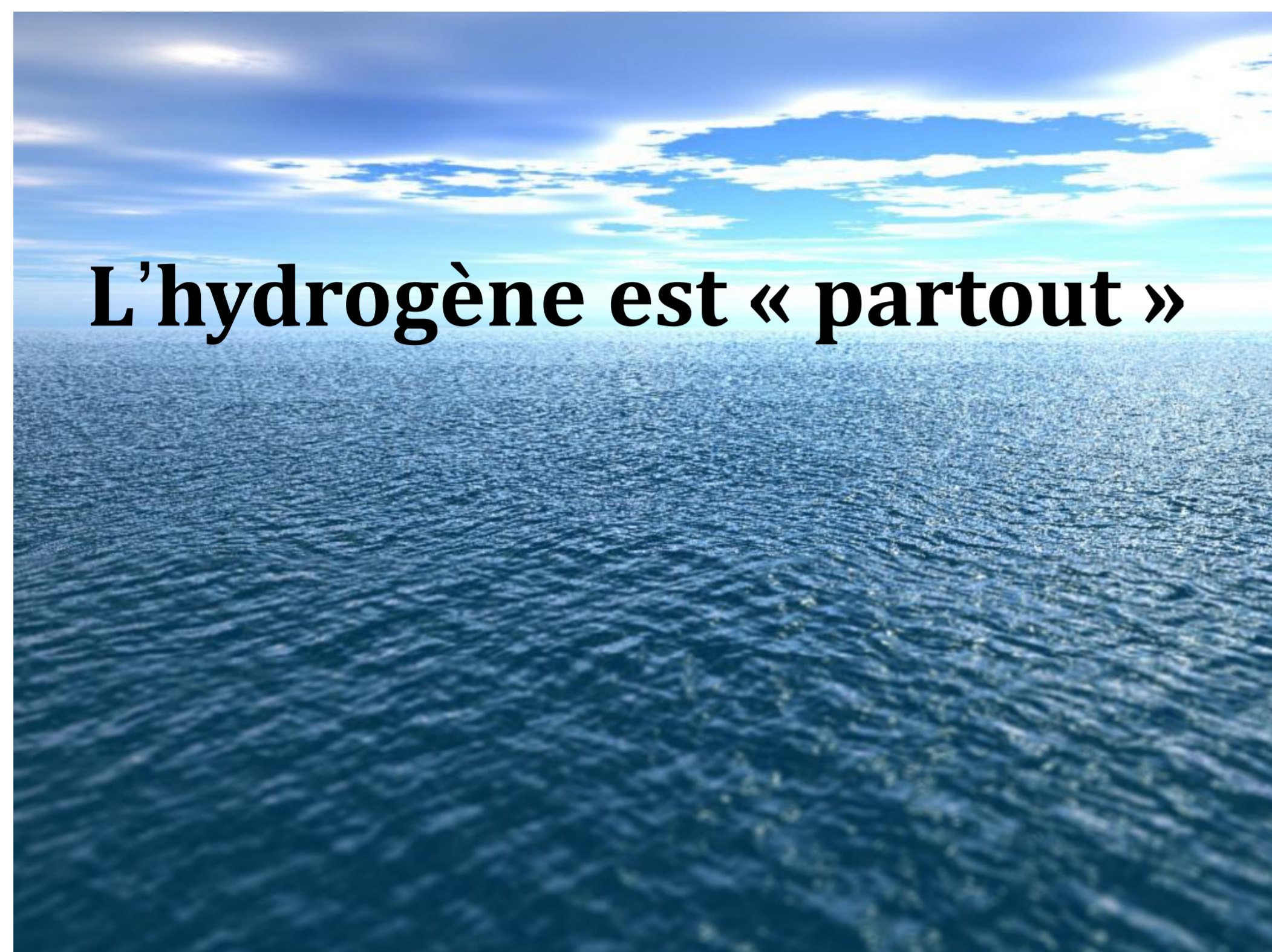


L'Hydrogène : carburant du futur

Marien Cédric, Gibbons Andrew, De Cooman Jonathan, Vander Auwera Thomas, Bouali Naoual, Koagne Sop Patrick

Pourquoi l'hydrogène?

1. Une ressource **inépuisable** et **non polluante**



L'hydrogène est « partout »

L'hydrogène est un élément très abondant et il n'existe pratiquement pas à l'état moléculaire dans la nature.

Avantages

- Très abondant
- Molécule énergétique : sa combustion génère 120 MJ/Kg (soit 2.2 fois l'énergie fournie par le gaz naturel)
- Non polluant, non toxique
- Facile à transporter
- Sa combustion dans l'air ne génère que de l'eau
- Gaz très léger → grande vitesse de diffusion
- Nombreux modes de production

Inconvénients

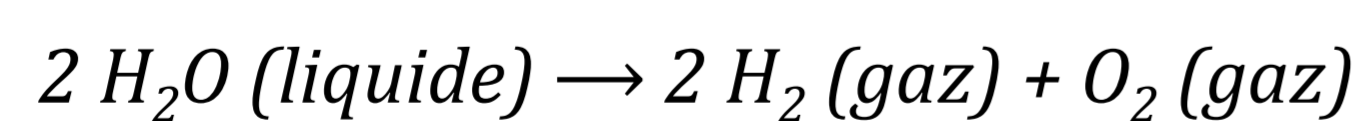
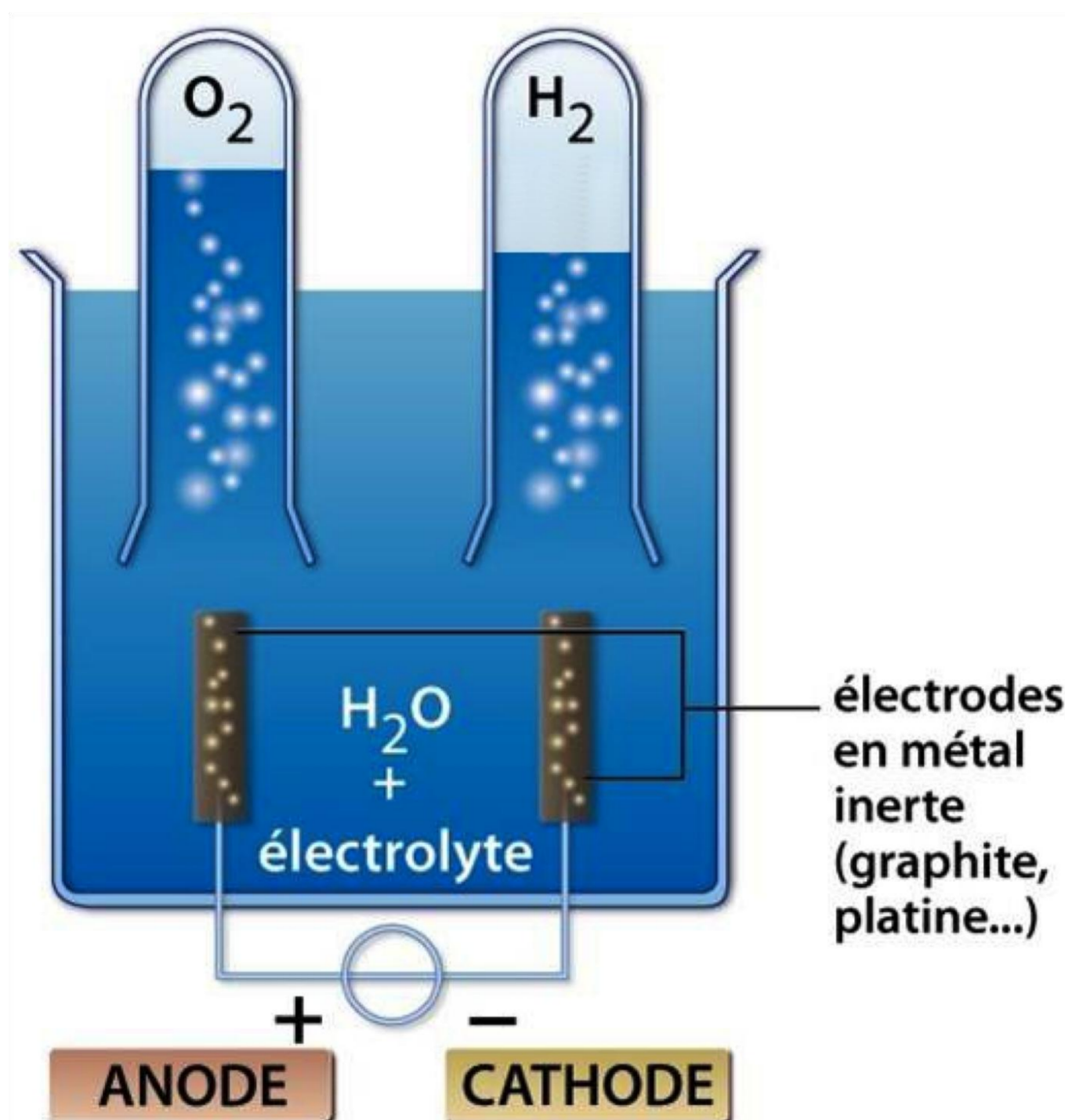
- Densité d'énergie volumique moins favorable au transport et au stockage sous forme gazeuse que le gaz naturel
- Limites d'inflammabilité et de détonation avec l'air
- Combustion non électrochimique en présence d'air génère des NO_x

L'hydrogène est le complément parfait des énergies renouvelables, par nature intermittentes

2. La production d'hydrogène

1) Electrolyse de l'eau

Propre et renouvelable



- Source d'énergie = énergies renouvelables (solaire, éolien, biomasse, géothermie, hydroélectrique...)
- Pas la moindre émission de gaz polluants

Inconvénients (par rapport au vaporéformage)

- coût élevé (de l'ordre de 3 à 4 fois plus)
- rendement faible

2) La biomasse

Renouvelable à écobilan nul

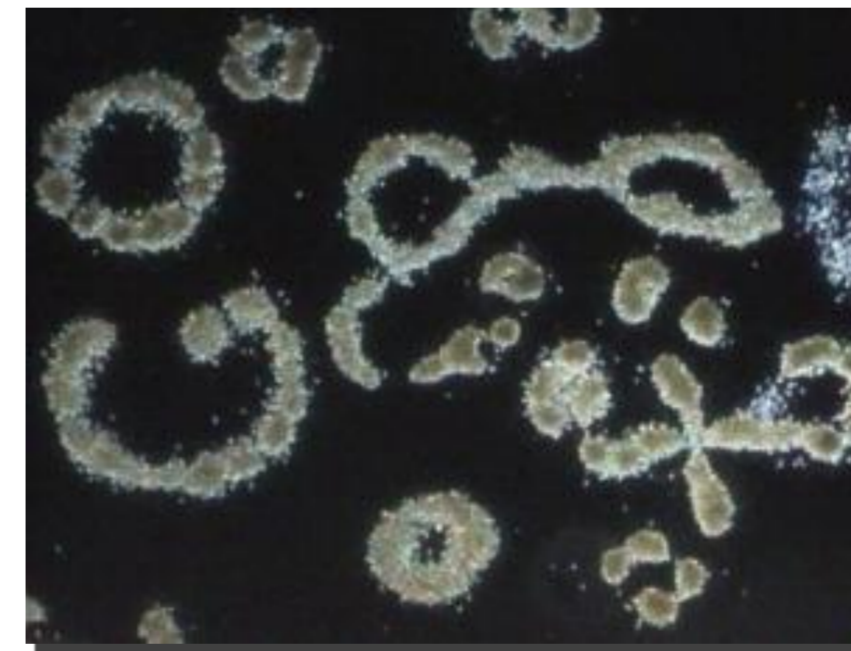


(<http://www.vehiculespropres.net/energies/production/production-d-hydrogene-par-des-microorganismes-photosynthetiques>)

Microorganismes photosynthétiques = algues vertes unicellulaires

Cyanobactérie

= procaryotes photosynthétiques



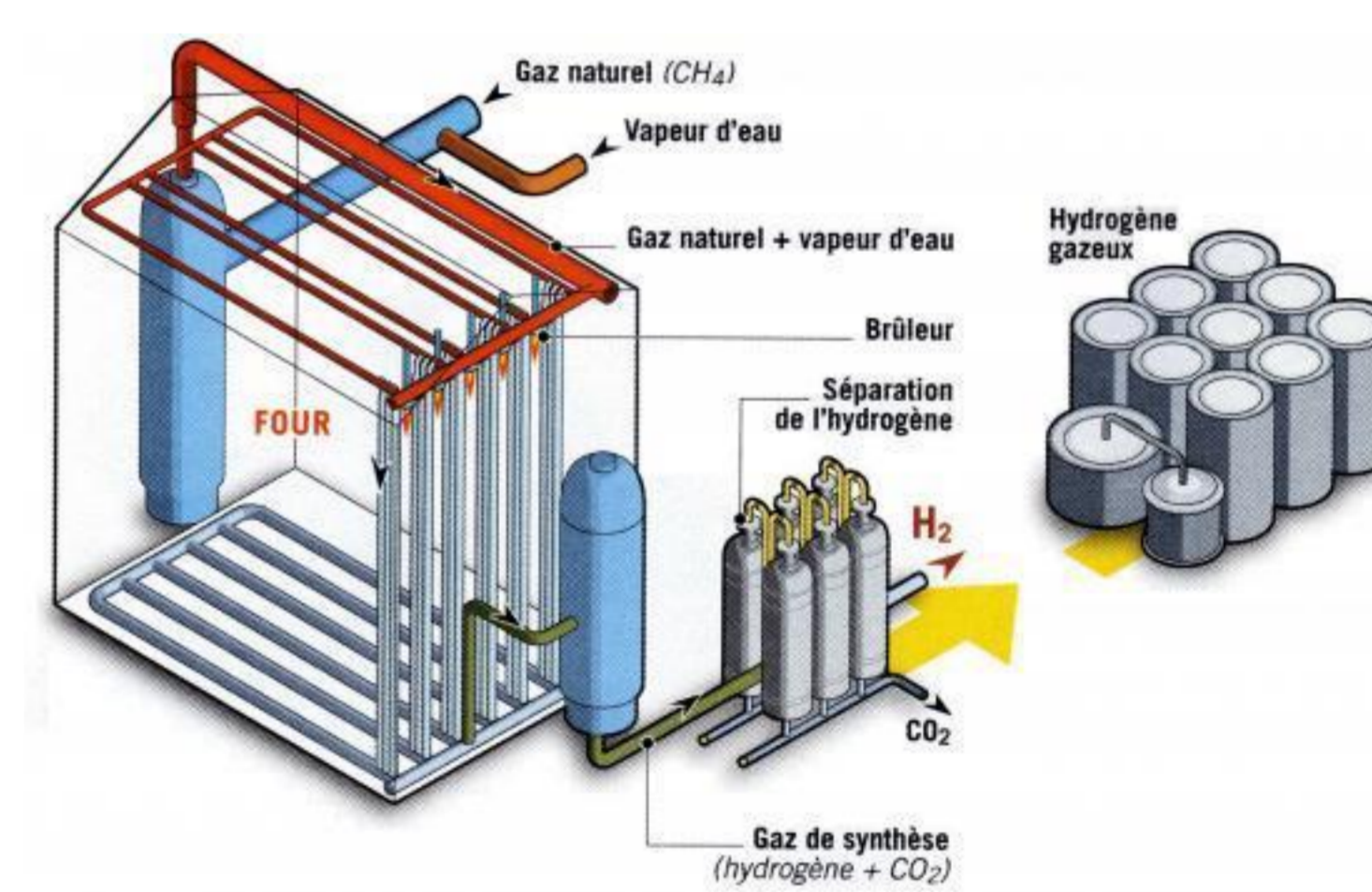
(<http://plancton-du-monde.org/module-formation/cyano.html>)

Biomasse = C₆H₉O₄ (obtenue par photosynthèse de CO₂ et H₂O)

- Gazéification de la biomasse = C₆H₉O₄ + 2 H₂O → 6 CO + 6.5 H₂
 - Réaction «gas shift» = 6 CO + 6 H₂O → 6 CO₂ + 6 H₂
- CO₂ produit = CO₂ absorbé par la plante au cours de sa vie
→ bilan d'émission polluante neutre

3) Vaporéformage d'hydrocarbures

Non renouvelable à fortes émissions de CO₂



(<http://energiesdemain.e-monsite.com/pages/les-autobus-et-autocars/l-hydrogene/la-production-d-hydrogene.html>)

- Méthode la plus utilisée : production d'hydrogène à partir de méthane (CH₄) et de vapeur d'eau (H₂O), à haute température (900°C).
- Produit de réaction = mélange gazeux (H₂ + CO + CO₂) à purifier
- Purification = importants rejets de CO₂

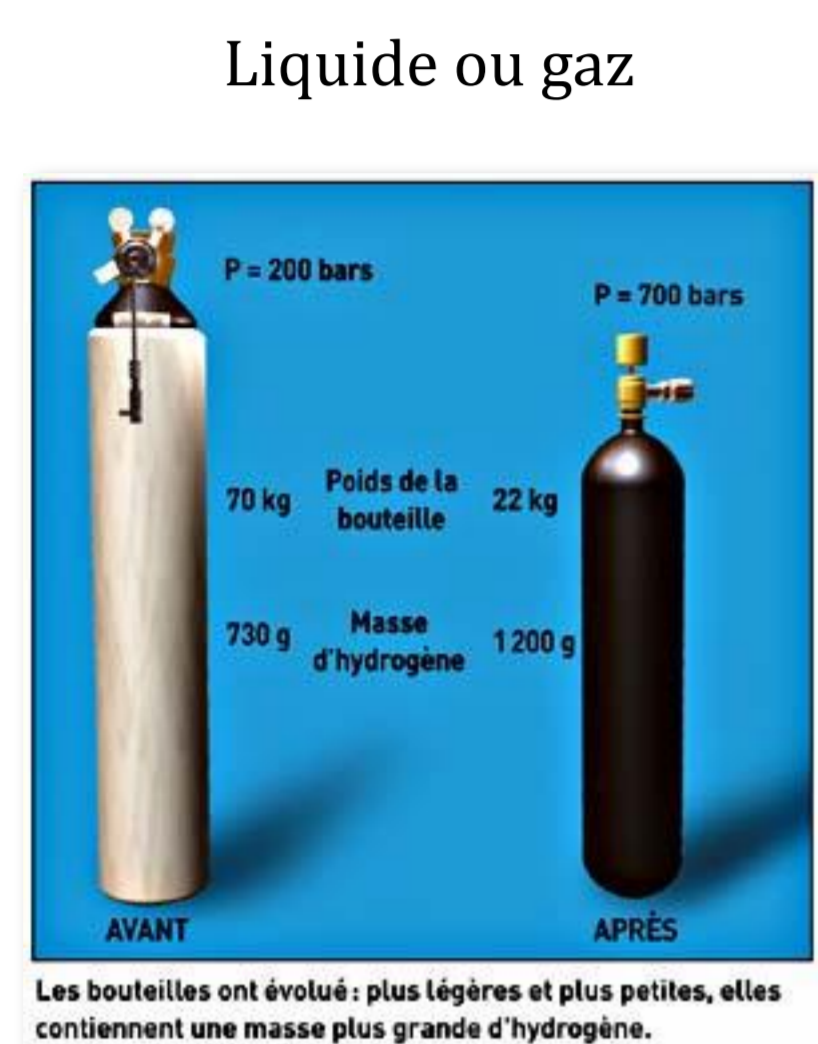
Hydrogène = vecteur énergétique : il permet de stocker l'énergie et de la transporter
La production d'hydrogène doit être un processus compétitif, à haut rendement énergétique et propre

L'Hydrogène : carburant du futur

Marien Cédric, Gibbons Andrew, De Cooman Jonathan, Vander Auwera Thomas, Bouali Naoual, Koagne Sop Patrick

3. Le défi le plus difficile à résoudre est le **stockage**

1) Sous haute pression

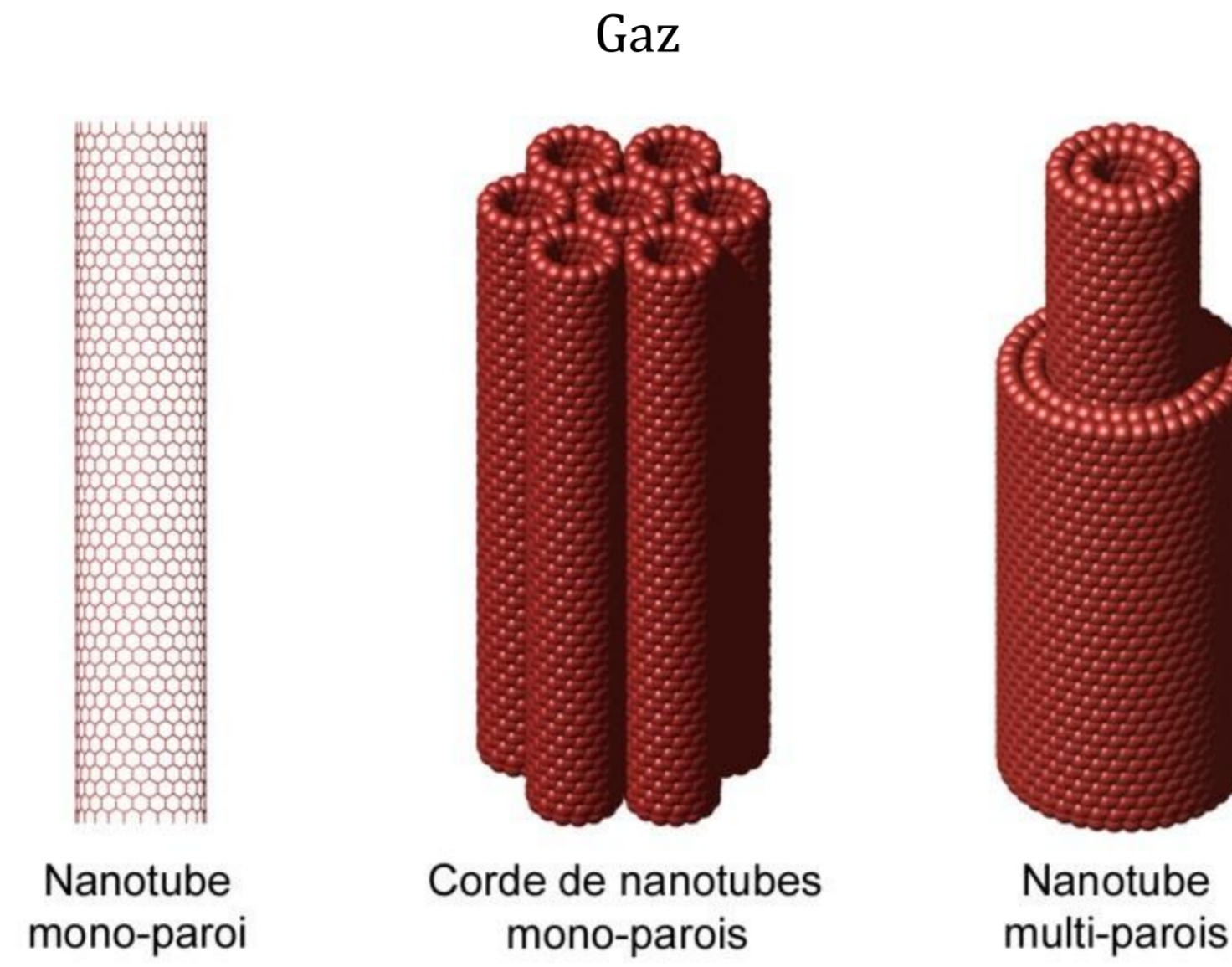


(http://www.ccea.fr/jeunes/themes/les_nouvelles_energies/Lhydrogene/popup/evolution_de_la_capacite_des_reservoirs)

- Compression de H₂ = réduction de l'**encombrement** des réservoirs
 - Pression actuelle = 200 à 350 bar (développements futurs → 700 bar)
 - L'hydrogène est liquide à **-253°C**
- Inconvénients**
- risques d'explosion
 - un quart de l'énergie perdue pour la compression et un tiers pour la liquéfaction

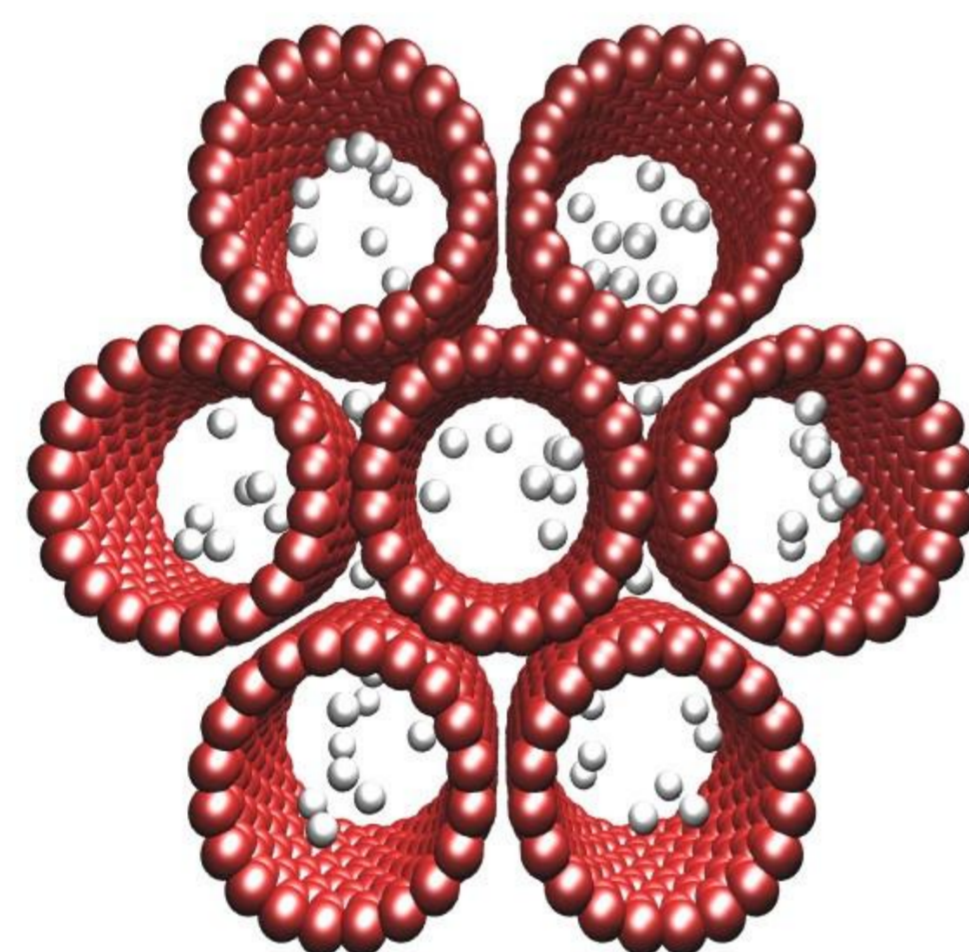
A 700 bars, 4,6 litres d'H₂ sont nécessaires pour produire autant d'énergie qu'un litre d'essence

2) Nanotubes de carbone



(<http://www.nanotechnologies.qc.ca/wp-content/uploads/2005/03/memoire.pdf>)

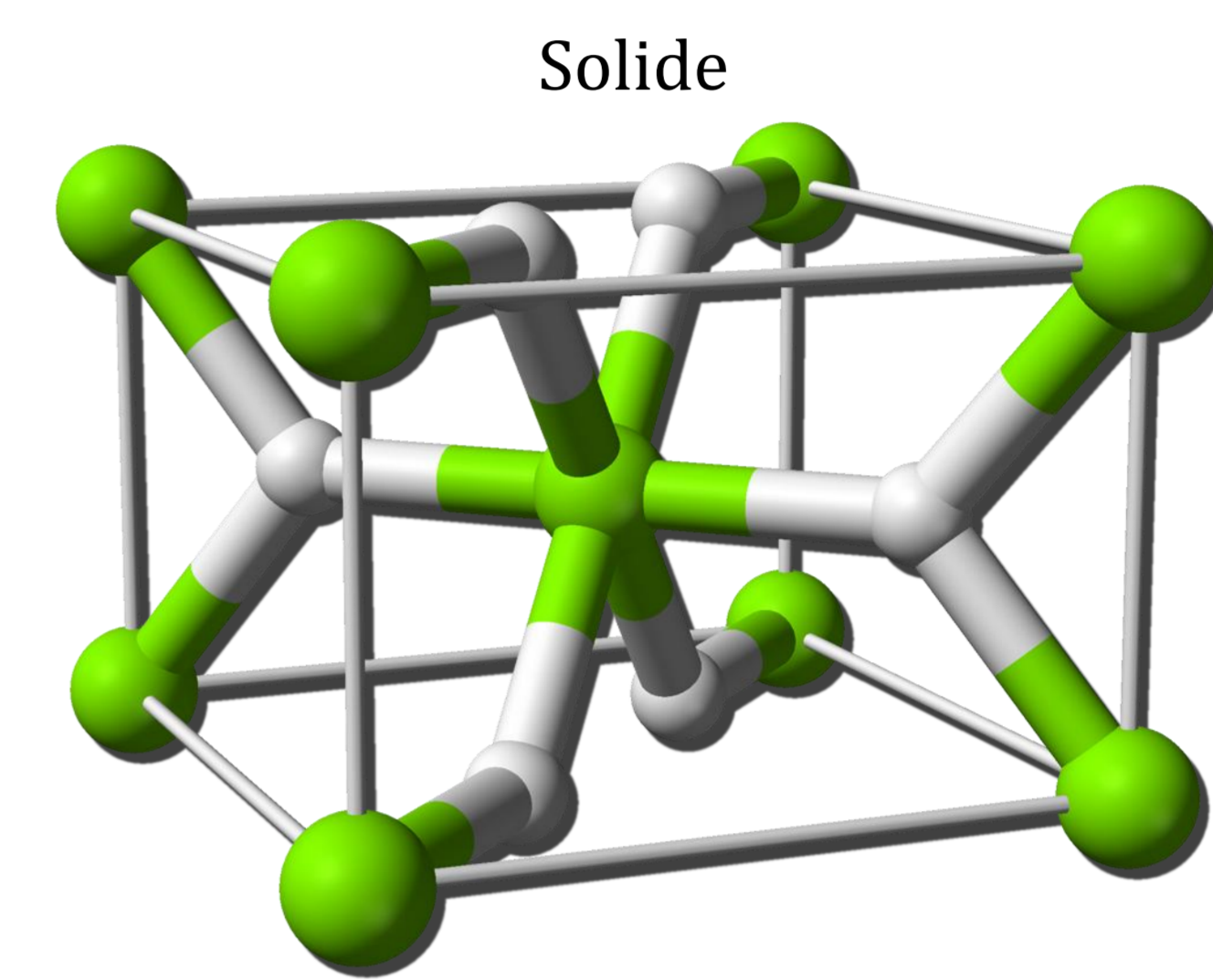
Porosité très élevée = grande capacité à **absorber** de nombreux gaz (dont l'hydrogène)



Actuellement, capacité de stockage **trop faible** pour permettre leur utilisation dans le domaine de l'automobile

(<http://www.nanotechnologies.qc.ca/wp-content/uploads/2005/03/memoire.pdf>)

3) Absorption, désorption du dihydrogène grâce aux hydrures



(<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Magnesium-hydride-unit-cell-3D-balls.png>)

- **Hydrures** = composés chimiques formés lorsque l'hydrogène réagit avec certains métaux
- **Densité volumique** beaucoup plus élevée que le gaz comprimé ou liquide
- Hydrures utilisés = hydrures de magnésium (MgH₂)
- Additifs et nanostructuration du MgH₂ → **accélération** du processus d'hydrogénation et de déshydrogénation du magnésium pendant les cycles d'absorption et de désorption

Avantages

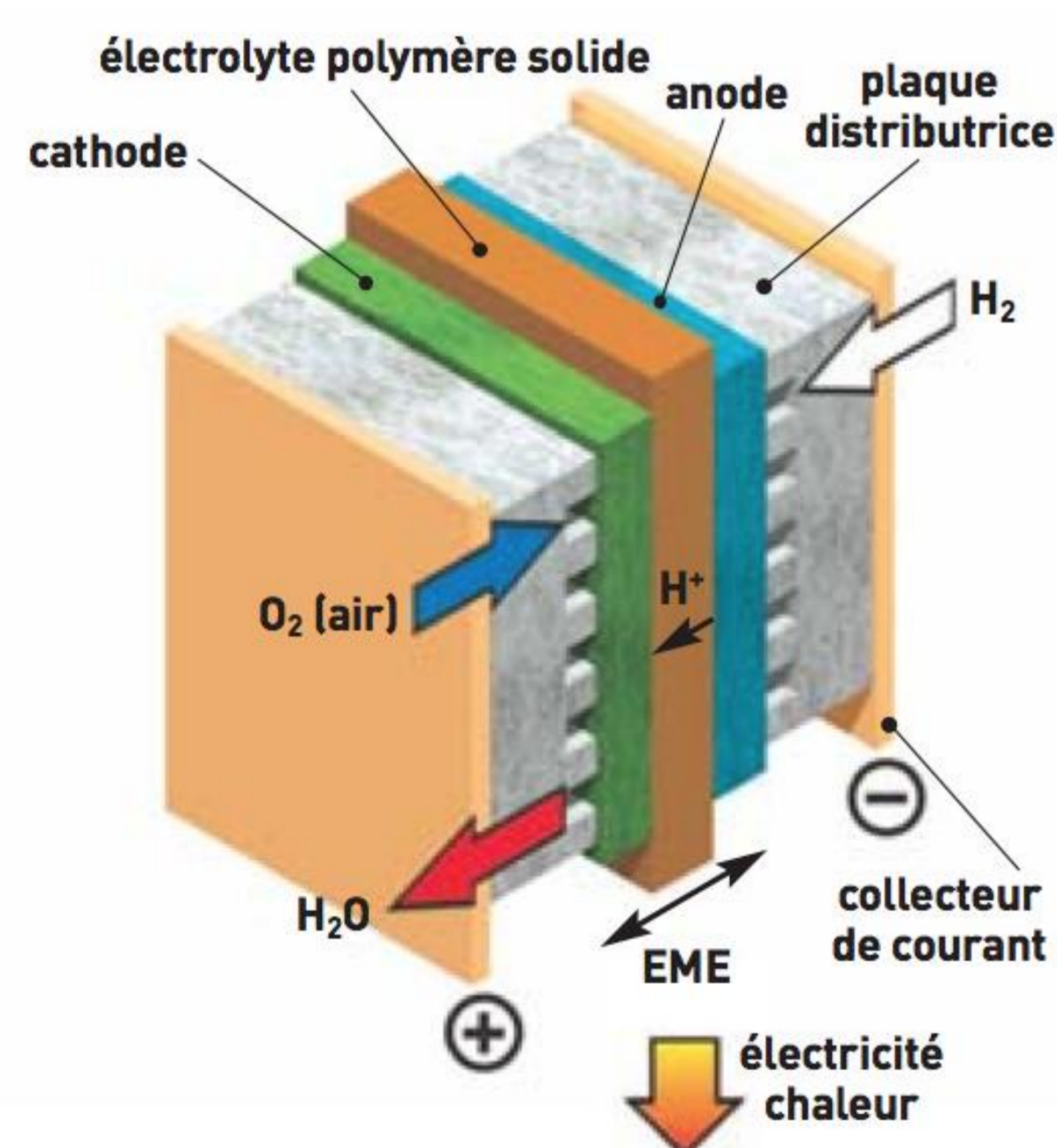
- **Sûreté** due aux faibles pressions mises en oeuvre
- **Compacité** due à la capacité volumique d'absorption élevée
- Stockage totalement **réversible**

Inconvénients

- **Coût** élevé des hydrures
- **Faible capacité d'absorption**
- **Masse élevée** → ne peuvent pas être utilisés dans les voitures

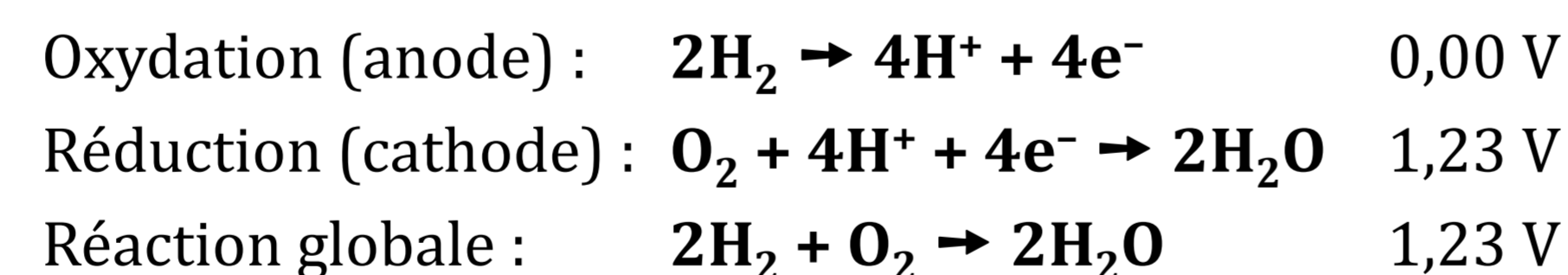
4. La conversion de l'hydrogène en énergie est réalisée dans des « piles à combustible »

La pile à combustible



(<http://www.voiture-electrique-populaire.fr/enjeux/vehicules-ecologiques/voiture-hydrogene-pile-combustible>)

- Combustion électrochimique (oxydo-réduction) d'hydrogène par de l'oxygène = production d'**électricité**, d'**eau** et de **chaleur**



- Nécessité d'utiliser un **catalyseur** (composé capable d'augmenter la vitesse de réaction, sans être consommé)
- Différents types de piles à combustible, selon la **nature de l'électrolyte** :

- AFC (Alkaline Fuel Cell)
- PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)
- DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)

Avantages

- rendements énergétiques élevés
- nombreuses applications (automobile, téléphones et ordinateurs portables, bateaux...)
- faibles émissions sonores
- écologiquement propres

Inconvénients

- coût élevé
- poids et volume importants
- durée de vie courte

Applications



(<http://www.afh2.org/f/index.php?c=74&p=&index=12>)

- Voiture équipée d'un moteur rotatif à hydrogène
- Autonomie = 200 km
- Hydrogène stocké à 350 bar



(http://www.lange-aviation.com/htm/english/products/antares_h3/antares_h3.html)

- Hydrogène stocké sous forme gazeuse
- Equipé de piles à membranes PEM à haute température



(<http://www.afh2.org/f/index.php?c=74&p=&index=12>)

- Alimentation assurée par une pile à combustible
- Hydrogène stocké dans une capsule d'hydrure



(<http://www.afh2.org/f/index.php?c=74&p=&index=6>)

- Bateau équipé d'une pile PEM
- Hydrogène stocké sous 350 bar