

Le bio-éthanol

Frédéric Monot

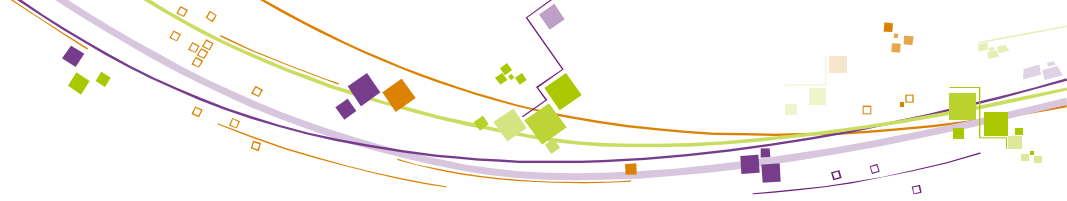
Direction Chimie et Physico-chimie appliquées
Département Biotechnologie

« La biomasse – Energies nouvelles et renouvelables
Un élément clé au service d'une croissance durable »
28-29/03/2013 – Paris La Défense



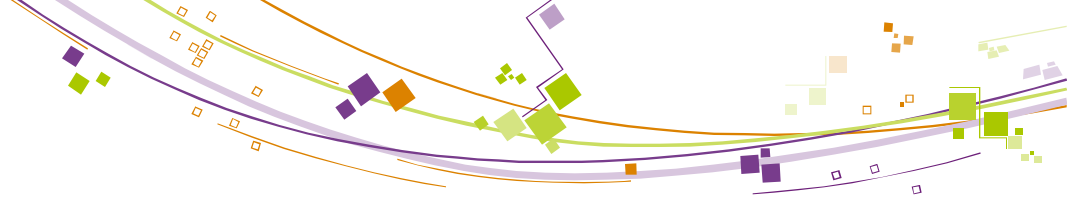
IFPEN et les biocarburants : de la production à l'utilisation – quelques dates clés

- **Démonstration de production de biocarburant (acétone-butanol) ex tiges de maïs (1987)**
- **Unités de production d'ETBE (90s)**
- **Unité de production de Biodiesel *Esterfip* à Compiègne (92 & 98)**
- **Unité démonstration Fischer Tropsch (2004) (GtL)**
- **Projet européen NILE (2005-2010)**
- **Unité de production de Biodiesel *Esterfip H* (2006) (8 références)**
- **Futurol (2008 – Ethanol 2G)**
- **BioTfuel (2010 – BtL)**



Bio-éthanol

- Contexte : pourquoi de l'éthanol-carburant ?
- Ressources : quelles matières premières ?
- Production : procédés
 - bio-éthanol de 1ère génération
 - bio-éthanol de 2ème génération
- Conclusion

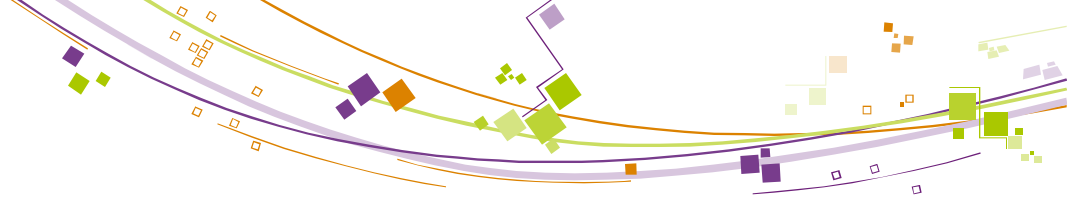


L'éthanol : un carburant ?

L'éthanol : un carburant d'avenir

Ethanol dans voitures à
vapeur
Record : 120 km/h (1902)





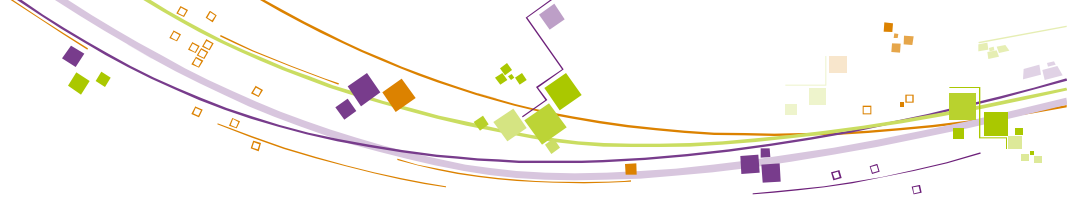
Ethanol vs bio-éthanol

CH₃-CH₂-OH éthanol

CH₃-CH₂-OH bio-éthanol

Masse molaire : 46 g / mol

d : 0.789



Ethanol et moteurs à combustion interne

■ Avantages

- Aptitude au mélange avec l'essence : E5 / E10 / E85+
- Indice d'octane : moins de cliquetis et potentiel d'optimisation
- Combustion avec un impact positif sur l'environnement (local et global) en comparaison avec la combustion de l'essence
 - HC, CO : - 5% à - 10% + Gain émissions de CO2

■ Inconvénients

- Faible contenu énergétique : - 1/3 versus carburants pétroliers
- Accroissement des émissions par évaporation
- A de faibles teneurs en éthanol et en présence de trace d'eau, risque de séparation des phases
- A de fortes teneurs en éthanol, nécessité d'adapter le véhicule

Ethanol et moteurs à combustion interne

Des solutions existent

- Transformation de l'éthanol en ETBE

ETBE ne présente pas les inconvénients de l'éthanol :

- évaporation
- démixtion

Mais...

- disponibilité en isobutène limitée
- bilan CO₂ balance moins favorable

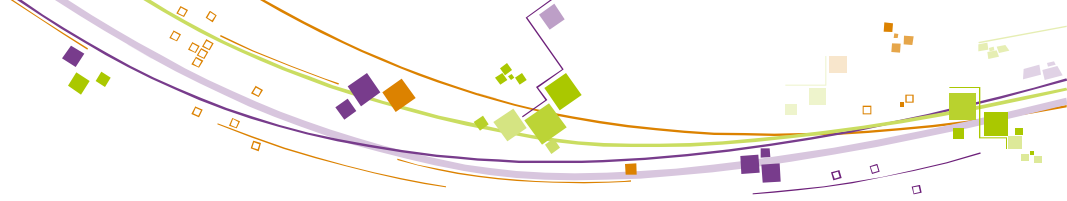
- Incorporation d'éthanol à essences de faible volatilité
- Véhicules flex-fuel (E85)



Ethanol et éthers

	ETBE	Ethanol	Gasoline
M (g/mol)	102	46	102
C (% wt)	71	52	86
H (% wt)	14	13	14
O (% wt)	16	35	0
Vol. mass (kg/m ³)	750	794	735-760
Latent heat of vaporisation (kJ/kg)	321	854	289
T eb (°C)	73	78	30-190
RON	117	111	95
MON	101	92	85
LHV* (MJ / kg)	35.9	26.8	42.7

* Lower Heating Value



Véhicules Flex-fuel

- Véhicules Flex fuel peuvent fonctionner avec n'importe quel mélange éthanol-essence
- Capteurs placés dans réservoir => proportion réelle d'éthanol dans le mélange
- Injection et allumage ajustés automatiquement



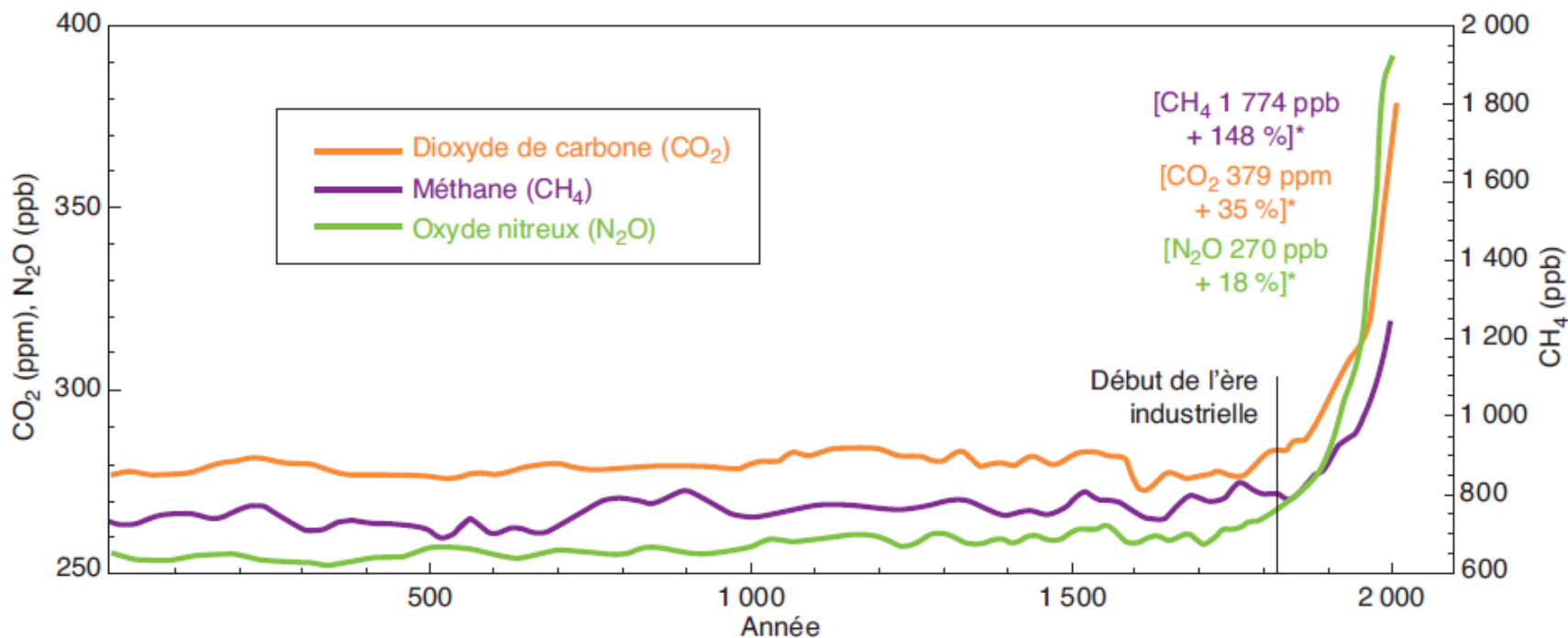
Bio-éthanol

- **Contexte :**
 - **Bio-éthanol = carburant**
 - **Pourquoi l'utiliser ?**
 - Energie
 - Environnement
 - Transport
 - Politique



Contexte environnemental

Concentration atmosphérique de GES



* Le chiffre entre crochets correspond au pourcentage de croissance des concentrations atmosphériques des gaz représentés entre 1750 et 2005

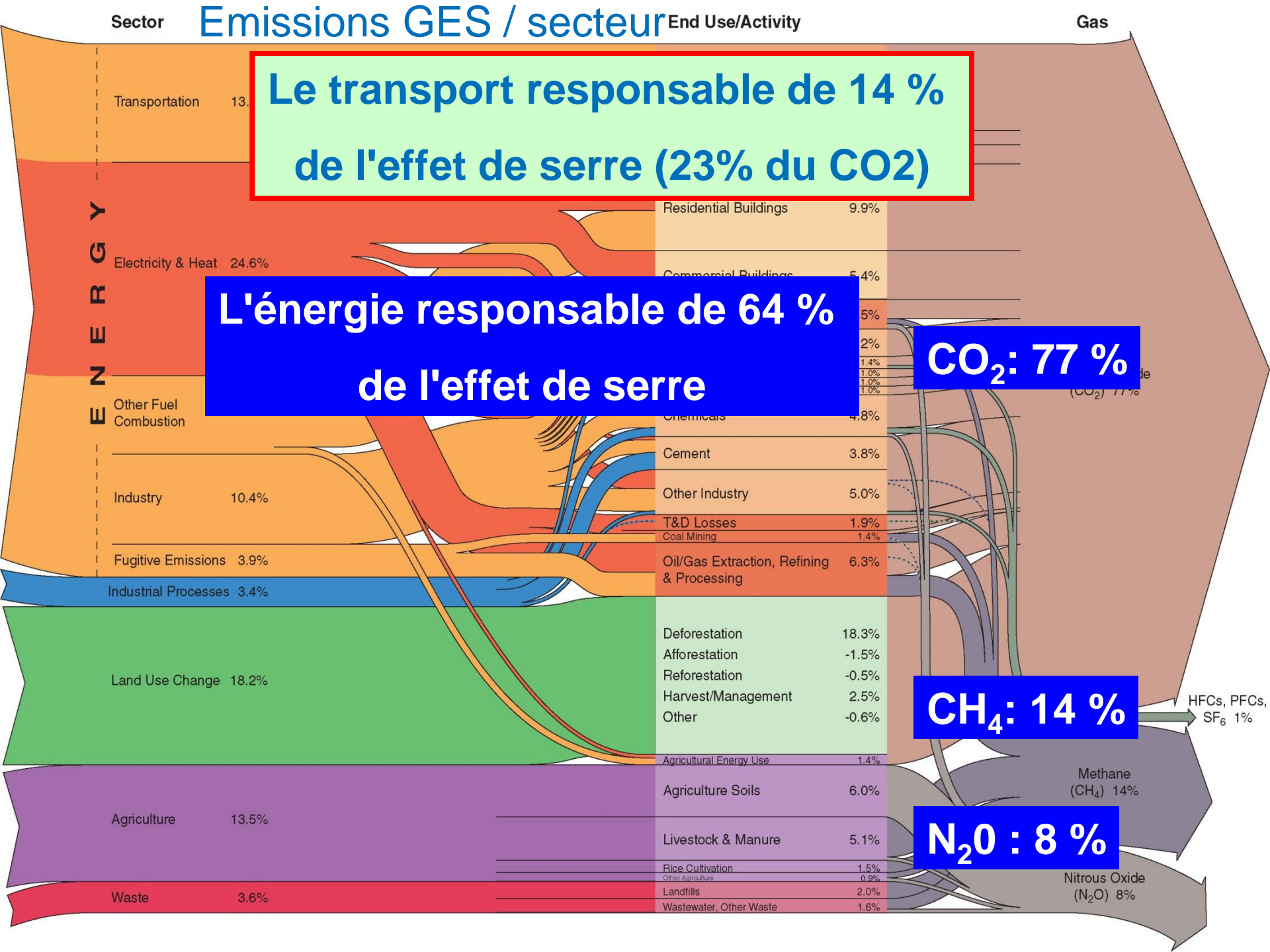
Source : GIEC, 4^e rapport (2007)

Source : Panorama IFP 2010

Sector

Emissions GES / secteur End Use/Activity

Gas



Le transport responsable de 14 % de l'effet de serre (23% du CO2)

L'énergie responsable de 64 % de l'effet de serre

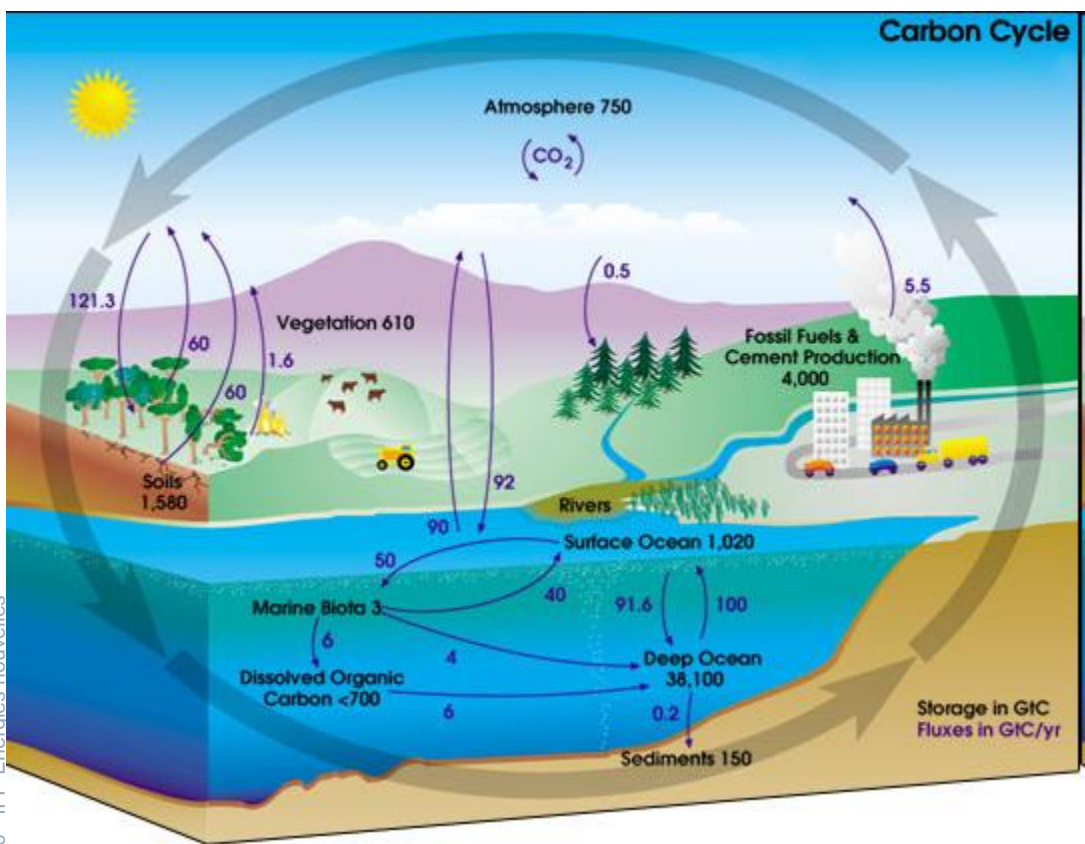
CO₂: 77 %

CH₄: 14 %

N₂O : 8 %

Une solution : la biomasse dans les transports

Cycle du C neutre



In any given year, tens of billions of tons of carbon move between the atmosphere, hydrosphere, and geosphere. Human activities add about 5.5 billion tons per year of carbon dioxide to the atmosphere. The illustration above shows total amounts of stored carbon in black, and annual carbon fluxes in purple. (Illustration courtesy NASA Earth Science Enterprise)

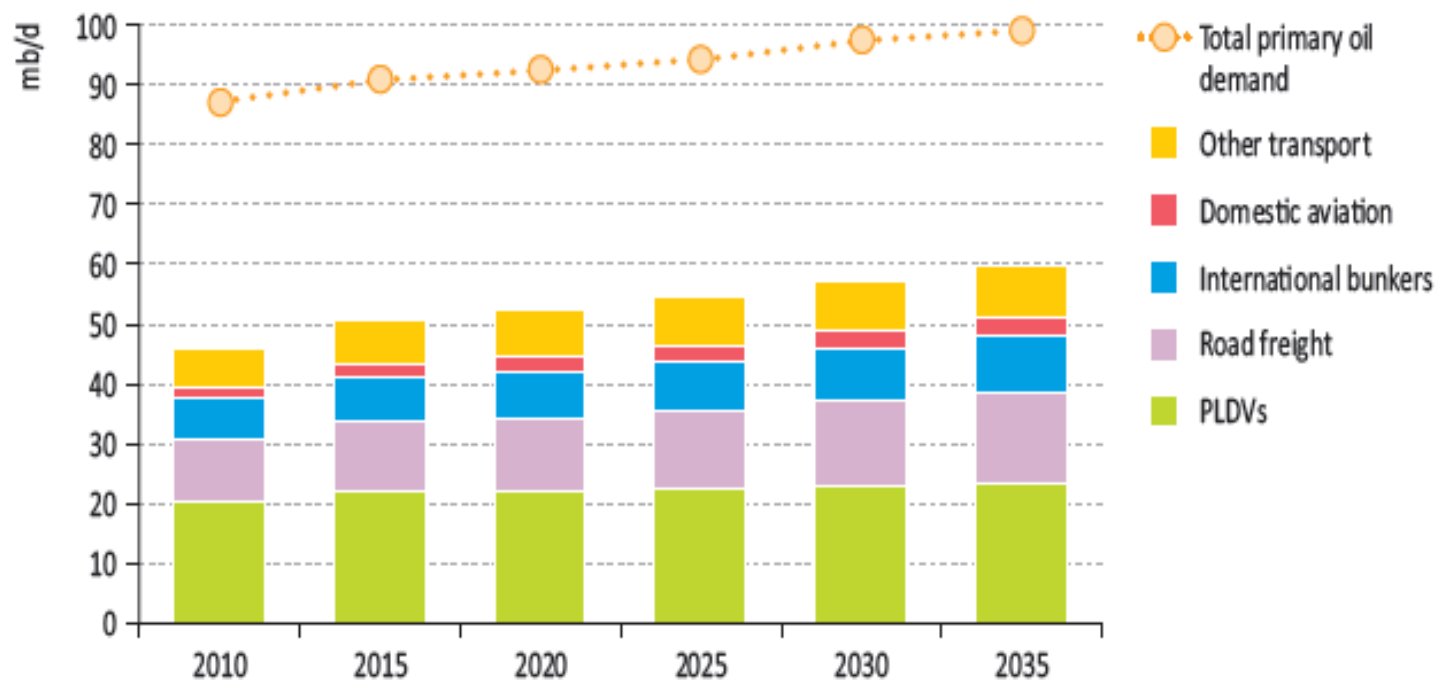
Concept : CO₂ émis lors de la combustion de la biomasse est réutilisé lors la production de biomasse

Source : http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/carbon_cycle4.php

Secteur des transports (1)

Evolution de la demande en carburants pétroliers

World transportation oil demand by mode in the New Policies Scenario

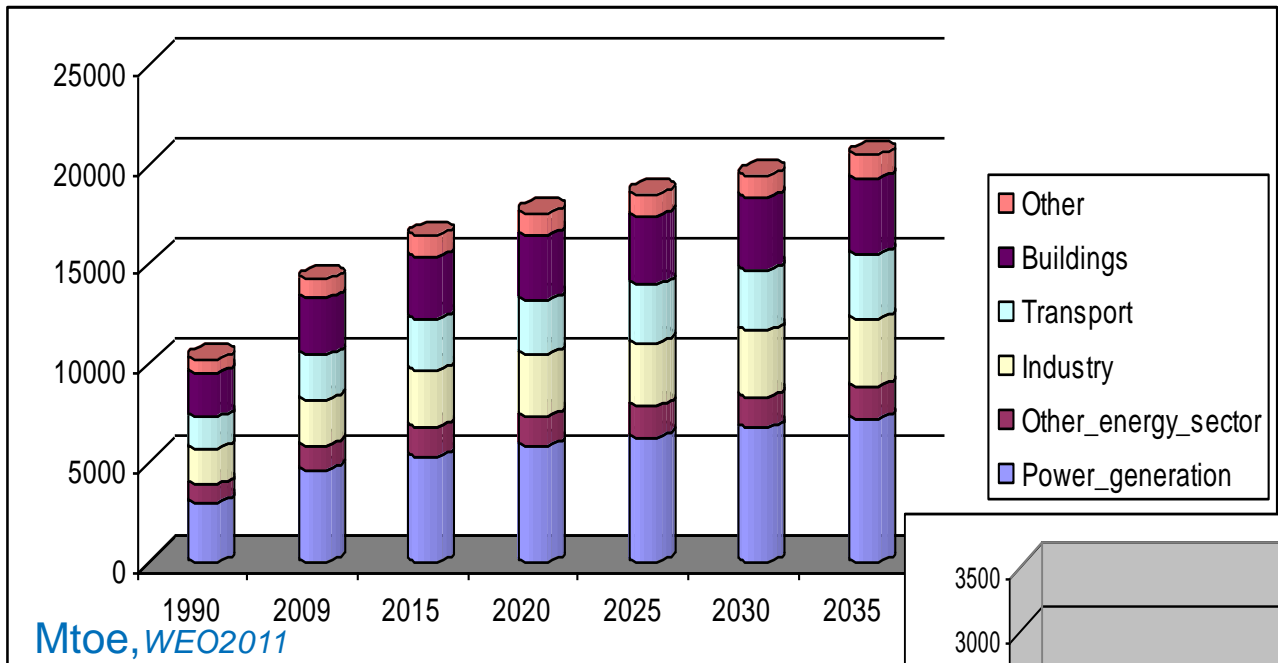


Note: PLDVs are passenger light-duty vehicles comprising passenger cars, sports utility vehicles and pick-up trucks.

Source IEA WEO 2011

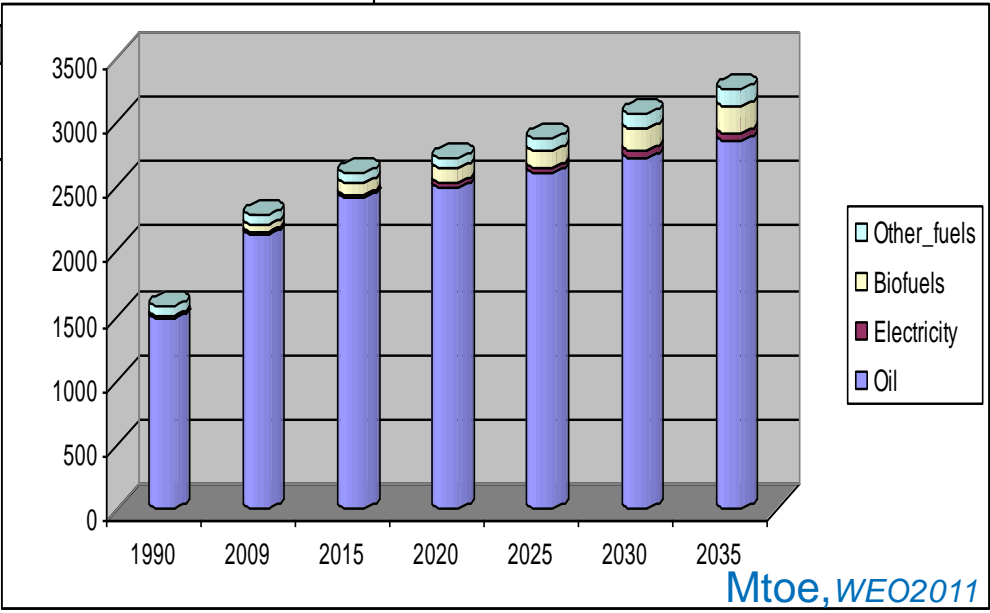
Secteur des transports (2)

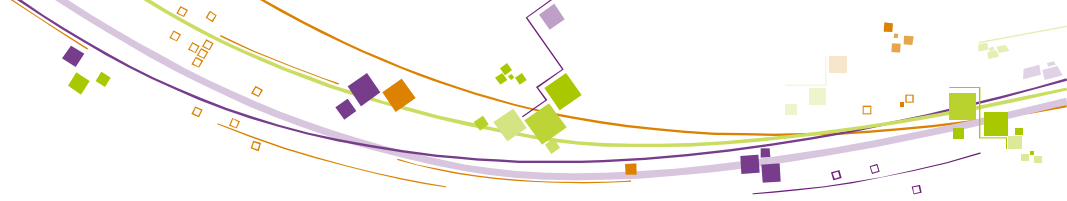
Utilisation de l'énergie par secteur



Transport reste le seul secteur très axé sur les énergies liquides.

La part des biocarburants dans le transport pourrait passer de 2 à 6% d'ici 2035 (soit 60 à 202 Mtoe).





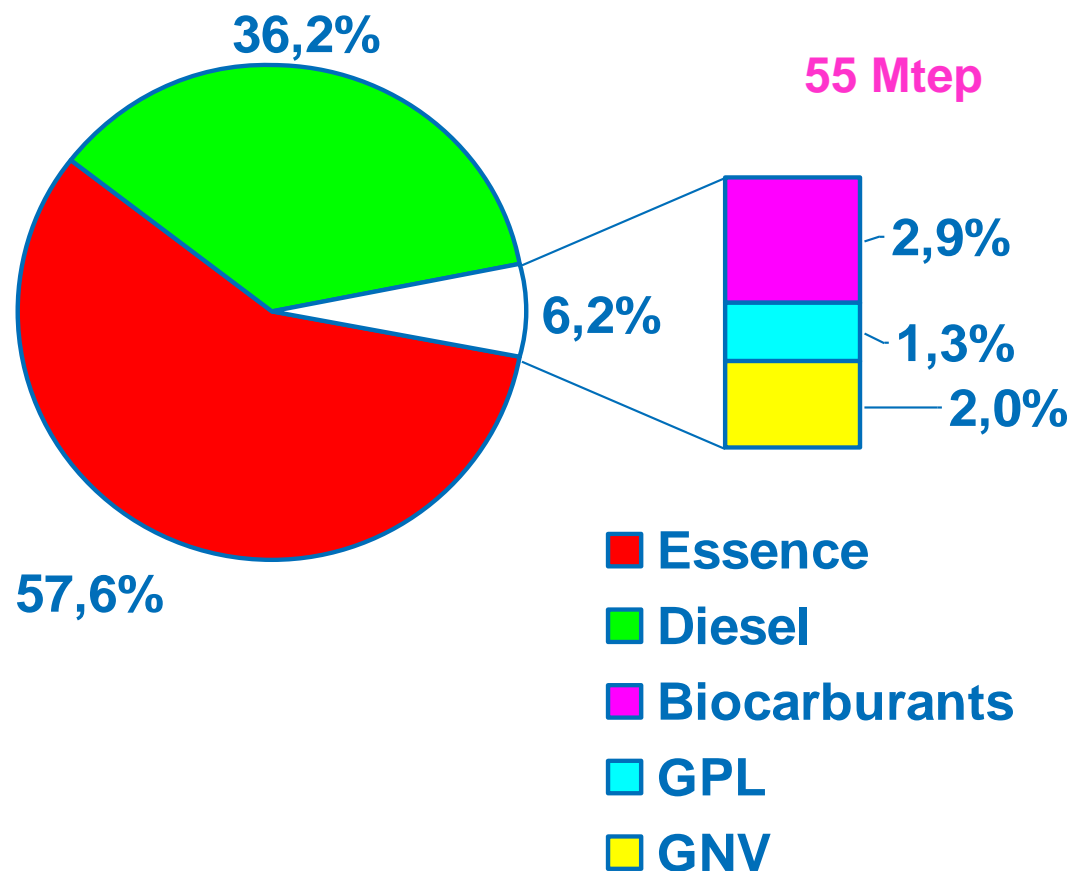
Secteur des transports (3)

Consommation d'énergie pour transport routier en 2010

1.9 GTep

Le secteur du transport routier :

- dépendant du pétrole à 95%
- 42 % de la consommation primaire de pétrole brut
- ~ 20 % de la consommation finale d'énergie
- une croissance moyenne annuelle de plus de 2%



Biocarburants : Politiques Européennes

- *"Deux fois 20 pour 2020 - Saisir la chance qu'offre le changement climatique"**
- Développement durable dans le transport
 - Réduction des émissions de CO2
 - Réduction de la dépendance à l'égard des carburants fossiles





Réglementation européenne et française

■ Directive européenne 2003/30/CE

- 2,00 % PCI fin 2005
- 5,75 % PCI en 2010
- 10,00 % PCI en 2020

■ Révision UE en 2008-09

- 20% énergie renouvelable en 2020
- Directive Européenne : 10% de biocarburants en 2020
- Nouveaux critères environnementaux

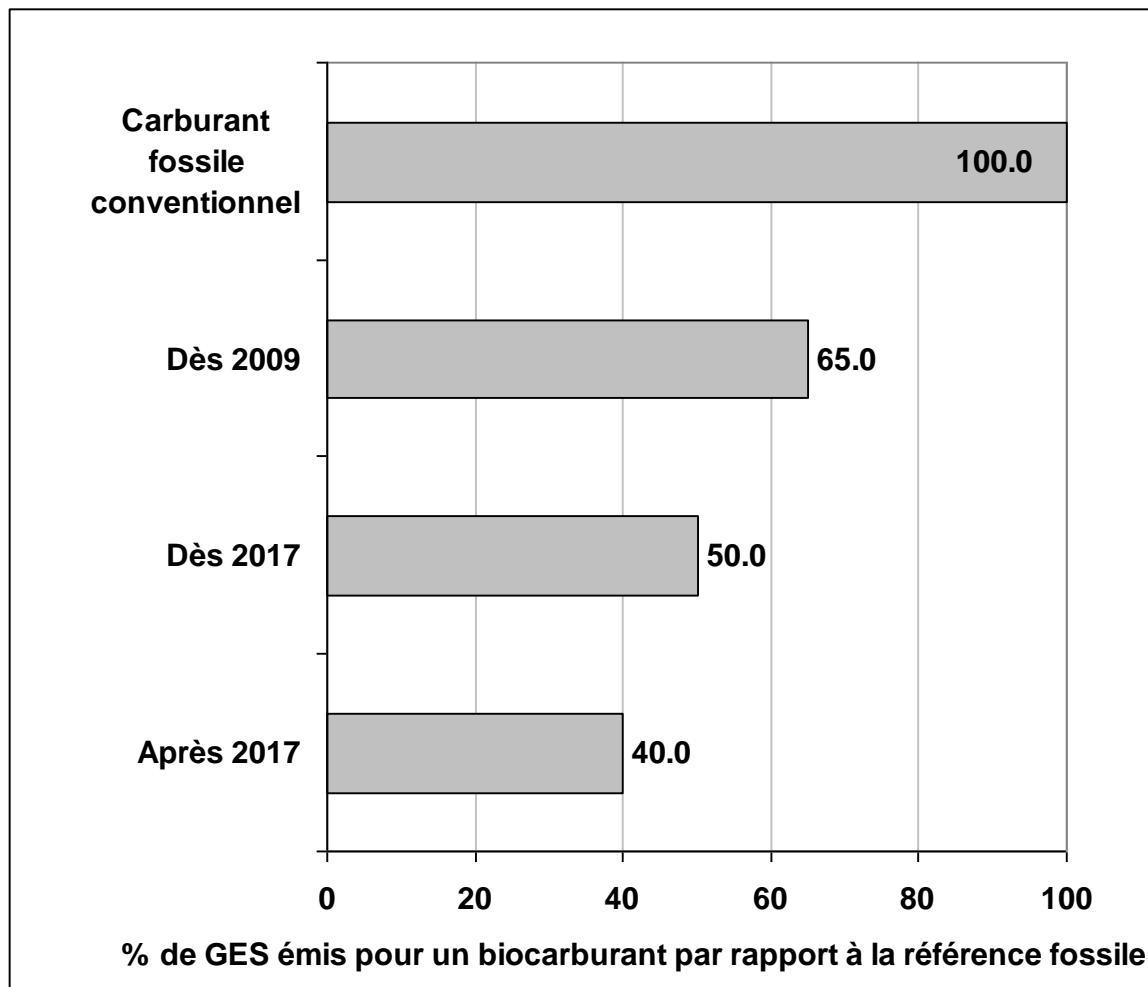
■ Réforme de la politique européenne sur les biocarburants (en cours)

- Révision de la directive 2009/28/CE sur les ER
 - CE => 5% biocarburants 1G et 5% biocarburants 2G (prise en compte des CIAS)
- Révision de la directive 2009/30/CE sur la qualité des carburants (réduction de 6% des émissions des filières de production de carburants)
 - CE => 60% de réduction des GES pour nouvelles installations

■ La France a fixé :

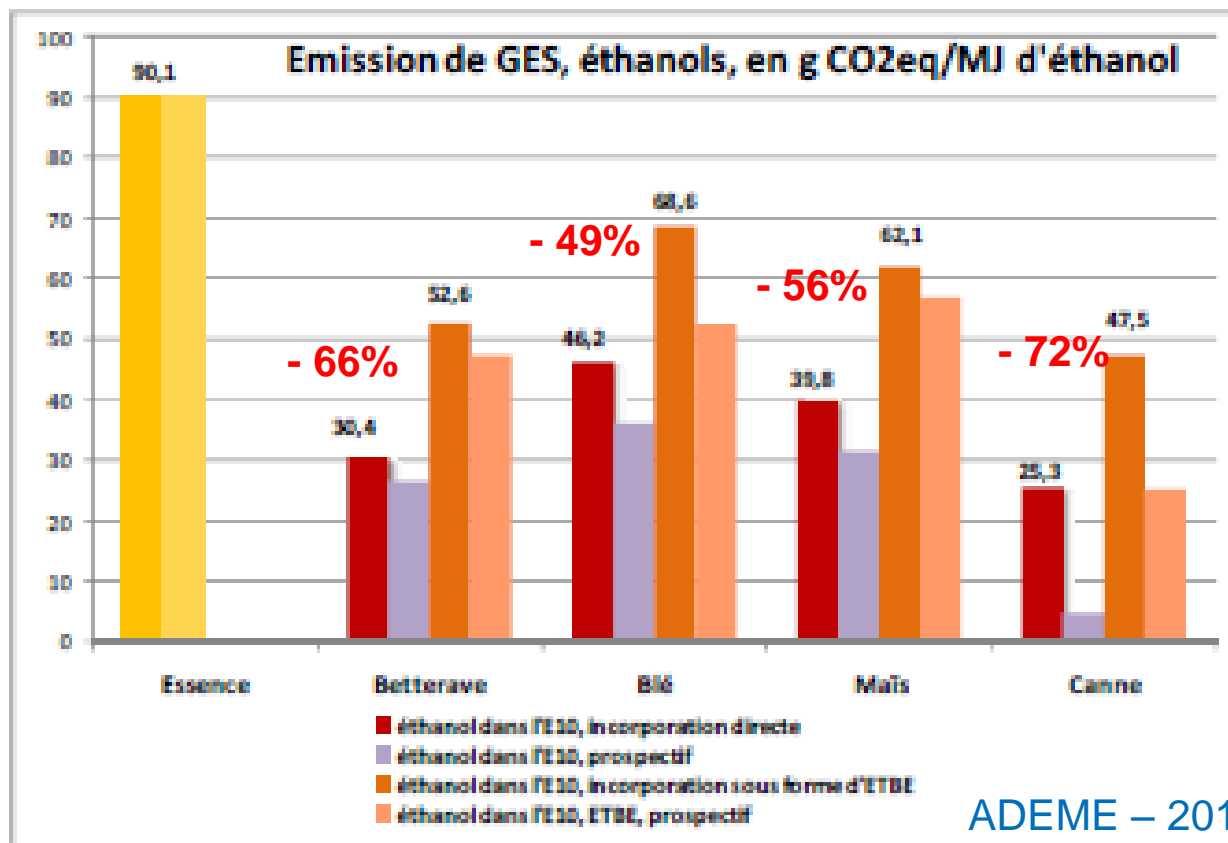
- 5,75 % PCI en 2008
- 7 % PCI en 2010
- 10% PCI en 2015

Biocarburants critères de durabilité UE



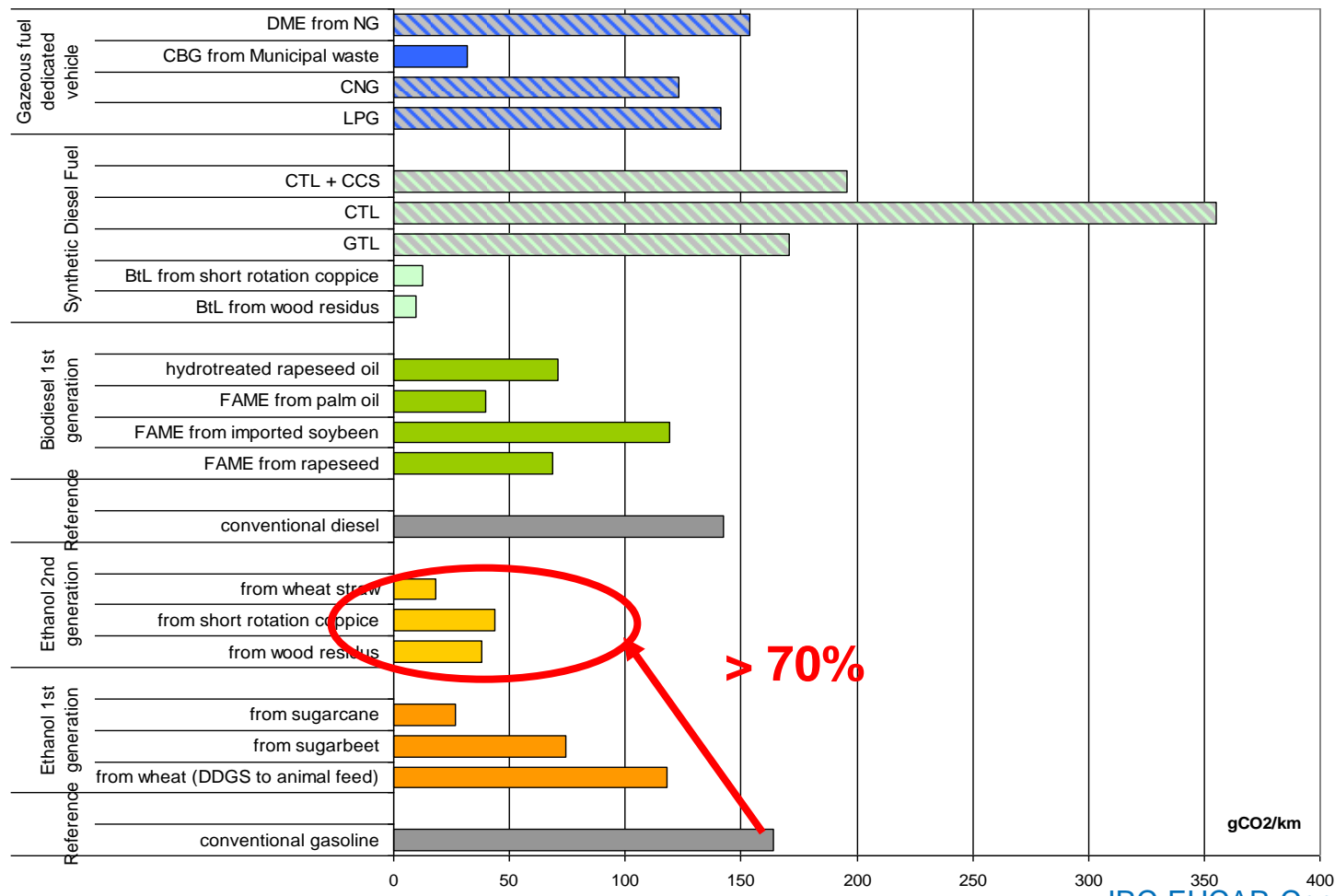
[1] Directive 2009/28/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE

Réduction des émissions de GES – éthanol



ADEME – 2010
(valeurs sans CAS)

Bilan GES des filières

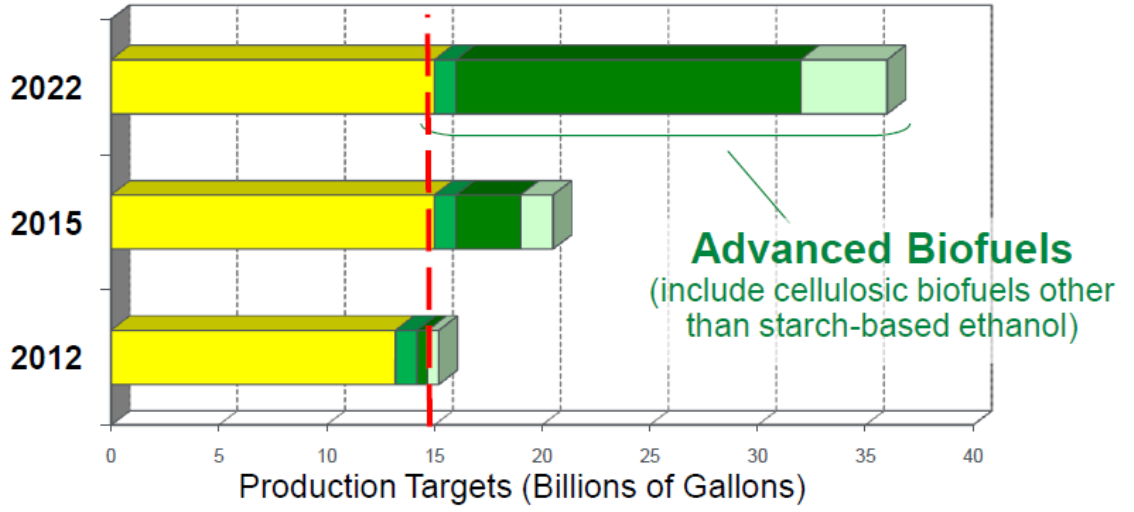


JRC-EUCAR-Concawe, 2007

Biocarburants : Politiques US

15 BGY cap on conventional (starch) biofuel (45 Mt)

- Renewable Fuel Standard (RFS2)**
- Conventional (Starch) Biofuel
 - Biomass-based diesel
 - Cellulosic Biofuels
 - Other Advanced Biofuels



EISA defines **Cellulosic Biofuel** as “renewable fuel derived from any cellulose, hemicellulose, or lignin that is derived from renewable biomass and that has lifecycle greenhouse gas emissions...that are *at least 60 percent less* than baseline lifecycle greenhouse gas emissions.” The EPA interprets this to include cellulosic-based diesel fuel.

EISA defines **Advanced Biofuel** as “renewable fuel, other than ethanol derived from corn starch, that has lifecycle greenhouse gas emissions...that are *at least 50 percent less* than baseline lifecycle greenhouse gas emissions.” This includes biomass-based diesel, cellulosic biofuels, and other advanced fuels such as sugarcane-based ethanol.



Biocarburants : Politiques US

Develop and transform our renewable and abundant biomass resources into cost competitive, high performance biofuels, bioproducts, and biopower.

BIOFUELS TARGETS

- At a modeled cost for mature technology:
 - \$1.76/gallon cellulosic ethanol by 2012
 - \$2.85/gallon renewable gasoline by 2017
 - \$2.84/gallon renewable diesel by 2017
 - \$2.76/gallon renewable jet by 2017
- Support the Renewable Fuels Standard volumetric requirements

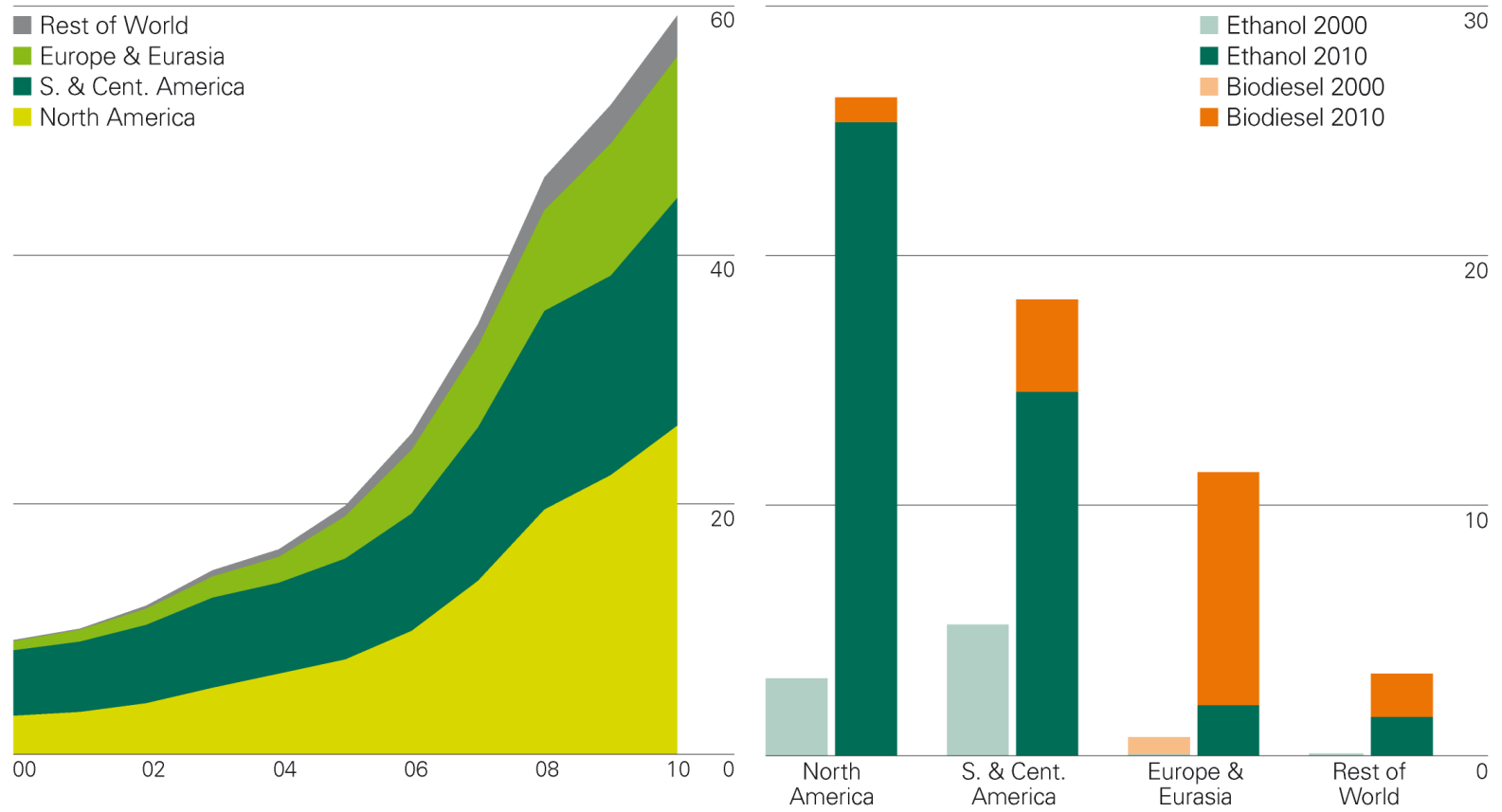
■ Production actuelle d'éthanol G1 : 41.5 Mt (env 25 Mtep)

■ Objectif 2022 :

- 15 G gal ethanol G1= 45 Mt
- 16 G gal d'éthanol G2 = 48 Mt
- 5 G gal d'autres carburants "avancés" (réduction des GES d'au moins 50%)

Production mondiale de bio-éthanol

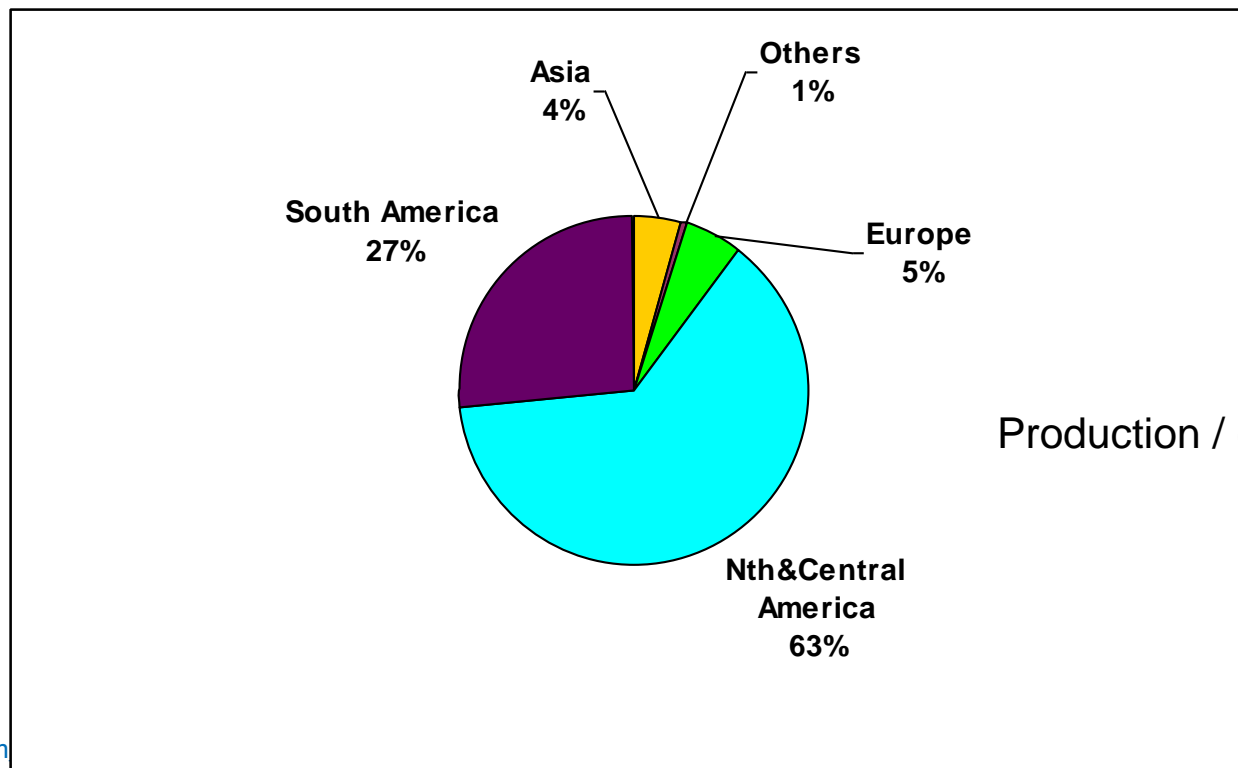
World biofuels production
Million tonnes oil equivalent



World biofuels production grew by 13.8% in 2010; biofuels accounted for 0.5% of global primary energy consumption. Growth was driven by North America (+17.7%) and South and Central America (+14.2%); these two regions accounted for three-quarters of global biofuels production. Ethanol accounts for nearly three-quarters of global biofuels production, and is dominant in North America and South and Central America; biodiesel is dominant in Europe and Eurasia.

Production mondiale d'éthanol carburant

- 2011 : Ethanol: 67 Mt (US 44.5 Mt) ~ 42.9 Mtoe
- 2012 : Ethanol: 65 Mt (US 40 Mt) ~ 41.6 Mtoe

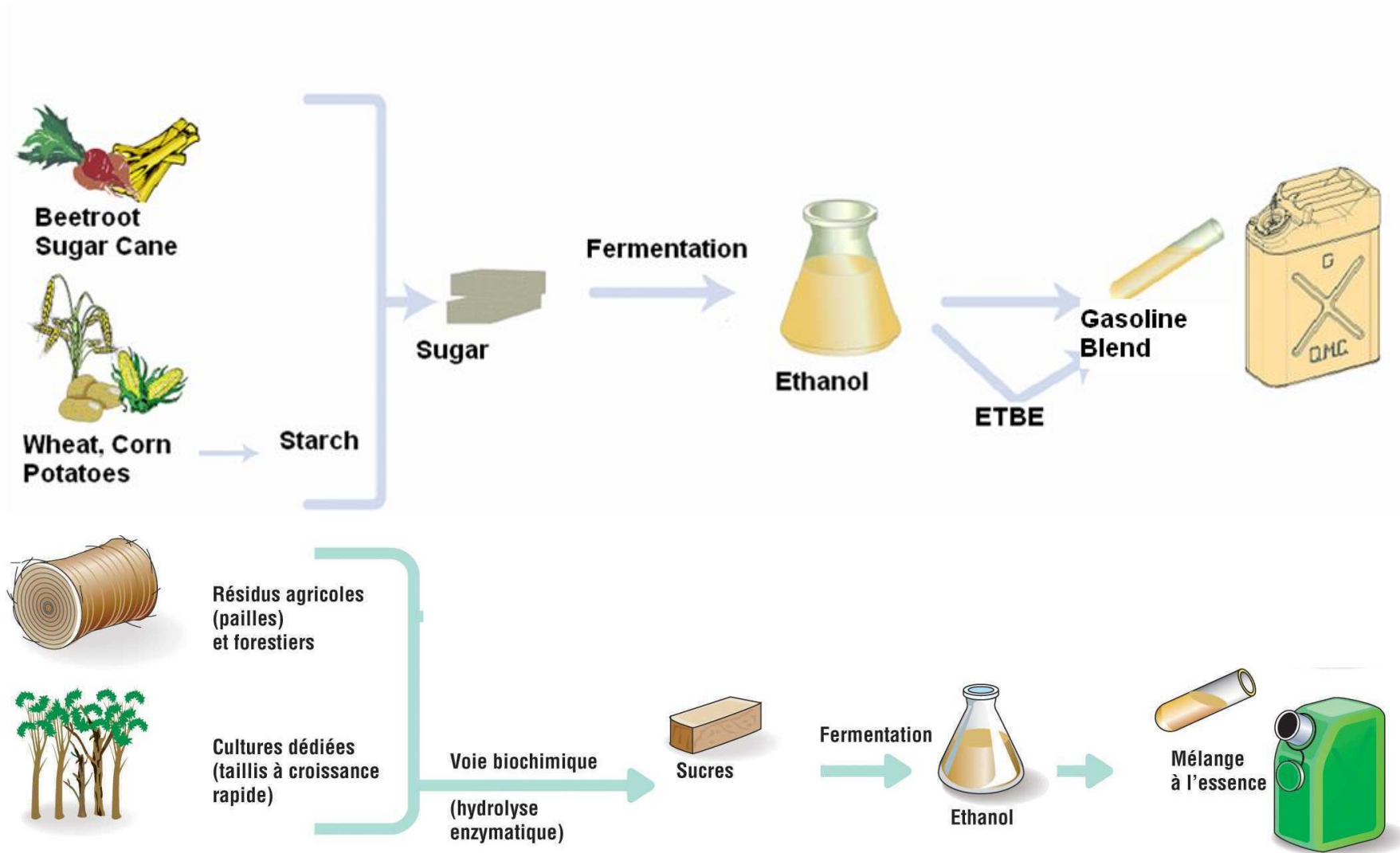




Bio-éthanol

- Contexte : pourquoi de l'éthanol-carburant ?
- **Ressources: quelles matières premières ?**
- Production : procédés
 - bio-éthanol de 1ère génération
 - bio-éthanol de 2ème génération
- Conclusion

Procédés biologiques de production d'éthanol 1G et 2G



Ressources pour bioéthanol de 1ère génération

■ Céréales



Blé, orge, seigle



Maïs

■ Plantes sucrières



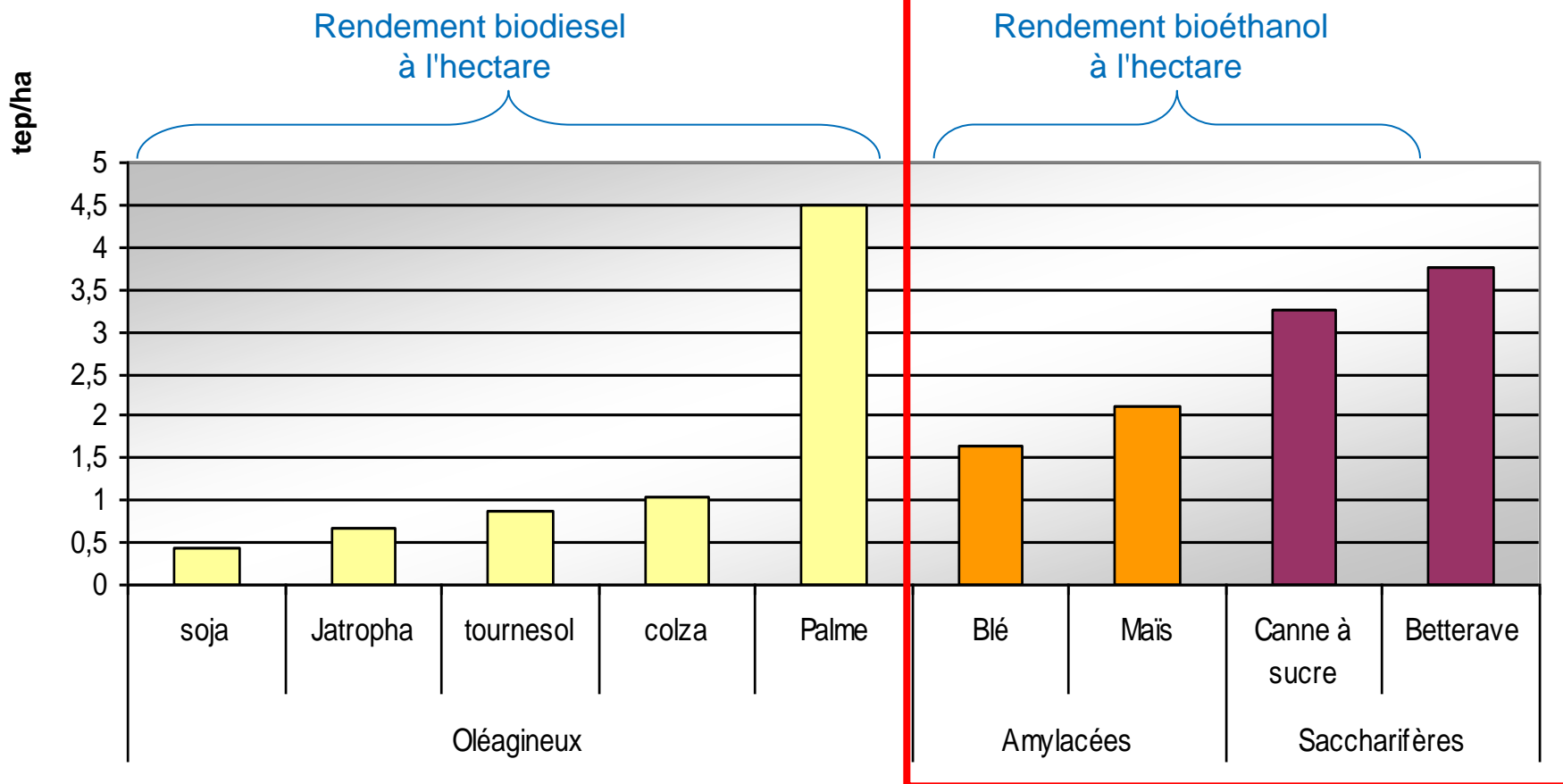
Canne à sucre au Brésil



Betterave sucrière

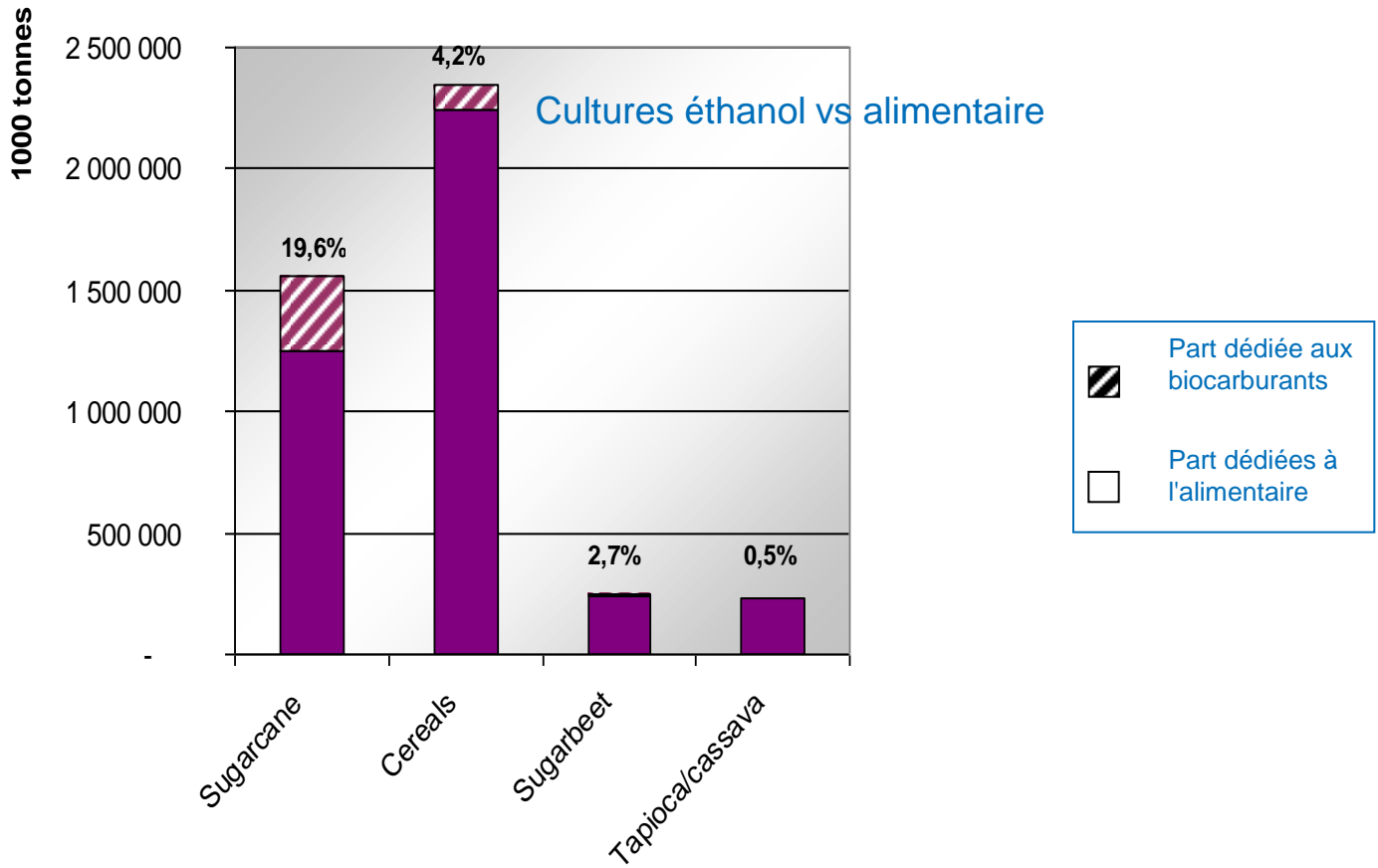
Ressources pour biocarburants de 1ère génération : rendements

■ Rendement en carburant des cultures éthanol et biodiesel



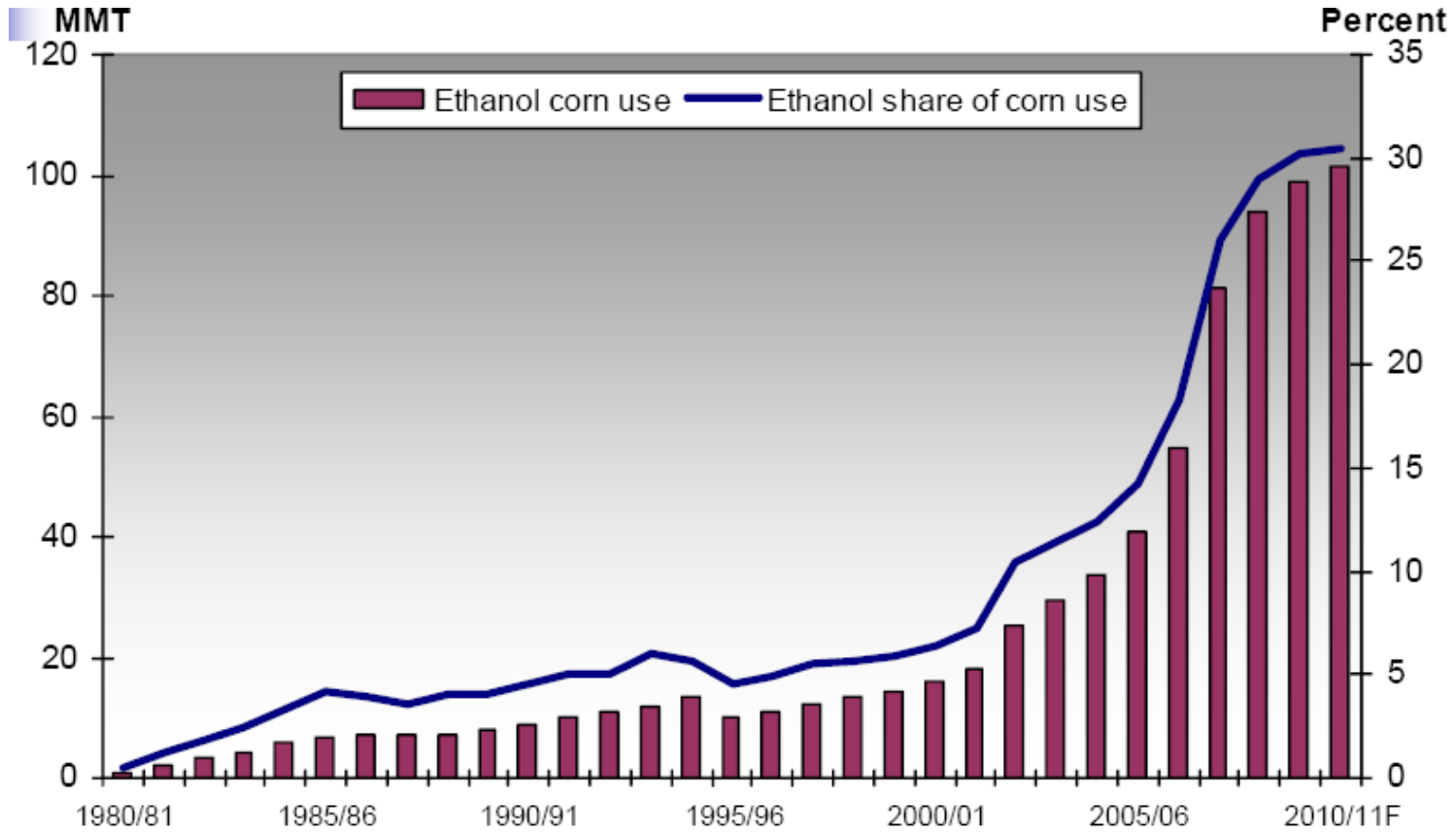
Ressources pour biocarburants de 1ère génération : surfaces mobilisées

- Part de cultures dédiée aux biocarburants par rapport à la production mondiale (2008)



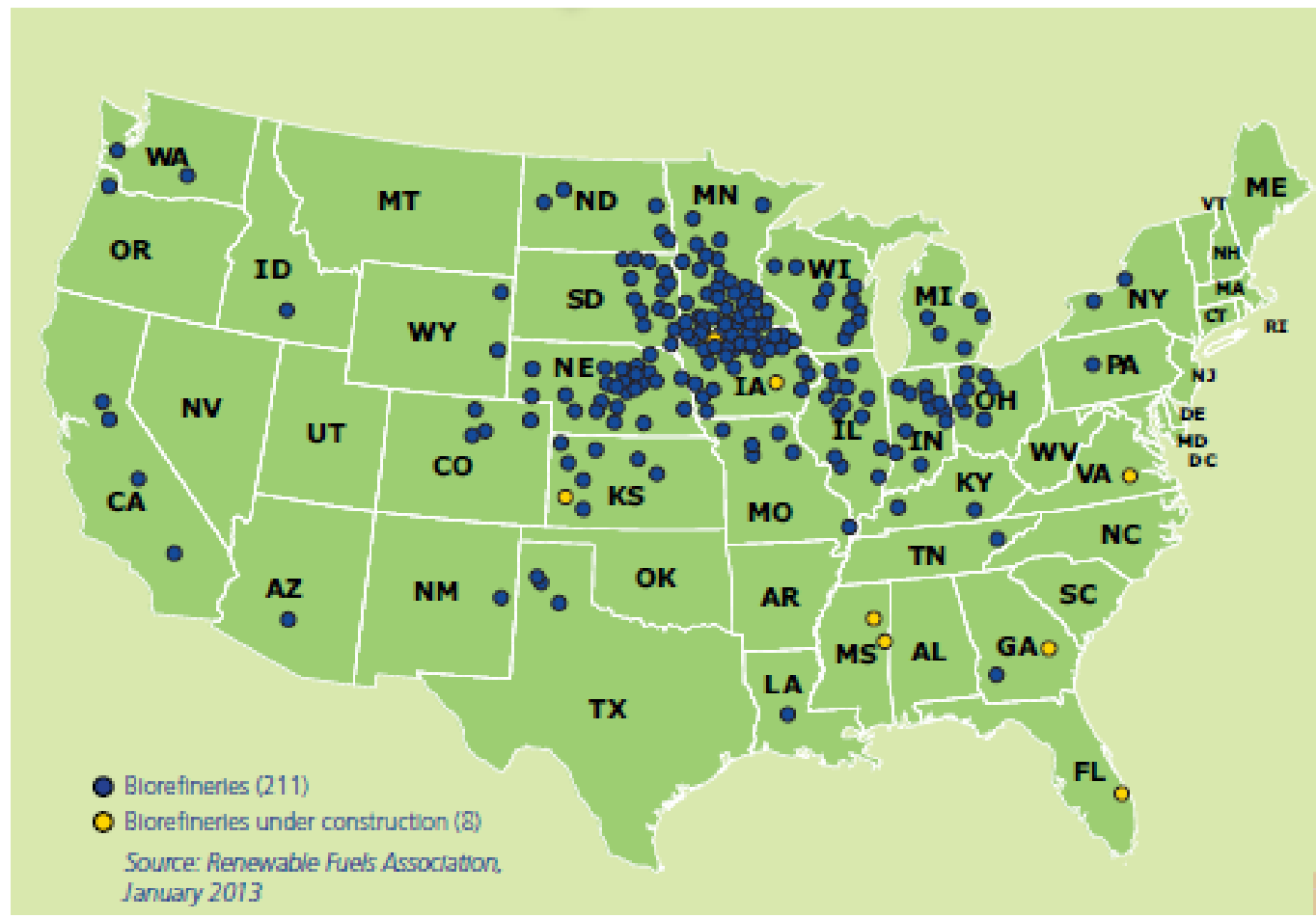
Ressources pour biocarburants de 1ère génération : surfaces mobilisées

■ Utilisation du maïs aux USA



Source : USDA

EtOH plants in USA



Biocarburants de 2nde génération : les ressources à l'étude

les résidus agricoles et forestiers

■ Les résidus agricoles

■ Résidus de culture



surplus de paille



chaume de maïs



bagasse de canne à sucre

■ Les résidus forestiers

■ Surplus de taillis



■ Rémanents et bois de rebut



Biocarburants de 2nde génération : les ressources à l'étude

les cultures dédiées en cours d'expérimentation

■ Cultures annuelles plantes entières



Triticale



Sorgho sucre & sorgho fibre

■ Pérennes à forte productivité



Miscanthus

■ TCR



TCR de Saule



TCR de Peuplier



Fétuque élevée



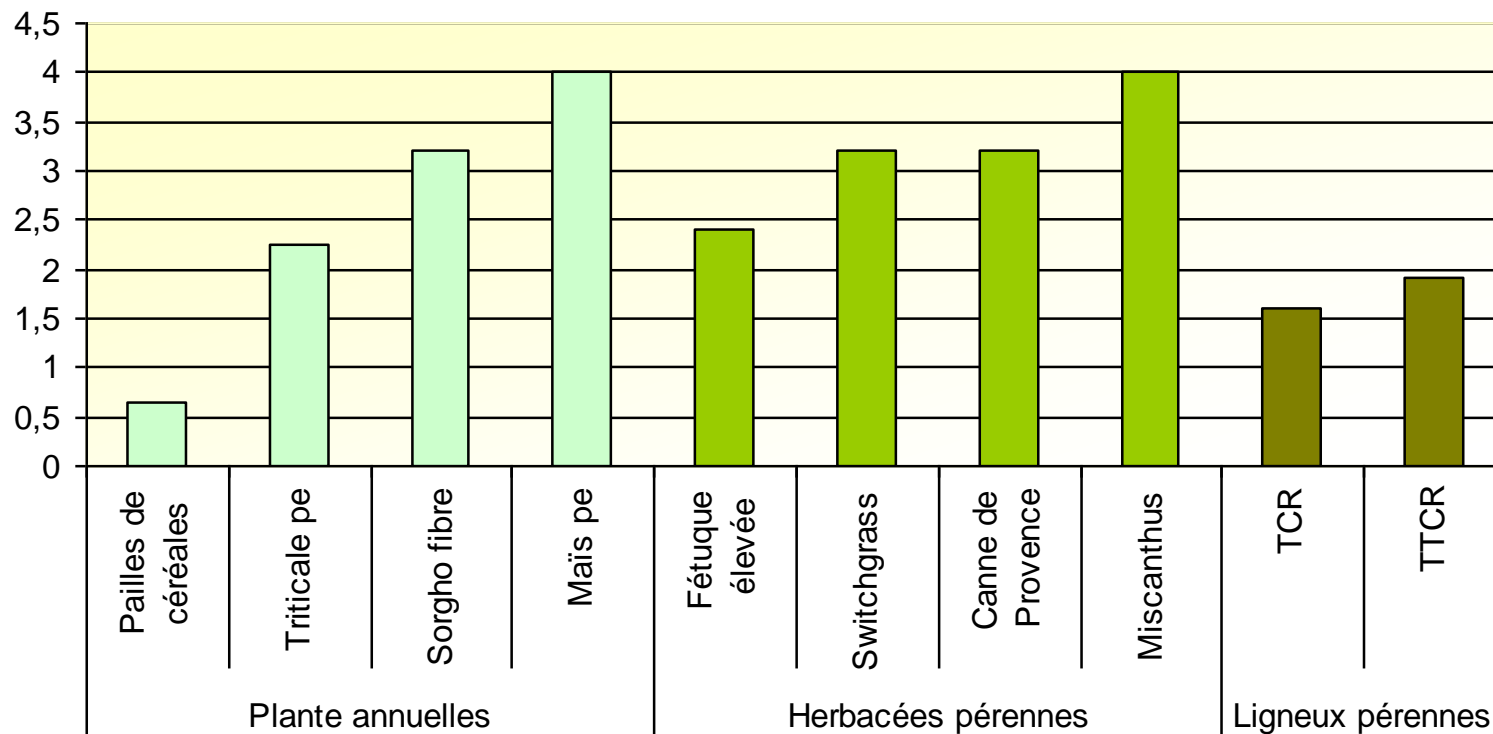
Switchgrass



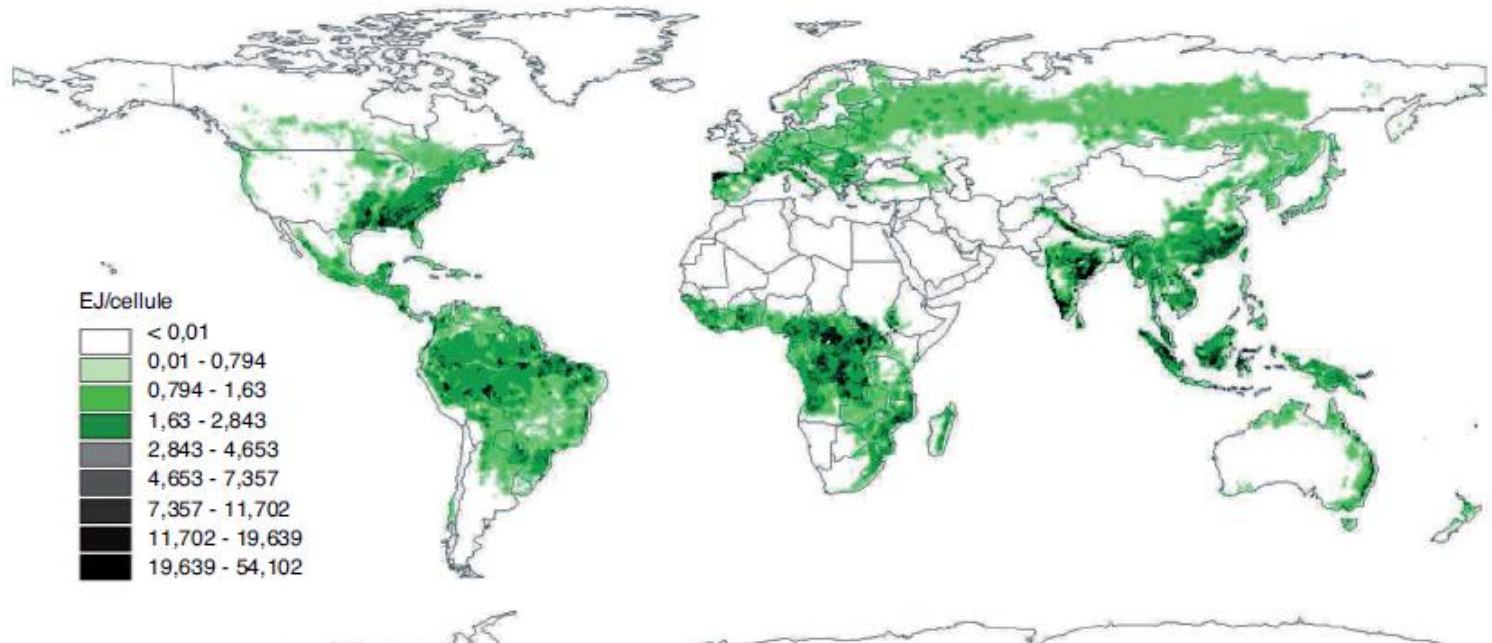
Biocarburants de 2nde génération : rendements

■ Les caractéristiques agronomiques et productivités

Rendement carburant des cultures (tep/ha)



Potentiel de production de biomasse lignocellulosique pour l'énergie entre 2000-2011



Potentils de biomasses lignocellulosiques mobilisables pour l'énergie et part de la consommation de carburants substituables

S

	Biomasse totale mobilisable pour l'énergie (Gt MS)	Potentiel moyen terme sous-produits* (Gt MS)	Potentiel moyen terme cultures dédiées** (Gt MS)	% de la demande carburants 2030 (selon les zones)
Monde	13	2,3 – 2,8	1,4 – 1,70	19 à 23
dont Europe et Amérique du Nord		0,3 – 0,6	0,5 – 0,75	10 à 15
dont reste du monde		2,0 – 2,2	0,9 – 0,95	3 à 100

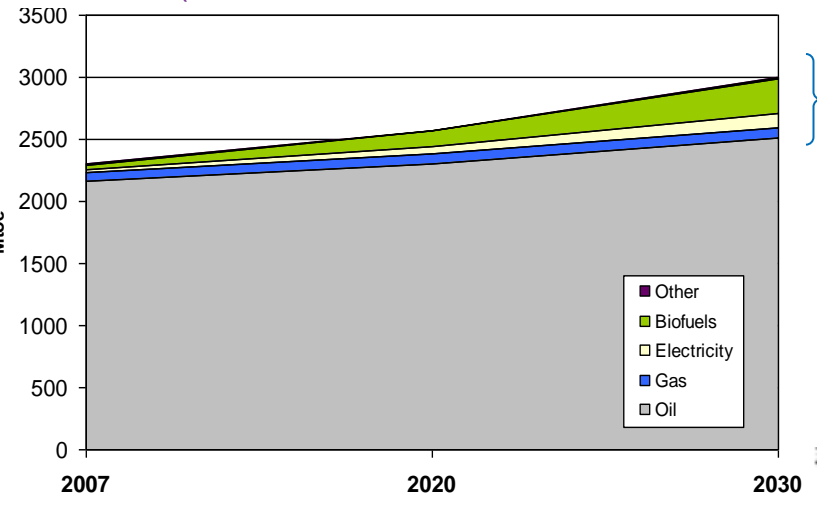
*Sous-produits issus des activités agricoles et forestières. **Selon scénarios d'implantation sur terres mobilisables

Source : Panorama IFP 2010



Perspectives : Production mondiale

Consommation mondiale d'énergie pour transport par carburant (« WEO 2009 – CO2 constraint scenario »)

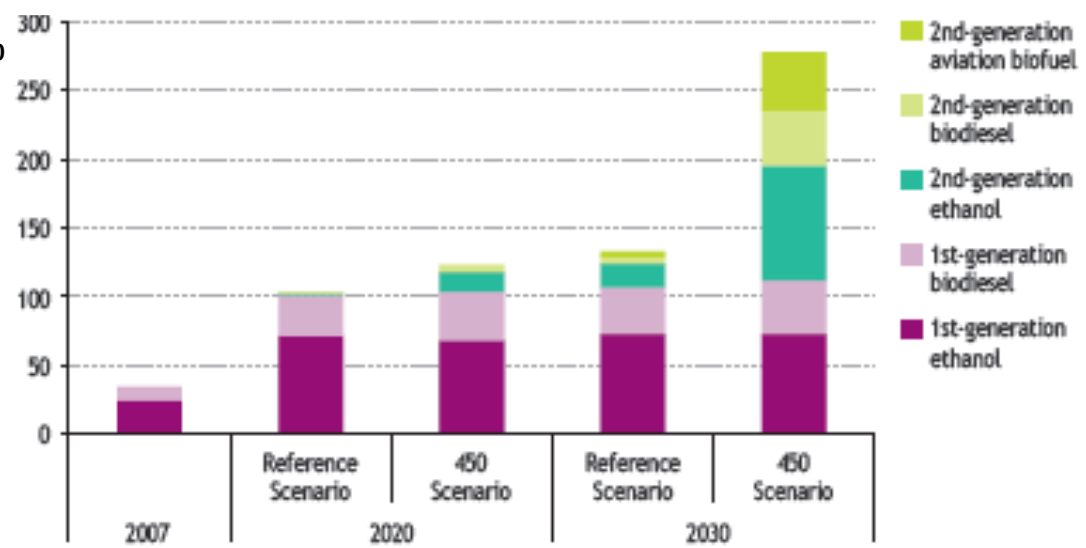


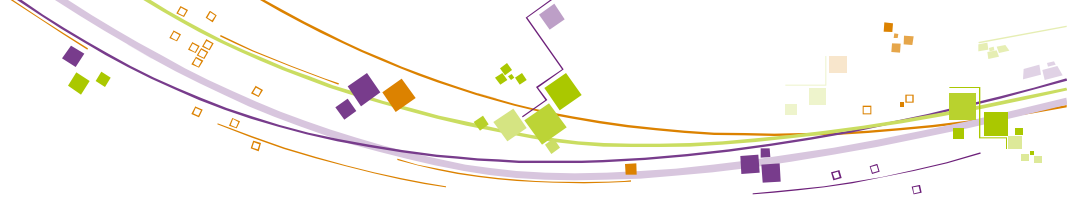
485 Mtep carburants alternatifs
 =
 16% de l'énergie pour le transport en 2030

Developpement biocarburants
 entre 139 and 278 Mtep en 2030

166 Mtep de biocarburants de
 2ème génération dans scénario
 optimiste

Demande en biocarburants (2 scénarios, WEO 2009)

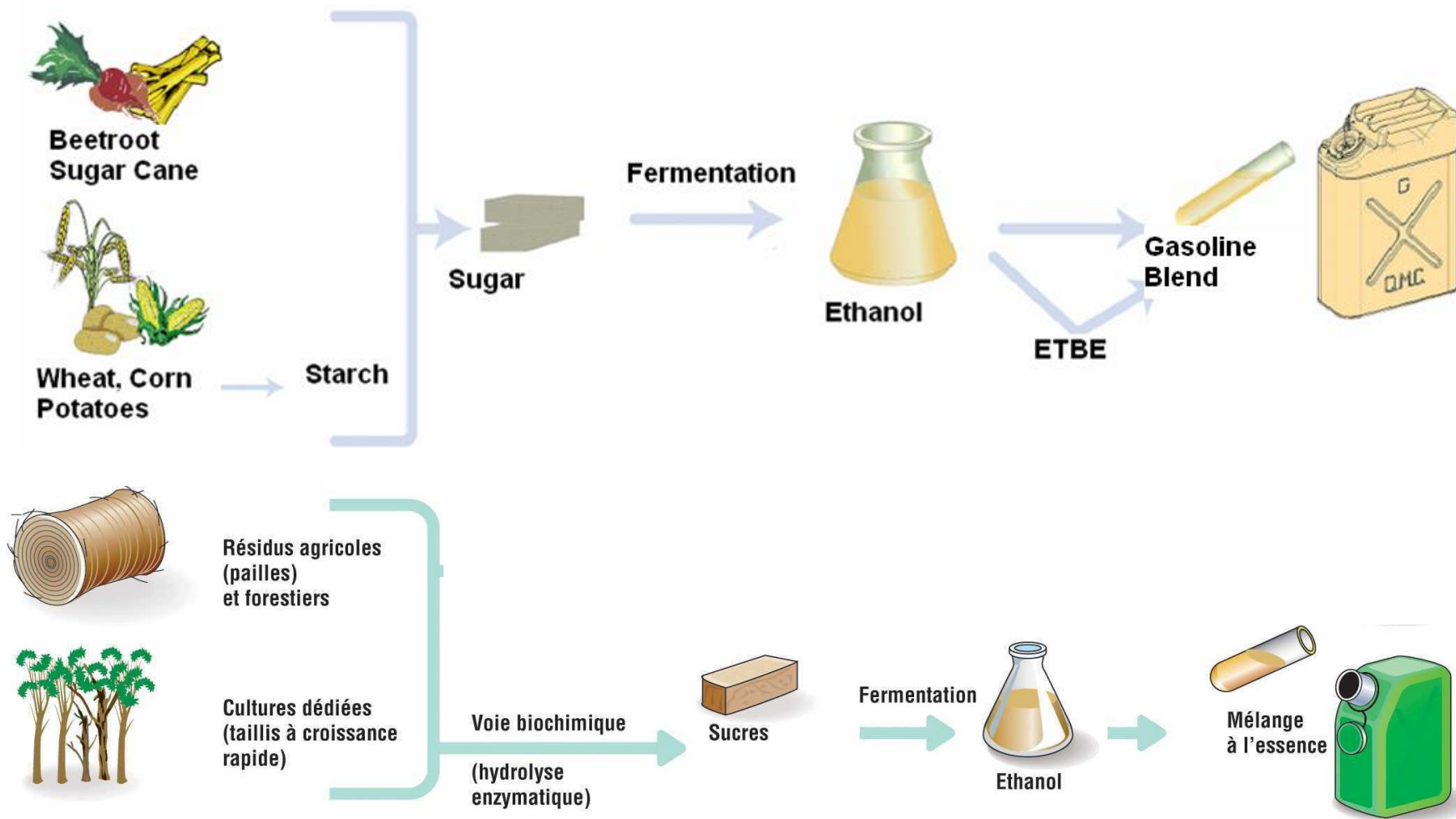




Bio-éthanol

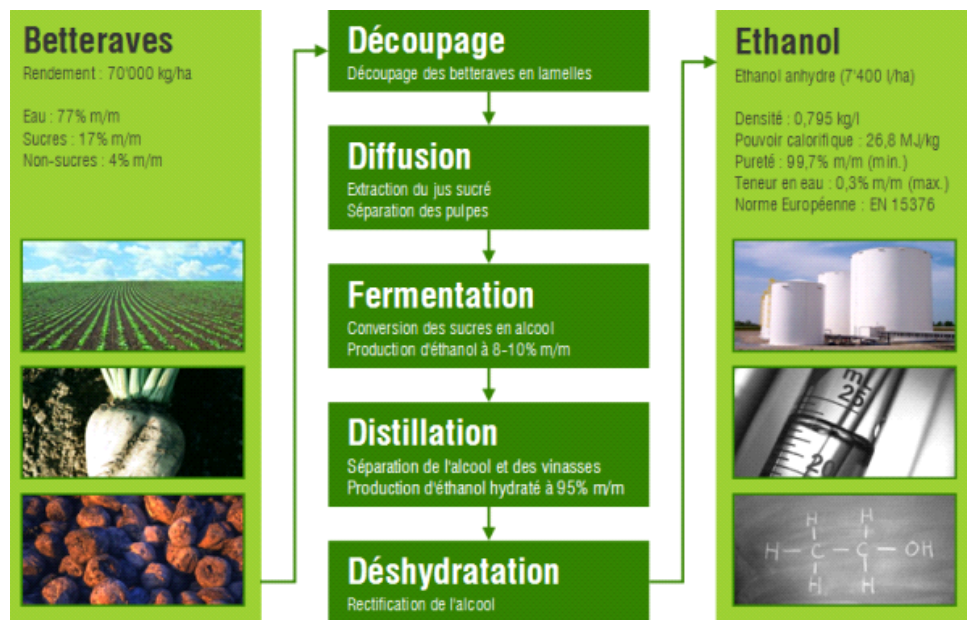
- Contexte : pourquoi de l'éthanol-carburant ?
- Ressources: quelles matières premières ?
- **Production : procédés**
 - bio-éthanol de 1ère génération
 - bio-éthanol de 2ème génération
- Conclusion

Procédés biologiques de production d'éthanol 1G et 2G



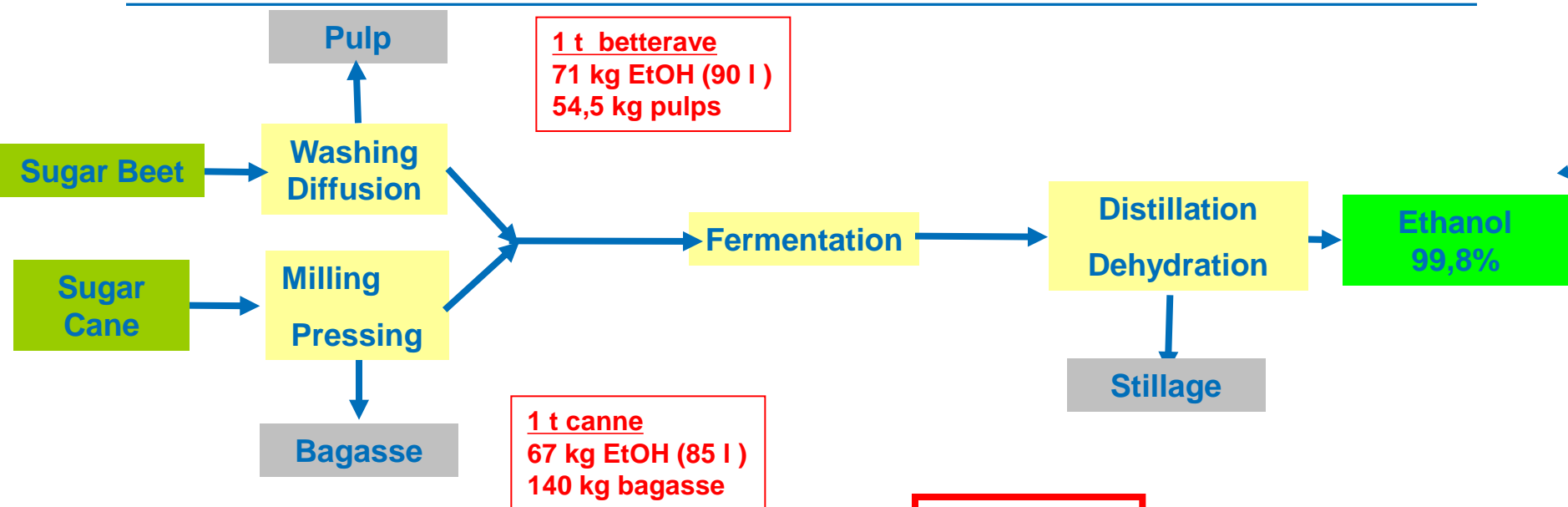
Procédés de production d'éthanol – plantes sucrières

■ canne à sucre, betterave sucrière



<http://www.plateforme-biocarburants.ch/infos/bioethanol.php>

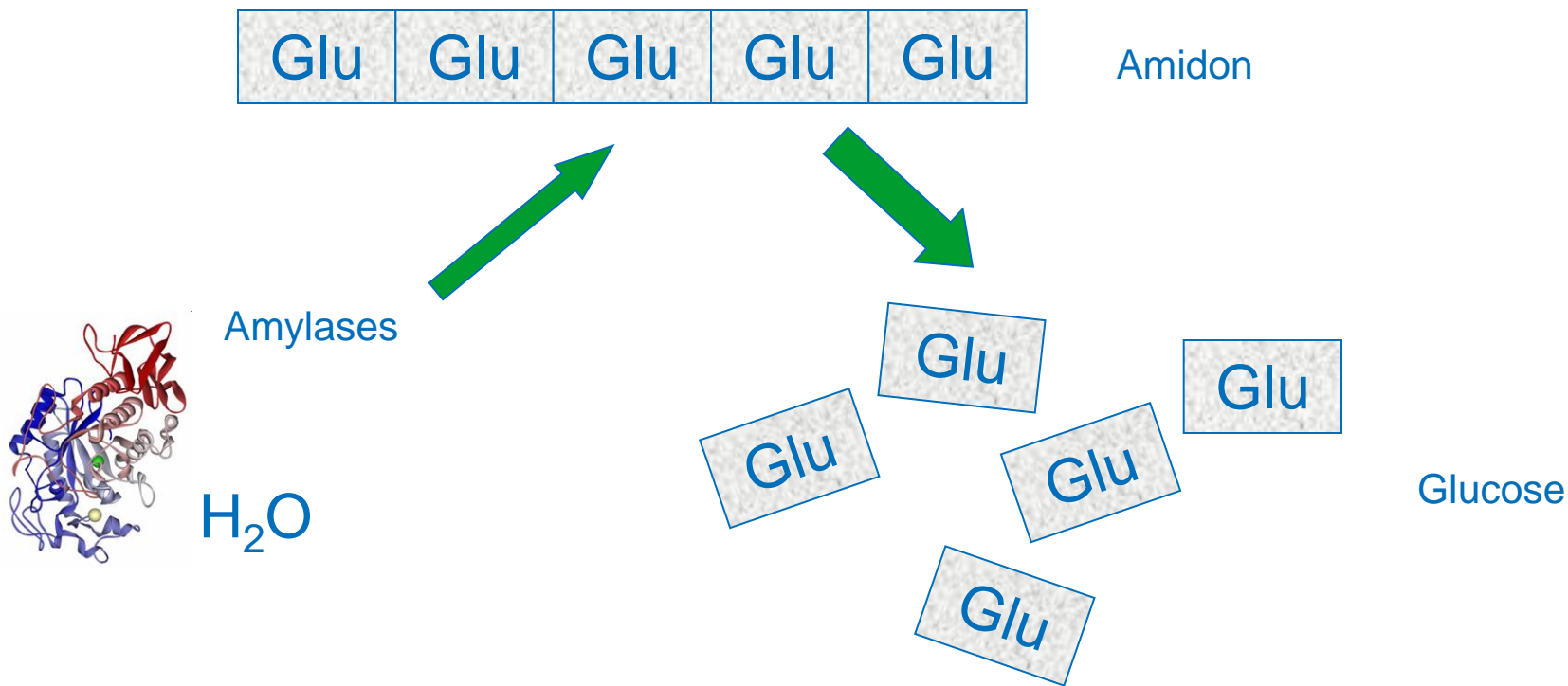
Procédés de production d'éthanol – plantes sucrières



Plante	η agro. t/ha	Amidon % pds	η éthanol m3/ha	η énergie tep/ha
Maïs	7 - 8	70	3.0-3.5	1.5-1.7
Blé	7 - 8	65	2.7-3.0	1.5-1.6

Procédés de production d'éthanol – plantes amylacées

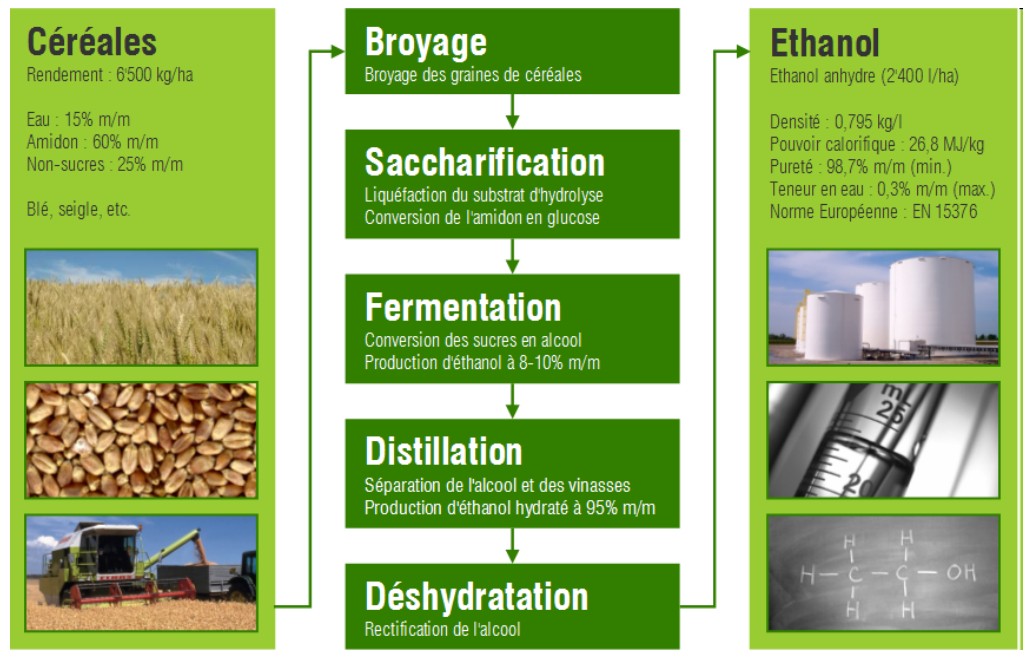
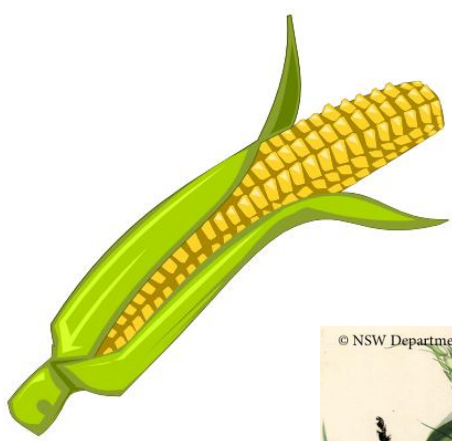
- Une étape supplémentaire : hydrolyse enzymatique de l'amidon





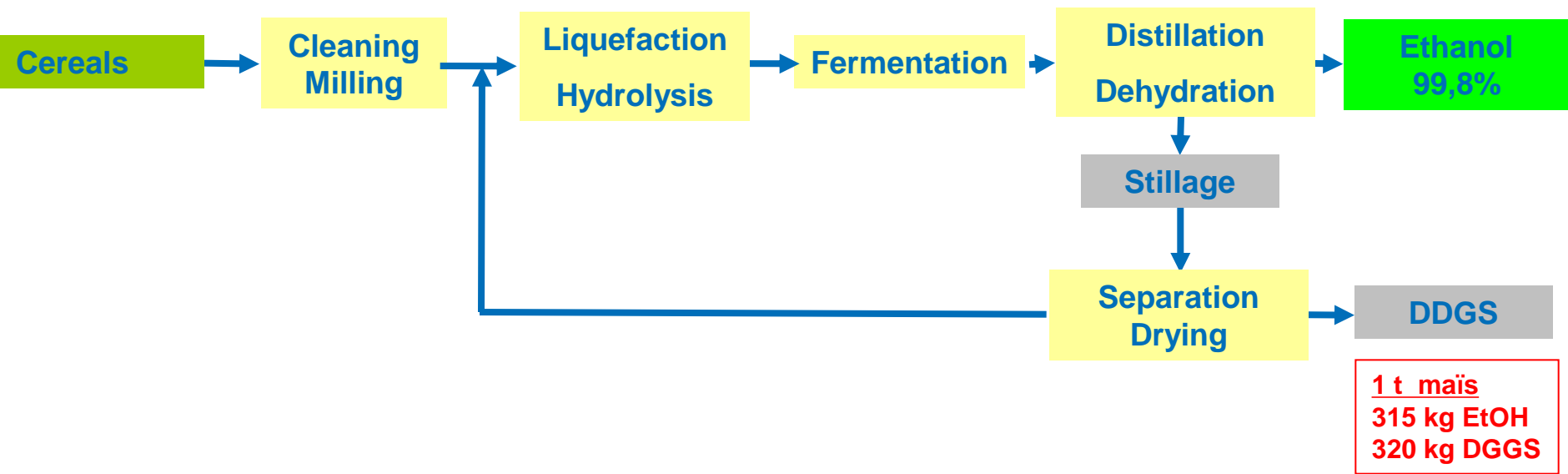
Procédés de production d'éthanol – plantes amylacées

■ Céréales (blé, maïs)



http://www.platforme-biocarburants.ch/images/site/figures/lightbox/bioethanol_cereals.png

Procédés de production d'éthanol – plantes amylacées

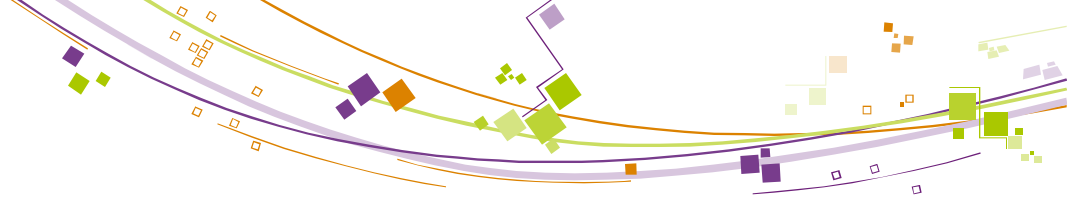


1 t maïs
315 kg EtOH
320 kg DDGS

1 t blé
295 kg EtOH
370 kg DDGS

DDGS blé
Protéines : 35-45 %
Lipides : 4-5 %

	η agri. t / ha	Starch % wt	η ethanol L / t	η ethanol m3 / ha	η energy tep / ha
Corn	7 - 8	70	400	3.0-3.5	1.5-1.7
Wheat	7 - 8	65	375	2.7-3.0	1.5-1.6

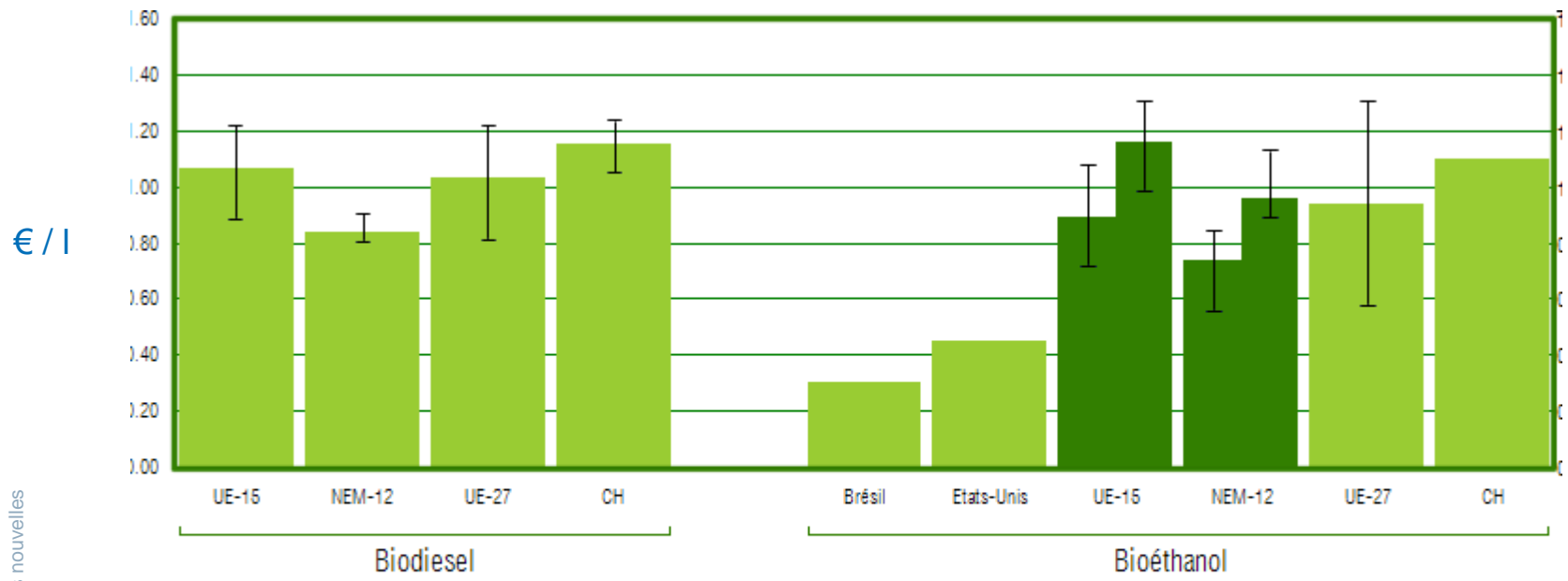


Principaux acteurs

- Principaux producteurs (2010)
 - ADM (Archer Daniels Midland)
 - POET
 - Copersucar
 - Abengoa
 - Cosan
 - Green Plains
 - Tereos
- Répartition
 - Top 10 : 26 %
 - Autres : 74 %



Coût très dépendant de l'origine



UE-27 : l'UE des 27 (y.c. les 12 nouveaux Etats membres)
 UE-15 : l'UE des 15 (avant l'adhésion des 12 nouveaux Etats membres)
 NEM-12 : les 12 nouveaux Etats membres de l'UE
 CH : Suisse

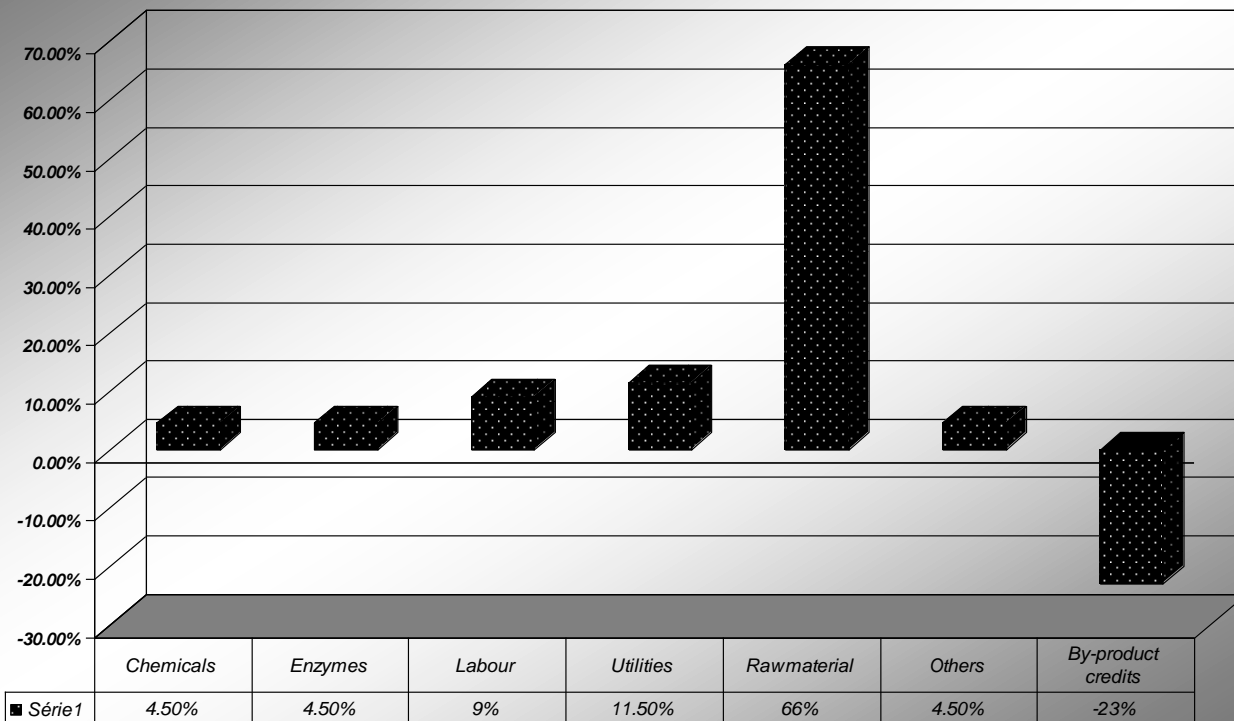
Bioéthanol ex-céréales → [Barre haute]

Bioéthanol ex-betteraves → [Barre basse]

Répartition du coût de production

■ *Ethanol ex maïs, USA*

Corn Ethanol Cost Breakdown



*En 2009, environ
580 \$/m3*



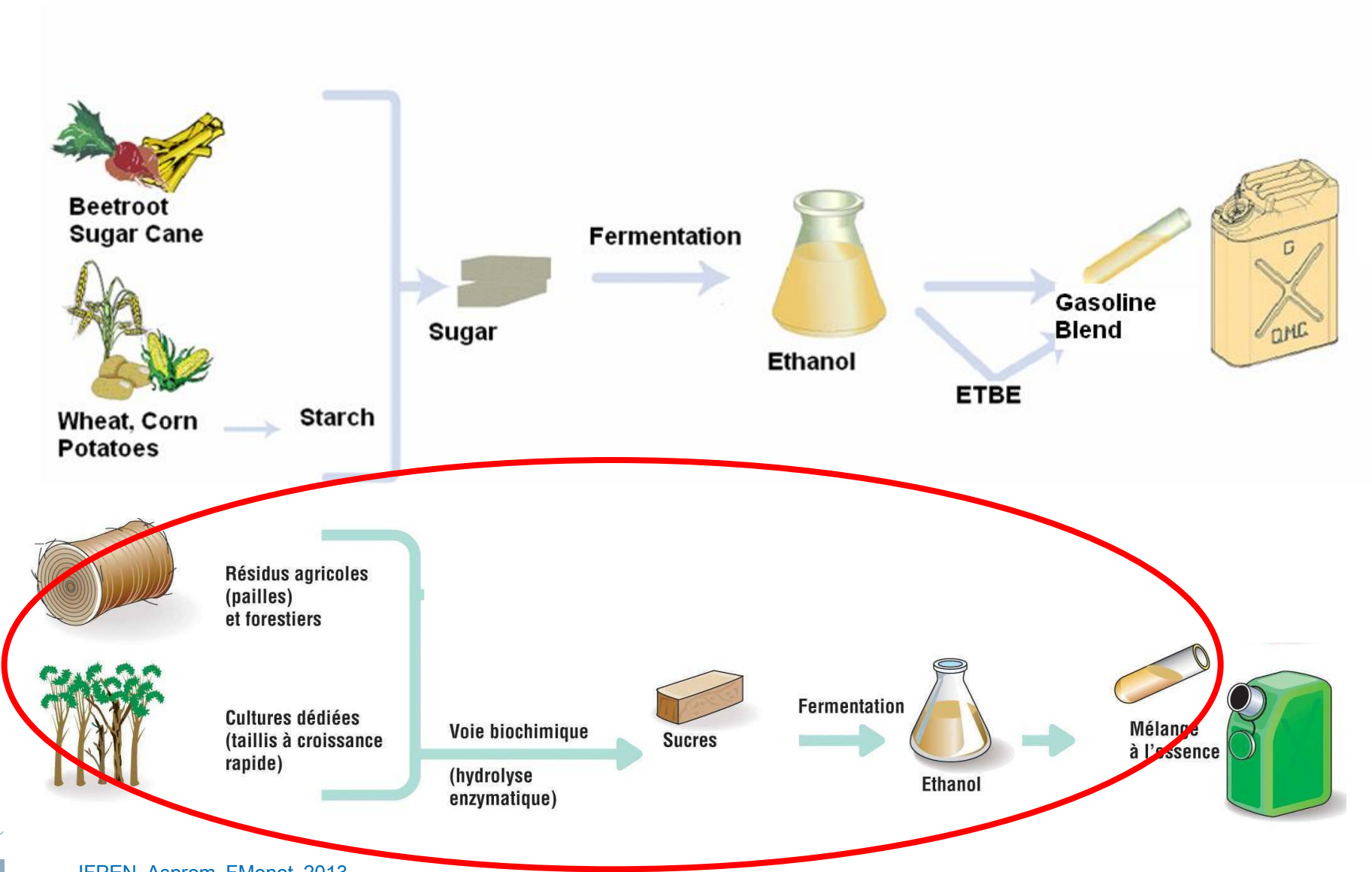
Répartition du coût de production

- *Europe, prix moyens (€/l)*

	Blé	Betterave
Matière première	0.22 – 0.34	0.2 – 0.32
Procédé	0.28	0.22
Co-produits	-0.15	0
Total	0.36 – 0.48	0.42 – 0.52

Très dépendant de la matière première

Procédés biologiques de production d'éthanol 1G et 2G

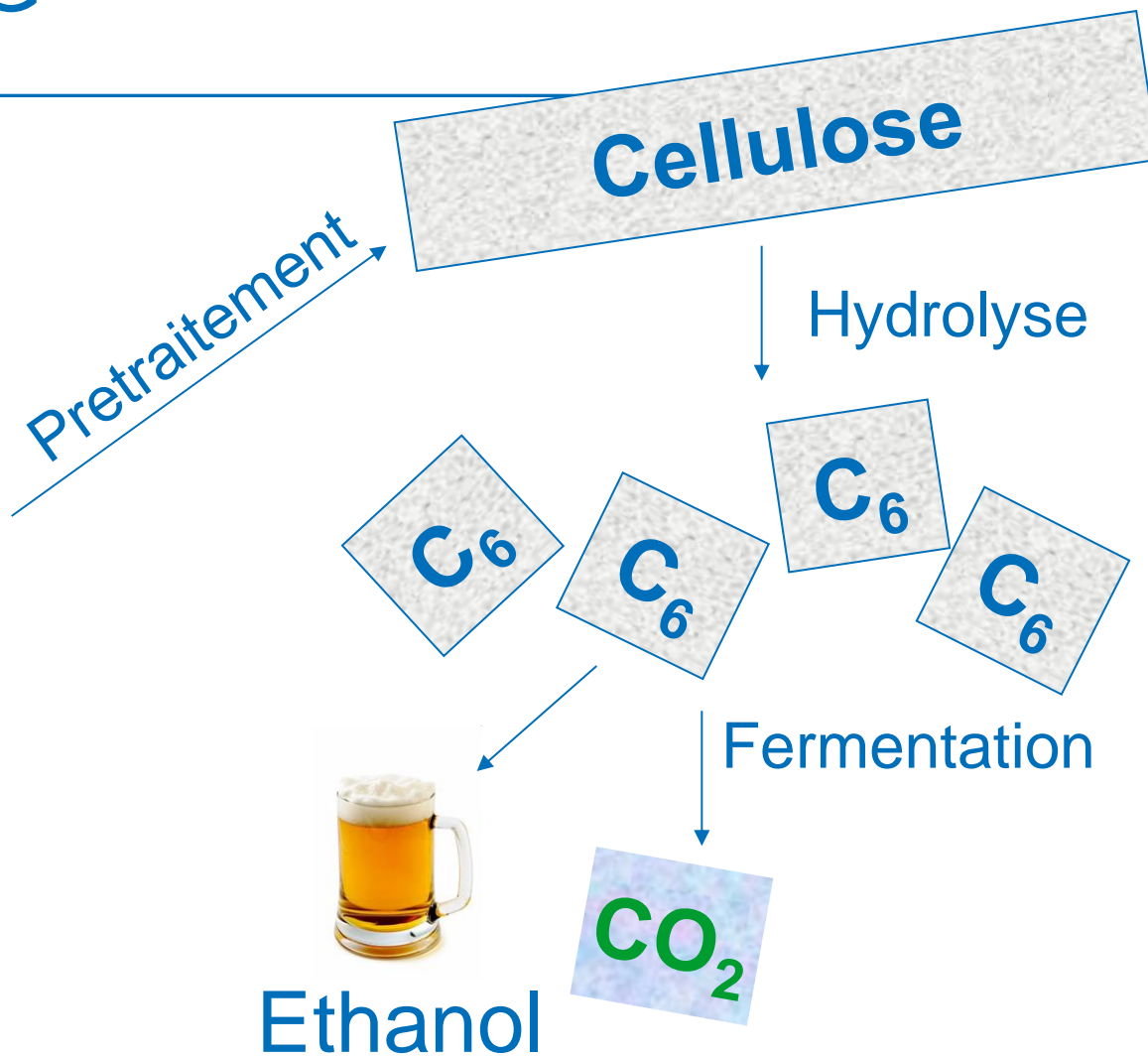
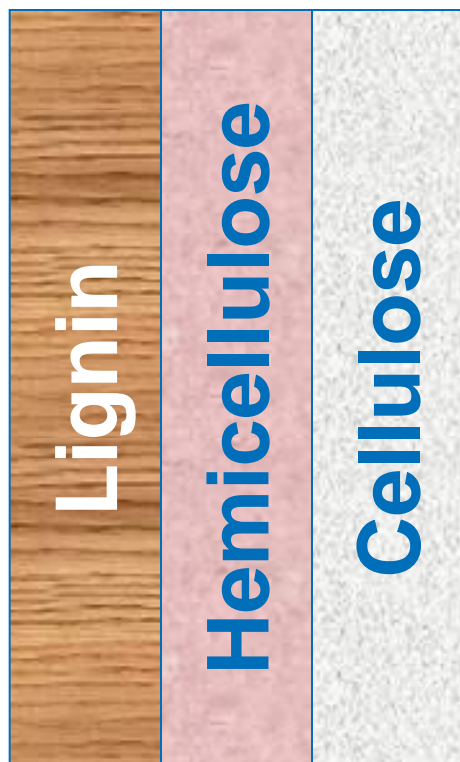




“With more research and incentives, we can break our dependence on oil with biofuels... We need to get behind this innovation. And to help pay for it, I’m asking Congress to eliminate the billions in taxpayer dollars we currently give to oil companies. I don’t know if you’ve noticed, but they’re doing just fine on their own. So instead of subsidizing yesterday’s energy, let’s invest in tomorrow’s.”

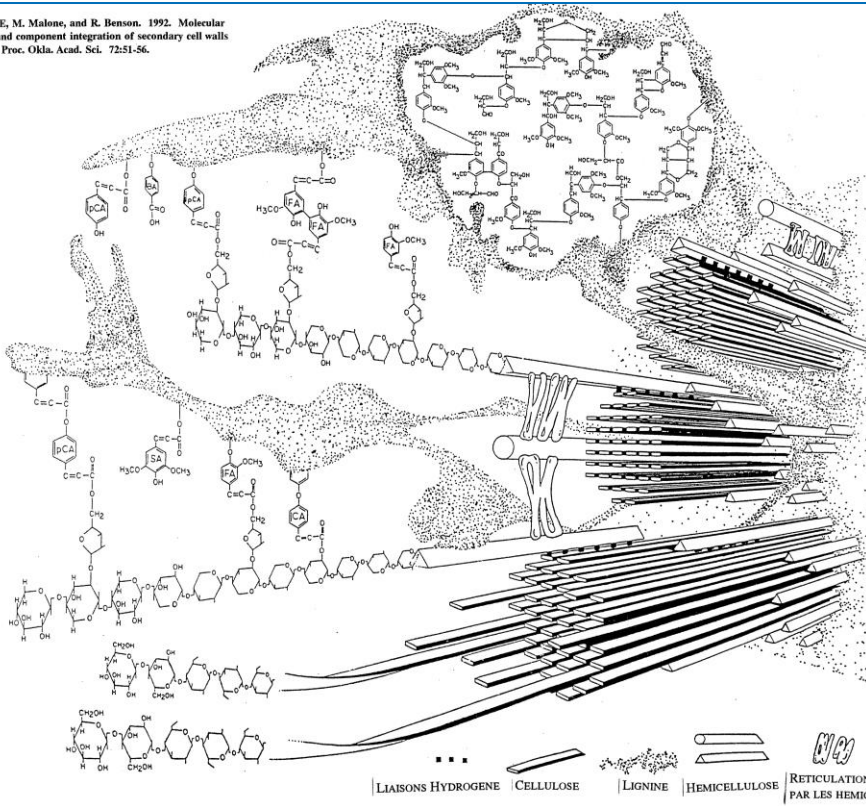
President Barack Obama
State of the Union Speech
January 25, 2011

Ressources 2G



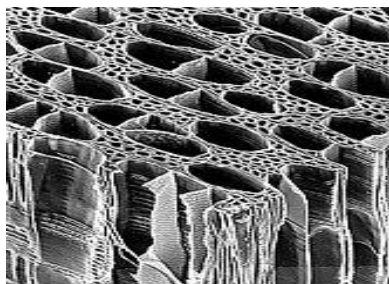
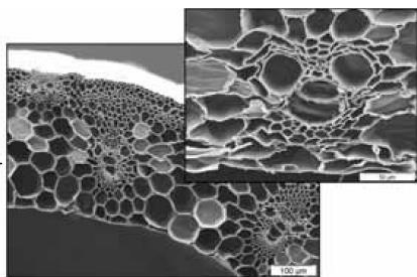
Biomasse Lignocellulosique: Structure de l'échelle moléculaire au nm

Bidlack, J.F., M. Malone, and R. Benson. 1992. Molecular structure and component integration of secondary cell walls in plants. Proc. Okla. Acad. Sci. 72:51-56.



- **Cellulose ($C_6H_{10}O_5$)_n**
 - Polysaccharide linéaire
 - $300 < dp < 14000$, $l \sim 0.5 - 10 \mu m$
 - Elt de base: Cellobiose
- **Hémicellulose**
 - Polysaccharide linéaire/ramifié
 - $100 < dp < 300$
 - Elt de base: C5, C6, A. uronique
- **Lignine**
 - Polymère amorphe réticulé
 - Elt de base: alcools aromatiques

Biomasse Lignocellulosique: Composition % pds MS

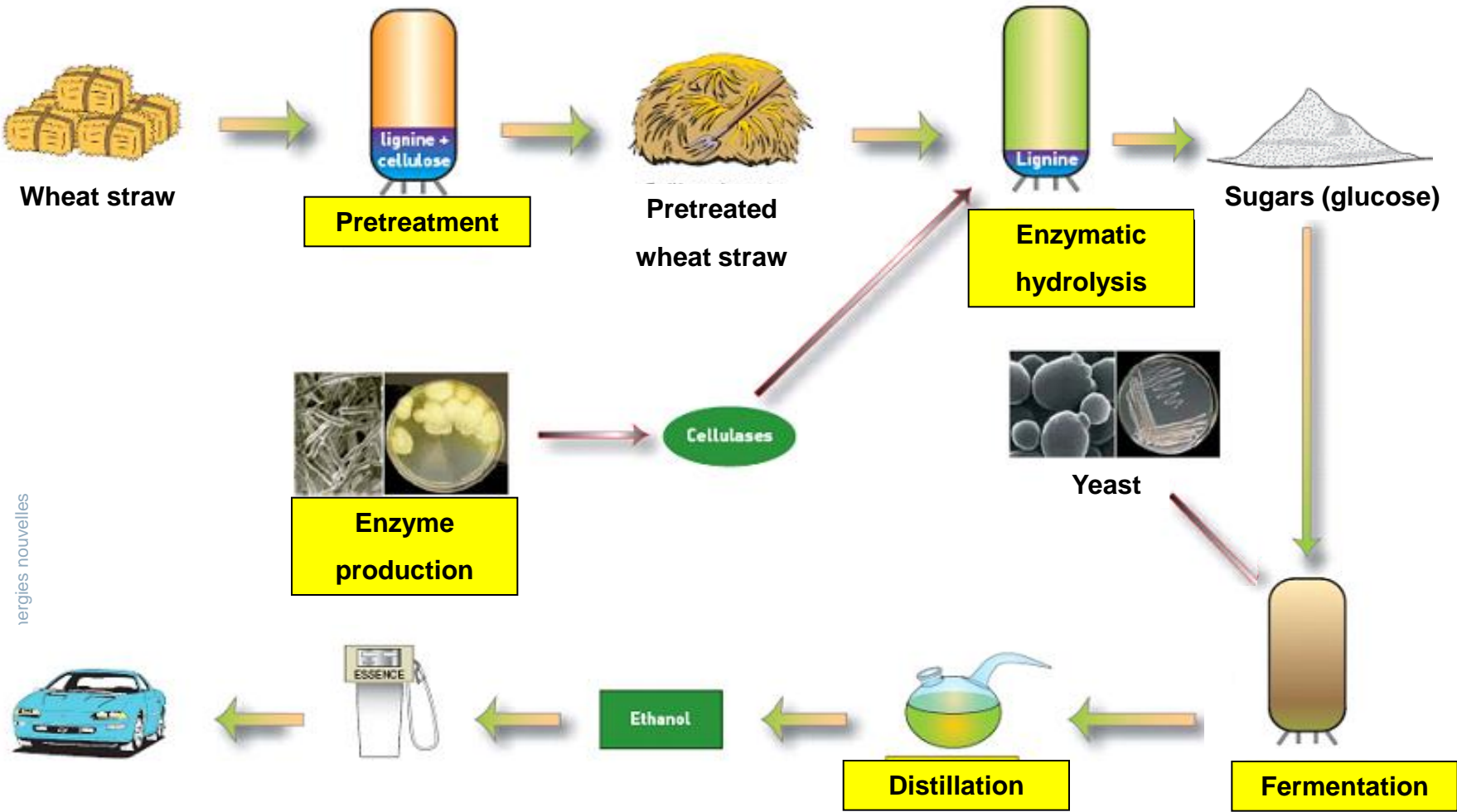


Végétal	Cellulose	Hemicellulose	Lignine
Paille de Blé	30-40	20-35	15-25
Rafle de maïs	35-40	20-30	10-20
Bagasse	35-40	20-25	10-25
Pin	40-45	20-25	25-30
Peuplier	40-50	15-30	20-25
Valeurs types	40	30	25

- **Grande diversité de ressource**
- **Variabilité de composition limitée**

Schéma de procédé typique

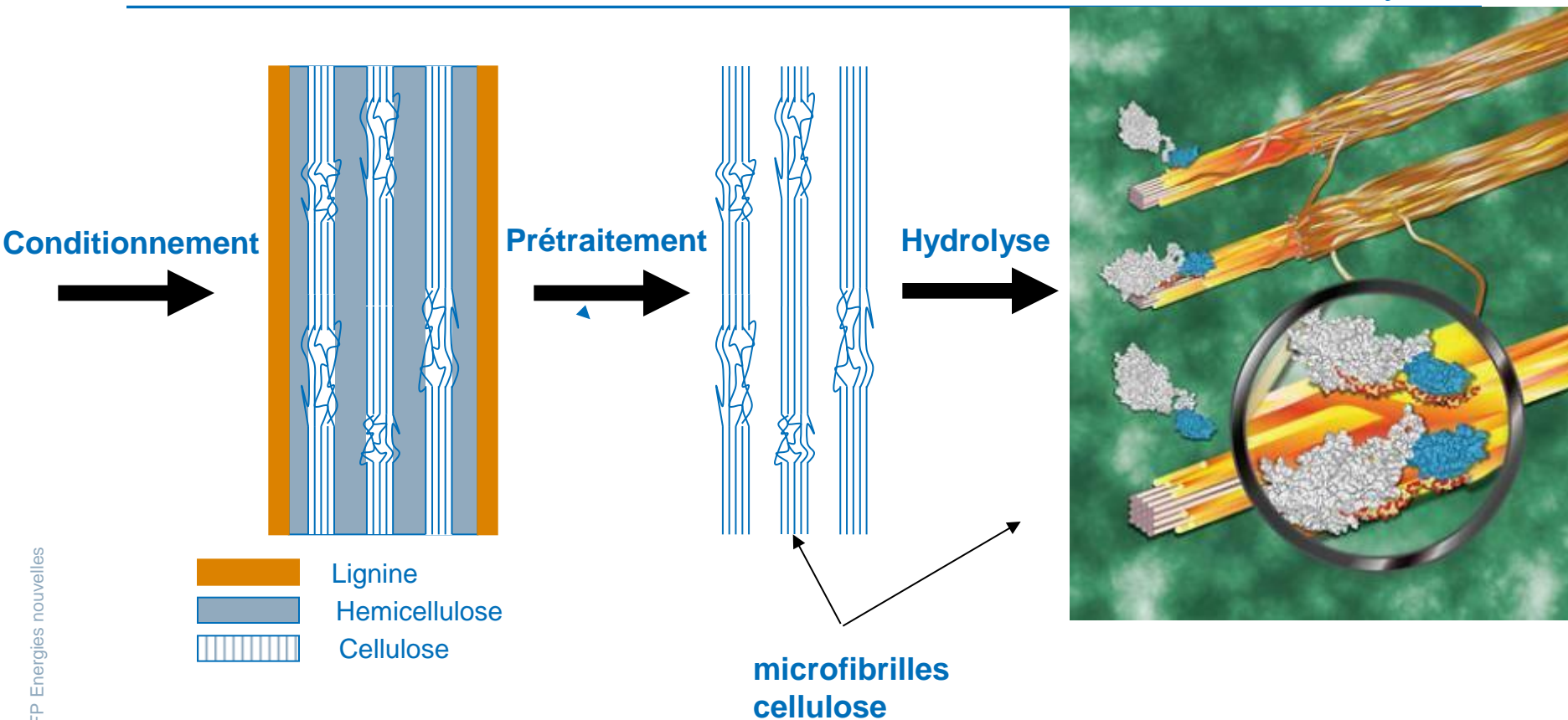
Bioéthanol ex lignocellulose



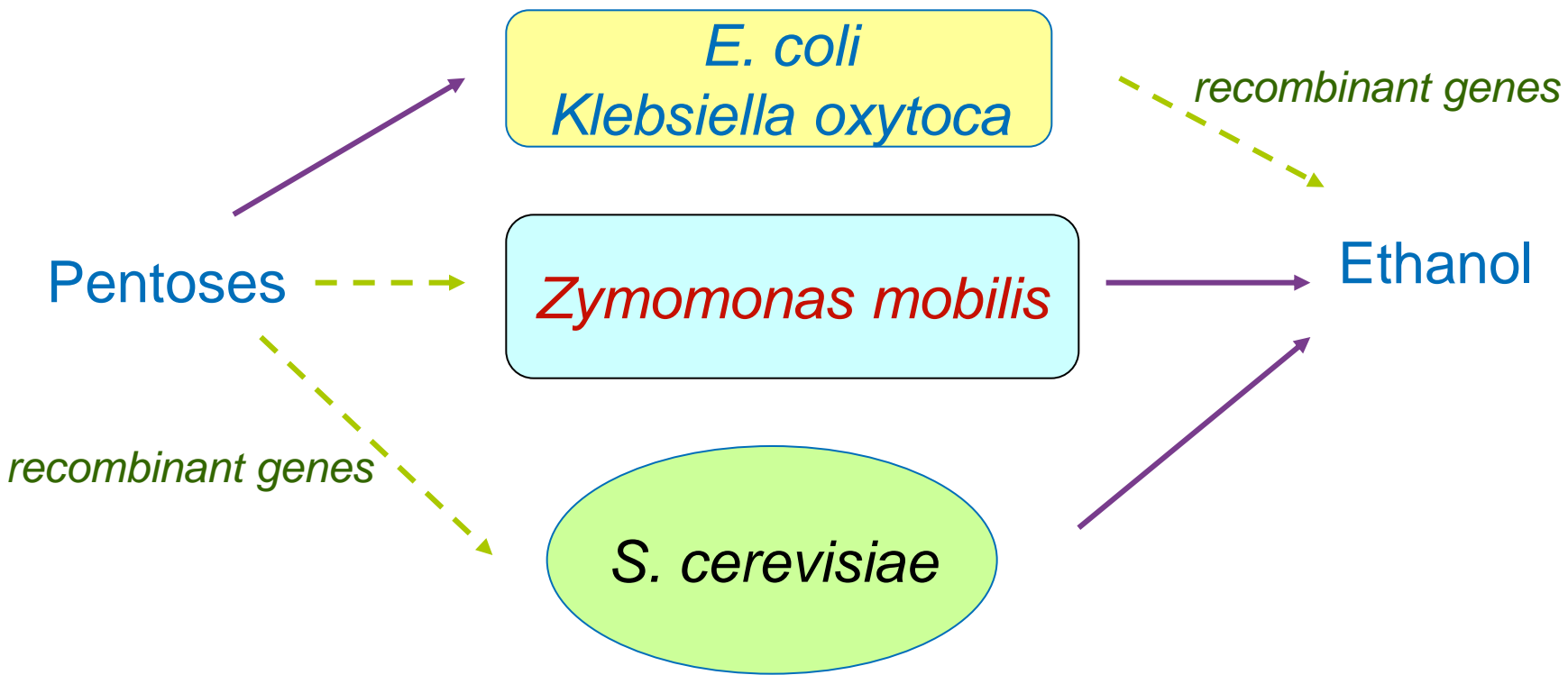
Production d'éthanol 2G

Contrainte majeure : la libération des sucres

Action des enzymes CBH



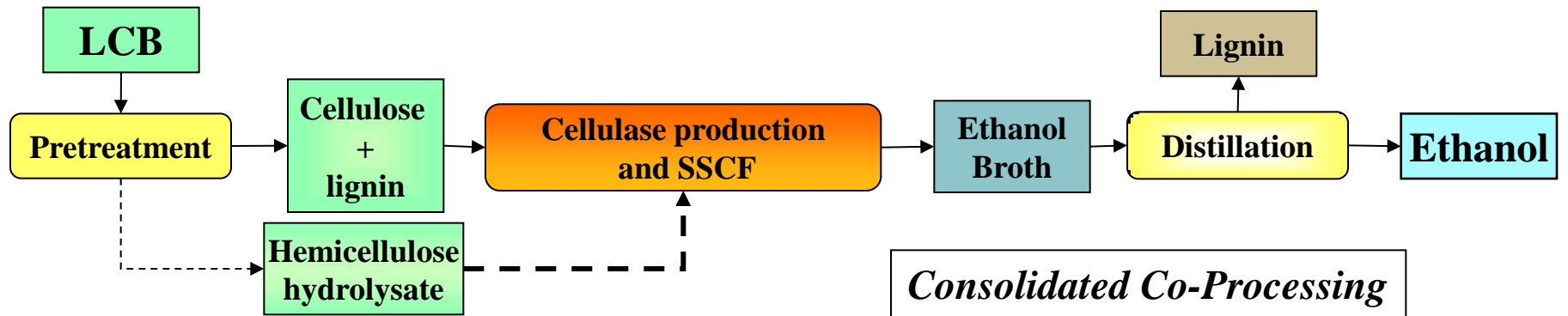
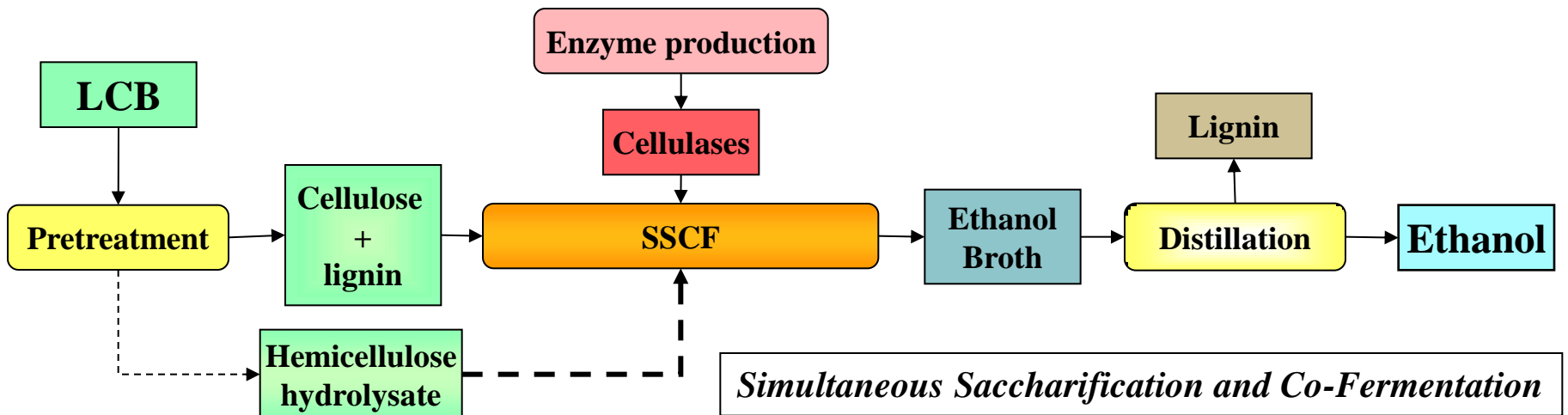
Production d'éthanol 2G autre verrou : la fermentation des pentoses



From Hahn-Hagerdahl et al., Trends Biotechnol. 2006

Intégration du procédé

Schémas plus intégrés



Exemple : Mascoma, Deinove

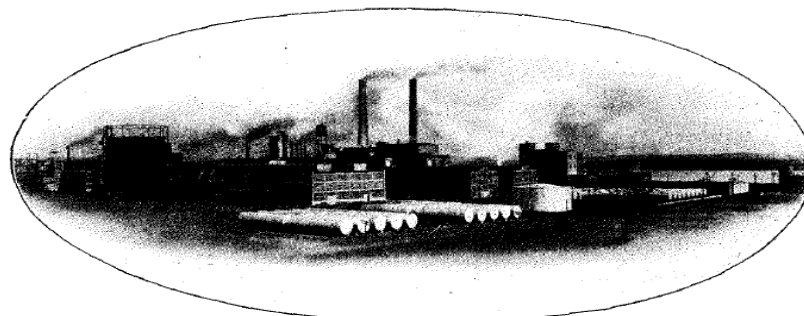
Autres biocarburants produits / voie biologique

October, 1928

INDUSTRIAL AND ENGINEERING CHEMISTRY

1063

■ Biobutanol



Peoria, Ill., Plant

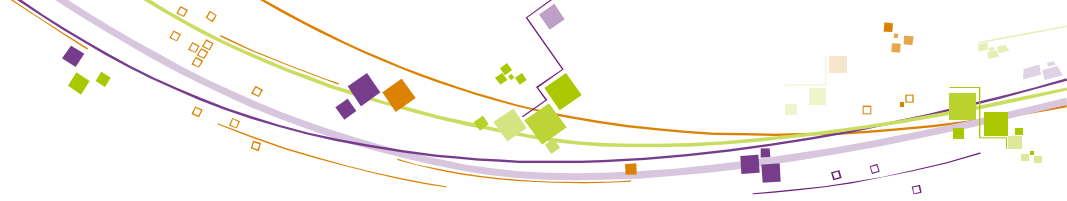
Butanol Fermentation Process'

C. L. Gabriel

■ Molécules issues de la biologie de synthèse

- Isobutanol (GEVO, Butamax)
- Farnesène (Amyris)
- Esters d'AG (LS9)





Bio-éthanol

- Contexte : pourquoi de l'éthanol-carburant ?
- Ressources: quelles matières premières ?
- Production : procédés
 - bio-éthanol de 1ère génération
 - bio-éthanol de 2ème génération
- Conclusion : où en est-on ? les pilotes/démos 2G



Projet Futurol

Objectif

- Développer et proposer procédés, technologies et produits (enzymes et levures) pour la production de bioéthanol de seconde génération à partir de biomasse lignocellulosique, cultures dédiées, résidus agricoles et (co-produits) forestiers.

8 ans – 76 M€

Partenariat :

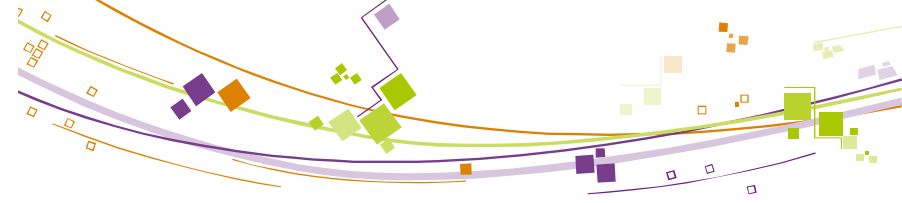




Projet

FUTUROL

PROCETHOL 2G



Pilote

- Localisation : Pomacle-Bazancourt (proche Reims)
- Opérationnel depuis été 2011
- Capacité : 1 t_{MS}/jour



Unités de démonstration EtOH 2G (> 1 kt/an) en Europe (actives)

Plant Owner	Location	Input capacity (t/year)	Output capacity (t/year)
Clariant (ex Sud Chemie)	Straubing, Germany	Agriculture residues, wheat straw	1 000
Abengoa Bioenergy, Biocarburantes Castilla y Leon, Ebro Puleva	Babilafuente, Salamanca, Spain	25 000 t/year (barley/wheat straw, corn stover)	4 000
Inbicon (Dong Energy)	Kalundborg, Denmark	30 000 t/year (wheat straw, other lignocellulosics)	4 300
Chempolis	Oulu (Chempolis R&D Center), Finland	25 000 t/year (non-wood, non-food raw material) formicobio™ process	running ?
Beta Renewables (JV Chemtex (M&G), TPG, Novozymes)	Crescentino, Italy	Non-food biomass (giant cane and wheat straw)	40 000

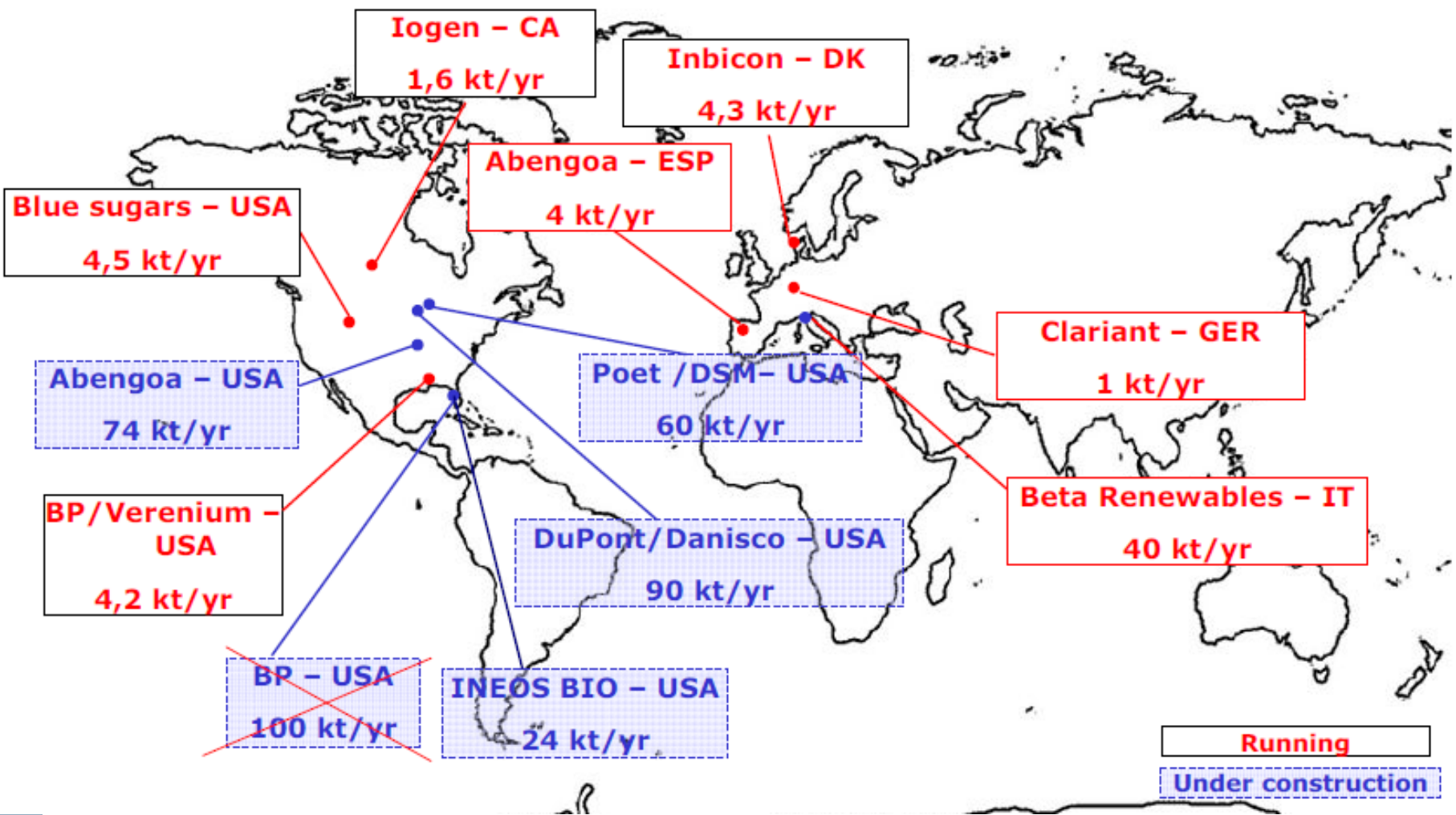
Unités de démonstration EtOH 2G (> 1 kt/an) en Europe (annoncées)

Plant	Location	Input raw material	Output capacity (t/year)	Planned Start-up date
Biogasol (BornBio-Fuel 2)	Aakirkeby, Bornholm, Denmark	Various lignocellulosics incl. grasses, green waste, straw	4 000	2013
INEOS Bio	Seal Sands, Tees Valley, UK	Biodegradable household and commercial waste	24 000	2015
Procethol 2G (Futurol)	Lillebonne, France	Various lignocellulosics	1 500	2015
NER300 project CEG (Sekab)	Goswinowice, Poland	Agricultural residues: wheat straw, corn stover	48 000	
NER300 project BEST	Crescentino, Italy	Giant cane, wheat straw	40 000	

Unités de démonstration EtOH 2G (> 1 kt/an) en Amérique du Nord (actives)

Plant Owner	Location	Input capacity (t/year)	Output capacity (t/year)
IOGEN Corporation	Ottawa, Ontario, Canada	30 t/d (wheat, barley and oat straws)	1 600
BP (Jennings Demo Facility)	Jennings, LA,US	Sugarcane bagasse, switchgrass, wood products	4 180
Blue Sugars Corporation (KL Energy Corporation)	Upton, Wyoming, US	33 500 t/y (bagasse, wood, pulp) (integr. enz. prod.)	4 500
BlueFire Renewables	California, US	acid hydrolysis, various wood and paper wastes, bagasses	11 100 ?

Projets Ethanol 2G projets actifs ou en construction 2012 - UE/USA (> 1000 t/y)





Conclusions

- **Développement EtOH cellulosique : encore des enjeux techniques et économiques, mais beaucoup de gros projets annoncés dans le monde.**
- **RFS2 maintient cibles 2022 sur “advanced biofuels”**
 - En 2013, 14 Mgal (52 000 t) EtOH cellulosique prévus aux USA (Abengoa Bioenergy, Fiberight, INEOS Bio and KiOR Inc)
 - « 2013 will be a “pivotal” year for the cellulosic and advanced biofuels industries to demonstrate commercial and economic viability in order to contribute toward the proposed 2013 volumes » (Bio Association)
- **Europe**
 - La première unité industrielle (Beta Renewables)
 - + 2 nouvelles unités de démonstration (NER300) (et peut-être plus ...)



Innovater les énergies

www.ifpenergiesnouvelles.fr