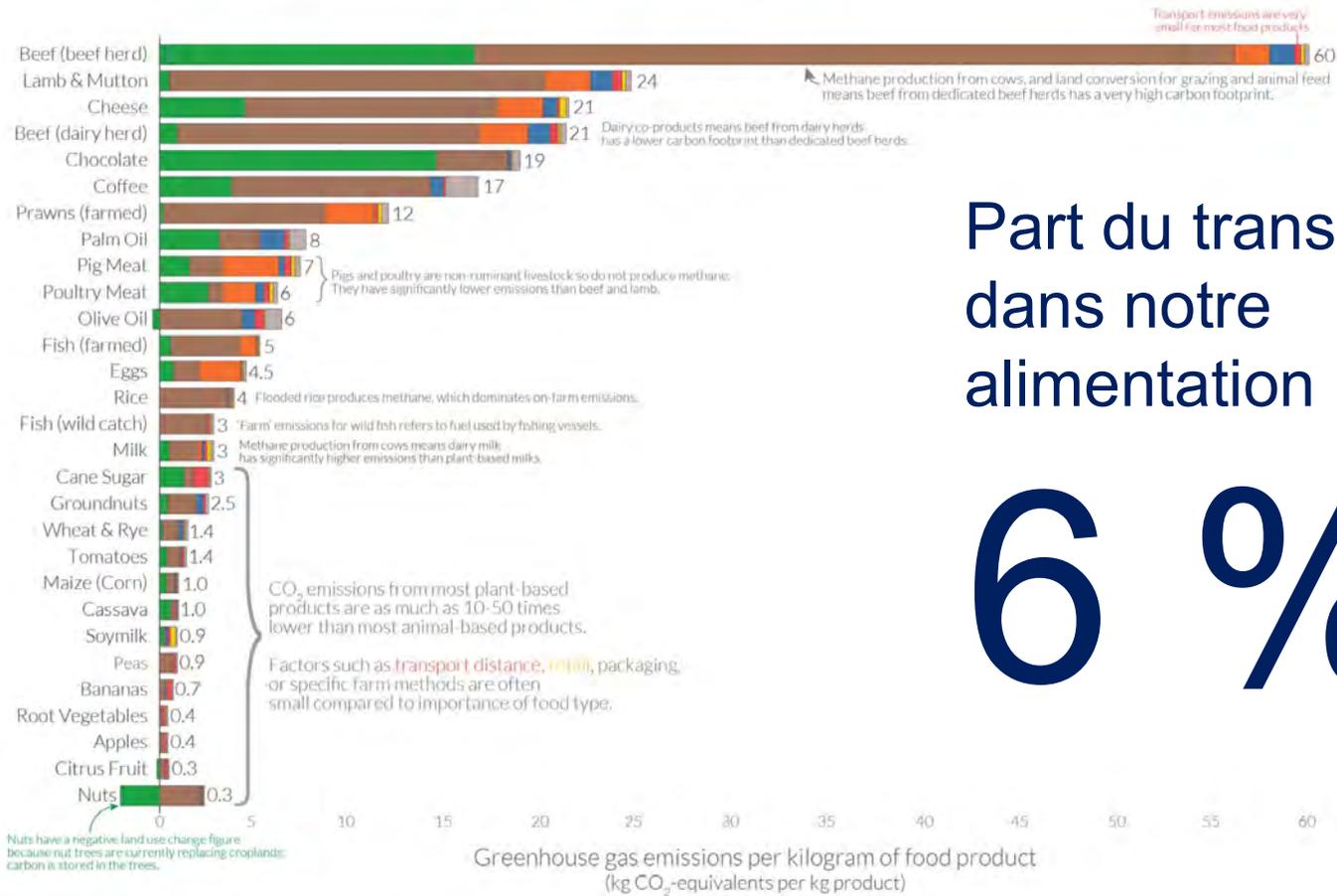
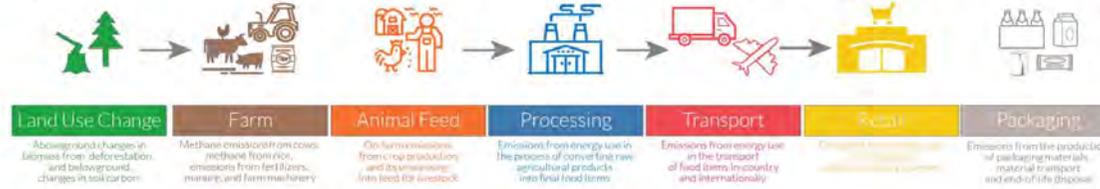
Intensité carbone des différents moyens de transport

gCO₂ / t.km



Sources : DEFRA (2022), EEA (2021), OMI (2019), Ministère de l'écologie et de la transition France (2018), chiffres compilés par Arnaud Garnier

Food: greenhouse gas emissions across the supply chain



Part du transport dans notre alimentation

Note: Greenhouse gas emissions are given as global average values based on data across 38,700 commercially viable farms in 119 countries. Data source: Poore and Nemecek (2018), Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Science. Images sourced from the Noun Project. OurWorldinData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems. Licensed under CC BY by the author Hannah Ritchie.

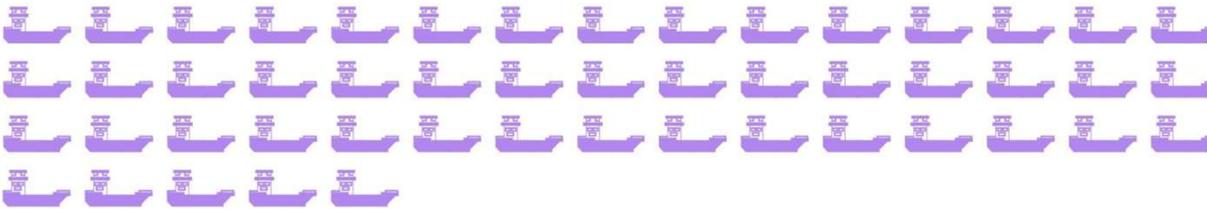
Plus de renouvelables (même de Chine) c'est beaucoup moins de fossiles

Un porte conteneur rempli de PV peut permettre de fournir autant d'énergie que 50 méthaniers ou 100 vraquiers transportant du charbon

Solar PV



LNG



Coal



40 %

du trafic maritime pour les énergies fossiles

Question :

Quelle surtaxe sur un iPhone si on instaurait une taxe carbone de 1000 euros / tonne de CO₂ ?

0,2 c€



20 c€

2 €

20 €

3. Solutions

3.2 Efficacité

Question :

Comment améliorer l'efficacité énergétique ?

(Plusieurs réponses possibles)

**Envoyer
des bulles
d'air sous
la coque**



**Ajouter des
nageoires
de baleines**



**Ajouter un
bouclier à
la proue**



**Utiliser un
“waze” des
mers**



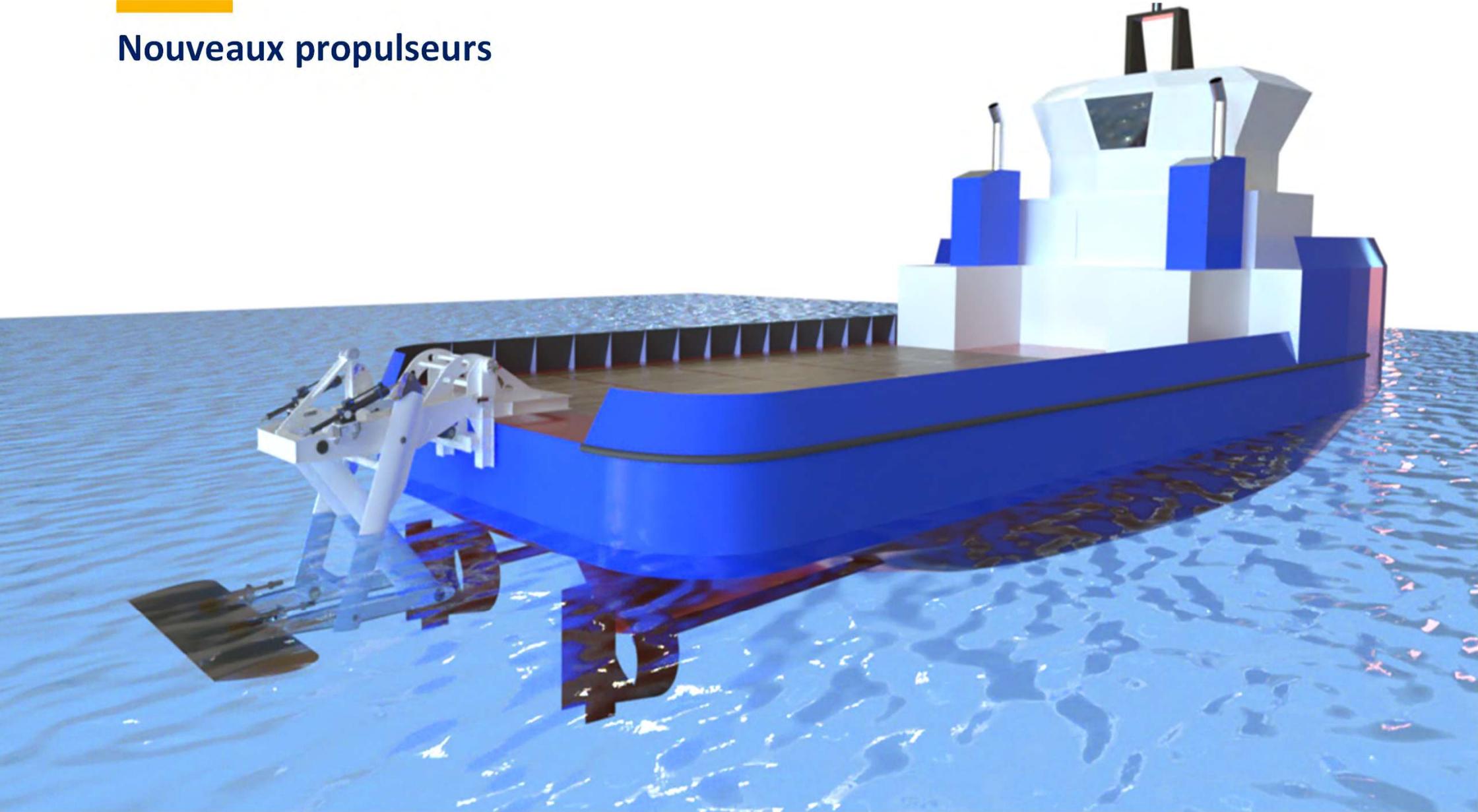
Aérodynamique



Routage et éco-conduite



Nouveaux propulseurs



Lubrification par bulles d'air



3. Solutions

3.3 Énergies vertes

Question :

Quelles énergies décarbonées peut-on utiliser ?

(Plusieurs réponses possibles)

**Hydrogène
Ammoniac
Méthanol**



**L'énergie
du vent**



**L'énergie
atomique**



**Les
batteries**



Nucléaire



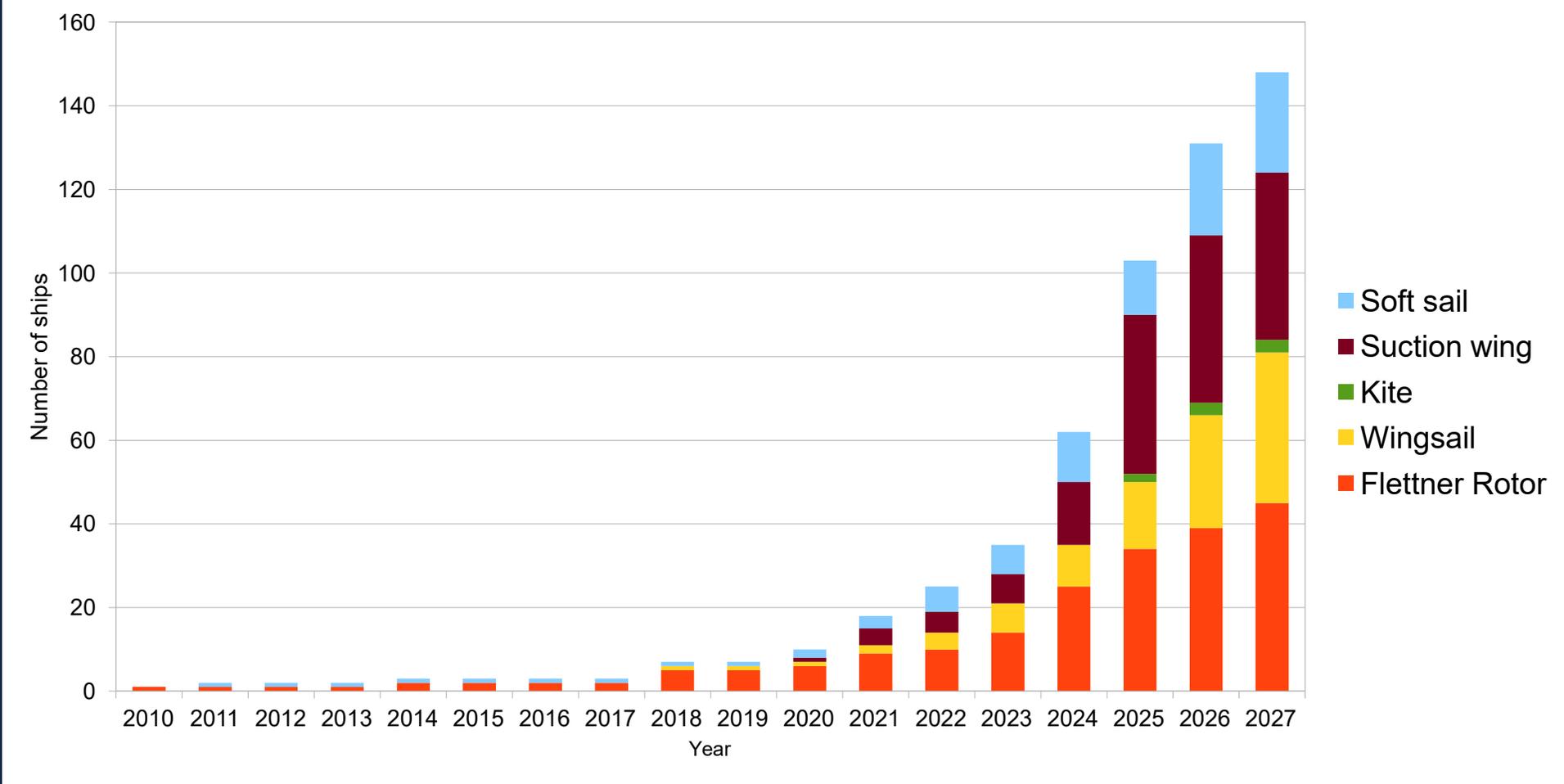
Propulsion par le vent





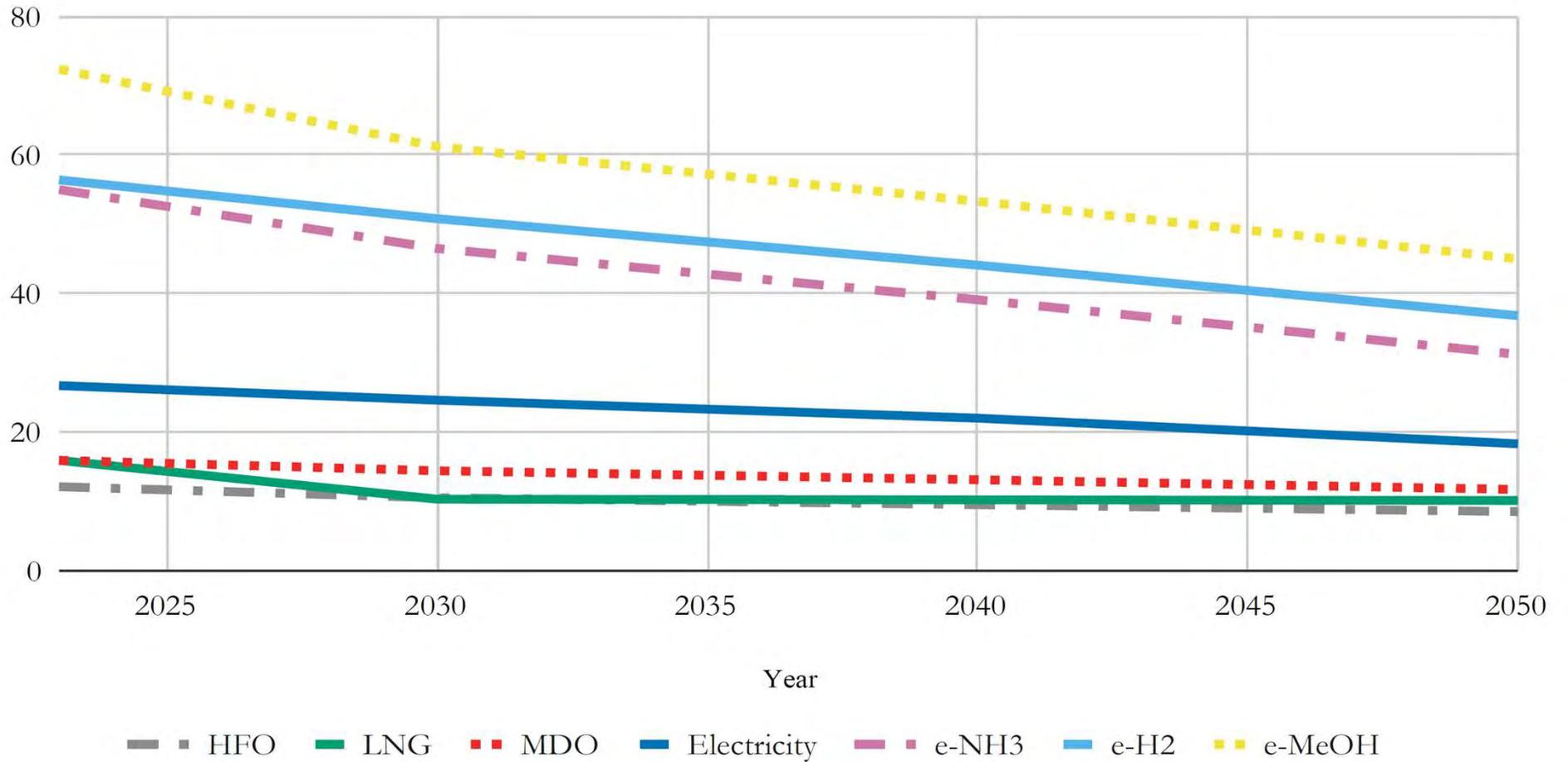
Parc de navires assistés par le vent

En opération et projeté (cumul)



Electricité et carburants de synthèse

Projection des futurs prix des carburants marins [US\$/GJ]



Source: MEPC 82-INF.8-Add.1 (Jul 2024)

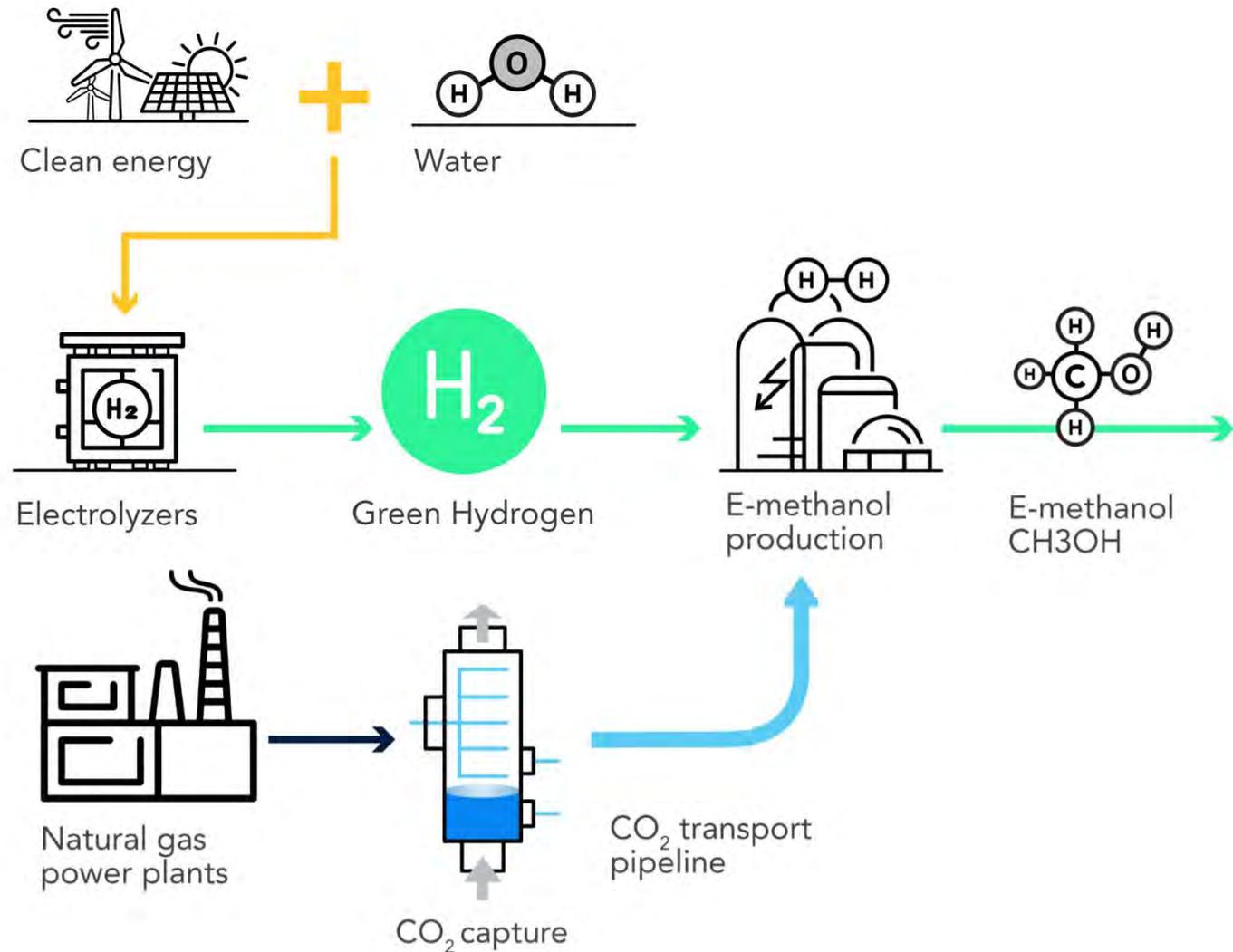
Hydrogène et méthanol

Avantage **hydrogène**

- Sans Carbone
- Inconvénient H₂
- Liquide à – 253 °C
- Fuite
- Flamme invisible

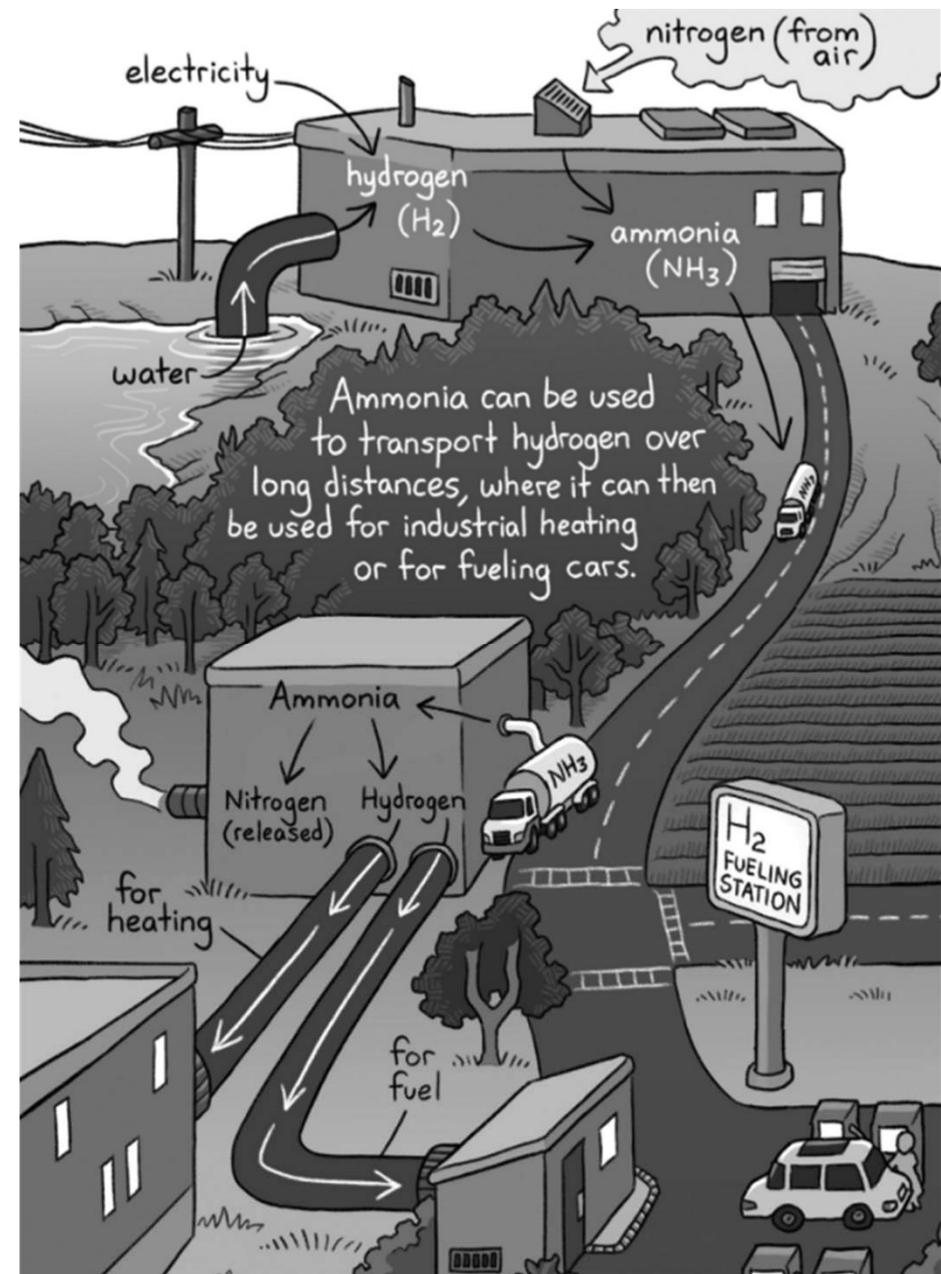
Avantage **méthanol**

- Liquide cond. amb.
- Inconvénient
- Émet du CO₂



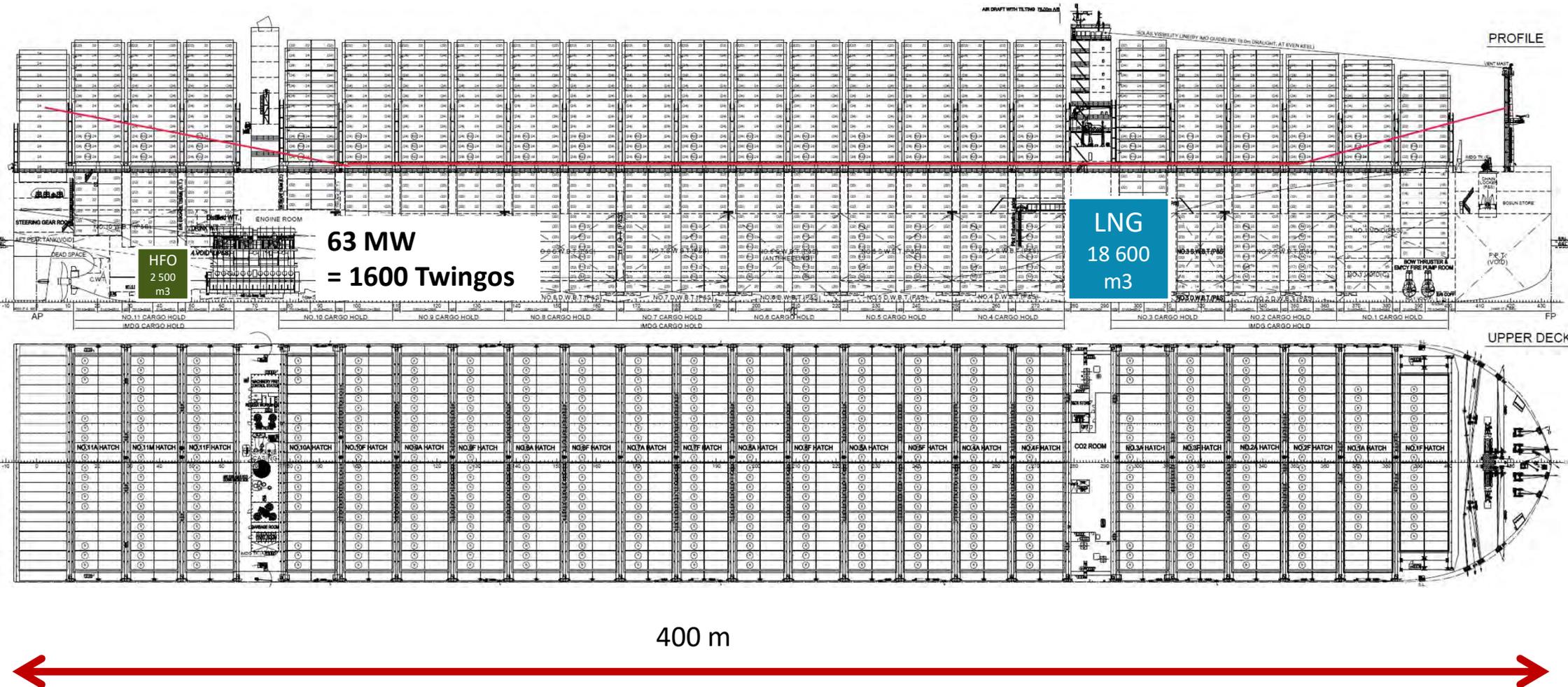
Synthèse d'ammoniac

- Avantage
 - Liquide à -33 °C ou 8 bars
 - Sans Carbone
- Inconvénient
 - Toxique



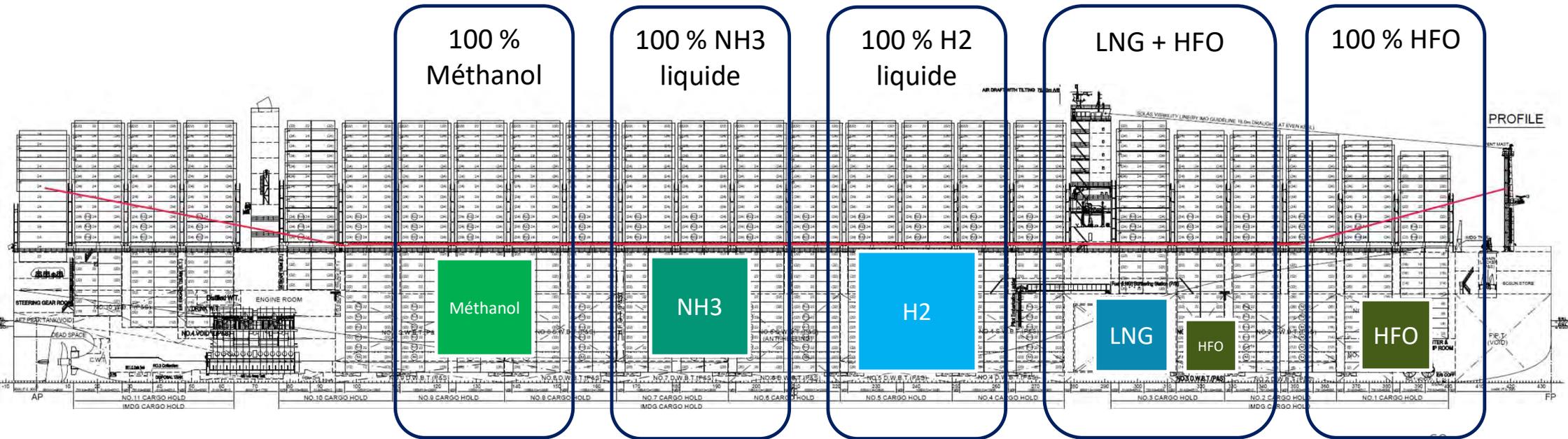
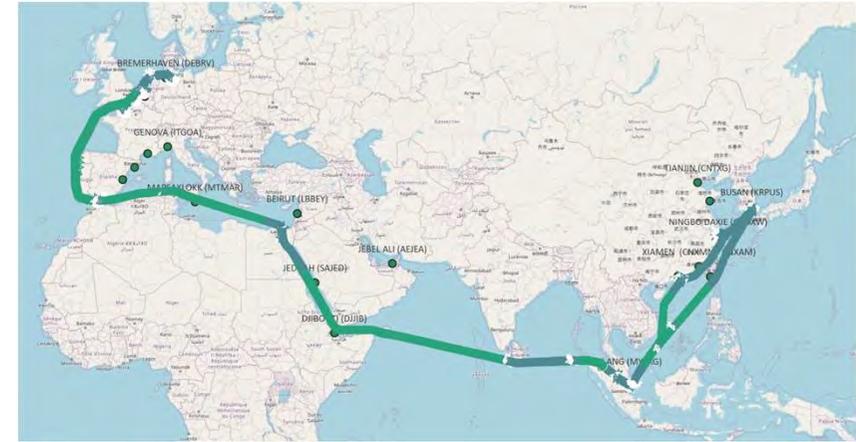


CMA-CGM Champs Elysées – 23 000 conteneurs (EVP)



A/R Corée du Sud – Allemagne

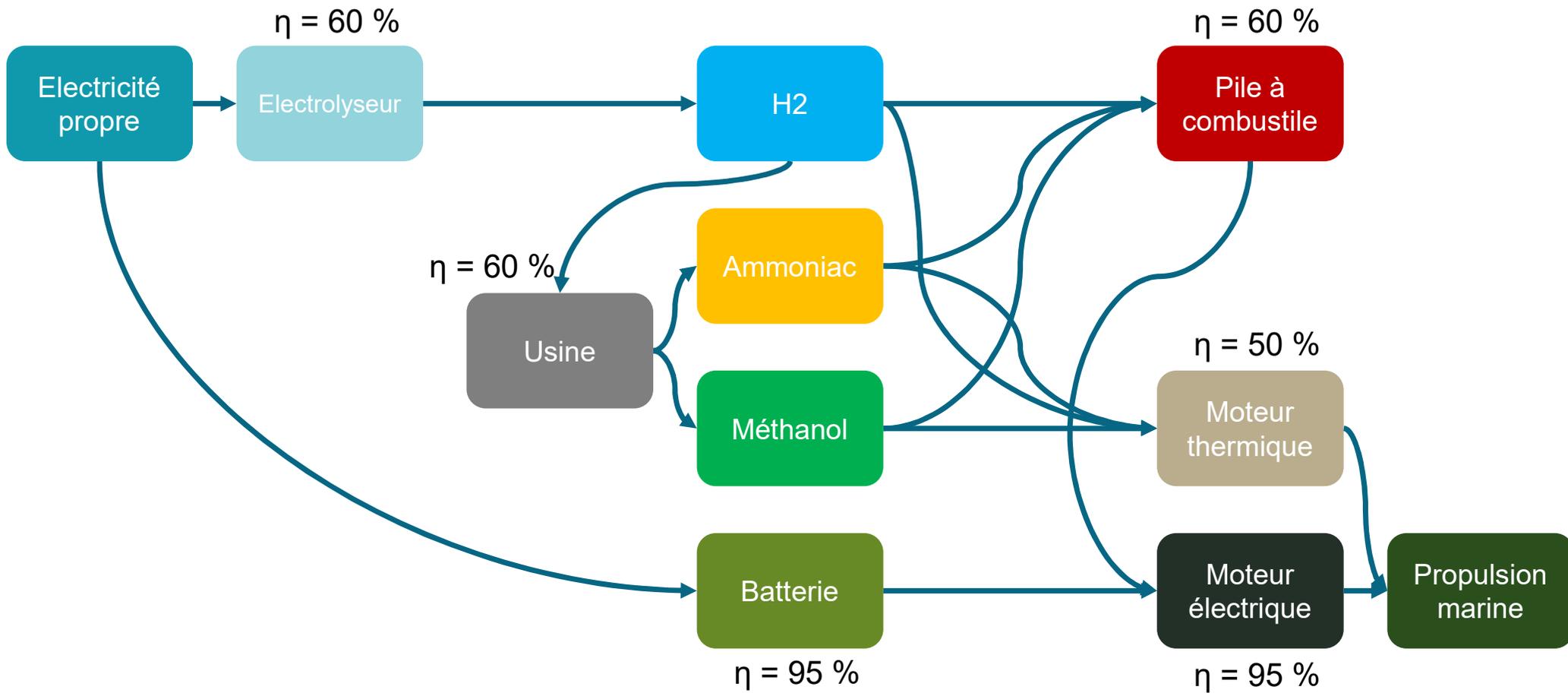
Comparaison en volume à iso-rendement



Limites de cette petite étude :

- Rendement du moteur
- Consommations auxiliaires : + 15 %
- Impact sur la masse
- On néglige les infrastructures de stockages

Rendement du puit à la roue

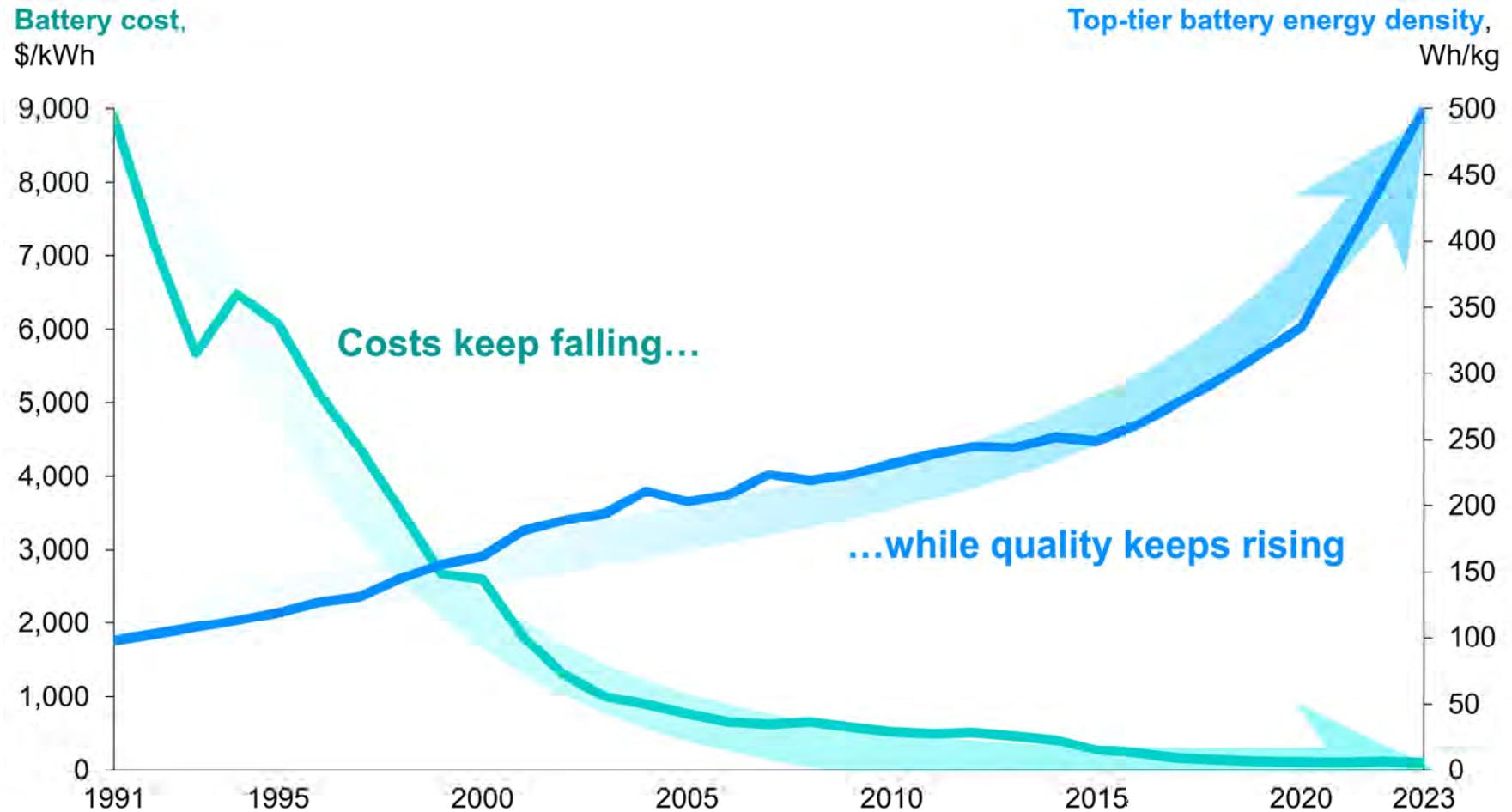




Rendement du puit à la roue

- MCI – H₂ : 30 %
- MCI – CH₃OH / NH₃ : 18 %
- PAC – H₂ : 36 %
- PAC – CH₃OH / NH₃ : 22 %
- Batterie : 90 %

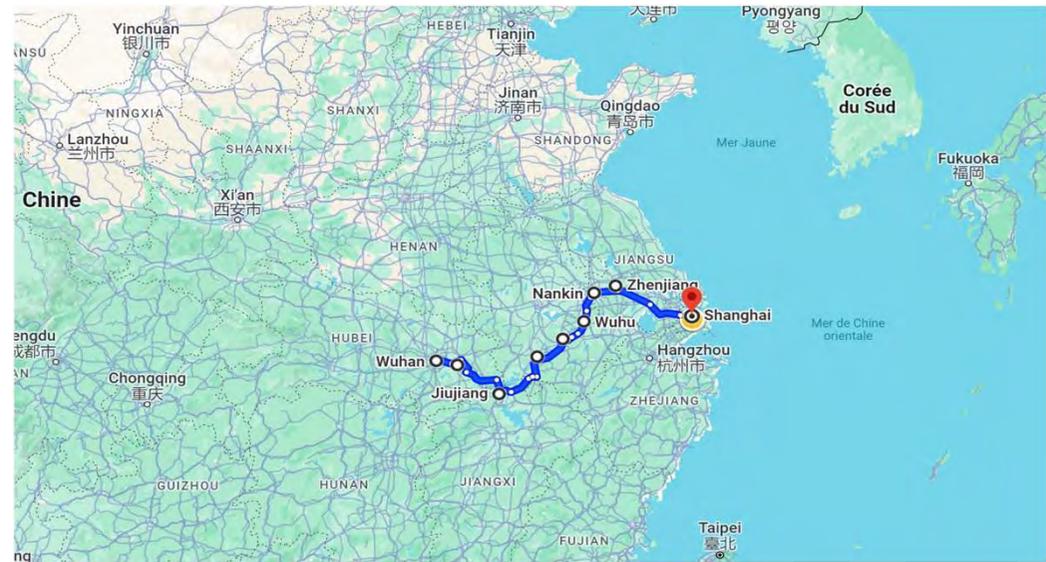
Coût et densité énergétique des batteries



Source: Ziegler and Trancik (2021) before 2018 (end of data), BNEF Long-Term Electric Vehicle Outlook (2023) since 2018, BNEF Lithium-Ion Battery Price Survey (2023) for 2015-2023, RMI analysis.

Feeder à batterie

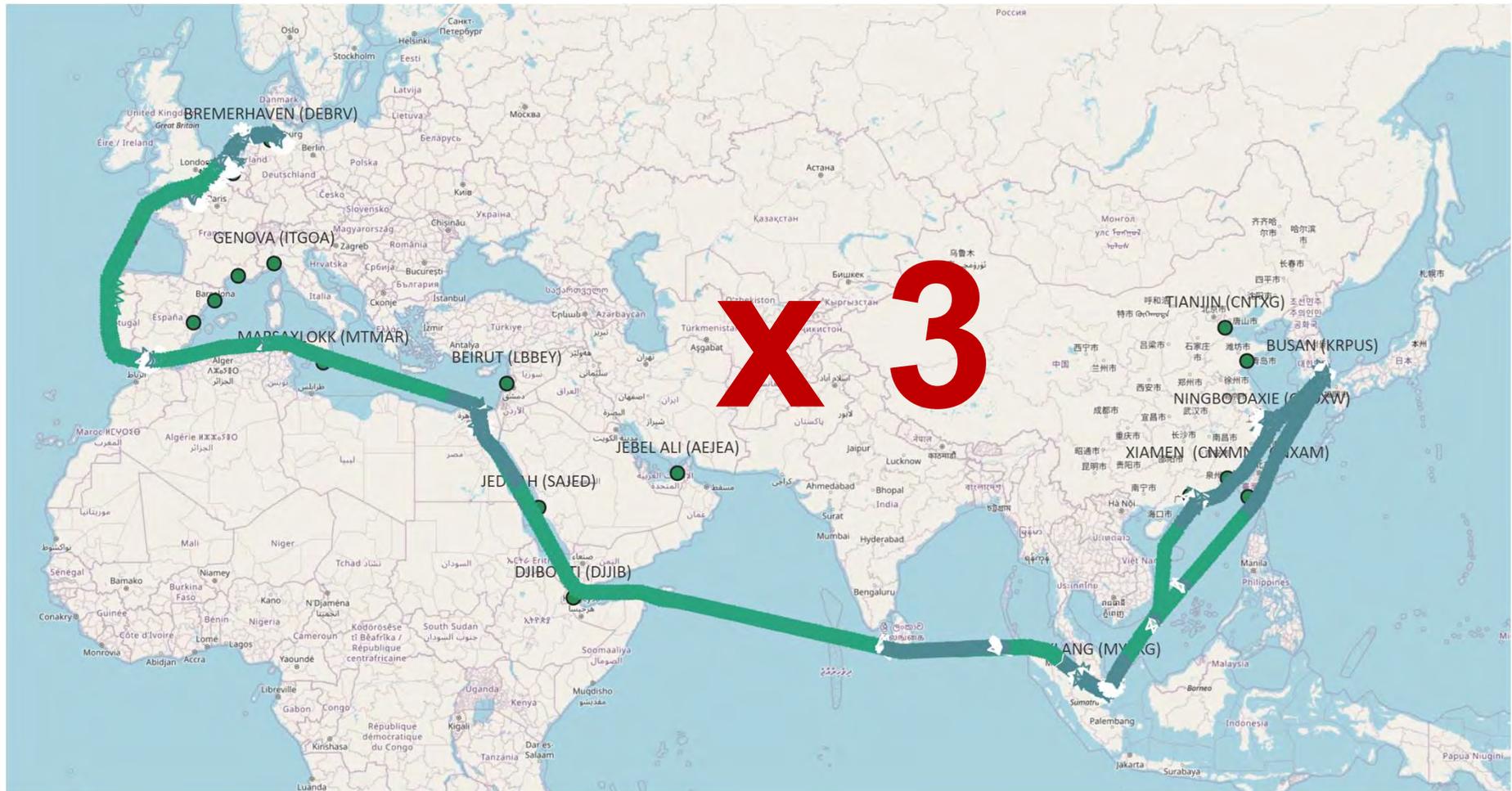
- 700 conteneurs (EVP)
- 118 m de long
- 36 « conteneurs batterie »
- 50 000 kWh (soit 1000 Zoé)
- 1000 km



**Pourrait-on
électrifier
un porte -
conteneurs
géant ?**



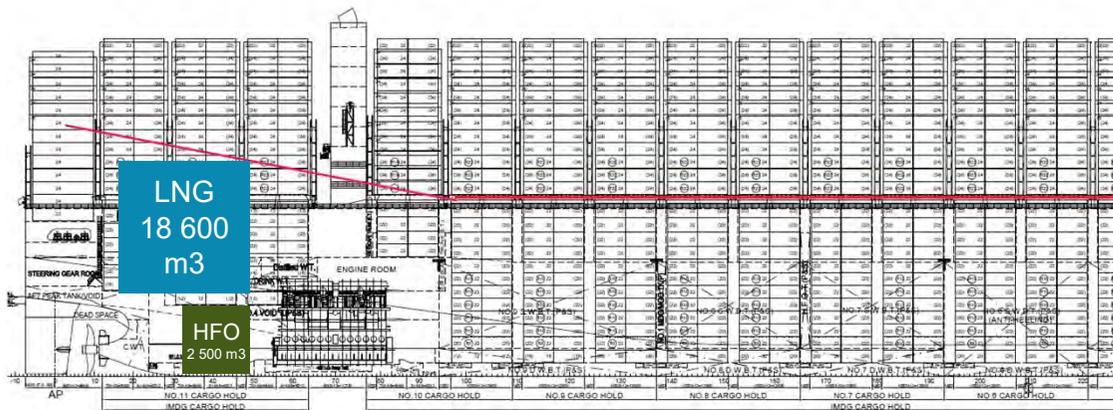
Autonomie : 58 000 km



Battery pack density [Wh/L]

	16	350	700 CATL
58 000 km 			
15 600 km 			
10 000 km 			

58 000 km range and density of 16 Wh/L

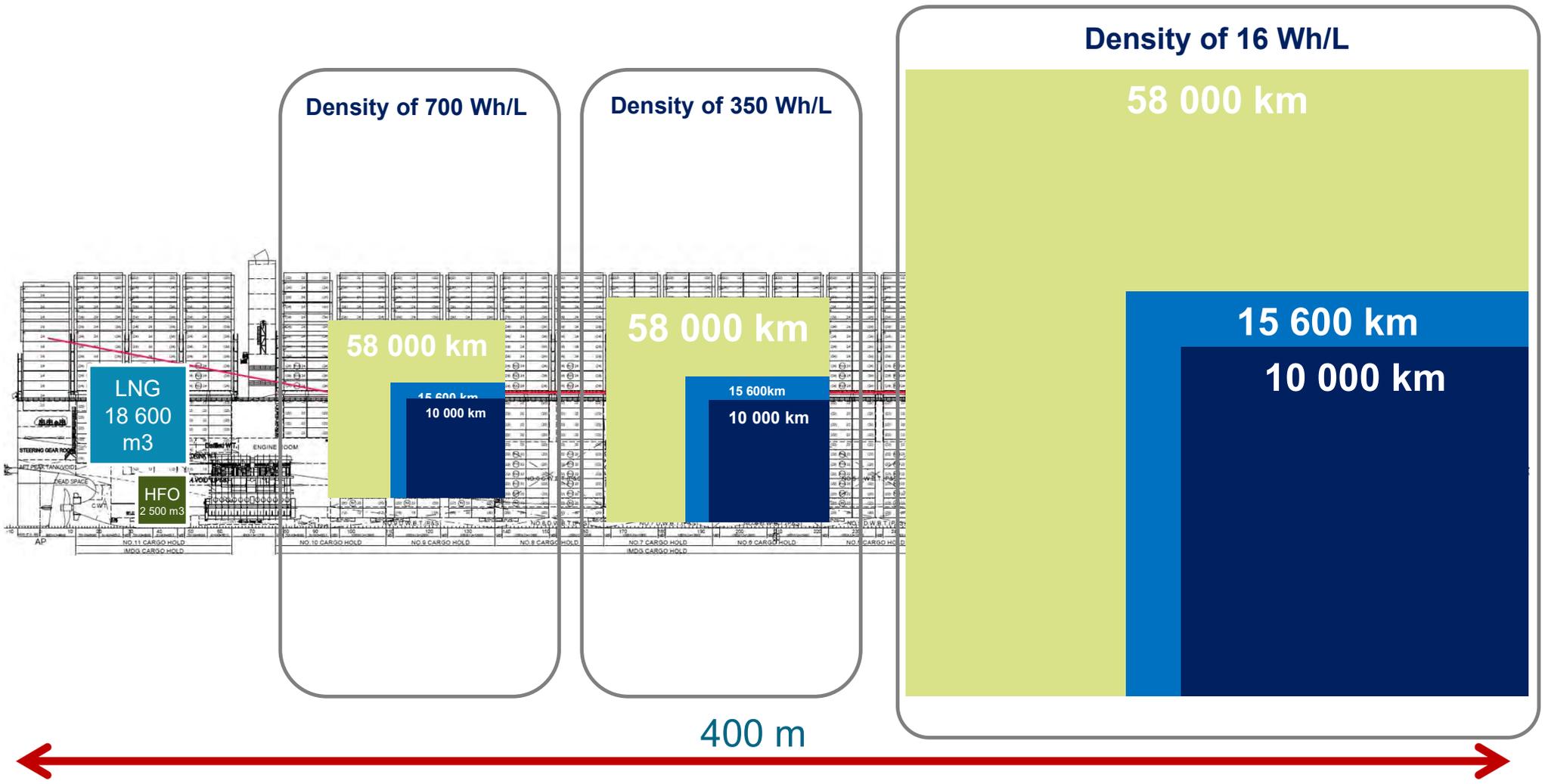


Battery

6470 % of DWT !!!

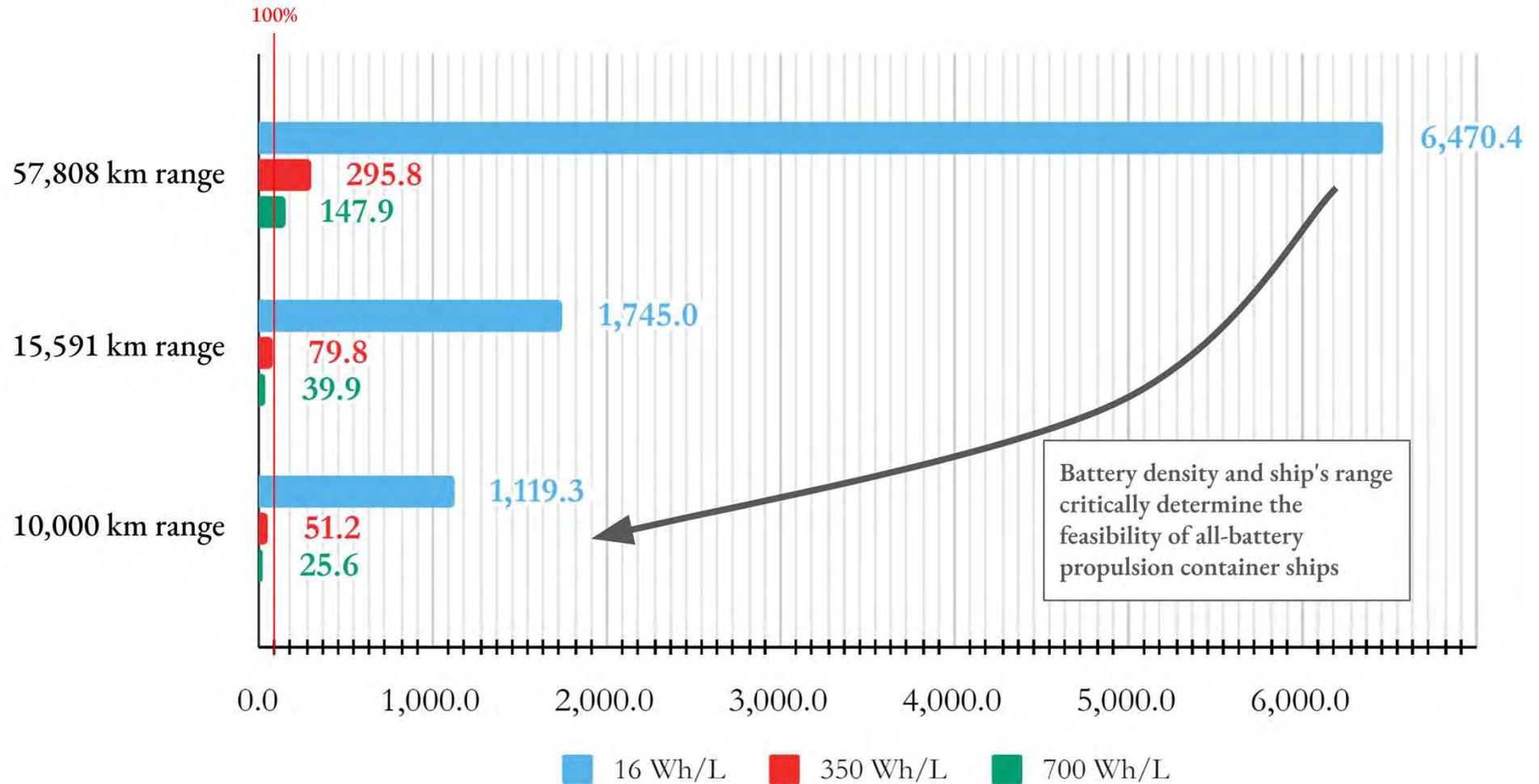
400 m





Impact sur le poids

[% DWT]

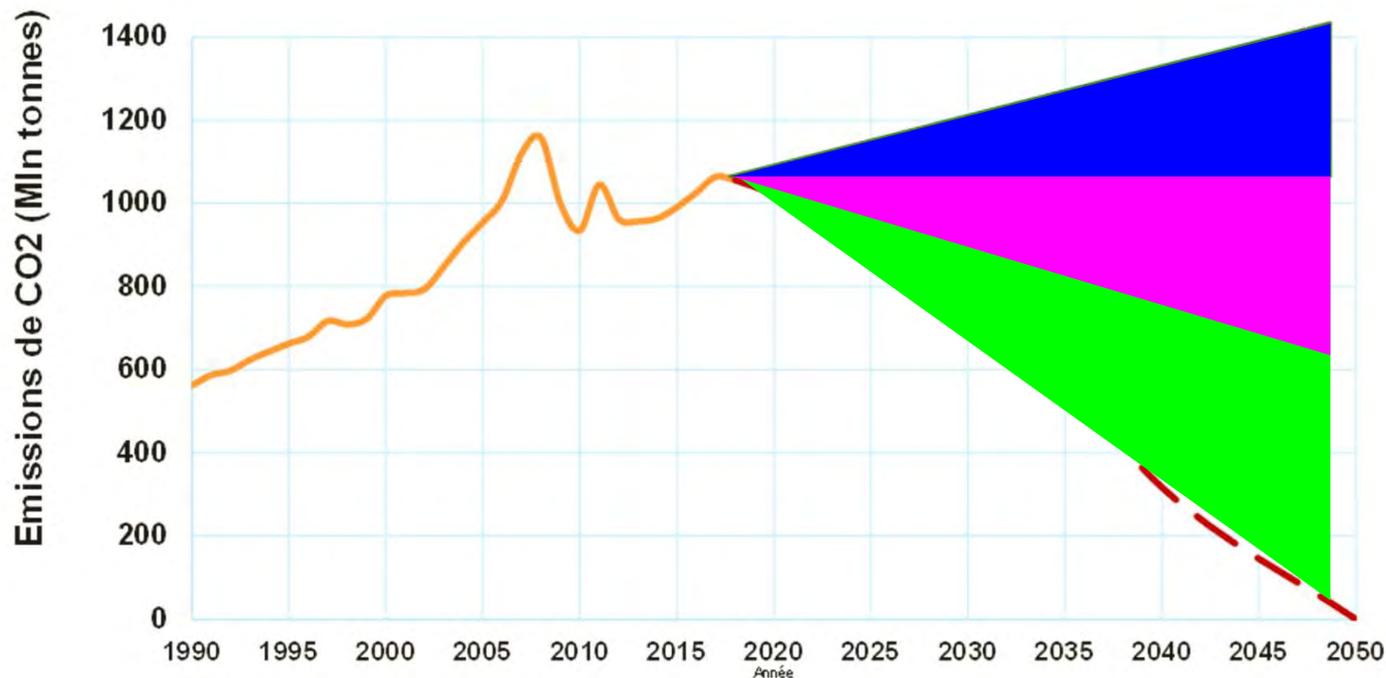


Limites de cette 2^{ème} petite étude :

- Recharge
- Investissement > G€
- Batterie immense : 1 % de la production mondiale de
2024

4. Conclusions

De multiples solutions



Sobriété :

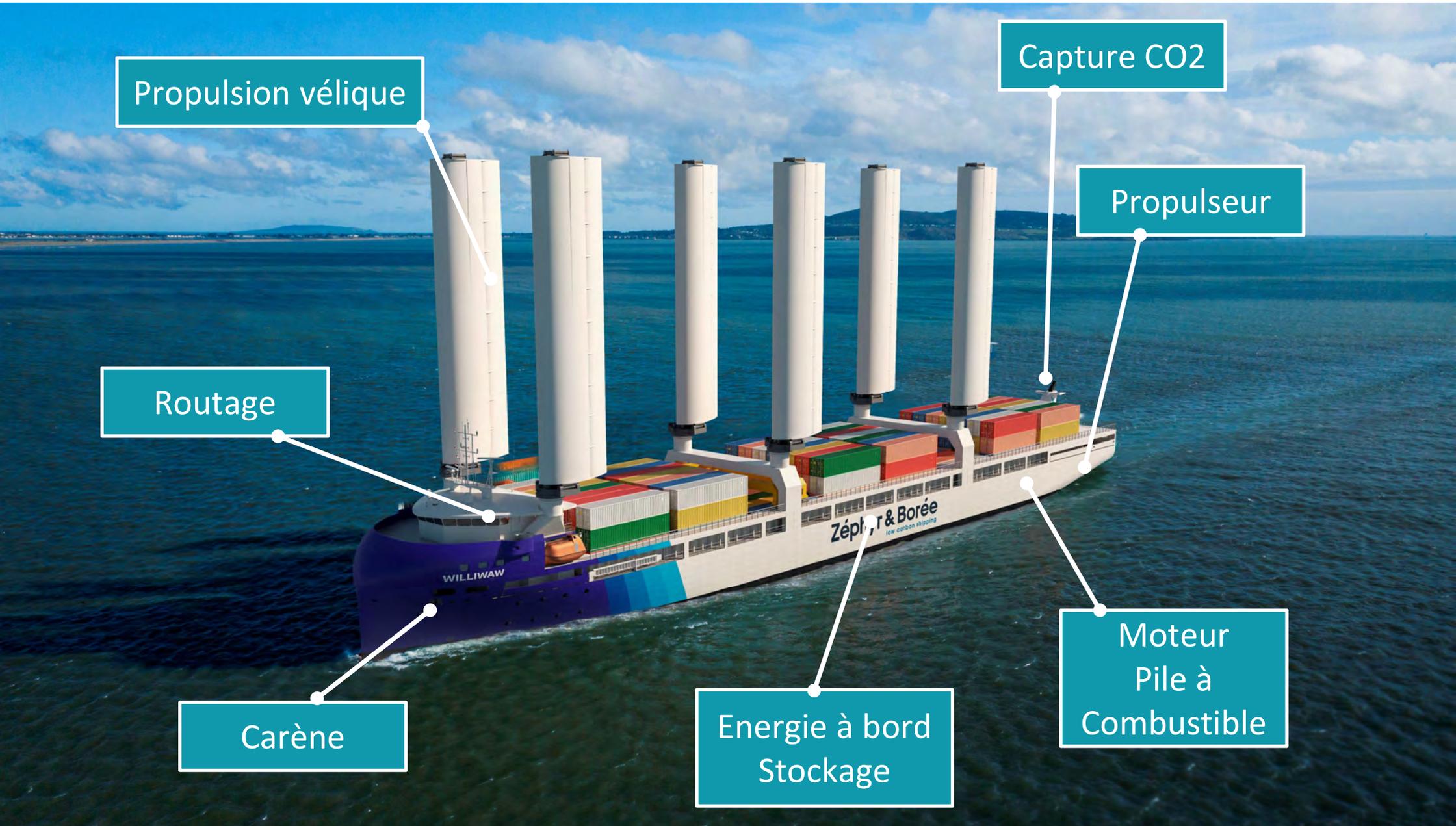
- Réduction de vitesse
- Réduction du trafic

Efficacité énergétique :

- Nouvelles carènes
- Nouvelles hélices
- Aérodynamique
- Tapis de bulles d'air
- Routage
- Eco-conduite

Energies vertes :

- Vélique
- Pile à combustible
- Electrification
- Bio-carburant
- Carburant de synthèse
- Nucléaire
- Solaire



Propulsion vélique

Capture CO2

Propulseur

Routage

Carène

Energie à bord
Stockage

Moteur
Pile à
Combustible



Electrification

Evolution de la demande

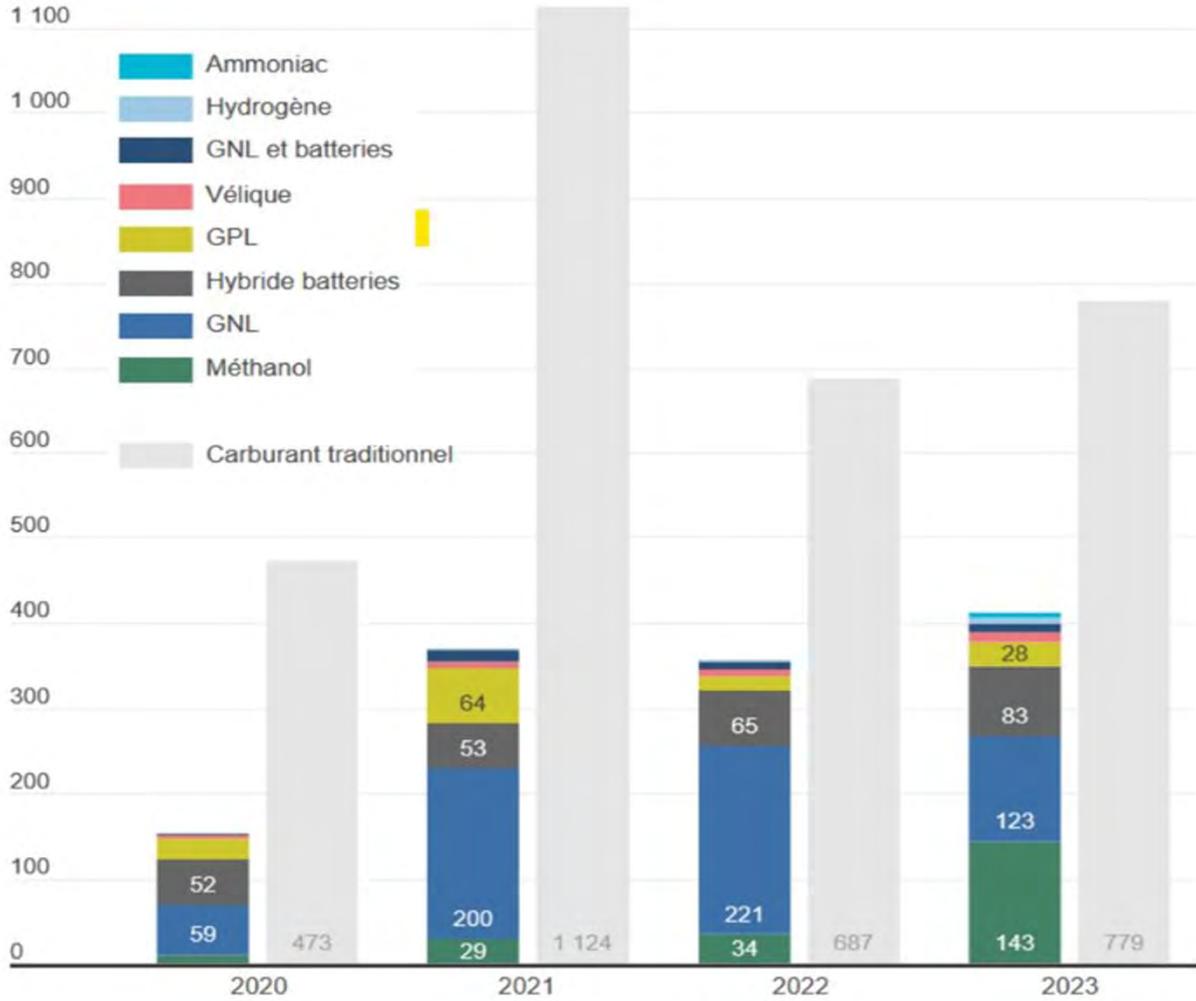
Ecoconduite

Nouveaux carburants

Logistique

Electricité décarbonée

Évolution des nouvelles commandes de moteurs principaux



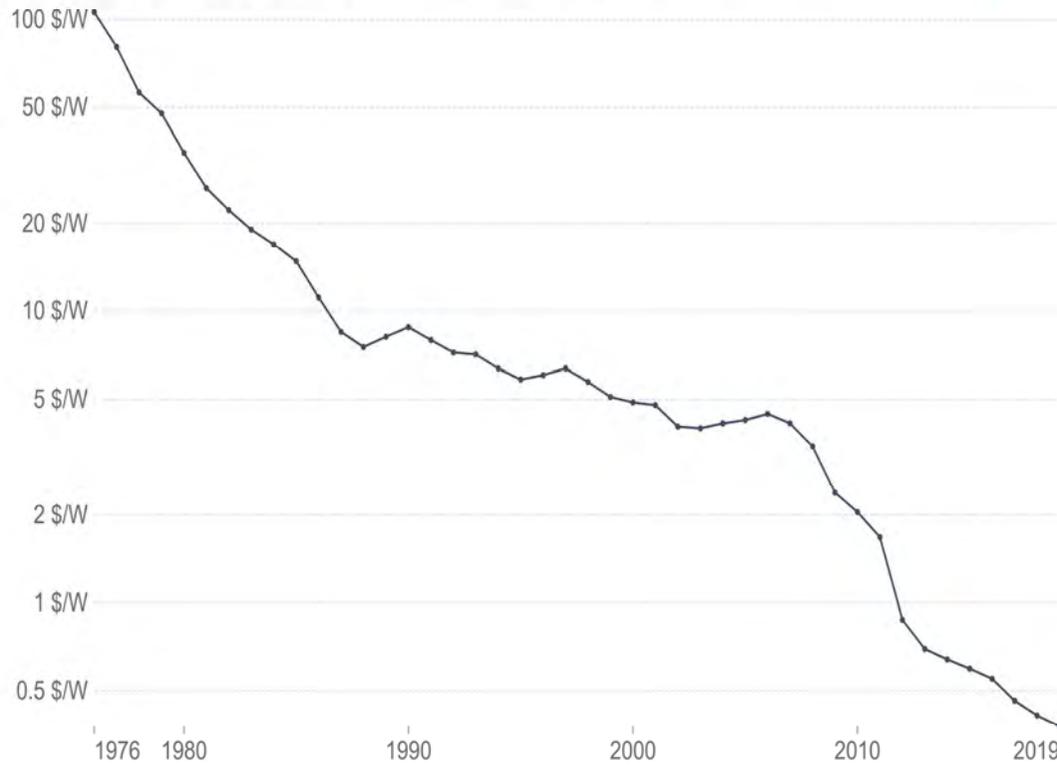
Source : compilation Frédéric Auvray, *le marin*





Solar PV module prices

Global average price of solar photovoltaic (PV) modules, measured in 2019 US\$ per Watt.



Source: LaFond et al. (2017) & IRENA Database

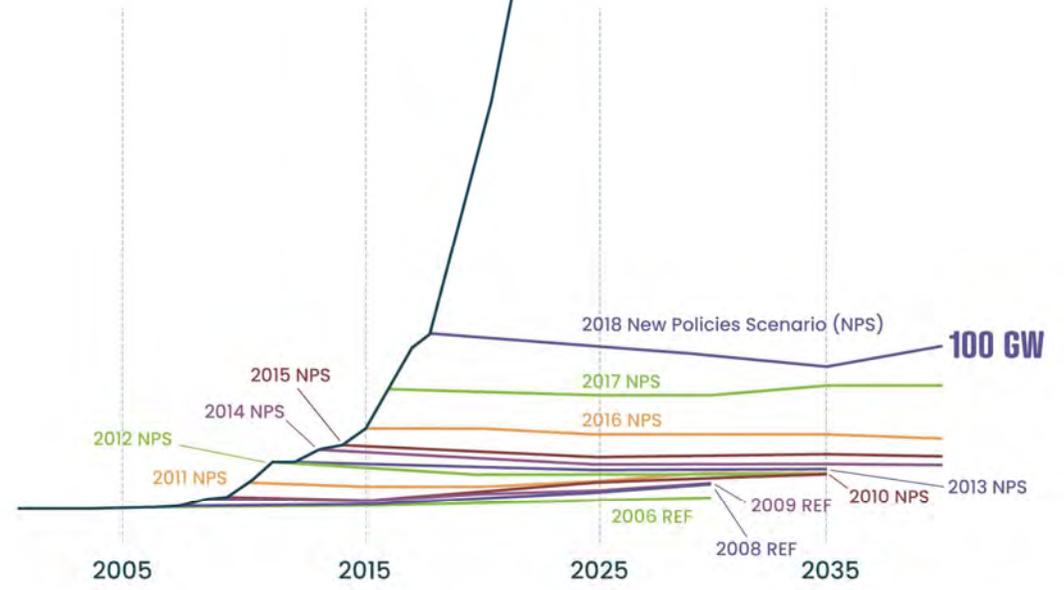
OurWorldInData.org/energy • CC BY

Solaire : la réalité dépasse les prévisions de l'IEA

Évolution de la puissance annuelle installée

2024 : 599 GW

Évolution réelle



lel.media

Sources : Auke Hoekstra

les électrons libres

Merci

Pierre Marty

pierre.marty@ec-nantes.fr