



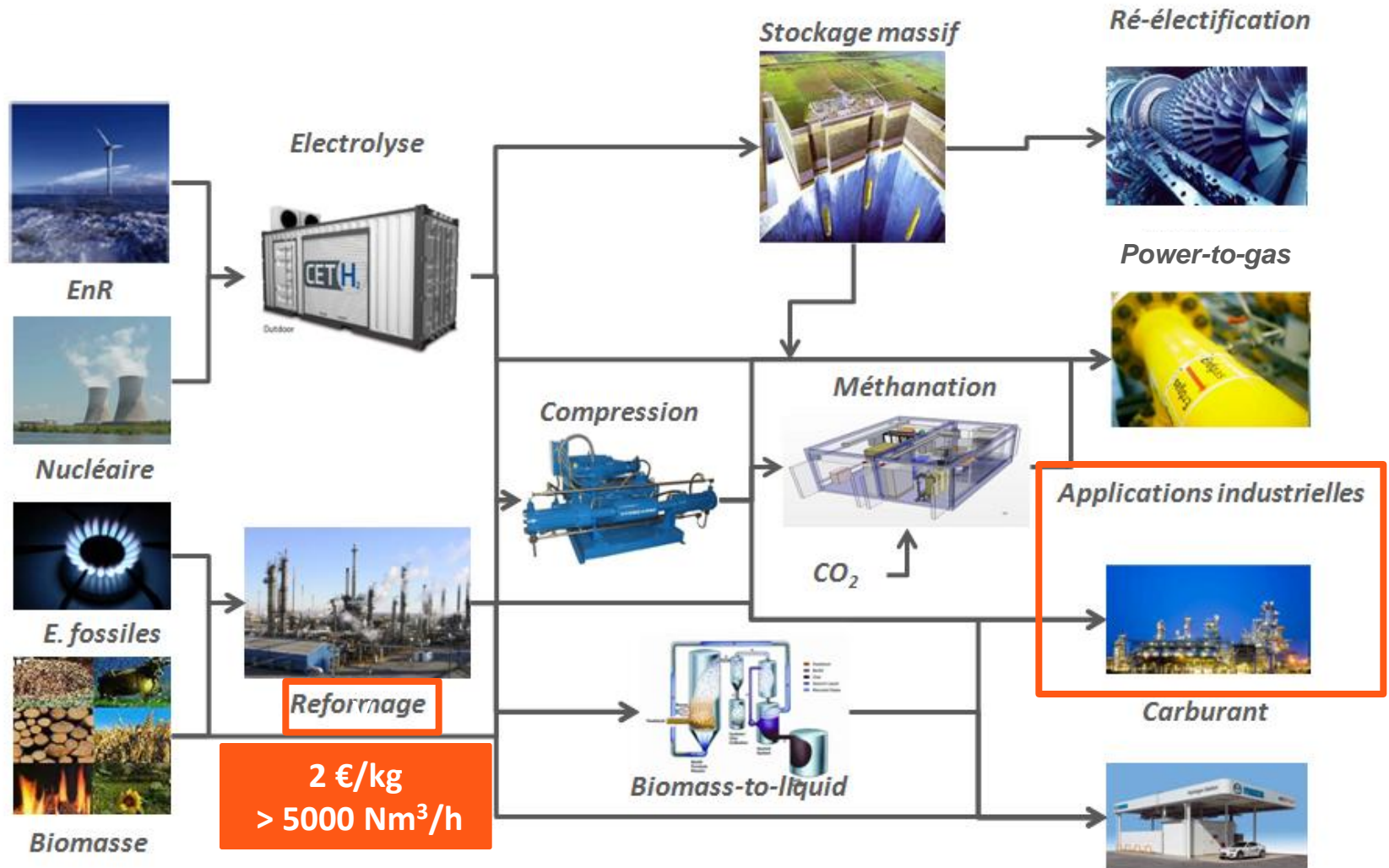
# Hydrogène

**Club Mines Energie, 11 mars 2015**

# Objectifs

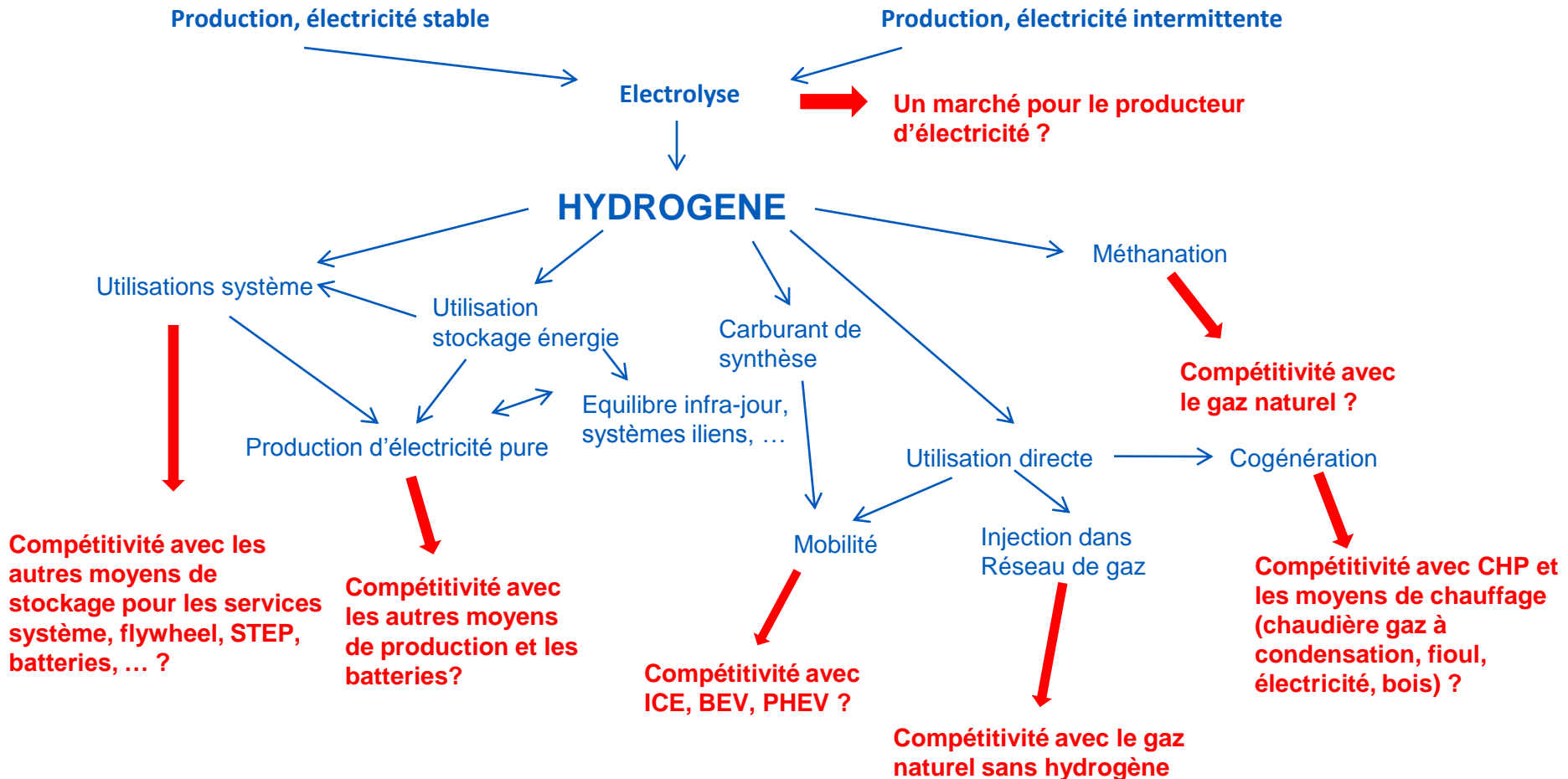
- *Décarbonation*
- *Compétitivité*

# Enjeux technologiques pour les usages possibles



Aujourd'hui, 96% de l'hydrogène est produit par vaporéformage, produit de manière centralisée, pour des applications industrielles nécessitant de forts volumes de production, marché mondial : ~ 60 Mt

# Enjeux technologiques pour les usages possibles



## Conditions nécessaires

- Les technologies sur la chaîne de valeur sont maîtrisées (électrolyse, piles à combustible, et infrastructures hydrogène)

- Les coûts complets sur toute la chaîne sont compétitifs par rapport aux solutions alternatives

# Maîtrise des technologies d'électrolyse

- **Électrolyse alcaline (AEL : rendement 65%) mature et disponible** pour tout niveau de puissance (module jusqu'à 4 MW), suivi de charge de 10 à 100%, durée de vie 20 ans, pas de perspectives d'évolution
- **Electrolyse à membrane polymère (PEMEL : rendement 70%) disponible pour petites puissances**, coût d'investissement plus élevé (platine, titane), durée de vie limitée à 10 ans ; les systèmes de l'ordre du MW sont en développement depuis 5 ans pour du **suivi de charge 0 à 100%** (15 projets Power-to-Gas en Allemagne, puissance entre 300 kW et 6 MWe)
- **Electrolyse haute température (EHT : rendement potentiel 90%) en développement depuis 2004**, perspectives de réduction des coûts d'investissement (pas de métaux nobles), nécessité d'une température stable pour avoir un rendement acceptable. Pas d'expérience à l'échelle système.

**Les coûts de production d'hydrogène électrolytique dépendent du coût de l'électricité, du temps de fonctionnement et de la puissance installée**

**Electrolyse alcaline : 4 à 5 €/kg,**

**PEMEL : même coût possible avec le développement du marché**

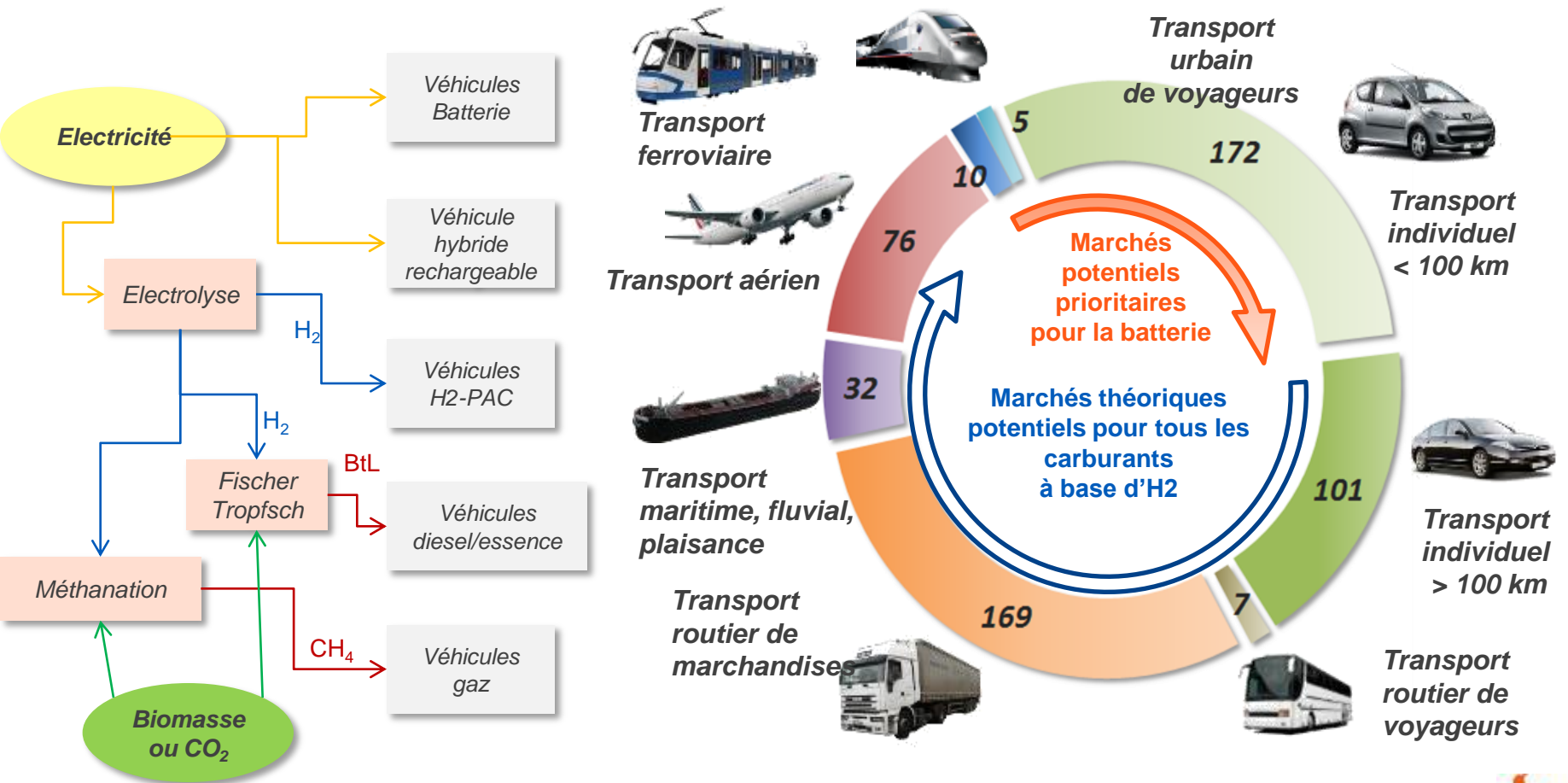
**Electrolyse haute température : 3 €/kg ?**

# Production de méthane de synthèse

- Sur la base d'un coût de production d'hydrogène de 5€/kg (et CO<sub>2</sub> gratuit), le méthane de synthèse est 5 fois plus cher que le gaz naturel  
pas de compétitivité intrinsèque
- La filière « Power-to-gas » (injection directe d'hydrogène dans le réseau de gaz, limité entre 2 à 5% volumique, ou injection de méthane de synthèse) est vue en Allemagne comme une solution à l'intégration massive des ENR intermittentes *à condition de disposer d'électrolyseurs aptes au suivi de charge.*

# Mobilité

- 2 solutions technologiques d'électrification du transport : la batterie et l'électrolyse.
- Ces deux solutions sont complémentaires en termes de segment de marché (potentiel théorique de substitution de 527 TWh en France).
- Outre l'utilisation directe dans des véhicules Piles à combustible (segment limité à transport individuel haut de gamme et transport public de voyageurs), l'hydrogène électrolytique peut potentiellement entrer dans la composition des carburants de synthèse



# Véhicules à pile à combustible

Performances et durée de vie sur la technologie de pile à combustible à membrane protonique maîtrisées, le défi reste économique.

Diviser le coût du véhicule par 4 :

- baisse de coût de chaque élément constitutif, en priorité le stack (aujourd'hui entre 25 et 50% du coût complet suivant les sources)
- effet volume (100 000 ou 500 000 véhicules/an par constructeur)

Pour atteindre un coût total complet (en €/km) similaire à un véhicule diesel haut de gamme :

- le coût du véhicule pile à combustible doit atteindre 25 000 €
- l'hydrogène doit être produit avec un coût objectif entre 5 et 6 €/kg

Etape possible : hybrides BEV/FCEV (Prolongateur d'autonomie PAC : > 320 km)

Le coût d'une station de recharge hydrogène (420 kg H<sub>2</sub>/j ou 200 Nm<sup>3</sup>/h, soit une consommation de 1 MW) est estimé entre 1 et 2 million d'euros. Soit un surcoût de l'ordre de 1 €/kg d'H<sub>2</sub>.



# Conclusion

- *Veille active et R&D*
- *Projets expérimentaux*