



Expert international
en pollutions accidentelles des eaux

Les nouveaux polluants

Les nouvelles propulsions des navires

56ème COMITE STRATEGIQUE DU CEDRE -
Journée de discussions techniques
24 novembre 2022 - Brest

JOUANNIN Fanny – Ingénieur
Service Analyses et Moyens

LSFO

Biodiesel

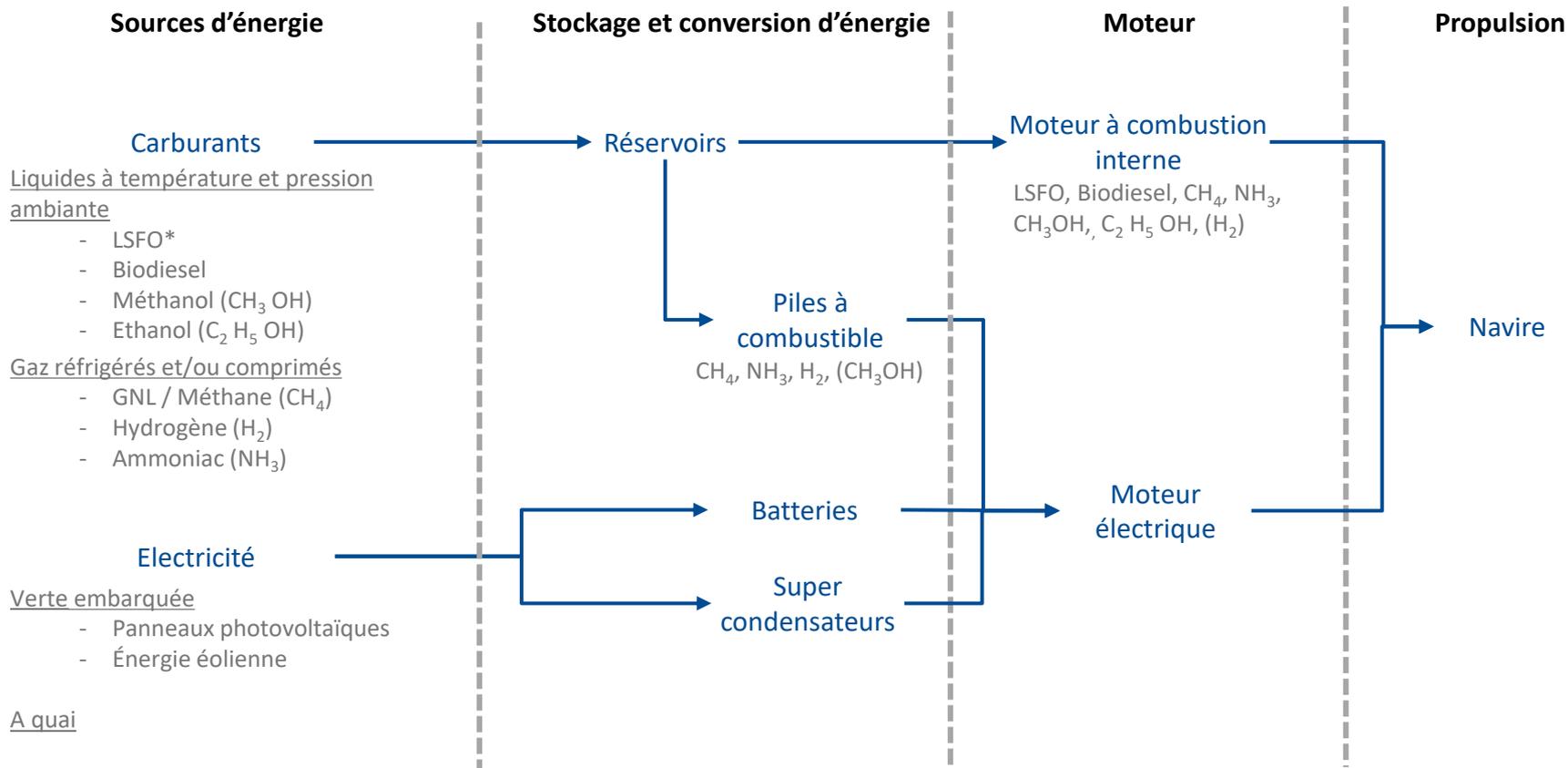
Méthanol
ÉthanolGNL
Méthane

Hydrogène

Ammoniac

Electricité

Vue globale sur les nouvelles énergies de propulsion



* : Certains LSFO nécessitent d'être réchauffés pour être maintenus liquide (point d'écoulement > à la température ambiante)

LSFO

Biodiesel

Méthanol
Éthanol

GNL
Méthane

Hydrogène

Ammoniac

Electricité

Les nouvelles propulsions des navires

LSFO

Low Sulfur Fuel Oil ou Fuel à faible teneur en soufre ($\leq 0,5 \%$)



LSFO

Biodiesel

Méthanol
Éthanol

GNL
Méthane

Hydrogène

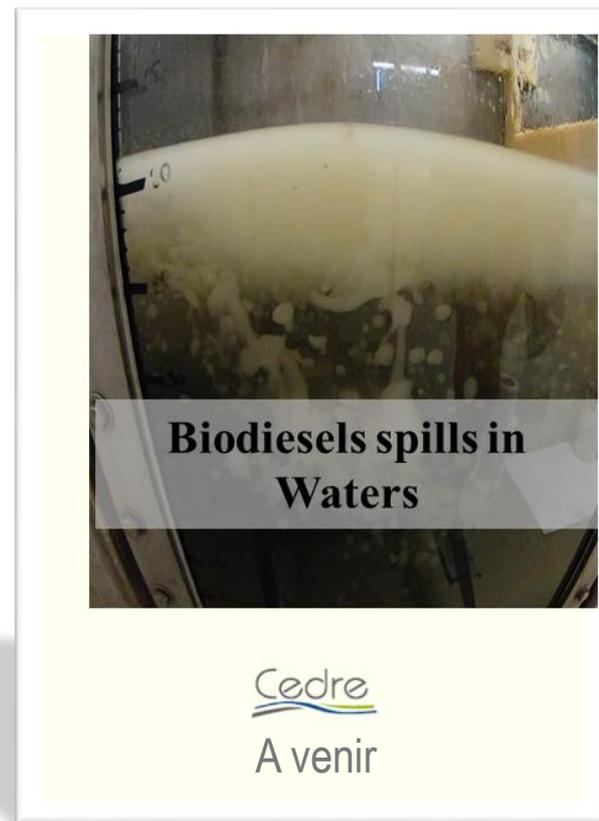
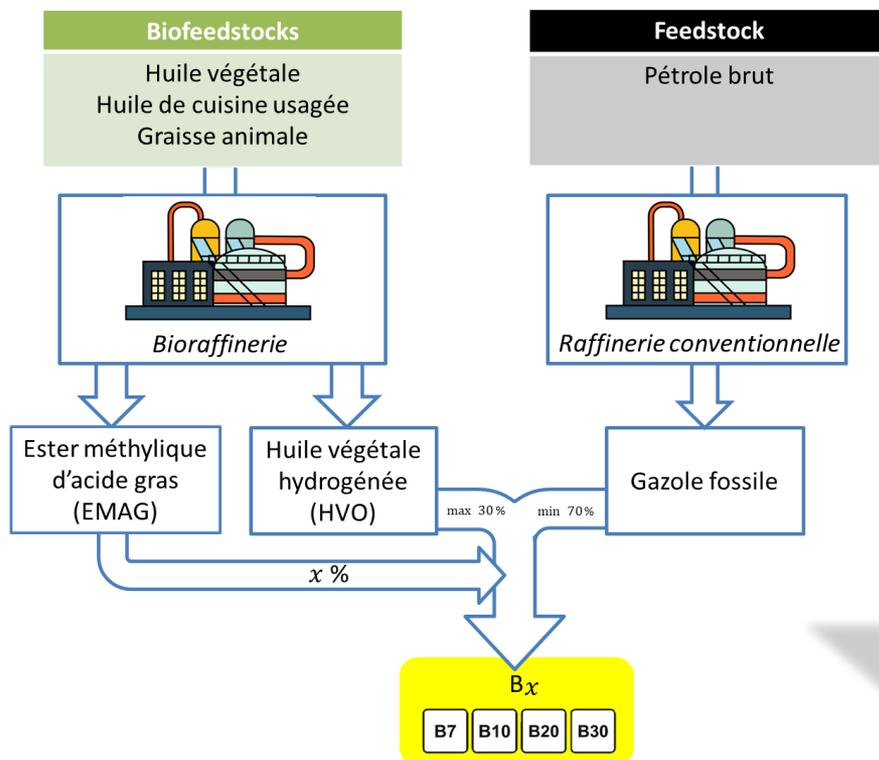
Ammoniac

Electricité

Mode de production Gazole et Biodiesel

Mode de production Gazole et Biodiesel

Substitut au carburant diesel incluant composés issus de la biomasse



Utilisé avec des moteurs à combustion

LSFO

Biodiesel

Méthanol
Éthanol

GNL
Méthane

Hydrogène

Ammoniac

Electricité

Méthanol & Éthanol

Méthanol & Éthanol

Composés liquides de la famille des alcools – Incolores et inflammables

- » Produits à partir de gaz naturel fossile ou de charbon
- » Produits à partir de matières premières renouvelables

Aujourd'hui principalement utilisé avec des moteurs à combustion

Exemple de navire

Stena Germanica (2015) – Méthanol

- Ferry de 240 mètres de long.
- Moteur à 4 temps Wärtsilä
- Capacité : 1500 passagers et 300 voitures



© "Stena Germanica" by blondinrikard is licensed under CC BY 2.0

Méthanol & Éthanol

Comportement

- » Au sol : Forment une flaque s'évaporant en formant des vapeurs plus lourdes que l'air
- » Dans l'eau :
 - Méthanol : Soluble dans l'eau (mais bonne flottabilité)
 - Éthanol : Totalement soluble dans l'eau

Principaux risques identifiés

- » Explosion (points d'éclairs plus faibles que pour le diesel) ;
- » Incendie (liquide et vapeur inflammables, flamme très peu visible) ;
- » Toxique (faiblement pour l'éthanol) en cas de contact, d'ingestion ou d'inhalation

Polluant - Marine pollution Classification (MARPOL Annex II)

- » Méthanol : Y (Produit présentant des risques de pollution modérés)
- » Éthanol : Z (Produit présentant des risques de pollution faibles)

Méthanol

>> Retex - chimiquier *Vicuña*

Date et lieu : 16.11.2004, port de Paranagua (Brésil)

Accident : Alors que le **chimiquier *Vicuña*** **décharge sa cargaison de 14 000 tonnes** de méthanol dans le, il **explose**, entraînant la mort de 4 membres de l'équipage et la rupture en deux du navire.

Le méthanol **s'enflamme ou s'évapore et une partie se dissout**. Le fuel de propulsion du navire, estimé à environ 400 tonnes, se déverse en mer et affecte, sur plus de 20 km, des secteurs sensibles et très riches (mangroves, plages) dans l'estuaire et les baies adjacentes.



LSFO

Biodiesel

Méthanol
Éthanol

**GNL
Méthane**

Hydrogène

Ammoniac

Electricité

GNL / Méthane (CH₄)

GNL / Méthane (CH₄)

Gaz - Liquéfié (-161°C (GNL) et -164°C (Méthane))

- » Produit à partir de gaz naturel fossile ou de charbon
- » Produit à partir de matières premières renouvelables (biométhane)

Exemples de navire

Jacques Saadé - Porte-conteneurs



Crédit CMA CGM

Utilisation d'ICE utilisant du GNL

Viking Lady - Navire de ravitaillement offshore



Crédit Wärtsilä

Utilisation de PAC compatible avec le GNL
système d'énergie hybride

GNL / Méthane (CH₄)

Comportement

- » Dans l'eau : **Flottera, bouillonnera et s'évaporerà** (Stockage liquide).
Formation d'un **brouillard plus lourd que l'air** avant de s'élever.
Possible transition rapide de phase peut se produire.
Possible formation de glace au contact de l'eau.
- » À terre : **Bouillonnera et s'évaporerà** (Stockage liquide).
Formation d'un **brouillard plus lourd que l'air** avant de s'élever.

Polluant - Marine pollution Classification (MARPOL Annex II)

- » Méthane : OS (N'est pas considéré comme un polluant marin)

Principaux risques identifiés

- » Asphyxiant
- » Brûlure / fragilisation cryogénique
- » Explosion (très explosif) / Inflammable (vapeurs)
- » Formation d'un nuage froid et bouillonnement en cas de déversement de grande ampleur
- » Transition de phase rapide (RPT)

GNL / Méthane (CH₄)

>> Transition de phase rapide (RPT)

Vidéo Gaz de France – CERMAP



LSFO

Biodiesel

Méthanol
Éthanol

GNL
Méthane

Hydrogène

Ammoniac

Electricité

Hydrogène (H₂)

Hydrogène (H₂)

Gaz de très faible densité - Liquide à -253°C ou comprimé à 700 bars

Issu de combustibles fossiles
(hydrocarbures / charbon)

H₂ Gris
Émission de CO₂

H₂ Bleu
Réutilisation des émissions de
CO₂

Issu de l'électrolyse de l'eau

H₂ Jaune
Utilisation d'énergie nucléaire

H₂ Vert
Utilisation d'énergie
renouvelables

Principalement utilisé avec des piles à combustible (les moteurs à hydrogène de grande taille n'ont pas encore été développés).

Hydrogène (H₂)

>> Exemples d'utilisation

Moteur à combustion

Navire en projet - ULSTEIN

Projet de navire de construction offshore (finalisation 2040).

Conditionnement de l'hydrogène :

- gazeux (cinq conteneur de GH₂ de 40 pieds) puis,
- liquide cryogénisé (citernes de LH₂)



ULSTEIN SX190 Zero Emission CSV (© ULSTEIN)

Piles à combustible

Navette fluviale « Nemo H2 »

- Transport de passager (≈ 100)
- Navigation dans les canaux d'Amsterdam
- Conditionnement de l'hydrogène : 24kg d'hydrogène à 350 bars



Source : <http://www.gaastmeerdesign.com>

Hydrogène (H₂)

Comportement

- » Stockage gazeux : **Se disperse facilement**
Peu s'enflammer spontanément en cas de forte détente
- » Stockage cryogénique (-253°C) : **Formation de nuage froid**
Possible formation de glace au contact de l'eau

Principaux risques identifiés

- » Explosion (très explosif) / Incendie (gaz inflammable, flamme très peu visible)
 - ⚠ Fuites d'H₂ (faible viscosité et de sa faible masse moléculaire - Taux de fuite de l'hydrogène liquide : ≈ 50 fois supérieur à l'eau)
- » Incompatibilité avec certains matériaux
- » Stockage cryogénique : Brûlure et fragilisation des matériaux

Polluant

- » Hydrogène : N'est pas considéré comme polluant marin

Hydrogène (H₂)

>> Retex

Date et lieu : 10/06/2019, à Kjørbo - Norvège

Accident : Explosion et incendie dans une **station-service de distribution d'hydrogène**

Déroulé de l'accident

Un serrage insuffisant au niveau d'un raccord situé sur une bouteille d'H₂, a induit une fuite, d'abord de l'ordre de 0,04 g/s durant quelques heures, **puis à la suite de la rupture d'un joint**, d'un rejet d'hydrogène de l'ordre de 1,5 à 3 kg en 3 secondes, créant un mélange hautement explosif avec l'air.

Le nuage d'hydrogène a explosé et pris feu dans l'air (aucun équipement n'a explosé). La source d'ignition du nuage n'a pas été identifiée.



LSFO

Biodiesel

Méthanol
Éthanol

GNL
Méthane

Hydrogène

Ammoniac

Electricité

Ammoniac (NH₃)

Conférence : Mr Laurent RUHLMANN, YARA

LSFO

Biodiesel

Méthanol
Éthanol

GNL
Méthane

Hydrogène

Ammoniac

Electricité

Électricité

Électricité et batteries

Une batterie est une cellule électrochimique qui convertit l'énergie électrique en énergie chimique pendant le chargement, et l'énergie chimique en énergie électrique au cours de déchargement.

Exemple de navire

Catamaran MS Tûranor PlanetSolar (2015)

- Surface totale de panneaux solaires : 512 m²
- Batteries : 8 tonnes de batteries Lithium-ion



Chalands multimissions (CMM) - 2017

- Batteries : Lithium LFP 2 x 100 kWh
- Motorisation : Hybride



→ Conférence : Mr Thierry DELBAERE, INERIS

Conclusion

Les carburants de substitution évoluent rapidement

→ Nécessité d'améliorer les connaissances et la préparation des intervenants et des équipages.

→ Nécessité de réaliser des expérimentations :

Alimentation des bases de données, des modèles de prédiction, des protocoles d'intervention.



Merci pour votre attention



© Cedre