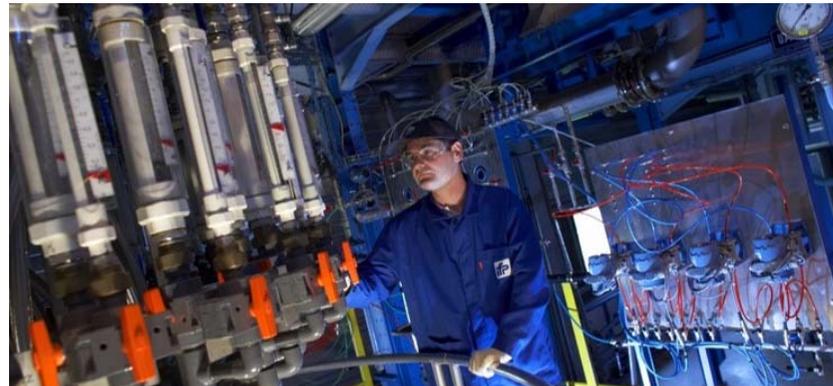
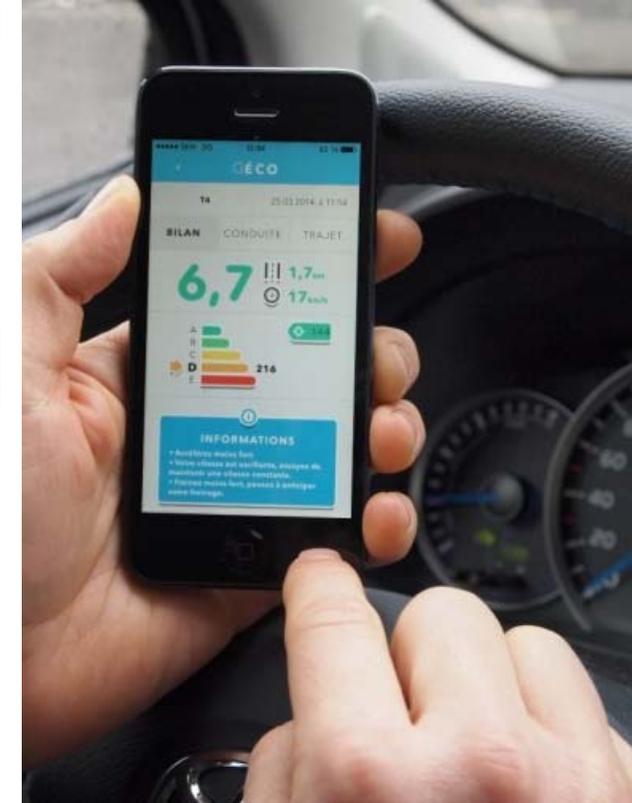




## DÉPLOIEMENT DES CARBURANTS ALTERNATIFS RENOUVELABLES : CRITÈRES ÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

Colloque HYDROGENE DECARBONE : ENJEUX ET SOLUTIONS ?  
Maison de la Chimie – Jeudi 13 juin 2019

François Kalaydjian, Jean-Christophe Viguié, Daphné Lorne, Pierre Marion  
*IFP Energies Nouvelles*



## DÉCARBONER LE TRANSPORT

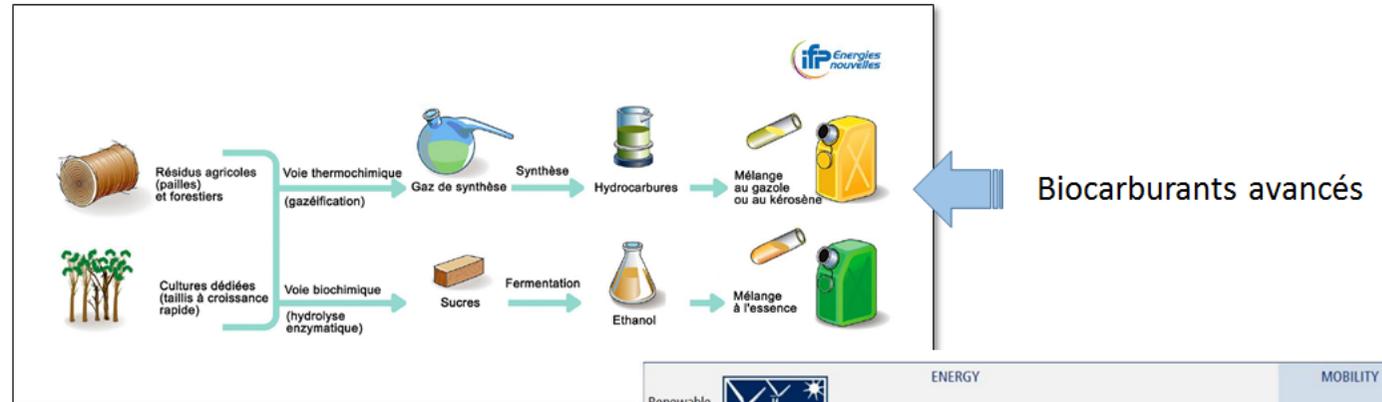
- Le transport en France est responsable de près du tiers des émissions de CO<sub>2</sub>; dans une perspective de neutralité carbone @ 2050, il faut le décarboner
  - Panel de solutions : électrifications, carburants alternatifs bas carbone
- Carburants alternatifs bas carbone : biocarburants avancés et e-fuels
- Conditions de succès pour synthétiser des e-fuels bas carbone
  - Compatibilité avec les motorisations actuelles
  - Performances technico-économiques : prix de l'électricité, coût de production de l'hydrogène

# DÉCARBONATION DU TRANSPORT / CARBURANTS BAS CARBONE

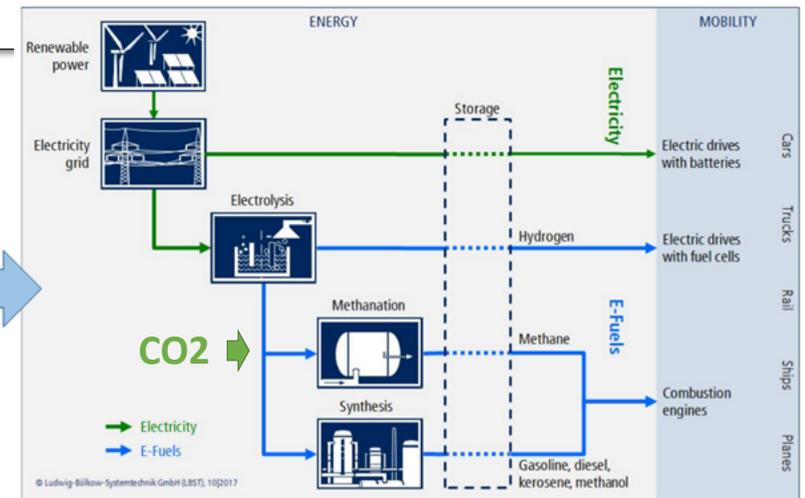
~30%

La contribution du Transport aux émissions de CO<sub>2</sub> de la France → décarbonation indispensable

- Electrifications
- Carburants décarbonés
  - Biocarburants
  - E-Fuels



E-fuels (powerfuels)



E-fuel production process and overview

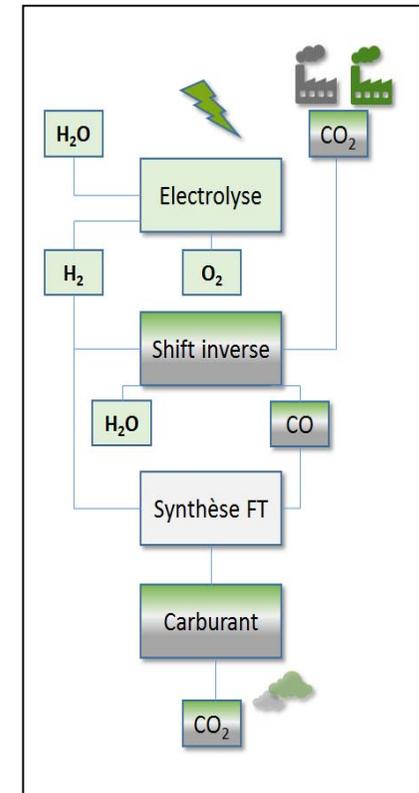
## DIRECTIVE EUROPÉENNE RED II

### TAUX DE RÉDUCTION GES DES CARBURANTS ALTERNATIFS

- → Pour les biocarburants selon date de démarrage des installations
  - **50%** ... avant le 5 octobre 2015
  - **60%** ... après le 5 octobre 2015
  - **65%** ... après le 1er janvier 2021
- → Pour des carburants renouvelables liquides ou gazeux d'origine non biologique
  - **70%** ... après le 1er janvier 2021  
*L'électricité utilisée doit être d'origine renouvelable*
- → Pour des carburants synthétisés à partir de carbone recyclé
  - **?** D'ici le 1/1/2021 la Commission devra définir des seuils spécifiques pour les carburants issus de carbone recyclé

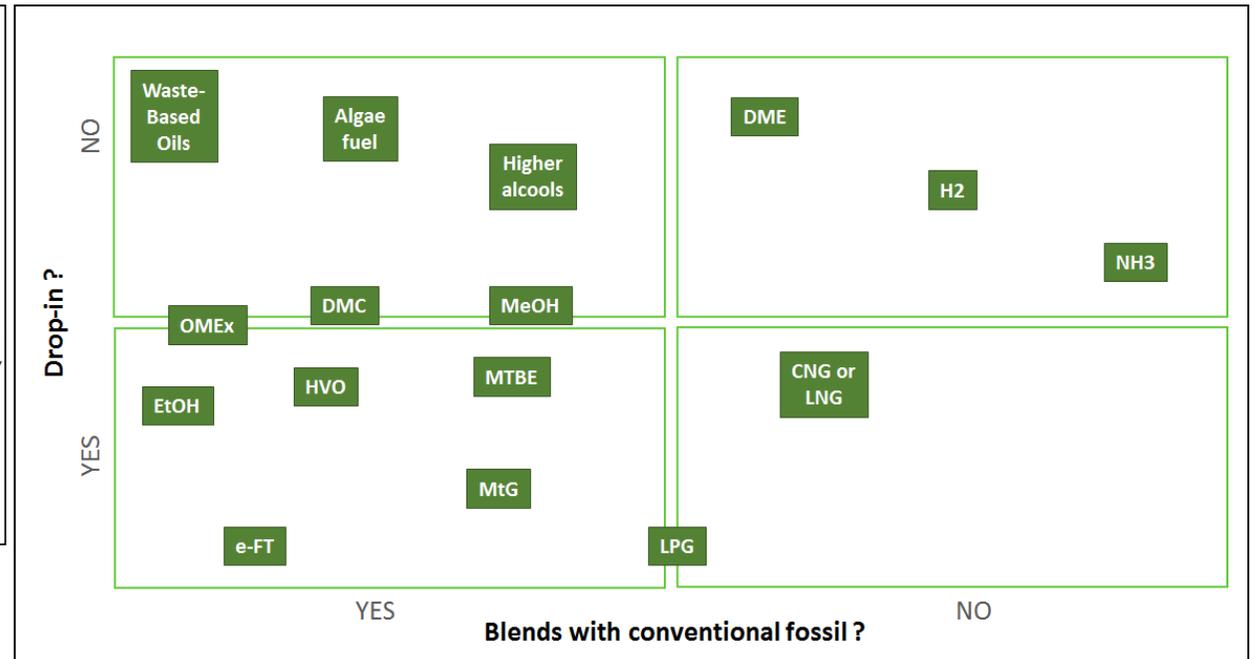
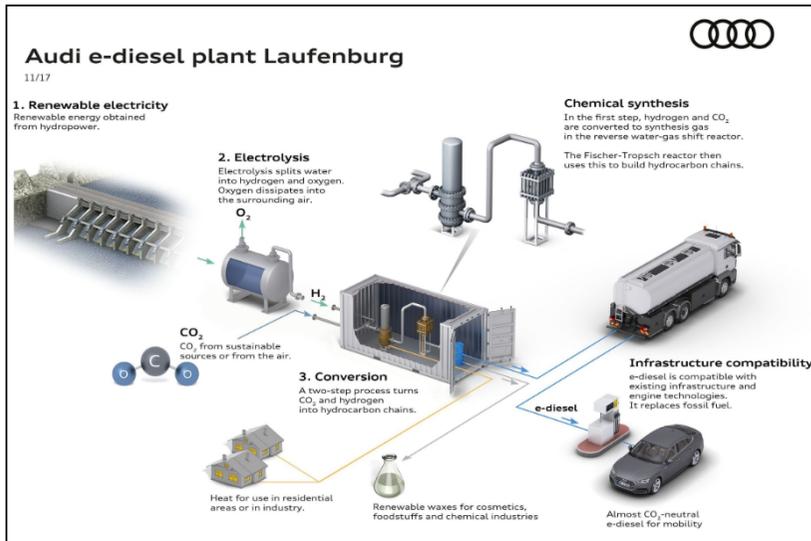
Page 14 « (...) Étant donné que ces carburants ne sont pas renouvelables, ils ne devraient pas être comptabilisés aux fins de la réalisation de l'objectif global de l'Union pour l'énergie produite à partir de sources renouvelables »

### e-FT



# CARBURANTS DE SYNTHÈSE BAS CARBONE

➔ *H2 vert (électricité non carbonée) + CO2 capté dans l'air*

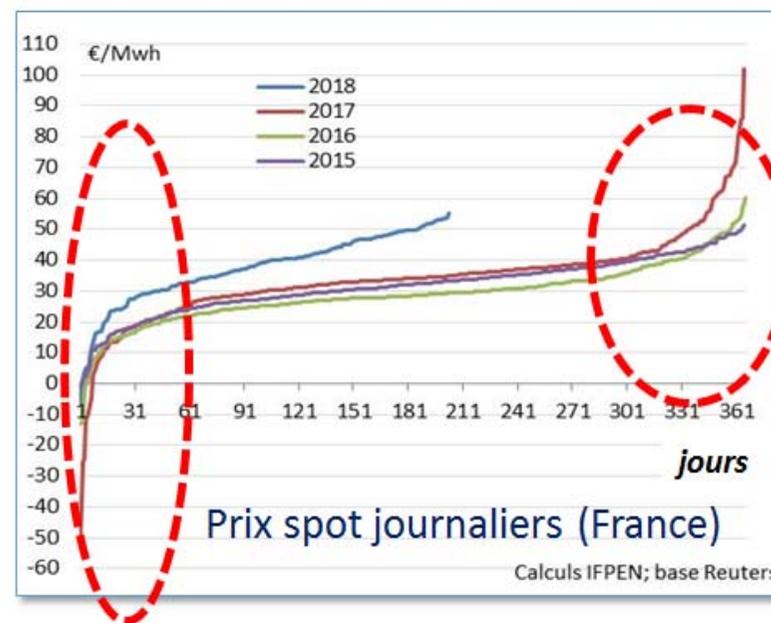
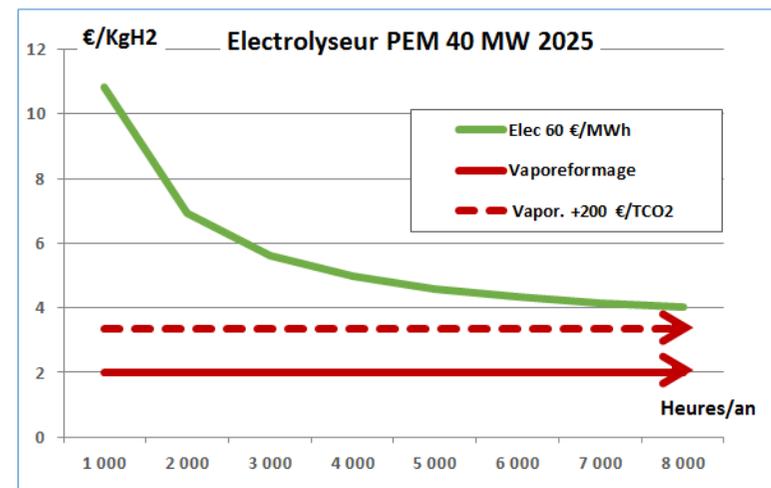


## UTILISATION DIRECTE PAR L'INDUSTRIE

### COMPARAISON DES COÛTS DE PRODUCTION ÉLECTROLYSE / SMR

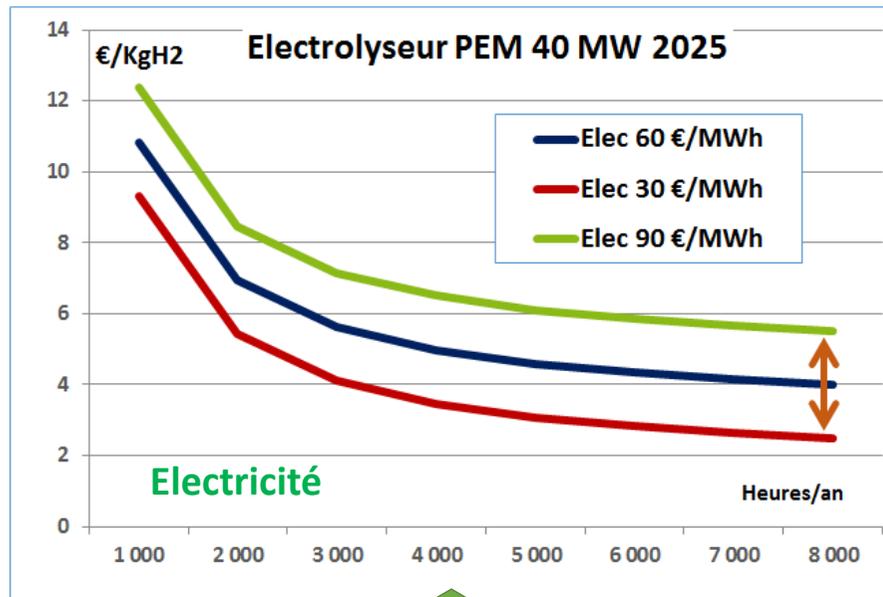
- Coût d'accès à l'électricité
- Durée annuelle de fonctionnement : supérieure à 6000h/an
- Valeur du CO2 : supérieure à 200€/t
  - Prix du gaz : 10 \$/MBtu

*30 to 40 €/MWh en moyenne depuis 2015*  
*Sans tarification spécifique, les prix les plus faibles n'existent que sur de courtes périodes*



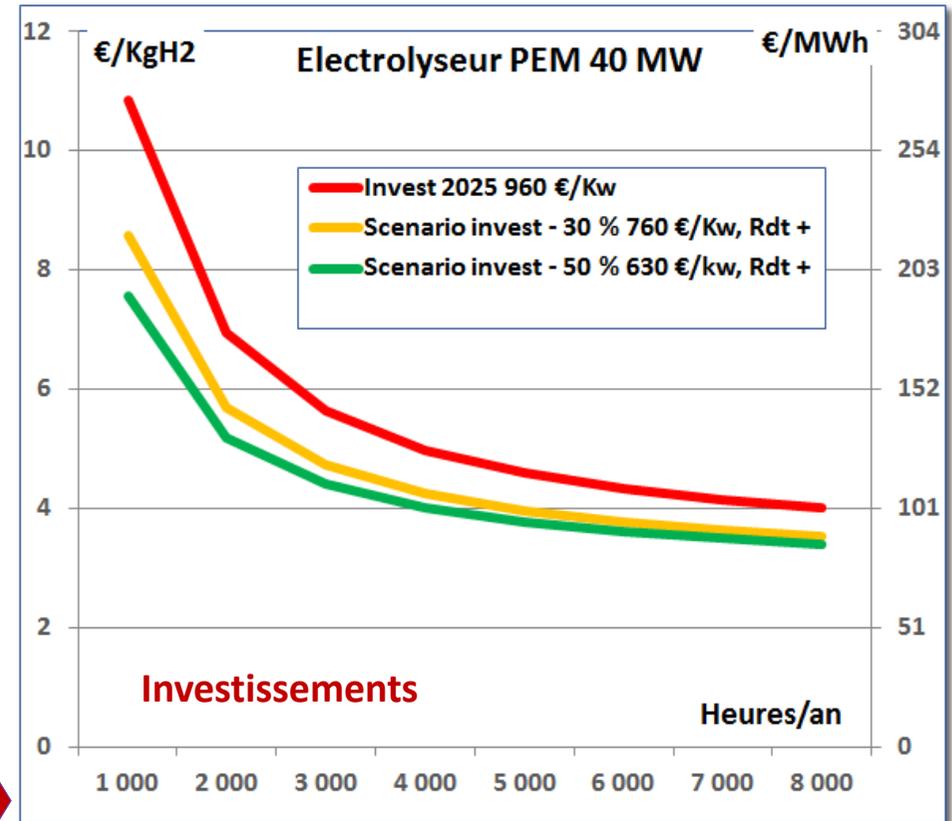
# COÛT DE PRODUCTION DE L'H2 ÉLECTROLYTIQUE

## SENSIBILITÉ AU COÛT D'ACCÈS À L'ÉLECTRICITÉ ET AUX INVESTISSEMENTS



Coût d'électricité décarbonée de 30 €/MWh sur plus 6000h/an

Aux grandes durées d'utilisation, faible impact du CAPEX sur le coût de production de l'hydrogène



# IMPACT DES INVESTISSEMENTS SUR LE COÛT DE PRODUCTION D'H2 PAR ÉLECTROLYSE

## ● Hypothèses

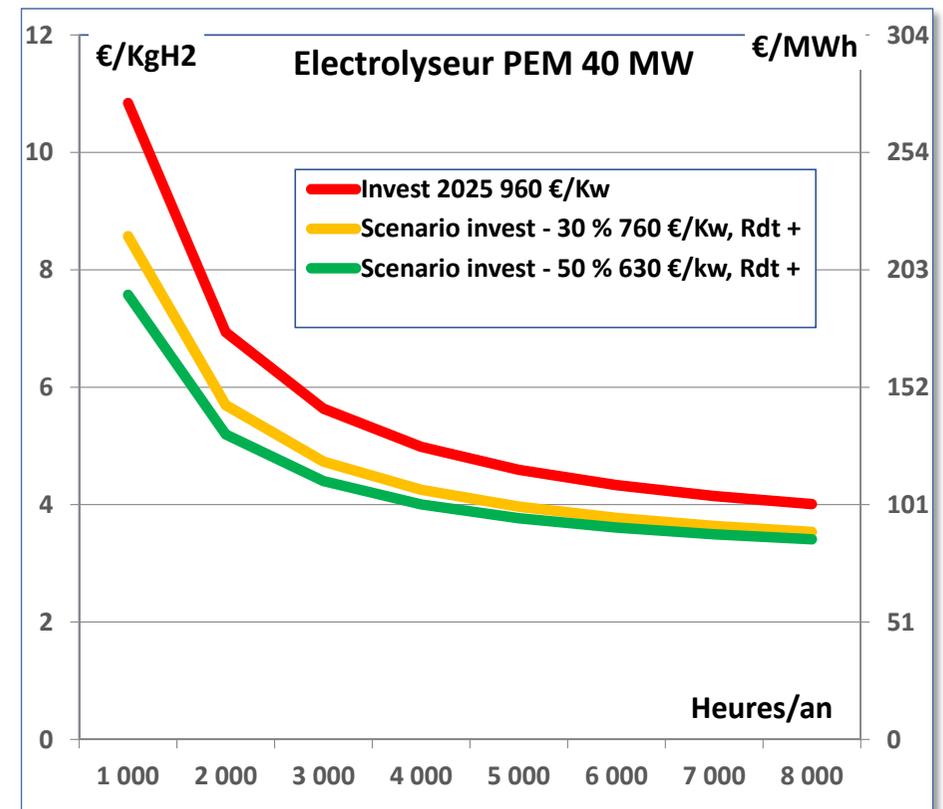
- Capex de 1000 à 600 €/kW
- Prix de l'électricité: 60 €/MWh

## ● Coût de production H2 ex électrolyse

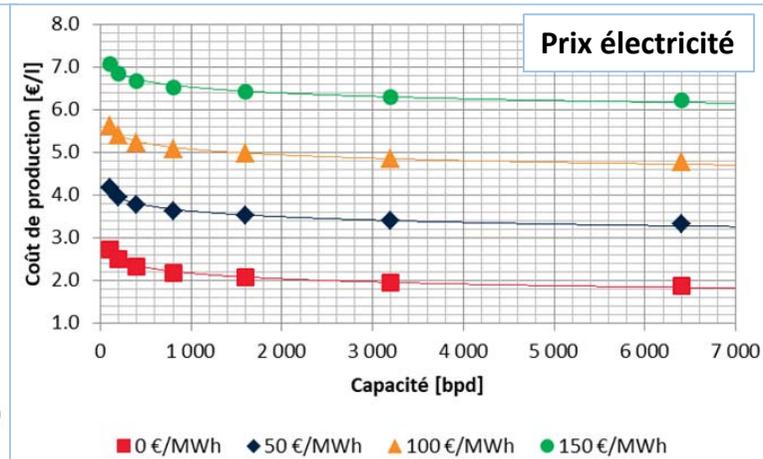
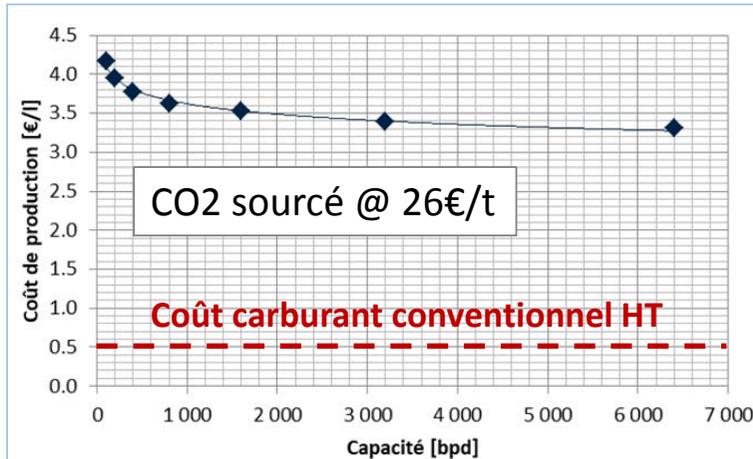
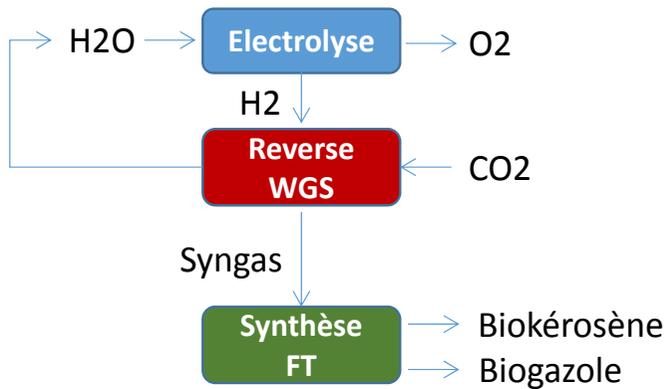
- 3,5 €/kg, ~ 90 €/MWh au minimum
- Equivalent à H2 ex SMR avec une taxe CO2 d'au moins 100 €/t

## ● Conclusions

- Sensibilité au CAPEX forte uniquement pour les faibles durées d'utilisation
- Pour les fortes disponibilités, sous les hypothèses faites, le seuil de valeur CO<sub>2</sub> nécessaire pourrait être atteint dans un scénario 2 °C volontariste (sauf contexte politique)



# ANALYSE TECHNICO-ÉCONOMIQUE E-FUEL

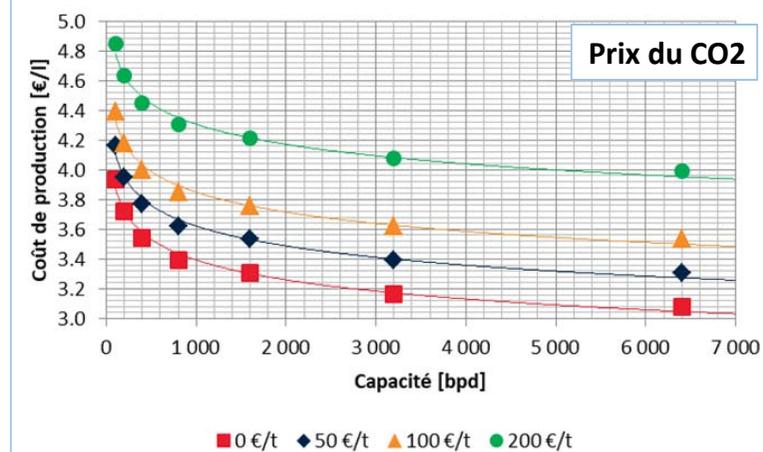


## Hypothèses

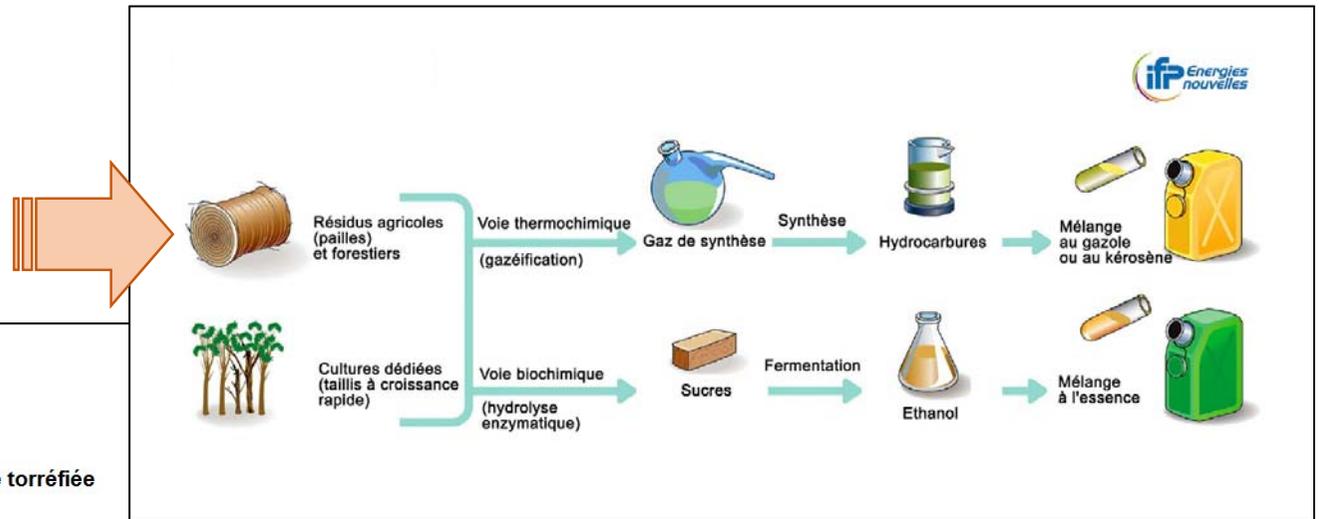
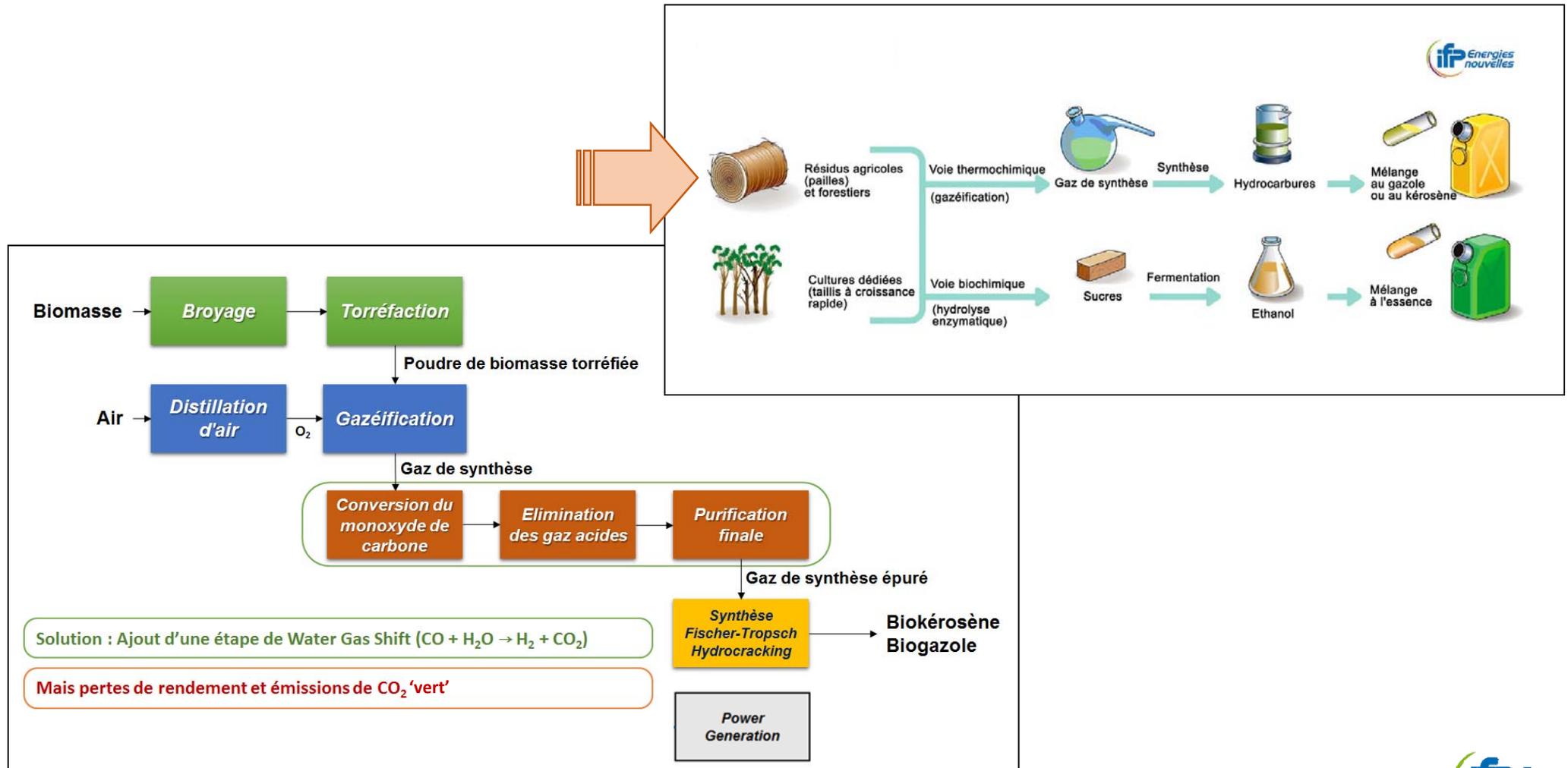
- Production e-fuel en 3 étapes :  
→ Electrolyse + Reverse WGS + FT
- Cas de référence
  - H2 @ 5100 €/t
  - CO2 fossile valeur ETS @ 26 €/t
  - CAPEX électrolyseur : 1000 €/kW
  - Electricité : 50 €/MWh

## Conclusions

- Un coût de production d'un e-fuel de plus de 3€/l HT à comparer à un carburant fossile de 0,6€/l HT
- L'accès à une électricité gratuite abaisse le coût de production à 2 €/l HT
- Le CO2 doit être neutre
  - → capté sur un procédé biomasse



# SCHEMA DE PRODUCTION BTL (VOIE THERMOCHIMIQUE INDIRECTE)



# IMPACT DE L'UTILISATION D'UN H2 ÉLECTROLYTIQUE

## Hypothèses

Unité de production BTL : **2600 bpd**

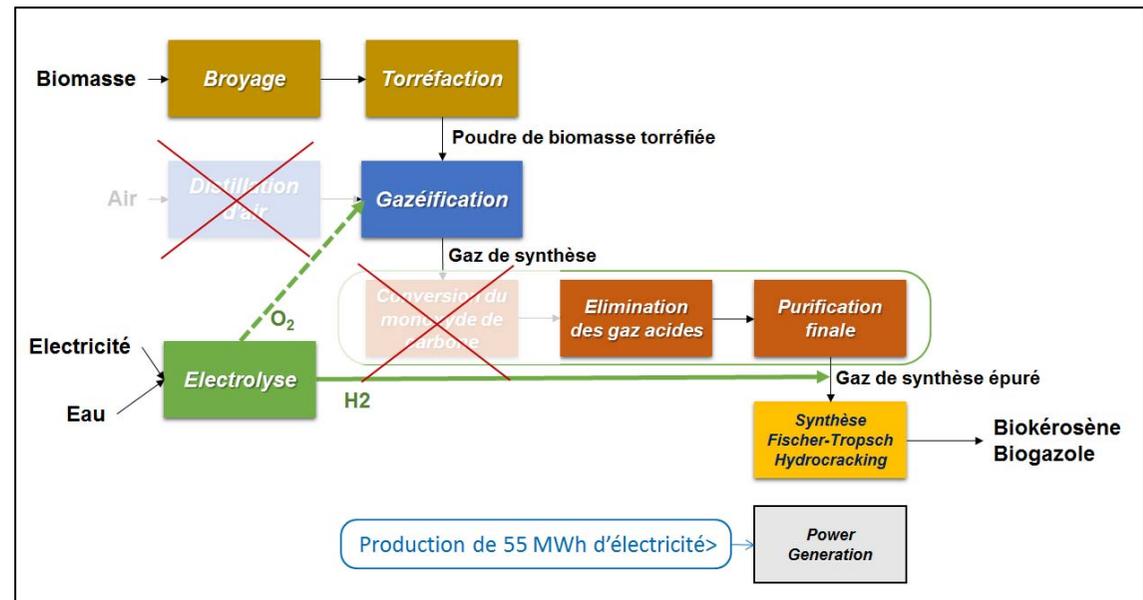
Fonctionnement sur **8000 h/an**

Prix électricité : **50€/MWh**

Electrolyseur : CAPEX : **1000€/kW**

Estimation du coût de production de H2 vert  
ex-électrolyse : **5200 €/t**

Valorisation de l'excédent d'O2 à **13 €/t**



## IMPACT DE L'UTILISATION D'UN H2 ÉLECTROLYTIQUE

### ● Bénéfices

- Suppression de la distillation d'air
- Suppression du shift à l'eau
- Production d'oxygène en excès
- Production d'électricité

### ● Résultats

- **400 MW** Puissance nécessaire de l'électrolyseur
- **x2** Augmentation de la production BTL avec H2 électrolytique
- **67 - 100%** Surcoût de production BTL si coût H2 @ 5,2€/Kg
- **1,6 – 2,2 €/kg** Prix H2 vert pour un coût de production BTL équivalent au BTL SMR

## CONCLUSIONS

- Le secteur du **Transport** en France est responsable de près du tiers des émissions de CO<sub>2</sub>; dans une perspective de neutralité carbone @ 2050, il faut le **décarboner**
  - Panel de solutions : électrifications, **carburants alternatifs bas carbone**
- Carburants alternatifs bas carbone : biocarburants avancés et **e-fuels**
- **Conditions de succès** pour synthétiser des e-fuels bas carbone :
  - Cibler des e-fuels 'drop-in' et compatibles avec les carburants conventionnels
  - Utiliser de l'H<sub>2</sub> 'non carboné' et un CO<sub>2</sub> non issu de la combustion des énergies fossiles
  - Pour un e-FT, un même coût de production est obtenu pour un coût de production de l'H<sub>2</sub> 'non carboné' à 2,2 €/kg
  - Si H<sub>2</sub> produit par reformage GN + CCS, alors le coût CCS doit être de ~ 50€/tCO<sub>2</sub>
  - Si H<sub>2</sub> produit par électrolyse, une électricité décarbonée est à produire en base, le tarif d'achat de l'électricité est à réglementer (~ 30€/MWh) et les performances des électrolyseurs doivent être améliorées

*Innovating for energy*

Find us on:

 [www.ifpenergiesnouvelles.com](http://www.ifpenergiesnouvelles.com)

 @IFPENinnovation

