

# Recyclage de matériaux métalliques par voie solaire pour la propulsion du futur

M. Balat-Pichelin, J. Puig  
marianne.balat@promes.cnrs.fr

## Contexte et objectif

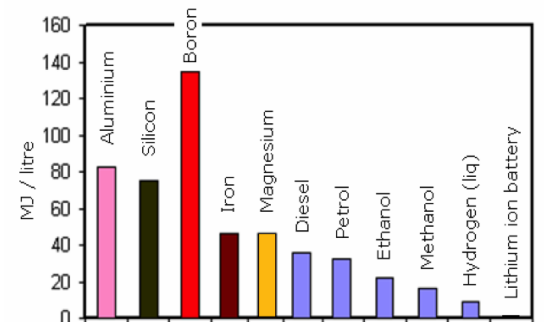
- Les carburants utilisés dans les transports sont issus de ressources limitées et génèrent des émissions de gaz à effet de serre.
- Les alternatives énergétiques actuelles posent des problèmes d'acceptabilité sociétale (*hydrogène*), interfèrent avec la chaîne alimentaire (*bio-fuels*) ou sont limitées en terme de densité énergétique (*batteries lithium*).

➔ **Nouveau carburant solide proposé (poudre métallique) avec recyclage par voie solaire concentrée**

## Cycle innovant de « Combustion-Régénération »



- La poudre métallique est stockée dans des conteneurs distribués aux véhicules.
- La chaleur dégagée par la combustion alimente les véhicules.
- Les conteneurs sont récupérés et la poudre d'oxyde est réduite en métal par voie solaire concentrée.



Densité énergétique par unité de volume de différents carburants (NIST)

| Couples M/M <sub>x</sub> O <sub>y</sub> | Masse de combustible (kg) | Masse d'oxyde solide produit (kg) |
|---|---------------------------|-----------------------------------|
| B/B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>         | 54                        | 174                               |
| Mg/MgO                                  | 84                        | 139                               |
| Al/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 71                        | 134                               |
| Si/SiO <sub>2</sub>                     | 95                        | 202                               |
| Ti/TiO <sub>2</sub>                     | 167                       | 279                               |
| Fe/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 378                       | 540                               |
| Comparaison diesel                      | 51                        | /                                 |

Masses de combustible métallique utiles pour parcourir 1200 km avec un véhicule diesel actuel (5 l/100 km) et masses des oxydes après combustion

### Régénération par réduction des oxydes métalliques

- Expérimentation avec métaux abondants ayant des densités énergétiques élevées
- Utilisation d'agents réducteurs (C, CH<sub>4</sub>) et de faibles pressions
- Etude thermodynamique : sélection de Mg/MgO et Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
exemple: à 0,1mbar, carbo-réduction complète de MgO à 1400 K et d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> à 1800 K

Lors de la réduction, il faut :

- limiter la formation de composés intermédiaires,
- contrôler la taille des grains formés et leur réactivité,
- optimiser les paramètres expérimentaux (réacteur, stœchiométrie, P, T...).

➔ **Production optimale de poudres métalliques à faible coût**

## Applications et perspectives

- Développement de réacteurs/prototypes de réduction et de moteurs à combustion externe
- Carburant solide utilisé pour tout type de transport (terrestre, maritime, aérien) avec un objectif « zéro rejet »
- Remise en cause de l'utilisation de combustible liquide et développement de la distribution de conteneurs de poudres