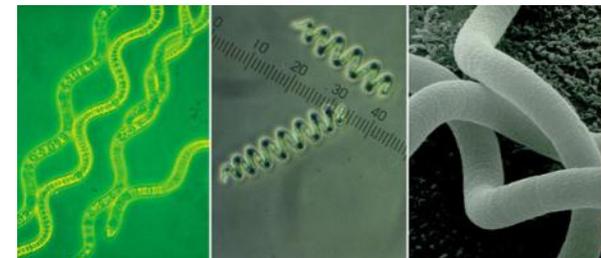
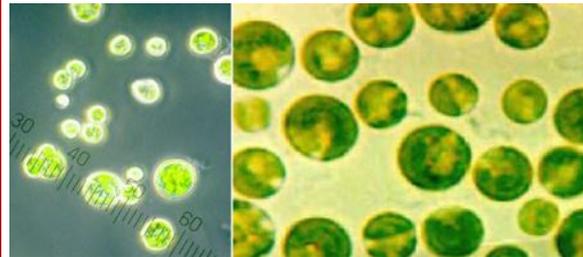


DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



BIOLOGIE, PROCÉDÉS ET TECHNOLOGIES DES MICRO-ORGANISMES PHOTOSYNTHÉTIQUES



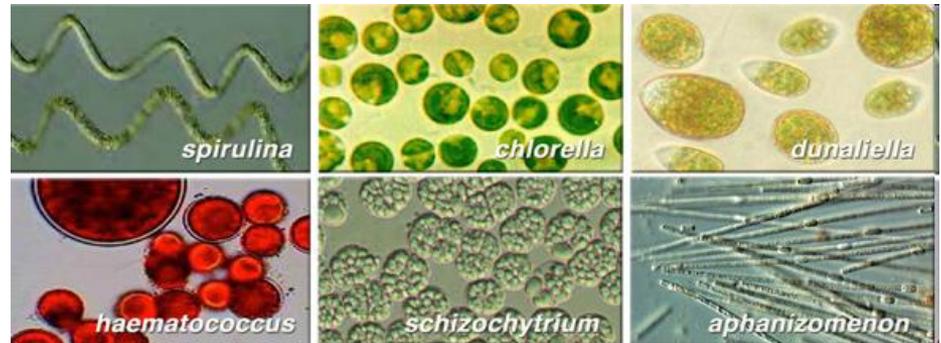
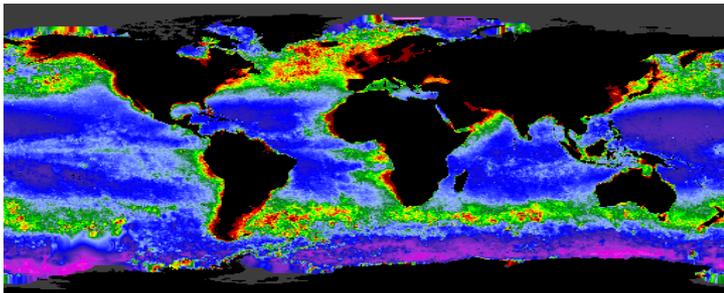
Les activités « Biomasse 3G » du Centre de
Cadarache

www.cea.fr

NOVEMBRE 2013

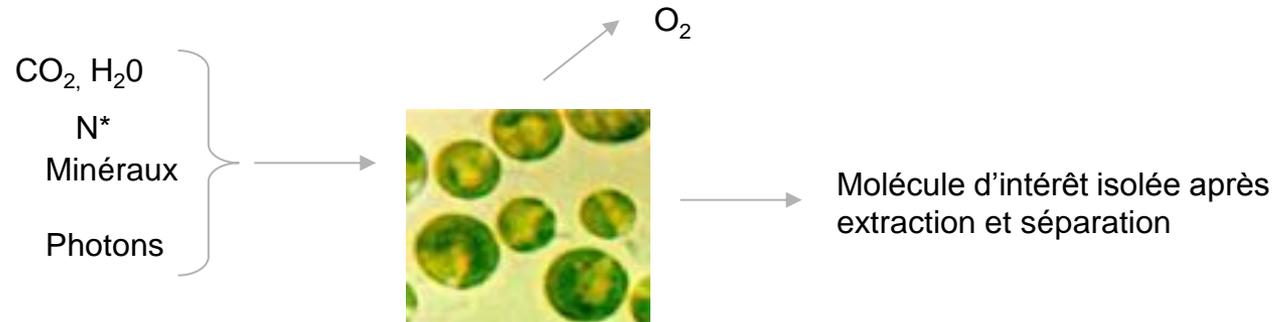
Des algues de petite taille d'une diversité inouïe !

- Parmi les organismes photosynthétiques microscopiques,
- Plus de 30 000 espèces connues (au moins plus de 200 000 espèces différentes existent),
- Des formes et des constitutions très différentes,
- Une multitude de molécules d'intérêt pouvant être produites.



Intérêt des microalgues

■ Objectifs :



■ Des photobioréacteurs pour la production intensive en milieu contrôlé (fermé)



■ Une culture en milieu ouvert pour la production extensive



Intérêt des microalgues

Un moyen de produire :

- Des molécules à haute valeur ajoutée originales (ou non !) pour la pharmacologie, la cosmétique, la nutraceutique, la nourriture animale.
- Des molécules pour la chimie verte
- Des carburants verts (liquide et gazeux)

Un moyen de :

- Biorémédiation (eaux polluées), et recyclage du CO₂.

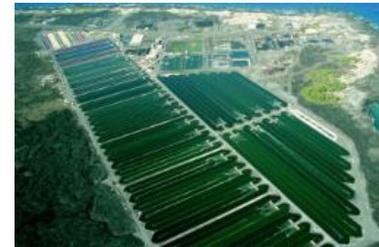


Multiples possibilités de co-valorisation pour la filière

Intérêt des microalgues pour les marchés HVA: quelques acteurs

■ Compléments alimentaires

- **Cyanotech** : Spiruline et Haematococcus pluvialis (caroténoïdes, dont β -carotène, Zéaxanthine, Phycocyanine, et Astaxanthine), **Hawaï**
- **Algatech** (Haematococcus pluvialis pour production d'Astaxanthine), **Israël**
- **Solazyme et Roquette** (Chlorella sous forme de farine), **US & FR**
- **Seambiotic** (différentes microalgues contenant des Ω_3 : Acides Gras Polyinsaturés –PUFA, EicosaPentAenoic EPA, DocosaHexAenoic DHA), **Israël**
- **Cognis Nutrition** : extraits de Dunaliella salina (b-Carotène), **AUS**
- **Alphabiotech** : spiruline et extraits (Phycocyanine), **FR**



■ Cosmétiques

- **Solazyme** : substitut d'acide hyaluronique, **US**
- **Soliance** : extraits lipidiques, peptidiques ou polysaccharides, **FR**
- **Pierre Fabre** : cyanophycées (extraits utilisés dans la gamme Galénic), **FR**
- **Innovalg** : Odontella aurita (EPA ,aussi pour complément alimentaire), **FR**



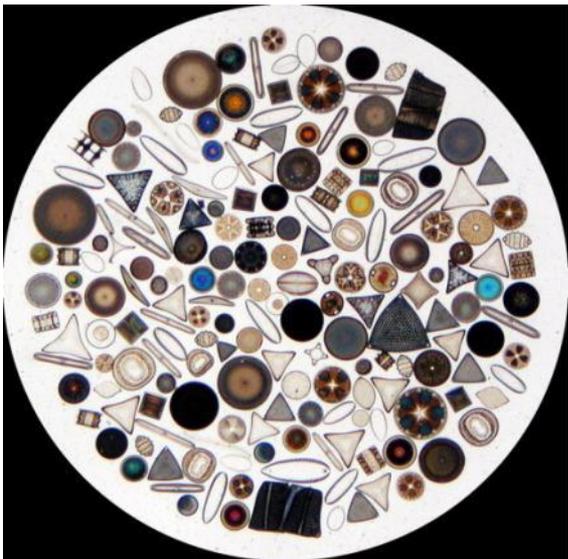
Intérêt des microalgues: les volumes produits

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

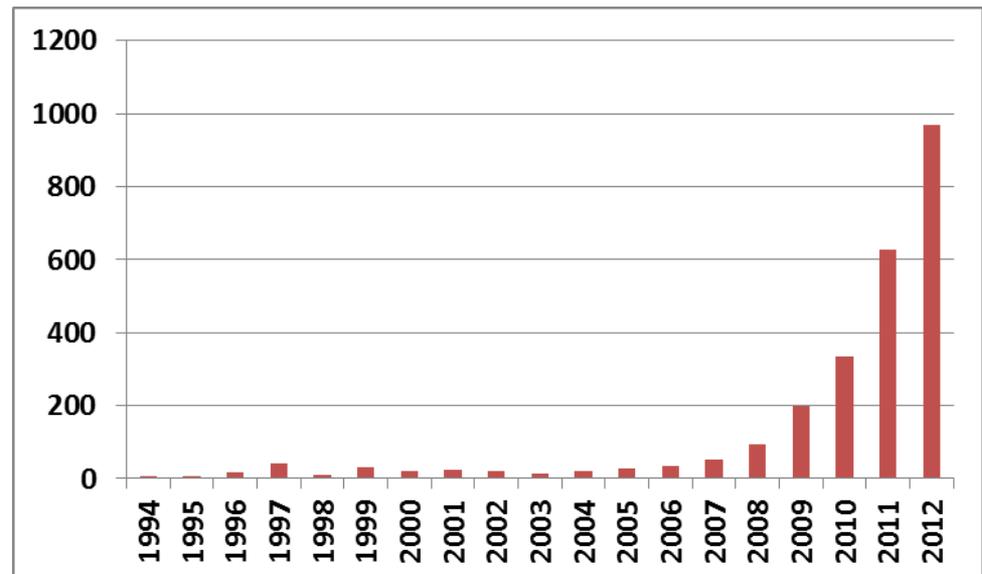
Adapté de Spolaore, 2006

Un fort engouement depuis environ 5 ans, notamment sur les biocarburants :

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



(C) Wikimedia Commons



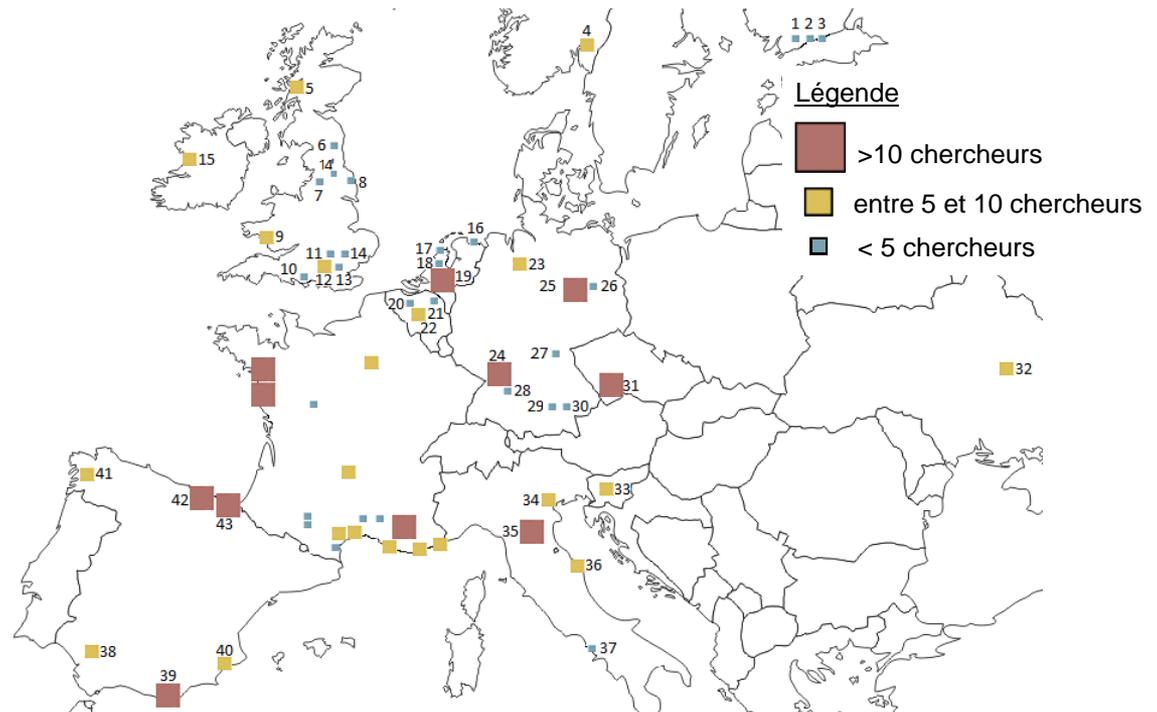
Nombre de publications par an

Positionnement du CEA en Europe

→ **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 pour l'instant positionné 3^{ème} 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

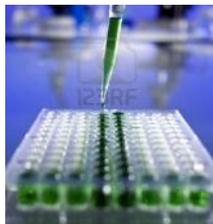


Avec 40 personnes et une plateforme de 10 000L de culture, le CEA se hissera au niveau des leaders mondiaux

La plateforme Biomasse 3G CEA de Cadarache

Suite à étude stratégique (CEA/LITEN et BEM, 2011), volonté de développement des activités Biomasse 3G à Cadarache sur la base d'un couplage DSV-DRT avec deux acteurs complémentaires :

- **DSV/IBEB/SVBME/LB3M**, qui apporte une expertise biologique sur la sélection des souches et la compréhension des métabolismes des μ A => travail jusqu'à l'Erlenmeyer de 1 L



- **CEA Tech PACA/GB3G**, pour l'aspect technologique et génie des procédés => travail sur la culture (photobioréacteurs 1-1000 L), les procédés de récolte (optimisation technico-économique)



 **Hélio**Biotec Research

**Expertise biologique, sélection de souches,
compréhension des métabolismes**



- Deux objectifs scientifiques :
 - Comprendre les mécanismes photosynthétiques de conversion et de stockage de l'énergie lumineuse,
 - Identifier les mécanismes régulateurs et proposer des stratégies innovantes pour la production d'énergie.

- Une plateforme commune CEA/CNRS Université d'Aix Marseille portée par le laboratoire LB3M, comportant notamment :
 - Des techniques pour le criblage à haut-débit de souches d'intérêt (cytométrie en flux avec ou sans marquage fluorescent (ex. : Nile Red pour les lipides), banc de fluorescence),
 - Des photobioréacteurs instrumentés de volume de culture d'1L,
 - Des chambres de culture en conditions contrôlées (lumière, température, atmosphère...),
 - Techniques séparatives notamment pour l'analyse des lipides (chromatographie gazeuse ou liquide à haute performance couplées à la spectrométrie de masse),
 - Cryobanque de microalgues et cyanobactéries,
 - Techniques d'analyses quantitative d'expression de gènes.

- Environ 25 personnes à l'heure actuelle



HélioBiotec Process

**Développement des procédés
(culture, récolte, séparation, extraction)
et valorisation de la biomasse.**

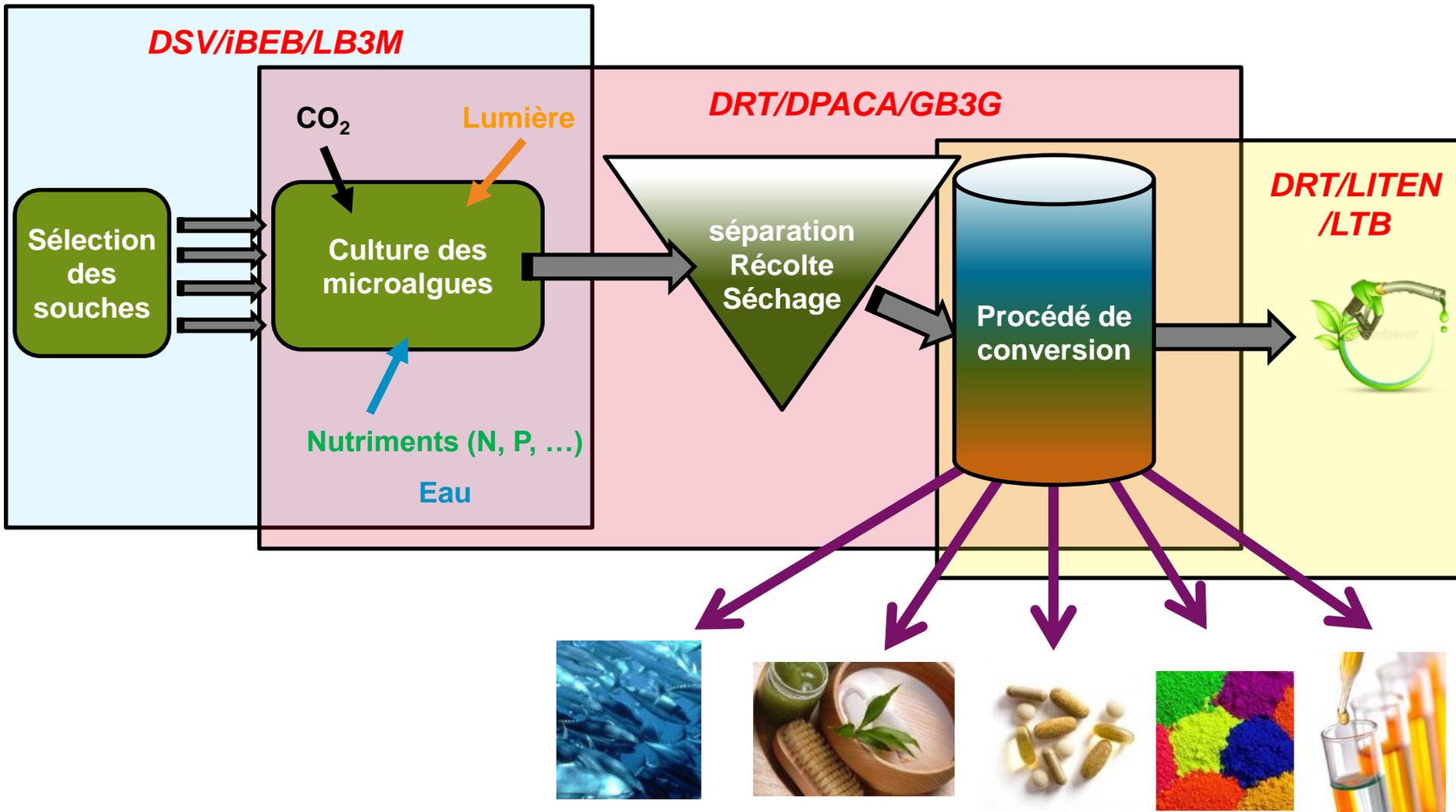
- Une plateforme centrée sur le développement des procédés de culture et les usages de la biomasse :
 - Sélection de souches, de procédés et de technologies sur des critères applicatifs larges (nutraceutique, cosmétique, pharmacologie, chimie verte, capacité de bioremédiation, biocarburant...),
 - Développement de schémas de bioraffinerie intégrant culture, récolte, extraction, fractionnement, conversion
 - Évaluation technico-économique de filières avec co-valorisations multiples.

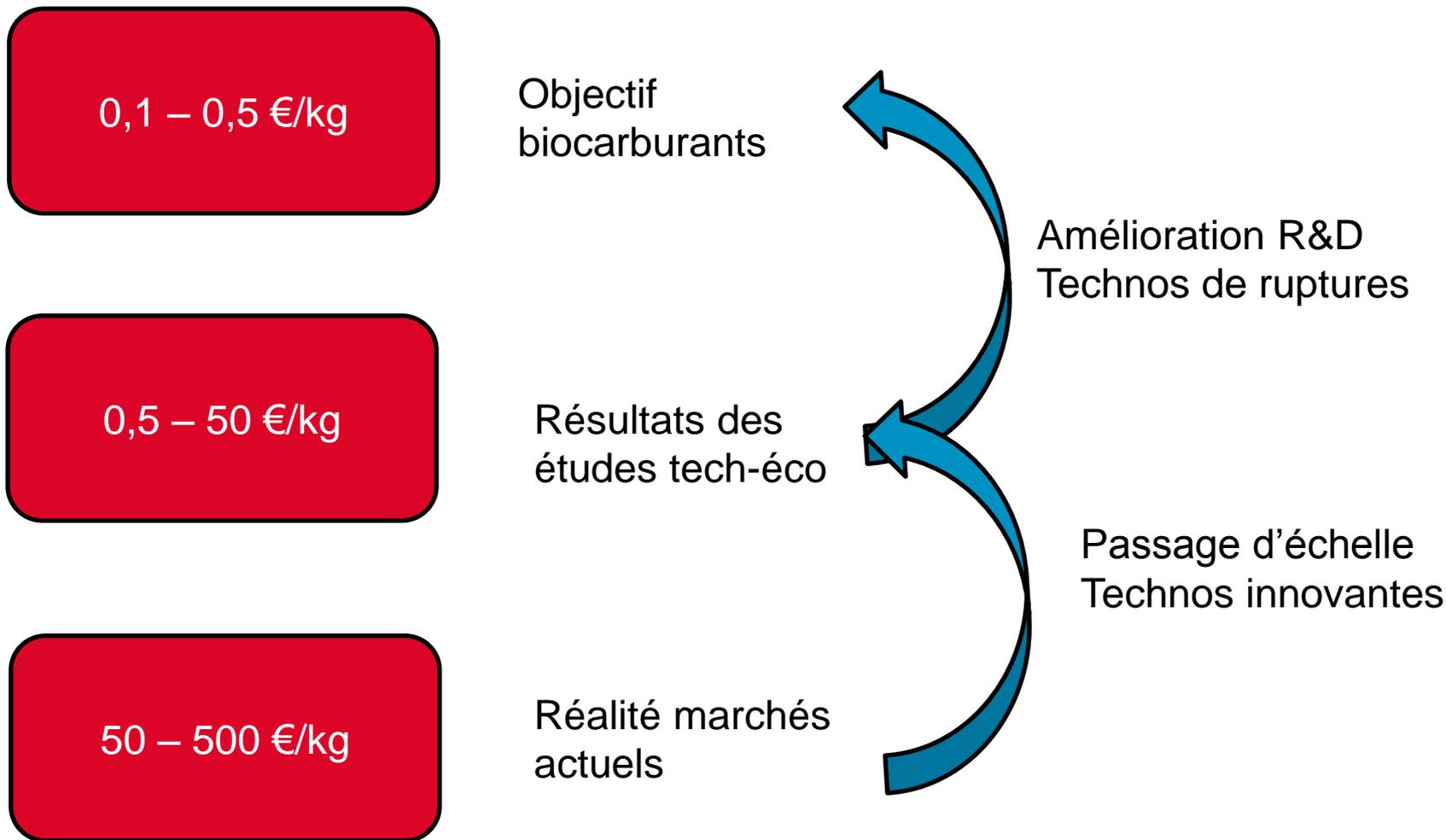
- Des moyens analytiques et pilotes complémentaires d'HelioBiotec:
 - Criblage de souche sur critères procédé (tolérance aux polluants, efficacité photosynthétique,...)
 - Photobioréacteurs à plusieurs échelles (de 1 à 1000 L),
 - Moyens de suivi de la productivité et des capacités de floculation (compteur de cellule, potentiel Zéta),
 - Caractérisation optique fine par spectrophotométrie UV/Vis,
 - Caractérisation analytique HPLC (carbohydrates), CHNS/O, et μ GC mobile
 - Pilotes de post-traitement : floculation, centrifugation, filtration, ultrafiltration, atomisation, lyophilisation (échelles du l/h => 100l/h)

- Une équipe de 4 personnes en 2013, ayant vocation à croître rapidement.

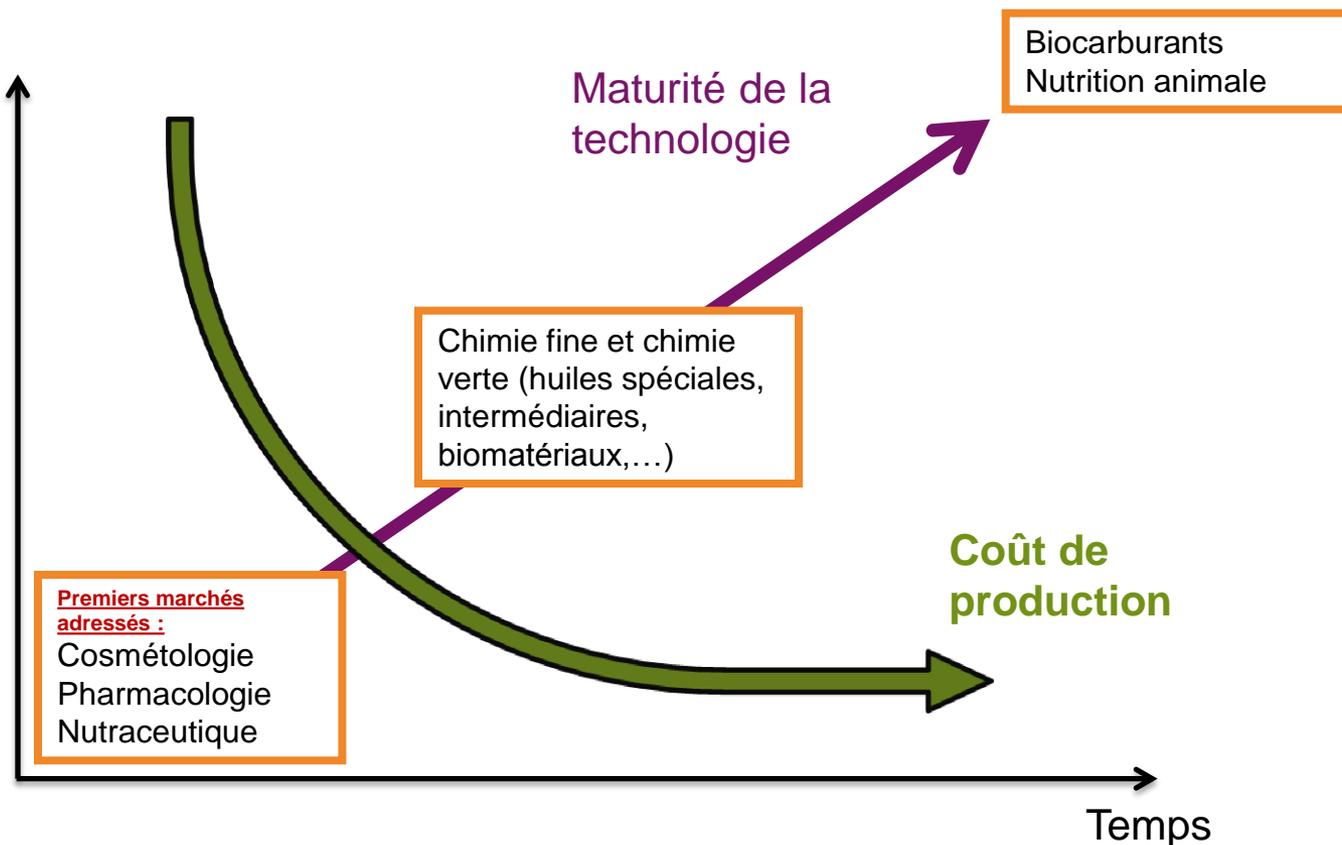


POSITIONNEMENT SUR LA CHAÎNE DE VALEUR

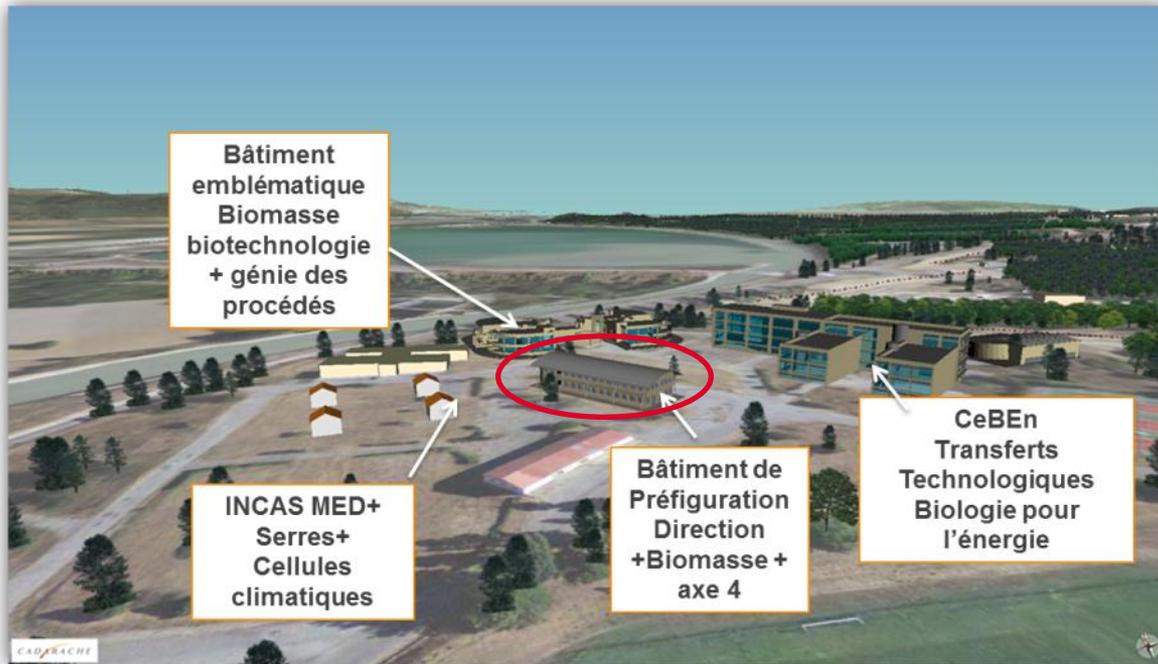




- Les marchés de petits volumes et à haute valeur ajoutée sont un point de départ.
- Les développements de la bioraffinerie vers les applications à haute valeur ajoutée (cosmétique, nutrition) et la chimie biosourcée sont un levier pour atteindre le marché des biocarburants, qui constitue un « cap » long terme.



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



liten



Bâtiment N°1 : Plateforme de préfiguration

- 1000m² (labos et bureaux) + Halle d'essais de 150 m²
- Plateforme extérieure abritée pour la culture de 150 m²
- 3 x 150 m² de serres

Bâtiment n° 2 :
Plateforme pré-industrielle

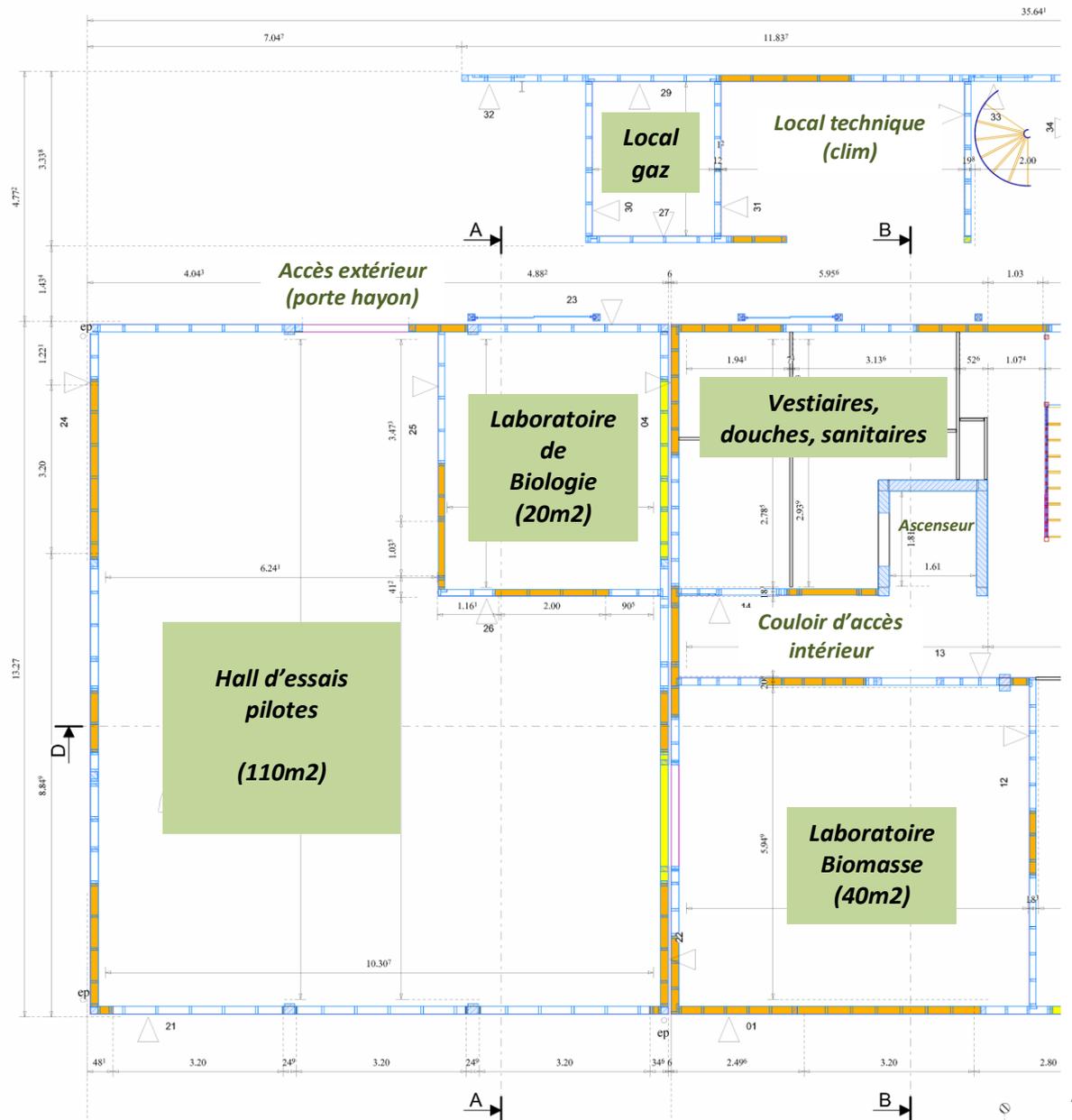
Aujourd'hui

- 30 personnes (25 biologie + 5 procédé)

Objectif pour 2015

- 40-50 personnes

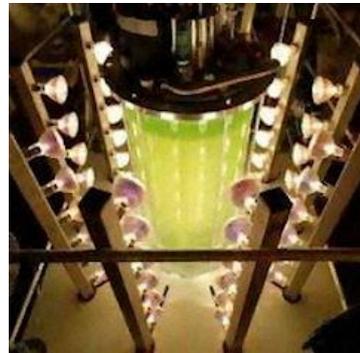
IMPLANTATION DANS LE BÂTIMENT DE PRÉFIGURATION



Phase de criblage
Préparation d'inoculum

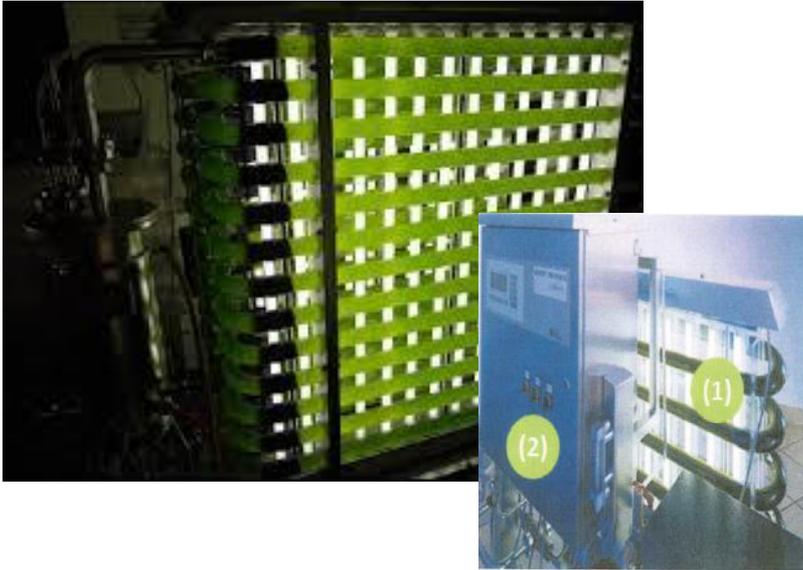


Études multiparamétriques
échelle labo

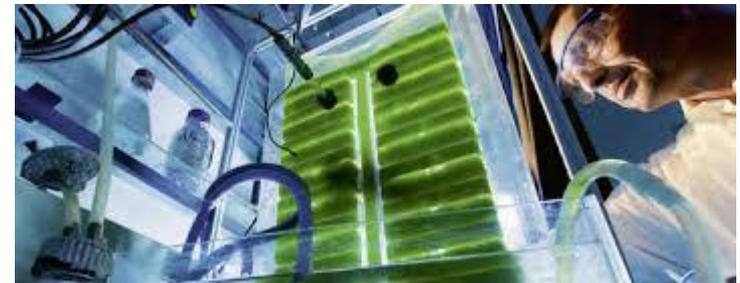


**4 PBRs cylindriques ultra-
instrumentés de 1L**

DISPOSITIFS POUR LA CULTURE DES ALGUES – ÉCHELLE PETIT PILOTE



2 PBRs tubulaires 25L, IGV GmbH

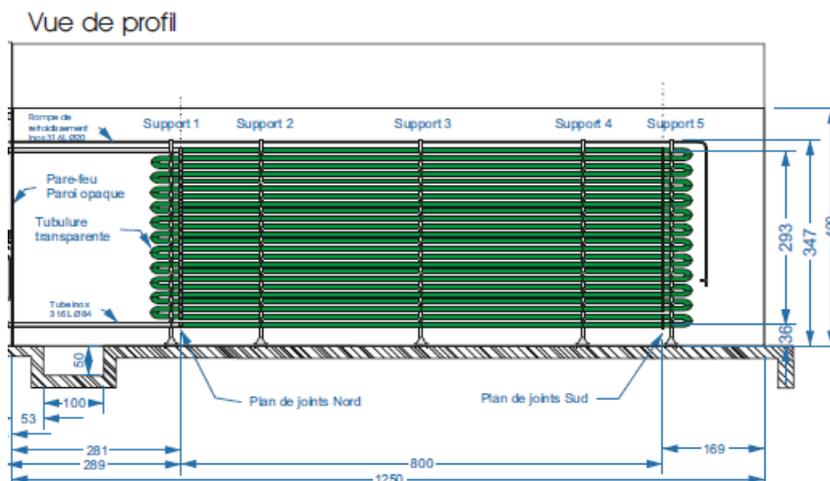


**4 PBRs à plaques 30L, Subitec
GmbH (techno Fraunhofer)**

Construction d'une serre + proto de PBR

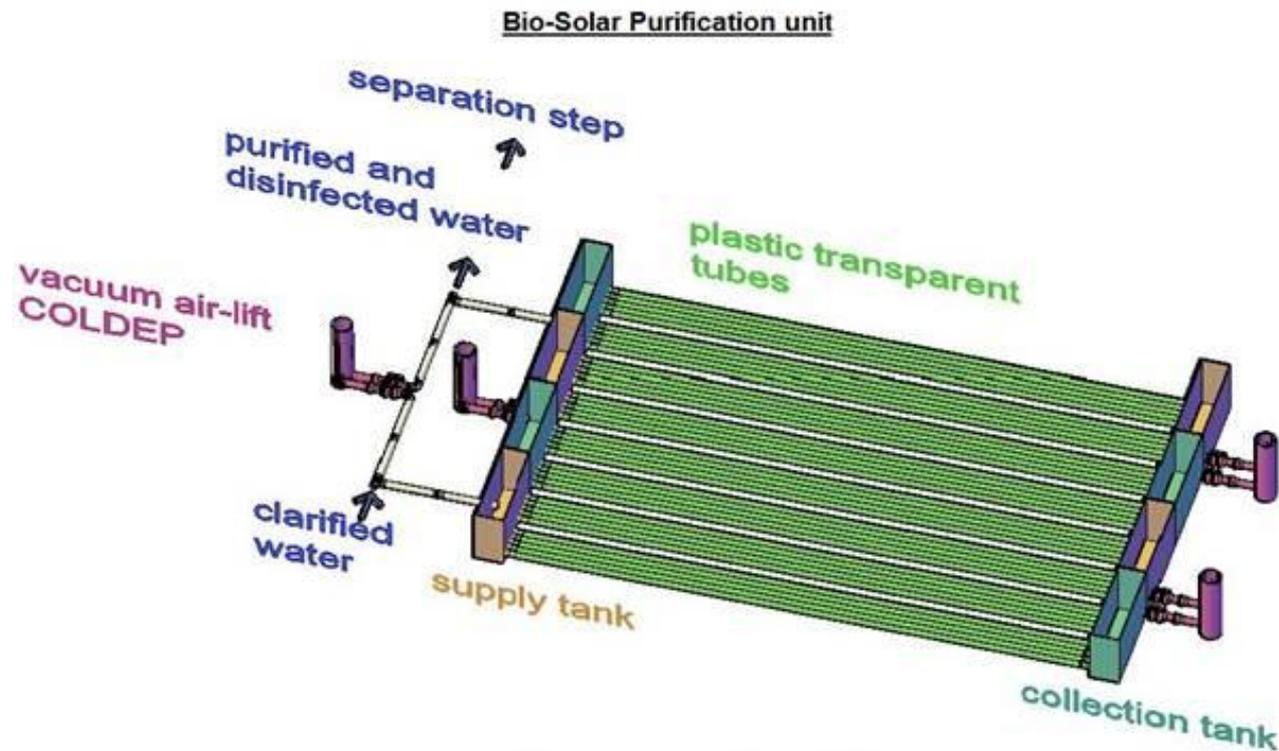
- Investissement dans une serre chapelle Filclair de 140m²:
 - Représentatif de l'outil industriel de Microphyt,
 - Très bonne gestion thermique,
 - Fin de viabilisation de la zone prévue pour 12/2013
 - Construction serre prévue pour 01/2014

- design et installation PBR tubulaire « Camargue » Microphyt 1000L
 - Représentatif de l'outil industriel (1/5)



Objectifs :

- Développement, installation et conduite d'un démonstrateur PBR pilote de 50 m²,
- Evaluer les capacités épuratoires de différentes souches de microalgues vertes,
- Transformer la biomasse en bio-brut par liquéfaction hydrothermale.





Jar-test



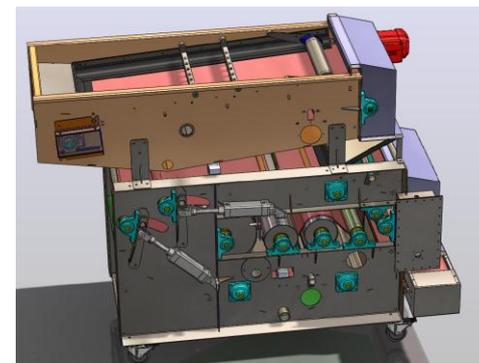
Pilote de décantation



Systèmes de filtration de taille labo



**Centrifugeuses
(laboratoire → pilote)**



Filtre à bande pressante pilote



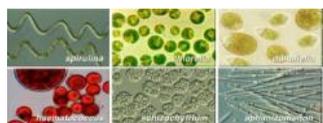
Pilote de séchage par atomisation



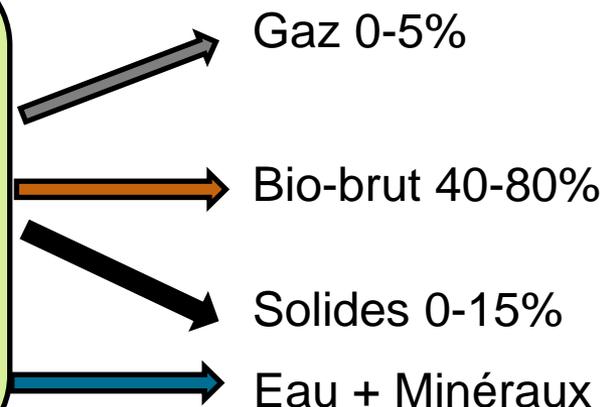
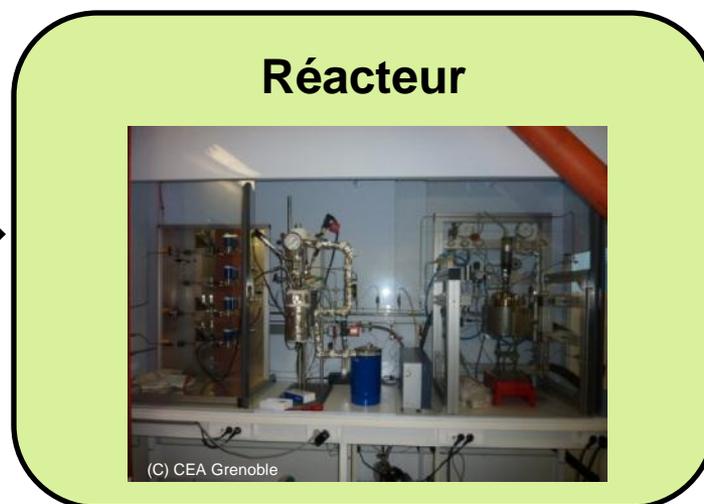
Lyophilisateur

Liquéfaction Hydrothermale

Transformation directe de la biomasse **humide** en biopétrole brut (« biocrude »)
T = 250 – 350°C, P = 100-200 bars



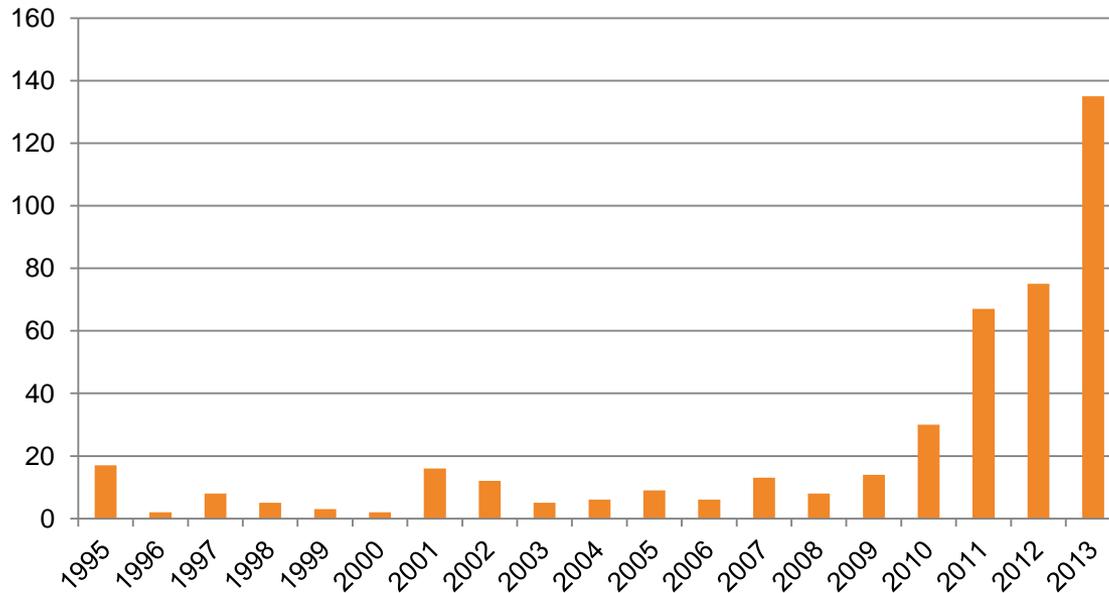
5-25% de matières sèches



- Meilleur **rendement** que par extraction des lipides
- Procédé utilisable sur de la **biomasse humide**, délipidée ou non
- Meilleure **qualité** d'huile que par pyrolyse (moins d'oxygène)
- **Résidus aqueux = intrants recyclables en culture**
- Bilan énergétique incertain : **recirculation de la chaleur?**
- Nécessite une **étape de raffinage** (hydrotraitement type brut pétrolier)

Un nombre croissant de publications scientifiques et d'équipes travaillant sur le sujet

Nombre d'articles par an sur la liquéfaction hydrothermale d'algues



Source : Science Direct



ALGUES ET LIQUÉFACTION HYDROTHERMALE

Un nombre croissant de sociétés qui s'orientent vers ce procédé pour la conversion des microalgues

Muradel (Australie)



Solix Biofuels (USA)



Algenol (USA)



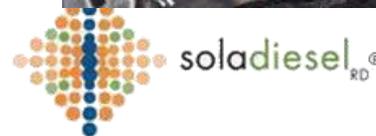
Cellana (USA)

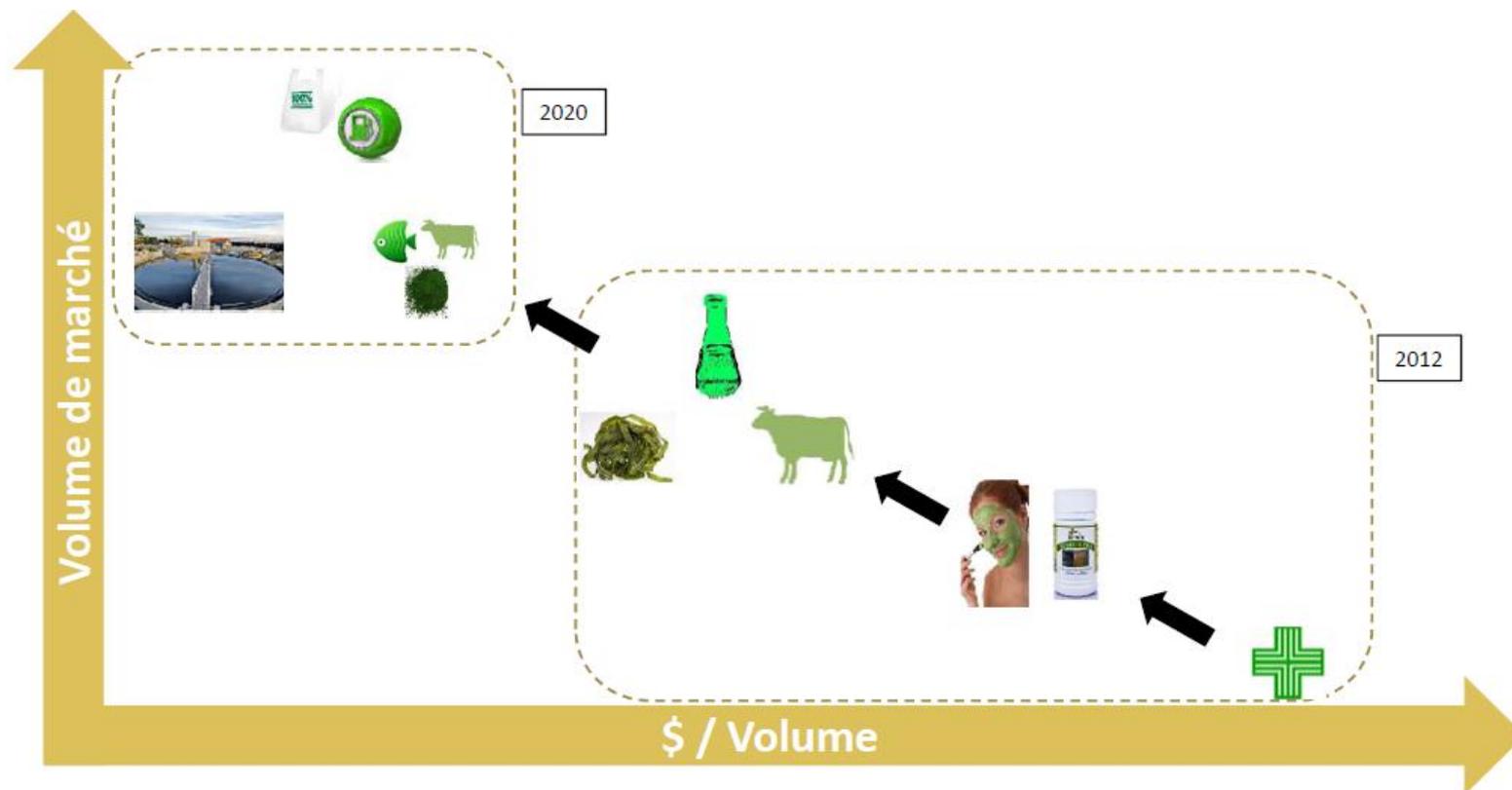


Sapphire Energy + Linde (USA)



Solazyme (USA)





- Les marchés de petits volumes et à haute valeur ajoutée sont des étapes
- Les marchés de la chimie et des biocarburants constituent des objectifs à moyen / long terme.

Mise en oeuvre industrielle

Développement de procédé

Développement technologique

Recherche fondamentale
compréhension

Caractérisation et modélisation

Échelle moléculaire

Design

Modélisation et expérimentation

Échelle du réacteur

Evaluation

Simulation procédé
validation
Évaluation économique et environnementale

Echelle Démonstrateur

Mise en oeuvre

Usine
Plate-forme de test

Echelle industrielle

