

Biomasse et Biocarburants

Georges Pelletier

INRA

Retour aux origines?

Henry Ford (1863-1947)

Premiers moteurs à l' alcool de grains

Rudolph Diesel (1858-1913)

Premiers moteurs à l'huile d'arachide

1973-----

Coût

Filière éthanol

Filière biodiesel

2000-----

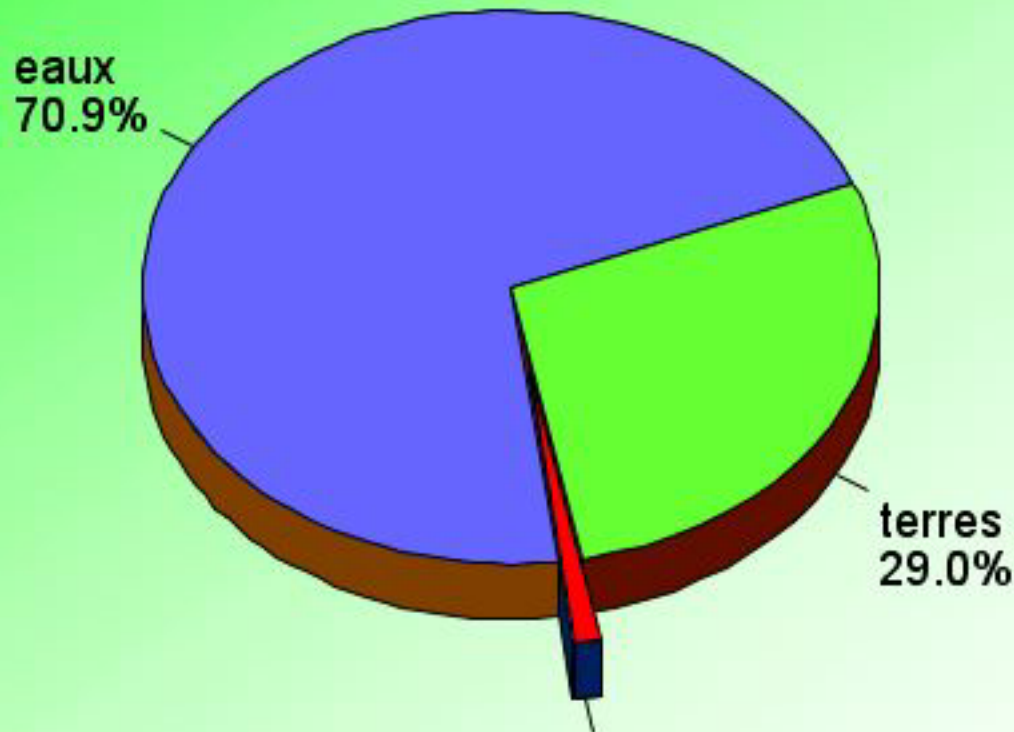
Environnement

Filières précédentes

2ème génération

10^{14} tep représentent l'ordre de grandeur de l'énergie solaire reçue dans l'année par la Terre

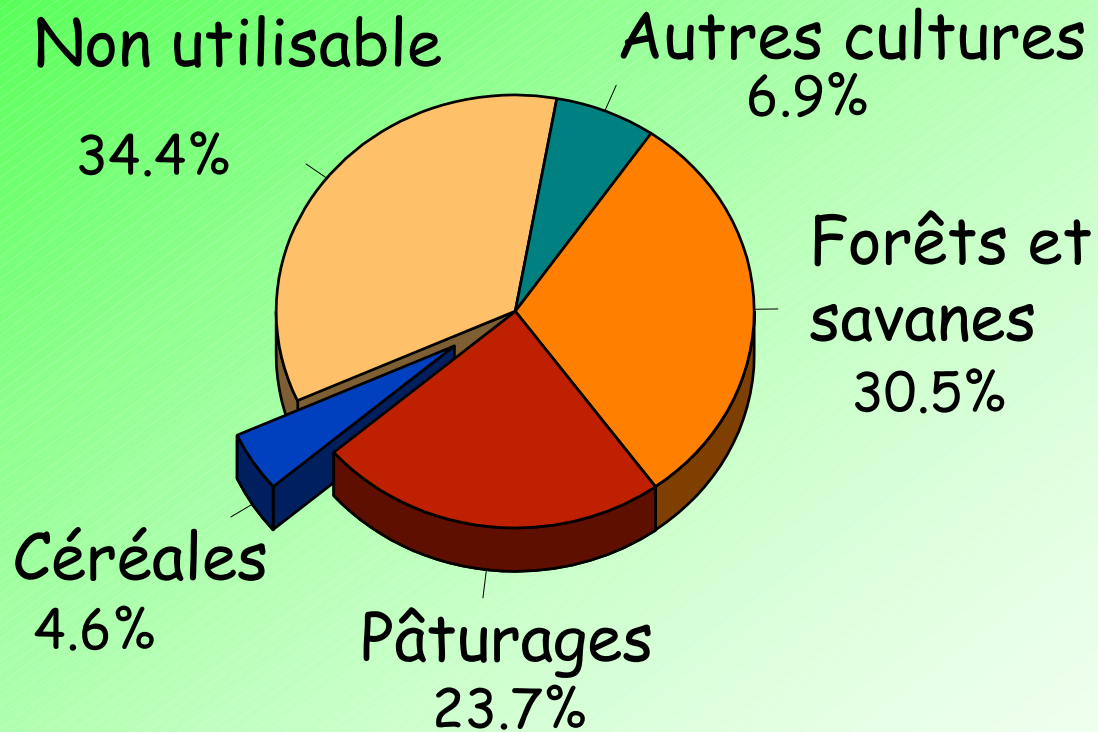
(consommation humaine, de l'ordre de $8,8 \cdot 10^9$ tep)



Surface nécessaire pour $8,8 \cdot 10^9$ tep

de l'ordre de 500 Millions d'Ha de biomasse à 50 t/Ha de matière sèche

Répartition des terres



Surface totale 13 000 M Ha
Surface cultivée 1 500 M Ha

Des potentialités

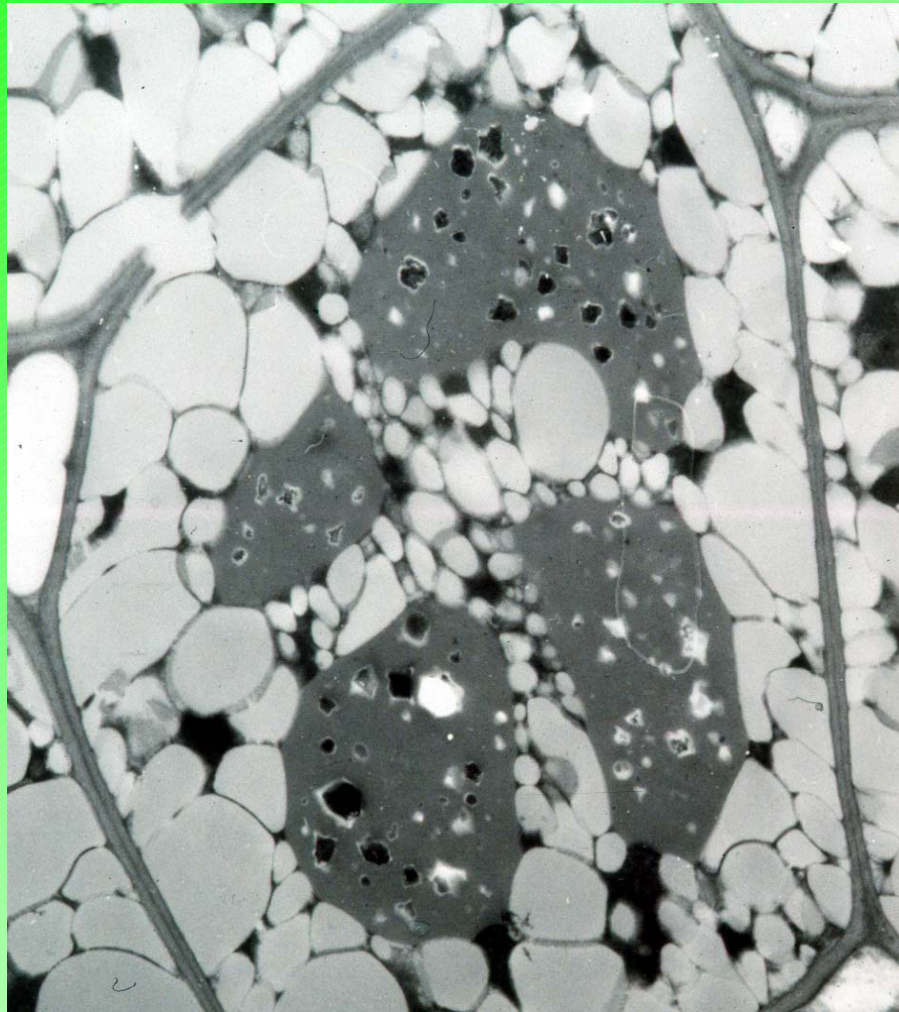
- L'énergie contenue dans l'huile de colza est plus de 5 fois celle nécessaire à sa production au champ
- L'énergie contenue dans la biomasse du switchgrass (*Panicum vergatum*) est 17 fois celle nécessaire à sa production au champ.
- Un hectare de micro-algues peut produire 19 m³ de biofuel par an

Les cultures de première génération

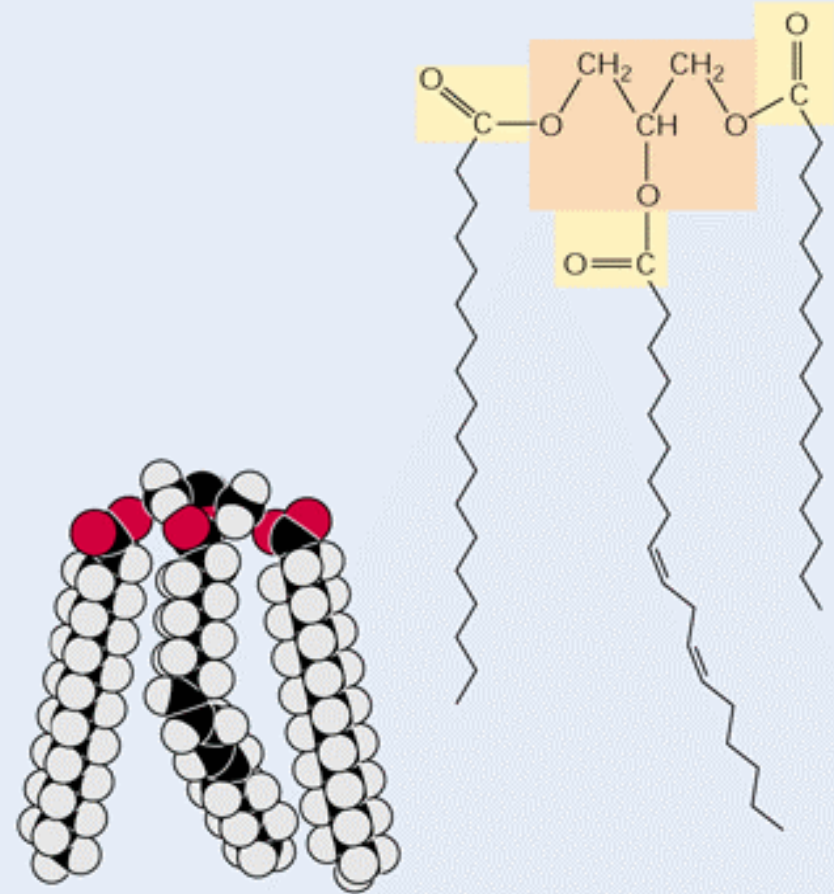
Les oléagineux



Les oléagineux accumulent des triacylglycérides



(B) Triacylglycerol



Production de diester

triglycérides d'acides gras +
alcool méthylique (ou éthylique)



« diester » + glycérol

Autres possibilités

usage direct de l'huile

mélange huile + kérosène

La betterave sucrière

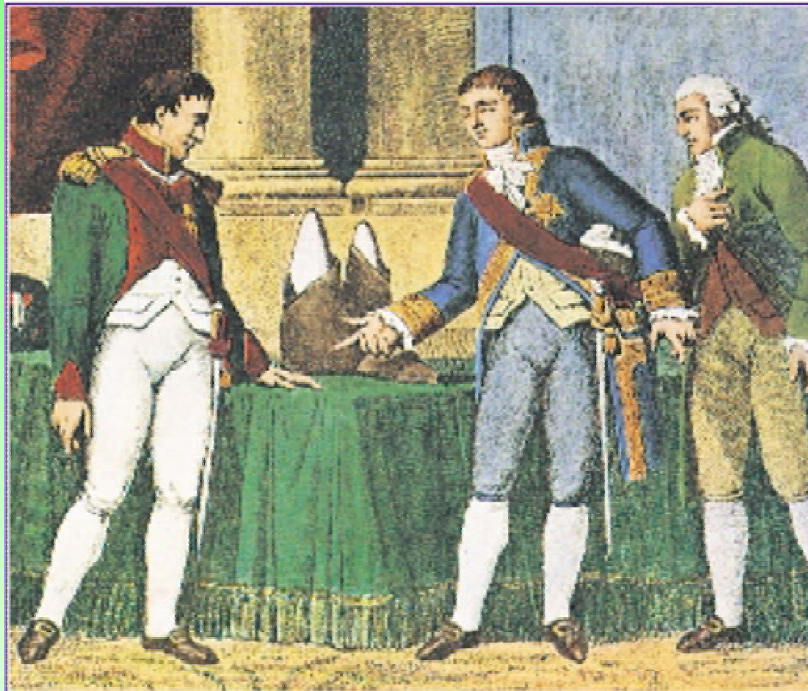
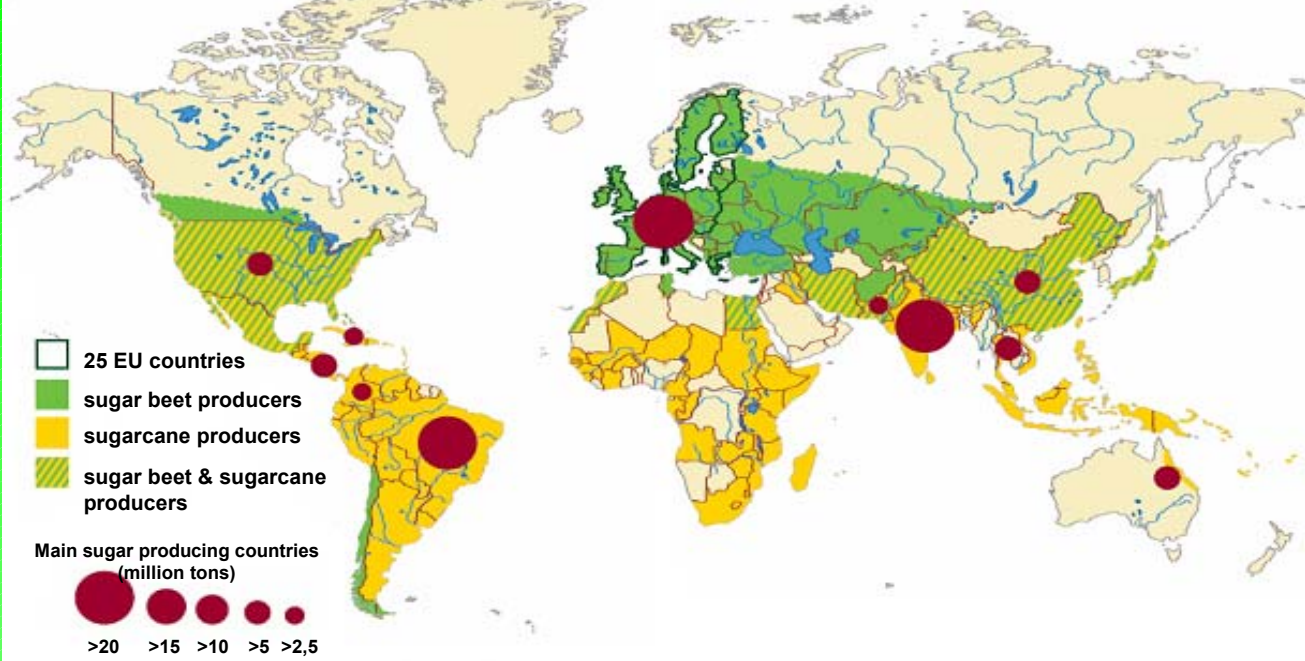


Figure 1.2: *Présentation de pains de sucre de betterave à l'empereur Napoléon (1811) [13].*

La canne à sucre



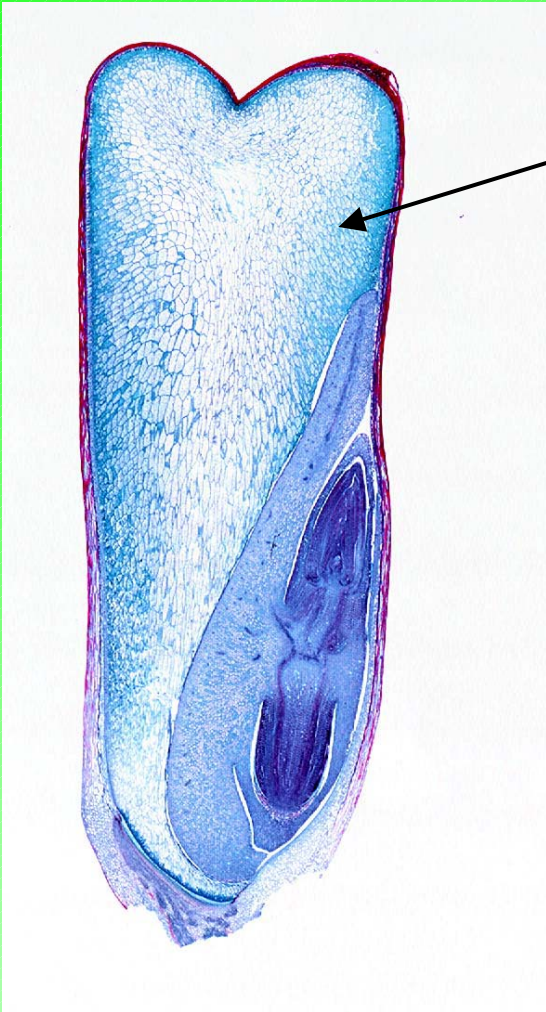
	2004		2005	
Brésil	416,256	31%	420 ,121	33%
Inde	236,180	18%	232 ,320	18%
Chine	92,979	7%	93,730	7%
Thaïlande	63,744	5%	49,572	4%
Pakistan	53,194	4%	47,244	4%
Mexique	45,127	3%	45,127	3%
Colombie	40,207	3%	39,851	3%
Australie	36,937	3%	38,246	3%
Philippines	32,507	2%	31,000	2%
USA	26,327	2%	25,804	2%
Indonésie	25,607	2%	25,500	2%
Cuba	24,007	2%	12,500	1%
Argentine	19,250	1%	19,300	1%
Afrique du Sud	19,098	1%	21,725	2%
Guatemala	17,508	1%	18,000	1%
Viet Nam	15,880	1%	16,600	1%
Egypte	16,230	1%	16,335	1%
Autres Pays	147,345	11%	140,167	11%
Total	1 328,383		1 293,142	

Table I.4. Production de canne à sucre en millions de tonnes Données de FAOSTAT (FAO)

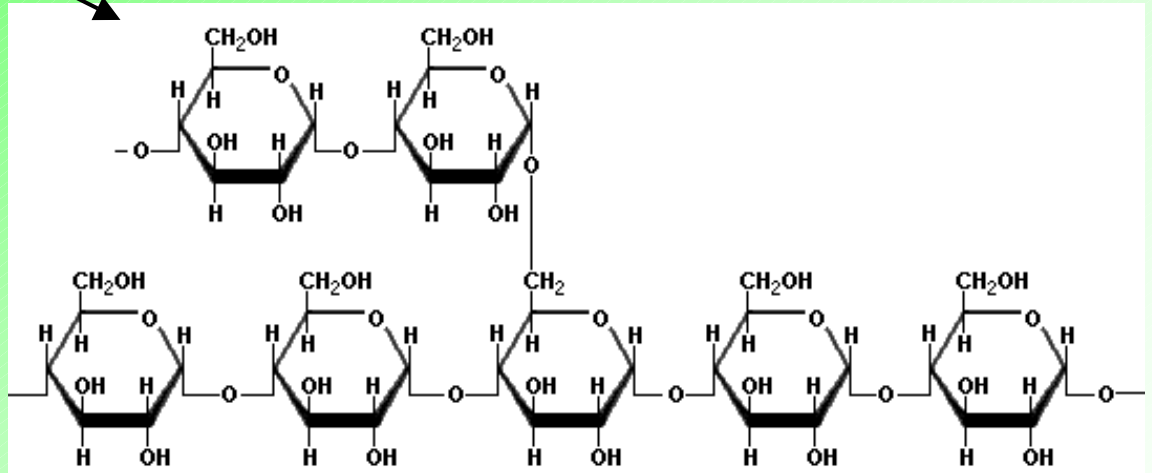
Les céréales



Structure chimique de l'amidon



amidon

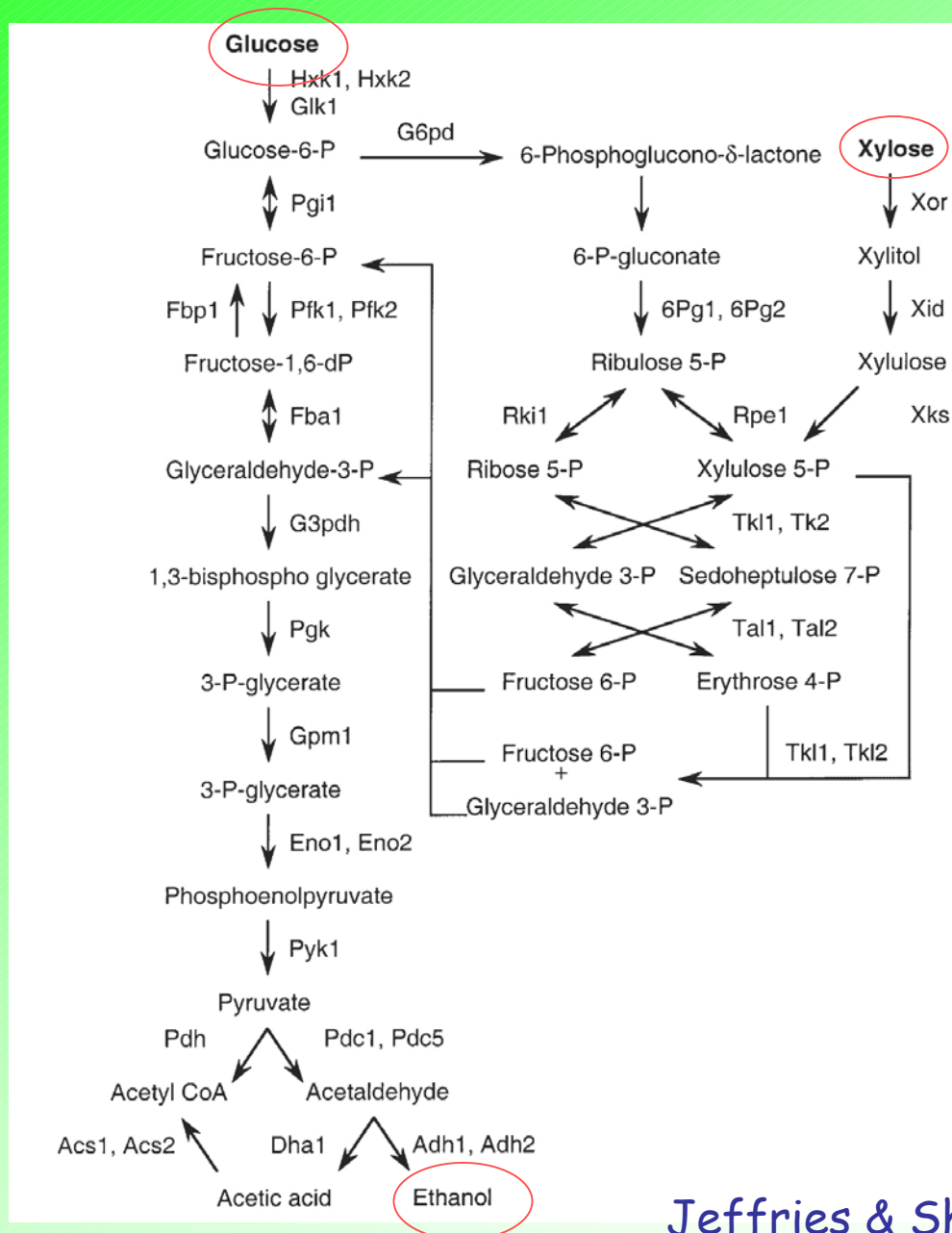


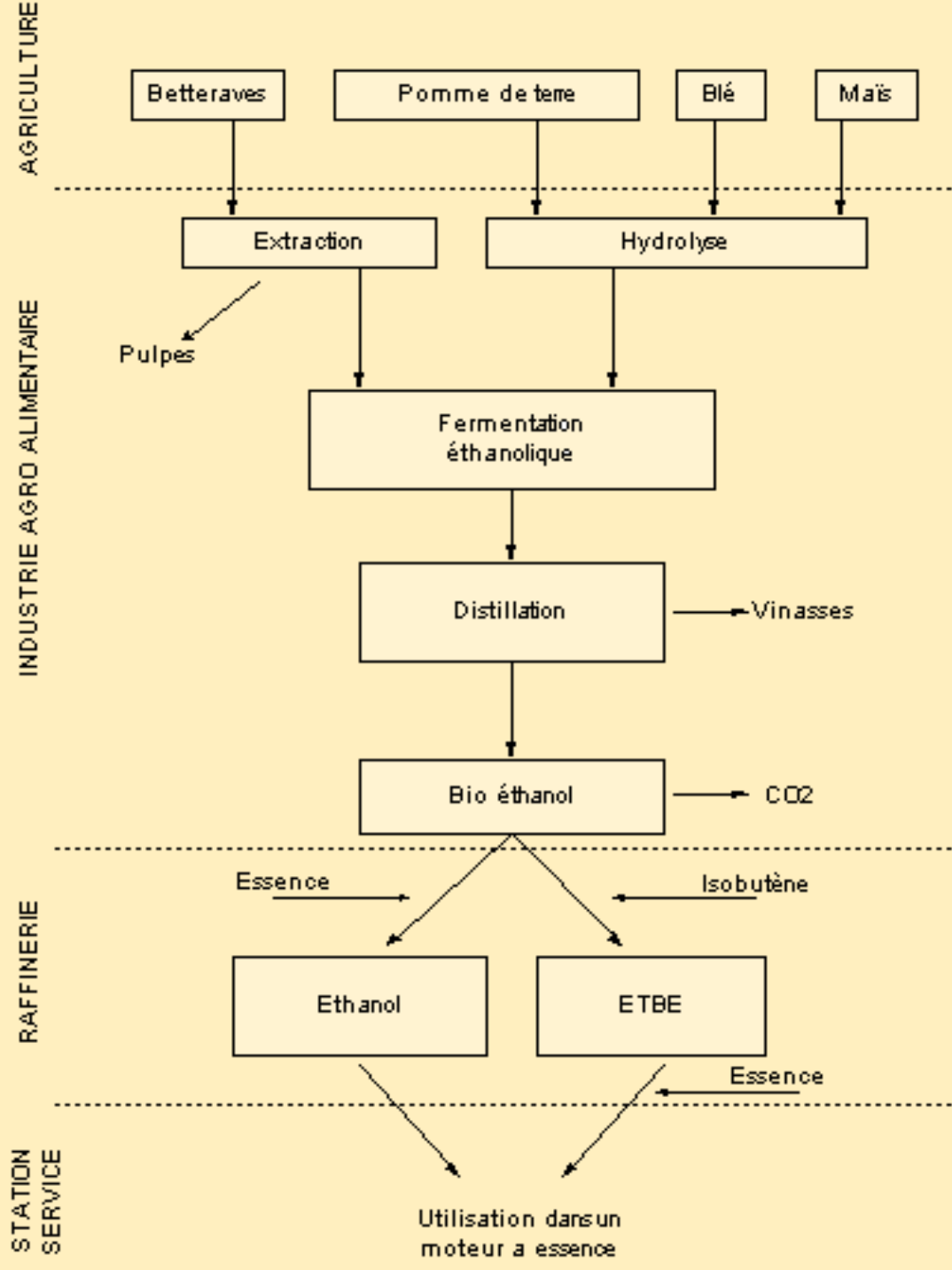
11 tonnes par Ha (mais aux Etats Unis)

Amidon + amylase = glucose

Ethanol à partir du glucose ou du xylose

Par
Fermentation
(levures)





Production brute par hectare

éthanol

Betterave	3,7 tep / Ha
Blé	1,7 tep / Ha

huile

Colza	1,2 tep / Ha
Tournesol	0,9 tep / Ha

Bilans environnementaux de la substitution

- Réduction de l'énergie fossile utilisée
- Ethanol de Canne à sucre : 100% (utilisation de la bagasse)
- Diester de colza : 64%
- Ethanol de Blé : 33%
- Réduction des gaz à effet de serre
- Ethanol de canne à sucre: 85%
- Diester de Colza : 53%
- Ethanol de Blé : 22%

La biomasse en France en 2006

Biocarburants (0,67 Mtep)

- Biodiesel: 680 000 Ha de Colza, 54 000 Ha de Tournesol
- Ethanol: 20 000 Ha de Blé, 22 000 Ha de betterave

Bois et résidus du bois (9,3 Mtep)

Biogaz (0,23 Mtep)

Résidus de récoltes (0,12 Mtep)

A comparer aux 51 Mtep pour les transports et
3 Mtep pour l'agriculture (hors intrants)

2ème génération

Il s'agit d'utiliser non plus des organes de réserves des plantes mais la totalité de leur masse:

- Conversion thermochimique en gaz ou en gazole
- Conversion biologique et physico-chimique en éthanol

Transformation de la biomasse par voie thermochimique en biofuel

- 2 étapes: thermique en syngas ($\text{CO} + \text{H}_2$)
- Puis procédé Fischer-Tropsch : fuel
- - : Rendement énergétique encore très faible (de l'ordre de 13%)
- + : Plus adapté aux installations de la pétrochimie

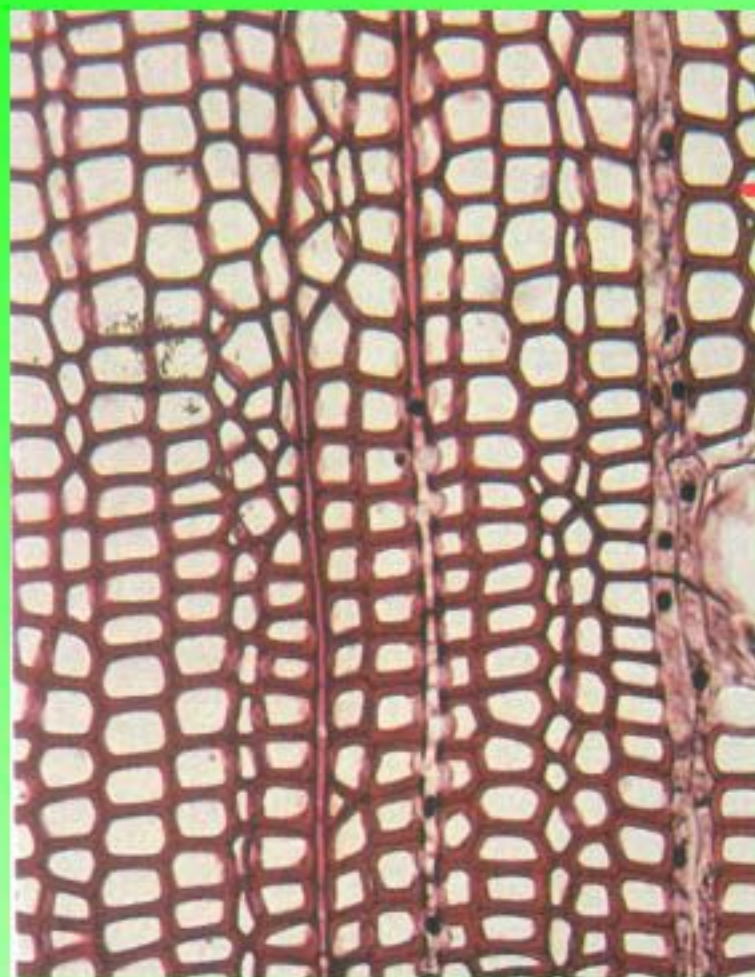
Conversion en éthanol

Par fermentation des constituants élémentaires

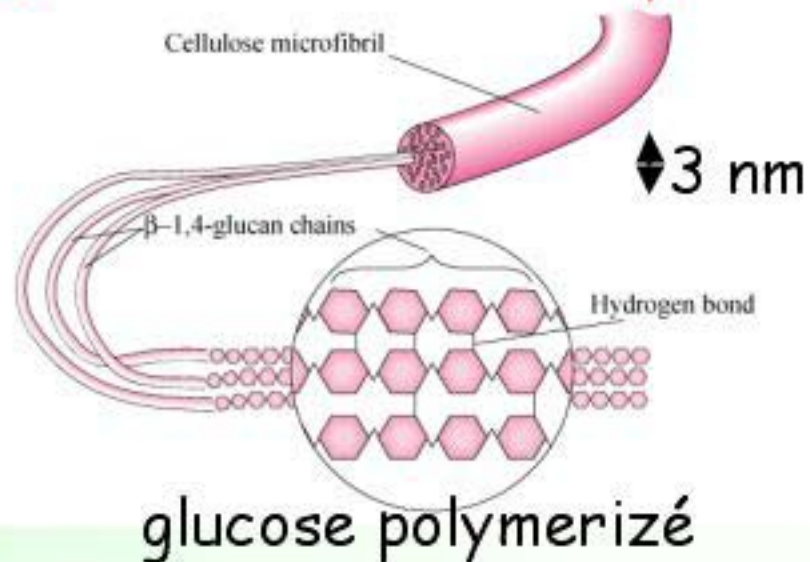
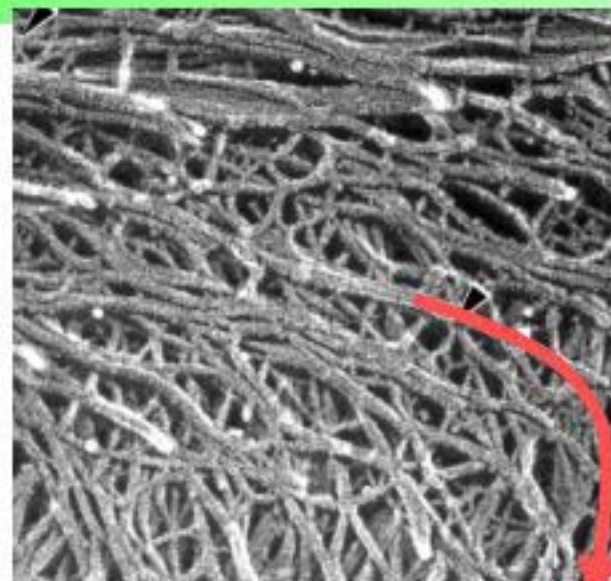
- : complexité des procédés de décomposition

+ : possibilité de récupération de la quasi totalité des co-produits

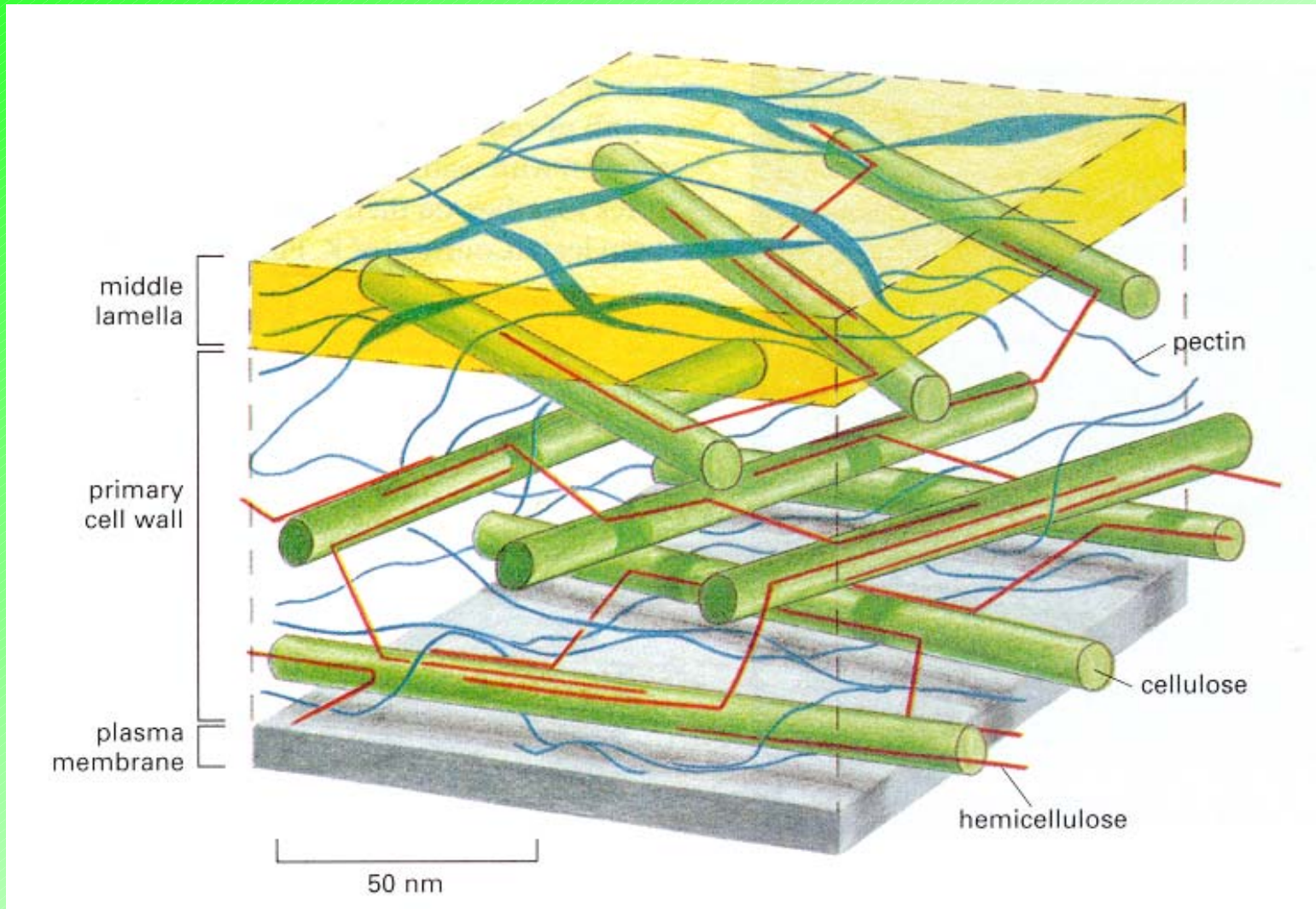
Les plantes sont essentiellement composées de sucres



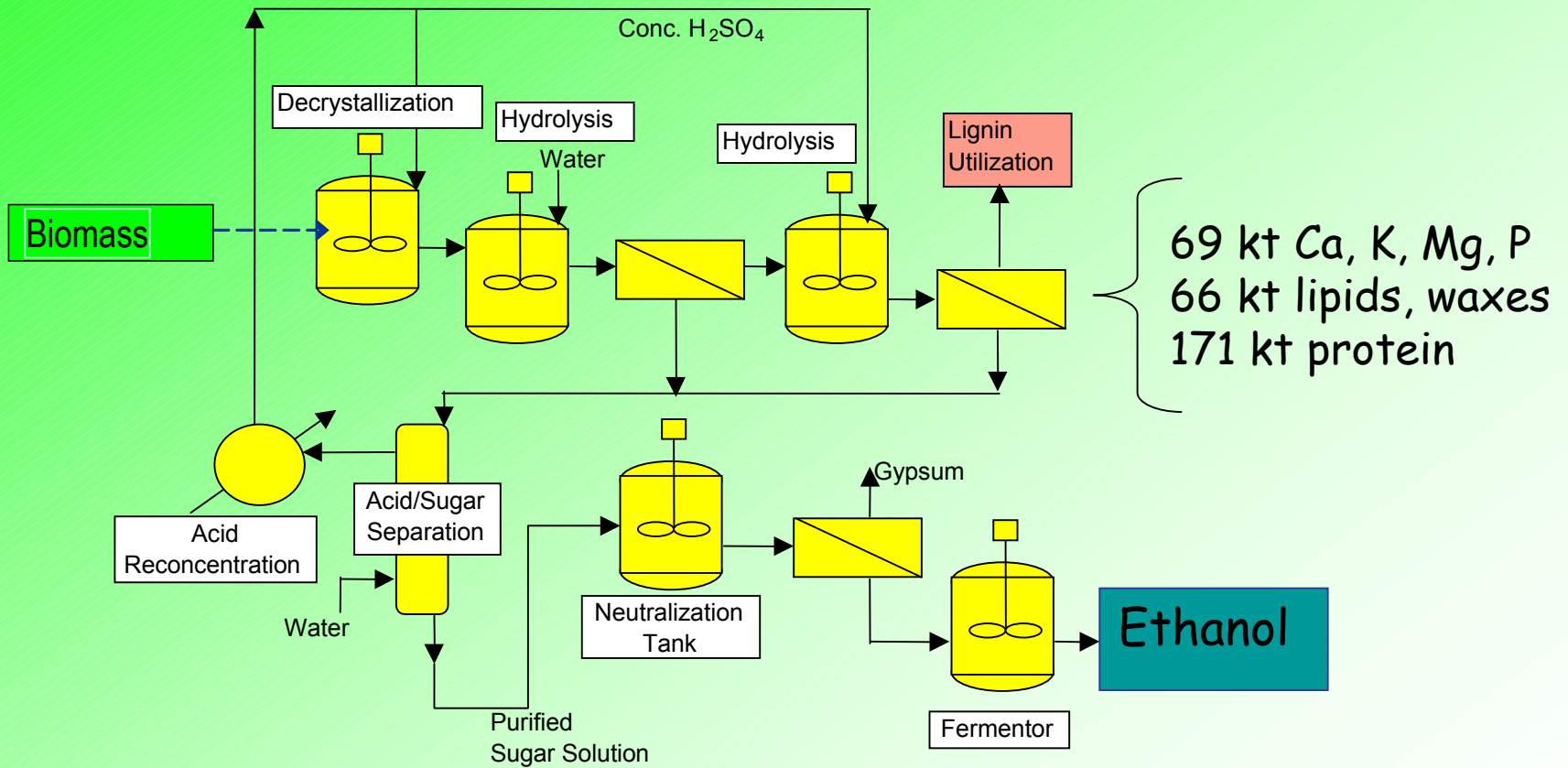
Section bois de pin



Modèle du réseau de cellulose/hemicellulose et pectine de la paroi des cellules



De la lignocellulose à l'éthanol



Miscanthus giganteus



Énergie d'1 t de matière sèche = 0,41 tep ; maxi 415 l éthanol = 0,21 tep

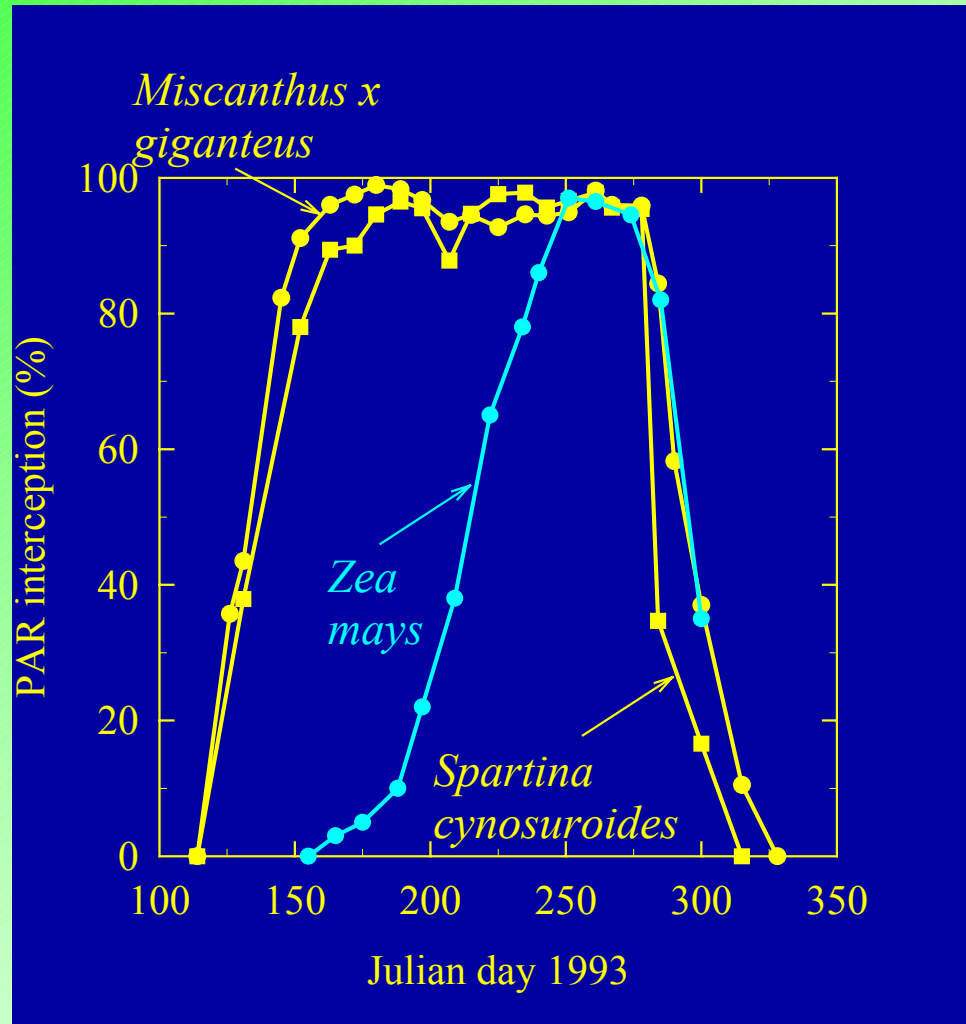
Photo Chris Somerville

Récolte du Miscanthus



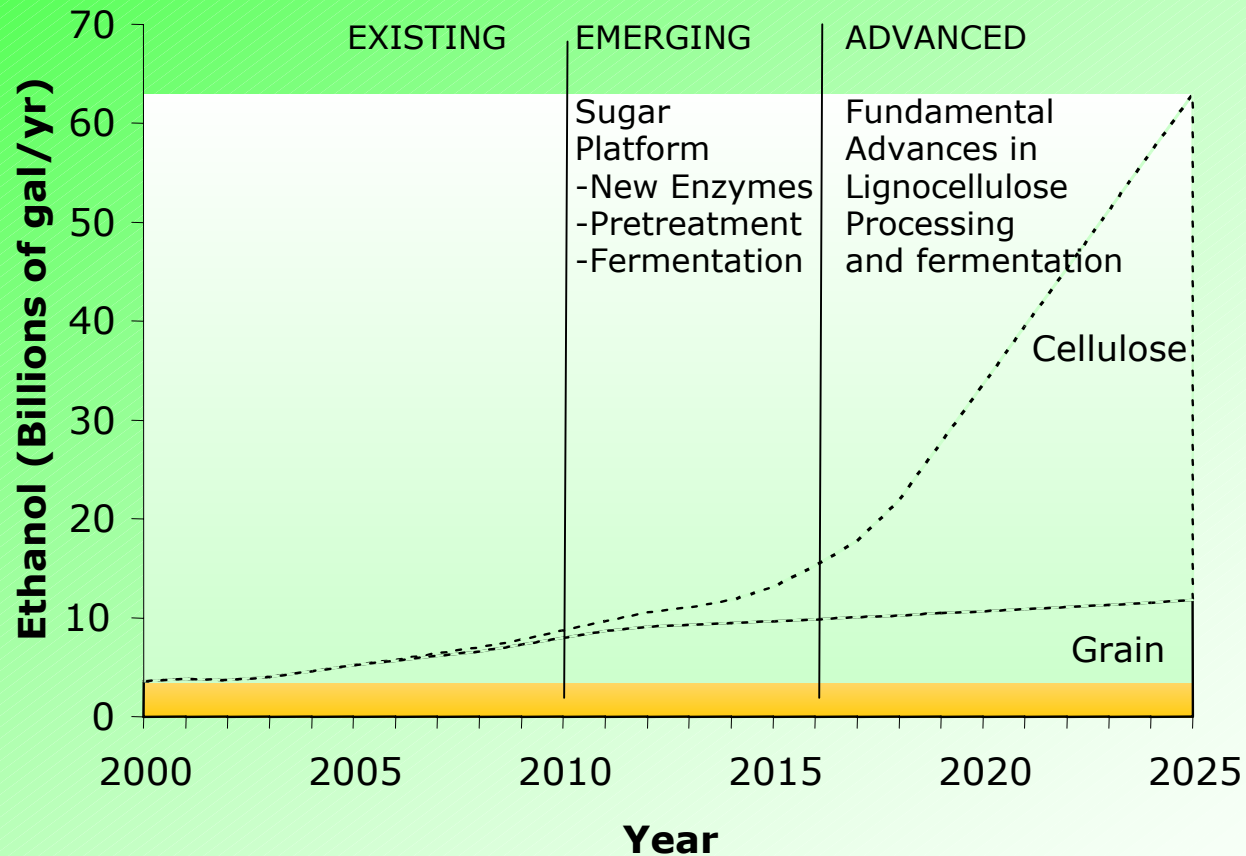
<http://bioenergy.ornl.gov/gallery/index.html>

Les plantes pérennes ont une photosynthèse prolongée



Courtesy of Steve Long, University of Illinois

DOE : prospective éthanol



Verrous à lever 1ère génération

- Améliorer le rendement énergétique à l'hectare
- Améliorer l'utilisation de l'azote et de l'eau
- Adapter les espèces pour améliorer les étapes de transformation en carburant
- Améliorer le bilan GES par voie biologique et par les pratiques agronomiques
- C'est à dire essentiellement des verrous biologiques

Lever des facteurs biologiques limitants

?

- Exemple des oléagineux:
- Colza produisant 40% d'huile en plus par augmentation du « pool » cellulaire de glycérol
- (Vigeolas et al. 2007)
- Exemple de la canne à sucre
- Doublement de la concentration en sucre des cellules des tiges par isomérisation du saccharose en isomaltulose (Wu & Birch 2007)

Verrous à lever

2ème génération

- **Production de biomasse**
- Méthodes de récolte et optimisation logistique
- Choix et amélioration de nouvelles espèces
- Adapter les espèces à la transformation en carburants
- Anticiper les problèmes phytosanitaires...

Été 2007!



Verrous à lever

2ème génération

Transformation de la biomasse en éthanol

1. Prétraitement pour séparer les constituants pariétaux: thermiques, chimiques, enzymatiques
2. Hydrolyse pour transformation en sucres fermentescibles
 - Enzymes adaptées, réduction des volumes d'eau, procédés en continu
3. Fermentation
4. Distillation et effluents

Efforts en biologie!

- BP investit 400 Millions de dollars sur 10 ans à l'Université de Berkeley dans la recherche en biotechnologie végétale pour améliorer par transgénèse les plantes productrices de biomasse.

Aspects positifs des espèces de 2ème génération

- Les méthodes de culture à développer pour les espèces de 2ème génération peuvent présenter des avantages environnementaux
 - Peu d'intrants pour la fertilisation et la protection sanitaire.
 - Récolte tardive favorable à la biodiversité
 - Possibilité de cultures en mélange (graminées + légumineuses)
 - Choix varié d'espèces permettant leur adaptation à différents contextes agronomiques

Autres questions en suspens

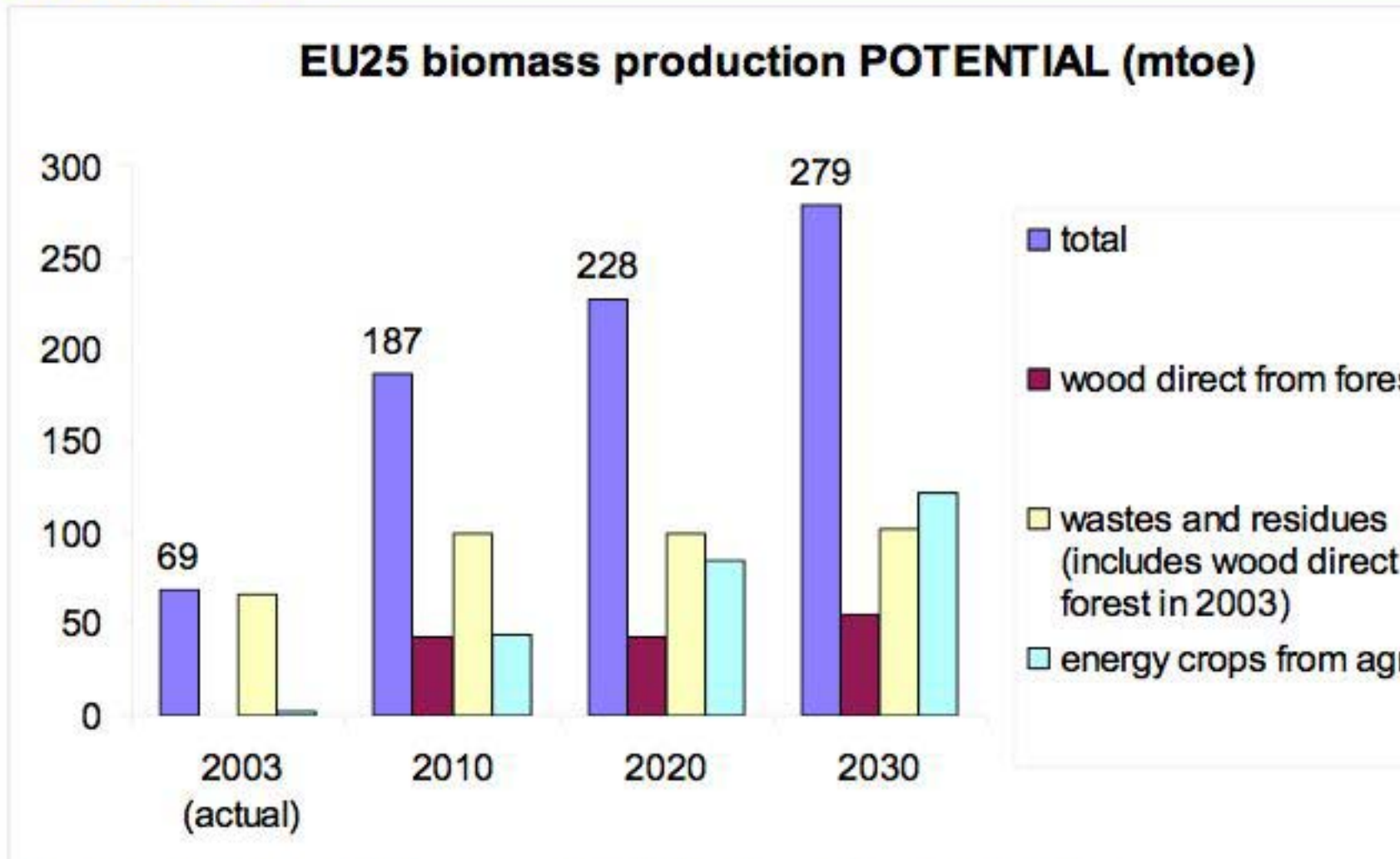
L'intégration de nouvelles espèces
pérennes dans l'espace et le paysage
agricole

Emprise agricole et concurrence avec
la production alimentaire



EU-25 biomass production potential

EU25 biomass production POTENTIAL (mtoe)



Sources: Eurostat (2003) / European Environmental Agency (projections)

Objectifs possibles

- 2 à 3 Mtep à partir des cultures améliorées de première génération
- 5 à ? Mtep à partir de cultures dédiées à la biomasse cellulosique (blé, triticales, sorgho, miscanthus, panicum, taillis à courte rotation...)
- 5 à 8 Mtep à partir des résidus et sous produits du bois