
Optimisation du couple carburant-moteur

Yves EDERN

Journées annuelles du pétrole

Hydrocarbures: la maîtrise du futur

Atelier 3: le raffinage du futur

Un contexte incertain et contraignant

- Quelle contrainte finale sur les émissions de CO₂ des raffineries ?
- Quelles spécifications sur les carburants pour les technologies moteur du futur ?
- Quelle ressource énergétique sera disponible ?
- Quels vecteurs : liquide, électrique, hydrogène ...?
- Quel sera le calendrier ?

Historique

1770 : Le Fardier de Cugnot,
machine à vapeur pour la traction des canons

1860 : Moteur 2 temps de Lenoir à gaz

1876 : Moteur 4 temps de Otto à gaz

1883 : Véhicule 4 roues à moteur 4 temps

1887 : Brevet du moteur à essence de Daimler

1892 : Moteur diesel { *à l'huile d'arachide*
poids 5 tonnes
puissance 20 chevaux

1895 : PARIS – BORDEAUX - PARIS

Paris-Bordeaux-Paris, Juin 1895

20 voitures au départ

13 voitures à pétrole, 6 voitures à vapeur, 1 voiture électrique

9 voitures à l'arrivée

8 voitures à pétrole, 1 voiture à vapeur ...classée dernière

➡ Quelques performances :

- Temps du vainqueur : 59h48min soit à 20 km/h
- Les voitures à vapeur s'arrêtaient tous les 50 kms pour faire le plein d'eau et de charbon
- La voiture électrique devait changer ses 38 batteries de 540 kg tous les 30 kms (un train spécial avait été affrété pour leur mise en place)
- Une seule voiture à pneus gonflables, arrivée hors délais (100 h) après plus de 50 crevaisons et deux incendies

Paris-Bordeaux-Paris, Juin 1895

Malgré

1899 : La première voiture à franchir les 100 km/h est une voiture électrique

1903 : Record du monde de vitesse (77 km/h pour une voiture à éthanol agricole)

**Le XX ème siècle verra le triomphe
du moteur à pétrole : essence et diesel**

Adéquation Moteur-Carburant

Pour réussir, il faut un certain nombre d'**atouts** :

Les carburants et les lubrifiants / Les matériaux et les équipements

Ils ont su répondre aux exigences de l'évolution des technologies des moteurs :

Puissance, vitesse, fiabilité, agréments de conduite

Le moteur à pétrole s'impose dans tous les modes de transport. En 1970 , le parc mondial de véhicules dépasse 300 millions d'unités consommant 1Gtep.

Mais **2 nouvelles exigences** s'imposent :

la réduction des émissions de polluants

la réduction des consommations

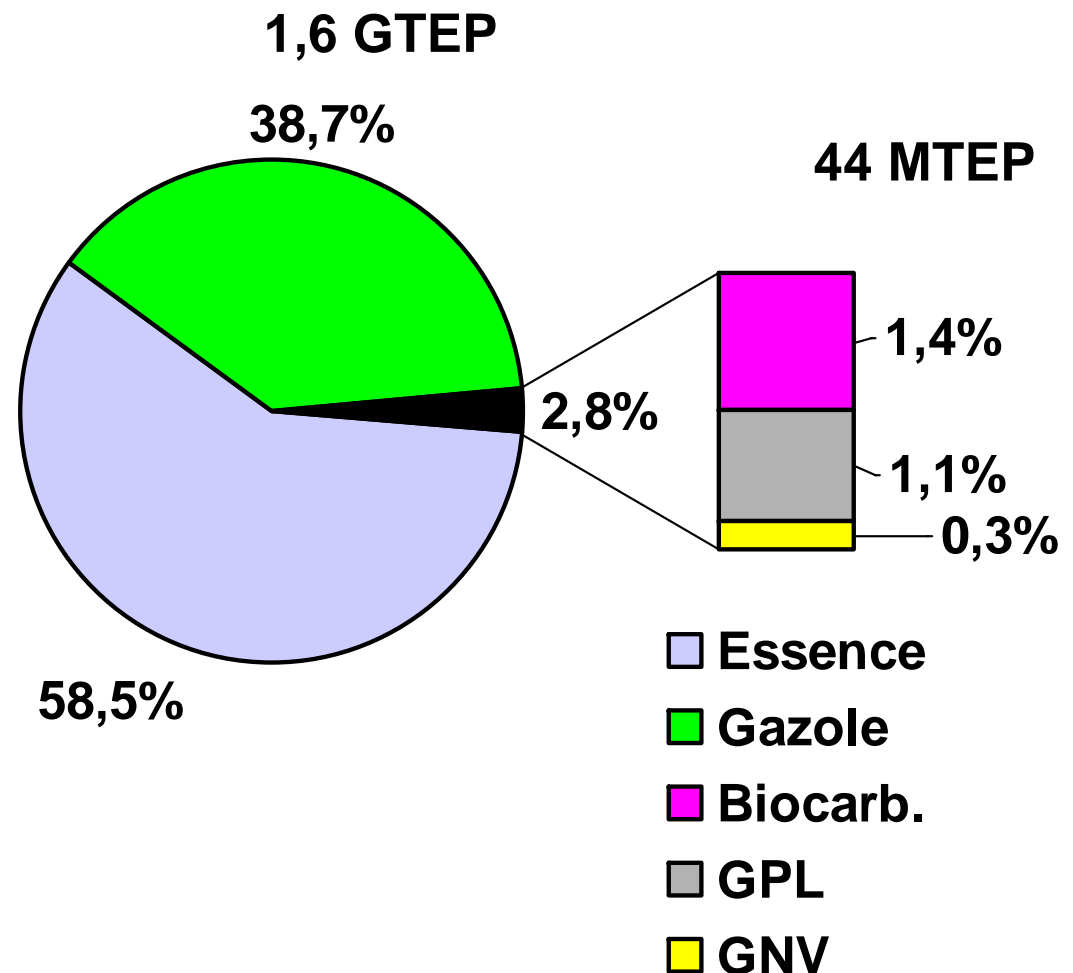
Le couple Moteur - Carburant va répondre largement à la première et conserve des potentialités d'évolution pour la seconde (sans hybridation un gain de 20 à 30% est envisageable à terme)

Contexte énergétique des carburants aujourd'hui

Consommation mondiale d'énergie dans les transports en 2005

En 2005, au niveau mondial, le secteur transport :

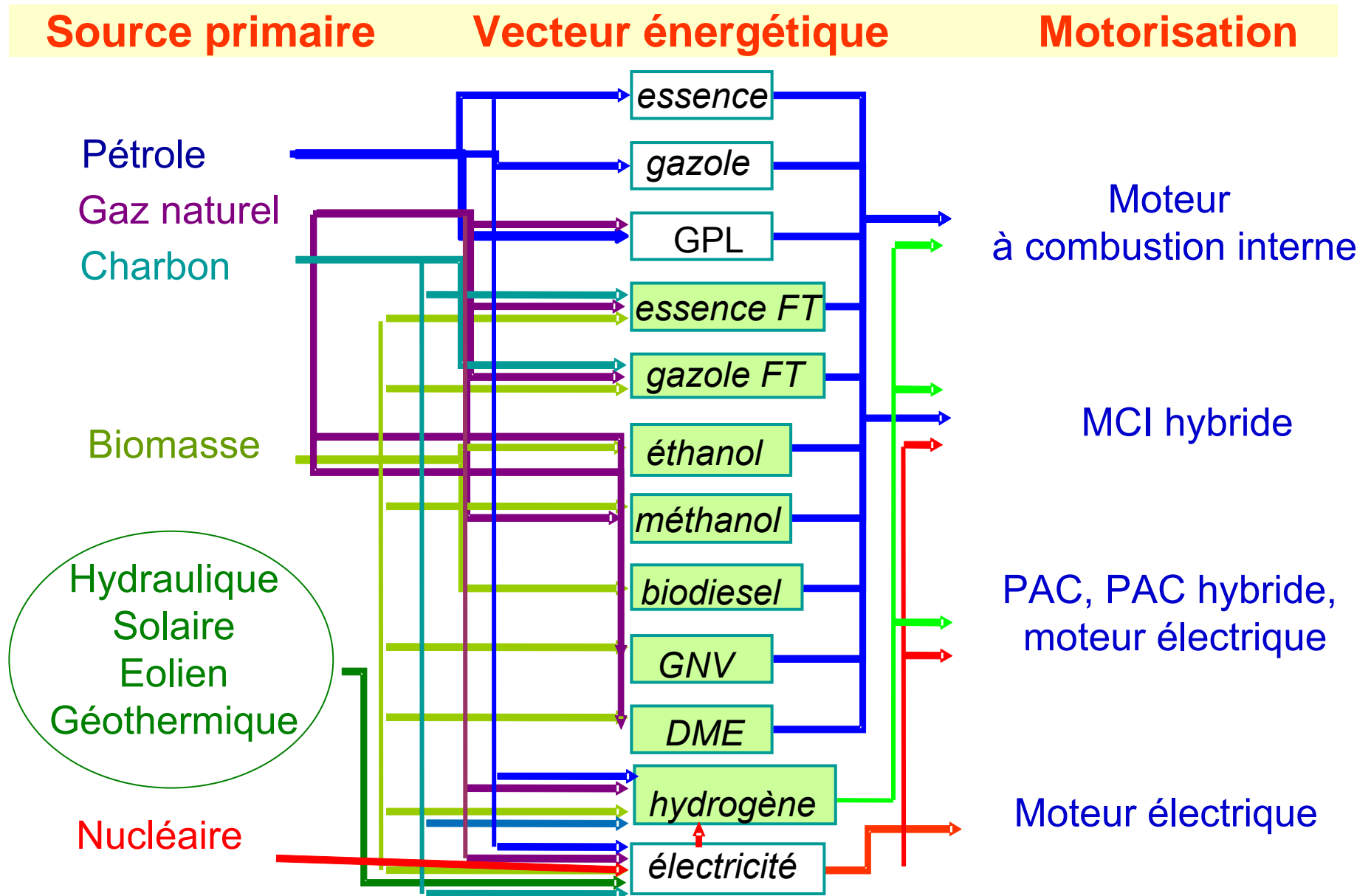
- dépend du pétrole à 97%
- représente plus de 50 % de la consommation de pétrole
- représente 20 % de la consommation d'énergie
- suit une croissance annuelle de l'ordre de 2 % /an



Parc automobile et consommations

	2005	2050	2100	
VP <i>(millions)</i>	500	1200	2000	
VU <i>(millions)</i>	350	500	700	
Consommation <i>(Gtep)</i>	1,6	3,5	4,0	
Production pétrole <i>(Gtep)</i>	3,7	3,5	1,5	
Consommation totale énergie <i>(Gtep)</i>	11	18	23	

Quelles options pour le transport aujourd'hui ?



Chaîne des conversions énergétiques

Energie primaire **100**

Transformation

Energie secondaire **75**

Transport Distribution

Energie finale **70**

Conversion finale

Energie utile **37**

Conditions d'utilisation ?

Chaîne des conversions énergétiques

Energie primaire **100**

Transformation

Energie secondaire **75**

Transport Distribution

Energie finale **70**

Conversion finale

Energie utile

Conditions d'utilisation

Alors ?

La seule énergie humaine ?

1 Homme = 250 W

35h/sem = 8,75 kwh = 0,7 kep

2000 h/an = 500 kwh = 40 kep

6 G hab = 240 Mtep

soit 2% de l'énergie consommée

Même si on multiplie par 2 ou 3

avec nos amies les bêtes ...

Chaîne des conversions énergétiques

Energie primaire **100**

Transformation

Energie secondaire **75**

Transport Distribution

Energie finale **70**

Conversion finale

Energie utile

Conditions d'utilisation

Alors ?

Et le soleil ?

La terre reçoit $5,54 \cdot 10^{24}$ Joules par an du soleil
Comme 1 tep = 42 109 Joules

**La terre reçoit l'équivalent
de 130 000 Gtep/an du soleil**

Pouvoir calorifique (PCI)

Nom	Formule	pm	% O ₂	PCI kJ/g	PCI kWh/kg
Carbone	C	12	0	33	9,2
Hydrogène	H ₂	2	0	143	39,7

équivalence :

1 kwh/kg

3,6 kJ/g

0,861 kcal/g

Le carburant idéal ?

39.7 kWh/kg, pas de CO₂ à l'utilisation, 3.5 fois l'énergie de l'essence

Oui mais

Production

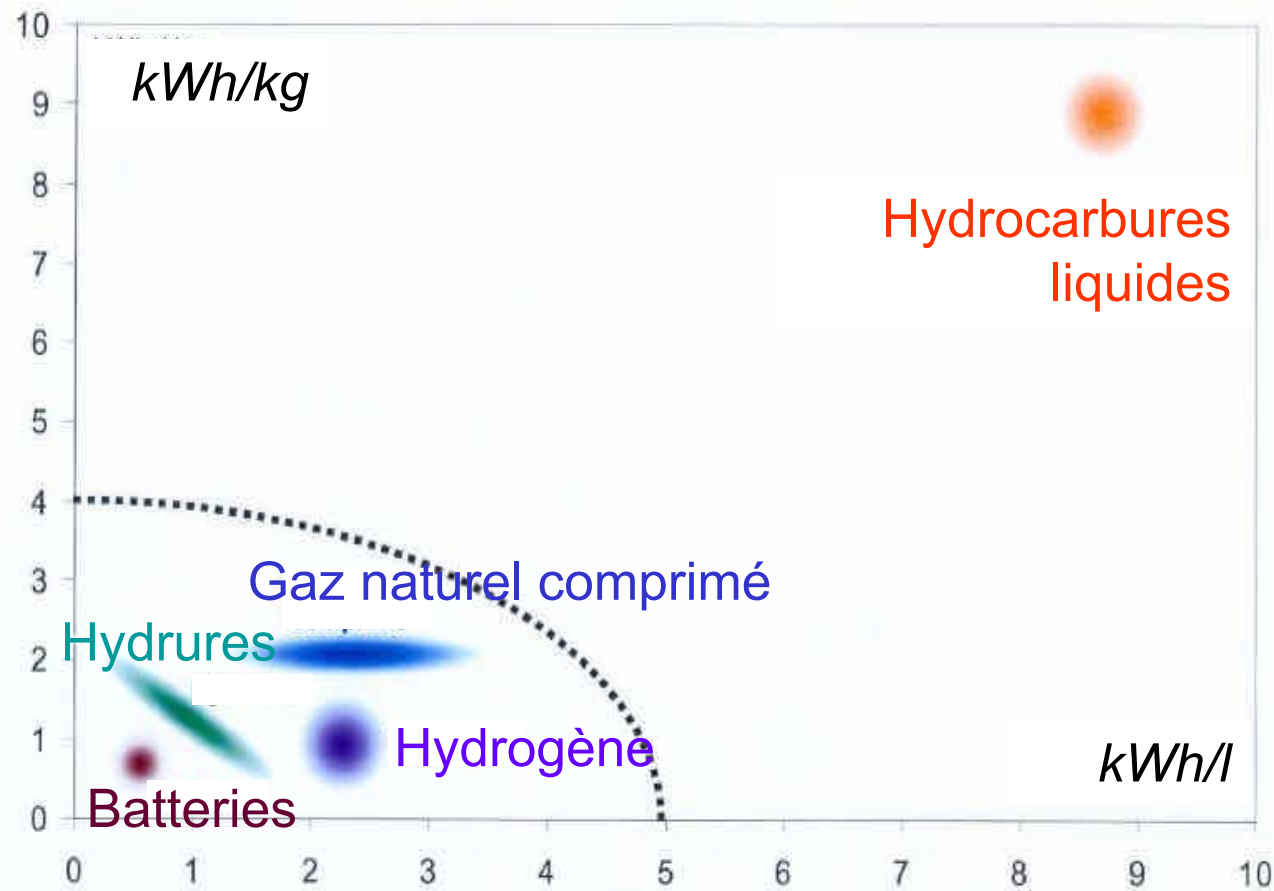
- ◆ CO₂ à la production ?
- ◆ Du pire (*électrolyse avec charbon électrique*)
au meilleur (*électrolyse avec électricité renouvelable*),
en passant par la voie **SMR du gaz naturel avec CCS**

Stockage

- ◆ 1 kg d'H₂ = 14 l à - 253°C. H₂ comprimé ? 1 kg H₂ gazeux = 12 m³
Pour faire tenir 1 kg de H₂ sous 3,5 l (équivalence avec essence),
il faut comprimer sous une pression de 3430 bars (12000/3,5)
- ◆ **Les hydrures ?** 1 l de Palladium peut absorber 900 l d'H₂ ce qui ne fait que 80g;
pour avoir 1 kg d'H₂ il faudrait 12,5 l de Palladium soit un poids de 175 kg

Compacité énergétique

Les hydrocarbures liquides :
une compacité énergétique inégalée



Gaz naturel comprimé : réservoir acier ou composite

Hydrogène : liquide ou comprimé de 5000 à 10000 PSI en réservoir composite

Le carburant idéal ?

Alors ?

L'idéal n'est-il pas de combiner l'hydrogène et le carbone

pour donner des hydrocarbures liquides

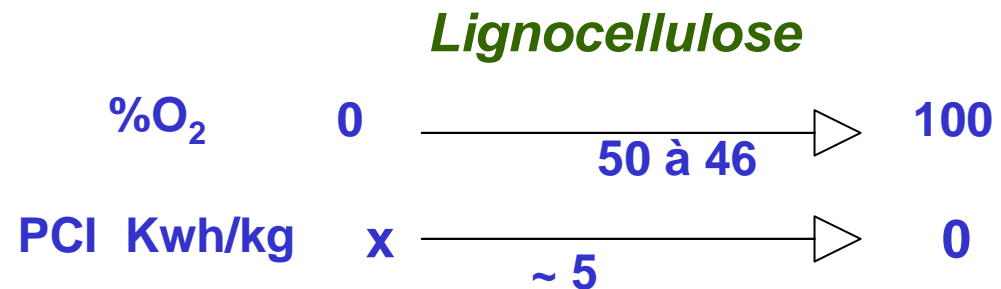
faciles à stocker, manipuler, transporter

... et ayant une bonne capacité énergétique ?

En attendant des évolutions technologiques significatives de l'utilisation de l'hydrogène ...

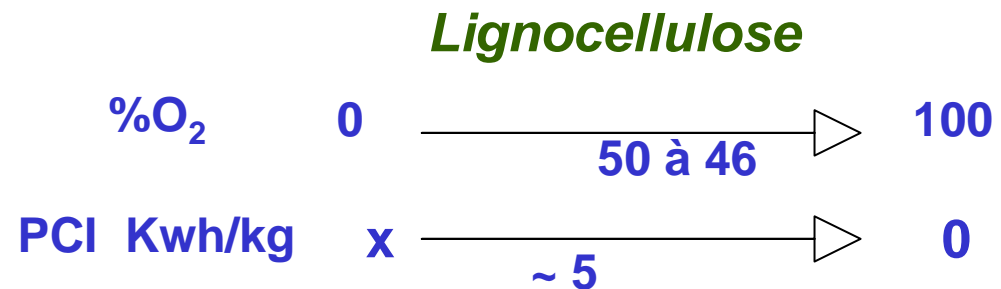
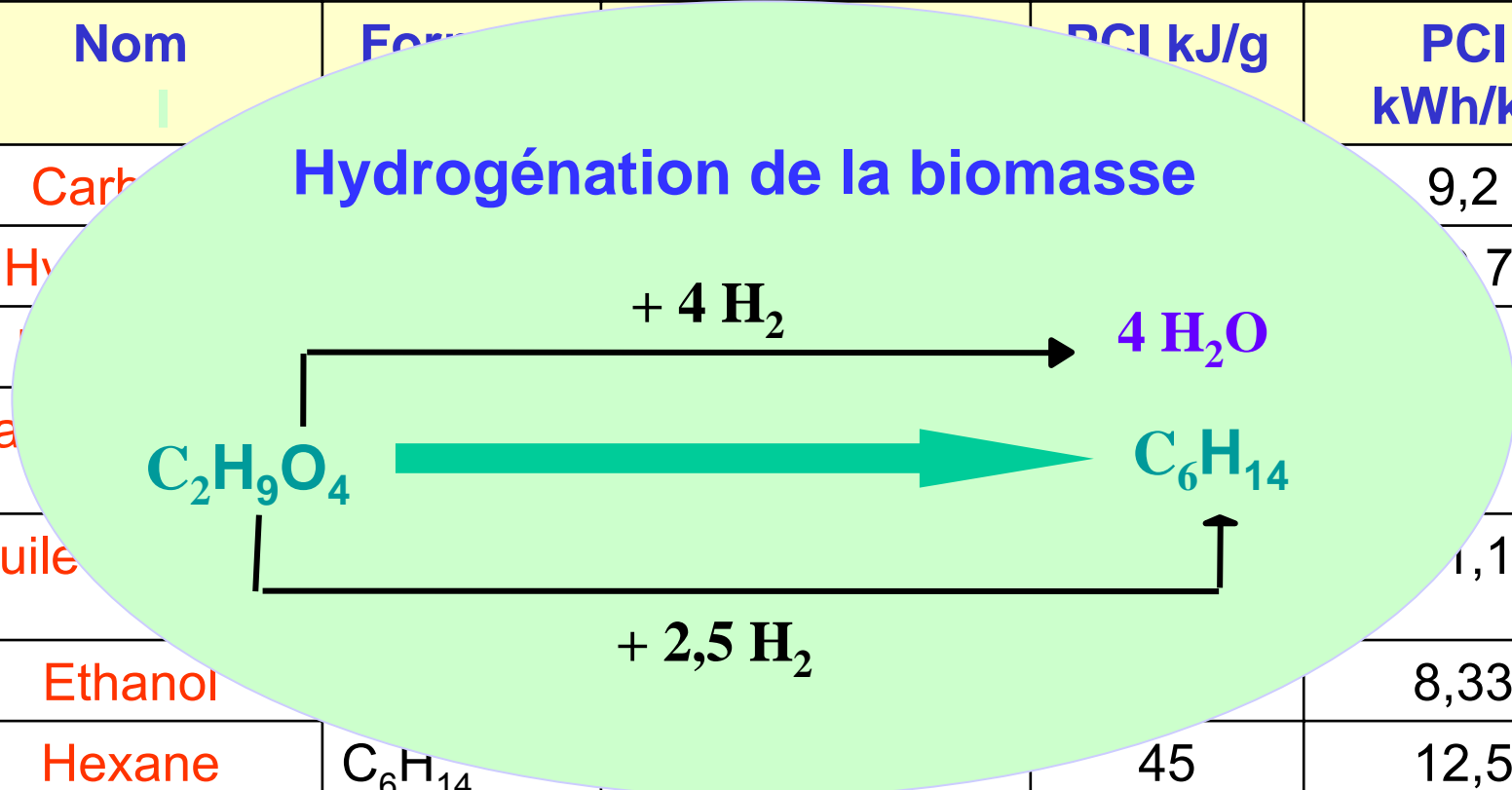
Pouvoir calorifique (PCI)

Nom	Formule	pm	% O ₂	PCI kJ/g	PCI kWh/kg
Carbone	C	12	0	33	9,2
Hydrogène	H ₂	2	0	143	39,7
Biomasse	C ₆ H ₉ O ₄	145	44	< 18	< 5
Saccharose	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	342	51	15,1	4,2
Huile de Colza	C ₆₀ H ₁₁₆ O ₆	932	10	40	11,1
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	46	35	30	8,33
Hexane	C ₆ H ₁₄	86	0	45	12,5



Pouvoir calorifique (PCI)

Nom	Formule	PCI kJ/g	PCI kWh/kg
Carbone			9,2
Hydrogène			120,7
Safran			
Huile			11,1
Ethanol			8,33
Hexane	C_6H_{14}	45	12,5



Quelle biomasse ?

La terre reçoit l'équivalent de 130 000 Gtep/an du soleil

Surface de la terre : 510 millions de km²

dont 137 pour les terres émergées, dont

{ 34 pour les déserts
60 pour les forêts
27 pour les montagnes
15 pour les terres arables (2,5%)
1 pour l'urbanisation

Même si on pouvait "doubler" la surface des terres arables à 30 Millions de km² soit 3 Milliards d'hectares à 1, 2 ou 3 tep à l'hectare on ne fournirait pas l'énergie au niveau actuel de consommation

On peut en conclure que nous ne pouvons nous satisfaire :

- ni de la seule utilisation des terres arables
- ni des rendements actuels de conversion de l'énergie solaire par la biomasse cultivée

(pour laquelle les intrants consomment une part significative de la valeur énergétique)

Estimations de la biomasse

□ Biomasse terrestre

Stock estimé ~ 2000 Gtep

Flux annuel ~ 400 Gt, soit 120 Gt de matière sèche ou **55 Gtep**

□ Biomasse marine

Stock estimé ~ 30 Gt

Production annuelle (*cycle de vie court*) ~ 430 Gt, soit **40 Gtep**
mais plus aléatoire et difficile à exploiter

□ Biomasse totale

Production annuelle théorique ~ **95 Gtep**,
soit **6 fois la consommation mondiale d'énergie**,
mais à peine 1/1000ème de l'énergie solaire reçue
(*rendement photosynthèse < 0,3%*)

Estimations de la biomasse

Biomasse totale : 95 Gtep

Utilisations actuelles par l'homme

5,4 Gtep (6%)

alimentation 2,6 Gtep

matériaux 0,9 Gtep

énergie (chauffage) 1,9 Gtep

Tout ce qui est arable est alimentaire aujourd'hui. Donc seule la part forêt a de la réserve ➤ **2ème génération**

PPN: production primaire nette:

10% arables, 20% paturage, 60% forêt et 10% autres.

**Seule une partie est récupérable ~ 50%,
ou exploitable ~ 20%, et rendement du
passage en biocarburant ~ 40%**

*Renouvellement a minima du stock,
parties racinaires, non ligneuses ..*

Biomasse disponible ~ 0,5 Gtep

Utilisations de l'énergie solaire

