

L'hydrogène vert au service de la transition énergétique

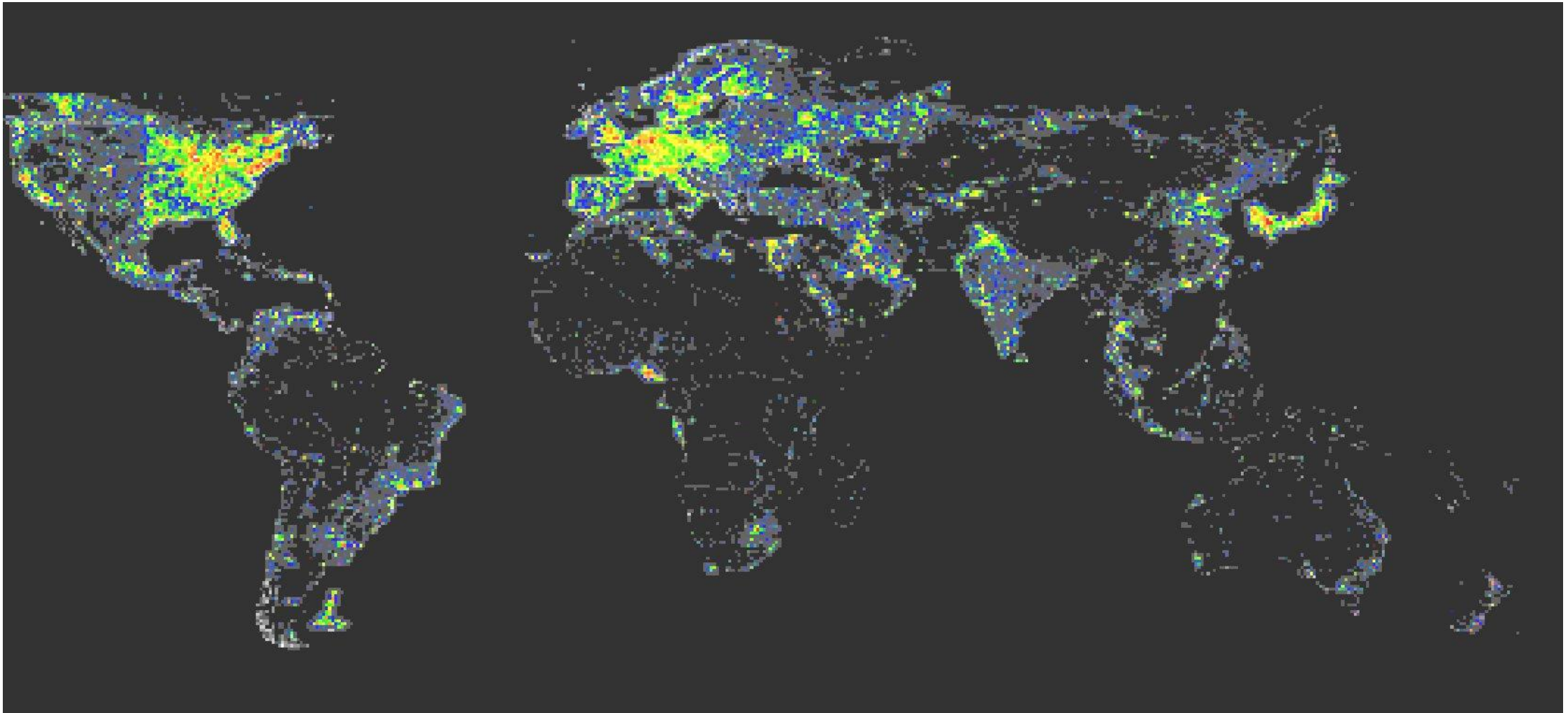
Vecteur Hydrogène : un peu de (Chimie) Physique et de R&D

K. Boniface KOKOH, Professeur

Université de Poitiers

boniface.kokoh@univ-poitiers.fr

Diminution des énergies fossiles et Croissance de la population mondiale

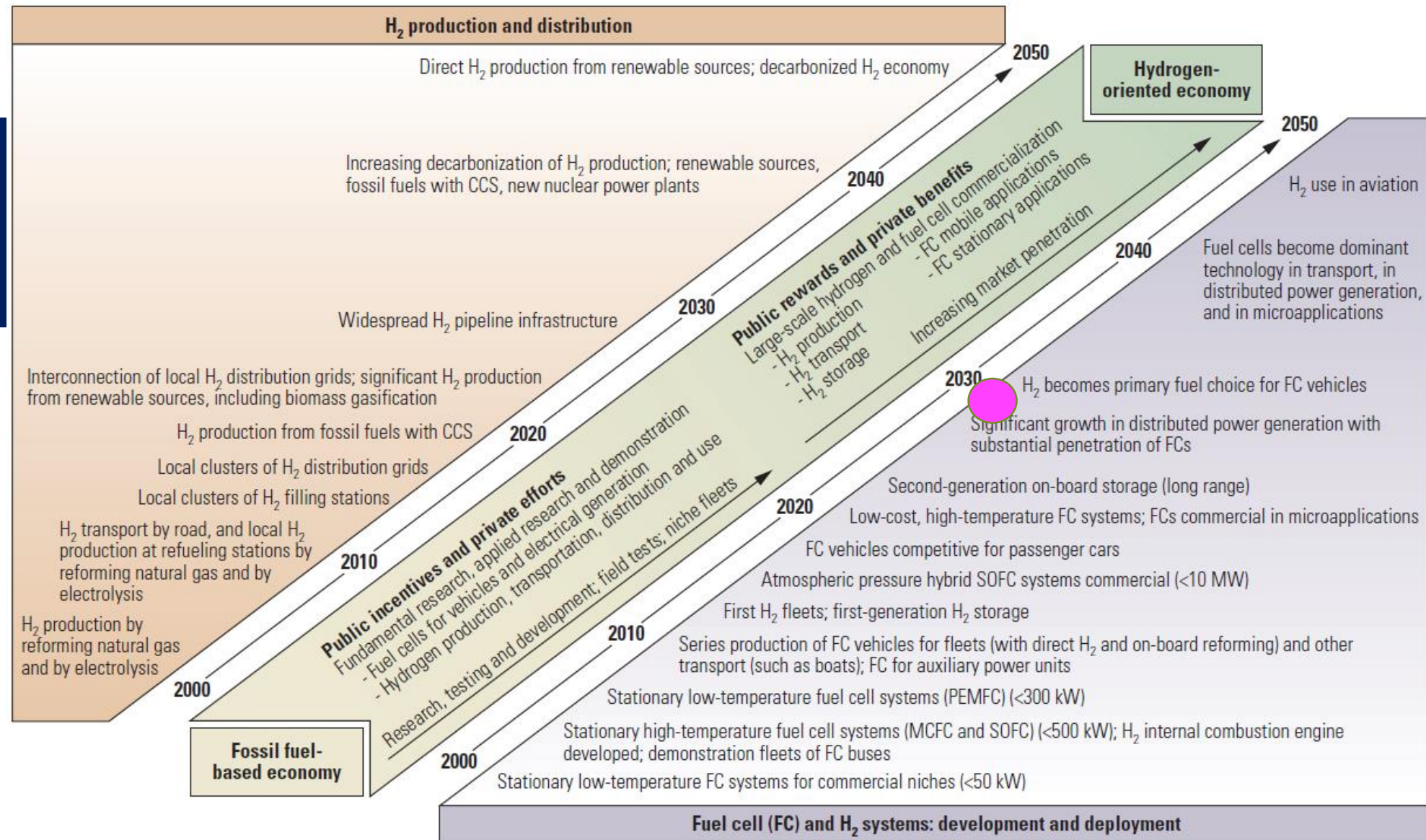


Cette carte du monde montre par ses zones non-illuminées que la demande en énergie ne peut que s'accroître dans les années à venir.

Feuille de Route de l'Union Européenne

Avoir de l'hydrogène à 2 - 3 €/kg : objectif 2030

**Objectif 2030 :
avoir de l'hydrogène à
2,3 €/kg selon le
département américain
de l'énergie (DOE)**

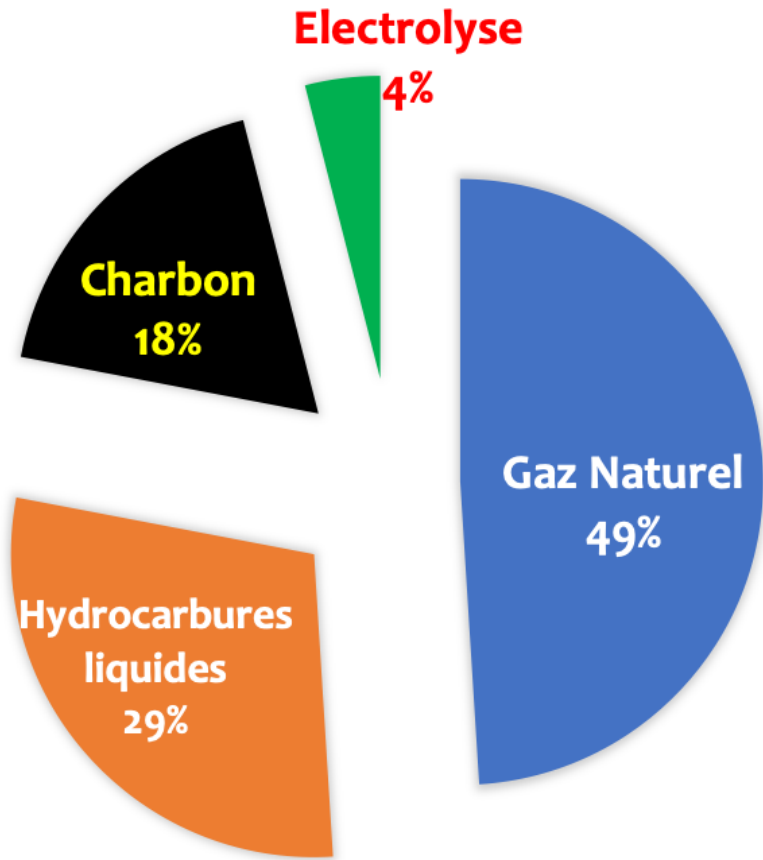


www.iea.org

<http://www.fch-ju.eu>

Production & Usage de H₂

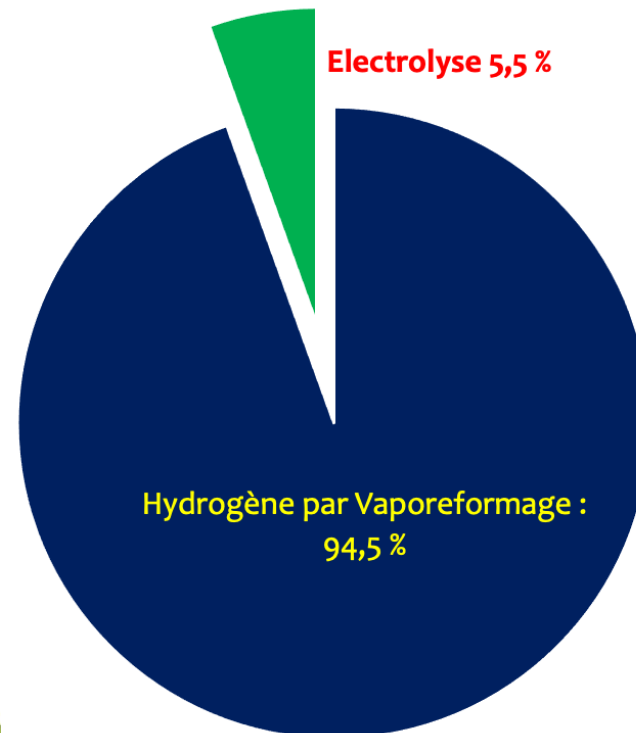
Seulement 4 % de H₂ produit au niveau mondial est issu de l'Électrolyse de l'eau



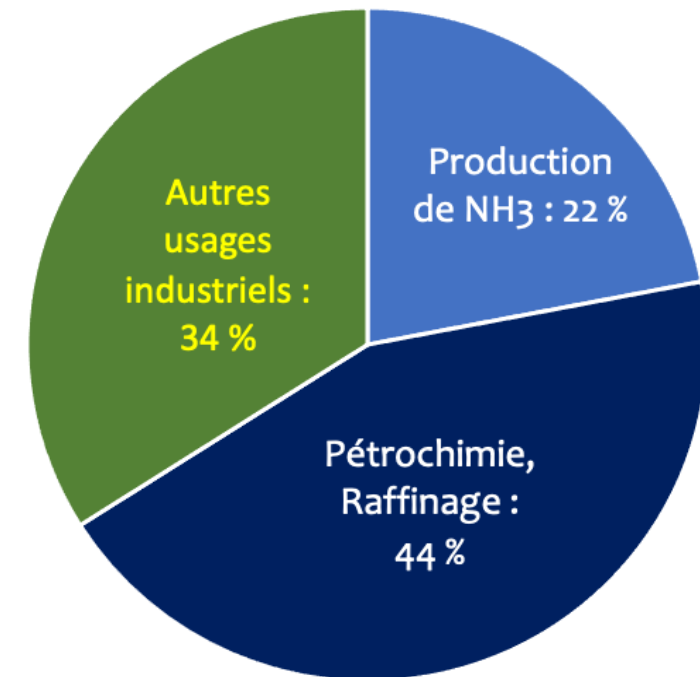
1 tonne de H₂ (fossile)
produit 13 tonnes de CO₂

* En France : H₂ (fossile) émet 11 Mt/an de CO₂,
soit 3 % des émissions de CO₂ en France

Production de H₂ en France



Utilisation de H₂ en France (1 million de tonnes / an)



Production de H₂ en France (et en Aquitaine)

Transition énergétique : mettre en place une trajectoire décarbonée

Utilisation de l'hydrogène à moins de 300 km de son lieu de production (étude EDF-EIFER)

Le prix de revient de H₂ dépend de celui de l'électricité

COÛTS DE LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE

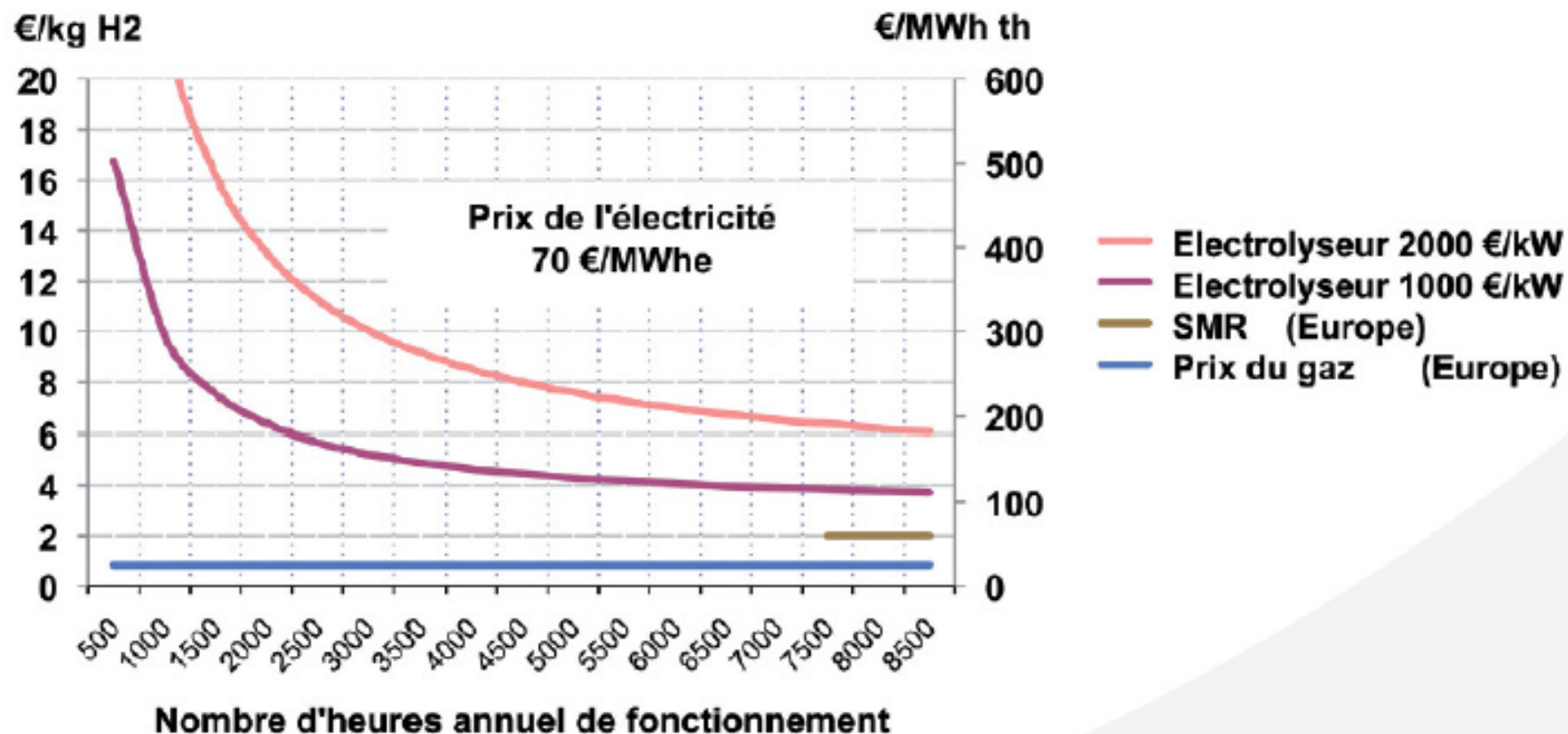


Figure 8 - Coût de l'hydrogène en fonction du mode de production
(Document France Stratégie - Août 2014)

Production de H₂ en France (et en Aquitaine)

Transition énergétique : mettre en place une trajectoire décarbonée

Proposer des systèmes stationnaires de production d'électricité résidentielle : (exemple du Japon)

Programme : Enefarm (depuis 2006)



<http://happyfc.nef.or.jp/>

<http://www.fca-enefarm.org>

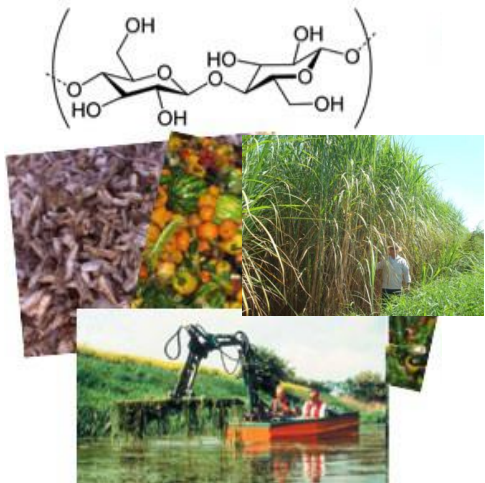
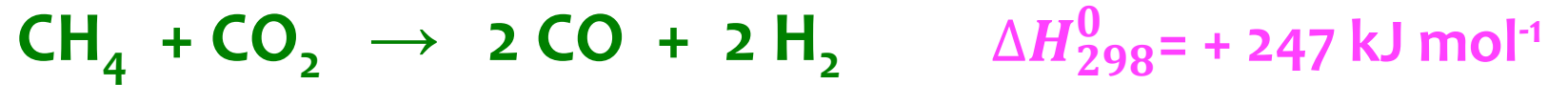
Electric power	0.75 ~ 1kW
Electric efficiency	> 35% (LHV)
Heat efficiency	> 50%(LHV)
Hot water volume	200 L
Fuel	City gas / LPG / Kerosene



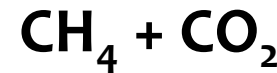
Production de H₂ en France (et en Aquitaine)

Transition énergétique : mettre en place une trajectoire décarbonée

Méthaniseur & reformeur domestique : carbone renouvelable



Biogaz



Reformage à
sec

Catalyseur
à base de Ni

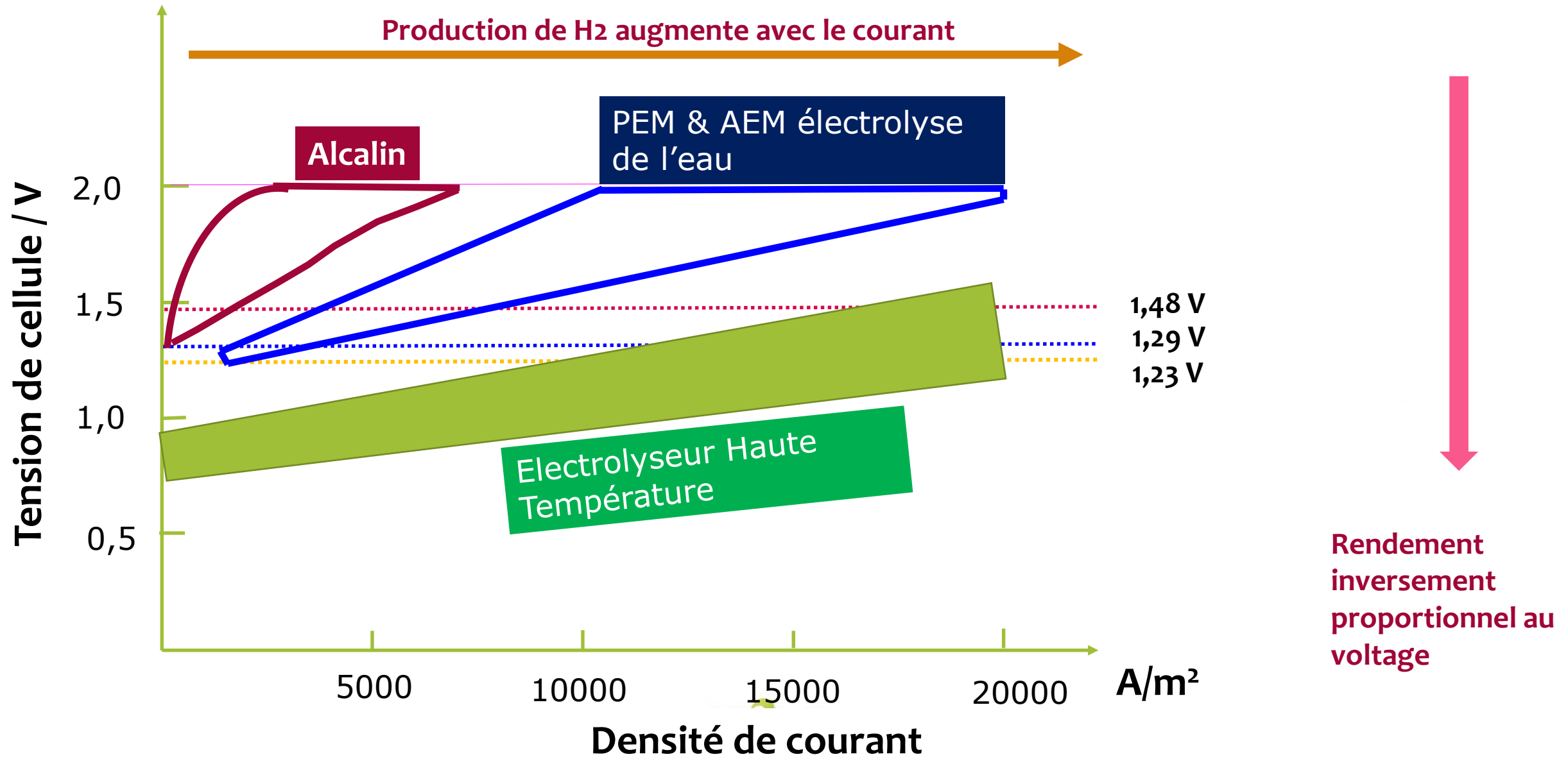
750 °C



- Production de H₂
- Alimentation d'une pile SOFC

Le biogaz peut être envisagé au même titre que le bioéthanol pour alimenter un reformeur de production de H₂

Moyens de Production décentralisée de H₂ décarboné



Production décentralisée de H₂ décarboné

Utilisation de l'hydrogène à moins de 300 km de son lieu de production

Alcalin

PEM & AEM électrolyse de l'eau

Electrolyseur Haute Température

Basse température (< 100 °C)

Haute température (700 – 900 °C)

30 – 40 % NaOH ou KOH

Séparateur en amiante
remplacé par du Zirfon

Eau ;
Membrane échangeuse

PEM (H⁺)
Métaux
précieux
(Ir, Ru...)

AEM (OH⁻)
Métaux NON nobles
& abondants sur
terre

Gaz ;
Céramique (O²⁻)

Métaux NON nobles & abondants
sur terre

Sources d'énergie : éolien, solaire, nucléaire

faible rendement,
Faible pureté par
perméation

Compact, haute pureté des gaz

Coût élevé de Membrane et
électrodes

Compensation par sa propre
chaleur

Haute température, Corrosion

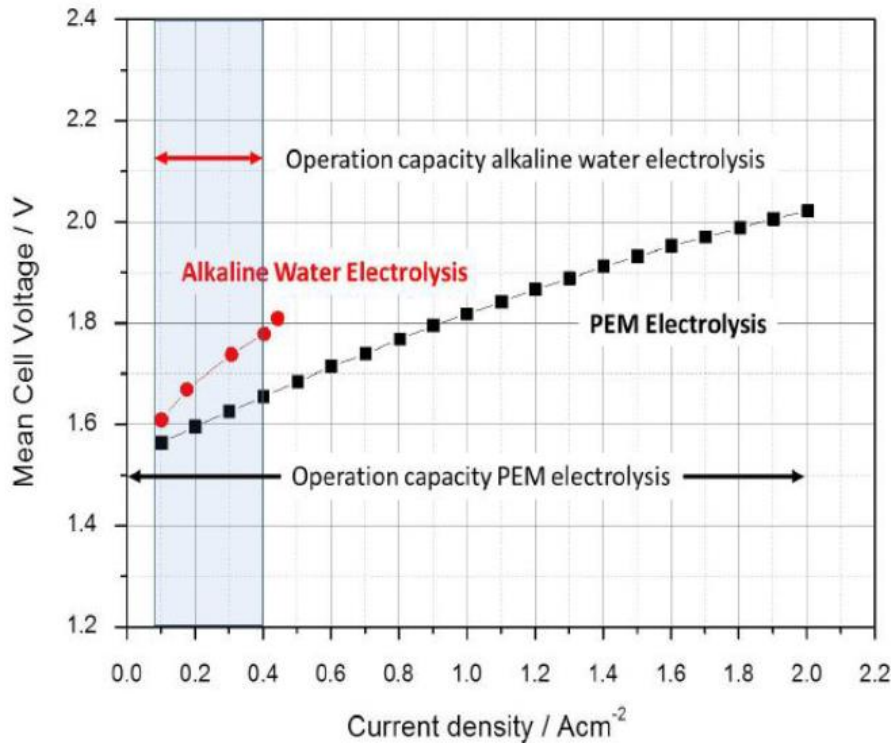
Production de H₂ par électrolyse de l'eau

**Electrolyseur alcalin
sans membrane :
technologie très mature
(1920 -)**

- Rendement : 60 – 70 %
- Environnement corrosif

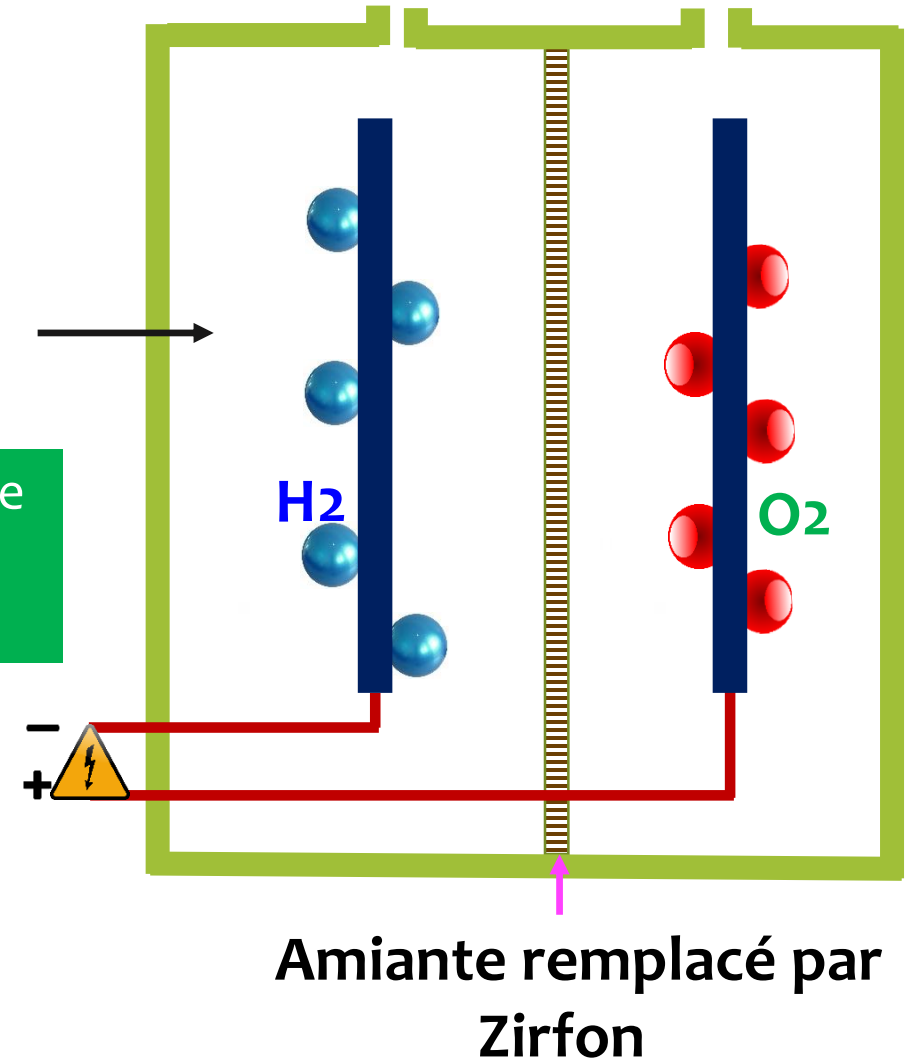
$j : 0,5 - 0,7 \text{ A/cm}^2$ ($0,9 \text{ A/cm}^2$)

E/I performance of PEM and Alkaline Electrolysis



Eau (KOH 30 – 40 %)

Matériaux d'électrode à base
de métaux de transition
(NiMoAl, Nickel, Cobalt...)



Production de H₂ par électrolyse de l'eau



Electrolyser at IHT, Giovanola SA, Monthey, CH

Conditions opératoires: 32 bar, 85 °C, 25 % KOH

Production: 760 m³/h H₂, equiv. to 3.3 MW_{el}

Consommation d'énergie: 4,3 - 4,6 kWh/m³ H₂

Pureté H₂: 99.8 - 99.9 vol%, O₂ pureté: 99.3 - 99.6 vol%

556 cellules, (de 1.6 m dia.) long. totale: 12 m, poids de 90 t. 100 unités installées

<https://www.afhypac.org>



0,4 à 12 Nm³ / h ; 1 à 8 bar



10 à 800 Nm³ / h ; 10 à 30 bar

Production décentralisée de H₂ par électrolyse de l'eau de mer

Hydrogène fatal

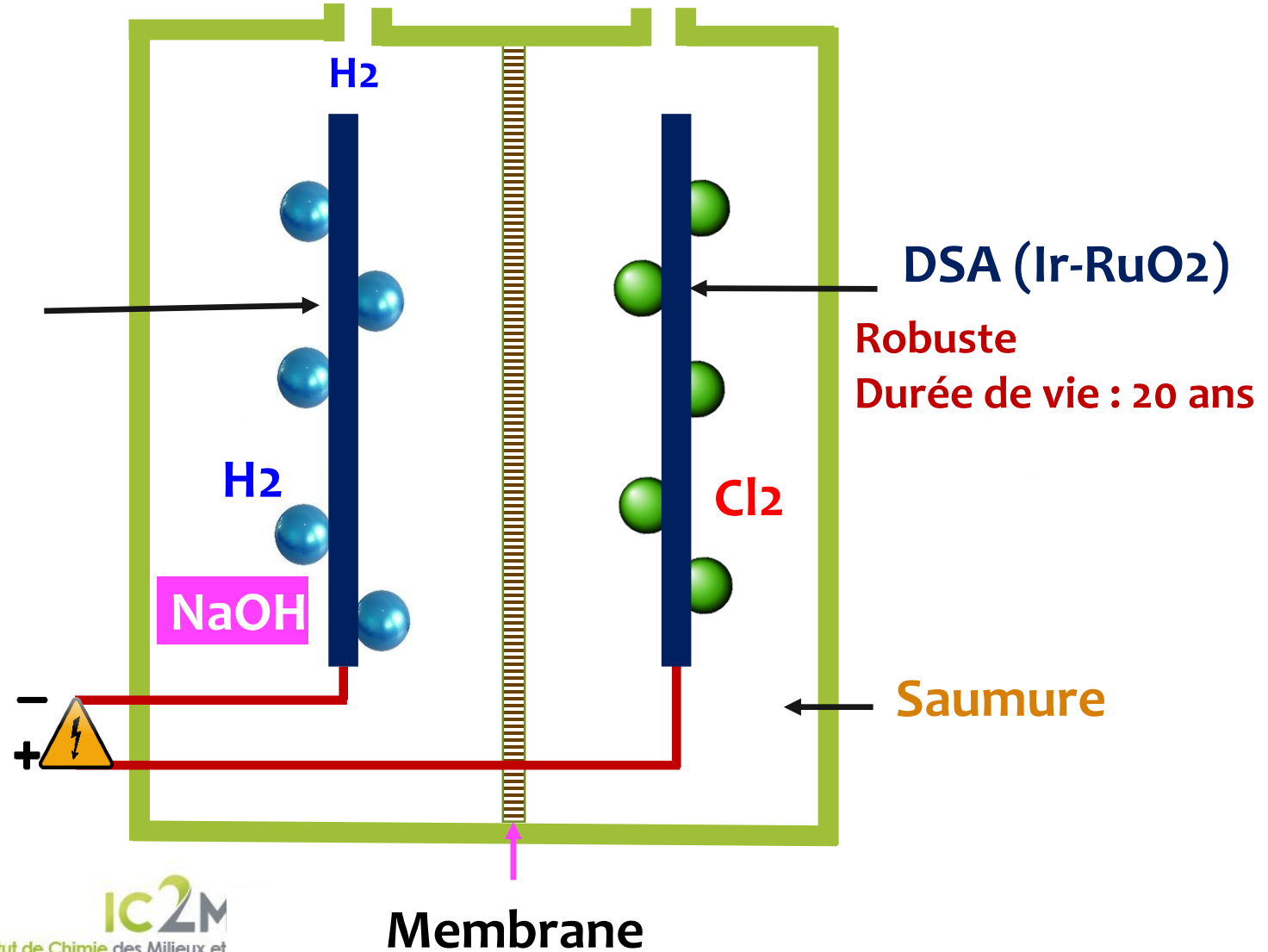
Industrie Chlore/Soude : Eau de mer

Pour $j = 4 \text{ kA/m}^2$

Tension de cellule :
4 V (1980) ==> 2,8 V (2000)

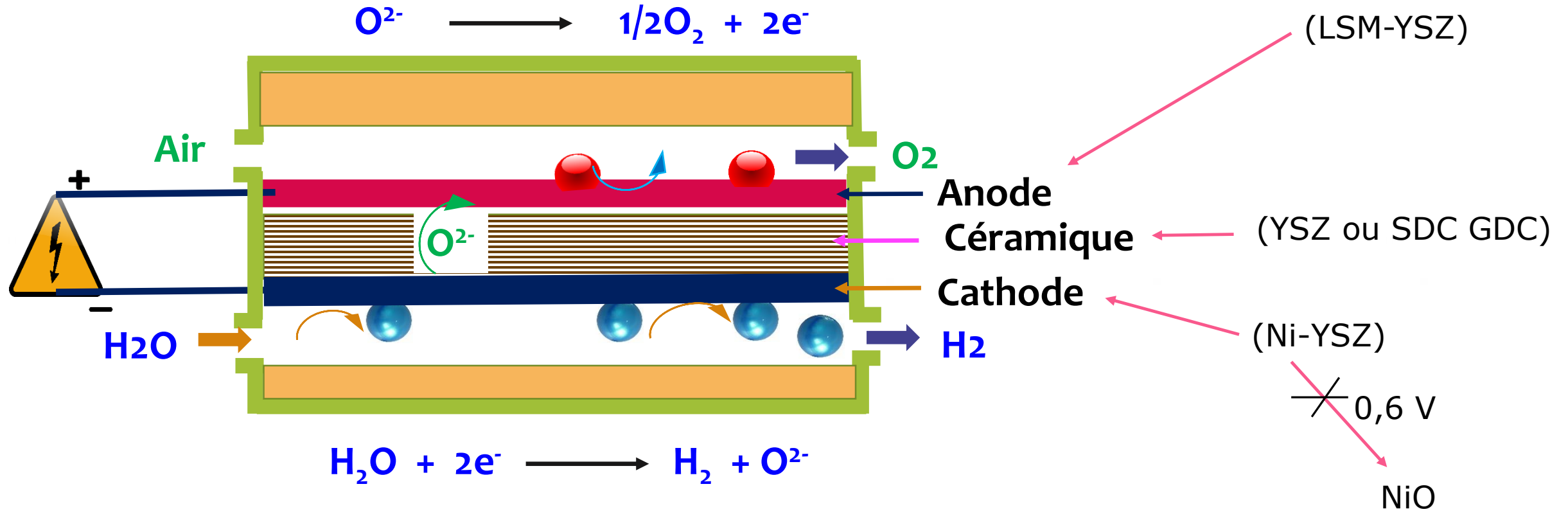
Soit un gain de 4,8 kW en 1 seconde

Fe activé
par Ni



Production décentralisée de H₂ par électrolyse de l'eau

Electrolyse Haute Température (SOEC) : 700 – 850 °C



A haute température :

- Corrosion des plaques bipolaires contenant Chrome, Fer...
- Fragilité de la céramique

Production décentralisée de H₂ par électrolyse de l'eau

Electrolyse fractionnée

ERGOSUP



Strictly Confidential
This Document is the property of Ergosup and can not be reproduced
or communicated without its authorization



Solution Ergosup: Stockage
et production d'hydrogène
par électrolyse fractionnée
directement sous pression

IC²MP

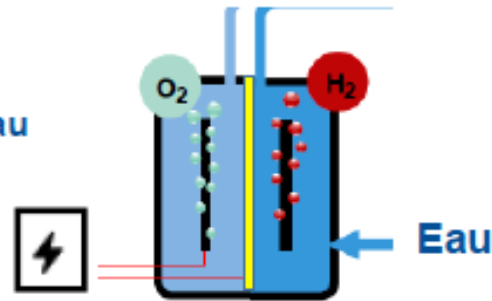
Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers

Production décentralisée de H₂ par électrolyse de l'eau

Electrolyse fractionnée

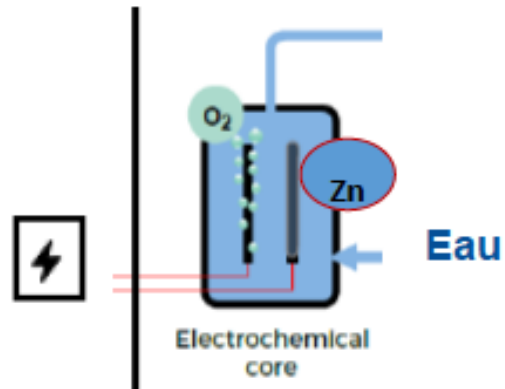
Une technologie unique: « l'électrolyse fractionnée »

Le procédé conventionnel d'électrolyse de l'eau

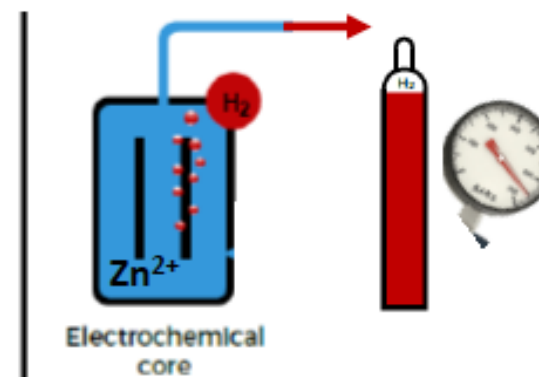


ERGOSUP ELECTROLYSE FRACTIONNEE

ETAPE 1



ETAPE 2



Strictly Confidential
This Document is the property of Ergosup and can not be reproduced
or communicated without its authorization

Activités « Hydrogène » (H_2) dans l'équipe SAMCat

1. Production H_2
2. Stockage H_2
3. Utilisation H_2

Production de H₂ et son Utilisation dans une pile à combustible

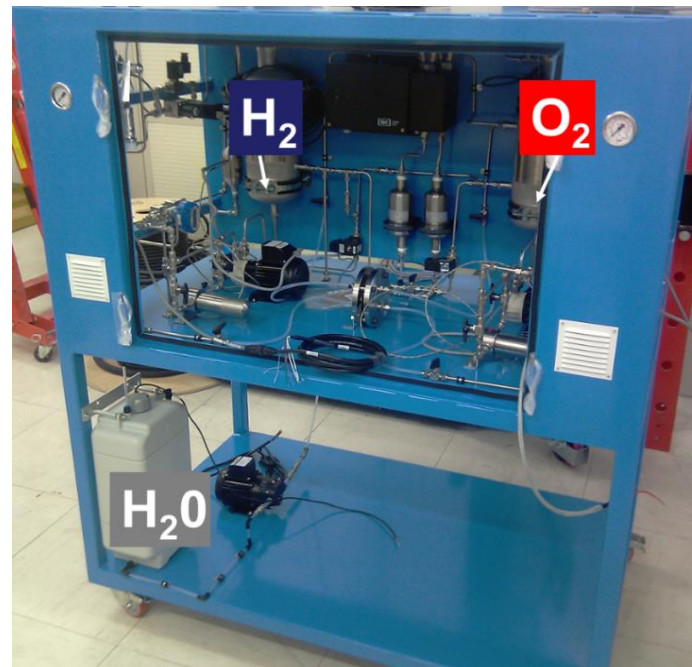
Électrolyseur PEM et AEM / Pile à Combustible PEM et AEM

Objectifs :

- Produire de l'hydrogène à partir de l'eau
- Produire directement de l'énergie à partir de H₂ et O₂
- Concevoir des matériaux à bas coûts

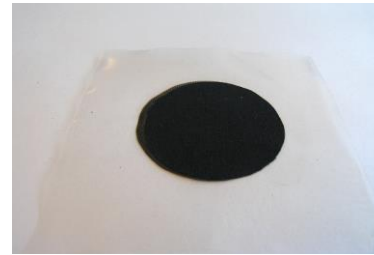
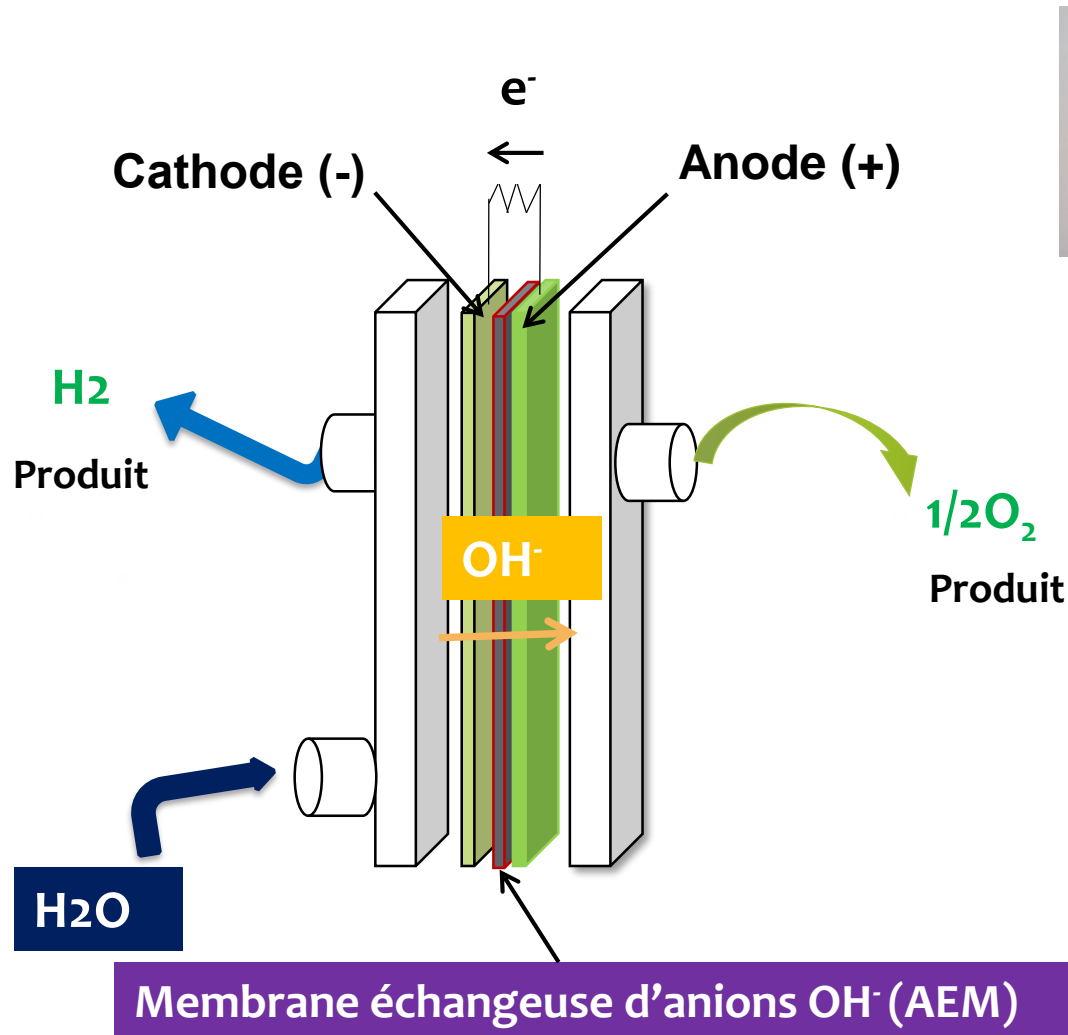


Électrolyseur

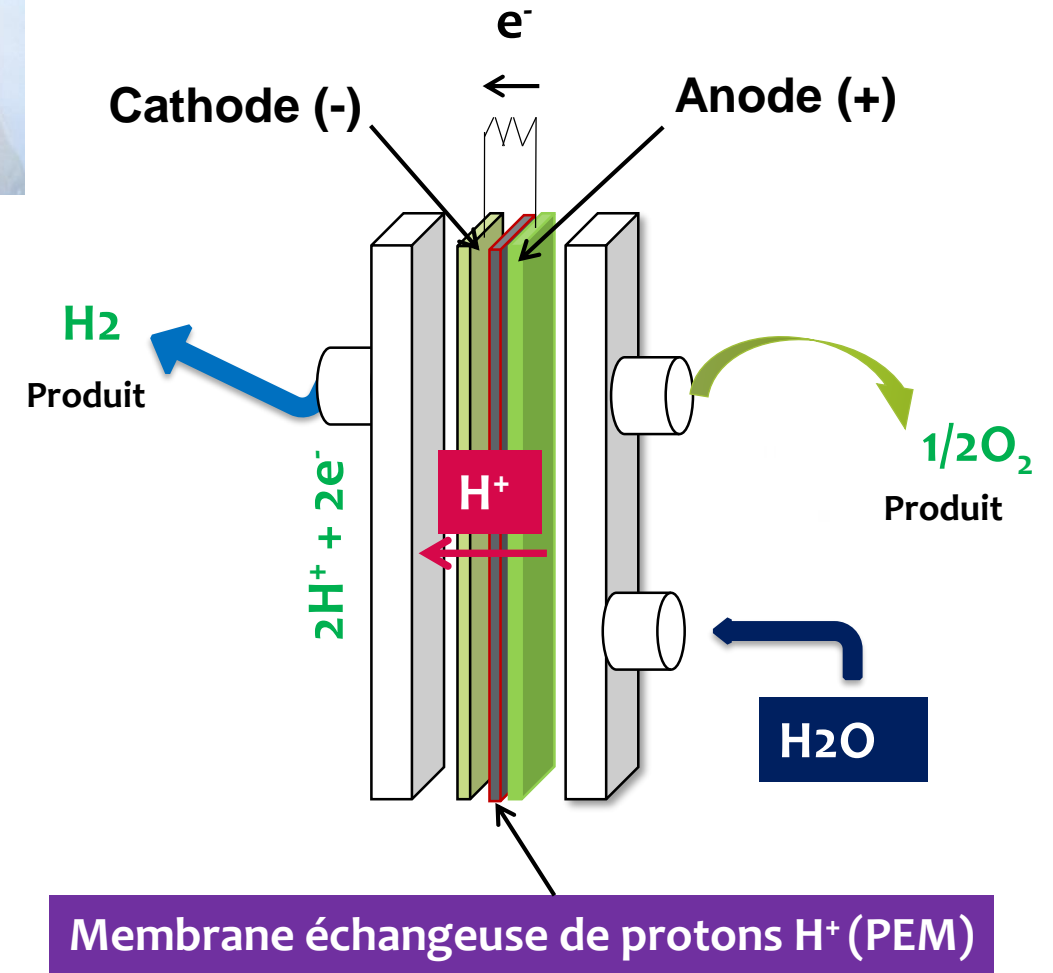


Production décentralisée de H_2 dans par électrolyse de l'eau

Electrolyseur à membrane échangeuse de protons (PEM) ou anions (AEM)



Assemblage
Membrane-
électrodes



Production de H₂ par électrolyse de l'eau

Exemple d'Electrolyseur PEM



Electrolyseur PEM AREVA H₂Gen

Production décentralisée de H_2 dans par électrolyse de l'eau

Electrolyseur à membrane échangeuse de protons (PEM)

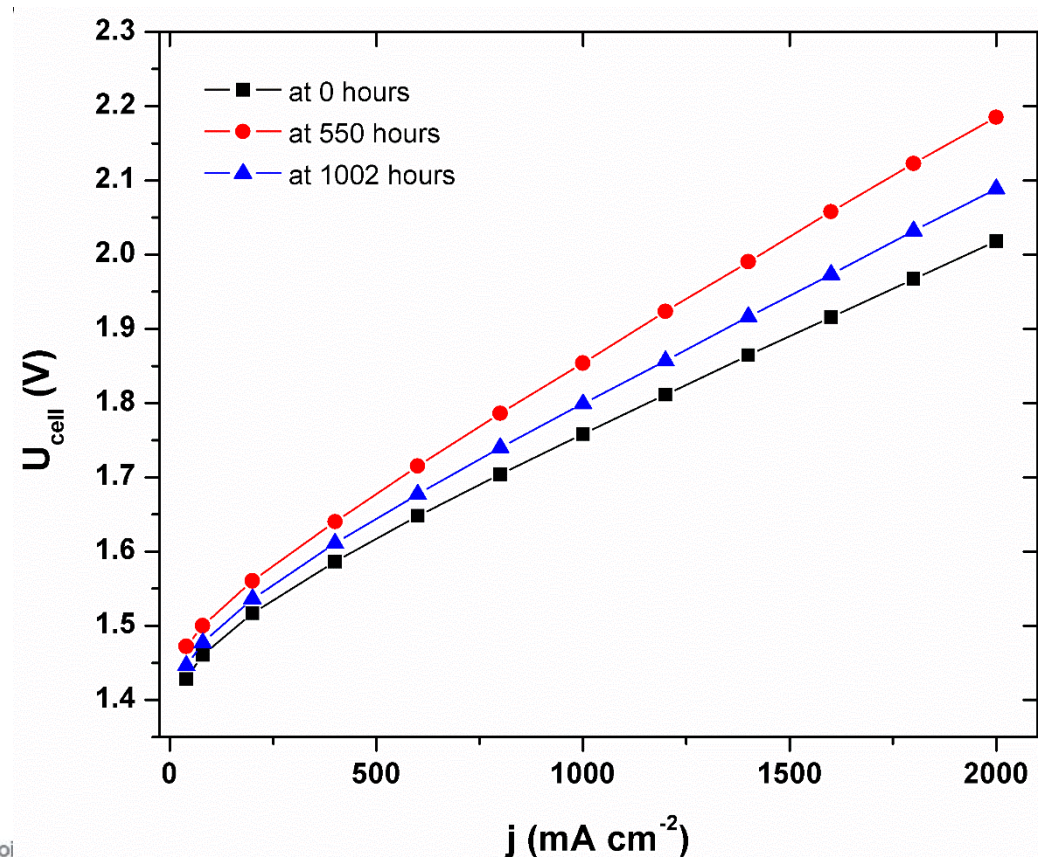
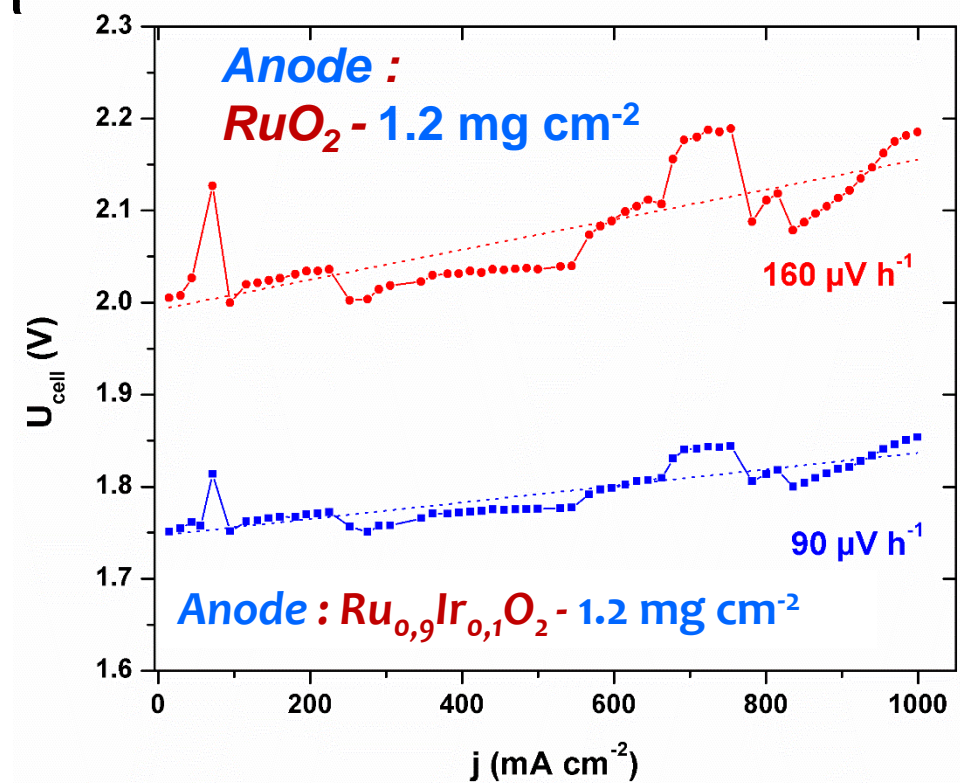
Electrolyseur PEMWE de 25 cm²

Test de durabilité sur 1200 h

Cathode : Pt/C - 0.18 mg cm⁻²

P = 1 bar

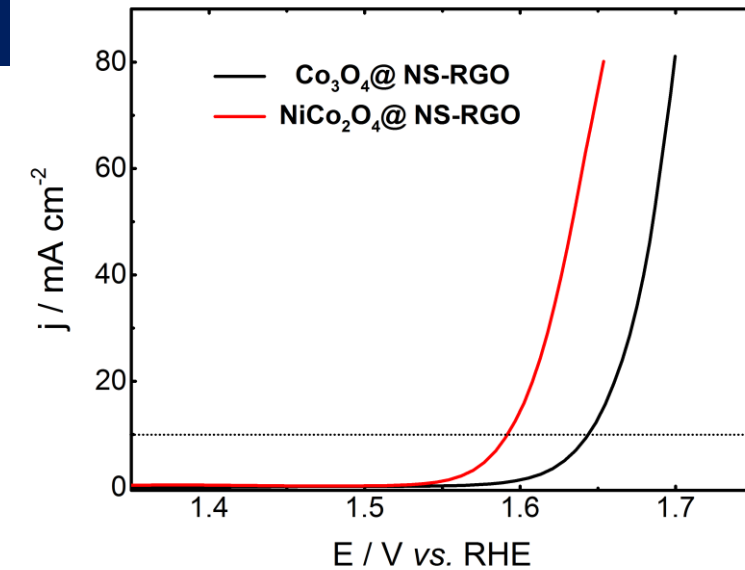
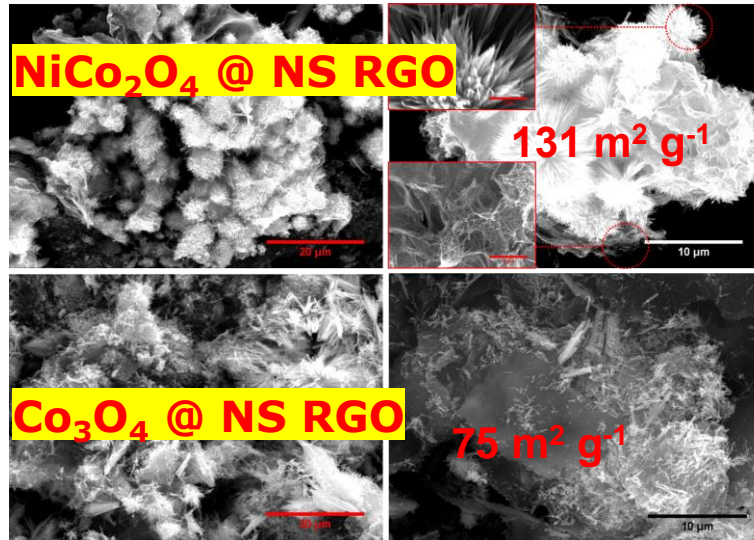
Effort de
réduction du
taux de charge
métallique



Production décentralisée de H₂ décarboné

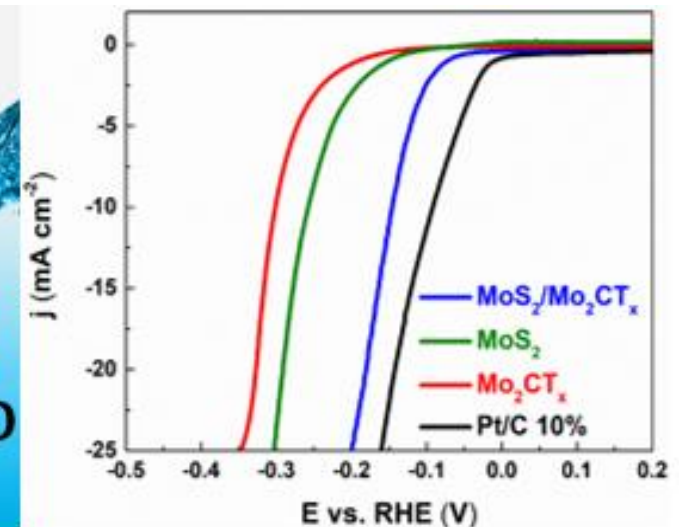
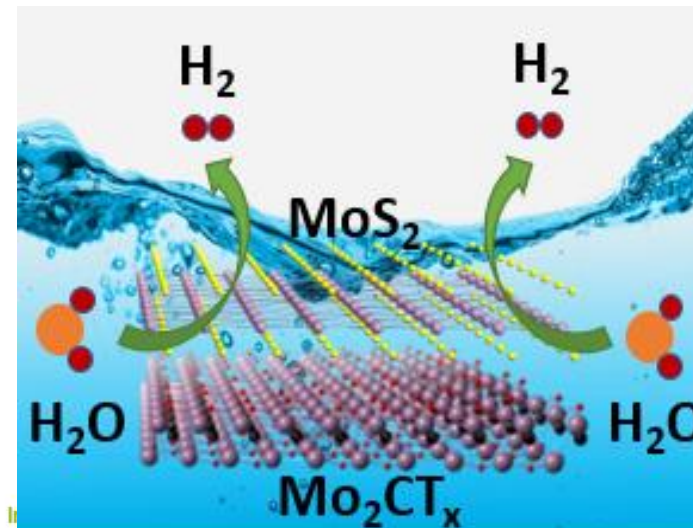
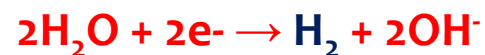
Nouveaux électrocatalyseurs pour l'électrolyse de l'eau en milieu alcalin (AEM)

Développer des matériaux avec des éléments abondants sur terre



Thèse I. Abidat, Université de Poitiers, 2017

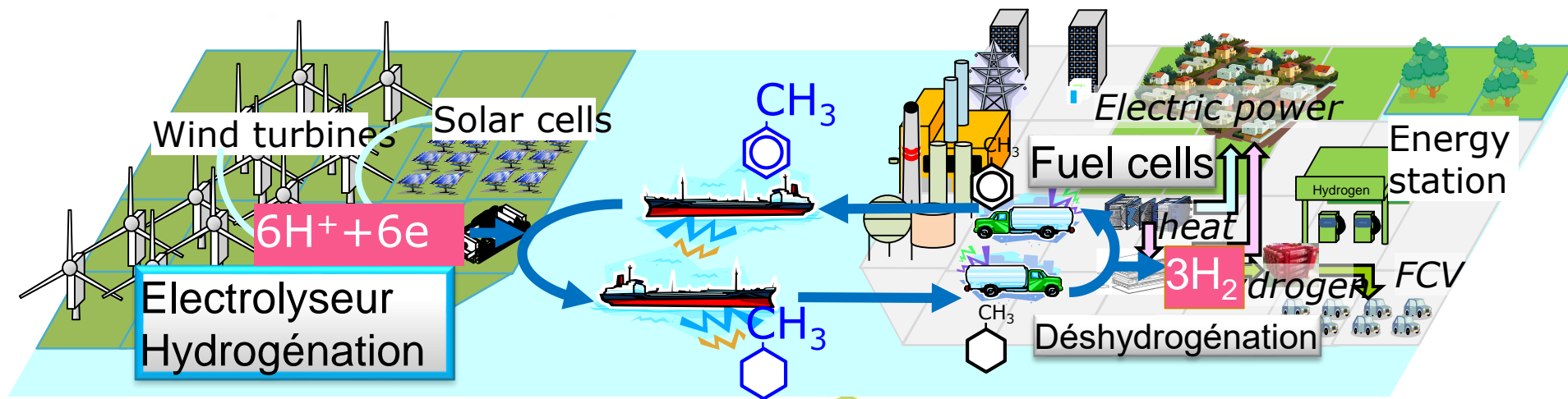
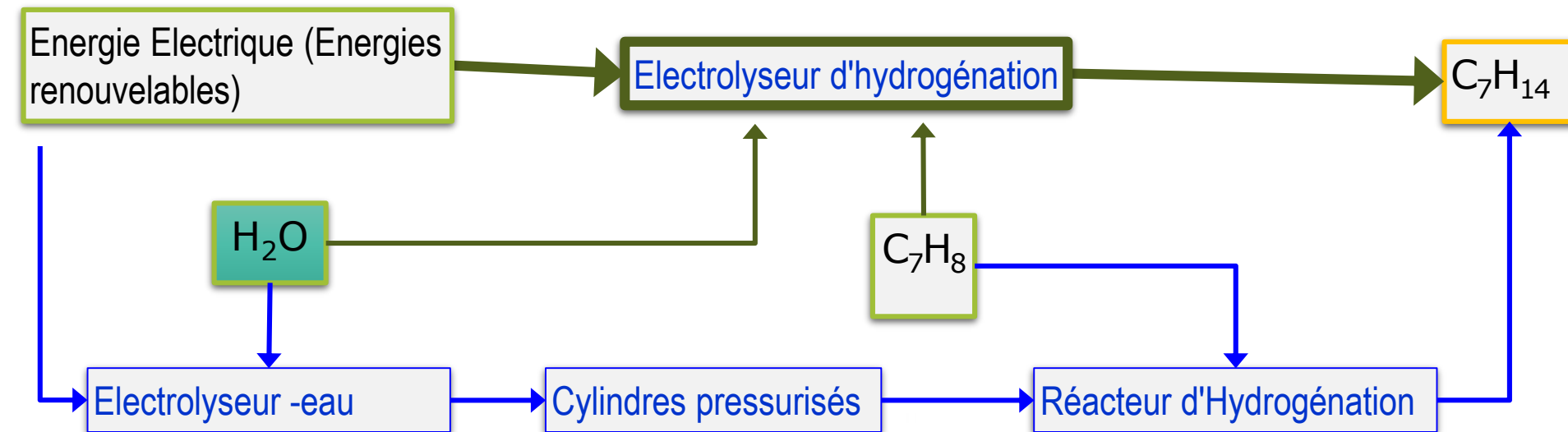
HER : composite MoS₂@Mo₂C



Production de H₂

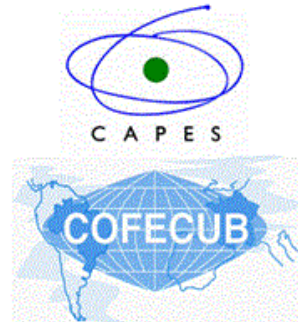
Cas du Japon - Argentine

Toluène ⇌ Méthylcyclohexane



Composés organiques comme vecteur énergétique

Soutiens & financements



Merci pour votre aimable attention

et

