

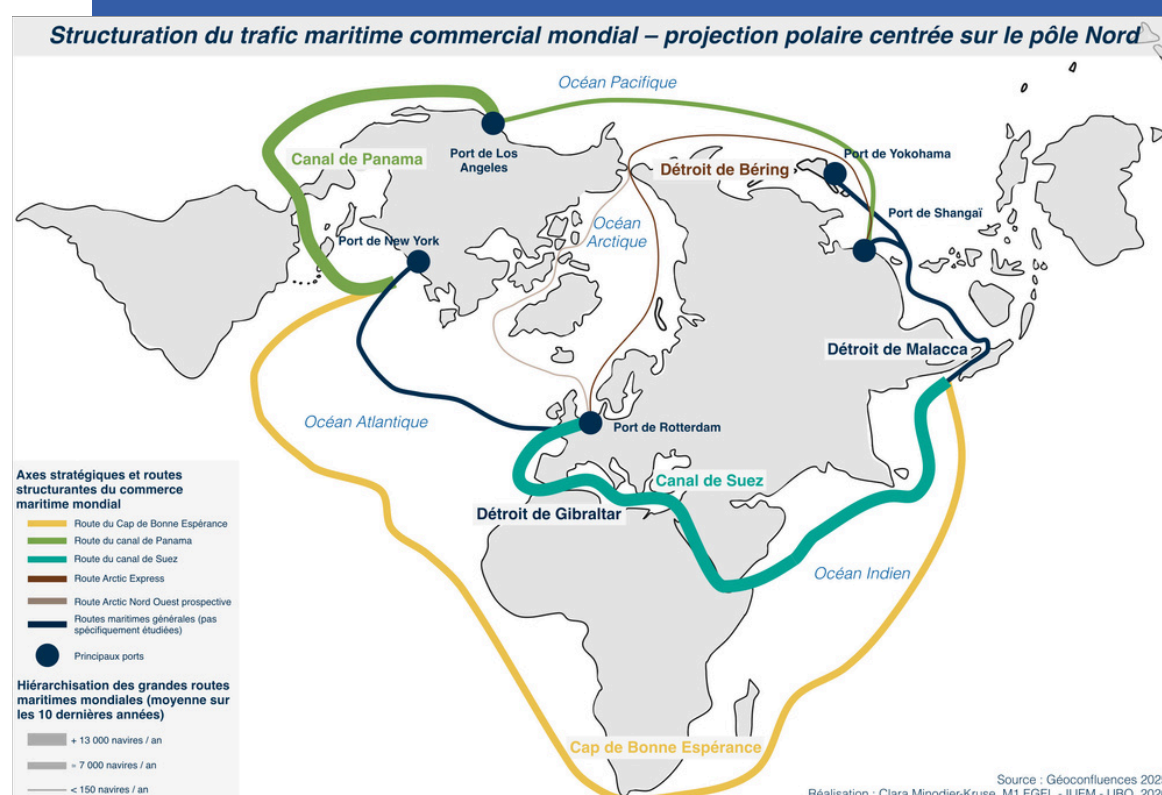


TROIS MESURES OPÉRATIONNELLES

Données calculées à partir d'un
bateau de type PANAMAX



PANAMAX



1-Comparaison des routes

Comparaison des itinéraires Shanghai–New York (référence : route du canal de Suez)

ROUTE DU CANAL DE SUEZ

Distance : -1366 Nm (-2 jours)
Fuel : -400 T
Emissions (CO₂, SO_x, NO_x): -17%
Economie carburant: -180K \$

ROUTE DU CANAL DE PANAMA

Distance: -3800 Nm (-2,5 jours)
Fuel: -1150 T
Emissions (CO₂, SO_x, NO_x): -50%
Economie carburant: -500K \$

PASSAGE DU NORD OUEST

Distance: +4750 Nm (+11,5 jours)
Fuel: +640 T
Emissions (CO₂, SO_x, NO_x): +22%
Surcoût carburant: +300K \$

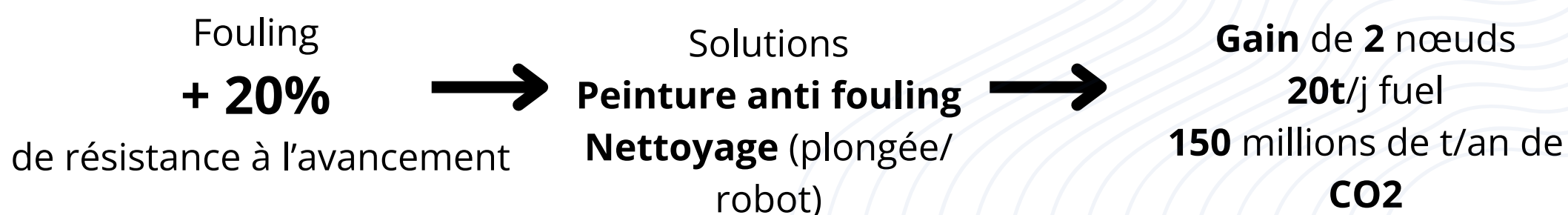
ROUTE DU CAP DE BONNE ESPÉRANCE

2-Réduction de la vitesse de 2 nœuds

Cas d'étude : Route par le canal de Suez



3- Entretien du navire





Propulsion vélique

Ailes Gonflables



L'aile *Wisamo* est une aile gonflable automatisée et rétractable qui fonctionne comme une aile d'avion verticalisée, générant de la portance à partir du vent et aidant à propulser le navire.

Installation possible
sur des cargos
d'anciennes
générations

-10% à 20%
CO₂, NO_x, SO_x
Emissions

Ailes de 500m²
repliées
rapidement

-1,7 t de
carburant
(moyenne journalière)

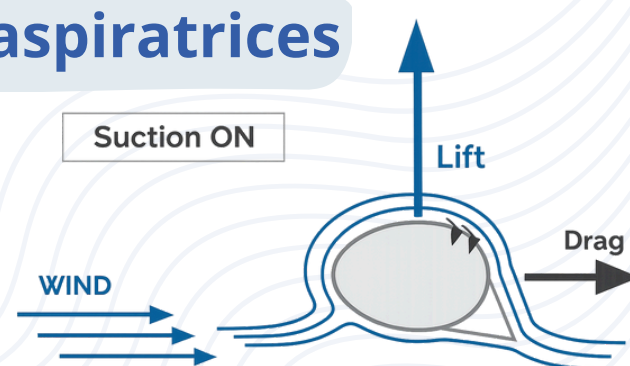
-6% des
émissions
annuelles de CO₂

Investissement
d'environ
2millions d'euros

Chiffres obtenus à partir de la technologie eSAIL® installée sur le *Ville de Bordeaux*



Ailes aspiratrices



- Les ailes à suction ont une forme d'aile ou ovale
 - Un système d'aspiration électrique aspire l'air à travers une surface perforée sous le vent
- Permet d'augmenter la portance et de réduire la trainée

Ailes articulées

Les ailes articulées OceanWings sont des voiles rigides automatisées et ajustables en fonctions de l'orientation du vents.

Fonctionne dès un
angle de vent
apparent de 5°

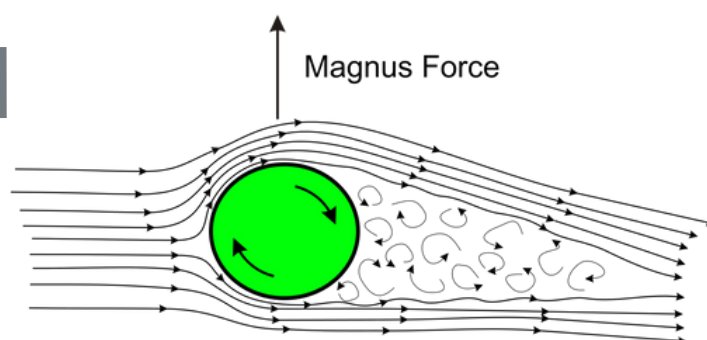
-20% à 30%
CO₂, NO_x, SO_x
Emissions

Ailes
rentabilisés
au bout de 5
ans

Part de la
propulsion
entre 15 à 40 %



Effet Magnus : La rotation crée une différence de pression au niveau du rotor, ce qui génère une poussée aérodynamique.



Mâts rotors

- Les mâts rotors génèrent une portance aérodynamique grâce à un phénomène appelé effet Magnus.
- Les voiles à rotor produisent une poussée maximale lorsque le vent souffle perpendiculairement à l'arbre.

-5% à 30%
CO₂, NO_x, SO_x
Emissions

-7 t de CO₂

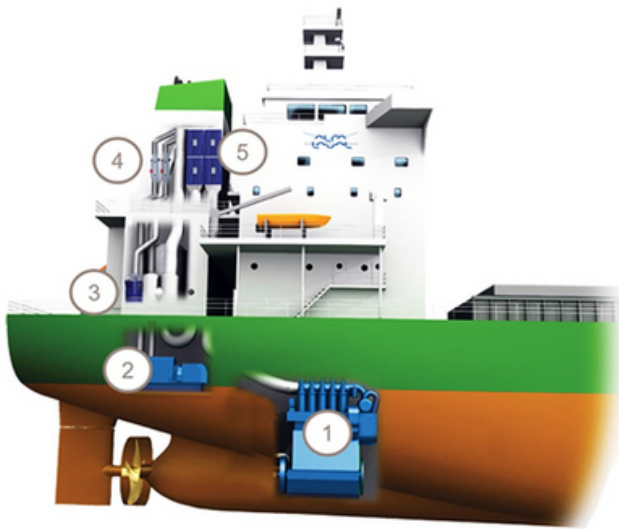
-1,9 t de
carburant

Moyenne journalière lors de la période d'essai du TR Lady ayant navigué dans la plupart des Océans



Waste heat recovery (WHR)

La **récupération de chaleur résiduelle** consiste à capter la chaleur qui serait perdue (par exemple via les gaz d'échappement, les circuits de refroidissement ou les huiles) et à la **convertir en énergie utile**, généralement sous forme d'électricité ou de chaleur exploitable.

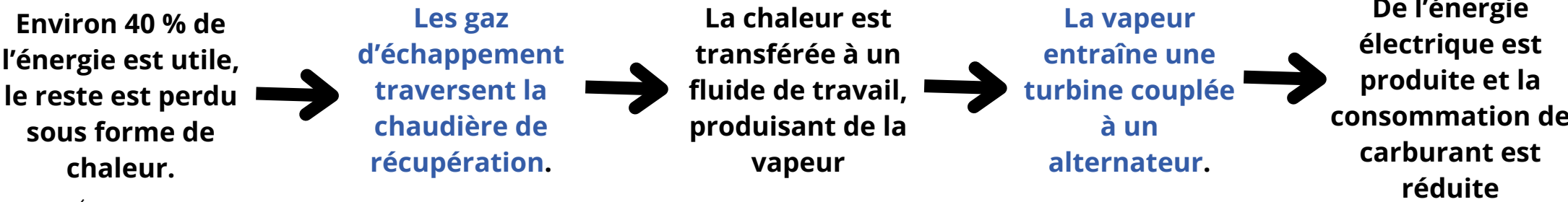


Differentes sources de recuperation de la chaleur residuelle

- 1 - les moteurs principaux
- 2 - les moteurs auxiliaires
- 3- la chaudière au fioul
- 4 - les gaz d'échappement des moteurs auxiliaires
- 5 - les gaz d'échappement des moteurs principaux

30 à 55 % de l'énergie du
carburant est dissipée
sous forme de chaleur !!

Utilisation de la chaleur du gaz d'échappement



Équilibres énergétiques utilisant le WHR

Poste energetique	Pourcentage de l'énergie du carburant (%)
Energie utile (propulsion)	40%
Gaz d'échappement	30%
Refroidissement eau jacket (HT)	15%
Refroidissement air de suralimentation (LT)	7%
Refroidissement huile de lubrification	3%
Rayonnement et convection	3%
Pertes mécaniques internes	2%
Total	100%

Cout d'installation	
Navire neuf	Navire retrofit
1 à 4 M USD	2 à 6 M USD
Retour d'investissement	
3 à 6 ans	4 à 8 ans

AVANTAGES

- Réduction de la consommation de carburant (environ 5 à 10 %)
- Diminution des émissions de CO₂, NO_x et SO_x, au respect des réglementations de OMI, CII et EEXI.
- Amélioration du rendement énergétique global du navire.
- Réduction de la charge des groupes électrogènes auxiliaires

CONTRAINTES

- Efficacité du système dépendante de la charge moteur
- Contraintes d'intégration dans la salle des machines (espace, poids, modification des circuits existants).
- Complexité du système (échangeurs, turbines, automatismes).
- Coûts de maintenance supplémentaires et besoin d'arrêts périodiques pour inspection.
- Investissement initial élevé (plusieurs millions de dollars).



Scale effects

Objectif : construire des navires plus long pour permettre de transporter le plus de conteneurs possibles et ainsi limiter le consommation en CO2 par EVP.

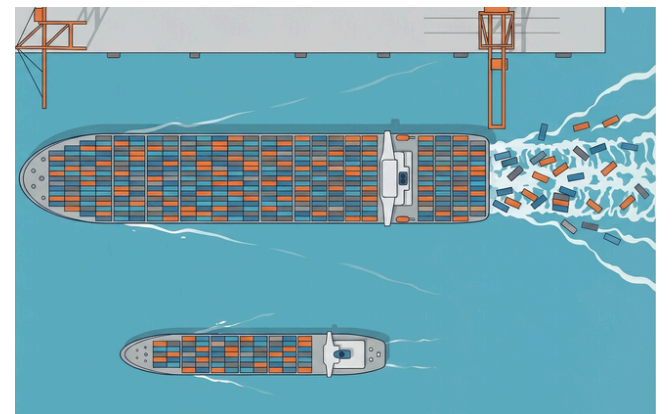
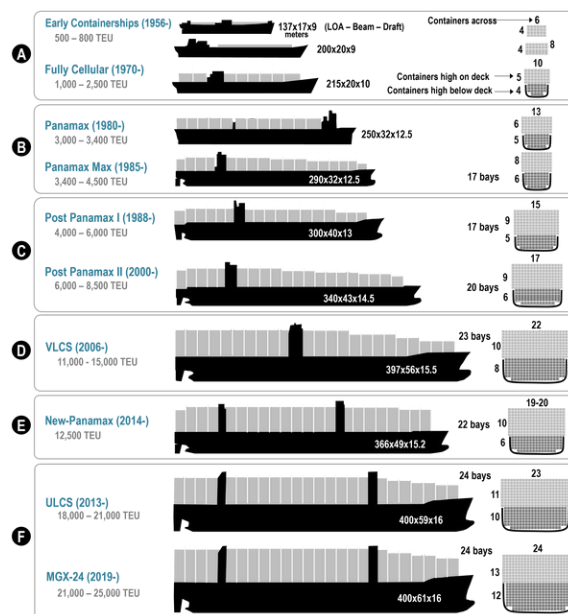
PRINCIPE DES EFFETS D'ÉCHELLE

Construire des porte-conteneurs plus grands permet de transporter davantage de conteneurs pour une consommation énergétique qui n'augmente pas proportionnellement.

Ainsi, les émissions de CO₂ rapportées à un conteneur (EVP) diminuent lorsque la taille du navire augmente.

	Consommation de fuel (tonnes/EVP)	Émissions CO2 (tonnes/EVP)	Émissions NOx (tonnes/EVP)	Émissions SO2 (tonnes/EVP)
New Panamax (longueur = 366m)	0,165	0,014	0,01	0,514
Panamax (longueur = 294m)	0,078	0,018	0,016	0,678

Attention : les effets d'échelle réduisent les émissions par conteneur, pas les émissions totales



POURQUOI CETTE SOLUTION N'EST PAS ENVISAGÉE ?

CONSTRAINTES PORTUAIRES

-  **Tirant d'eau élevé** → accès limité aux grands hubs mondiaux.
-  **Longueur extrême** → bassins de giration souvent insuffisants.
-  **Grues très hautes et larges** nécessaires
-  **Temps d'escale critique** : trop long → perte de rentabilité

CONSTRAINTES ÉCONOMIQUES

-  Coûts de **construction** et **d'exploitation** très élevés
-  Coûts élevés pour **adapter les infrastructures portuaires** et les **routes maritime**

CONSTRAINTES STRATÉGIQUES ET GÉOPOLITIQUES

-  **Dépendance aux passages clés** : Canal de Suez /Détroits stratégiques.
-  **Blocage possible des chaînes logistiques mondiales** = effet domino, ex : navire Ever dans le canal de Suez en 2021

CONSTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

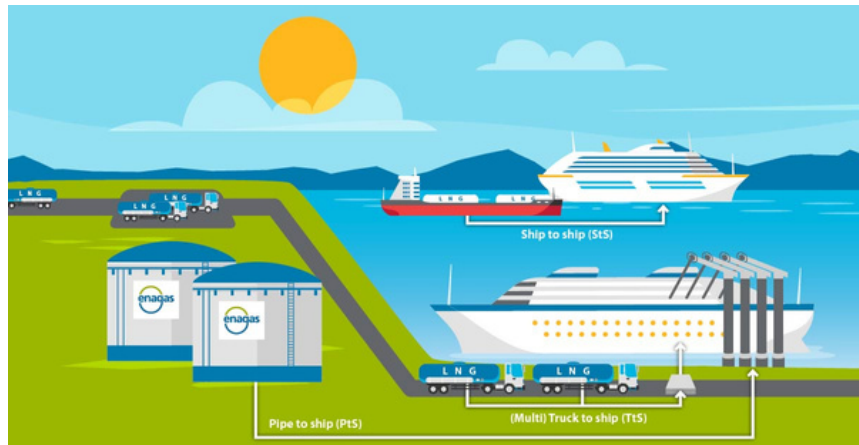
-  **Émissions réduites** par EVP, mais **élevées** en valeur absolue
-  **Normes OMI (EEXI) difficiles** à respecter
-  **Dragage** → impacts sur les fonds marins
-  **Pollution majeure** en cas d'accident



Nouveaux Carburants

Gaz Naturel Liquéfié (GNL)

Le GNL réduit les émissions de NOX, SOX d'environ 90%, et de 23% pour le CO2 par rapport au diesel classique



Les différentes méthodes de soutage de GNL

Stockage :

- Dans des réservoirs à -162°C
- Nécessite des cuves et isolations adaptés
 - Cuves doublées, une paroi interne en acier inoxydable et une paroi externe en carbone

Sécurité :

- Zones d'exclusion
- Détecteurs de gaz
- Ecrans thermiques sous forme de rideau d'eau

Motorisation des navires :

- Moteurs dual-fuel LNG-diesel marin
- Rendement de 45 à 50 % d'énergie utile

Implications économiques :

- Prix de la tonne : 600 \$US

Modes de stockage :

- Hydrogène liquide
 - -253°C
 - Dans des cuves doubles parois sous vide
 - "Re-liquéfaction" des évaporations
 - Le plus pratique car sous forme liquide
- Hydrogène gazeux comprimé
 - Pression de 350 à 700 bar
 - Adapté au stockage tampon (quai ou transport routier)
 - Peu adapté au soutage des navires car trop prohibitif
- Sous forme d'ammoniac
 - Cuves similaires à celles des e-fuel
 - Pratique pour l'import d'hydrogène

Hydrogène

Les émissions de CO2, NOX et SOX sont quasiment nulles mais dépendent de la source d'électricité utilisée pour la production d'hydrogène

Volume de stockage pour 1 kg d'hydrogène



Motorisation des navires :

- Moteurs spécifiques ou piles à hydrogène
- Rendement de 50 à 60% d'énergie utile pour la pile ou de 30% pour la combustion du gaz

Soutage :

- Bras de charge cryogénique
- Poste de chargement haute pression

Sécurité :

- Zones isolées
- Détecteurs de fuites
- Ventilation forcée
- Système d'inertage

Implications économiques :

- Prix de la tonne : 9 000 \$US

Production :

- Produit à partir de CO2 et d'hydrogène

Motorisation des navires :

- Facilement utilisable avec des moteurs actuels
- Rendement de 45 à 50% d'énergie utile

Implications économiques :

- Prix de la tonne : 1 200 \$US

E-ammoniac

Stockage :

- Réservoirs réfrigérés à -33°C ou pressurisés à température ambiante

Sécurité :

- Détection des fuites
- Rideau d'eau
- Rétention des effluents
- Ventilation haute extraction

Soutage :

- Equipements conventionnels en matériaux adaptés

E-methanol

Stockage :

- Réservoirs atmosphérique à double paroi

Sécurité :

- Détection des fuites
- Système d'extinction par mousse
- Protection contre la corrosion

Propriétés :

- Hygroscopique

E-fuels

Les émissions de CO2 sont réduite de 90%, ~100% pour les SOX et dépendent du moteur pour les NOX



Projet H4 Marseille Fos

Usine de production d'hydrogène bas-carbone, de e-méthanol et de e-kérosène à Fos-sur-Mer et son raccordement électrique