

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

# Débat Climat-Énergie-Matériaux

19 janvier 2019 - ENS Paris

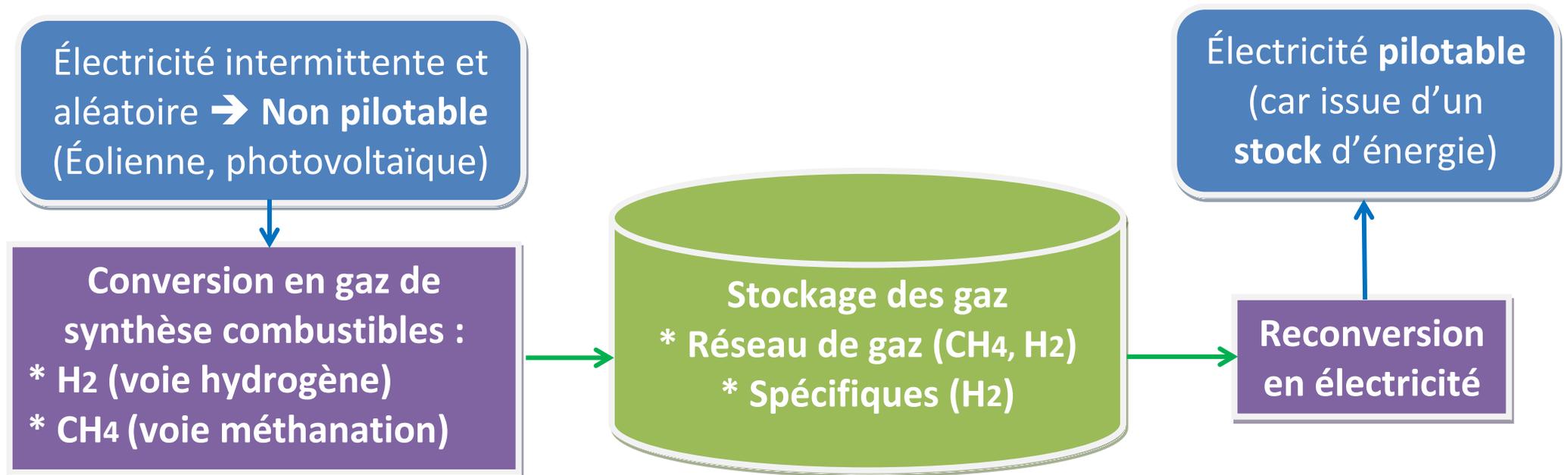
“Power to gas to power”

Solution au stockage de MASSE ou  
impasse économique ?

Par Georges Sapy

# Qu'est-ce que le "Power to gas to power" ("P-g-p") ?

- \* **Mode de stockage d'énergie** par conversion d'électricité en gaz de synthèse combustibles (hydrogène ou méthane) et reconversion ultérieure de ces gaz en électricité

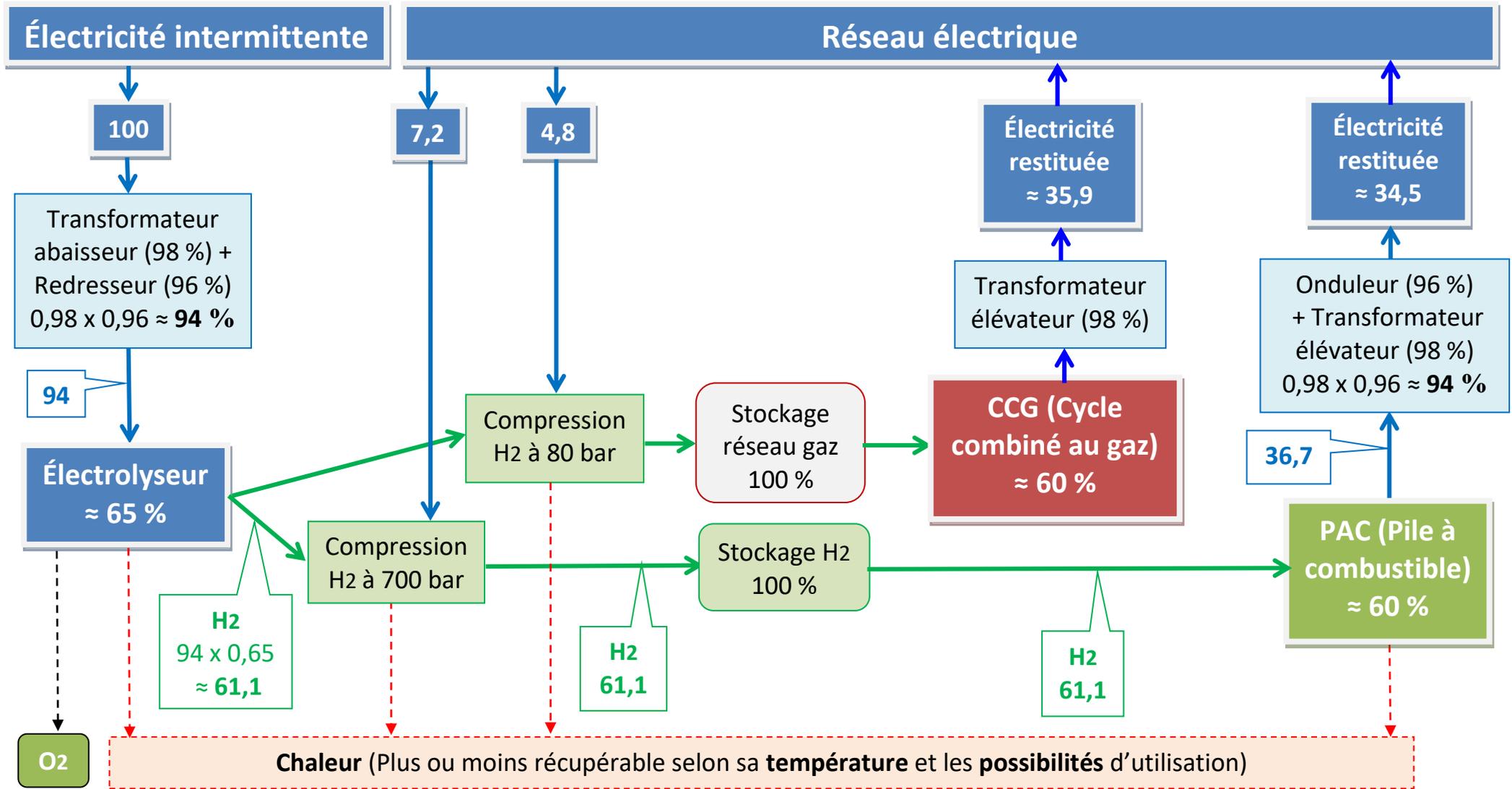


- \* **Les avantages de ce type de stockage... SUR LE PAPIER :**

- Gaz décarbonés (si produits à partir d'électricité décarbonée)
- Capacité théorique à stocker de l'énergie à **très grande échelle ET en longue durée**
- Stockage dans réseaux de gaz existants (**100 % pour le méthane, 5 à 20 % pour l'hydrogène**)

- \* **Inconvénient majeur :** rendement global de conversion [Électricité → Gaz → Électricité] **très faible...**

# Voie hydrogène : rendement global avec rendements unitaires actuels

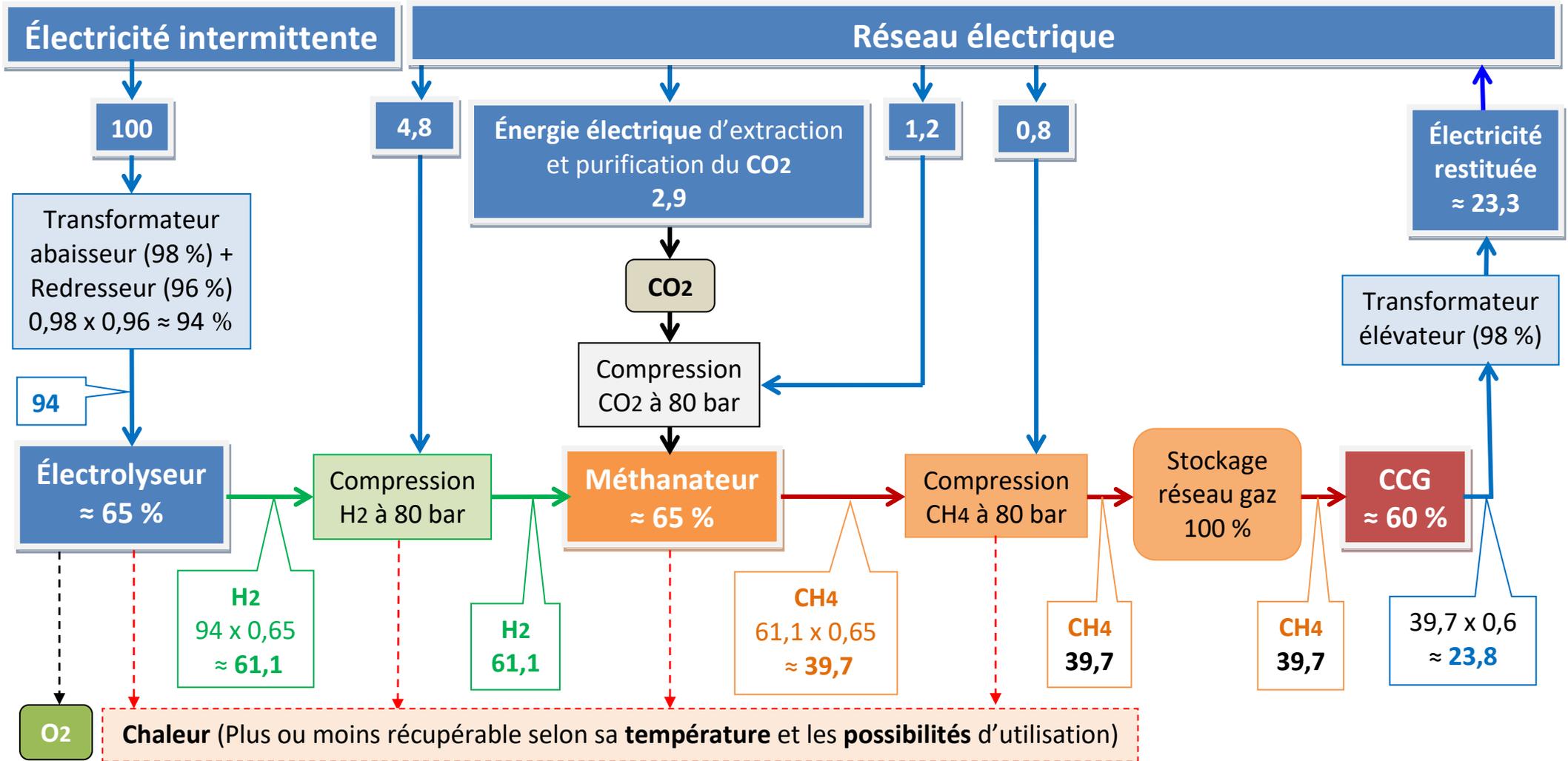


## Rendement global « du moyen de production intermittent au réseau »

\* En régime permanent optimal : avec CCG :  $35,9 / 1,048 \approx 34 \%$  ; avec PAC :  $34,5 / 1,072 \approx 32 \%$

\* En régime opérationnel variable (Pertes supplémentaires de 10 à 15 %) : avec CCG :  $\approx 30 \%$  ; avec PAC :  $\approx 28 \%$

# Voie méthanation : rendement global avec rendements unitaires actuels



## Rendement global « du moyen de production intermittent au réseau »

\* En régime permanent optimal :  $23,3 / [1 + 0,048 + 0,029 + 0,012 + 0,008] \approx 21 \%$

\* En régime opérationnel variable (Pertes supplémentaires de 10 à 15 %) :  $\approx 19 \%$

# Rendements globaux avec rendements unitaires maximaux réalistes

## \* Hypothèses :

- Les équipements à fort potentiel de développement (**électrolyseurs, piles à combustibles et méthanateurs**) sont supposés atteindre des rendements **industriels**  $\approx 90\%$  maximum
- Le rendement des **cycles combinés au gaz** (technologie très mature) augmentera très peu, de  $\approx 60\%$  actuellement à  $\approx 64\%$  maximum (hypothèse réaliste)

## \* Simulation des rendements globaux sur la base des schémas énergétiques précédents :

Rendement Filière	Rendement Electrolyseur	Rendement PAC	Rendement Méthanateur	Rendement CCG	Rendement global à régime constant optimal	Rendement global <b>opérationnel</b>
<b>H<sub>2</sub> + PAC</b>	65 ↗ <b>90 %</b>	60 ↗ <b>90 %</b>	-	-	32 ↗ $\approx 65\%$	<b>28 ↗ <math>\approx 57\%</math></b>
<b>H<sub>2</sub> + CCG</b>	65 ↗ <b>90 %</b>	-	-	60 ↗ <b>64 %</b>	34 ↗ $\approx 50\%$	<b>30 ↗ <math>\approx 44\%</math></b>
<b>CH<sub>4</sub> + CCG</b>	65 ↗ <b>90 %</b>	-	65 ↗ <b>90 %</b>	60 ↗ <b>64 %</b>	21 ↗ $\approx 42\%$	<b>19 ↗ <math>\approx 37\%</math></b>

## \* Conclusion : difficile de faire mieux que doubler les rendements globaux actuels...

→ Les rendements globaux resteront intrinsèquement limités...  
Raison de fond : trop grand nombre de conversions énergétiques (surtout voie CH<sub>4</sub>)

# L'intermittence, l'autre handicap majeur pour le "P-g-p"

Rendements de conversion énergétique trop limités...

+

Alimentation par électricité intermittente  
→ Facteurs de charge trop faibles...

Avec rendements actuels : il faut consommer... 3 à 5 kWh d'électricité pour pouvoir en déstocker 1 seul !

Très faible durée de fonctionnement EPP des chaînes de conversion d'énergie (électrolyseurs, etc.) :

- \* Avec moyens intermittents dédiés <  $\approx 3\ 000$  h/an
- \* Si uniquement surplus intermittents <  $\approx 900$  h/an

→ Il faut **SURDIMENSIONNER** :

- 1) Les installations de conversion d'énergie (électrolyseurs, etc.) car doivent convertir 3 à 5 kWh entrants par kWh sortant !
- 2) Les moyens de production en électricité intermittente dédiés au stockage

INVESTISSEMENTS :

→ Très élevés + Très peu utilisés

→ Très difficiles à amortir

Achats d'électricité très importants

Coûts de l'électricité déstockée très élevés ( $\approx 300-500$  €/MWh !)  
→ PAS de MODÈLE ÉCONOMIQUE en vue à ce jour...

# Le “P-g-p”, mode de stockage énergétiquement le plus concentré...

**Densités énergétiques par m<sup>3</sup> de matière converties en électricité par moyens industriels :**

- \* Énergie potentielle hydraulique (eau des barrages) : 1 m<sup>3</sup> chutant de 700 m entraînant une turbine hydraulique + alternateur : **≈ 1,7 kWh**
- \* Énergie potentielle pneumatique (air comprimé stocké en cavités souterraines) : 1 m<sup>3</sup> comprimé à 70 bar détendu à 20 bar entraînant un moteur à air comprimé + alternateur : **≈ 1,8 kWh**
- \* Énergies potentielles chimiques des gaz combustibles :
  - Hydrogène : 1 m<sup>3</sup> comprimé à 70 bar brûlé dans un cycle combiné au gaz + alternateur : **≈ 125 kWh**
  - Méthane : 1 m<sup>3</sup> comprimé à 70 bar brûlé dans un cycle combiné au gaz + alternateur : **≈ 415 kWh**

→ À iso-volume, les gaz combustibles stockent ≈ 70 à 230 fois plus d'énergie potentielle que l'eau des barrages ou l'air comprimé en cavités souterraines



→ SEULES les énergies potentielles chimiques (ici gaz combustibles) sont aptes à stocker l'énergie en grande MASSE et pour de longues durées (= Inter-saisonniers) afin de répondre aux besoins hivernaux du réseau français : ≈ 2 TWh/24h !

MERCI DE VOTRE ATTENTION