



Université Saint-Joseph de Beyrouth  
Faculté d'ingénierie

# Les algues: le carburant du futur?

Dr.Jihane RAHBANI

## Plan

### Introduction

---

### Les microalgues

---

### Voies potentielles de production d'algocarburants:

- Sécrétion directe
  - Conversion de la biomasse algale entière
  - Conversion des extraits d'algues
- 

### Conclusion

---

## Epuisement des combustibles fossiles et augmentation de la demande énergétique

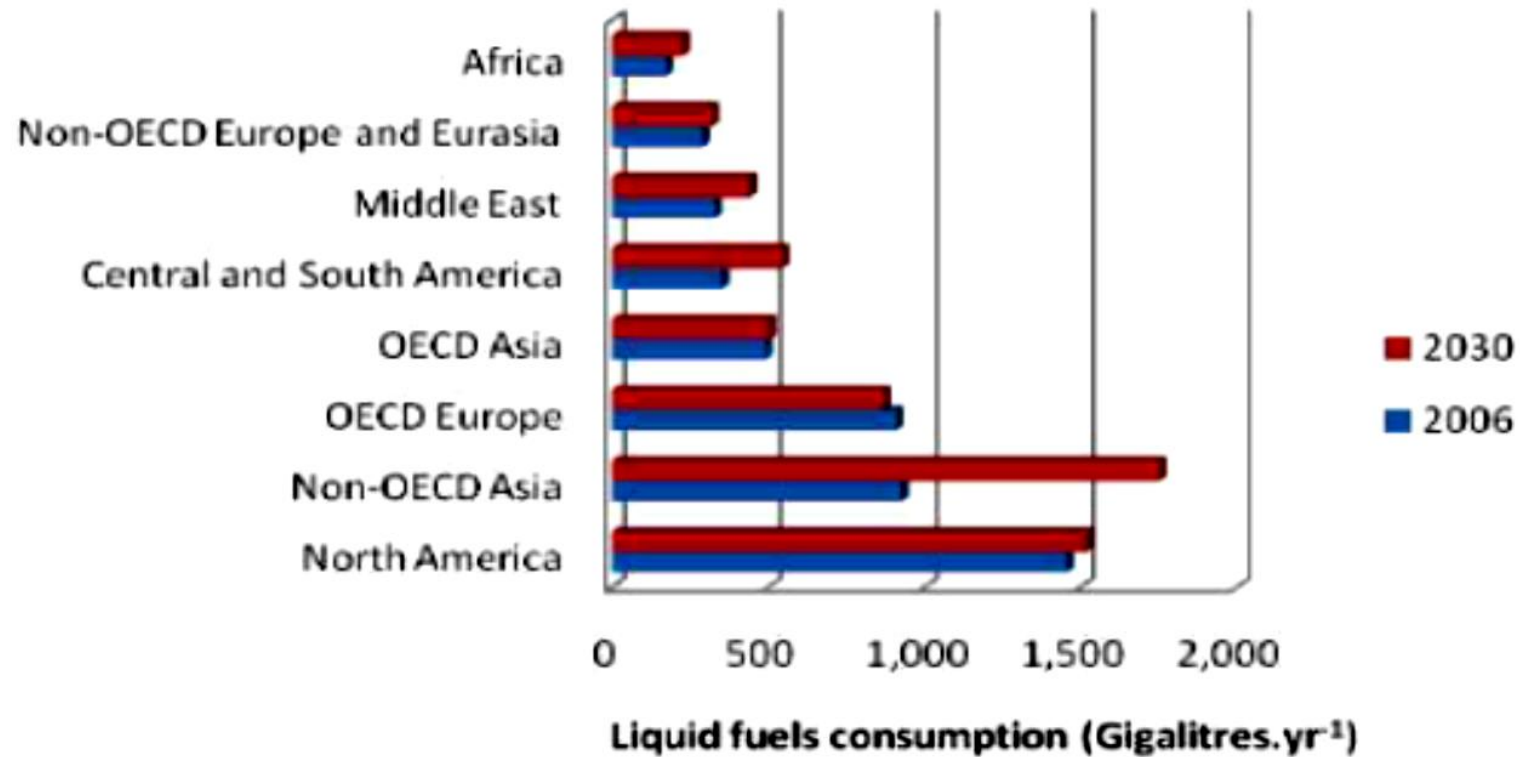
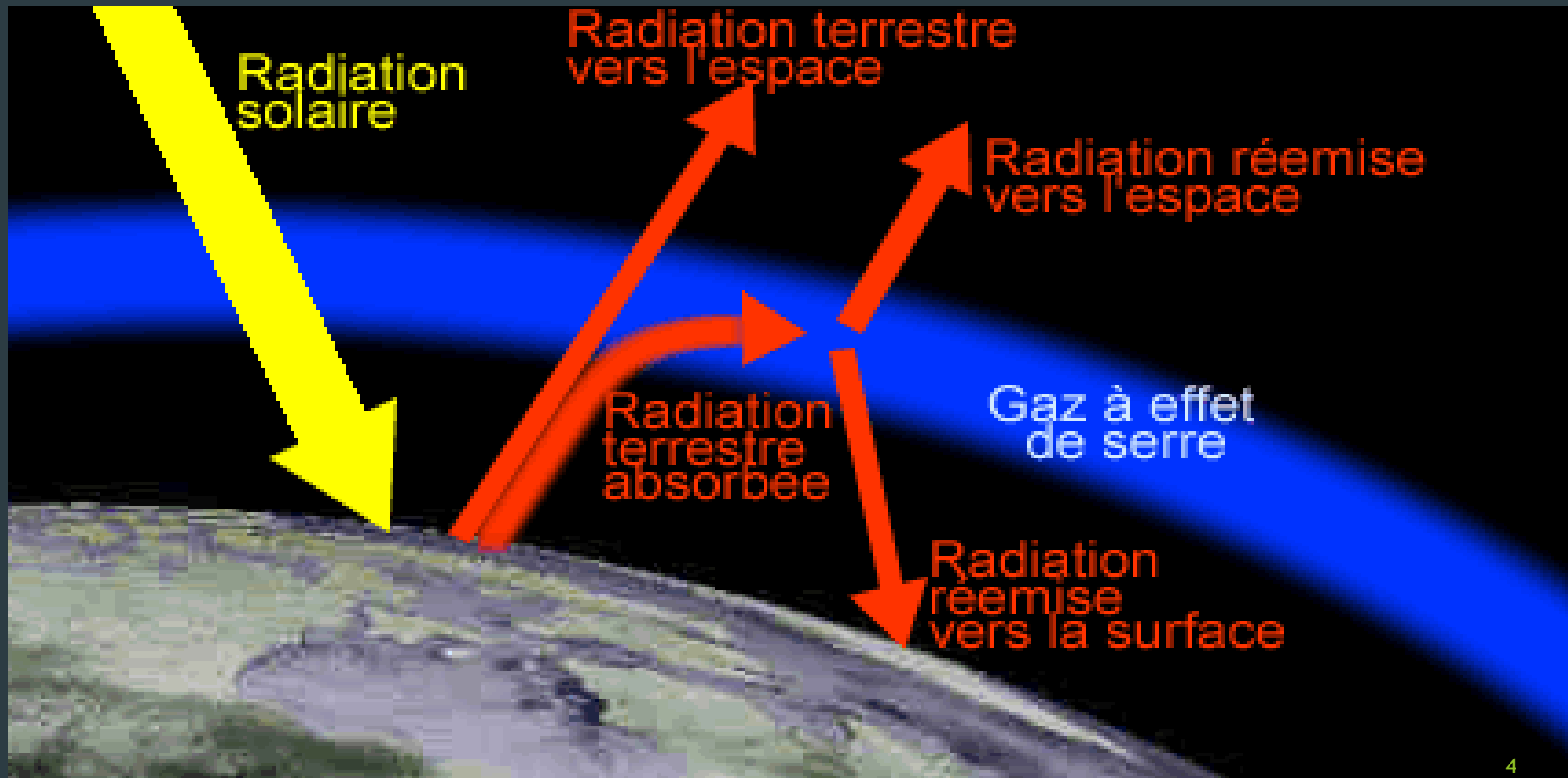


Figure 1: Consommation de carburants liquides 2006-2030 (Source: EIA International energy outlook, 2009)

## Besoin impérieux de réduction du CO2



## Urgence de rechercher de nouvelles ressources

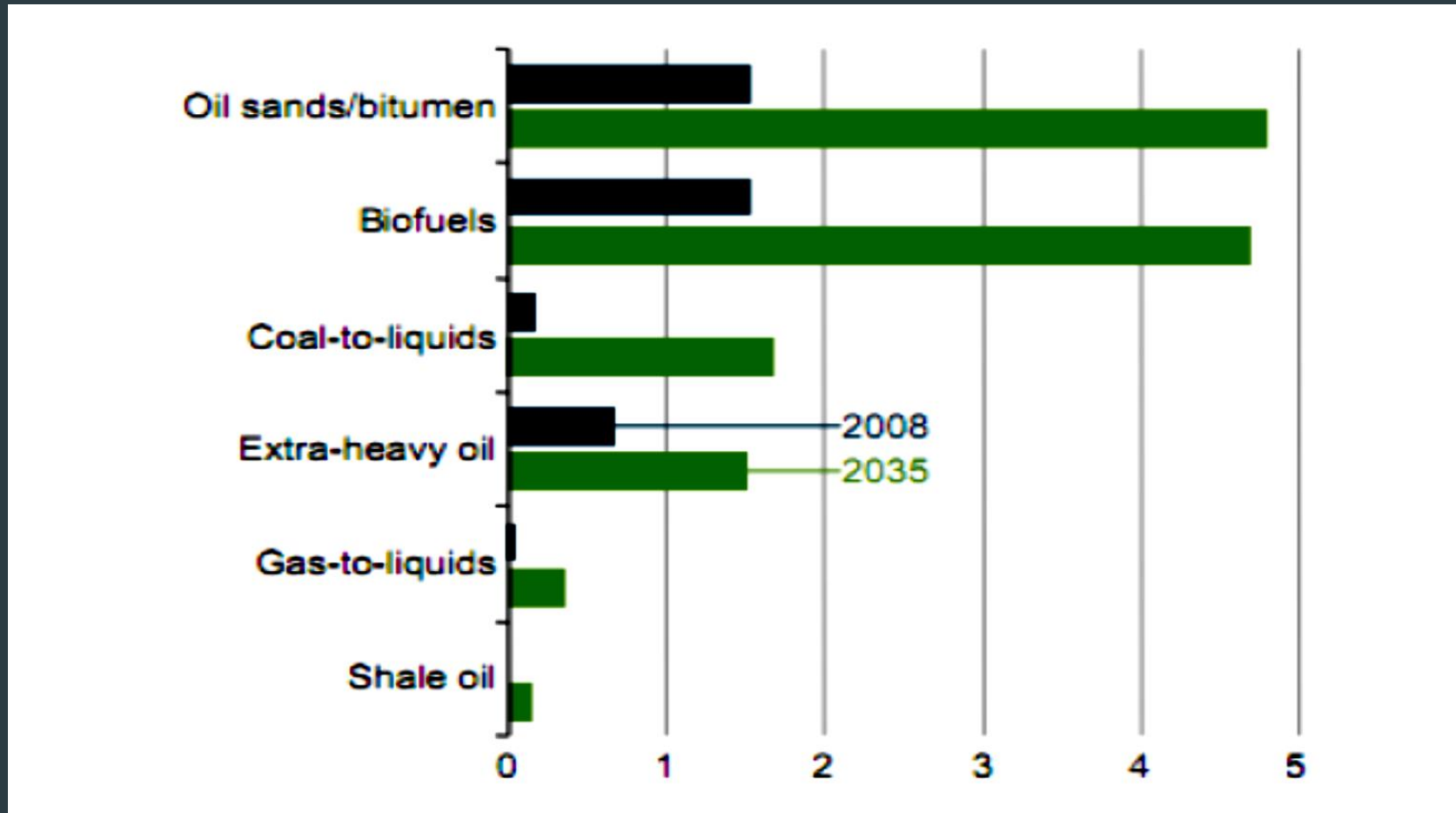


Figure 2: Production mondiale de carburants liquides dits non-conventionnels 2008-2035 (Source: EIA International energy outlook 2011)

# Introduction

Fonds substantiels pour des projets de biocarburants

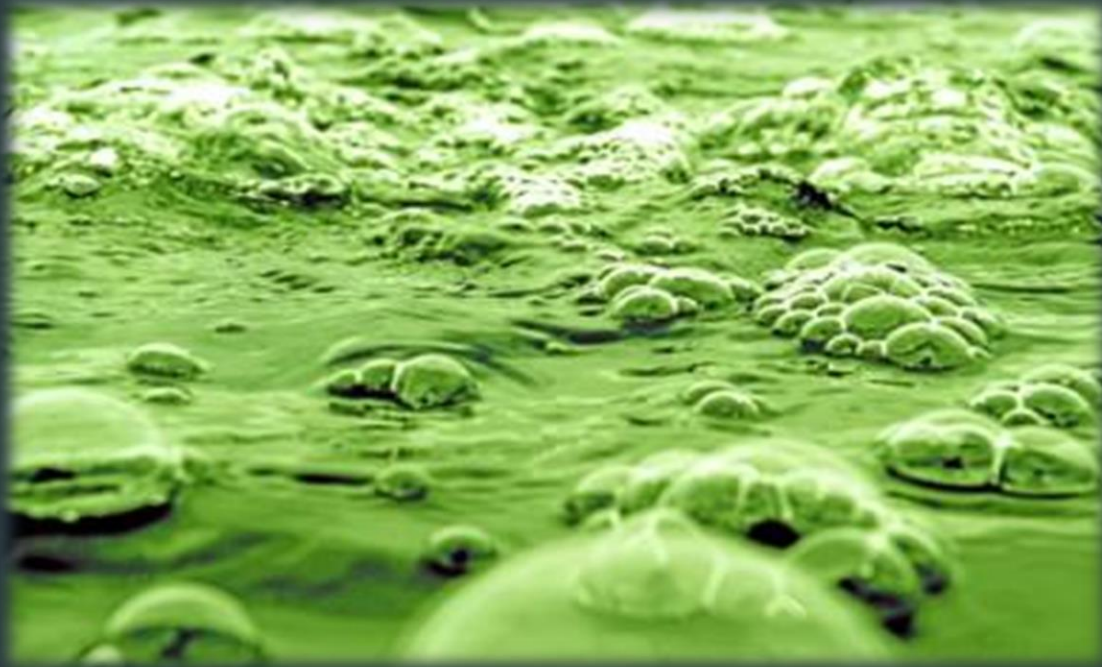
Prévenir la dépendance aux combustibles fossiles  
Durabilité environnementale

Biocarburants de première et deuxième génération

Problèmes de pénurie d'eau  
Menaces à la sécurité alimentaire



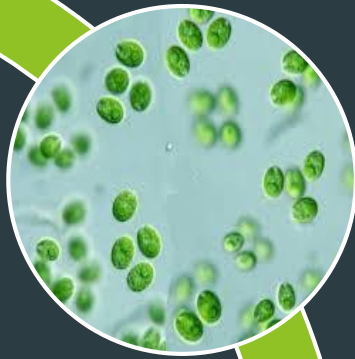
# Les carburants de troisième génération, les microalgues: une solution d'avenir?



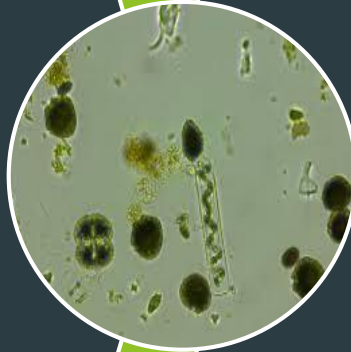




## Les microalgues



Unicellulaires  
photosynthétiques



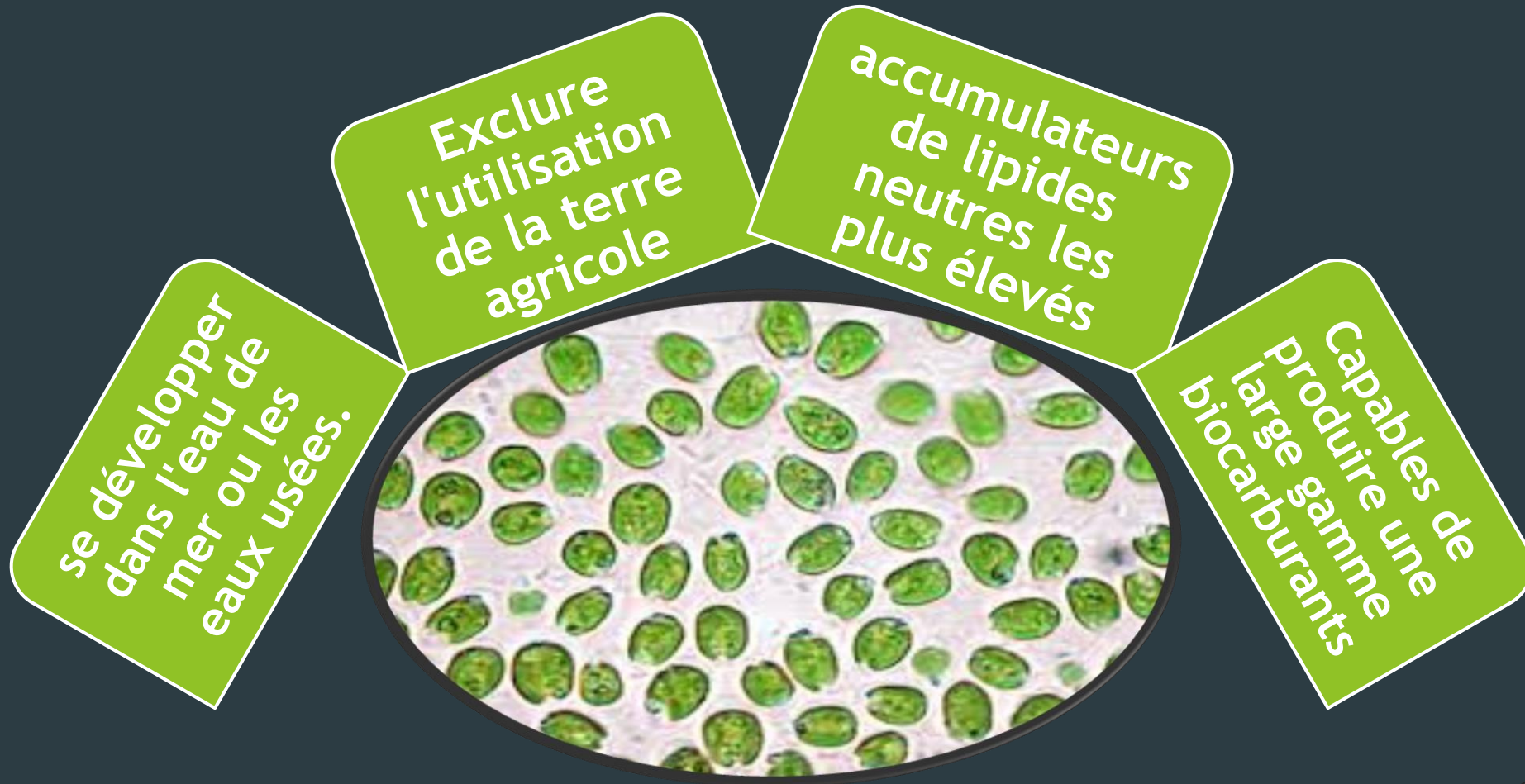
Biodiversité extra  
ordinaire, entre  
200000 et un million  
souches



Nombreuses  
applications



# Pourquoi les microalgues?





## Microalgues



Dihydrogène



Méthane



Bioéthanol



Biodiesel

Patil *et al.*, 2008

Voies potentielles  
de production  
d'algocarburants

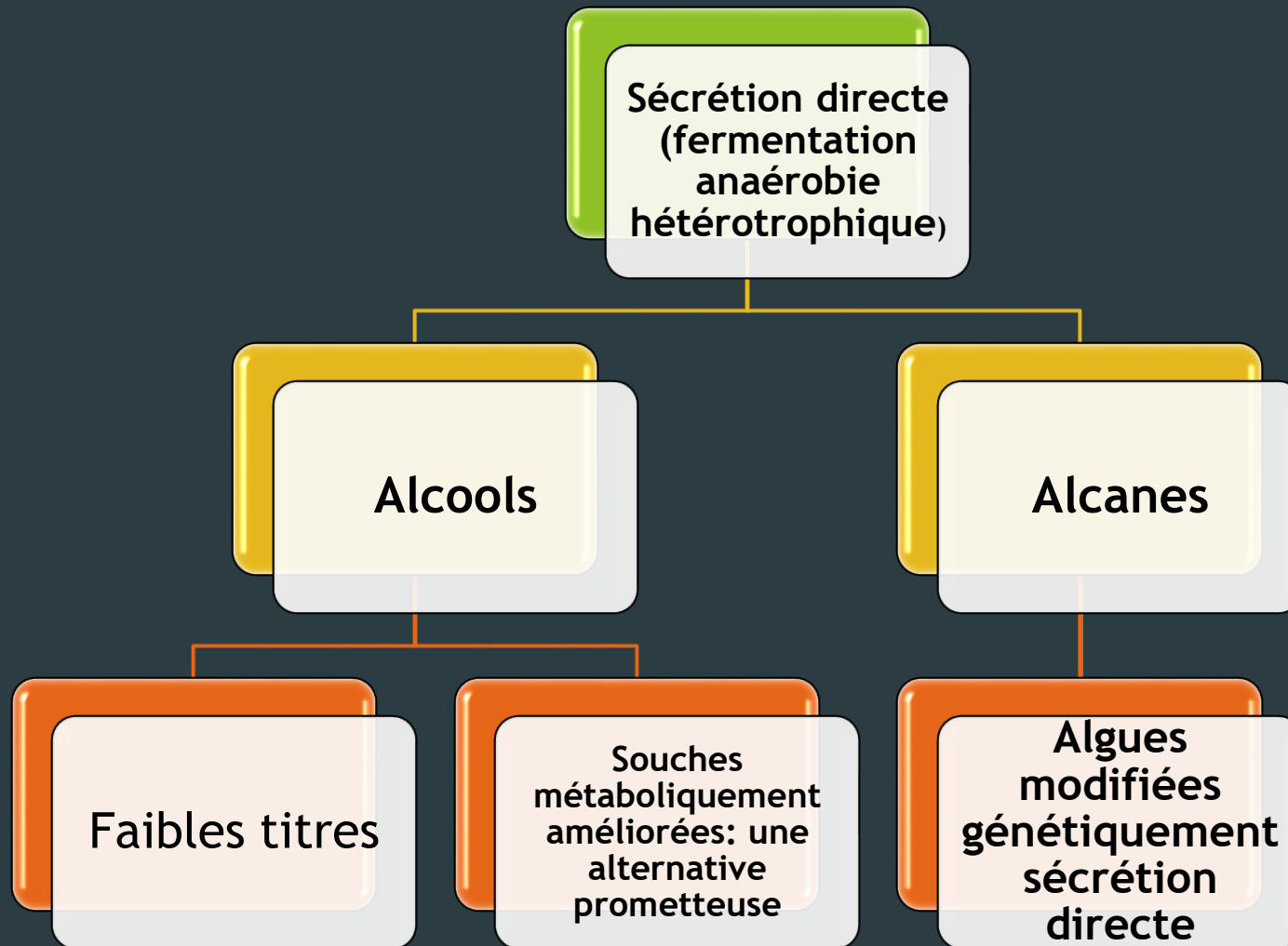
```
graph TD; A[Voies potentielles de production d'algocarburants] --> B[Sécrétion directe]; A --> C[Conversion de la biomasse entière]; A --> D[Conversion des extraits d'algues];
```

Sécrétion directe

Conversion de la  
biomasse entière

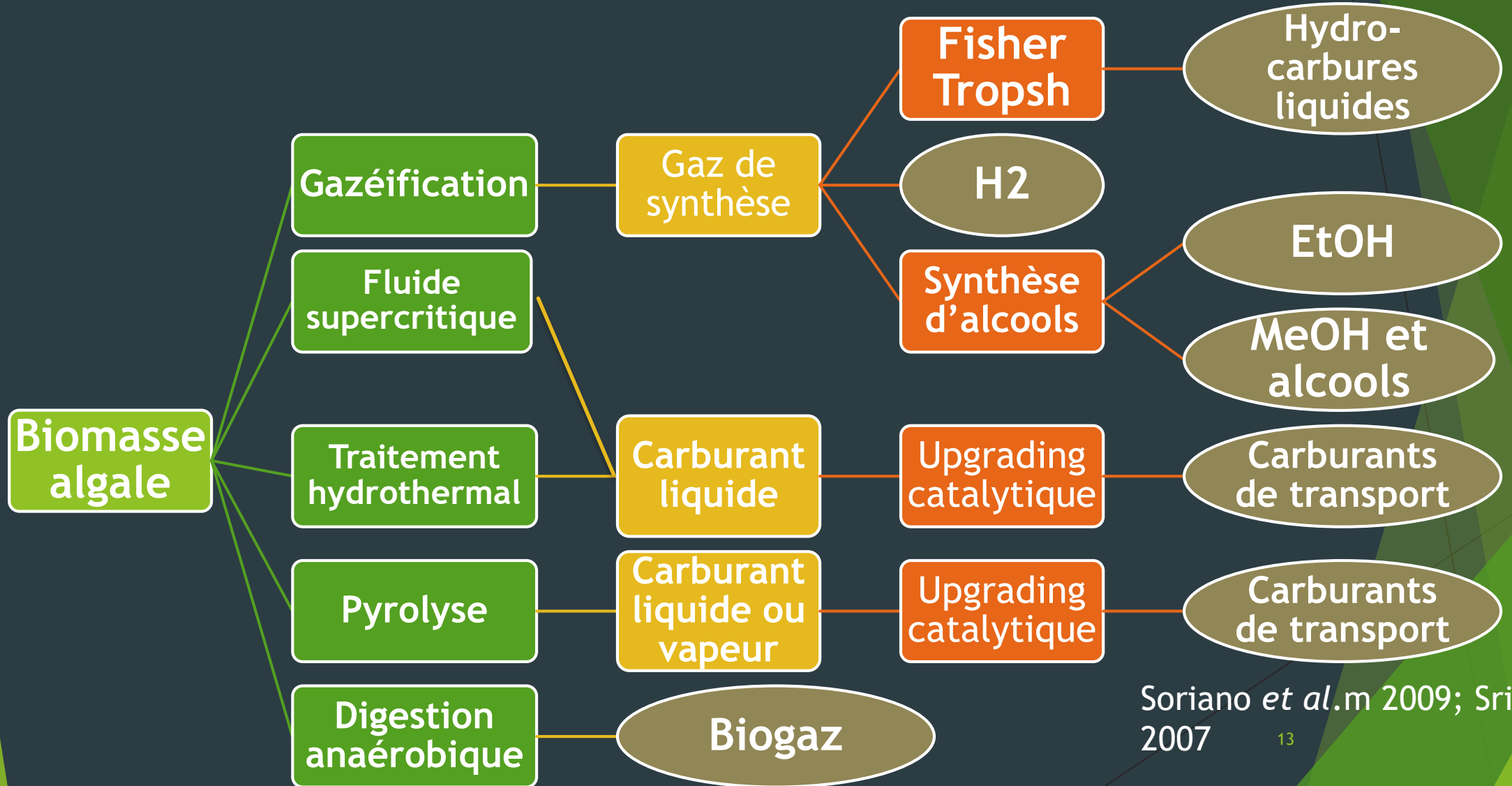
Conversion des  
extraits d'algues

# 1- La production de biocarburants d'algues, par fermentation hétérotrophique et sécrétion directe.



Hirano *et al.*, 1997

## 2- Conversion de la biomasse algale entière en carburant



Soriano *et al.* 2009; Srinivas *et al.*, 2007

## 2.1- Pyrolyse décomposition chimique à 400-600 °C en absence d'oxygène

### Avantages

- Existe en petites unités
- Pas de tissus de fibres à traiter
- Moins hétérogène que la plupart de la biomasse

### Défis

- Teneur en humidité,  
- coûts de séchage

Un processus de déshydratation peu coûteux est nécessaire

## 2.2- Gazéification Chauffage oxydatif à des températures > 700 °C

### Avantages

- Un grand nombre de carburants à partir d'un gaz de synthèse
- Absence de lignine
- Pas de génération d'aromatiques de haut poids moléculaire

### Défis

- Coût élevé du gazogène
- - Nettoyage des goudrons

Détermination des conditions optimales de la gazéification des algues



**2.3- Digestion anaérobie** processus de décomposition biologique contrôlé qui génère du biogaz et un résidu solide valorisable appelé digestat.

### Avantages

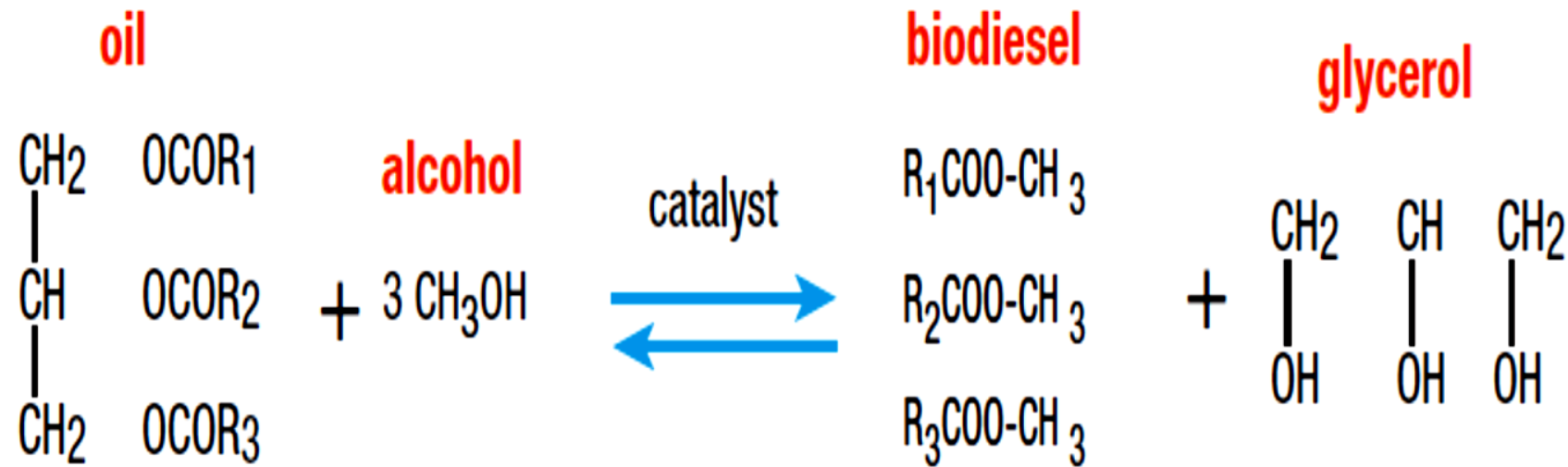
- Réduction des coûts de séchage, extraction, conversion

### Défis

- Constituants récalcitrants
- Paroi cellulaire dégradable
- Algues à faible rapport C/N

- Co-digestion d'autres matières premières avec la biomasse
- Mise à l'échelle (traitement des eaux usées)
- Optimiser les effets spécifiques à l'espèce

## 2.4- Traitement supercritique Extraction par des fluides supercritiques, couplée à un schéma de Trans estérification



## 2.5- Traitement supercritique

### Avantages

- Fluides sélectifs, grande pureté du produit
- Pas besoin d'assèchement
- Meilleure efficacité d'extraction

### Défis

- Possibilité de saponification

Etudier l'effet des conditions plus douces, en particulier les températures de réaction

Anitescu *et al.* ., 2008; Mendes *et al.*, 2007

## 2.6- Traitement hydrothermal représentation de la géologie naturelle (processus impliqué dans la formation des combustibles fossiles)



Biocrude

T= 523-647  
k, P 4-22  
MPa



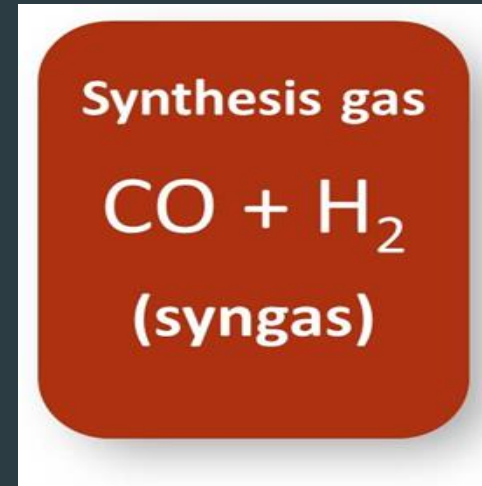
Biochar

T < 548 k,  
P < 2 MPa



Gaz de  
synthèse

T > 647, P  
> 22,1 MPa



## 2.6- Traitement hydrothermal

### Avantages

- non seulement transformer les lipides mais aussi d'autres composants organiques tels que les protéines et les glucides
- Biobrut facilement converti en carburant diesel et jet A

### Défis

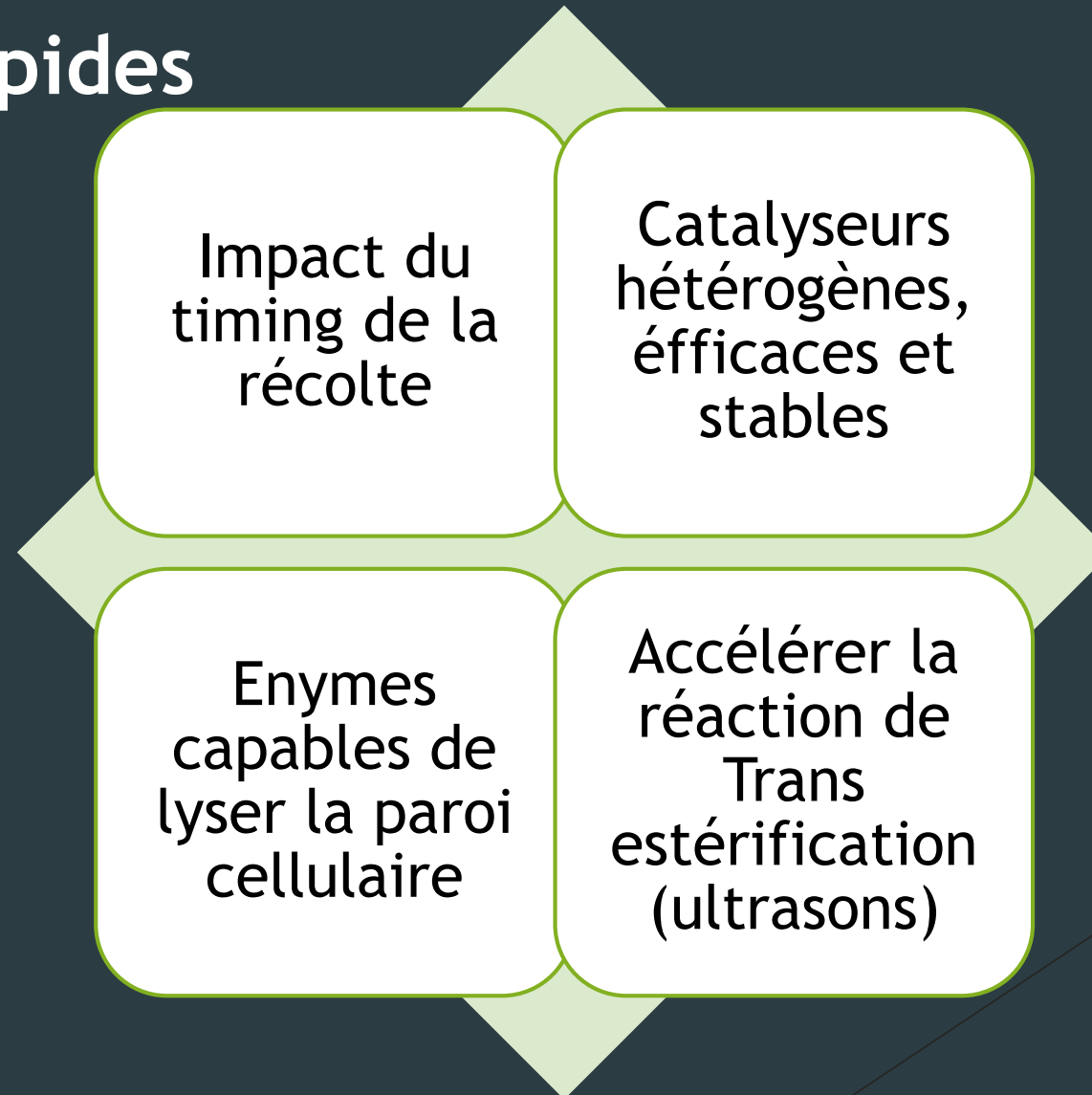
- Dépend de la composition de la biomasse
- Méthode prometteuse mais en stade précoce de développement

Optimiser les conditions pour passer à l'échelle industrielle

Elliot, 2016; Elliott *et al.*, 2013; Garcia *et al.*, 2012; Lopez *et al.*, 2013 20

# 3- Conversion des extraits d'algues

## Conversion des lipides



Demirbas, 2009b; Gerken *et al.*, 2013;

# Conversion des extraits d'algues

**Fermentation des protéines**

**Escherichia coli,  
désamination, production  
d'alcools**

**Digestion anaérobie**

**Trans estérification  
des lipides**

**Fermentation des  
carbohydrates  
Bioéthanol**

**Extraction des produits  
de valeur: caroténoïdes,**

*Dong et al., 2015; Huo et al., 2011;  
Laurens et al., 2015;*



# Conclusion

Les calculs pour la mise à l'échelle et le déploiement des installations doit inclure:

- ❑ Bilans de masse et bilans énergétiques
- ❑ Contraintes de ressources
- ❑ Dépenses en capital

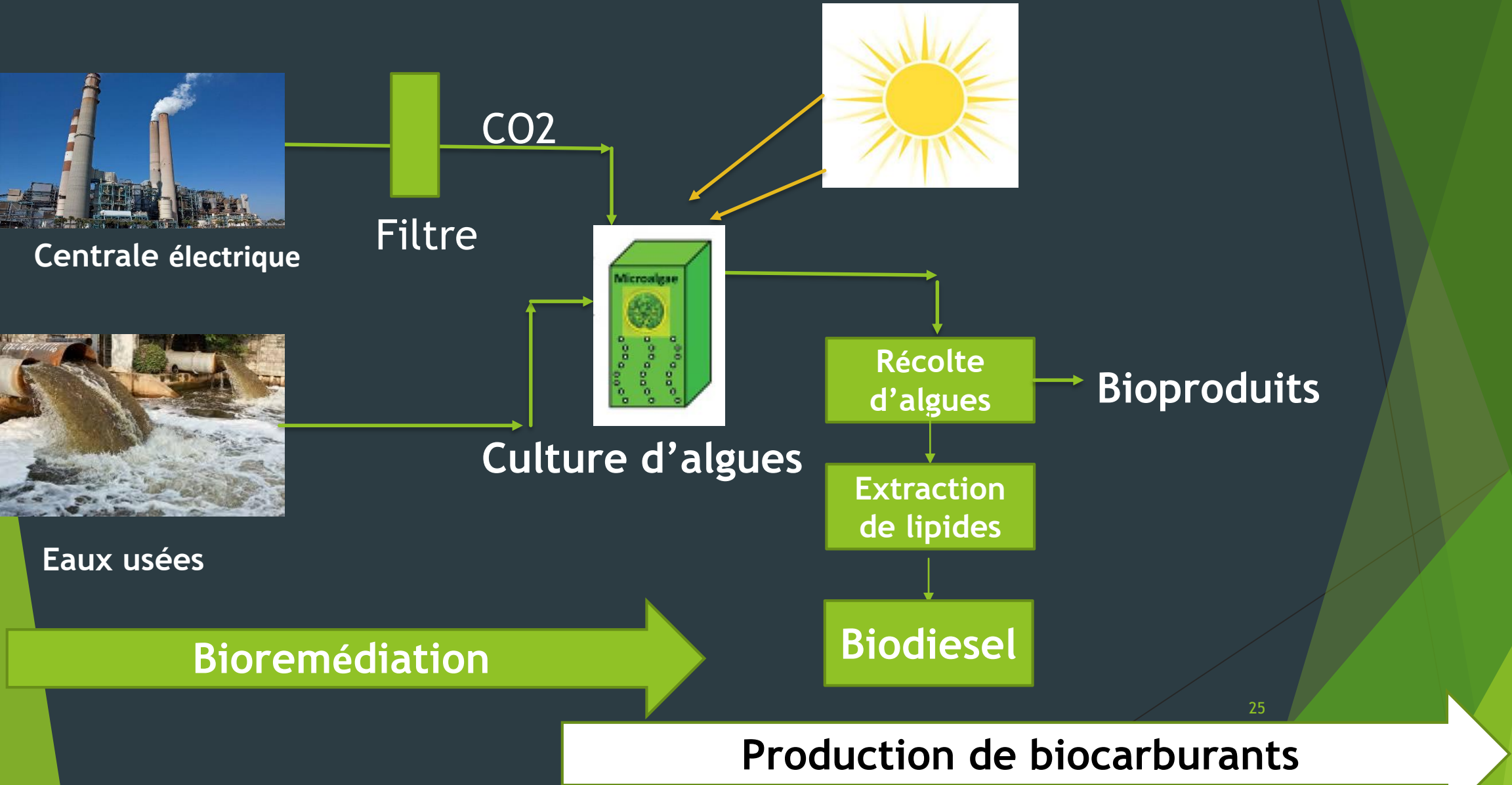


# Conclusion

Considérations nécessaires pour une production d'algocarburants économiquement durable.

- ❑ Le recyclage de l'eau et des nutriments et la conservation d'énergie
- ❑ Une productivité suffisante de biomasse algale
- ❑ Procédés d'extraction par voie humide (impact des technologies d'assèchement sur la consommation d'énergie et sur les coûts d'investissement).
- ❑ Un régime de récolte et de conversion sur mesure

# Une solution...à condition de possibilité de co-implantation des installations



# Références

- ▶ Adnan Mulih A.; Hossainab Mohammad M., 2018 Gasification performance of various microalgae biomass - A thermodynamic study by considering tar formation using Aspen plus. *Energy Conversion and Management* 165: 783-793.
- ▶ Andersen, R.A., and M. Kawachi. 2005. "Traditional microalgae isolation techniques." *Algal Culturing Techniques*. Amsterdam: Elsevier. 83-102.
- ▶ Demirbas, A. 2006. "Oily Products from Mosses and Algae via Pyrolysis." *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 28 (10): 933-40.
- ▶ Demirbas, A. 2009b. "Production of Biodiesel from Algae Oils." *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 31 (2): 163-8.
- ▶ Dong, T., E. P. Knoshaug, R. Davis, L. M. L. Laurens, S. Van Wychen, P. T. Pienkos, and N. Nagle. 2015. "Combined algal processing: A novel integrated biorefinery process to produce algal biofuels and bioproducts." *Algal Research*.
- ▶ Elliott, D. C. 2016. "Review of recent reports on process technology for thermochemical conversion of whole algae to liquid fuels." *Algal Research* 13: 255-63.
- ▶ Elliott, D. C., T. R. Hart, A.J. Schmidt, G.G. Neuenschwander, L.J. Rotness, M.V. Olarte, A.H. Zacher, K.O. Albrecht, R.T. Hallen, and J.E. Holladay. 2013. "Process development for hydrothermal liquefaction of algae feedstocks in a continuous-flow reactor." *Algal Research* 2: 445-54.
- ▶ Garcia Alba, L., C. Torri, C. Samorì, J. van der Spek, D. Fabbri, S. R. A. Kersten, and D. W. F. Brilman. 2012. "Hydrothermal Treatment (HTT) of Microalgae: Evaluation of the Process As Conversion Method in an Algae Biorefinery Concept." *Energy & Fuels* 26 (1): 642-57.

- ▶ Gerken, H. G., B. Donohoe, and E. P. Knoshaug. 2013. “Enzymatic cell wall degradation of *Chlorella vulgaris* and other microalgae for biofuels production.” *Planta* 237 (1): 239-53.
- ▶ Hirano, A., R. Ueda, S. Hirayama, and Y. Ogushi. 1997. “CO<sub>2</sub> fixation and ethanol production with microalgal photosynthesis and intracellular anaerobic fermentation.” *Energy* 22 (2-3): 137-142.
- ▶ Huo, Y.-X., K. M. Cho, J. G. Rivera, E. Monte, C. R. Shen, Y. Yan, and J.C. Liao. 2011. “Conversion of proteins into biofuels by engineering nitrogen flux.” *Nature Biotechnology* 29 (4): 346-51.
- ▶ Laurens L. M. L., T. A. Dempster, H. D. Jones, E. J. Wolfrum, S. Van Wychen, J.S. McAllister, M. Rencenberger, K.J. Parchert, and L.M. Gloe. 2012. “Algal biomass constituent analysis: Method uncertainties and investigation of the underlying measuring chemistries.” *Analytical Chemistry* 84 (4): 1879-87.
- ▶ López Barreiro, D., C. Zamalloa, N. Boon, W. Vyverman, F. Ronsse, W. Brilman, and W. Prins. 2013. “Influence of Strain- Specific Parameters on Hydrothermal Liquefaction of Microalgae.” *Bioresource Technology* 146: 463-71.
- ▶ Mendes, R. L. 2007. “Supercritical fluid extraction of active compounds from algae.” In *Supercritical Fluid Extraction of Nutraceuticals and Bioactive Compounds*, edited by J. L. Martinez. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor and Francis, Inc. 189-213.
- ▶ Patil, V., K.-Q. Tran, and H. R. Giselroed. 2008. “Towards sustainable production of biofuels from microalgae.” *International Journal of Molecular Sciences* 9 (7): 1188-95.

- ▶ Prapaiwatcharapan, K., S. Sunphorka, P. Kuchonthara, K. Kangvansaichol, and N. Hinchiranan. 2015. "Single- and two-step hydrothermal liquefaction of microalgae in a semi-continuous reactor: Effect of the operating parameters." *Bioresource Technology* 191: 426-32.
- ▶ Soriano, N. U. Jr., R. Venditti, and D. S. Argyropoulos. 2009. "Biodiesel synthesis via homogeneous Lewis acid-catalyzed transesterification." *Fuel* 88 (3): 560-5.
- ▶ Srinivas, S., R. K. Malik, and S. M. Mahajani. 2007. "Fischer-Tropsch synthesis using bio-syngas and CO<sub>2</sub>." *Energy for Sustainable Development* 11 (4): 66-71.
- ▶ Vardon, D. R., M. A. Franden, C. W. Johnson, E. M. Karp, M. T. Guarnieri, J. G. Linger, M.J. Salm, T.J. Strathmann, and G.T. Beckham. 2015. "Adipic acid production from lignin." *Energy & Environmental Science* 8 (2): 617-28.
- ▶ Ward, A. J., D. M. Lewis, and F. B. Green. 2014. "Anaerobic digestion of algae biomass: A review." *Algal Research* 5: 204-14.

**Merci pour votre  
attention**