



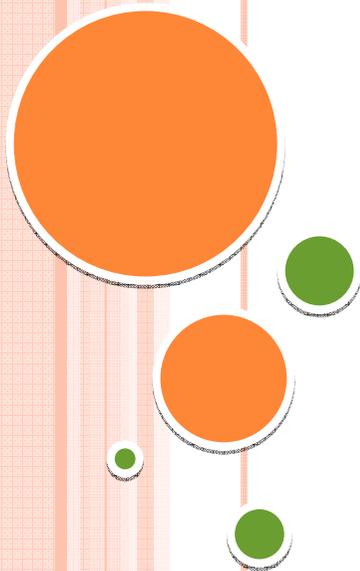
Valorisation d'effluents gazeux industriels riches en CO₂ par les microalgues

Principe, éléments et exemples

Christophe Lombard, Ph. D.

Journée J3P : du captage aux procédés de valorisation du CO₂
26 mars 2015

AlgoSource Technologies





algosource ●

www.algosource.com

AlgoSource

Expert en production, ingénierie
& bioraffinage de **microalgues**

3



Notre expertise

PRODUCTION & INGENIERIE DE MICROALGUES
Du LABO à l'INDUSTRIE

Heat

Water/
Nutrients

Light

CO₂



Nutraceuticals

Food / Feed

Active ingredients

Cosmetics

Personal care &
Pharma

ALGO-RAFFINAGE
de la
BIOMASSE ALGALE avec
P° d'ACTIFS

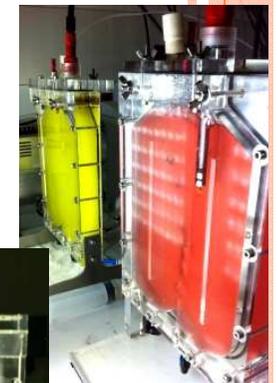
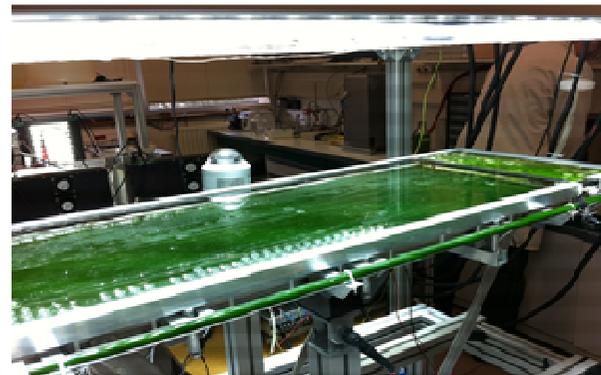
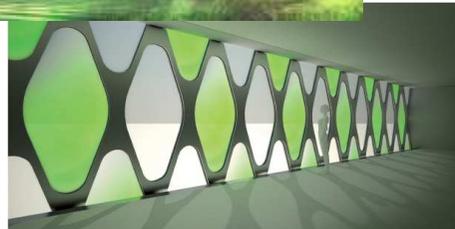
VALORISATION
de DECHETS et
EFFLUENTS

EQUIPEMENT
FORMATION
& **VENTE**

MANAGEMENT
DE PROJETS
&
PARTNERIATS
JV...



Forte innovation technologique => diversité des systèmes de production



5

AlgoSource fournit des outils pour différents projets : du stade laboratoire à l'échelle industrielle

Système partiellement contrôlé

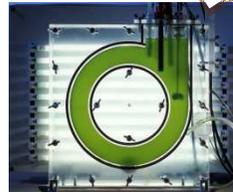
Système Contrôlé



Screening
6 x 50 ml



High-power LEDs



PBR plan et torique

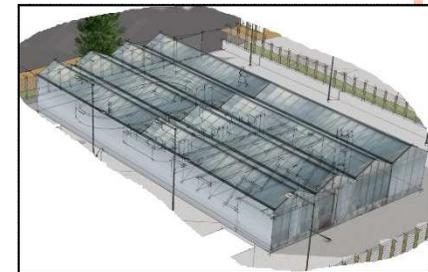
Volume de 0.5
à 1.5 litres

Volume de 50
à 200 litres



PBR airlift
plan

Surface > 250 m²



Système ouvert
Raceway

Expérimentale

Production industrielle

Production & transformation de microalgues depuis 1993



15 souches de microalgues
(eau douce et mer) produites

Production & transformation de microalgues depuis 1993



Plus de 20 ans d'innovations phytomarines



Producteur de Spiruline Marine & de Magnésium en Loire-Atlantique



Un procédé unique de production sur site :

- Gestion des souches de microalgues
- Culture et récolte de biomasse
- Extraction à partir de Spiruline fraîche
- Formulation et conditionnement
- Contrôle et maintien de la qualité à toutes les étapes de la fabrication

De la culture de spiruline jusqu'à la mise en ampoule de son extrait



Produit

Situé au cœur d'un site naturel exceptionnel



ALPHA BIOTECH
Le Frostidié • 44410 ASSÉRAC
Tél. 02 40 01 79 11 • contact@alphabiotech.fr
www.alpha-biotech.fr

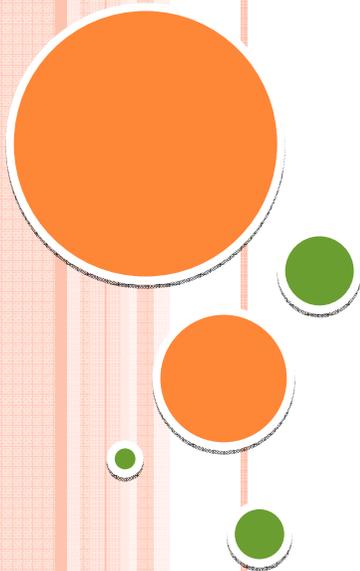



CERTIFIÉE
ISO 9001
ISO 14001

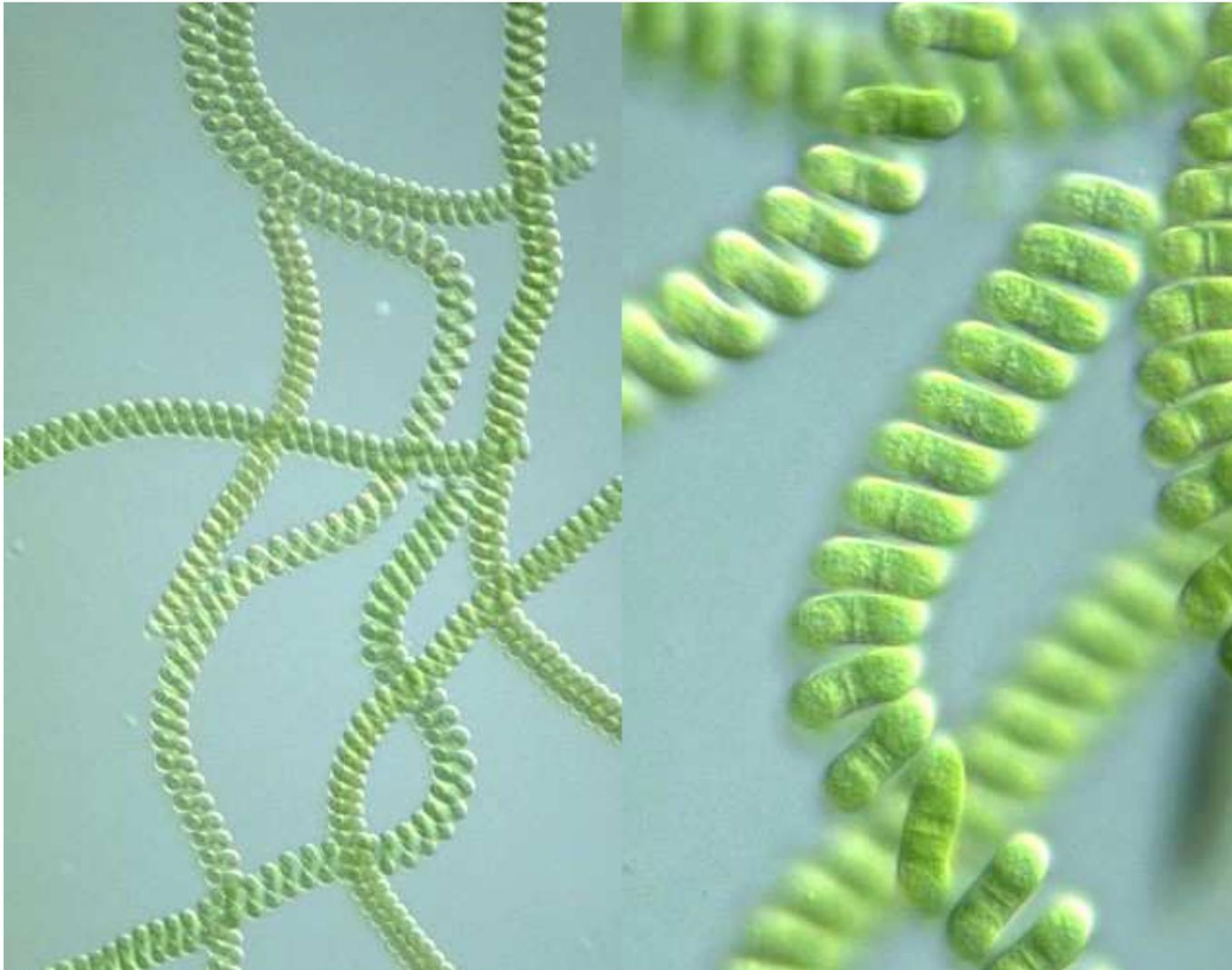
Projet « SymBIO₂ »



Microalgues



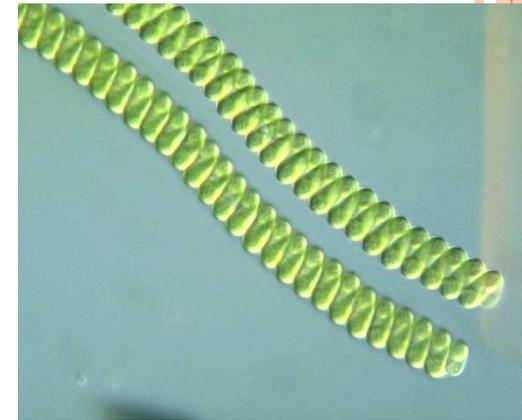
Spécificités des **microalgues**



Arthrospira platensis - Spiruline

Spécificités des **microalgues**

- Microalgue: Phytoplancton (μm)
- Bonne adaptation environnementale
- Grande diversité: plus de 30 000 espèces
- Vitesse rapide de croissance: 10 fois plus rapide que les plantes terrestres



Leur culture requiert :

- Eau
- Photons (lumière naturelle ou artificielle)
- Sels minéraux (K, N, S, Fe, Ca, Na, P, Mg, Cl, Mn, Zn ,Cu, ...)
- Source de **carbone** (CO_2 ou sels $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$)

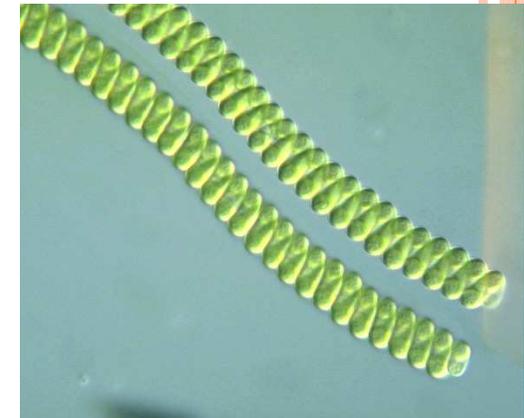
Spécificités des **microalgues**

- Production de produits à haute valeur ajoutée:
 - lipides
 - pigments
 - protéines
 - antioxydants

→ Ces produits peuvent représenter 25% - 50%
du poids de la cellule de microalgue
 - Production mondiale : entre 15000 et 20000 t/an
 - Spiruline commercialisée en France : entre 300 et 500 t/an
 - 90% produit hors France avec un coût de production : 25 €/kg
 - Coût de production en France : \approx 40 €/kg
- ⇒ Est-il possible de baisser ces coûts de production ??

Technologies de culture

Bassins ouverts de type « Raceways »



Eartrise Nutritionals, California, USA (production de *Spiruline*)

Technologies de culture

PhotoBioRéacteurs clos (PBR)



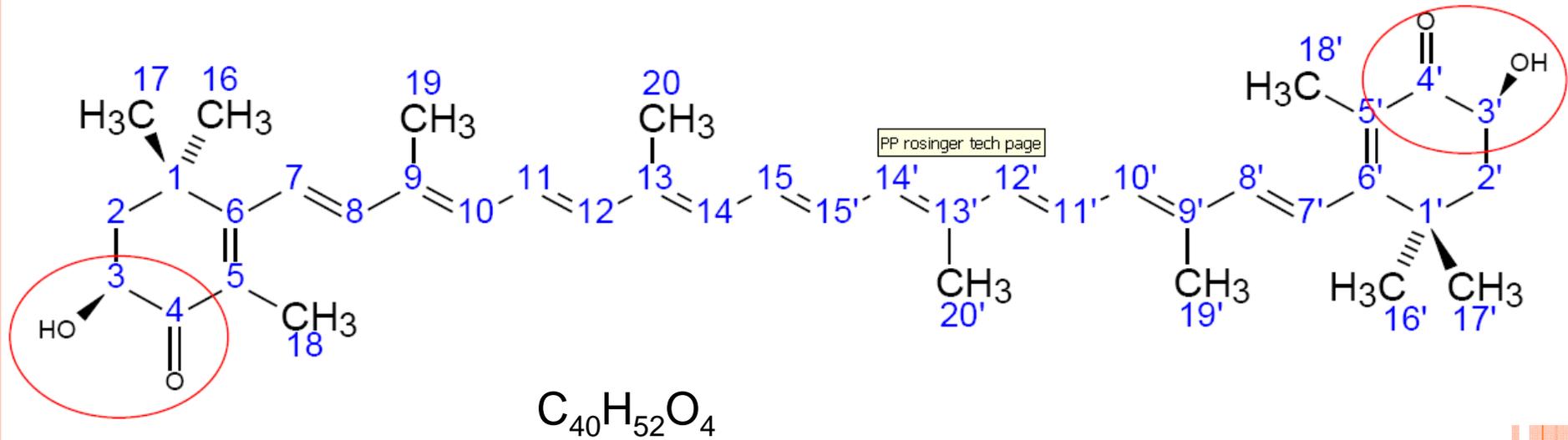
Longueur de 500 km de photo-bioreacteurs
Compagnie BPS (Bioprodukte Prof. Steinberg)



Centrale RWE group
Bergheim-Niederaußem (De)

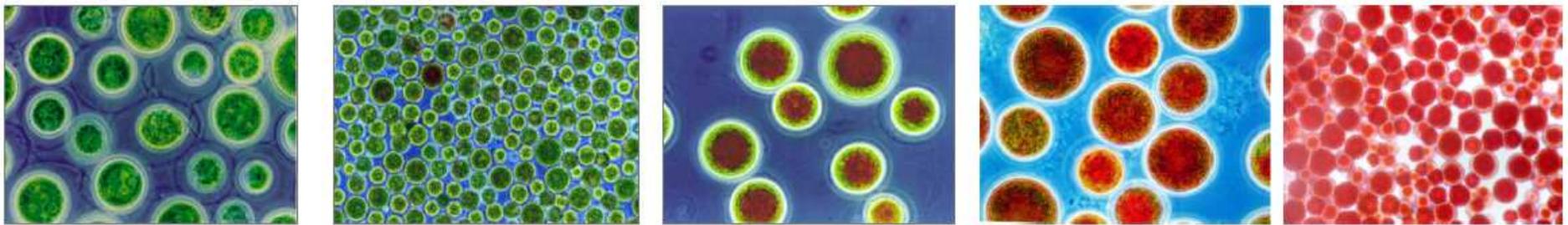
Sensibilité des **microalgues** au stress

Production industriel d'**Astaxanthine**, pigment rouge / antioxydant



Sensibilité des **microalgues** au stress

Culture de *Haematococcus pluvialis*



↑
STRESS



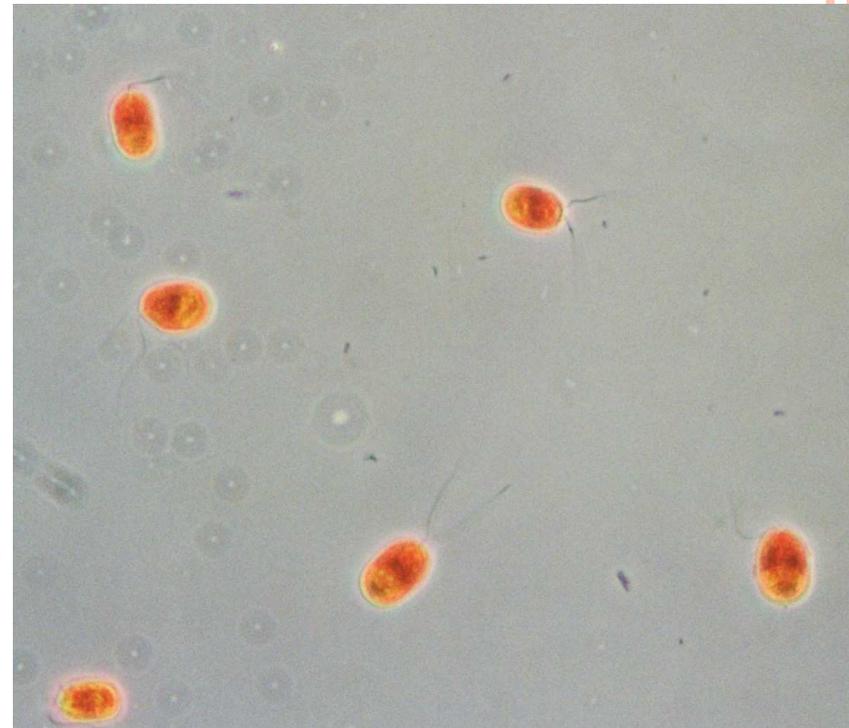
Sensibilité des **microalgues** au stress

Culture de *Dunaliella salina*



Eau peu salée

→
STRESS



Eau très salée



d'applications dans de nombreux secteurs

Composition

- Protéines
- Sucres
- Lipides
- Métabolites spécifiques: antioxydants, pigments, PolyUnsaturated Fatty Acids, TriAcylGlycerol, ExoPolySaccharides...



Domaines d'application

- Alim. humaine
- Alim. animale / aquaculture
- Complément alim./ Nutraceutiques
- Bio-carburants, bio-bitûmes
- Pharmaceutiques
- Cosmétiques
- Bâtiments innovants



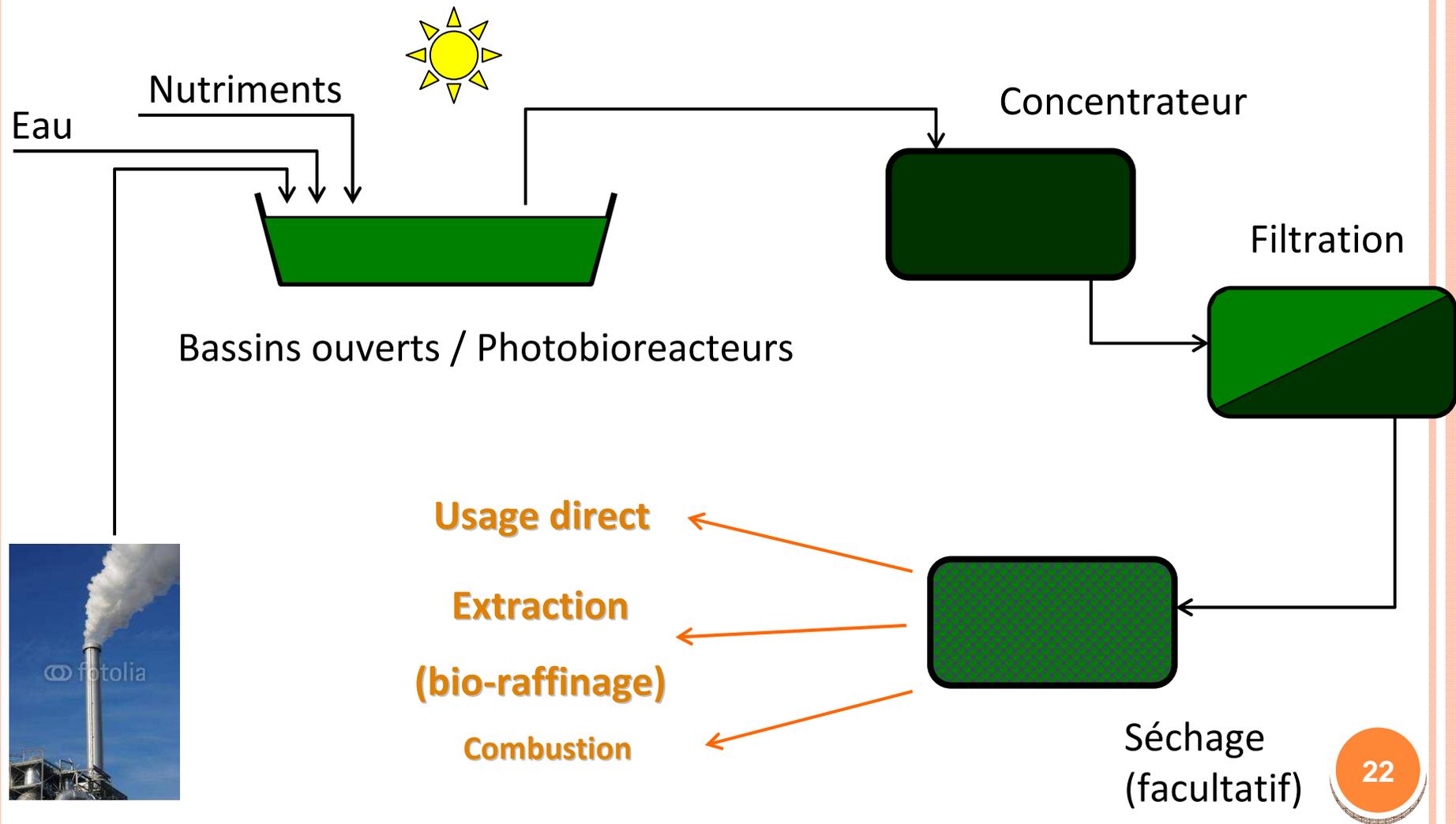
stricteme



Captage du CO₂ par les microalgues

- Développement d'une nouvelle « symbiose industrielle »
- Les « déchets » d'une industrie sont les ressources d'une autre
 - valorisation gaz riches en CO₂, eaux usées riches en nutriment, chaleur fatale, surface, ...
- Secteurs de l'énergie, du traitement des eaux, du ciment et de la chaux, de l'acier, de la chimie, de l'agro-alimentaire, ...
- Production d'**1** kg de biomasse : consommation d'**1,8** kg de CO₂
- **1 hectare** (10.000 m²) de systèmes de culture en lumière solaire sont capables de consommer de **70 t** à **140 t** de CO₂ par an (dépend de la technologie et de son optimisation)

Captage du CO₂ par les microalgues



Captage du CO₂ par les microalgues

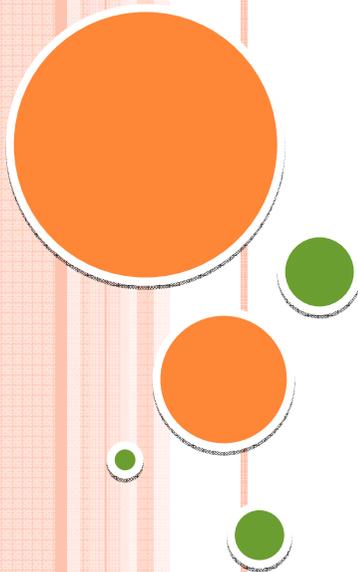
- Avantage principal : pas d'étape de « **purification** » du gaz industriel
- **Bénéfices pour l'industriel émetteur** : valorisation d'un « déchet » coûteux non utilisé & création d'une nouvelle valeur
- **Bénéfices pour le secteur des microalgues** : baisse significative des coûts de production (CO₂, chaleur, terrain), développement de la filière microalgues, développement de nouveaux marchés, vente de licences/d'ingénierie et nouveau secteur d'activité
- Mais, quid de l'acceptabilité marché de microalgues fabriquées en recyclant des effluents industriels ?

Impacts des **polluants** contenus dans les gaz industriels sur le développement cellulaire microalgale



- Polluants : NO_x , SO_x , CO, hydracides, éléments métalliques, composés organiques, ...
- Peu d'articles scientifiques dans la littérature sur ce sujet : étude de l'impact d'un ou deux polluants concomitants au maximum
- Pas d'effet majeur attendu à ces concentrations
- NO_x et SO_x : potentielles sources d'N et de S pour les microalgues
- Principale question : impacts d'un **large mix** de polluants sur le développement cellulaire ?
- Éléments métalliques : les cellules adsorbent à leur surface ces métaux - absorption des métaux par les cellules → potentiel stress

Exemples de projets utilisant des effluents industriels gazeux comme source de carbone pour la culture de microalgues



Valorisation biologique du CO₂

Projets utilisant les gaz industriels comme source de carbone (état en 2011)

Project/Company	Location	Flue gas	Photobioreactor	Size	Strain	Results	Status
Pond Biofuels/St Mary	Ontario, Canada	Cement plant	TubularFlat Panel	lab scale	local strain		On going
AlgaFuel/GALP	Portugal	Cement plant	tubular horizontal	1500 m ²	Chlorella : local strain		On going
Bio Fuel Systems/CEMEX	Spain	Cement plant	Tubular vertical	100 m ²	marine	impossible	On going
Lafarge	Austria	Cement plant flue gas		lab scale	Chlorella from Portugal	not clear	On going
Seambiotic	Askelon, Israel	Coal power plant	Raceway	1000 m ²	Nannochloropsis	20 g/m ² /d	On going
ENI	Gela, Italy	Combustion from Refinery	Raceway/Flat Panel	10 000 m ²	Tetraselmis	20 g/m ² /d	On going
Eon	Bremen/Hamburg, Germany	Coal power plant	TubularFlat Panel		Marine	15 g/m ² /d	On going
Vattenfall/GMB GmbH	Senftenberg, Germany	Coal power plant	Flat panel				On going
Ingrepro/Akzo Nobel	Delfzijl, Netherlands	power plant	Raceway	200 m ²	Chlorella vulgaris		On going
RWE	Bergheim, Germany	Coal power plant	Plastic bags	600 m ²	Nannochloropsis	1,2 g/m ² /d	On going
MBD Energy Limited	Melbourne, Australia	Coal power plant	Covered raceway	200 m ²	marine/fresh		On going
Cellana	Hawaii, USA	Diesel generator	Raceway	25 000 m ²	marine		On going
Exxonmobil	California, USA	not started yet	Plastic bags / raceway		Marine GMO		On going

Portugal

Valorisation biologique du CO₂

Groupe cimentier « Secil » et société « AlgaFuel » : depuis 2009



AlgoSource Technologies: strictement confidentiel

Espagne

Valorisation biologique du CO₂

Groupe cimentier « Cemex » et société « BFS » : depuis 2010



28

AlgoSource Technologies: strictement confidentiel

Israël

Valorisation biologique du CO₂

Seamiotic – Ashkelon



Centrale Thermique Ruthenberg

29

Valorisation biologique du CO₂

Seambiotic – Ashkelon

Production, entre autres, d'acides gras insaturés en recyclant le gaz riche en CO₂ produit par la centrale thermique à charbon située juste à côté



Depuis 2004

30

Seambiotic

Valorisation biologique du CO₂

Seambiotic – Ashkelon

Production, entre autres, d'acides gras insaturés en recyclant le gaz riche en CO₂ produit par la centrale thermique à charbon située juste à côté



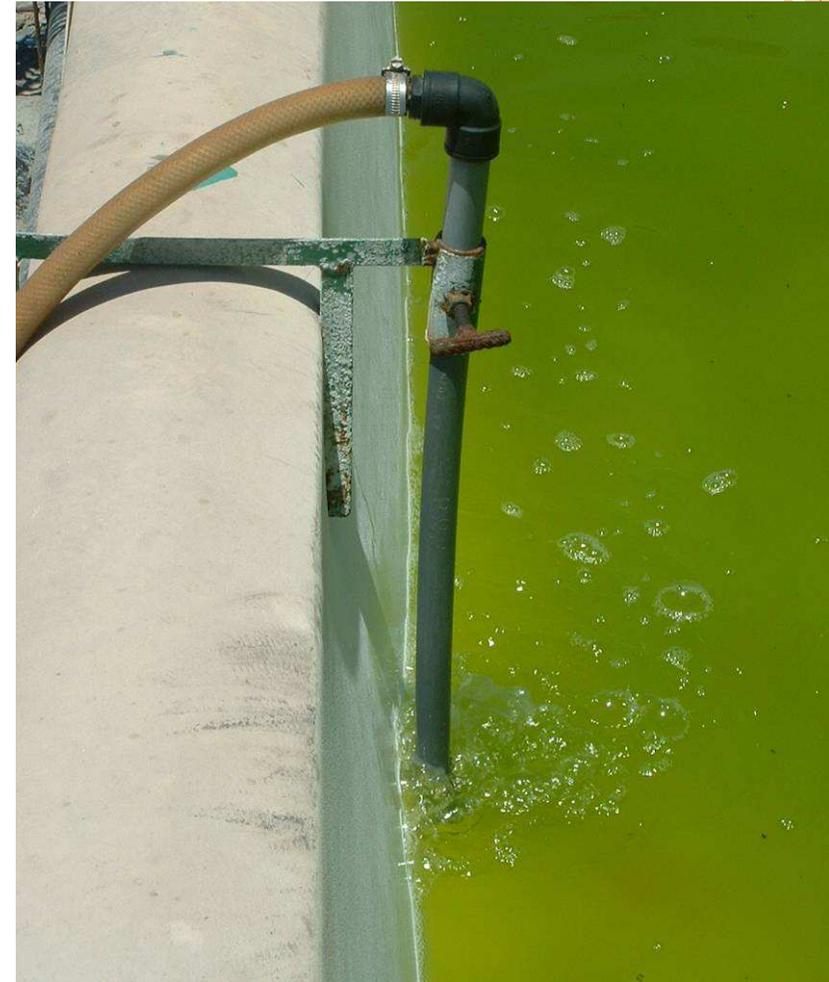
Depuis 2004

Seambiotic

Valorisation biologique du CO₂

Seambiotic – Ashkelon

Système simple d'injection du gaz riche en CO₂ dans les bassins de culture (raceways ouverts)



Seambiotic

Valorisation biologique du CO₂

Seambiotic – Ashkelon

Récolte des microalgues produites sur le site par centrifugation



Nannochloropsis sp.

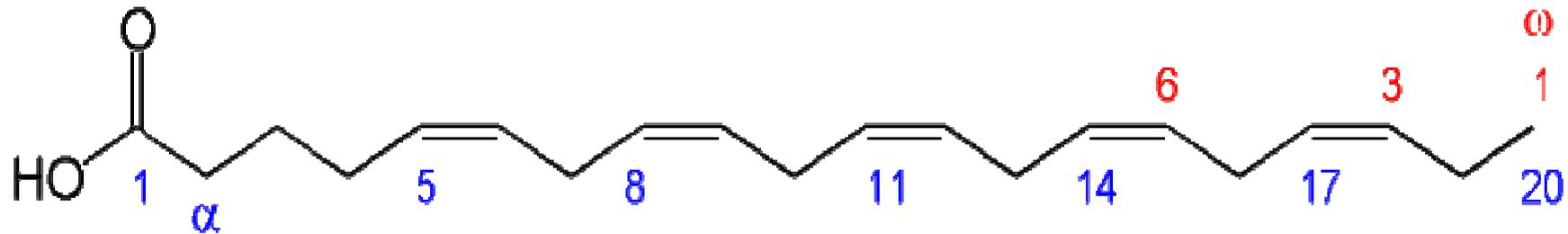
Seambiotic

33

Valorisation biologique du CO₂

Seambiotic – Ashkelon

Exemple d'acide gras polyinsaturé produit et commercialisé par Seambiotic

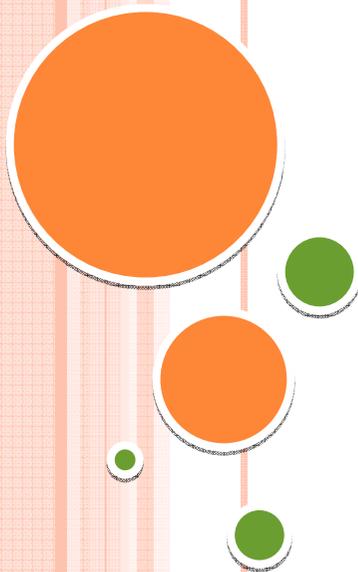


Eicosa-Pentaenoic Acid
(EPA)

La société [Seambiotic](#) a demandé et obtenu l'accréditation de nombreuses administrations de par le monde (comme par exemple la *Food and Drug Administration* des USA) afin de pouvoir commercialiser les microalgues et les molécules extraites produits par leurs procédés

[Seambiotic](#)

Etude pilote de valorisation de CO₂ industriel avec des microalgues



Pilote expérimental de culture de microalgues

Partenariat :

- Cimenterie de Gargenville (78)



Ciments Calcia
Italcementi Group

- AlgoSource Technologies (AST)



- Laboratoire GEPEA



Pilote expérimental de culture de microalgues

➤ But du projet

- Concevoir et exploiter une ligne de prélèvement de gaz de cimenterie
- Concevoir et exploiter une plateforme expérimentale de culture de microalgues au sein d'un site industriel de type cimenterie
- **Tester en lumière artificielle et en lumière naturelle la culture de microalgues alimentées par du CO₂ pur (expériences « témoins ») et par du gaz non traité de cimenterie – Répétabilité des résultats obtenus**
- Tester plusieurs souches de microalgues
- Préparer le projet de démonstrateur « CIMENTALGUE »

Pilote expérimental de culture de microalgues



Cimenterie de Gargenville (78)

Pilote expérimental de culture de microalgues

**Plateforme
expérimentale**



Pilote expérimental de culture de microalgues



Ligne de prélèvement



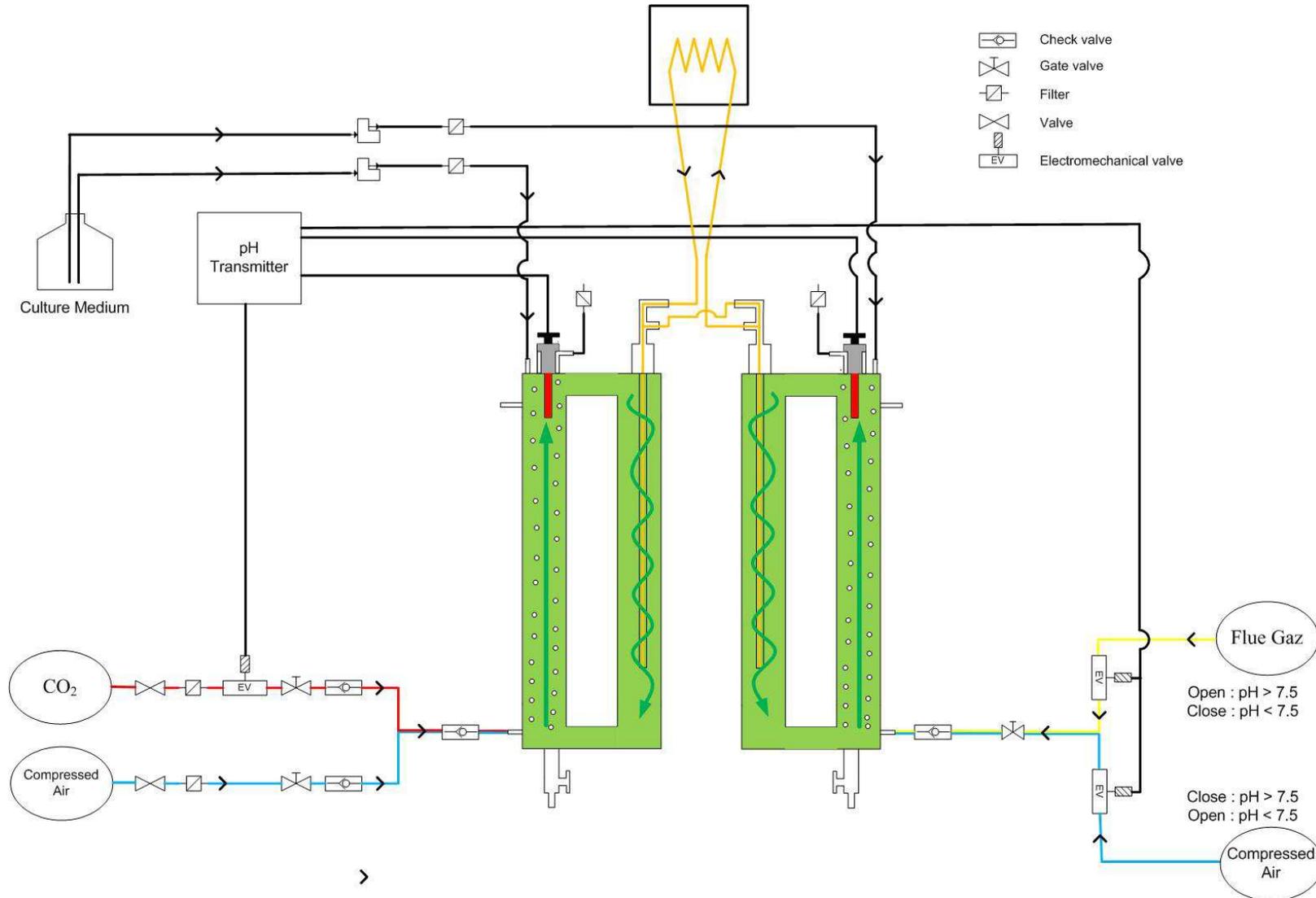
Plateforme expérimentale

Pilote expérimental de culture de microalgues

- Culture en photobioréacteurs (PBR) tubulaires - Cimenterie
- Deux modes de culture: Batch et Continu en lumière artificielle
- Le réacteur témoin est alimenté en CO₂ pur
- Le réacteur test est alimenté en gaz de cimenterie
- Nombreuses campagnes de culture impliquant différentes souches – l'ajout de CO₂ ou de gaz de cimenterie est conditionné à la valeur du pH de chaque PBR mesuré en permanence

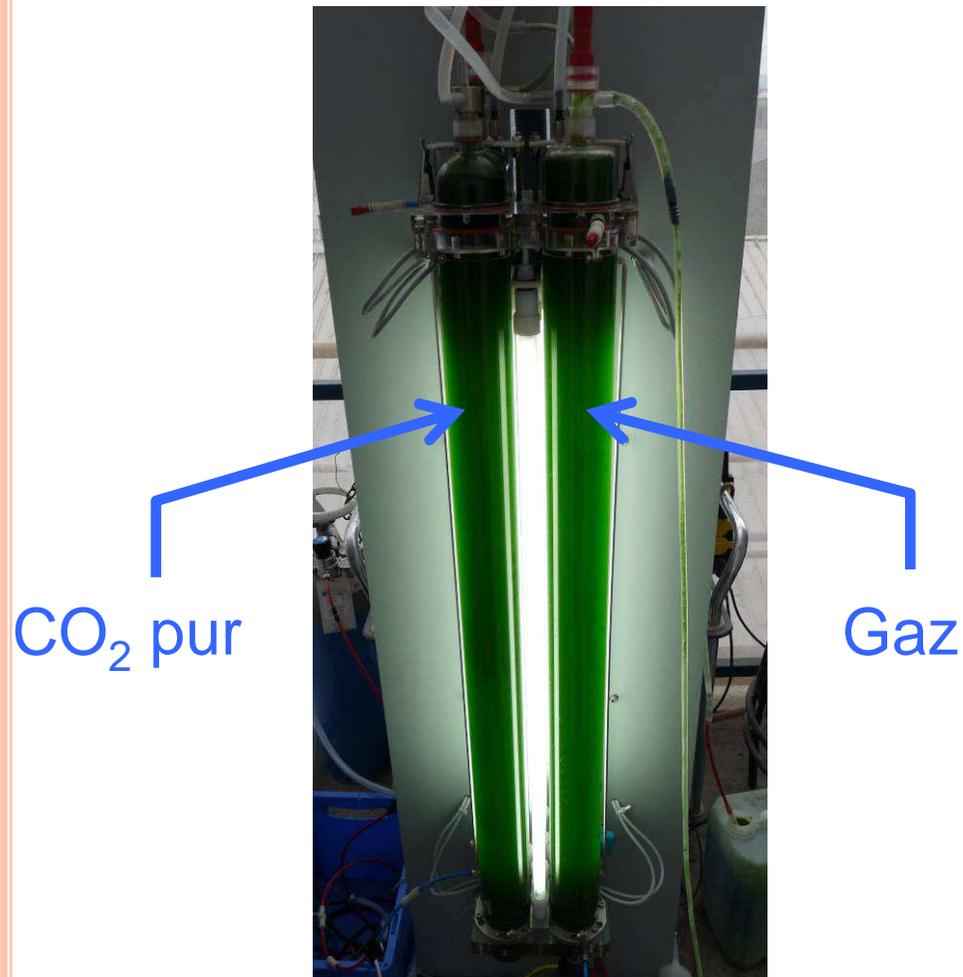
Pilote expérimental de culture de microalgues

➤ Culture en photobioréacteurs (PBR) tubulaires - Cimenterie



Pilote expérimental de culture de microalgues

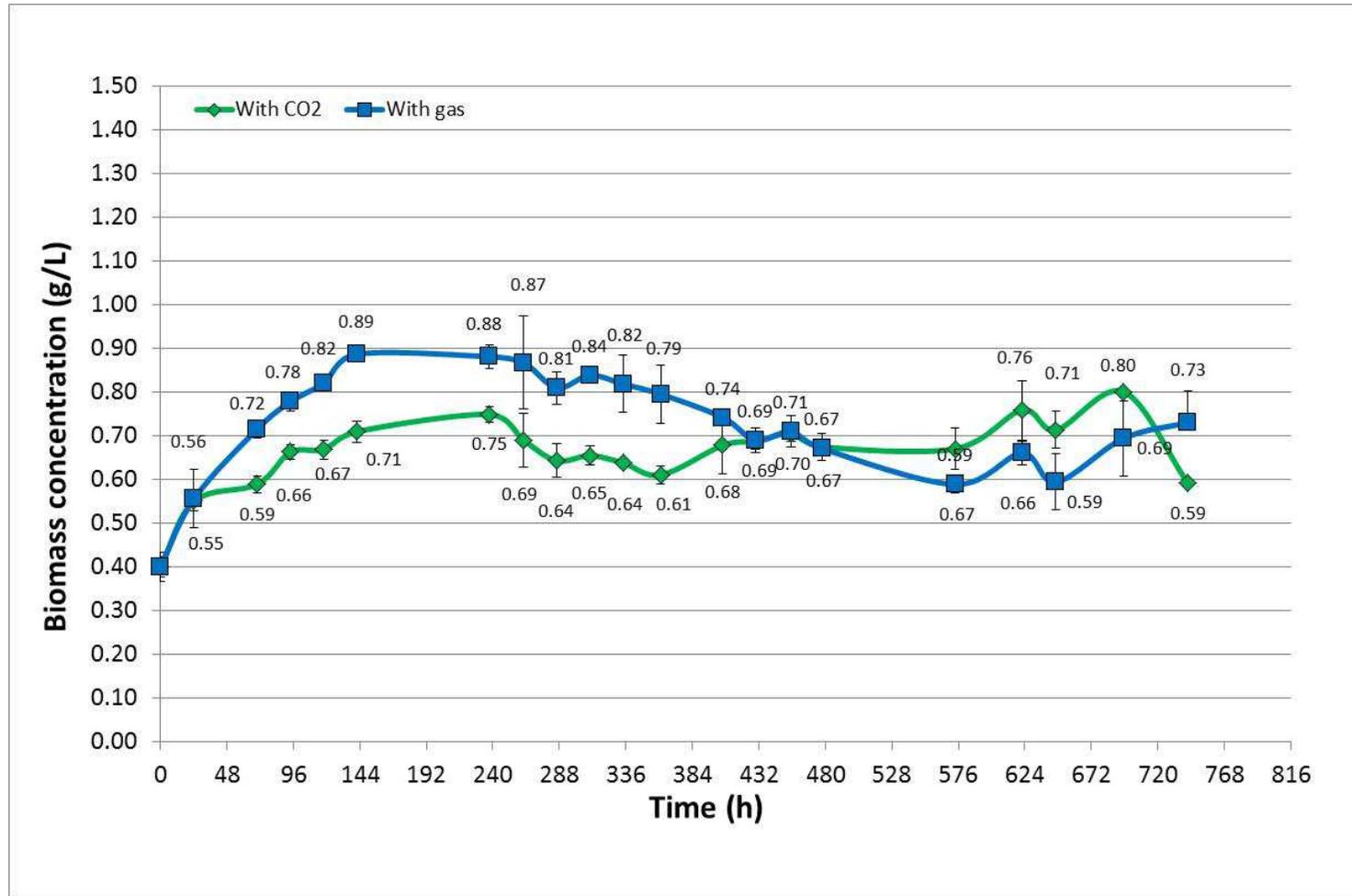
- Culture en photobioréacteurs (PBR) tubulaires - Cimenterie



PBR tubulaire – lumière artificielle

Pilote expérimental de culture de microalgues

➤ Culture en photobioréacteurs (PBR) tubulaires - Cimenterie



PBR tubulaire – lumière artificielle

Pilote expérimental de culture de microalgues

- **Culture en photobioréacteurs (PBR) plan - Cimenterie**
- Culture en mode **Batch** et lumière naturelle sur plusieurs jours
- Cultures alimentées par du **CO₂** pur ou par du « **gaz de cimenterie** »
- Plusieurs souches testées
- Permet d'évaluer la productivité surfacique moyenne journalière (g/m²/jour) sans apport d'énergie extérieure (estimation d'un système non optimisé)

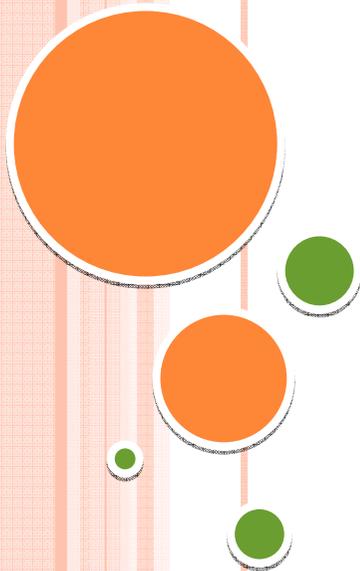
Pilote expérimental de culture de microalgues

➤ Culture en photobioréacteurs (PBR) plan - Cimenterie



PBR plan – lumière naturelle

Projet démonstrateur CIMENTALGUE



Projet démonstrateur **CIMENTALGUE**

- Démonstration de la viabilité économique et de la durabilité d'un procédé de co-valorisation de **CO₂ d'origine industrielle** et de **chaleur fatale** par la production de microalgues photosynthétiques en lumière naturelle : acquisition de données extrapolables, techniques et économiques
- Projet de type « Recherche industrielle »
 - -> Qualité de la biomasse
 - -> Marchés et acceptabilité sociale de ce type de valorisation
 - -> Analyses d'impact environnemental de la biomasse
 - -> Gains pour les 2 industries & intérêt de la symbiose
- Construction puis exploitation d'un démonstrateur d'une surface de 500 m²
- Cimenterie de Gargenville (78)
- Durée : 3 ans
- Soutenu par :



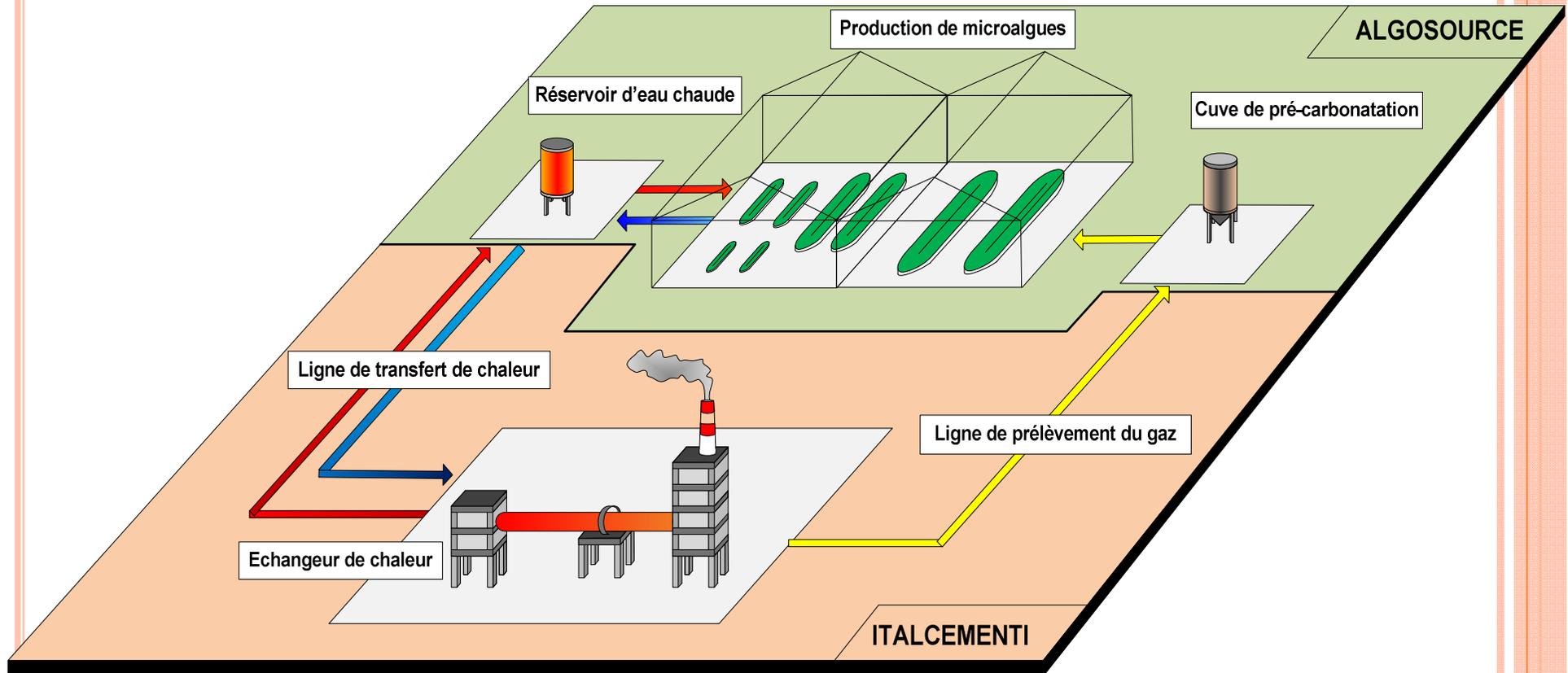
ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

Projet démonstrateur CIMENTALGUE

Schéma de principe



- Valorisation de CO₂ d'origine industrielle
- Valorisation de chaleur fatale produite par l'usine

Projet démonstrateur **CIMENTALGUE**

- **Société « Ciments Calcia »**

- Activité industrielle générant
- des effluents à valoriser



- **Laboratoire « GEPEA »**

- Développement de procédés
- microalgues



- **Laboratoire « GeM – IEG » et « Chaire génie civil – éco construction »**

- Analyse d'Impact environnemental



- **Société « AlgoSource Technologies »**

- Ingénierie et exploitation des procédés microalgues



Projet démonstrateur CIMENTALGUE



Alpha - Biotech / Guérande (44)



Merci pour votre attention !

christophe.lombard@algosource.com