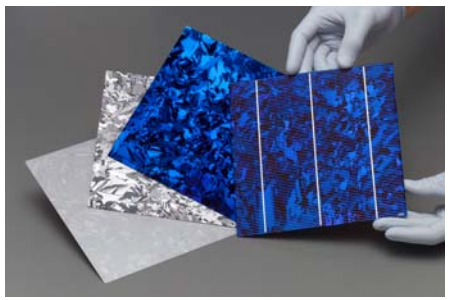
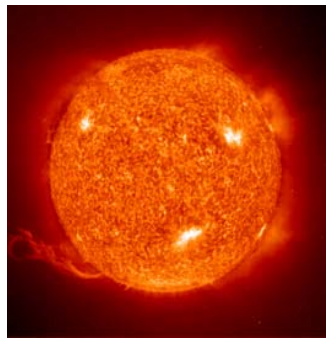
L'hydrogène au service des biocarburants de seconde génération : le potentiel des carburants de synthèse

Bernard Bigot
Haut Commissaire à l'Energie Atomique

ENERGIES RENOUVELABLES

Il y a, au niveau des principes, assez d'énergie d'origine éolienne ou solaire pour répondre à la totalité des besoins de la planète



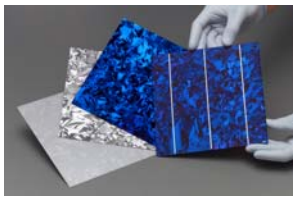


Les principales difficultés sont, outre leur coût actuel, leur intermittance, leur caractère diffus, leur variabilité spatiale et la question de leur stockage qui empêchent ces énergies de représenter une part significative du mix énergétique de la planète.

La seule voie de stockage massif des énergies renouvelables est actuellement le stockage hydraulique ou via la biomasse

Et l'hydrogène ?

Combiner électricité, biomasse et hydrogène pour un stockage associé au transport ?

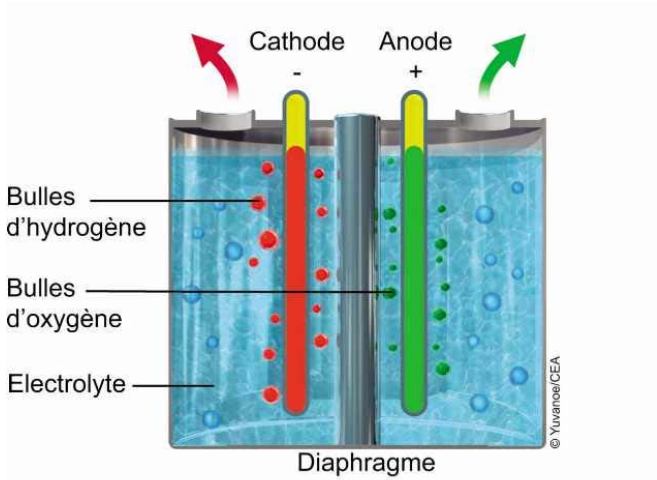


ELECTRICITE

CHALEUR

ELECTRICITE

ELECTROLYSE



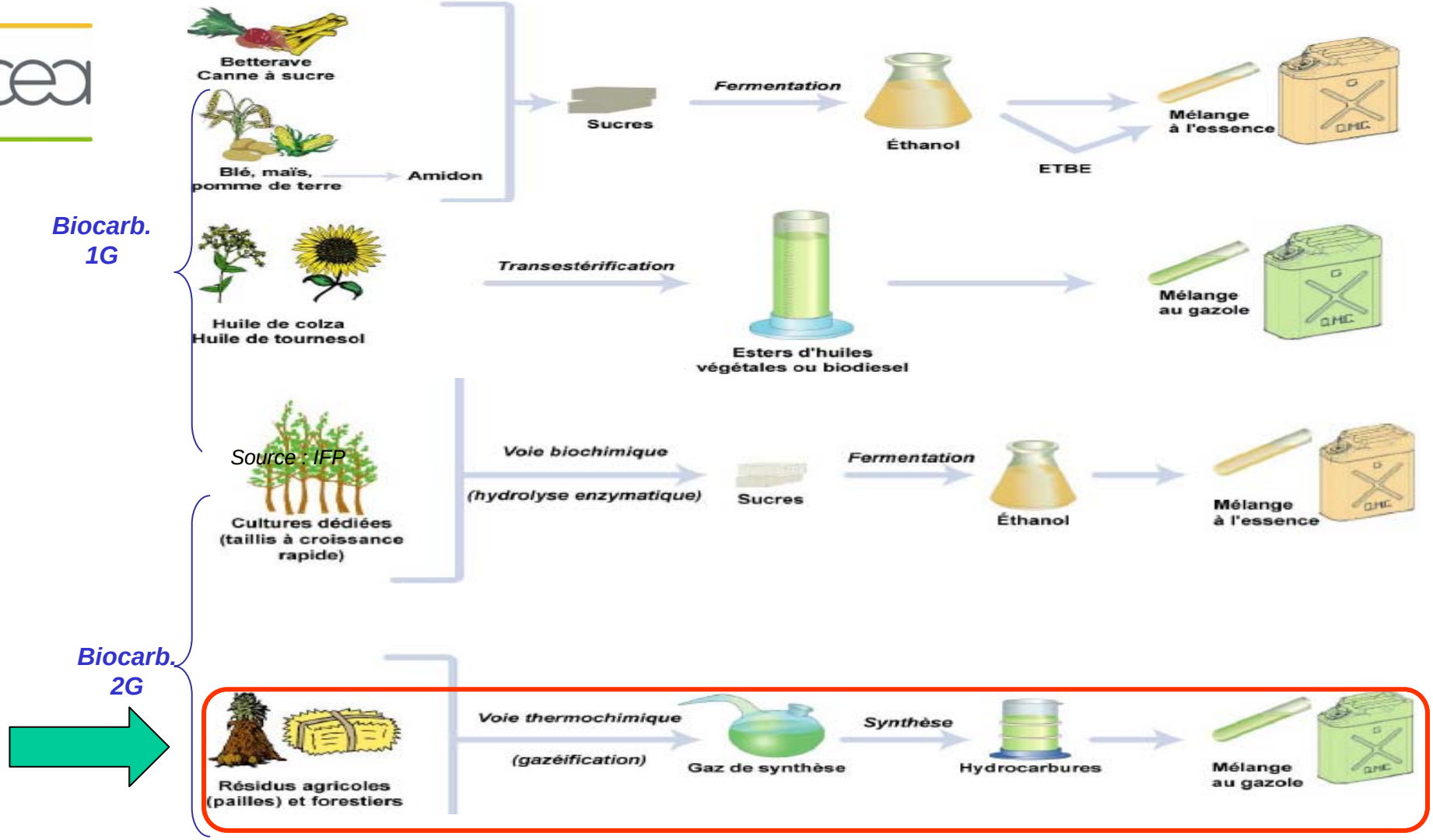
HYDROGENE

BIOCARBURANTS

Véhicule électrique, hydride ou à hydrogène

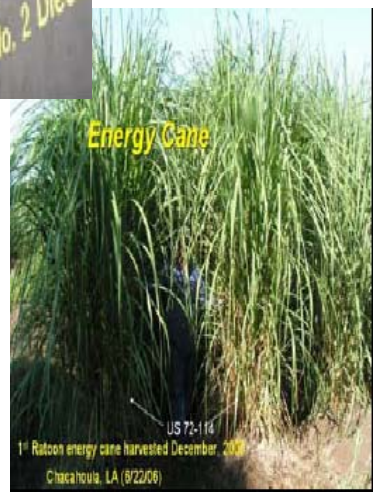
CYCLES THERMOCHIMIQUES

Les différents biocarburants à partir de biomasse



CARBURANT POUR LE TRANSPORT

Les carburants de première génération sont en voie de fort développement, mais ils atteindront rapidement leur limite, en raison de leur maigre rendement



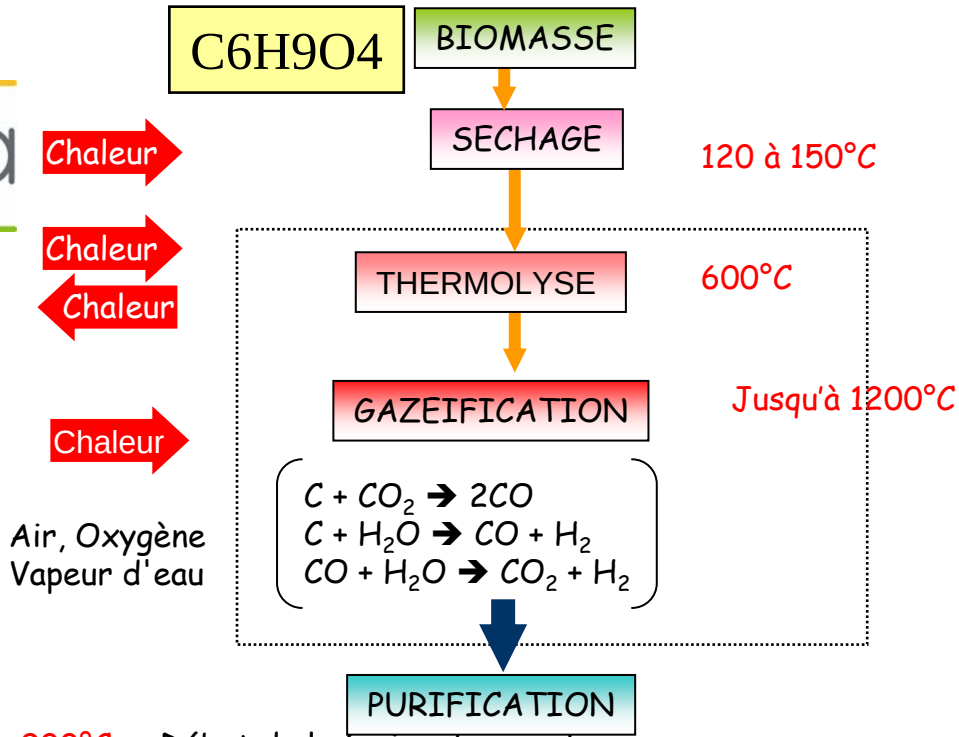
La seconde génération de carburants recouvre :

- la conversion enzymatique de la cellulose en éthanol.
- la transformation de la plante entière par conversion thermochimique et synthèse Fischer Tropsch en diesel.

L'intérêt de la transformation thermochimique est :

- la possibilité d'utiliser tout type de biomasse d'origine agricole ou forestière,
- un rendement supérieur par hectare avec un volume d'intrant inférieur,
- la synthèse de produits qui peuvent remplacer directement les carburants pétroliers,
- la totale séparation de la filière agricole.

Principe de la gazéification



900°C : Début de la fusion des cendres
1100°C : Fin de la dégradation des acides et goudrons

Gaz de synthèse CO, H_2, CH_4

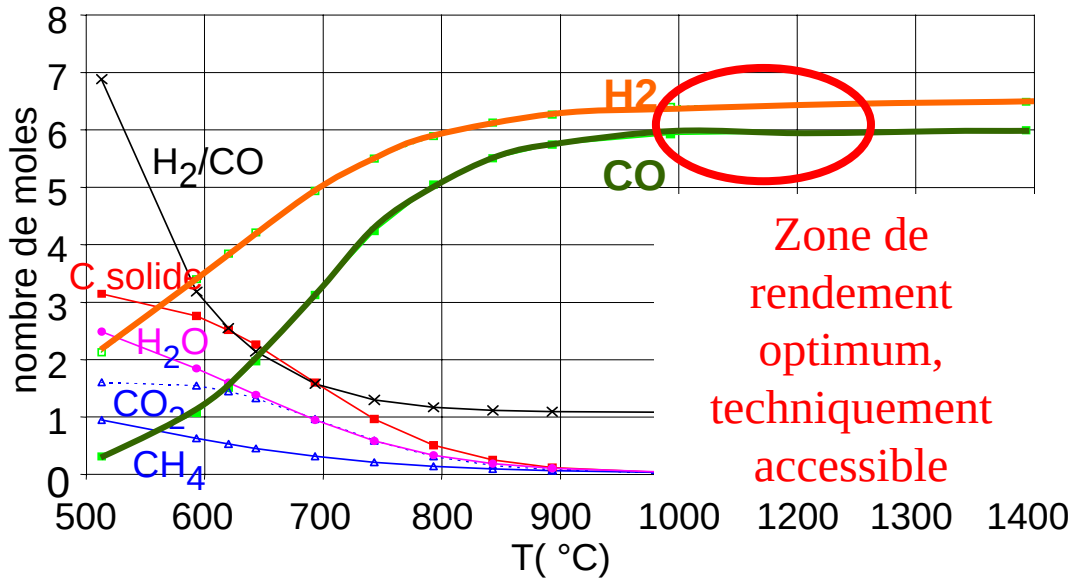
Combustion
Cogénération
Chaleur
Électricité
Mécanique

Synthèse Fischer Tropsch
Chaleur
Carburant liquide

Séparation-shift
Chaleur
Hydrogène

- **Thermodynamique: température élevée, pression faible**

sous 1 bar



- **Cinétique: hautes températures (1250-1500°C) favorisent**
  - **La conversion des goudrons (craquage et maturation)**
  - **La conversion du méthane en CO et H2 (réformage)**
  - **La fusion des cendres (Optique d'utilisation de Déchets)**

=> Production CO et H2 favorisée par procédés à température élevée

Trois objectifs principaux :

1. Maximisation du rendement matière (masse de carburant liquide rapportée à la masse de biomasse utilisée)
2. Maximisation du rendement énergétique (PCI du carburant liquide rapportée à l'énergie totale injectée)
3. Minimisation de l'énergie consommée et donc du prix au litre de carburant (coût de production visé: 0,5 €/l gazole)

Plus l'impératif de séquestrer le CO2 produit par le procédé de transformation de la biomasse, si production de CO2

$C_6H_9O_4 + 2\ H_2O \Rightarrow 6\ CO + 6{,}5\ H2$

Réaction endothermique

Autothermique

La combustion consomme ~ 2C et 2 H2

Restent: 4 CO + 4,5 H2

Allothermique (chaleur externe)

Restent 6CO et 6,5 H2

La synthèse de biocarburant nécessite: H2/CO ~2

Pour FT, DME et Méthanol

Réaction de Gaz-Shift :
1,5 CO => 1,5 H2

Restent: ***2,5 CO + 6 H2***

Bilan synthèse : max 2,5 CH2

Bilan avec pertes : ~1,5 CH2,

Rendt masse ~ 15%

Shift
2 CO=> 2 H2

4 CO 8,5 H2

4 CH2

~3 CH2

Rendt masse ~30 %

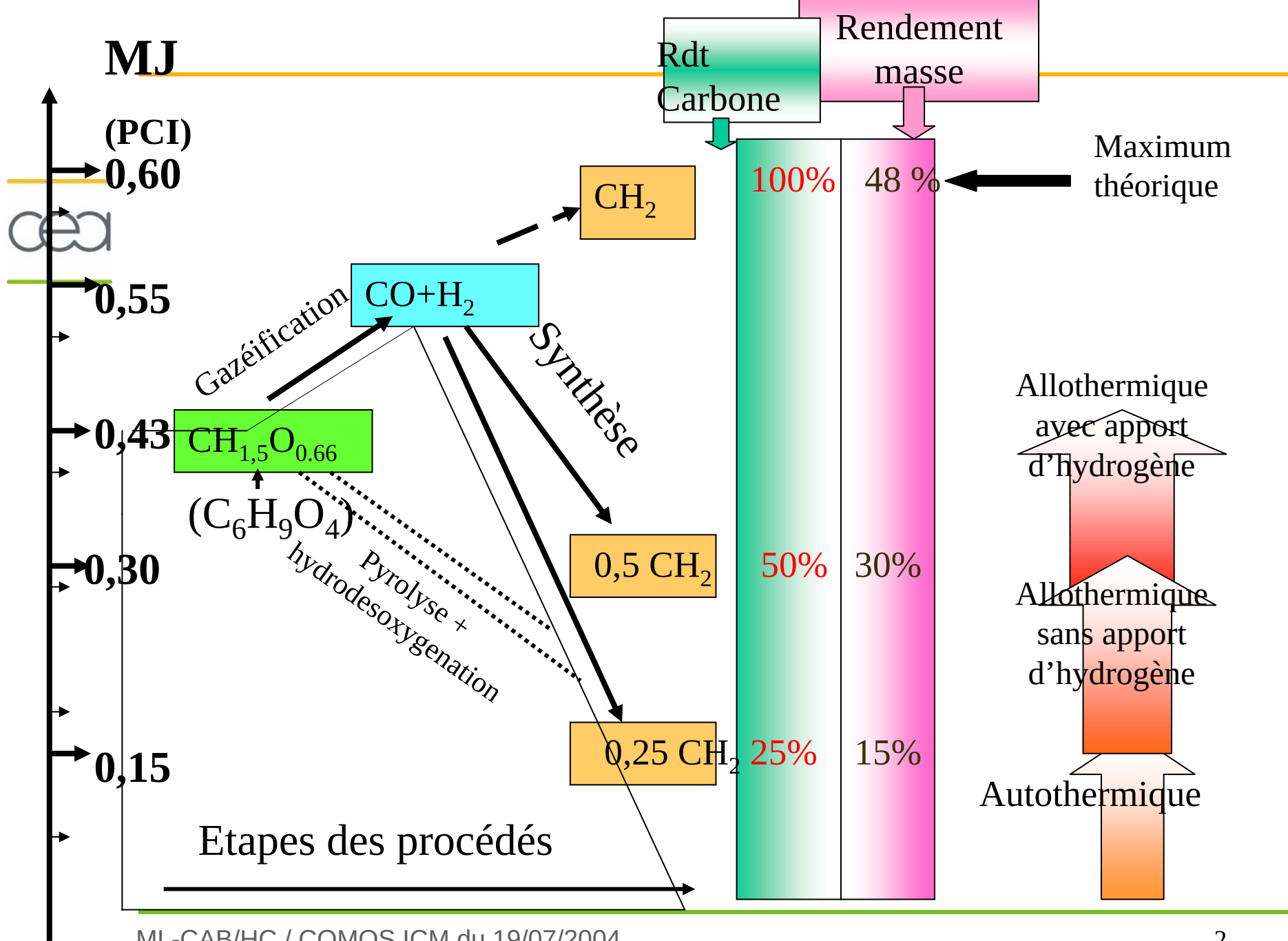
Pas de shift, mais
Apport H2 externe

6 CO 12 H2

6 CH2

~ 5 CH2

Rendt masse ~ 48 %


MJ
(PCI)
0,60
0,55
0,43
0,30
0,15
Rdt Carbone
Rendement masse
Maximum théorique
100%
48 %
CH2
CO+H2
Gazéification
Synthèse
CH1,5O0.66
(C6H9O4)
Pyrolyse + hydrodesoxygenation
0,5 CH2
50%
30%
0,25 CH2
25%
15%
Allothermique avec apport d'hydrogène
Allothermique sans apport d'hydrogène
Autothermique
Etapes des procédés

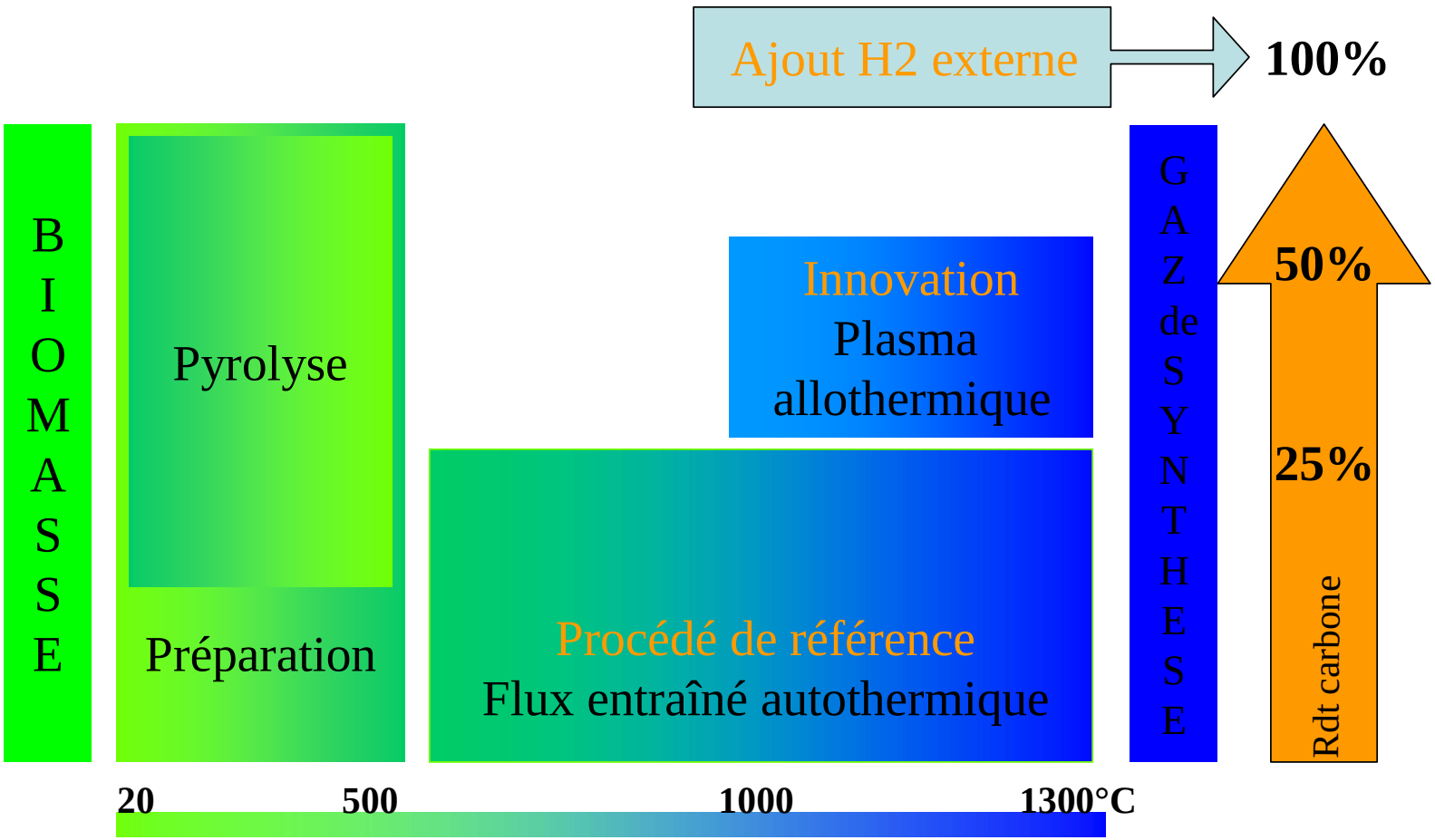
Comparaison de la productivité des filières biocarburants

- Ethanol: 0,65 à 0,85 tep/ha
  - Soit pour 2 Mha: **1,5** Mtep
- EMHV (Biodiesel: 0,7 à 0,95 tep/ha
  - Soit pour 2 Mha: **1,8** Mtep
- Gazéification autothermique: 1,5 tep/ha (avec 10 t biomasse/ha)
  - Soit pour 50 Mt **: 7,5** Mtep
- Gazéification allothermique (chaleur seule) : 3 tep/ha
  - Soit pour 50 Mt : **15** Mtep
- Gazéification allothermique (chaleur + hydrogène) : 4,5 tep/ha
  - Soit pour 50 Mt : **22** Mtep

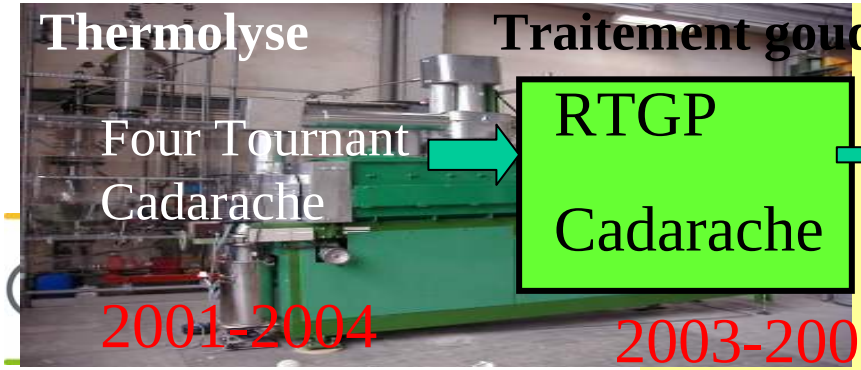
(compte tenu de l'indice énergétique avec valorisation des co-produits)

Intérêt de la gazéification: utilisation de toute la plante
+ potentialité utilisation de déchets
+ démultiplication par apport externe
(Consommation annuelle de carburants en France~50Mtep)

Démarche de mise en oeuvre



Installations d'essais CEA



Thermolyse

Four Tournant Cadarache

2001-2004

Traitement goudrons

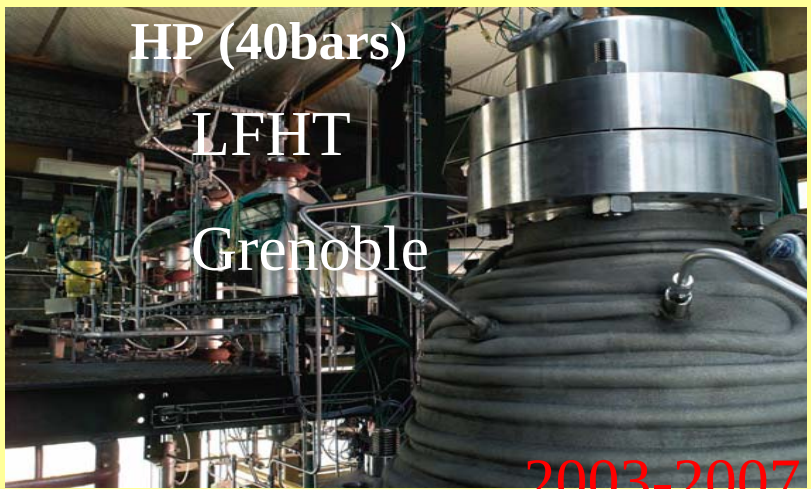
RTGP Cadarache

2003-2005

Tube HT Cad

2005

Lit Fluidisé HT



HP (40bars)

LFHT Grenoble

2003-2007

Traitement CH4, goudrons, inorganiques

PEGASE Grenoble

2005-2007

Tube à gradient de T (inorganiques)

COLINE

Interaction matériaux SOFC

MATISSE

Test SOFC, 800°C

SOFC

2005-2008

500°C

1000°C

1500°C

Existant

En Projet

Contrat GFC

Contrat GASPAR

Production de carburants de synthèse à partir de la biomasse lignocellulosique

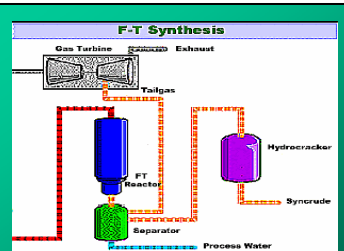
Biomasse (30 Mtep)

- **Bois**
- **Résidus agricoles ou forestiers**
- **Cultures dédiées**

GAZEIFICATION

Gaz de synthèse

CO, H2…



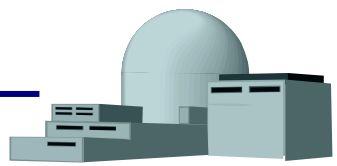
SYNTHESE FISCHER-TROPSCH

Naphta
Kérosène
Gazole

(22 Mtep)

~ 45 % de la consommation des transports

Chaleur



Hydrogène

Energie nucléaire
580 TWh_e – 70 réacteurs

Il faut des choix

⇒Il sera nécessaire de faire des choix pour l'utilisation d'une ressource disponible en quantité limitée

⇒Par exemple la production de 10 % électricité d'origine biomasse nécessiteraient environ 50 Mt de biomasse, soit en ordre de grandeur, une grande partie de l'inventaire de la biomasse de toutes origines, annuellement renouvelable en France