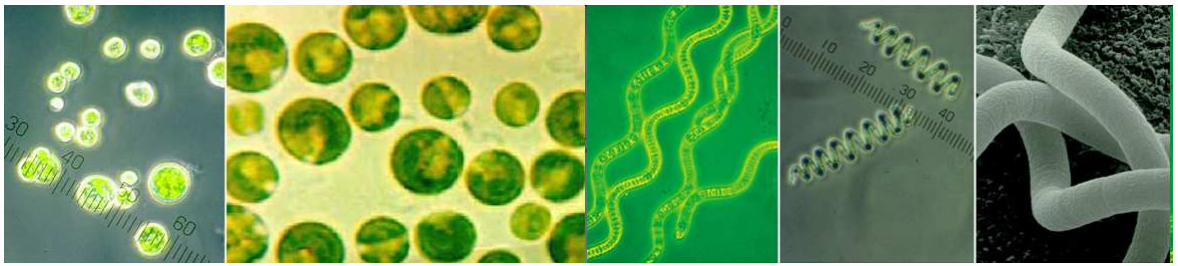
DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

www.cea.fr

MICRO-ALGUES ET BIOCARBURANTS DE TROISIÈME GÉNÉRATION



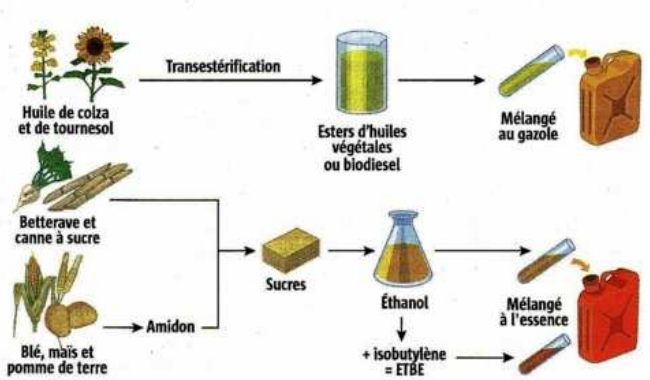
(C) AIM

Florian Delrue
florian.delrue@cea.fr

RENCONTRES CEA-INDUSTRIES
12 DECEMBRE 2012

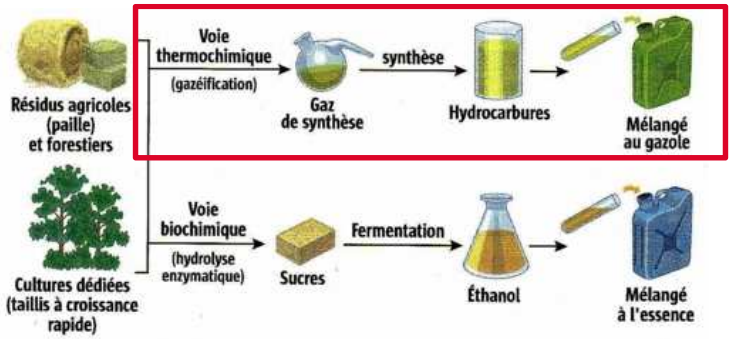
CONTEXTE GÉNÉRAL : LES BIOCARBURANTS 1G ET 2G

Biocarburants de première génération



- Utilisation de l'ensemble de la plante
- En compétition avec l'agriculture
- Bilan énergétique et environnemental médiocres

Biocarburants de deuxième génération



- Utilisation des résidus ou cultures dédiées
- Moins de compétition avec l'agriculture mais toujours existante
- Meilleurs bilans environnementaux et énergétiques

ALGUES

(C) Ouest France

(C) AP Photo

(C) AFP

(C) Wikimedia Commons

(C) His Noodly Appendage

MACRO-ALGUES / MICRO-ALGUES

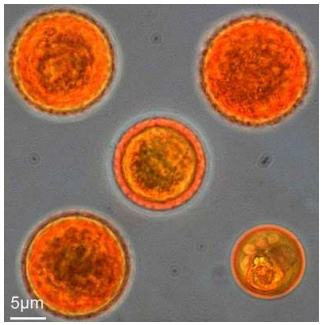
Macro-algues

(C) Wikimedia Common

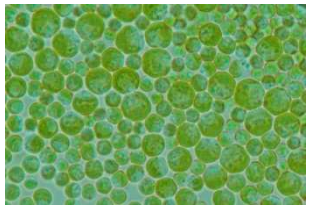
(C) RTL

(C) Wernberg et al., 2009

Micro-algues



(C) DP



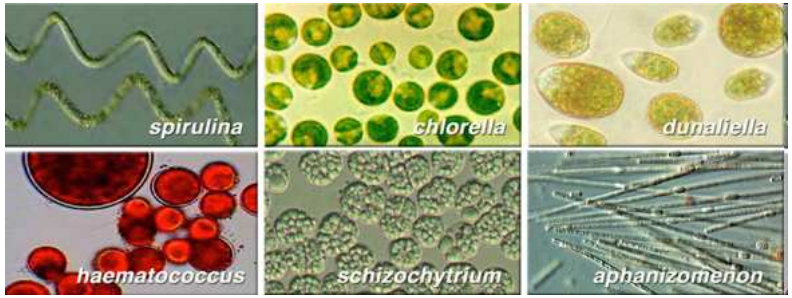
(C) LB3M

(C) Ifremer

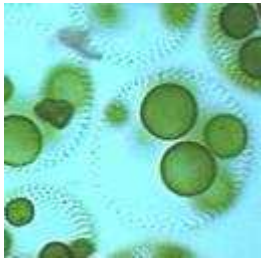
LES MICROALGUES : QUELQUES INFOS GÉNÉRALES

Taille microscopique (1-10 µm)
Organisme unicellulaire

Habitat principalement aquatique (eau de mer, eau douce)



(C) AIM


(C) CEA

Croissance rapide par division cellulaire : plusieurs divisions par jour en conditions favorables

200 000 à 800 000 espèces dont environ 35 000 décrites

50% de fixation du CO_2
A l'origine de notre atmosphère
Un des premiers maillons de la chaîne alimentaire

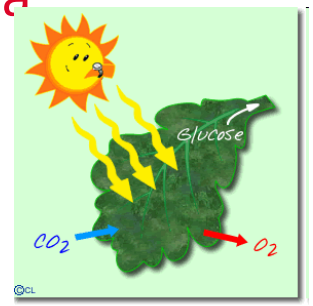


Schéma de la photosynthèse

Efficacité photosynthétique allant jusqu'à 9% (6% pour la canne à sucre)

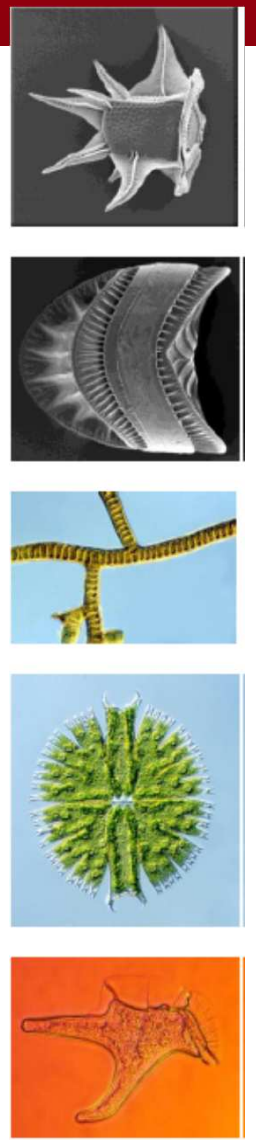
LES MICROALGUES : UN INTÉRÊT ÉNERGÉTIQUE

- Peuvent contenir jusqu'à 80% de lipides (plus généralement entre 20 et 50%)
- Production possible sur des terres non arables
- Production tout au long de l'année

Culture	Production d'huile (L/ha)
Mais	172
Soja	446
Jatropha	1892
Huile de palme	5950
Microalgues	20,000 – 60,000

Adapté de Chisti et al., 2007

- Pas besoin d'herbicides ni de pesticides
- Séquestrent le CO_2
- Possibilité de produire des co-produits à haute valeur ajoutée



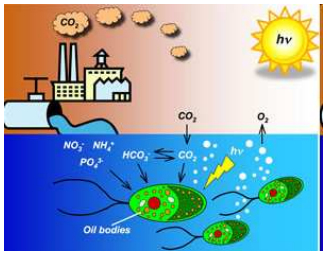
(C) Trimatec

CONTRAINTES DE LA FILIÈRE

- Milieu très humide

(~1g/L, soit 99.9% d'eau !)

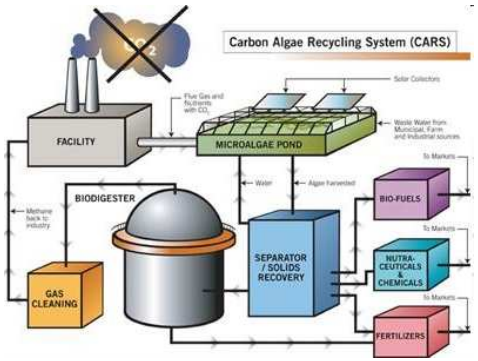
- Demande en eau et en nutriments (N, P, K)



- Apport en CO_2 suffisant

  (2g de CO_2 par g d'algues)

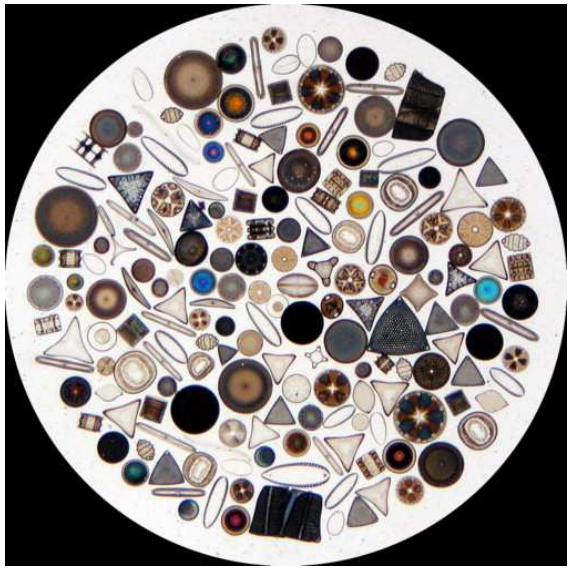
- Incertitudes sur :
  - Coût énergétique
  - Coût économique
  - Passage à l'échelle industrielle



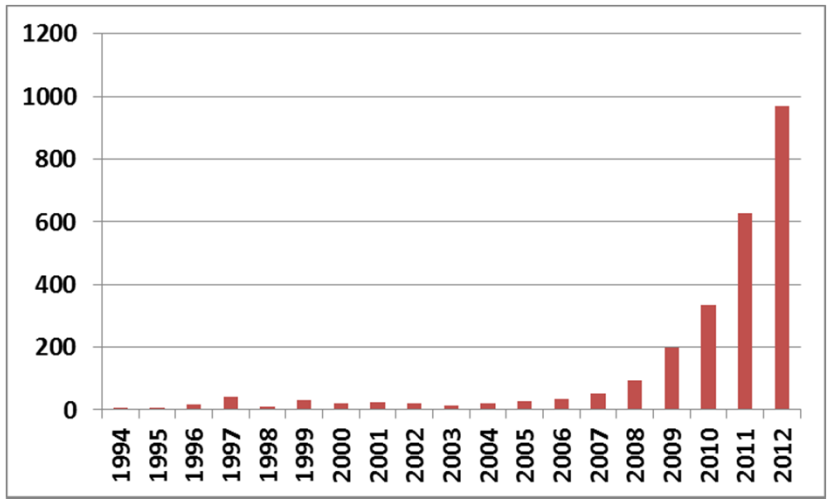
CONTEXTE

Un fort engouement depuis environ 5 ans :

- Des centaines de start-ups principalement aux USA (>200)
- Un nombre de publications en croissance exponentielle (idem brevets)
- Beaucoup d'effets d'annonce
- Des associations d'entreprises (Exxon – Craig Venter, Total – Cellectis, Shell – Cellana, Solazyme – Roquette, Sofiprotéol – Fermentalg, EADS – ENN, …)



(C) Wikimedia Commons



Nombre de publications par an

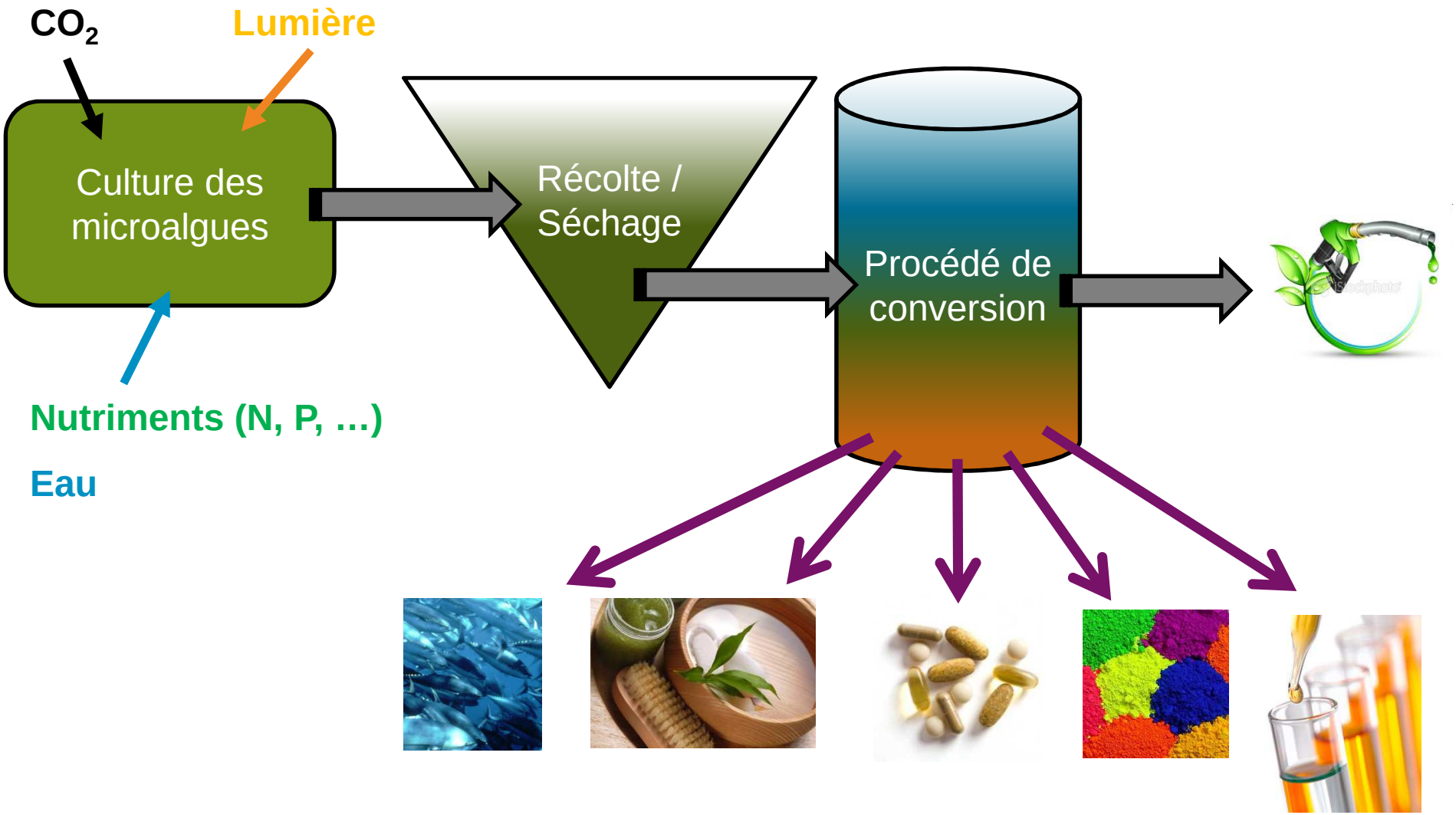
Source Science Direct

UTILISATION ET PRODUCTION ACTUELLE

Algue	Production annuelle (tonnes)	Pays producteur	Applications et Produits
Spirulina	3000	Chine, Inde, Etats-Unis, Myanmar, Japon	Nutrition animale et humaine, phycobiliproteines, Cosmétiques
Chlorella	2000	Taiwan, Allemagne, Japon	Nutrition humaine, aquaculture, cosmétiques
Dunaliella	1200	Australie, Israël, Etats-Unis, Chine	Nutrition humaine, cosmétiques, β-carotène
Aphanizomenon	500	Etats-Unis	Nutrition humaine
Haematococcus	300	Etats-Unis, Inde, Israël	Aquaculture, Astaxanthine
Crypthecodinium	240	Etats-Unis	Oméga 3 (DHA)
Schizochytrium	10	Etats-Unis	Oméga 3 (DHA)

Adapté de Milledge, 2011

LIGNE DE PRODUCTION



CULTURE DE MICROALGUES

Deux types de cultures :

Systèmes ouverts (extensifs) : lagunes classiques et à « haut rendement » (ou raceway)

(C) Wikimedia Commons

(C) AIM

(C) Aurora Algae

(C) Sapphire Energy

(C) Texas A&M

CULTURE DE MICROALGUES

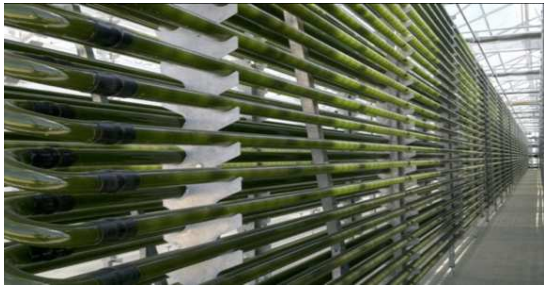
Systèmes fermés (intensifs) : photobioréacteur

(C) Arizona State University

(C) Sapphire Energy

(C) Solix

(C) AIM



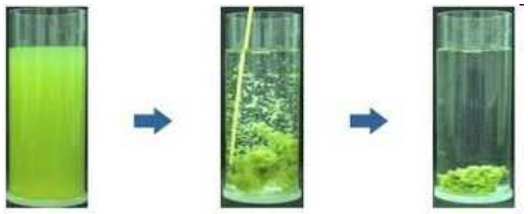
(C) AIM

(C) Cal Poly

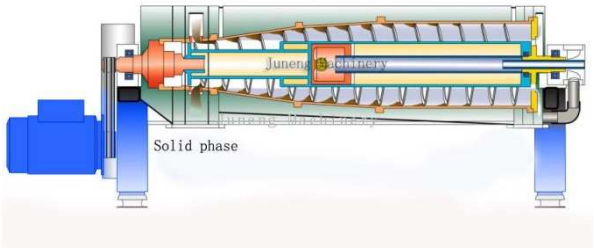
LA RÉCOLTE ET LE SÉCHAGE DES MICROALGUES

La récolte

Coagulation-Floculation / Sédimentation



(C) AIM

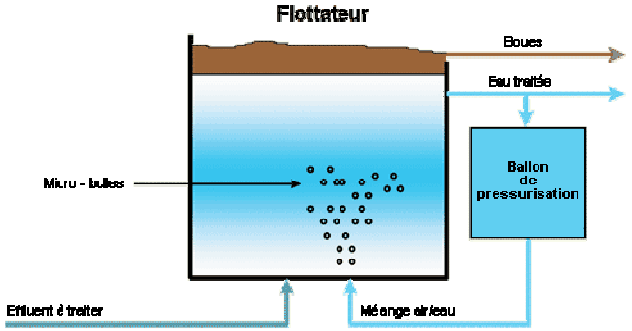


(C) Juneng

Centrifugation

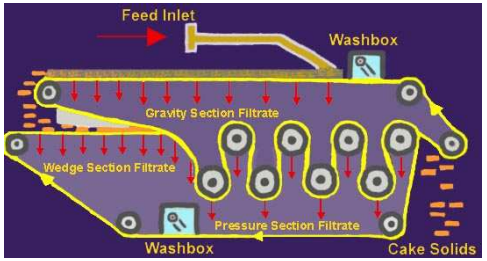
(C) TradeIn Fr

Séchage thermique



(C) CNIDEP

Coagulation-Floculation / Flottation



(C) Princeton

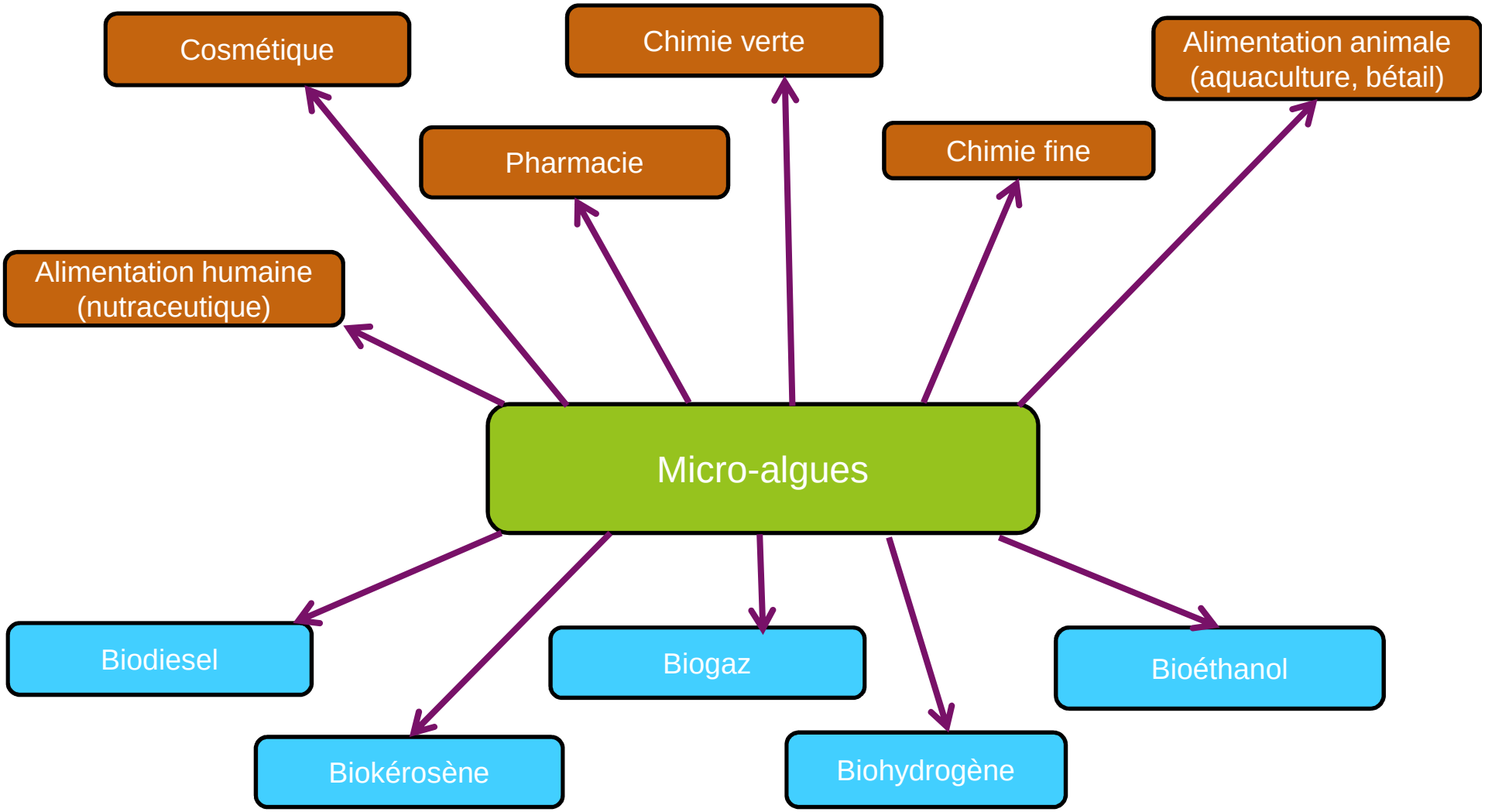
Filtration

(C) Aquadirect

(C) CG72

Séchage solaire

LE POTENTIEL DES MICROALGUES



LA FILIÈRE DE RÉFÉRENCE POUR LES BIOCARBURANTS 3G

Production de biocarburant à partir des lipides contenus dans les micro-algues

Deux étapes indispensables :

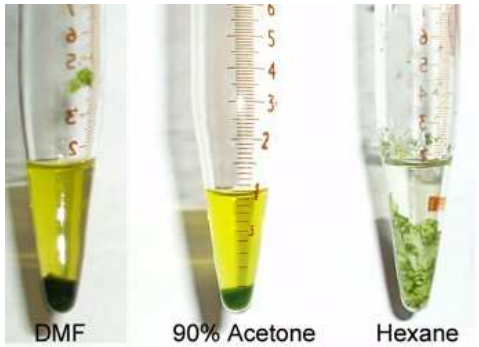
- L'extraction des lipides contenus dans les microalgues

- La conversion de ces lipides en biocarburant
  * Biodiesel
  * Biokérosène

LA FILIÈRE DE RÉFÉRENCE POUR LES BIOCARBURANTS 3G

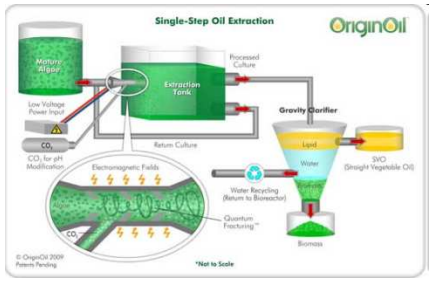
Extraction des lipides

Extraction au solvant

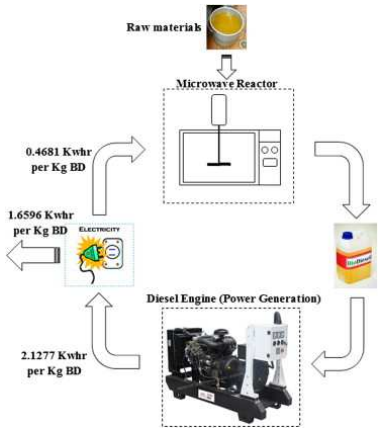


(C) Making Algae Biodiesel

Champs électromagnétiques

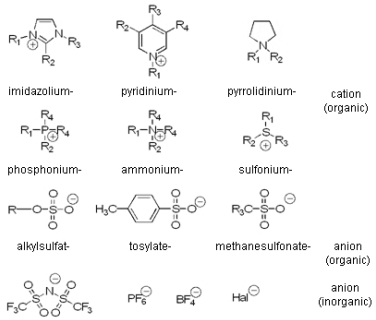


Micro-ondes



(C) Motasemi et Ani, 2012

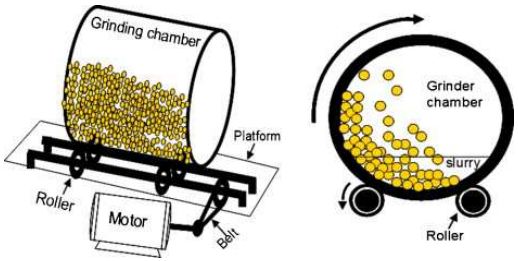
Liquides ioniques



(C) BASF

Ultrasons

Actions mécaniques

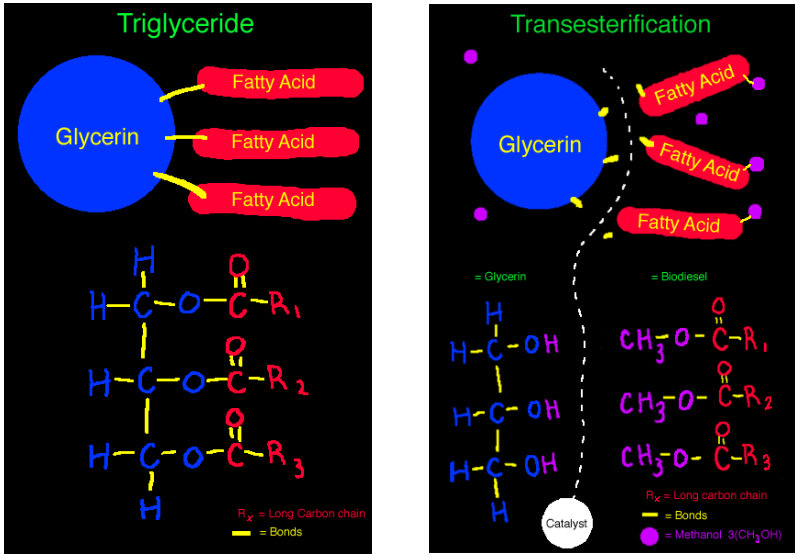


(C) Balasundaram, et al. 2012

LA FILIÈRE DE RÉFÉRENCE POUR LES BIOCARBURANTS 3G

L'étape de conversion en biocarburant

Transestérification



(C) www.answers-to-your-biodiesel-questions.com

Hydro-traitement

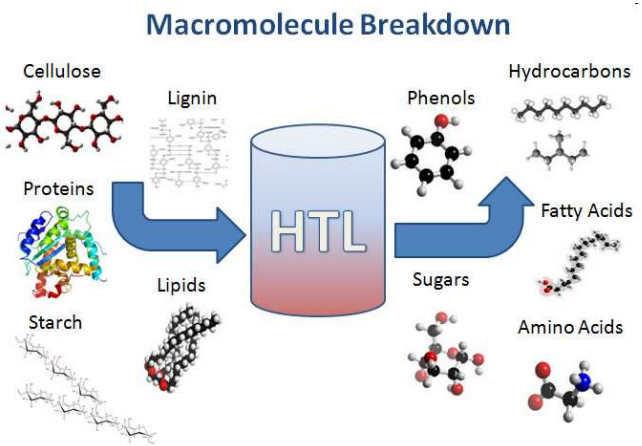
(C) Sundyne

LA FILIÈRE DE RÉFÉRENCE POUR LES BIOCARBURANTS 3G

Liquéfaction hydrothermale

Transformation directe de la biomasse humide en huile
(T = 250 – 350°C, P = 100-200 bars)

(C) CEA Grenoble



(C) Université d'Illinois

PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ÉTUDE TECHNICO-ÉCONOMIQUE RÉALISÉE PAR LE CEA

Bon bilan énergétique : meilleurs que les biocarburants 2G

Couts de production élevés
x2 par rapport au diesel de pétrole avec un baril à 100$
MAIS si baril à 150$ (horizon 2030) + amélioration technologiques : biodiesel 3G compétitif

Bons résultats environnementaux :
plus faibles émissions de gaz à effet de serre (/2 par rapport aux biocarburants 2G, /4 par rapport au diesel de pétrole)
Moins d'eau que pour les cultures terrestres

PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ÉTUDE TECHNICO-ÉCONOMIQUE RÉALISÉE PAR LE CEA

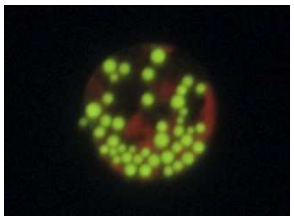
Nécessité de réduire les coûts de l'étape de culture :

> 50% du cout de production si photobioréacteur

> 30% si système ouvert

Diminuer la consommation énergétique, surtout sur les postes de récolte et de séchage de la biomasse (responsable d'environ 50% de la dépense énergétique)

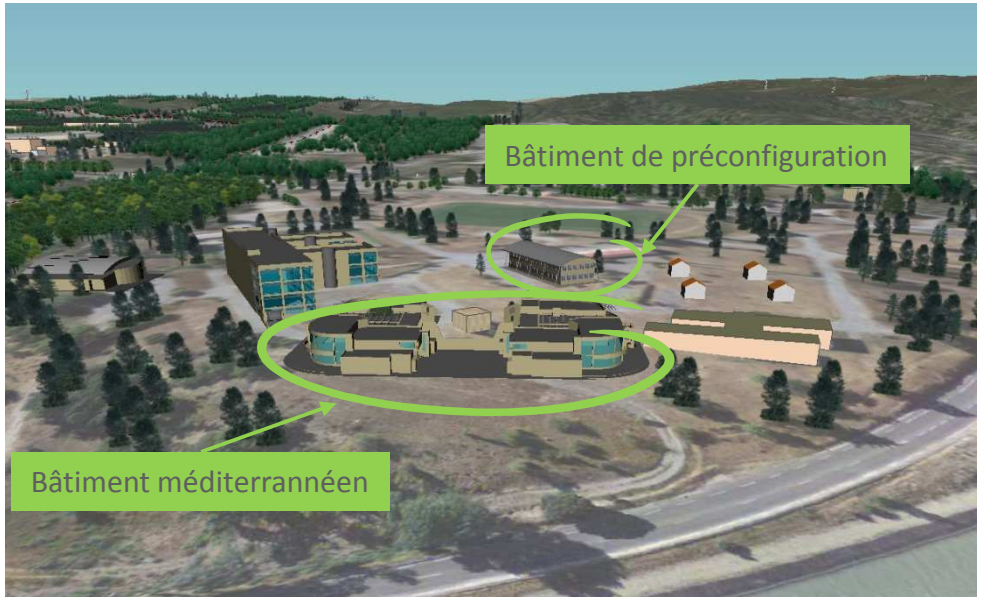
Utiliser des déchets organiques comme source de nutriments (eaux usées par exemple) et des sources industrielles de CO_2



Principal paramètre : productivité en lipides

Importance de la localisation pour les émissions de GES (+70% si aux Etats-Unis, +40% si mix énergétique européen par rapport à la France)

LE PROJET BIOMASSE 3G DANS LE CADRE DE LA CITÉ DES ÉNERGIES



Opera-bility 2013

Bâtiment N°1 : Plateforme de préconfiguration

- 1000m²
- Halle d'éssai de 150 m²
- Plateforme extérieure abritée pour la culture de 150 m²
- **Espace disponible pour de la culture en serre**

Opera-bility 2015

Bâtiment n° 2 : Plateforme pré-industrielle

- Plateforme de production pré-industrielle

Aujourd'hui

- 30 personnes (25 biologie + 5 procédé)

Objectif pour 2015

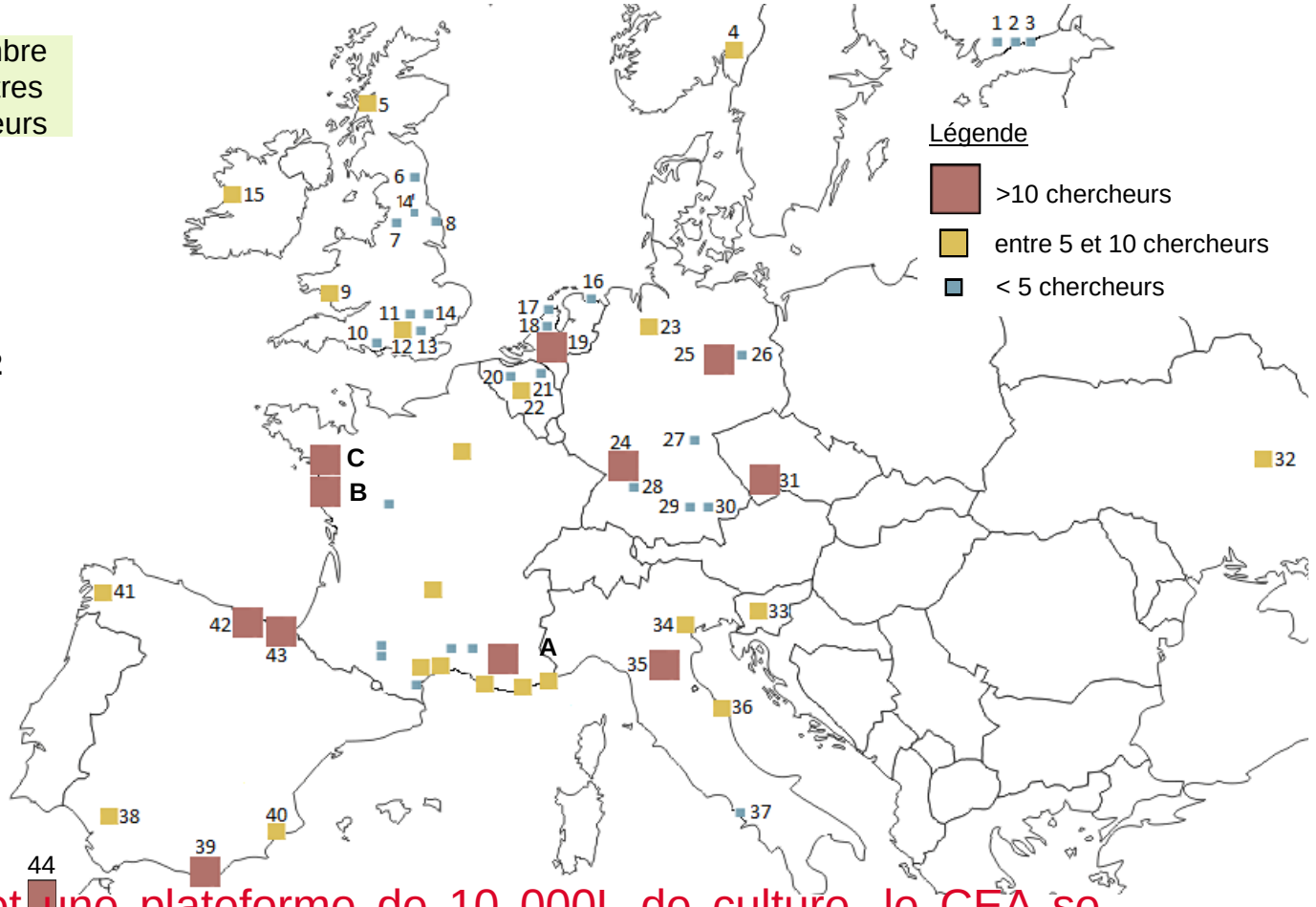
- 30 personnes en biologie
- 30 personnes en procédés

POSITIONNEMENT DU CEA

- **12 centres leaders (>10 chercheurs) et au total 350 chercheurs travaillent en R&D dans le domaine de la biomasse 3G. La France, bien placée, possède le plus grand nombre de centres de grande taille. Le CEA est positionné 3ème en effectifs.**

Pays leaders	Effectifs estimés	Nombre centres majeurs
France	150	3
Espagne	90	4
Allemagne	65	2
Angleterre	45	0
Total Europe	**350**	**12**

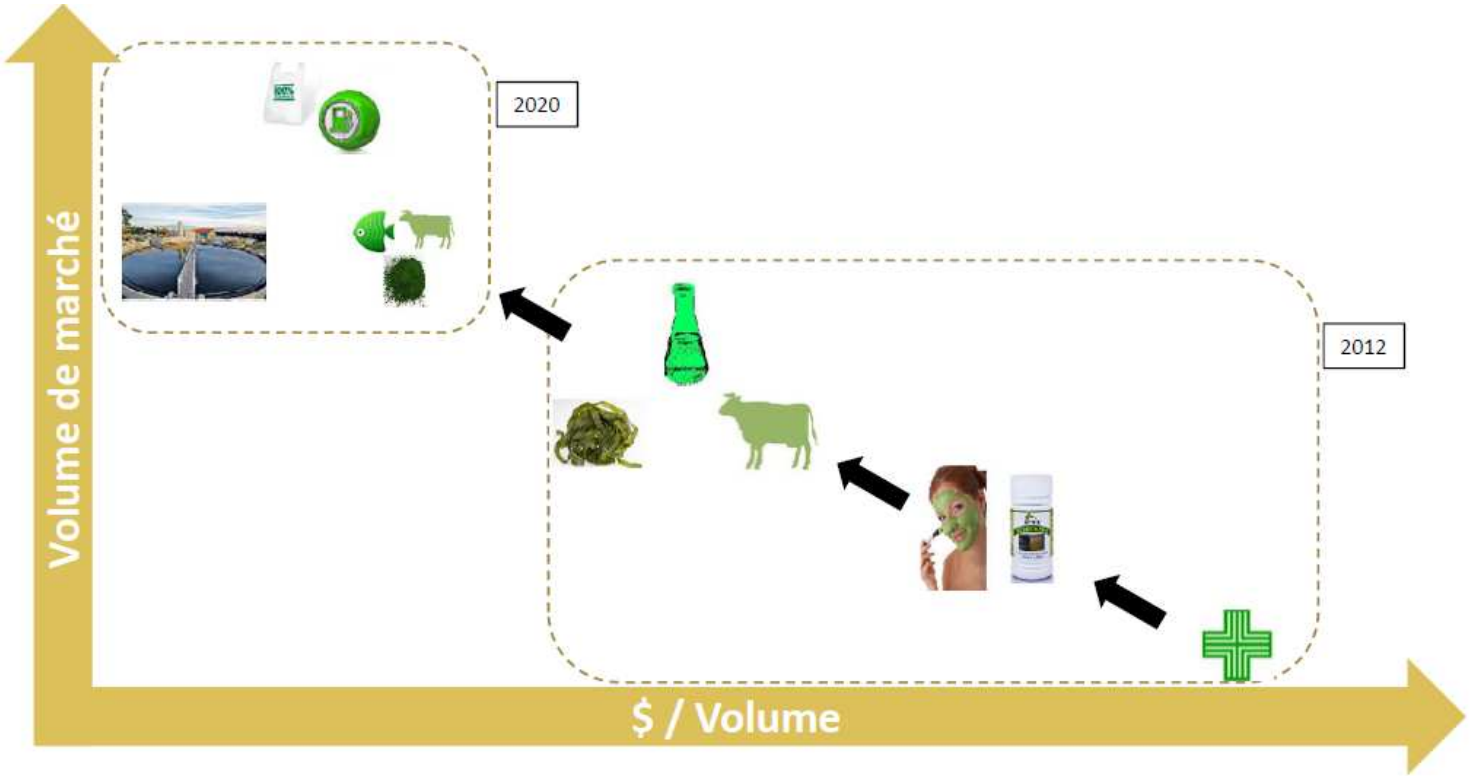
On entend par chercheurs les personnels de recherche permanents et non permanent dont post-doc et thésard



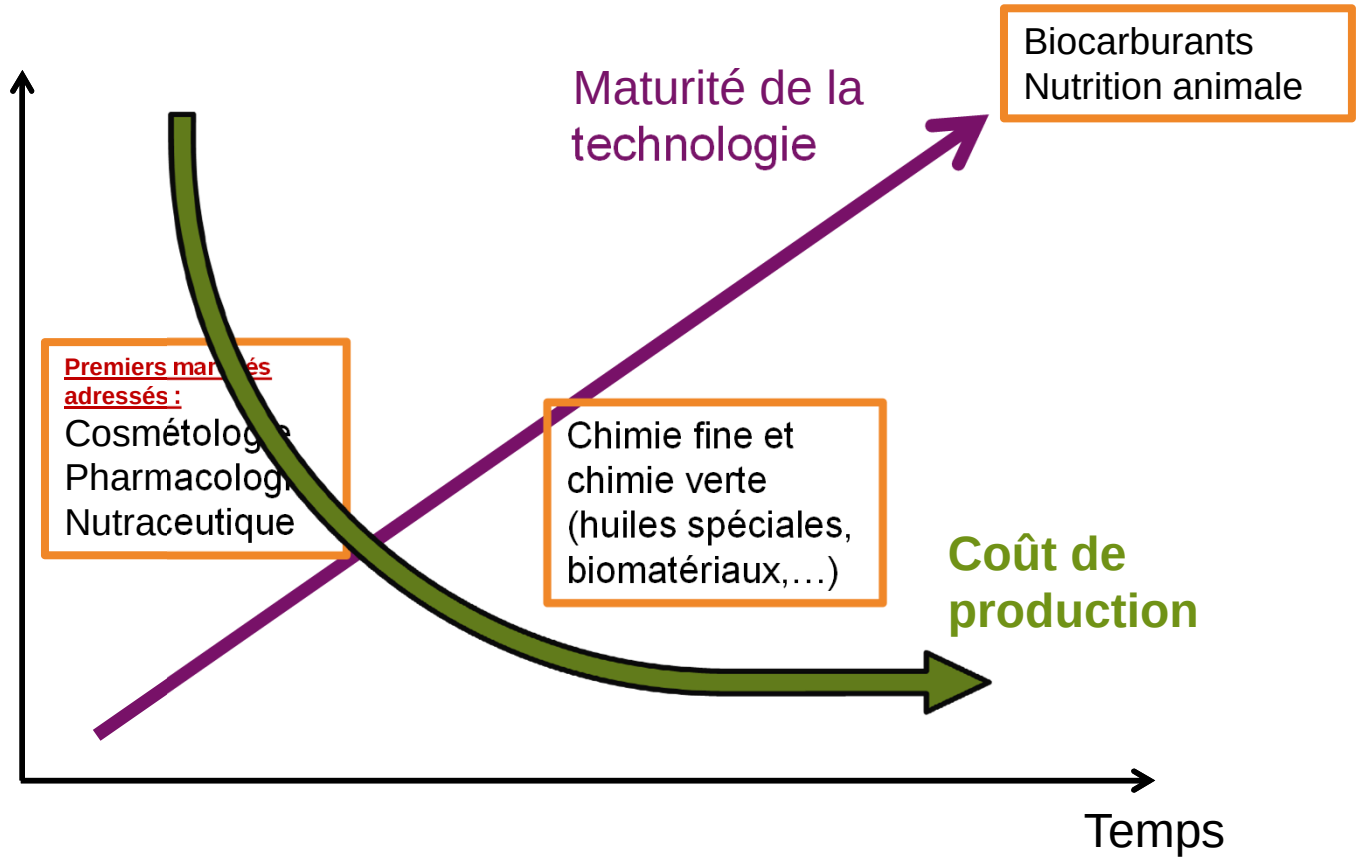
Avec 40 personnes et une plateforme de 10 000L de culture, le CEA se hisserait au niveau des leaders mondiaux

POSITIONNEMENT DU CEA

Les marchés de petits volumes et à haute valeur ajoutée sont des étapes.
Le marché des biocarburants constitue un « cap » long terme.



POSITIONNEMENT DU CEA



LES ATOUTS DU PROJET DE LA CITÉ DES ÉNERGIES

iBEB (LB3M) : Un laboratoire sur la biologie des microalgues de renommée internationale

LITEN (LTB) : Des compétences en génie des procédés éprouvées (sur les biocarburants 2G notamment)

LITEN : Des compétences en techniques de captation solaire, essentielles pour la compréhension des phénomènes mis en jeu

LITEN : Des compétences en matériaux avancés à bas coût

LES ATOUTS DU PROJET DE LA CITÉ DES ÉNERGIES

Un projet en lien fort avec les industriels

10aine d'industriels en France sur le domaine (PME) : principalement sur la culture des micro-algues

Présence des « end-users », utilisateurs, de molécules extraites des microalgues : cosmétologie, pharmacologie, nutraceutique, chimie fine et verte

Présence d'entreprises expertes sur les technologies envisagées pour chaque étape du procédé (récolte, extraction, conversion)

CONCLUSIONS

Potentiel important de la biomasse 3G : énergie, cosmétique, nutraceutique, pharmacologie, chimie fine

Besoins en R&D à tous les niveaux : souches, culture, récolte, extraction, conversion

Domaine qui se développe fortement à l'étranger : Etats-Unis, Australie mais aussi Inde, Israël, Pays-Bas, Espagne …

Opportunités nombreuses en France : présence des technologues et des utilisateurs

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

MERCI DE VOTRE ATTENTION