



## Enjeux et technologies des biocarburants en Europe

21 mars 2013

Vincent Feuillette

[vincent.feuillette@enea-consulting.com](mailto:vincent.feuillette@enea-consulting.com)

01.82.83.83.92

## Nous sommes



Une société de conseil indépendante, créée en 2007, agréée organisme de recherche et de formation.

Une équipe de 25 personnes aux parcours complémentaires : dirigeants de l'industrie, spécialistes de l'énergie et du développement durable, entrepreneurs, ingénieurs procédés.

## Notre engagement

Contribuer à l'accès à l'énergie pour tous :

- 1 500 jours de mécénat – 45 missions – 18 pays
- 25 partenaires – 15 études diffusées librement
- Un programme de R&D sur la mesure d'impact

### Nos clients



- Producteurs et distributeurs d'énergie
- Industriels et consommateurs d'énergie
- Investisseurs
- Ingénieries, équipementiers et développeurs de technologies
- Institutionnels et acteurs sociaux



## Offres de services



- Prospective énergie, environnement, société
- Stratégie énergie et développement durable



- Filières émergentes et nouveaux marchés
- R&D, Innovation et Investissement



- Gestion des ressources et optimisation énergie
- Expertise & formation

## Expertises thématiques



- Efficacité énergétique et valorisation de déchets
- Biogaz, bioénergies et biocarburants



- Energies nouvelles et CCS
- Stockage d'énergie et hydrogène



- Acceptabilité sociale et parties prenantes
- Accès à l'énergie et précarité énergétique



## INTRODUCTION

Définition / Contexte énergétique mondial: intérêt pour les biocarburants?

### **BIOCARBURANTS DE 1<sup>ère</sup> GENERATION**

#### **Biomasses et procédés 1G**

Transesterification et production de biodiesel

Fermentation et production de bioéthanol

### **BIOCARBURANTS DE 2<sup>ème</sup> GENERATION**

Biomasses 2G

Voie biochimique et production de bioéthanol cellulosique

Voie thermochimique et production de carburants de synthèse

### **BIOCARBURANTS DE 3<sup>ème</sup> GENERATION**

Pourquoi les algues ?

Procédés & coûts de production

### **LE SECTEURS DES BIOCARBURANTS**

Un secteur poussé par la réglementation

État des lieux du marché et prospective

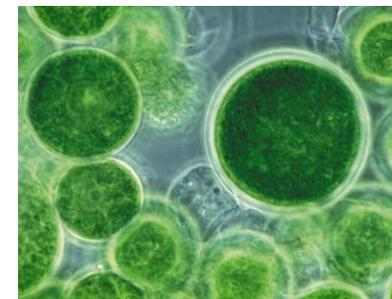
## CONCLUSIONS



## BIO CARBURANT

Biomasse & Carburant

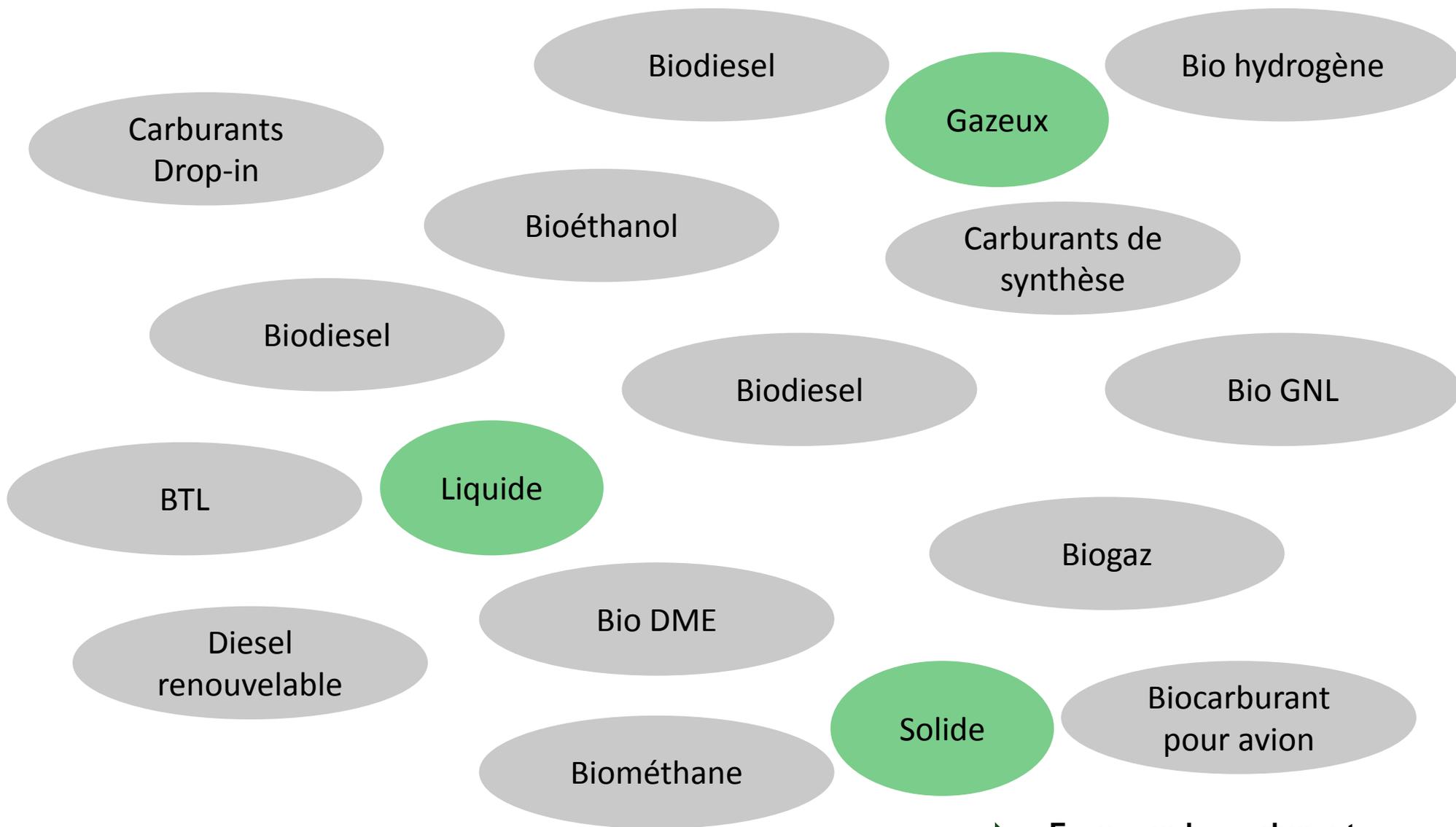
**Un biocarburant est un carburant produit à partir de matériaux non fossiles, provenant de la biomasse**





# Biocarburants : Definition

*Qu'est-ce que ca comprend ?*



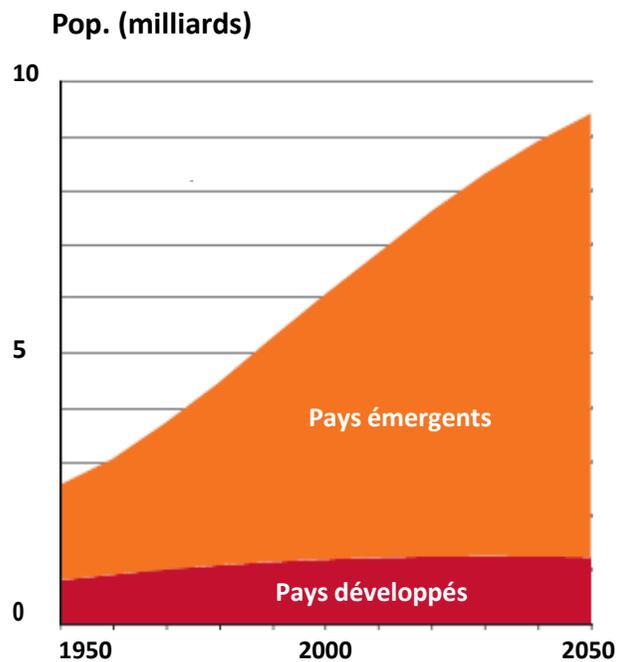
**Focus sur les carburants liquides et gazeux pour le transport**



# Pourquoi les biocarburants ?

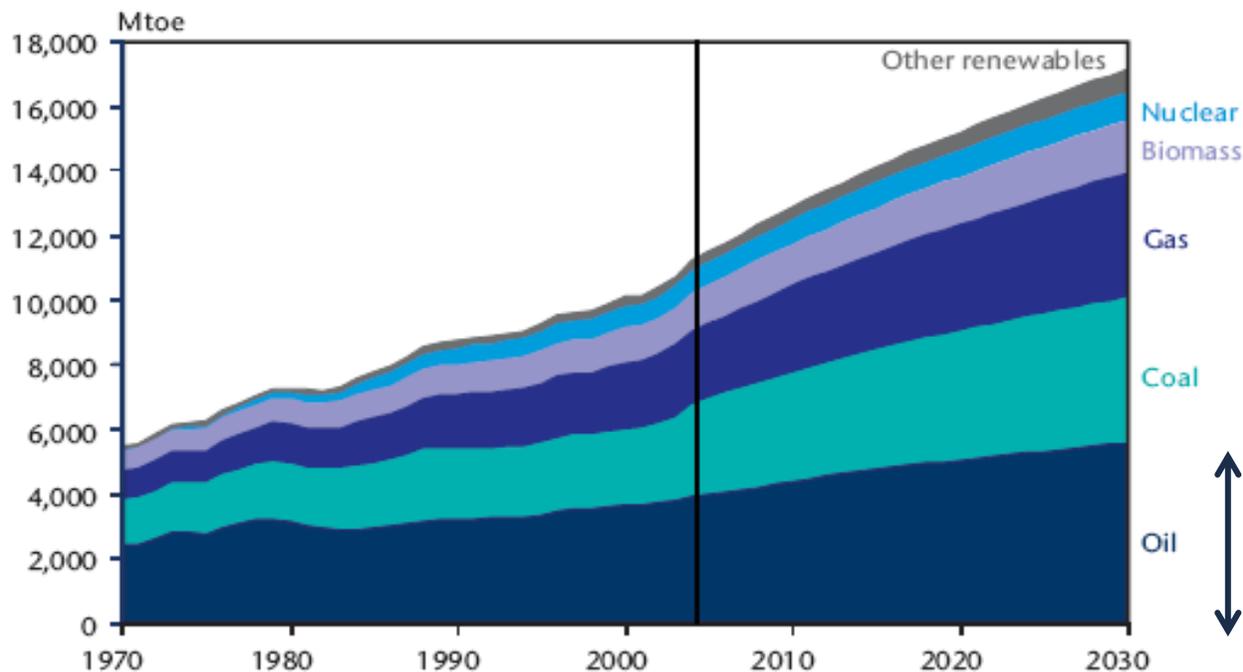
Contexte énergétique : hausse de la demande & consommation de ressources fossiles

## Contribution des pays émergents à la croissance démographique



Source : US Census Bureau, 2007

## Prévision de la répartition des énergies fossiles et des hydrocarbures pour une augmentation de la demande énergétique



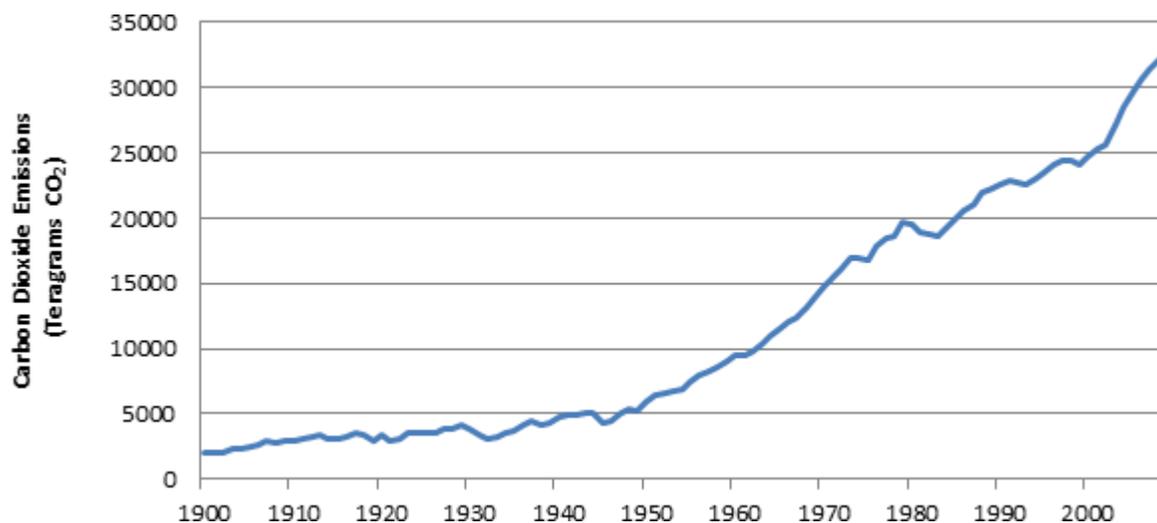
Source : AIE/BP Statistical review



# Pourquoi les biocarburants ?

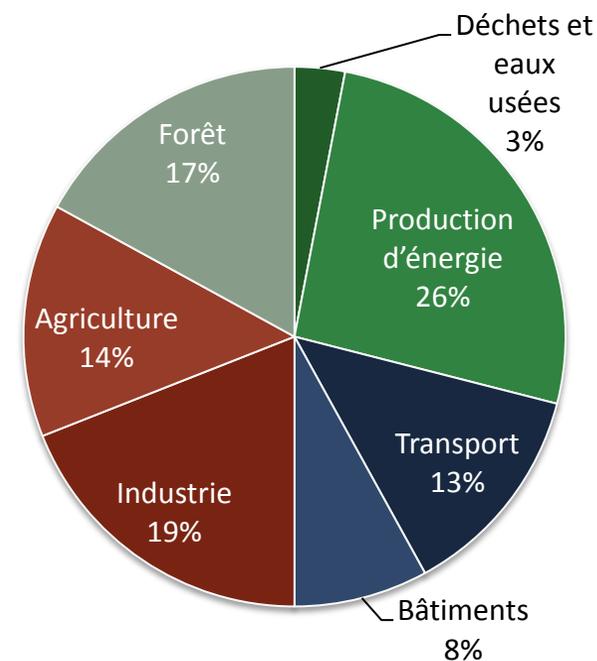
Contexte énergétique : émissions de gaz à effet de serre

## Évolution des émissions globale de CO2 issues des carburants fossiles



Source : US Census Bureau, 2007

## Global Greenhouse Gas Emissions by Source (2007)



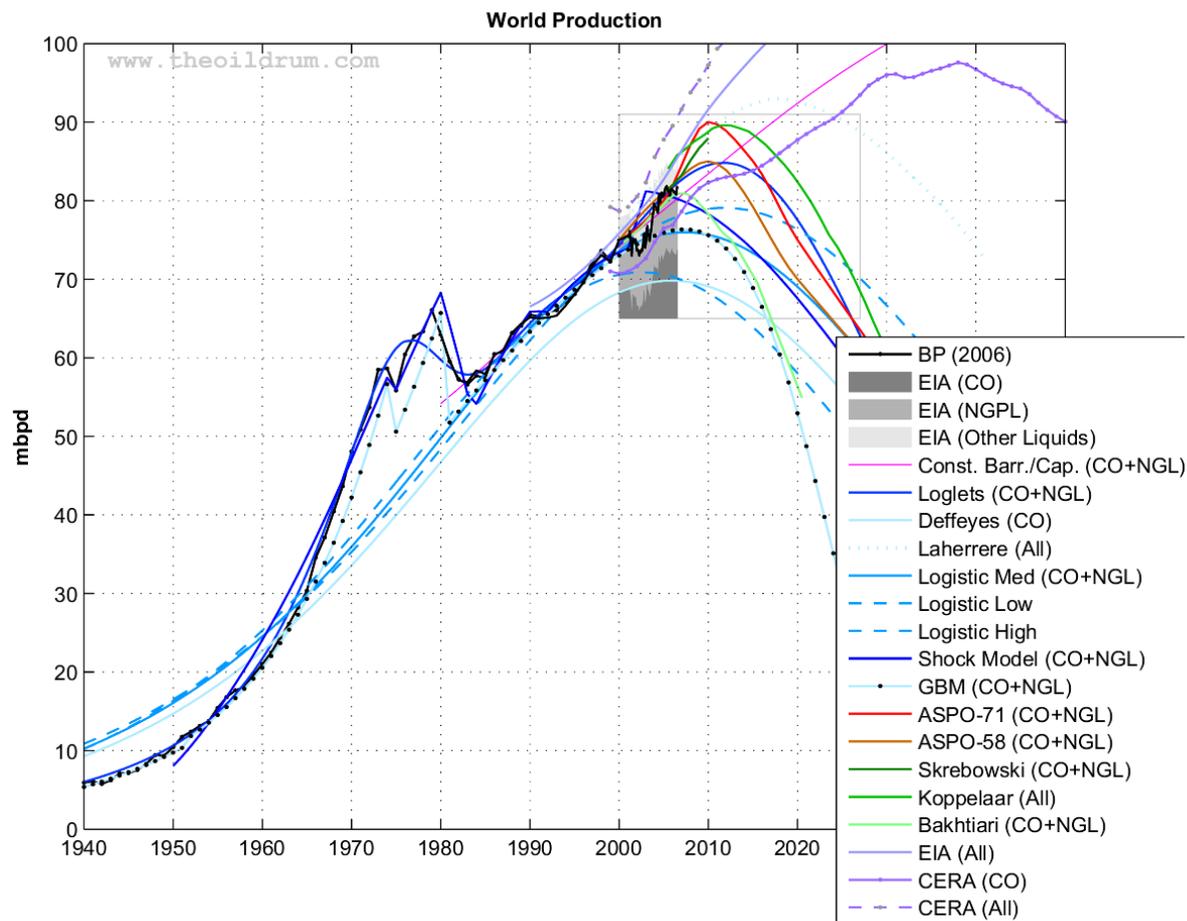
Source : IPCC



# Pourquoi les biocarburants ?

Contexte énergétique : Le « Peak oil »

## Évolution prospective de la production mondiale de pétrole (2006 update)



2015 ?  
2020 ?

....

Source : The Oil Drum



## **Pourquoi les biocarburants ?**

*2 problématiques principales du contexte énergétique...*

► **La fin des réserves en carburant fossile ?!**



► **Le changement climatique?!**



## Pourquoi les biocarburants ?

*...auxquelles les biocarburants peuvent apporter une solution*

### ► La fin des réserves en carburant fossile ?!



Nécessité de réduire la dépendance énergétique fossile.  
Nécessité de trouver des nouveaux carburants pour les transports.



Nécessité de réduire les émissions globales de GES par l'usage de carburants moins carbonés.  
Nécessité de produire localement.

### ► Le changement climatique?!



## INTRODUCTION

Définition / Contexte énergétique mondial: intérêt pour les biocarburants?

## BIOCARBURANTS DE 1<sup>ère</sup> GENERATION

### Biomasses et procédés 1G

Transesterification et production de biodiesel

Fermentation et production de bioéthanol

## BIOCARBURANTS DE 2<sup>ème</sup> GENERATION

Biomasses 2G

Voie biochimique et production de bioéthanol cellulosique

Voie thermochimique et production de carburants de synthèse

## BIOCARBURANTS DE 3<sup>ème</sup> GENERATION

Pourquoi les algues ?

Procédés & coûts de production

## LE SECTEURS DES BIOCARBURANTS

Un secteur poussé par la réglementation

État des lieux du marché et prospective

## CONCLUSIONS



# Substrats de 1<sup>ère</sup> génération

## Plantes sucrières



*Cane à sucre*



*Betterave à sucre*



**Bioéthanol**

## Cultures amylicées



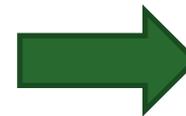
*Maïs*



*Blé*



*Pomme de terre*



**Bioéthanol**

## Oléagineux



*Graines de colza*



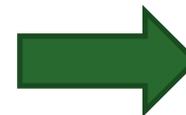
*Graines de soja*



*Graines de palme*



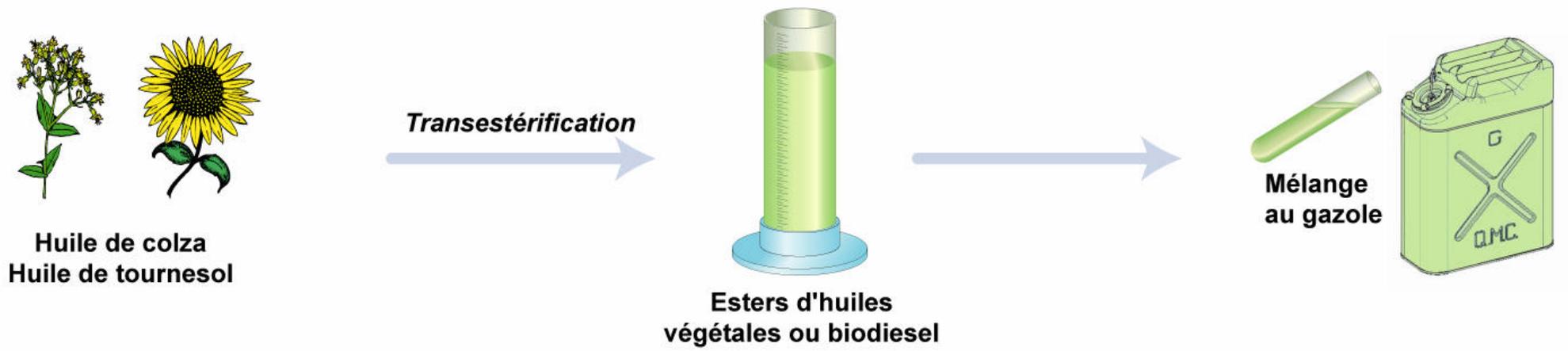
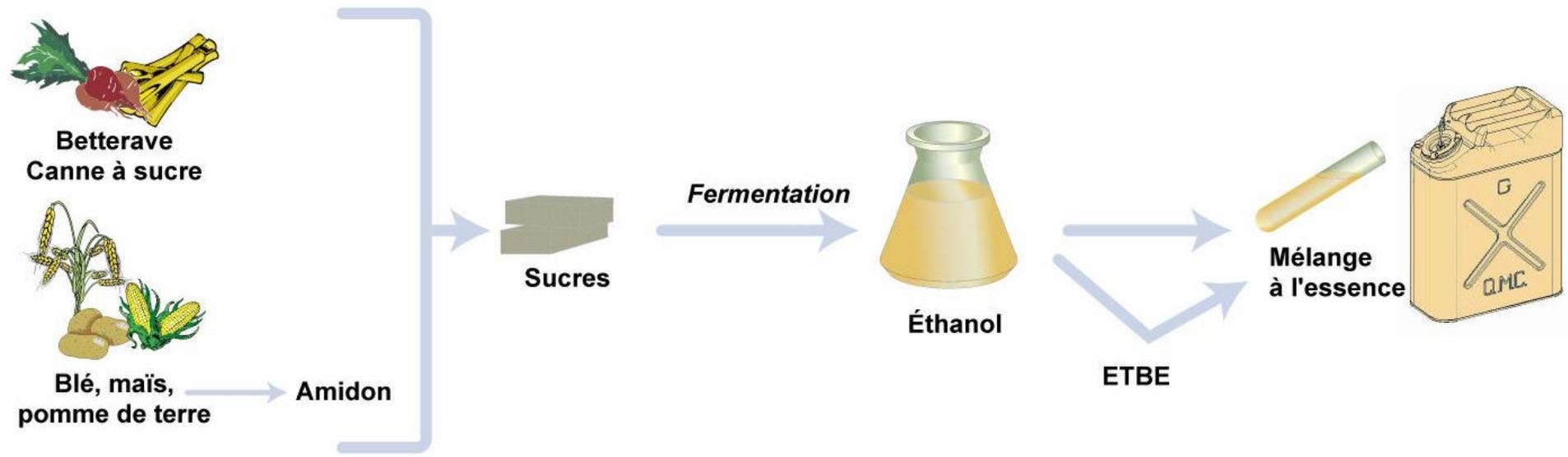
*Graines de tournesol*



**Biodiesel**



# Procédés de 1<sup>ère</sup> génération





## INTRODUCTION

Définition / Contexte énergétique mondial: intérêt pour les biocarburants?

## BIOCARBURANTS DE 1<sup>ère</sup> GENERATION

Biomasses et procédés 1G

**Transesterification et production de biodiesel**

Fermentation et production de bioéthanol

## BIOCARBURANTS DE 2<sup>ème</sup> GENERATION

Biomasses 2G

Voie biochimique et production de bioéthanol cellulosique

Voie thermochimique et production de carburants de synthèse

## BIOCARBURANTS DE 3<sup>ème</sup> GENERATION

Pourquoi les algues ?

Procédés & coûts de production

## LE SECTEURS DES BIOCARBURANTS

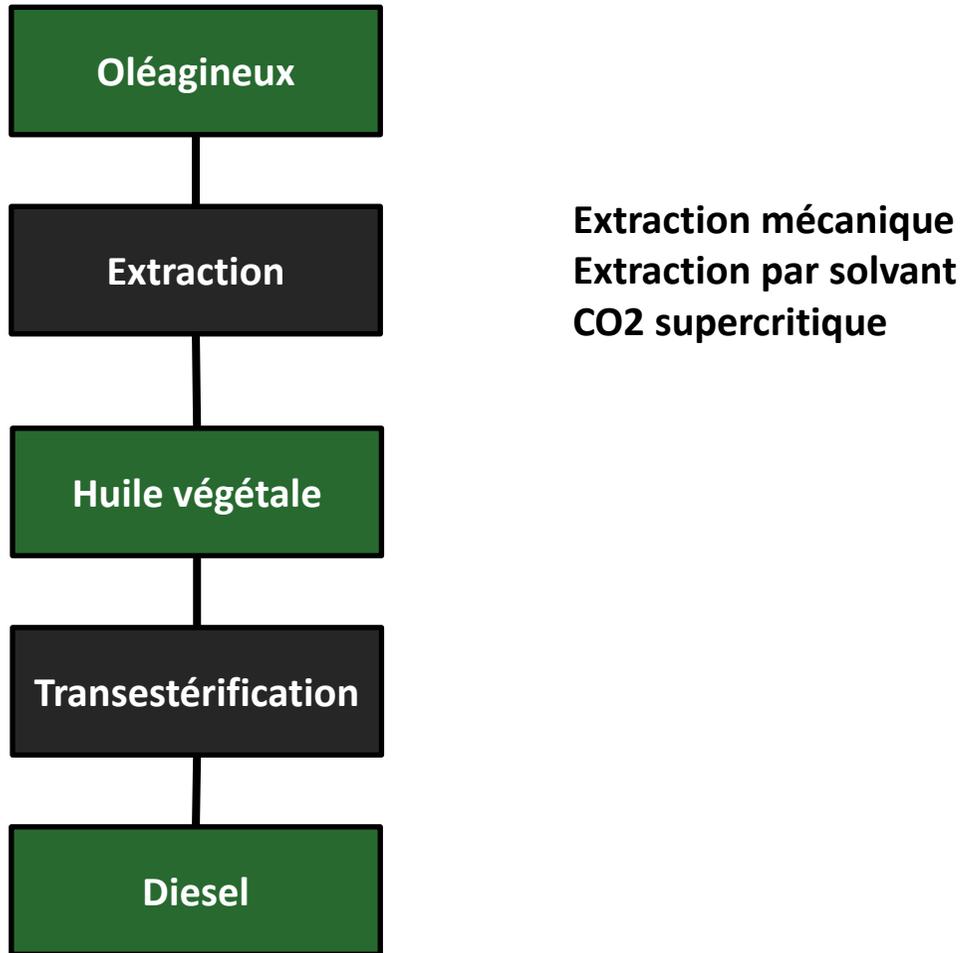
Un secteur poussé par la réglementation

État des lieux du marché et prospective

## CONCLUSIONS



# Biodiesel de 1<sup>ère</sup> génération : étapes de production



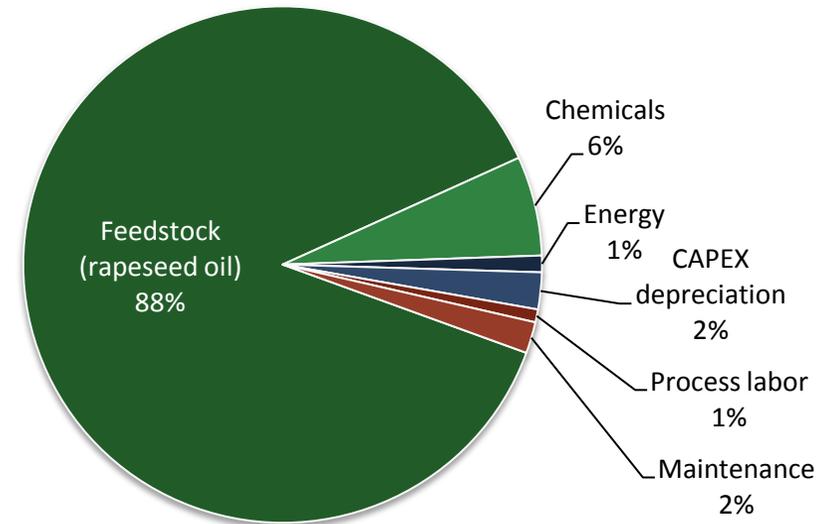


# Transesterification

Coûts de production – capacité de 100 kt/an

- ▶ Pour une unité de production de 100kt/an, coût de production de 115 \$/bbl
- ▶ A comparer au prix actuel du diesel: 85 \$/bbl ~623 \$/t
- ▶ Le coûts des substrat représente 80 à 90% du coûts de production.

## Répartition des coûts





## INTRODUCTION

Définition / Contexte énergétique mondial: intérêt pour les biocarburants?

## **BIOCARBURANTS DE 1<sup>ère</sup> GENERATION**

G1 Biomasses et procédés

Transesterification et production de biodiesel

**Fermentation et production de bioéthanol**

## **BIOCARBURANTS DE 2<sup>ème</sup> GENERATION**

G2 Biomasses et procédés

Voie biochimique et production de bioéthanol cellulosique

Voie thermochimique et production de carburants de synthèse

## **BIOCARBURANTS DE 3<sup>ème</sup> GENERATION**

Pourquoi les algues ?

Procédés & coûts de production

## **LE SECTEURS DES BIOCARBURANTS**

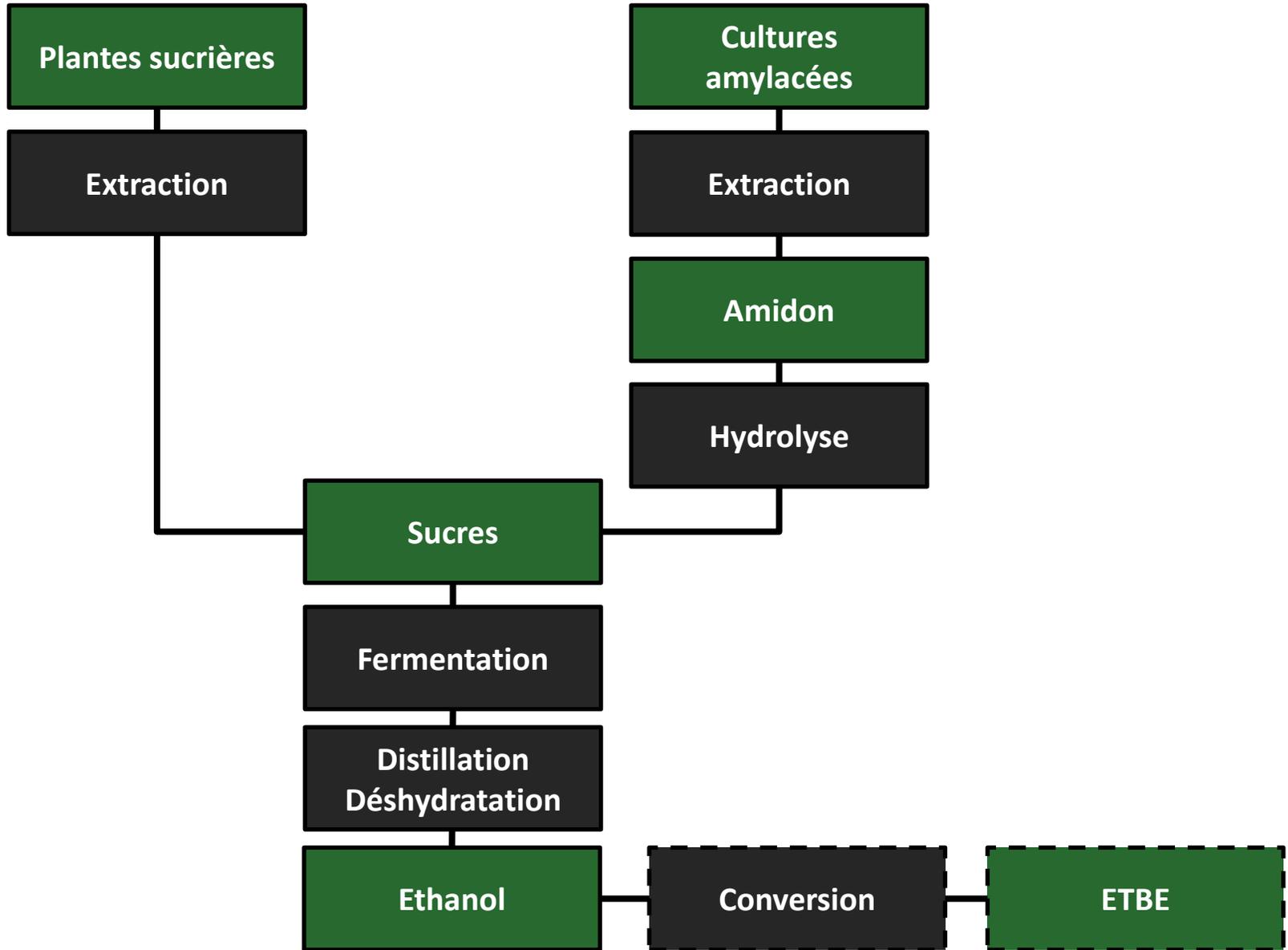
Un secteur poussé par la réglementation

État des lieux du marché et prospective

## CONCLUSIONS



# Bioéthanol de 1<sup>ère</sup> génération : étapes de production



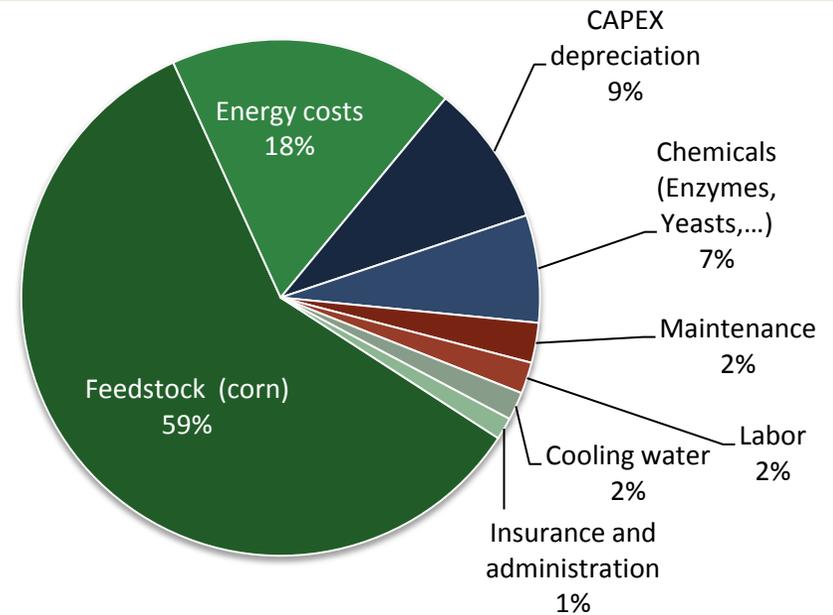


# Bioethanol 1G

## Coûts de production

- ▶ Le coût total de production du bioéthanol 1G est de 0,6-0,7 €/L équivalent essence.
- ▶ Ce coût est fortement dépendant du coût des substrats.

### Exemple de répartition des coûts – 120 kt/an





# Biocarburants de 1<sup>ère</sup> génération

## *Avantages, inconvénients et enjeux*

### Avantages

- ▶ Voie de production la plus mature pour les biocarburants liquides.
- ▶ Haut potentiel de mélange du bioéthanol avec les carburants traditionnels (Europe & USA : E10 / Brazil : ~E25 / Brazil & USA : E85)
- ▶ Réactions chimiques et procédés relativement simples

### Principaux enjeux et défis

- ▶ Compétition avec les cultures alimentaires
- ▶ Problématiques environnementales
- ▶ La rentabilité de la production de biocarburant 1G est très dépendante du coût des substrats.
- ▶ Les taux d'incorporation de biodiesel sont limités à cause de la qualité du produit.



## INTRODUCTION

Définition / Contexte énergétique mondial: intérêt pour les biocarburants?

## BIOCARBURANTS DE 1<sup>ère</sup> GENERATION

G1 Biomasses et procédés

Transesterification et production de biodiesel

Fermentation et production de bioéthanol

## BIOCARBURANTS DE 2<sup>ème</sup> GENERATION

G2 Biomasses et procédés

Voie biochimique et production de bioéthanol cellulosique

Voie thermochimique et production de carburants de synthèse

## BIOCARBURANTS DE 3<sup>ème</sup> GENERATION

Pourquoi les algues ?

Procédés & coûts de production

## LE SECTEURS DES BIOCARBURANTS

Un secteur poussé par la réglementation

État des lieux du marché et prospective

## CONCLUSIONS



# Substrats de 2<sup>ème</sup> génération

## Résidus d'agriculture & cultures dédiées



*Pailles*



*Miscanthus*



*Swithgrass*



*Triticale*

## Bois & déchets forestiers



*Résidus de bois*



*Taillis non exploités*



*TCR Saule*



*TCR Peuplier*

## Déchets municipaux et industriels



*Sciure*



*Palettes*



*Déchets solides*



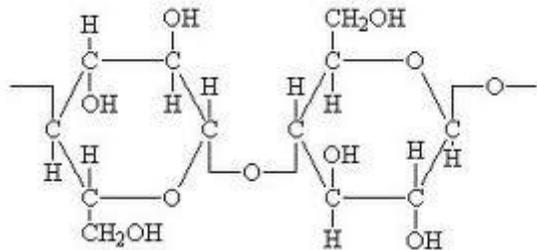
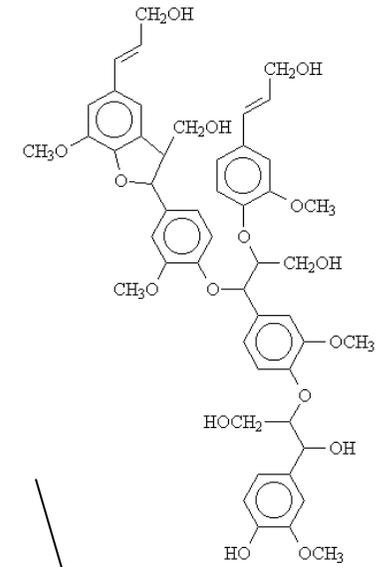
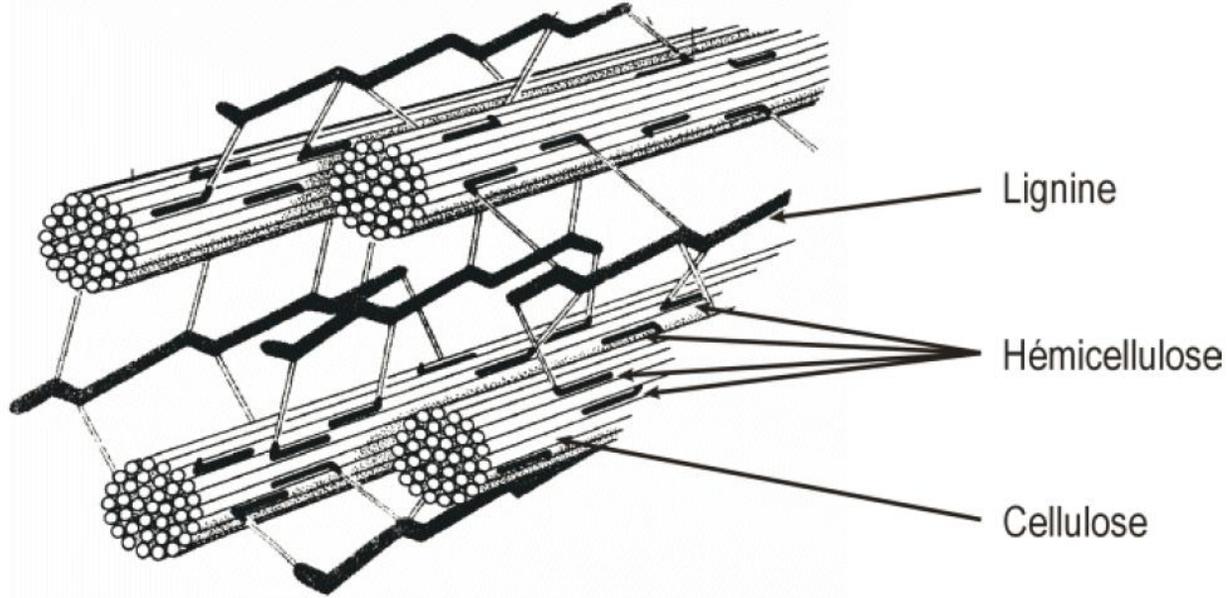
**Bioéthanol Cellulosique**



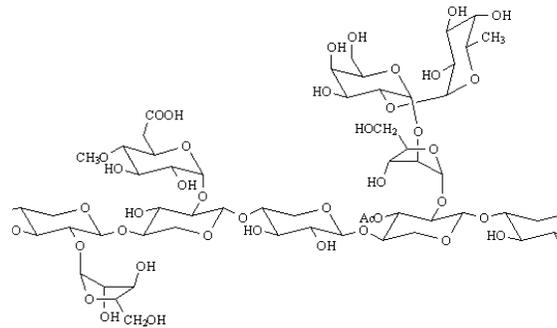
**Carburants de synthèse & HC**



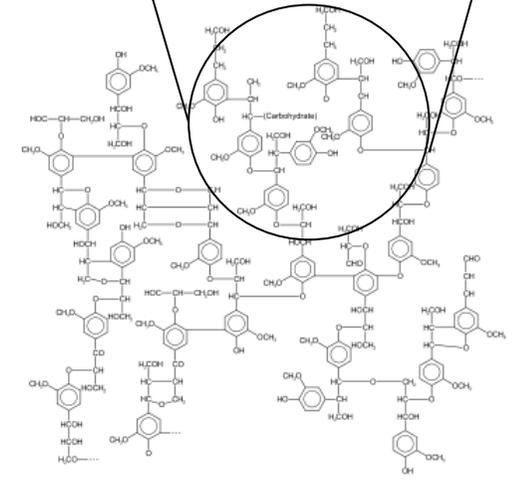
# Substrats lignocellulosiques – Composition et structure



**CELLULOSE**



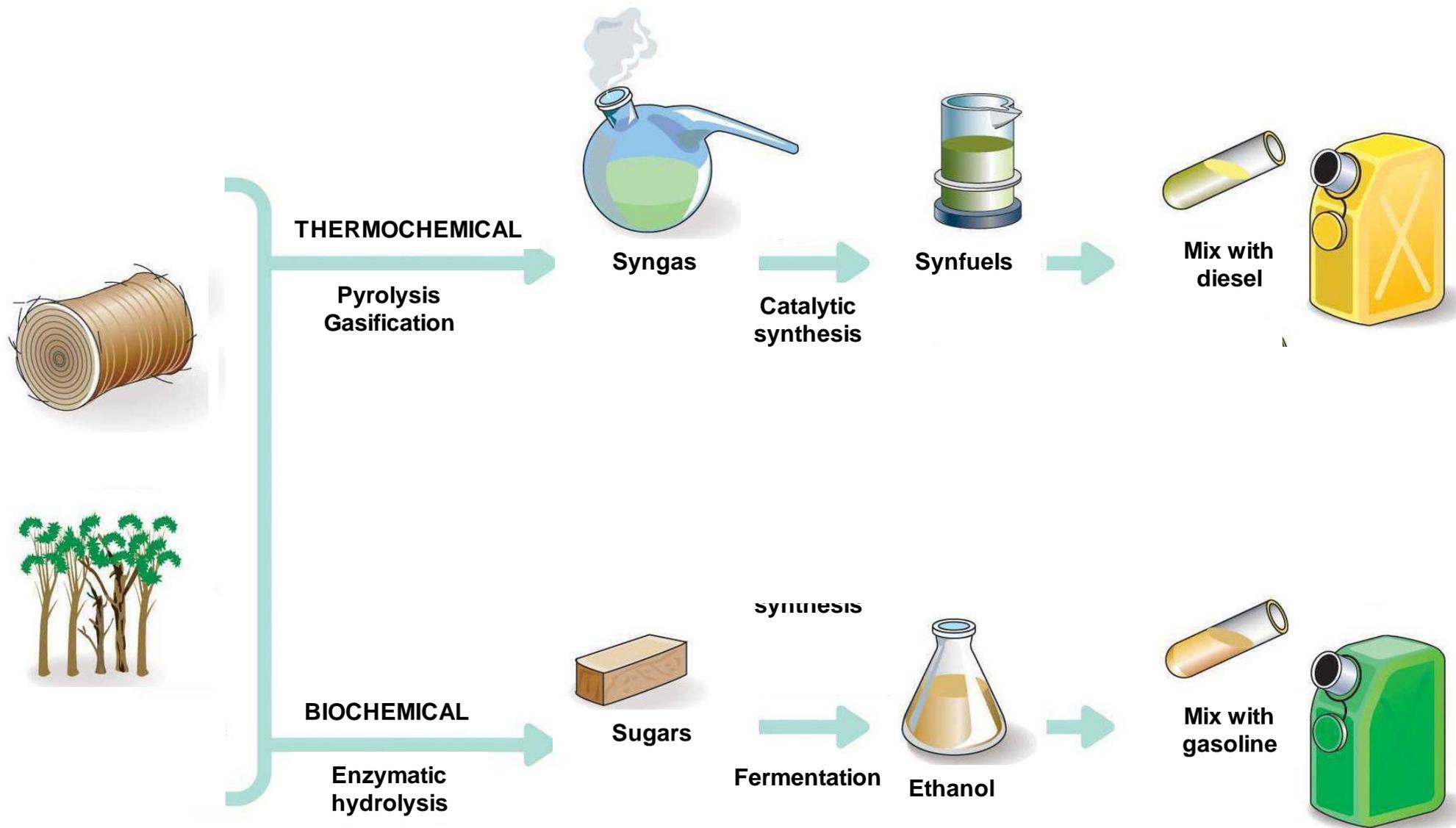
**HEMICELLULOSE**



**LIGNIN**



# Procédés de 2<sup>ème</sup> génération





## INTRODUCTION

Définition / Contexte énergétique mondial: intérêt pour les biocarburants?

## BIOCARBURANTS DE 1<sup>ère</sup> GENERATION

G1 Biomasses et procédés

Transesterification et production de biodiesel

Fermentation et production de bioéthanol

## BIOCARBURANTS DE 2<sup>ème</sup> GENERATION

G2 Biomasses et procédés

**Voie biochimique et production de bioéthanol cellulosique**

Voie thermochimique et production de carburants de synthèse

## BIOCARBURANTS DE 3<sup>ème</sup> GENERATION

Pourquoi les algues ?

Procédés & coûts de production

## LE SECTEURS DES BIOCARBURANTS

Un secteur poussé par la réglementation

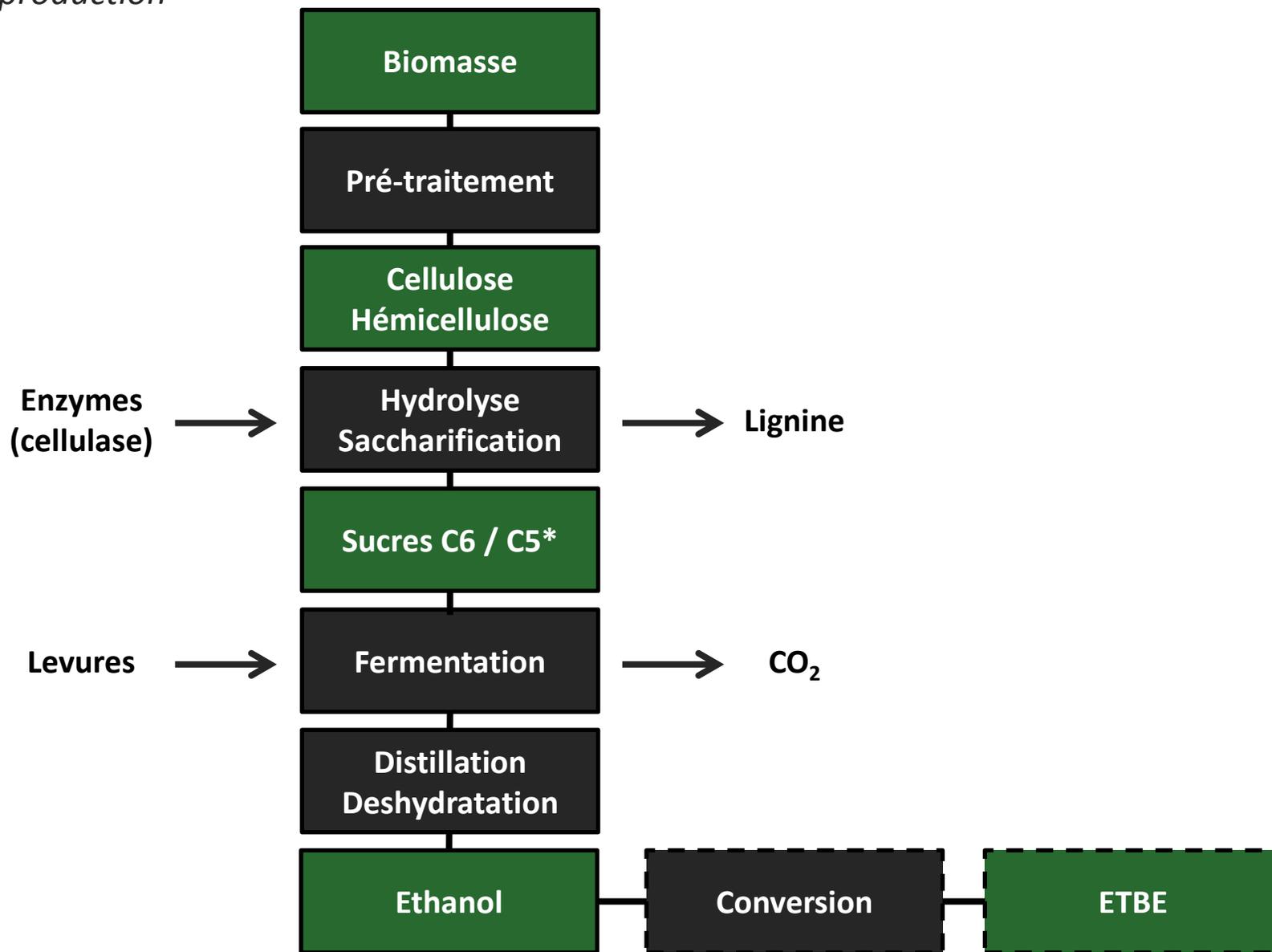
État des lieux du marché et prospective

## CONCLUSIONS



# Bioéthanol cellulosique

## Étapes de production





## INTRODUCTION

Définition / Contexte énergétique mondial: intérêt pour les biocarburants?

## BIOCARBURANTS DE 1<sup>ère</sup> GENERATION

G1 Biomasses et procédés

Transesterification et production de biodiesel

Fermentation et production de bioéthanol

## BIOCARBURANTS DE 2<sup>ème</sup> GENERATION

G2 Biomasses et procédés

Voie biochimique et production de bioéthanol cellulosique

**Voie thermochimique et production de carburants de synthèse**

## BIOCARBURANTS DE 3<sup>ème</sup> GENERATION

Pourquoi les algues ?

Procédés & coûts de production

## LE SECTEURS DES BIOCARBURANTS

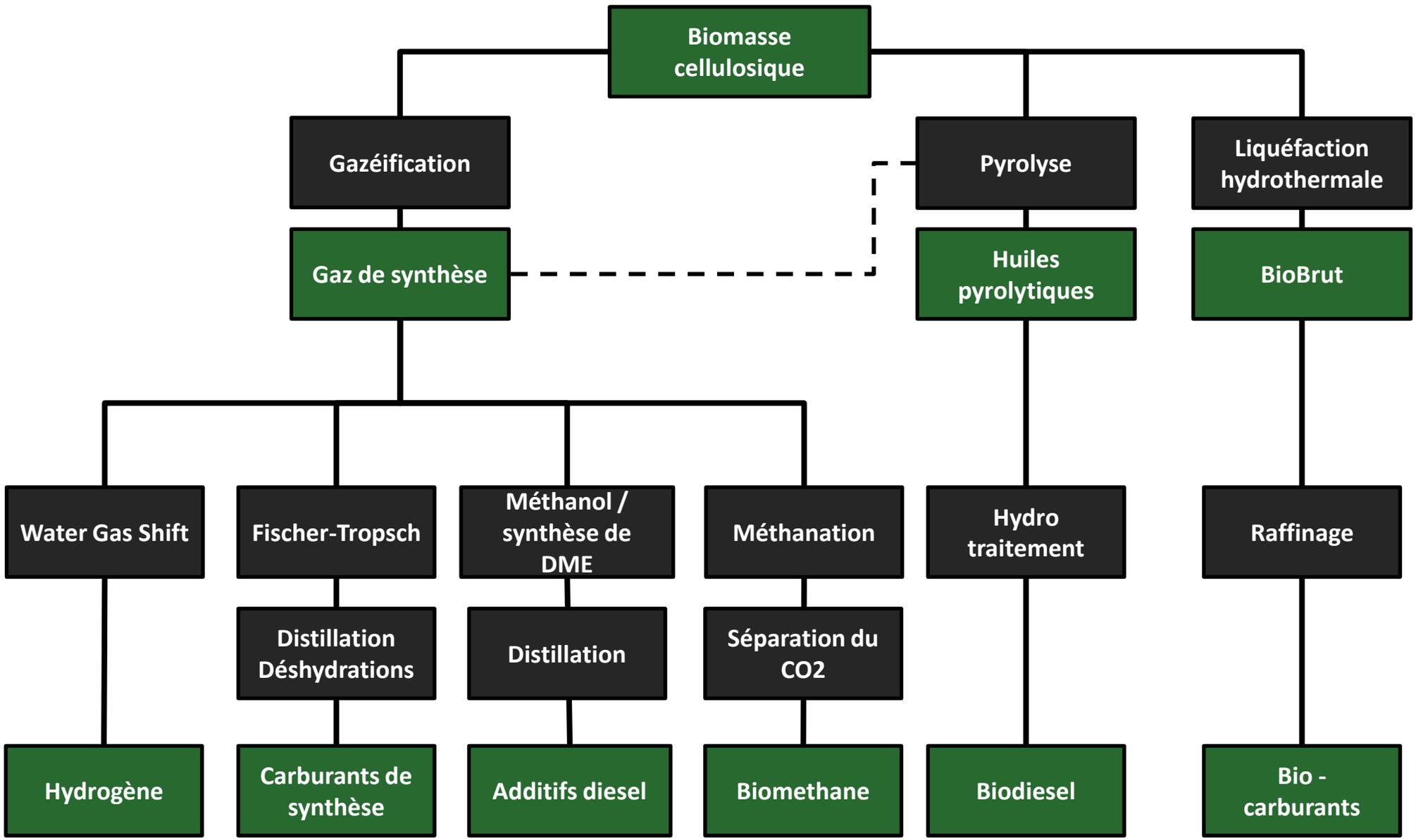
Un secteur poussé par la réglementation

État des lieux du marché et prospective

## CONCLUSIONS

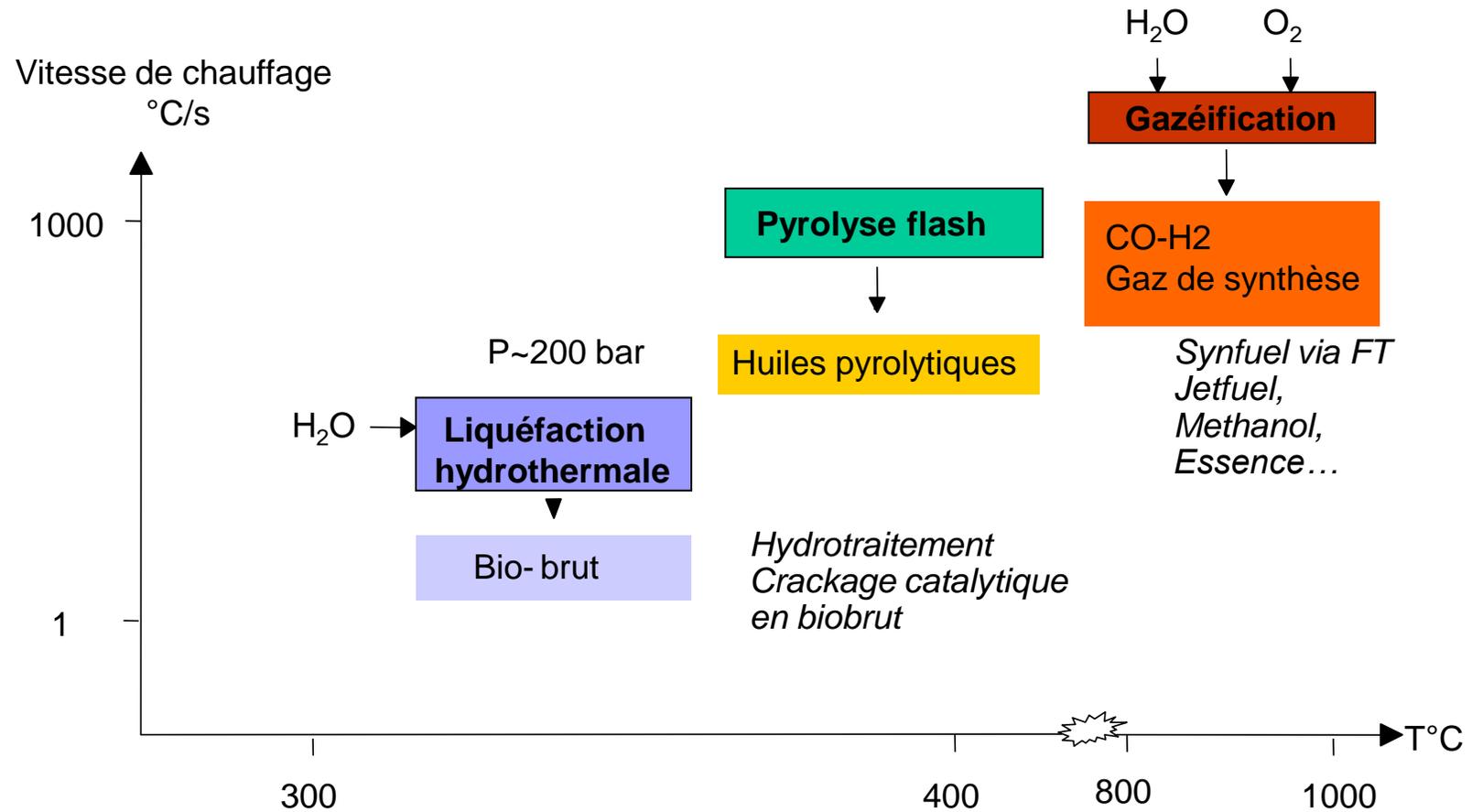


# Procédés « Biomass-to-Liquid »





# Procédés thermo-chimiques de conversion





## Biocarburants 2G

### *Avantages et enjeux*

#### Avantages

- ▶ Grande variété de matières premières peu en concurrence avec l'alimentation:
  - Pas d'impact sur le prix ou la disponibilité de la nourriture
- ▶ Matières premières peu chères
  - Coût de production moins dépendant du prix des matières premières (volatilité plus faible)
  - Possibilité d'utiliser des sources multiples
- ▶ Réduction plus importante des émissions de CO<sub>2</sub>
- ▶ Revitalise la sylviculture et l'agriculture
  - Augmentation du prix des terres
  - Valorise les déchets de l'agriculture et de la sylviculture
- ▶ Valorisation énergétique des déchets

#### Principaux enjeux et défis

- ▶ Phase commerciale pas encore atteinte et coût élevés
- ▶ Nécessité d'accès à une offre importante de matières premières à un coût modéré
- ▶ Changements dans les business models de l'agriculture et de la sylviculture
- ▶ Difficultés liées à la logistique et la chaîne d'approvisionnement (transport et stockage)
- ▶ Acceptation des standards de qualité par le public et les industries (étendre les standards de 1G à 2G)
- ▶ Diminuer le manque d'investissement grâce à des politiques à long terme
- ▶ Approfondir les questions d'ACV



## INTRODUCTION

Définition / Contexte énergétique mondial: intérêt pour les biocarburants?

## BIOCARBURANTS DE 1<sup>ère</sup> GENERATION

G1 Biomasses et procédés

Transesterification et production de biodiesel

Fermentation et production de bioéthanol

## BIOCARBURANTS DE 2<sup>ème</sup> GENERATION

G2 Biomasses et procédés

Voie biochimique et production de bioéthanol cellulosique

Voie thermochimique et production de carburants de synthèse

## BIOCARBURANTS DE 3<sup>ème</sup> GENERATION

**Pourquoi les algues ?**

Procédés & coûts de production

## LE SECTEURS DES BIOCARBURANTS

Un secteur poussé par la réglementation

État des lieux du marché et prospective

## CONCLUSIONS



## Macro-algues

- Organismes multicellulaires
- Faible teneur en lipide
- Riche en polysaccharides, protéines, minéraux et oligoéléments
- Environ 4000 espèces
- Utilisations principales : agro-alimentaire et cosmétique



## Micro-algues

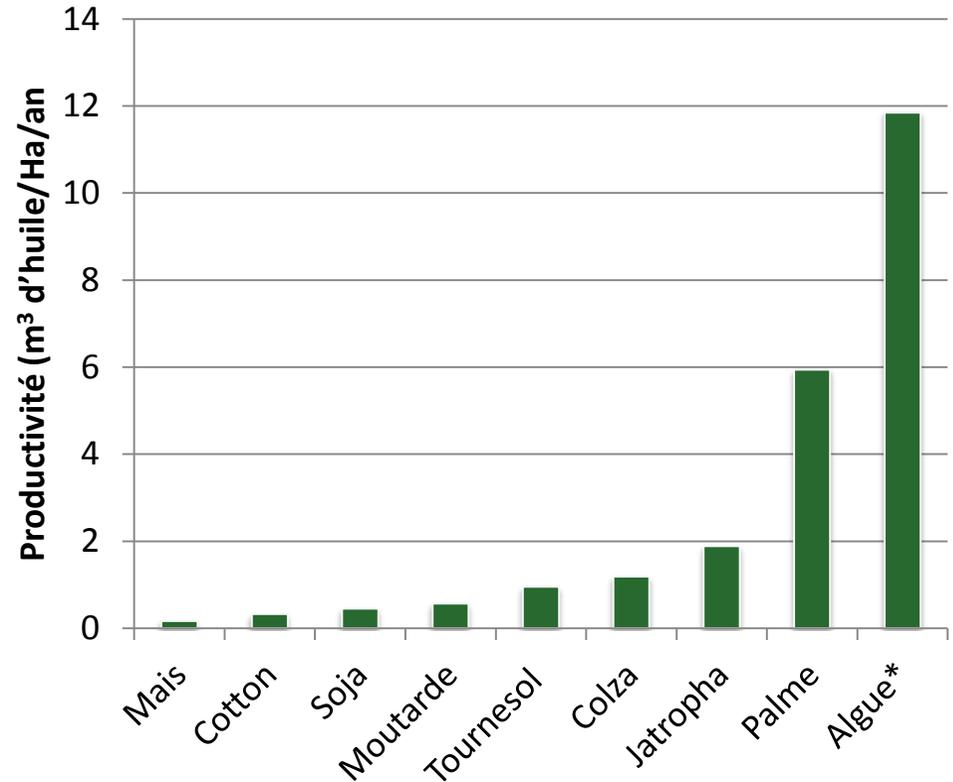
- Organismes unicellulaires
- Forte teneur en lipide
- Contient aussi des cyanobactéries et d'autres micro cultures
- Plus de 30000 espèces identifiées : Spirulina, Chlorella, ...
- Utilisations principales : compléments alimentaires, cosmétique, biocarburants





## Pourquoi les micro-algues?

- ▶ Bien meilleure productivité que les autres végétaux terrestres vis-à-vis de:
  - La biomasse
  - Les lipides
- ▶ Pas de concurrence directe avec la nourriture
- ▶ Capable d'autres fonctions : traitement des eaux usées, capture du CO<sub>2</sub>
- ▶ Produit beaucoup d'autres éléments à haute valeur ajouté



\*: hypothèse de croissance de 20g/m<sup>2</sup>/j and 15% MS



## INTRODUCTION

Définition / Contexte énergétique mondial: intérêt pour les biocarburants?

## BIOCARBURANTS DE 1<sup>ère</sup> GENERATION

G1 Biomasses et procédés

Transesterification et production de biodiesel

Fermentation et production de bioéthanol

## BIOCARBURANTS DE 2<sup>ème</sup> GENERATION

G2 Biomasses et procédés

Voie biochimique et production de bioéthanol cellulosique

Voie thermochimique et production de carburants de synthèse

## BIOCARBURANTS DE 3<sup>ème</sup> GENERATION

Pourquoi les algues ?

**Procédés & coûts de production**

## LE SECTEURS DES BIOCARBURANTS

Un secteur poussé par la réglementation

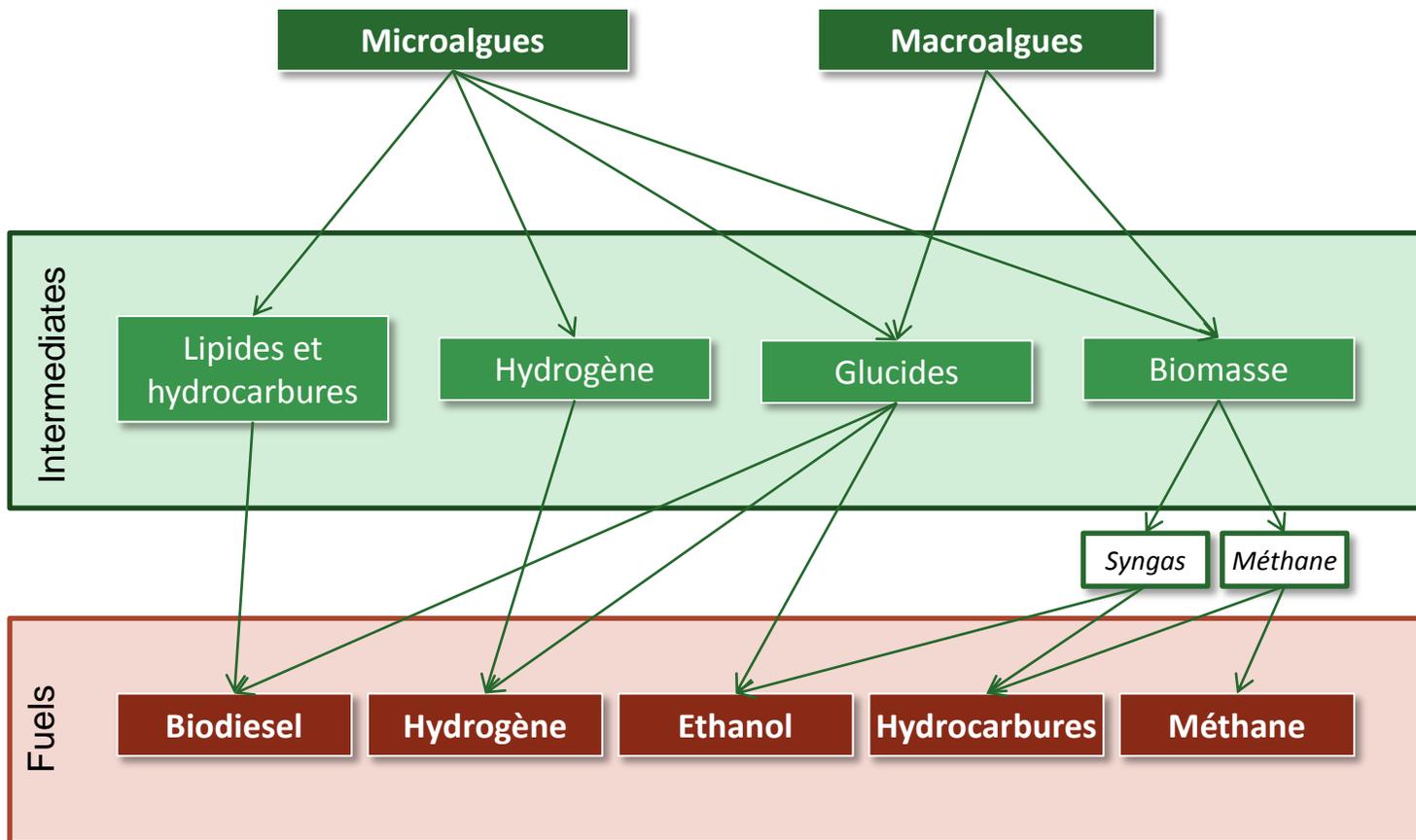
État des lieux du marché et prospective

## CONCLUSIONS



# Procédés de production de biocarburants à partir de micro-algues

► De nombreuses voies de production existent:

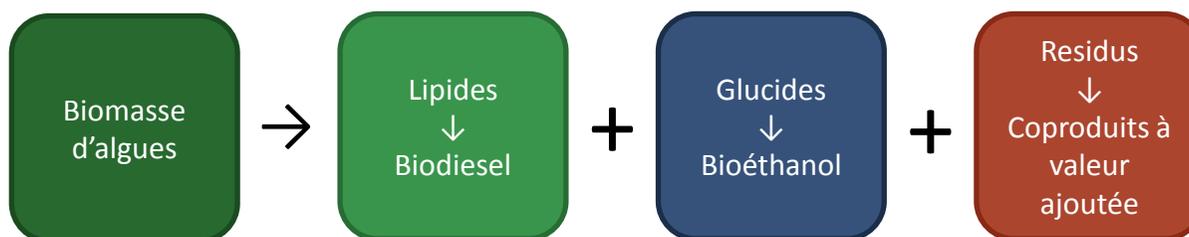


Source : 2009 – NREL - The Promises and Challenges of Algal-Derived Biofuels



## Coûts de production actuels et approche bioraffinerie

- ▶ La production à grande échelle de biocarburants à partir d'algues n'est actuellement pas viable:
  - Coût de la biomasse : entre 0,5 et 6€/kg
  - Coût moyen du prix du biodiesel : > 5€/litre
- ▶ Il est nécessaire de valoriser les coproduits à forte valeur ajoutée afin de renforcer les modèles économiques des projets
- ▶ Optimisation par une approche “bioraffinage”



Source : 2010 - FAO - *Algae Based Biofuels, Applications and Co-products*



# Biocarburants 3G

## Avantages et enjeux

### Avantages

- ▶ Productivité plus élevée que les autres plantes terrestres pour :
  - La biomasse
  - Les lipides
- ▶ Pas de concurrence directe avec l'alimentation; culture possible sur des terres non arables
- ▶ Autres fonctions et synergies industrielles :
  - Traitement des eaux usées,
  - Capture et valorisation du CO2
- ▶ Potentiel pour produire une grande variété de carburants, dont des jetfuels
- ▶ De nombreux coproduits à forte valeur ajoutée

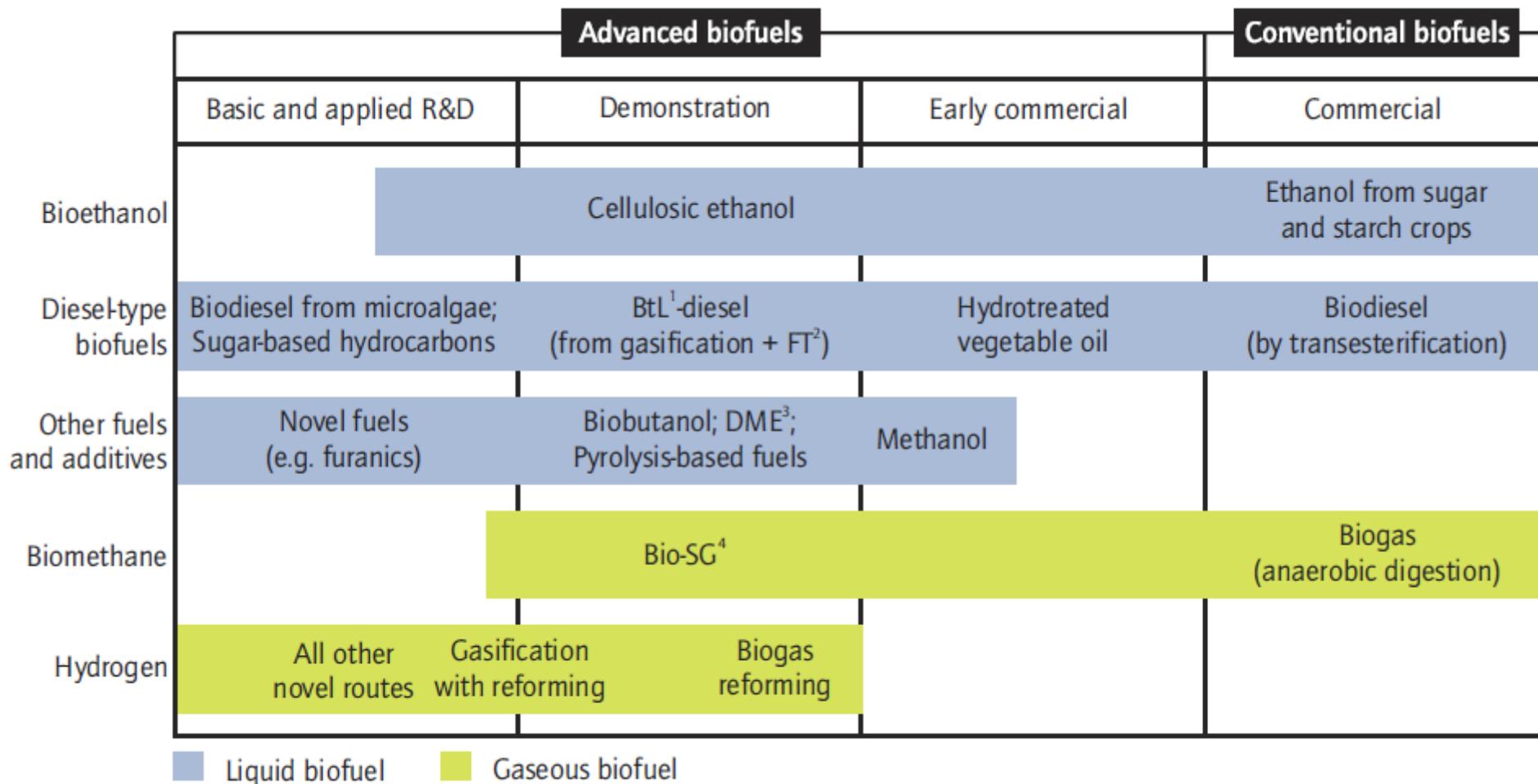
### Main stakes and challenges

- ▶ Coûts de production élevés
- ▶ Nécessite de prouver la faisabilité à grande échelle (pour récolte/extraction)
- ▶ Optimisation énergétique par intégration des procédés et diminution du nombre d'étape (séchage, extraction...)
- ▶ Promouvoir les synergies industrielles : utilisation du CO2 des effluents et des produits du traitement des eaux
- ▶ Principe des bioraffineries : favoriser la multi-valorisation
- ▶ Empreinte eau des procédés : optimisation du recyclage, du contrôle de la température, utilisation d'eaux usées ou de mer



# Technologies de production de biocarburants

## Niveaux de maturité



1. Biomass-to-liquids; 2. Fischer-Tropsch; 3. Dimethylether; 4. Bio-synthetic gas.

Source: Modified from Bauen *et al.*, 2009.



## **INTRODUCTION**

Définition / Contexte énergétique mondial: intérêt pour les biocarburants?

## **BIOCARBURANTS DE 1<sup>ère</sup> GENERATION**

G1 Biomasses et procédés

Transesterification et production de biodiesel

Fermentation et production de bioéthanol

## **BIOCARBURANTS DE 2<sup>ème</sup> GENERATION**

G2 Biomasses et procédés

Voie biochimique et production de bioéthanol cellulosique

Voie thermochimique et production de carburants de synthèse

## **BIOCARBURANTS DE 3<sup>ème</sup> GENERATION**

Pourquoi les algues ?

**Procédés & coûts de production**

## **LE SECTEURS DES BIOCARBURANTS**

**Un secteur poussé par la réglementation**

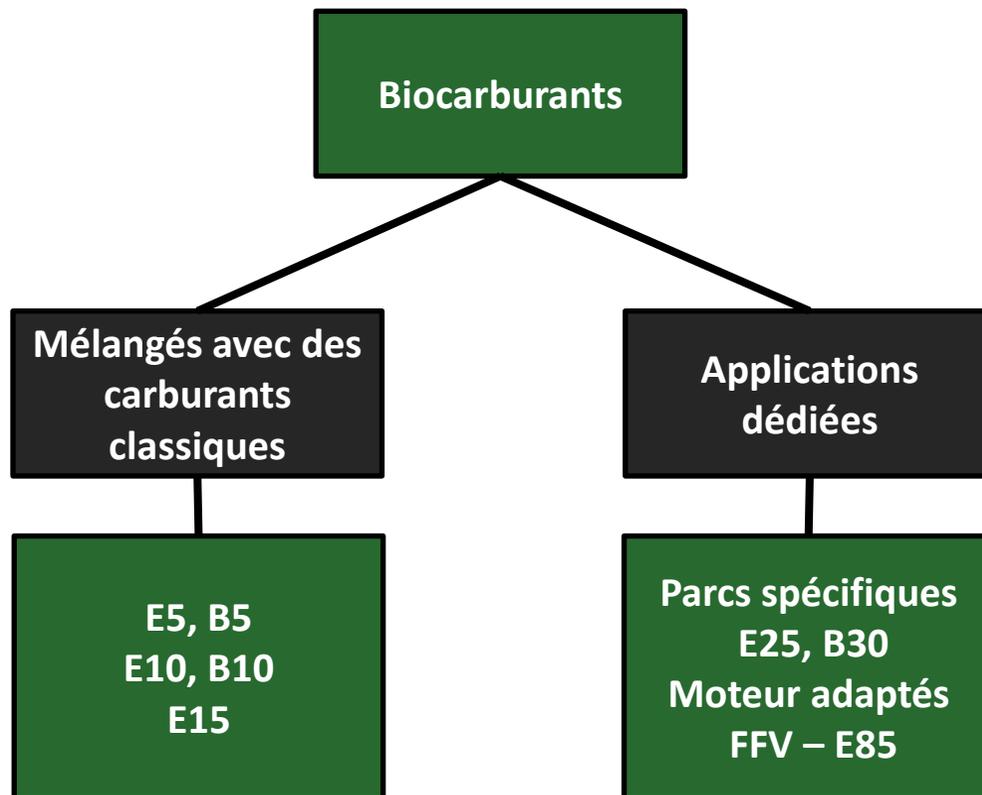
État des lieux du marché et prospective

## **CONCLUSIONS**



# Un secteur poussé par la réglementation

*Comment sont utilisés les biocarburants ?*



*EX : X% d'Ethanol dans le mélange*

*BY : Y% de Biodiesel dans le mélange*

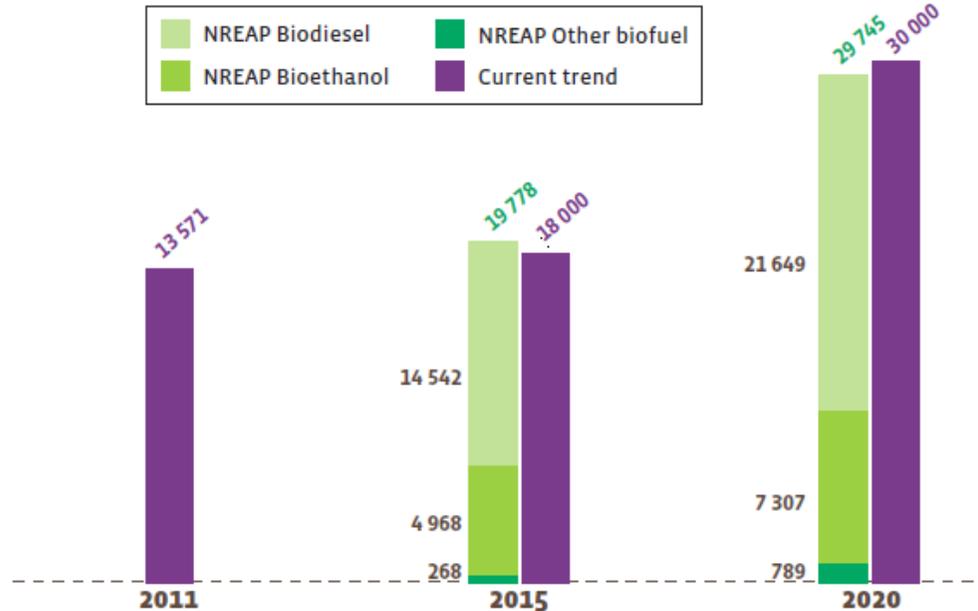


## Un secteur poussé par la réglementation

### Objectifs de l'union européenne

- Les objectifs de consommation de biocarburants ont été fixés dans le cadre de directives en 2003 et 2009 : 5.75% en 2010 et 10% en 2020.

*Comparison of the current trend of biofuel consumption for transport against the NREAP (National Renewable Energy Action Plan) roadmaps (ktoe)*



Source: EurObserv'ER, 2012

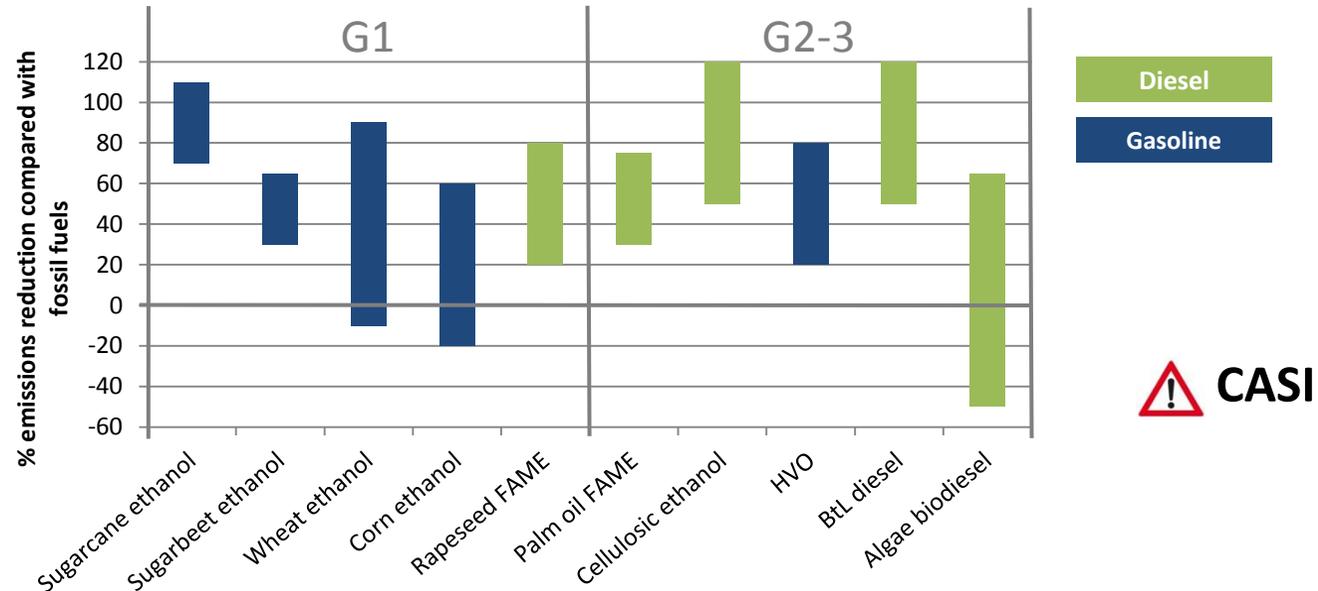
- Ces objectifs sont fortement corrélés à des critères de durabilité



## Un secteur poussé par la réglementation

### Critères de durabilité de l'Union Européenne

- Nécessité d'assurer le bénéfice environnemental des biocarburants



- Révision de la Directive EnR le 17/10/2012, focus CASI

- Objectif d'amélioration de l'efficacité des procédés de production de biocarburants
- Soutien le marché des filières à faible empreinte environnementale
  - Compte quadruple pour les algues, déchets, résidus agricoles, ...
  - Compte double pour les huiles de cuisson, graisses, biomasse cellulosique non alimentaire, ...



## **INTRODUCTION**

Définition / Contexte énergétique mondial: intérêt pour les biocarburants?

## **BIOCARBURANTS DE 1<sup>ère</sup> GENERATION**

G1 Biomasses et procédés

Transesterification et production de biodiesel

Fermentation et production de bioéthanol

## **BIOCARBURANTS DE 2<sup>ème</sup> GENERATION**

G2 Biomasses et procédés

Voie biochimique et production de bioéthanol cellulosique

Voie thermochimique et production de carburants de synthèse

## **BIOCARBURANTS DE 3<sup>ème</sup> GENERATION**

Pourquoi les algues ?

**Procédés & coûts de production**

## **LE SECTEURS DES BIOCARBURANTS**

Un secteur poussé par la réglementation

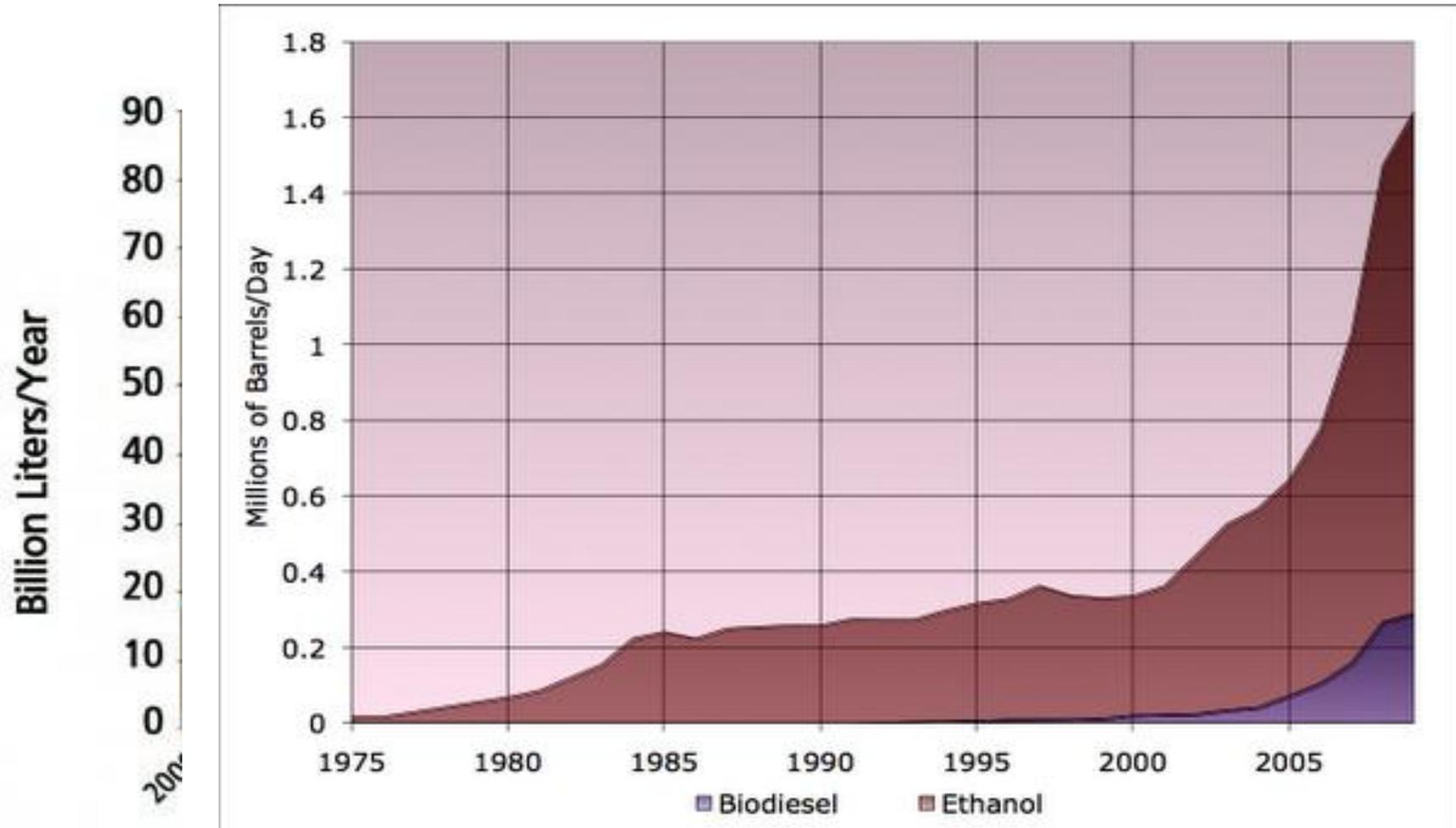
**État des lieux du marché et prospective**

## **CONCLUSIONS**



# Production de biocarburant dans le monde

*Biodiesel et éthanol*

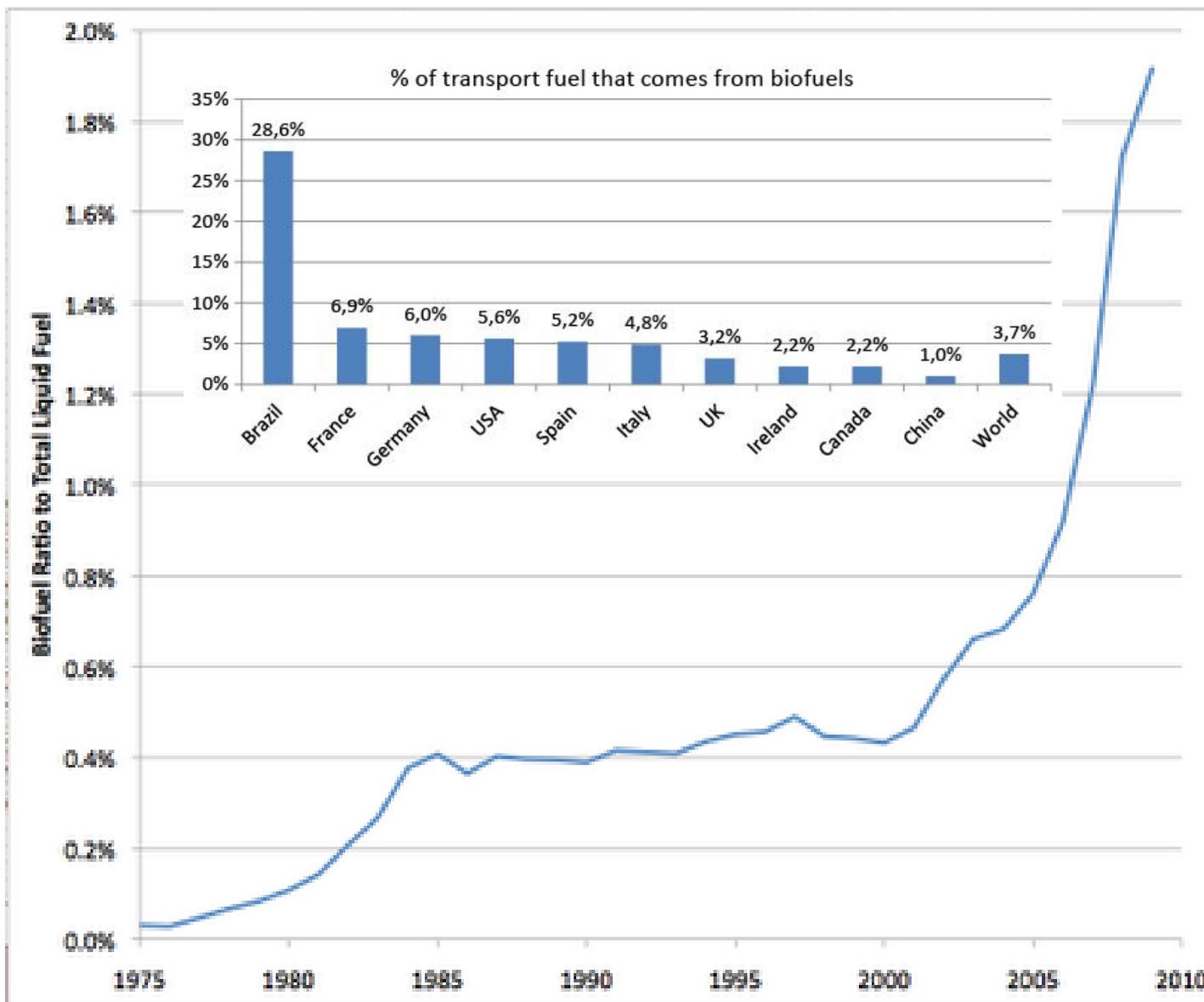


Source: Renewables Global Status Report 2010



# Production de biocarburant dans le monde

## Part des biocarburants dans les carburants liquides



Source: IEA, Global Energy Data, Enerdata



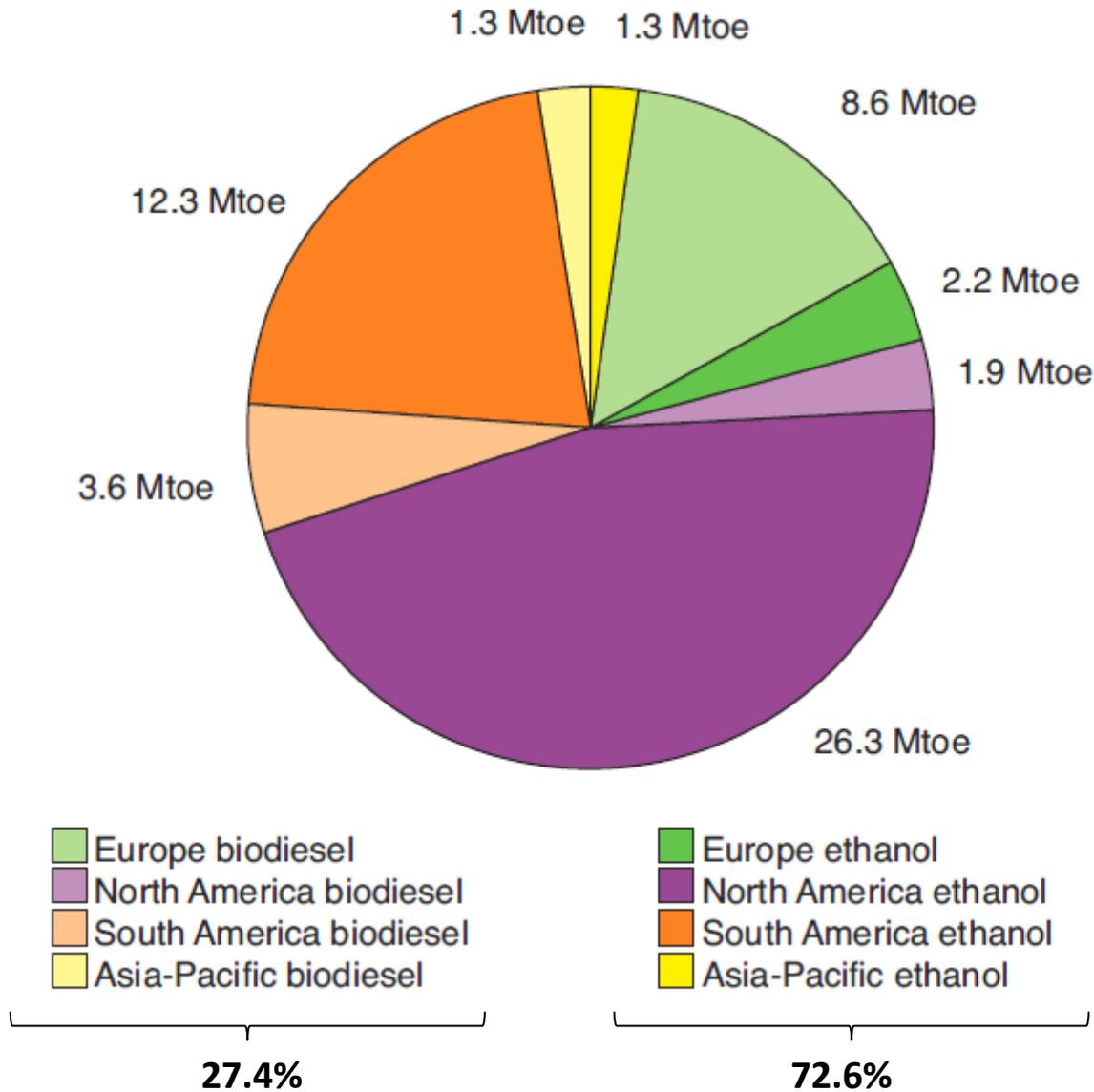
# Production de biocarburant dans le monde

Analyse de la production de biodiesel et d'éthanol par région en 2010

**Production totale**  
**58 Mtep en 2010**  
**(60 Mtep en 2011)**

- ▶ Amérique du Nord: 49%
- ▶ Amérique du Sud: 28%
- ▶ Europe: 19%
- ▶ Asie-Pacifique: 4%

Au premier semestre 2011, La capacité de production de biodiesel en Europe représentait 44% des moyens totaux de production



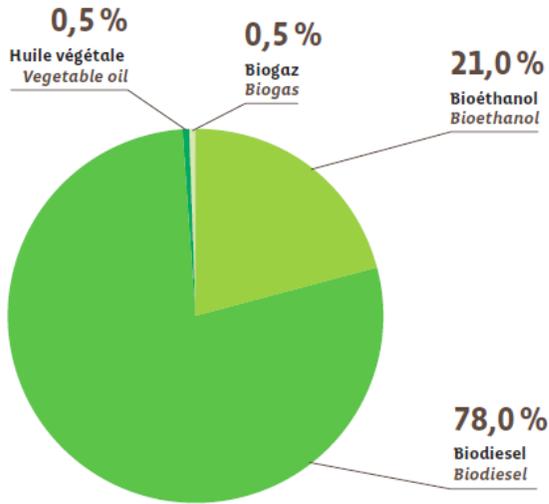
Source: IFP EN from various, 2011



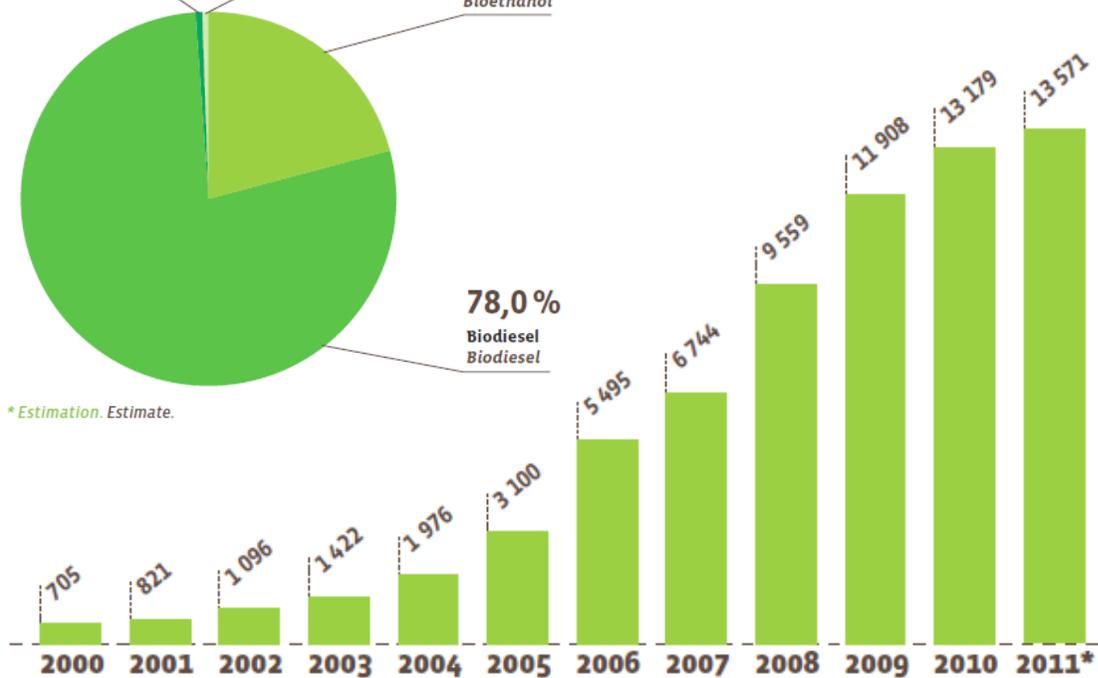
# Le marché des biocarburants en Europe

## Consommation de biocarburants

Breakdown of total EU 2011\* biofuel consumption for transport in energy content by biofuel type



\* Estimation. Estimate.



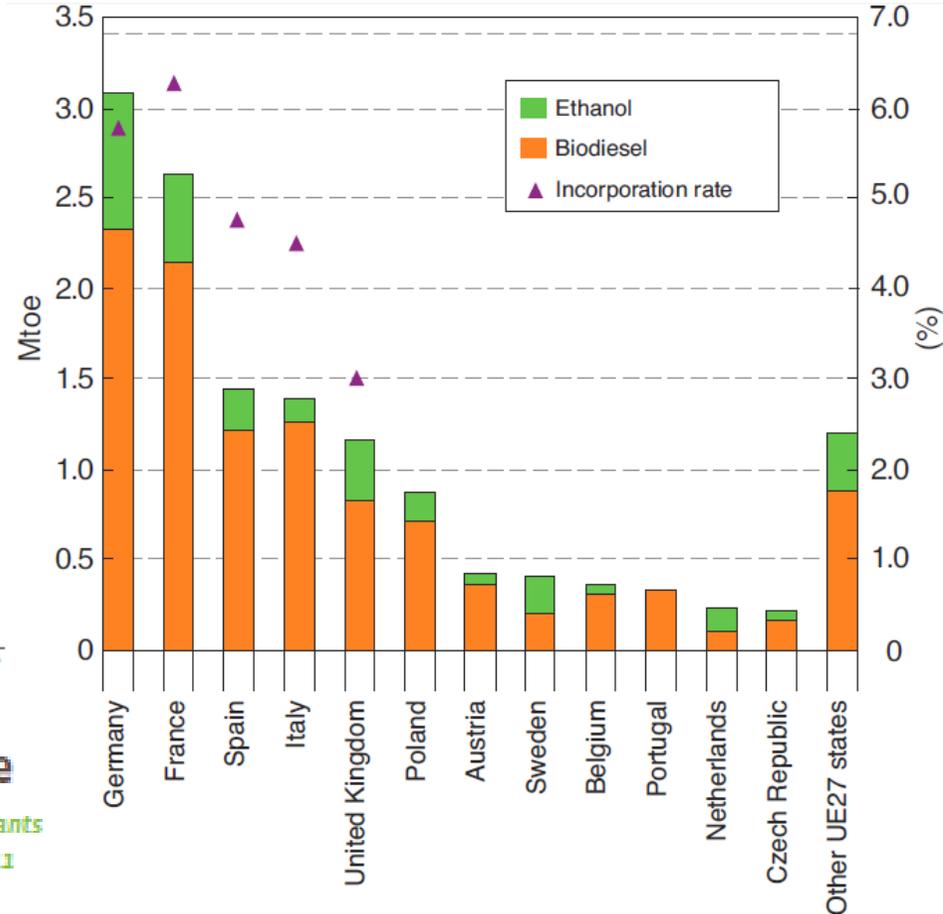
**+ 392,2 ktep/ktoe**

de biocarburants consommés dans les transports de l'UE en 2011 par rapport à 2010  
more biofuel used in EU transport in 2011 compared with 2010

**13,6 Mtep/Mtoe**

La consommation totale de biocarburants dans les transports dans l'UE en 2011  
total UE biofuel transport consumption in 2011

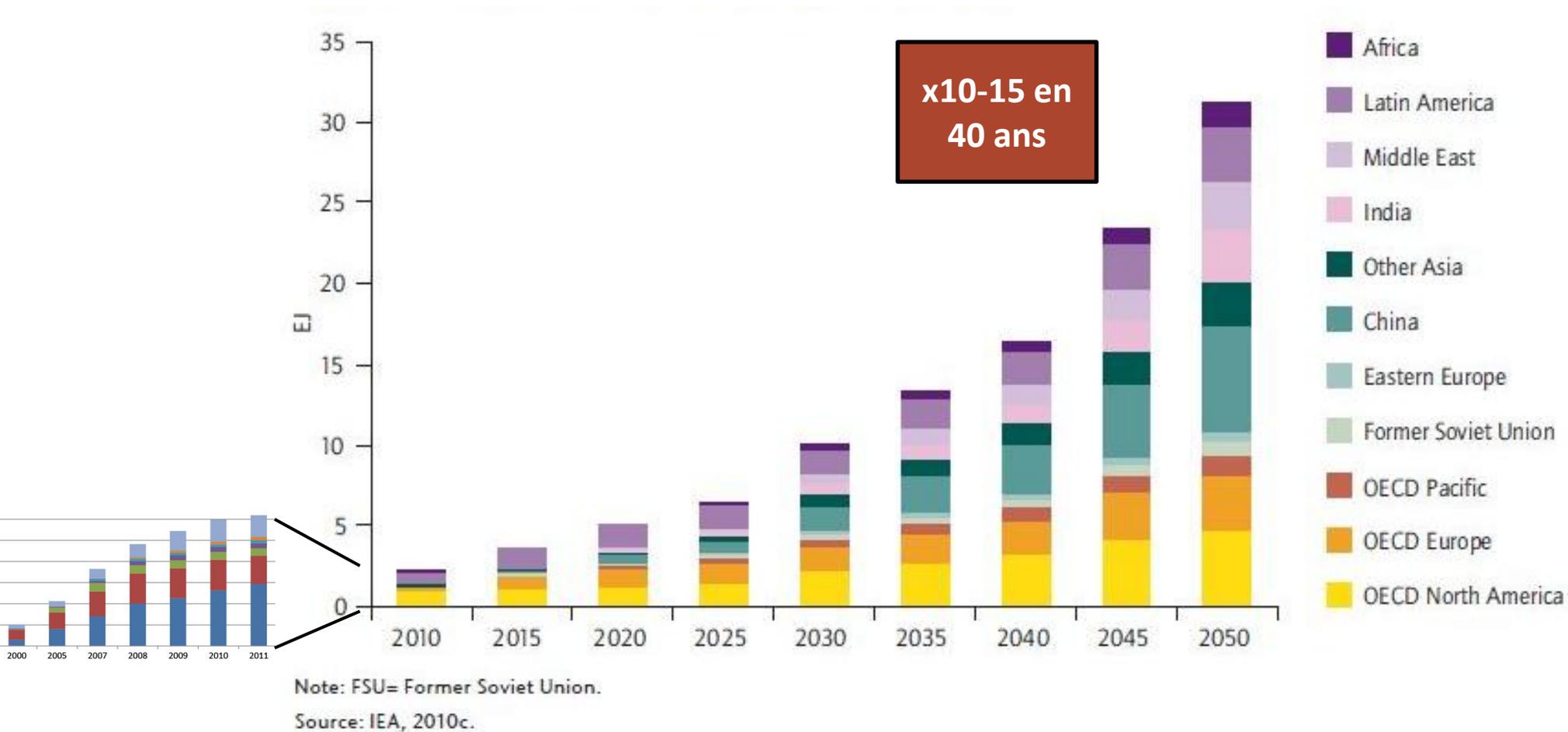
En 2010





# Consommation de biocarburants dans le monde

Prévisions de la demande par région, 2010-2050



Source: IEA, 2010



## **INTRODUCTION**

Définition / Contexte énergétique mondial: intérêt pour les biocarburants?

## **BIOCARBURANTS DE 1<sup>ère</sup> GENERATION**

G1 Biomasses et procédés

Transesterification et production de biodiesel

Fermentation et production de bioéthanol

## **BIOCARBURANTS DE 2<sup>ème</sup> GENERATION**

G2 Biomasses et procédés

Voie biochimique et production de bioéthanol cellulosique

Voie thermochimique et production de carburants de synthèse

## **BIOCARBURANTS DE 3<sup>ème</sup> GENERATION**

Pourquoi les algues ?

**Procédés & coûts de production**

## **LE SECTEURS DES BIOCARBURANTS**

Un secteur poussé par la réglementation

État des lieux du marché et prospective

## **CONCLUSIONS**



# Biocarburants

## Conclusion

- ▶ Le défi du réchauffement climatique et celui de l'indépendance énergétique font des biocarburants un enjeu économique majeur des prochaines décennies.
- ▶ L'industrie des biocarburants est déjà constituée sur des technologies éprouvées et des ressources limitées (G1).
- ▶ Le passage à des ressources plus larges et plus pérennes est alors incontournable : lignocellulose (G2) et algues (G3).
- ▶ De nombreuses innovations technologiques émergent et vont nécessiter des ressources importantes pour leur développement.
- ▶ Des politiques publiques long-termes doivent permettre de soutenir ces développements.



**ENE A Consulting**  
**89 rue Réaumur, 75002 Paris**

**Tel : +33 (0)1 82 83 83 83**  
**[contact@enea-consulting.com](mailto:contact@enea-consulting.com)**  
**[www.enea-consulting.com](http://www.enea-consulting.com)**