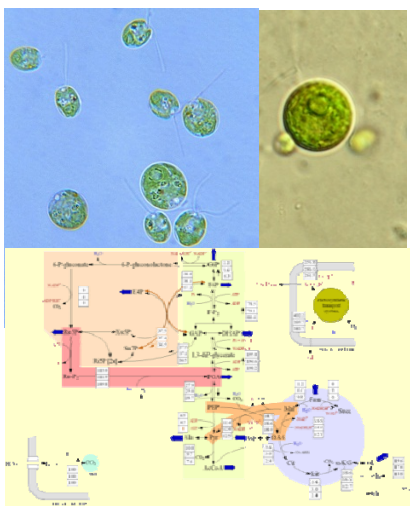
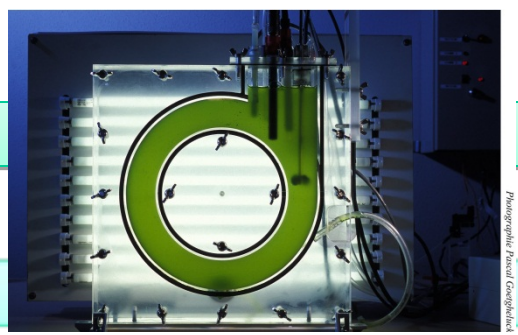
Valorisation des **microorganismes photosynthétiques** : de la capture biologique de CO_2 à la production de vecteurs énergétiques





$$r_X = \rho\phi A - \mu s \frac{K_r}{K_r + G} X = \rho\phi A - \frac{J_{NADH_2} M_X}{\upsilon_{NADH_2 - X}} \frac{K_r}{K_r + G} X$$

Mariana Titica

Maitre de Conférences, Université de Nantes, IUT de Saint-Nazaire

(mariana.titica@univ-nantes.fr)

http://www.gepea.fr/

Le Laboratoire GEPEA

Laboratoire GEPEA (UMR-CNRS 6144)

Situé sur la métropole Nantes-Saint-Nazaire (UN, EMN, ENITIAA)

Effectifs :~190 personnes

Activités de recherches : procédés de valorisation dans les domaines de l'agroalimentaire, de l'environnement, de l'énergie et la mer.

Quatre axes de recherche :

* Axe 1 : Bioprocédés et Séparations en Milieu Marin
* Axe 2 : Ingénierie de l'Energie
* Axe 3 : Ingénierie de l'Environnement
* Axe 4 : Matrices et aliments (MAPS)

→

- **Ingénierie des photobioréacteurs**
- **Procédés de récolte de la biomasse, d'extraction et de purification de métabolites d'intérêt**

(22 Enseignants-Chercheurs,
4 Personnels techniques, 16 thèses)

Axe Bioprocédés et Séparations en milieu marin

Implication dans des programmes :

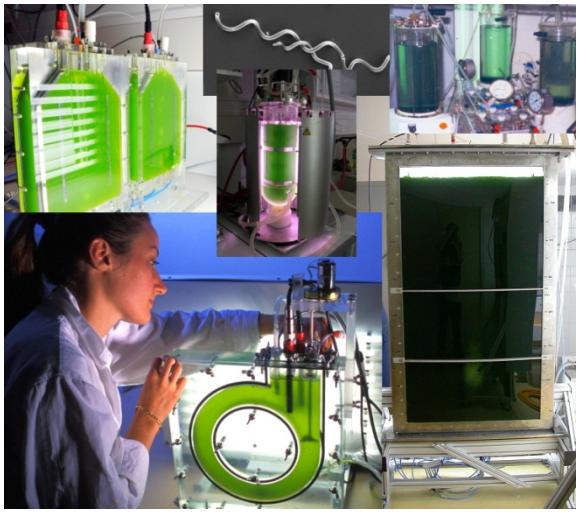
•Programmes ANR « **BIOSOLIS** » (Photobioréacteurs solaires), « **SHAMASH** » (Production de biocarburants lipidiques par des microalgues), « **PhotobioH2** » (Production d'hydrogène à partir de microalgues), « **Algomics** » (Stockage de l'énergie chez les microalgues)

•GDR-CNRS « **BioH2** », « Ingénierie des Biosystèmes: de la cellule au procédé »

•Programme FP6 « REMOVALs », FP7 « **SOLARH2** », Programme Interreg IV B Espace Atlantique « BIOTECMAR »,

•Programme interrégional "Comsaumol", Programme régional Gerrico, Programme régional PERLE…

•Fédération de recherche « Pôle Mer et Littoral »

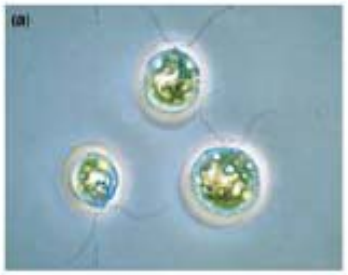


Plan de la Présentation

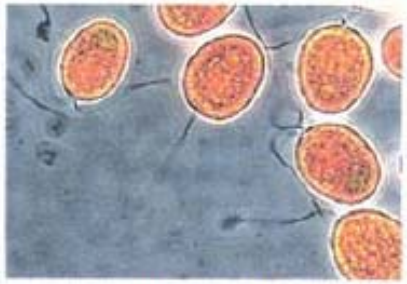
- Microalgues : Introduction et Généralités
- Applications, marchés potentiels
- Axes de recherche

Les microalgues et les cyanobactéries

Les microalgues sont des **microorganismes photosynthétiques** de quelques microns à des centaines de microns



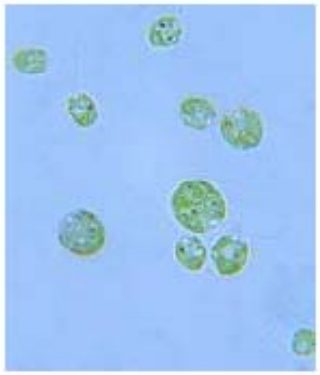
Haematococcus pluvialis
20 µm × 15 µm



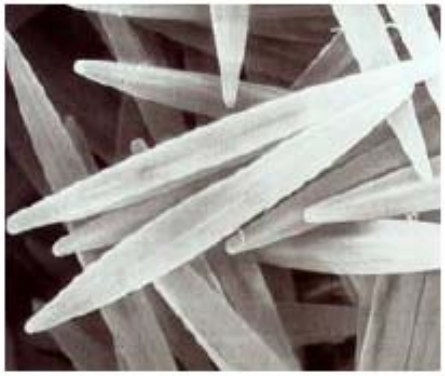
Dunaliella salina
10 µm × 8 µm

Skeletonema costatum
10 µm

Arthrospira platensis (spiruline)
D : 6-11 µm ; L : 200-500 µm



Chlamydomonas reiinhardti
7-10 µm



Haslea ostrearia
35-120 µm

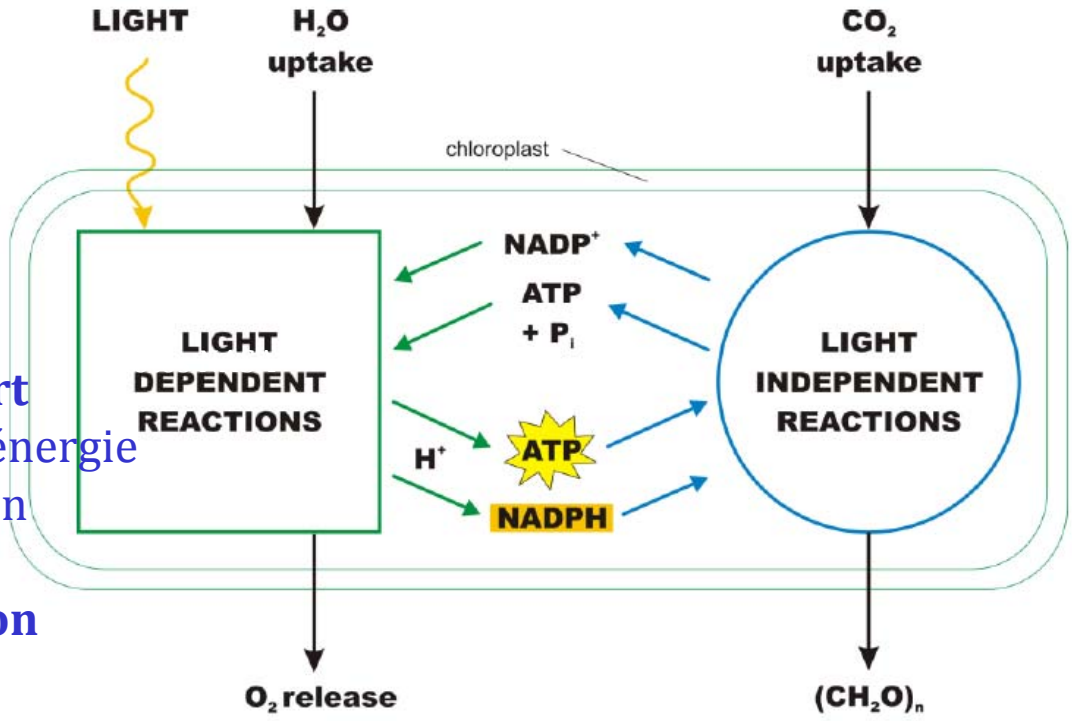
Les microorganismes photosynthétiques

Microorganismes photosynthétiques (ou phototrophes, autotrophes) : organismes **microscopiques** se développant par **photosynthèse**

<u>Principe de croissance</u> : Assimilation de carbone inorganique (CO_2 par exemple) à la lumière et en présence d'eau pour le transformer en matière organique.

$$nCO_2 + nH_2O + \text{light} \xrightarrow{\text{Chlorophyll } a} (CH_2O)_n + nO_2$$

Pigments photorécepteurs : chlorophylle, mais aussi d'autres pigments tel que les phycobiliprotéines, caroténoides



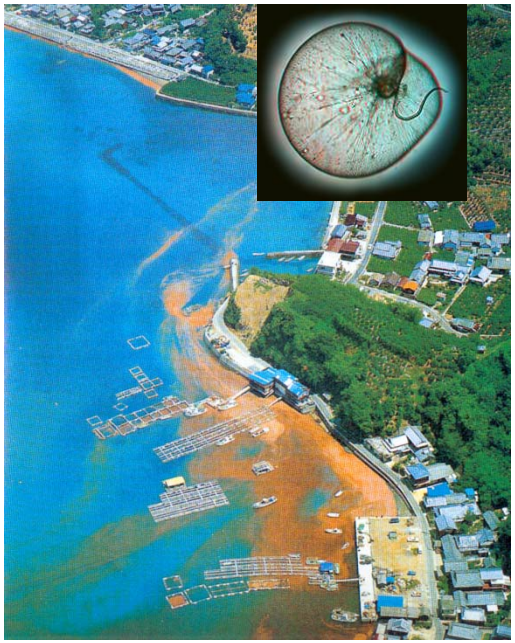
Réduction du CO_2 implique un **apport important d'énergie** : utilisation d'énergie lumineuse (photons) et conversion en énergie chimique (besoins élevés : **8 photons au moins pour la réduction d'une molécule de CO_2**

Les microorganismes photosynthétiques dans la nature

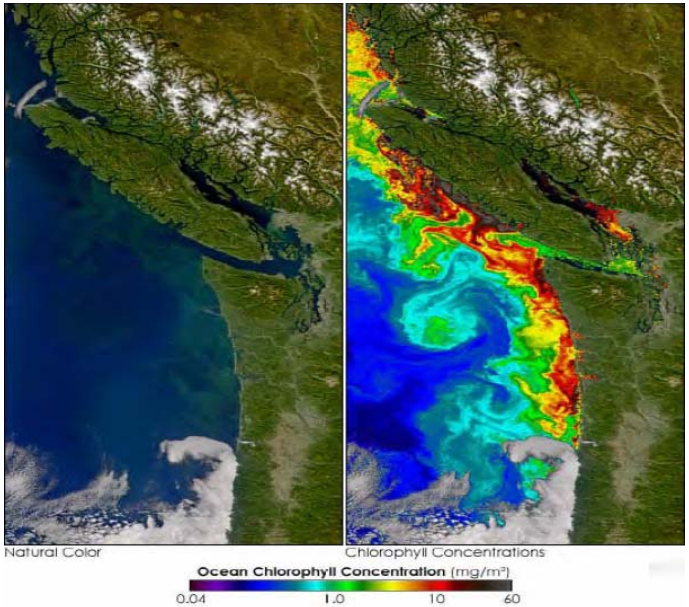
Relativement ignorés du grand public mais rôle dans la nature essentiel (mieux connu sous le terme « **phytoplancton** »).

Proliférations → bloom → eaux fluorescentes (*Alexandrium minutum*) ou « marée rouge » (*Gonyaulax catenata*)

Efflorescence de Dunaliella salina (Bolivie, Guérande – France)



Efflorescence à noctiluque sur une côte japonaise



Washington Coast 2004 (Satellite and Chlorophyll View)

Marais

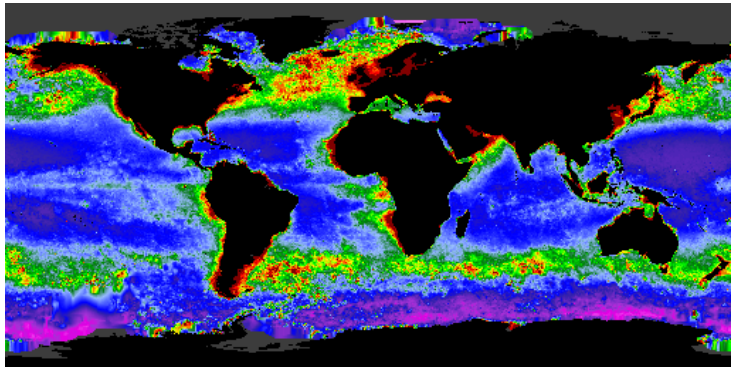
Equateur

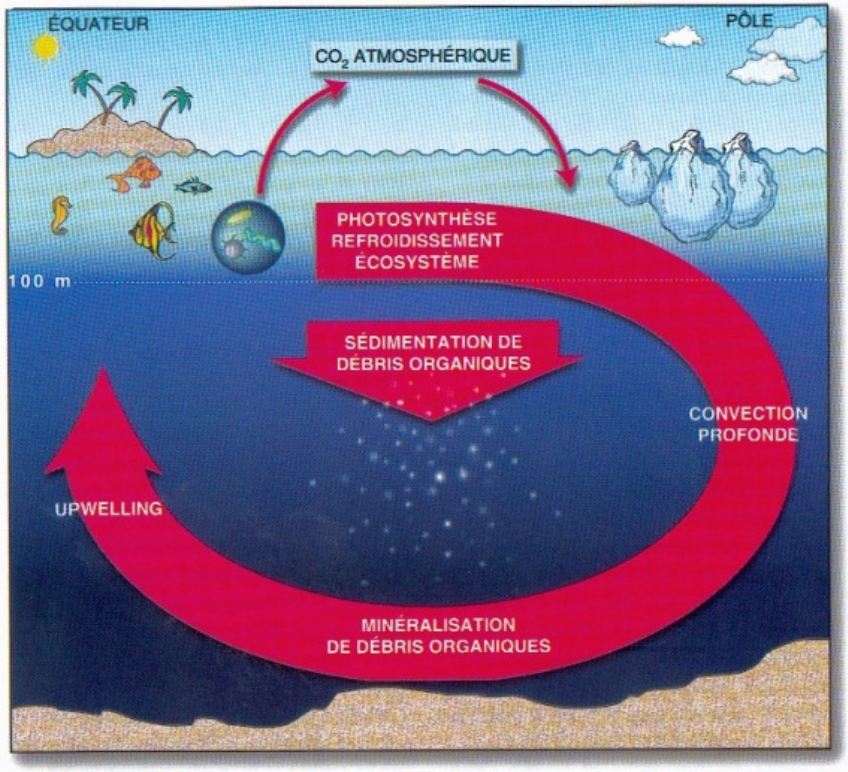
Pôles

Les microorganismes photosynthétiques dans la nature

… une biodiversité à peine explorée :
30 000 espèces décrites
200 000 à 1 million estimées

et des biotopes variés (océans, eau douce, saumâtres, pôles, geysers…)





Le cycle du carbone dans l'océan. Aux hautes latitudes, en hiver, après une photosynthèse active et un refroidissement de l'eau, les couches superficielles absorbent du CO_2 atmosphérique, puis plongent vers les profondeurs ; ces eaux s'écoulent lentement sur les fonds océaniques, où elles reçoivent des débris organiques en cours de minéralisation, et se chargent donc en CO_2 ; aux basses latitudes, les eaux profondes remontent à la surface et libèrent du CO_2 dans l'atmosphère ; en dérivant à la surface des océans, les concentrations en CO_2 des eaux s'équilibrent avec celles de l'atmosphère, et la photosynthèse y engendre des débris organiques qui enrichissent l'eau profonde en carbone fixé.

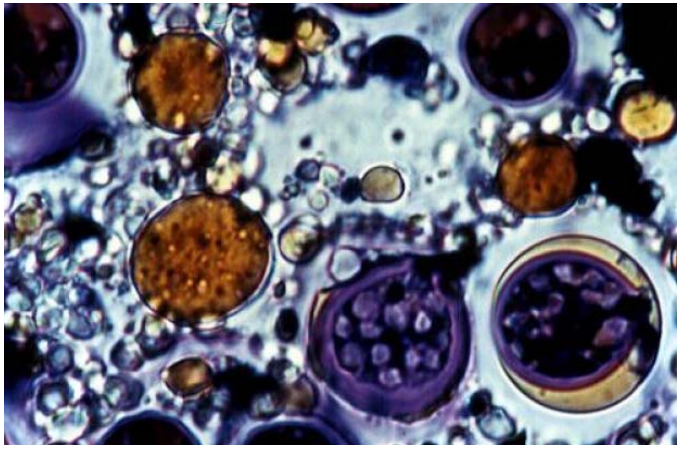
- A l'origine de notre atmosphère
- 40 à 50% de la photosynthèse terrestre (fixation annuelle de CO_2)
- Un des premiers maillons de la chaîne alimentaire
- Rôle essentiel dans le cycle du carbone

Composition biochimique

TABLE 1. General composition of different human food sources and algae (% of dry matter) (3)

Commodity	Protein	Carbo-hydrate	Lipid
Bakers' yeast	39	38	1
Meat	43	1	34
Milk	26	38	28
Rice	8	77	2
Soybean	37	30	20
Anabaena cylindrica	43–56	25–30	4–7
Chlamydomonas rheinhardii	48	17	21
Chlorella vulgaris	51–58	12–17	14–22
Dunaliella salina	57	32	6
Porphyridium cruentum	28–39	40–57	9–14
Scenedesmus obliquus	50–56	10–17	12–14
Spirulina maxima	60–71	13–16	6–7
Synechococcus sp.	63	15	11

It should be kept in mind that the figures presented in this table are estimaties, since the proportion of individual cell constituents largely depends on environmental parameters.



•Diversité des profils métaboliques

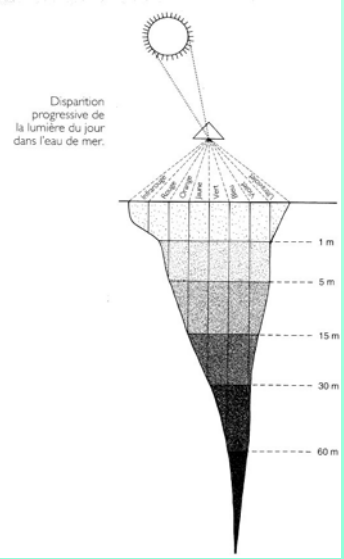
•Teneur élevée en **protéines**
(rapports équivalents ou > au plantes supérieures)

• **Carbohydrates** : amidon, sucres, glucose, polysaccharides
(Remarque : digestibilité élevée
→ consommation possible des cellules entières)

• **Lipides** : Glycérols, acides gras saturés ou pas (ω_3, ω_6) (de 1 à 70% de la matières sèche, voire 90%)

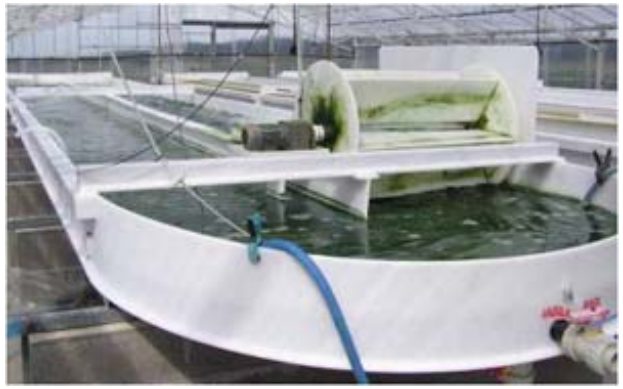
• **Vitamines** : A, B_1, B_2, B_6, B_{12}, C, E…

• **Pigments** : **caroténoïdes** (β-carotène, lycopène, cryptoxanthine, canthaxantine, astaxanthine, lutéine), **phycobiliprotéines** (phycocyanine (bleue), phycoérythrines (rouge))



Vaste champ d'applications possibles

« La Spiruline algue de vie »



Production de Spiruline en Chine →

Vaste champ d'applications possibles

Alimentation

Pour une même surface de culture, jusqu'à 20 à 35 fois plus de protéines que le soja, et jusqu'à 50 fois plus que le riz, le blé ou le maïs.

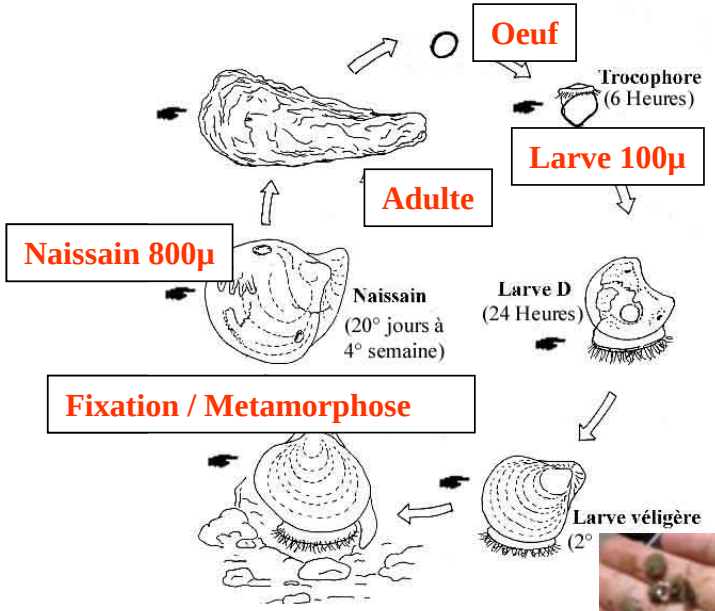
Récolte de Spiruline ("dihé") sur les rives du lac Tchad

Burkina-Faso

Vaste champ d'applications possibles

Alimentation

Aliment de base obligé de certaines espèces d'élevage en **aquaculture** (huîtres, palourdes, poissons…)



Huître « verdie »

Des usages prometteurs

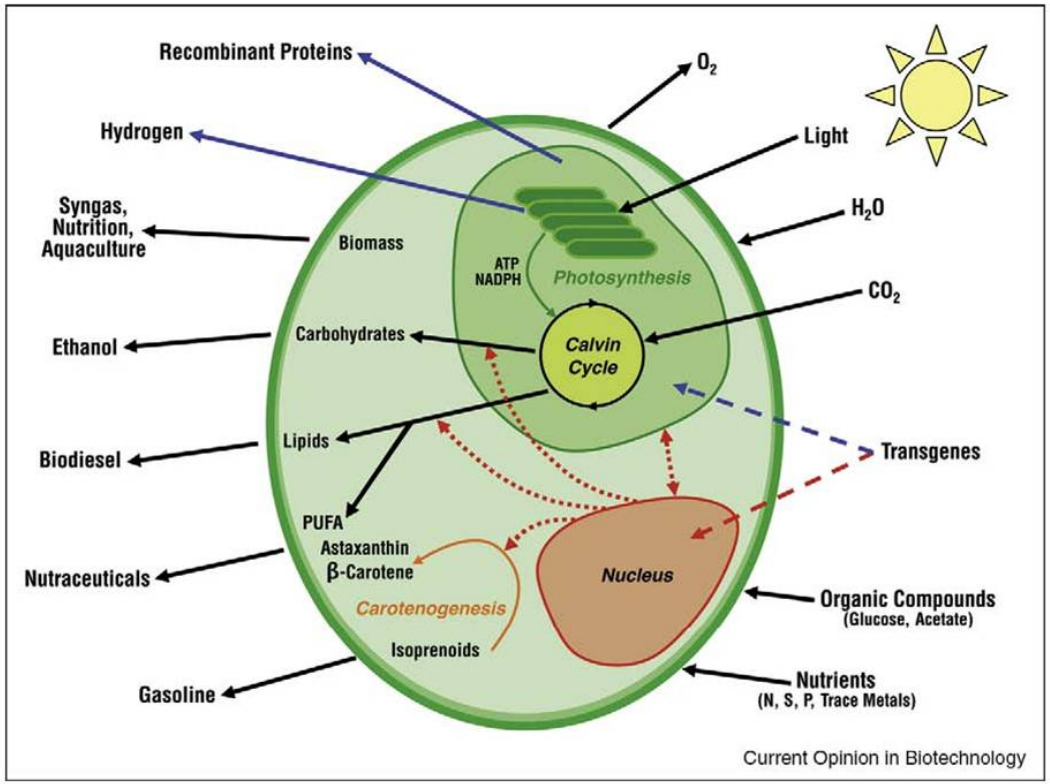


Schéma de fonctionnement d'une microalgue, intrants, produits, applications.
Source : Rosenberg et al. , Current Opinion in Biotechnology (2008)

Molécules propres aux développement photosynthétique :

- pigments
- lipides
- polysacharides

Energie

- Production de vecteurs énergétiques variés
- Production durable (énergie solaire, CO_2, eau, nutriments minéraux)

Vers une nouvelle agriculture ?

Earthrise Algae Farm,
Calipatria, California, USA,
Culture en bassins
ouverts sur 22 ha

Comparaison microorganismes photosynthétiques - Végétaux supérieurs :

- vitesse de croissance élevée permettant d'atteindre des rendements à l'hectare importants

- production en milieu aqueux : **gestion maîtrisée des apports en sels minéraux (nitrates, phosphates…)**, sans relargage dans le milieu extérieur contrairement à la culture agraire (pollution des nappes phréatiques)

-**contrôle des apports en eau**.

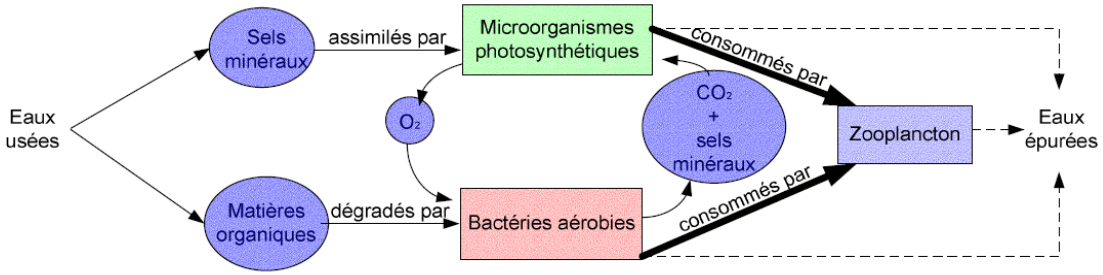
Les microorganismes photosynthétiques (microalgues et cyanobactéries notamment) sont souvent envisagés comme une bioressource d'avenir, renouvelable et avec une très faible pression sur l'environnement.

Applications environnementales

Traitement des eaux

-Fixer certains composés toxiques des eaux usées

-Fournir l'O_2 aux bactéries qui se chargeront de la dégradation de la matière organique



Hollister (Californie)

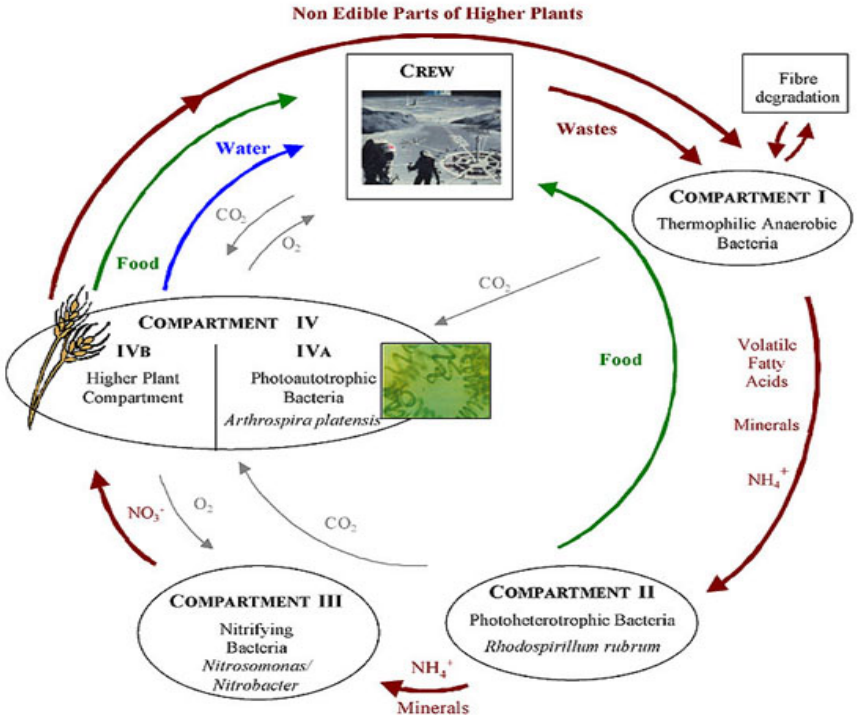
traitement des eaux usées de 14 000 personnes par un bassin de 6 hectares (Spiruline)

Afrique :

-Traitement des eaux usées avec *Spiruline* : → déchets utilisés comme engrais

→*Spiruline* : nourriture de village

(R.Fox, 1984)



Projet **MELISSA** (Micro-Ecological Life Support System Alternative) de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) destiné aux prochains voyages habités sur Mars

Photobioréacteurs solaires – systèmes ouverts

Culture de Porphyridium purpureum (Espagne)

Culture en bassins ouverts d'Arthrospira platensis en Californie totalisant une superficie de 22 hectares : projet Earthrise Farms (Fox)

Culture en bassin ouvert de Odontella aurita à Bouin : société Innovalg (phot. Ifremer de O.Barbaroux)

Photobioréacteur solaire pour la culture d'Haematococcus p . à Hawaï

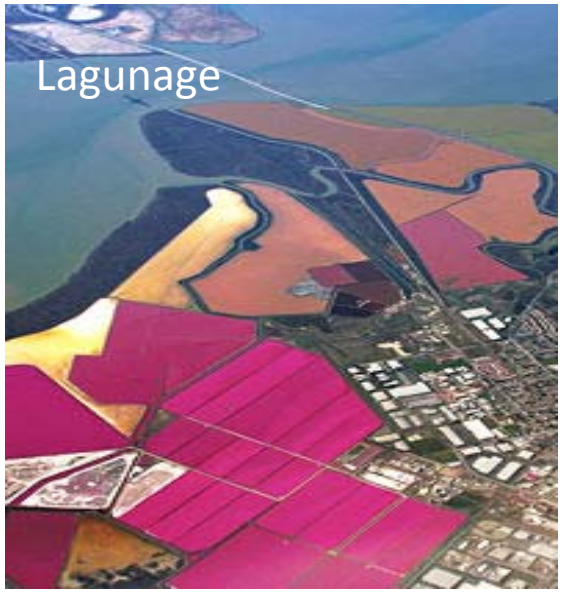
Bassins de production de β-carotène en Australie (société Betatene)

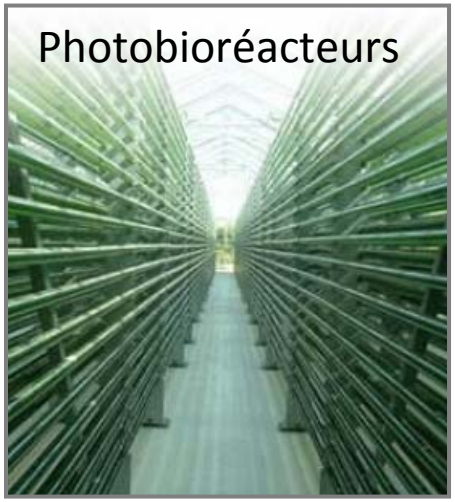
Les différents systèmes de culture de microalgues

Production solaire

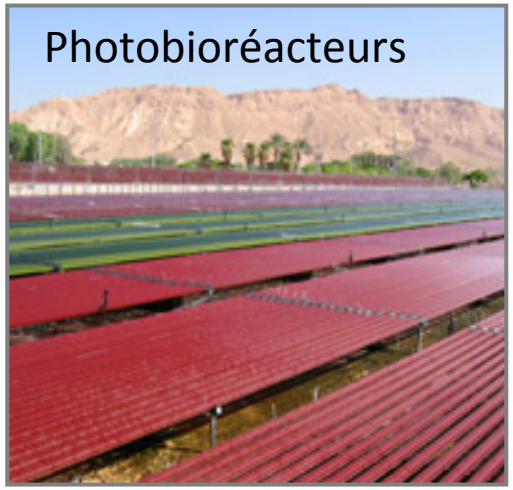
- Production extensive
- Dépendante des conditions d'exploitation

Parry Nutraceuticals Ltd., Spirulina Ponds, India





Photobioréacteur plan pour la production de chlorelles (O.Pulz, Allemagne)



Photobioréacteur tubulaire solaire (**Algatech**, désert du Negev, Israël)

Les marchés : état des lieux

Product	Species	Status
Health food and feed supplements	*Arthrospira (3000 t)* *Chlorella (2000 t)* *Dunaliella (1200 t)* *Aphanizomenon (500 t)* *Haematococcus (300 t)*	Commercial (Raceway ponds, circular ponds, lagoons, PBR)
Pigments (carotenoids, phycobiliproteins)	*Dunaliella* *Arthrospira* *Haematococcus*	Commercial (as above)
ω 3 PUFA (DHA)	*Schyzochitrium (10 t oil)* *Crypthecodiniun (240 t oil)*	Commercial (10-100 m^3 fermenters)
Fluorescent diagnostics Labeled compounds (stable isotopes) Restriction enzymes	*Arthrospira* *Anabaena* *Anacystis*	Commercial (small PBR)
Aquaculture feeds	Various spp. (1000 t)	Commercial (cylinders, bags, tanks)
Polysaccharides		Research
Biofertilizers		Research
Bioactive molecules (biopesticides, probiotics, pharmaceuticals, biosensors,cosmetics)		Research
Bioremediation (xenobiotics, heavy metals)		
CO_2 biofixation		
Energy (biodiesel, H_2)		

Algae commercial applications (2006)

< 10,000 tons

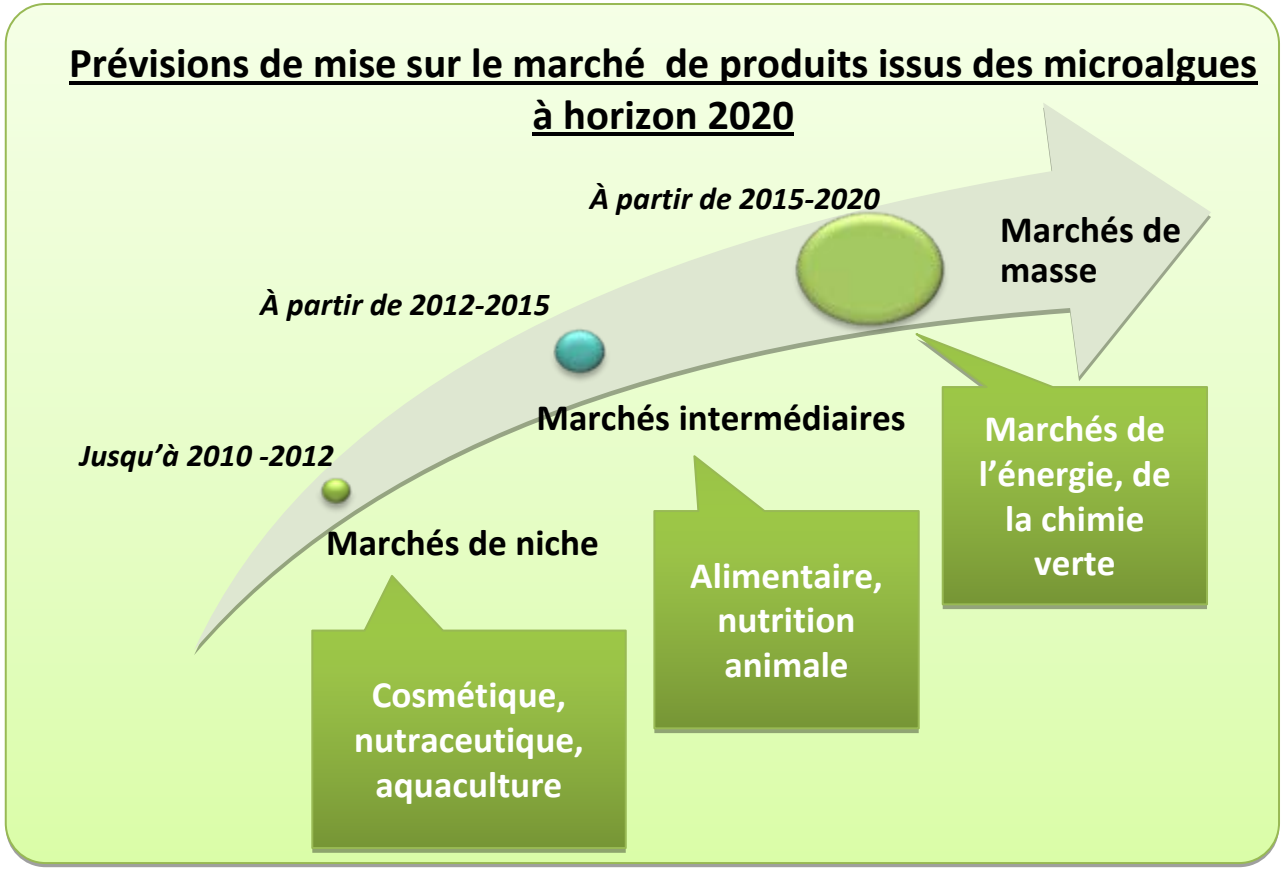
A *niche* technology

D'après M. Tredici, EABA Meeting, Florence, 2009

- Faible exploitation, comparé au potentiel
- Manque de maturité industrielle
- Filière en émergence

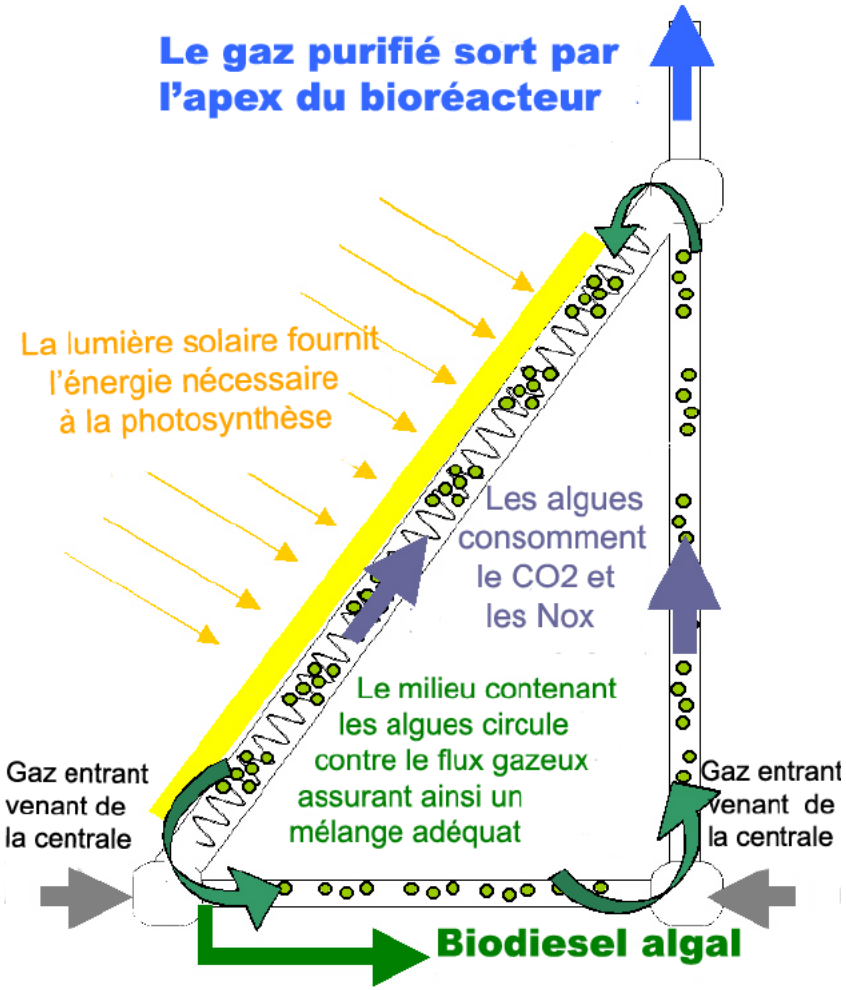
Les marchés : état des lieux

Potentiel diversifié aujourd'hui démontré, nombreux secteurs concernés et en émergence pour la plupart



Le passage à grande échelle est un frein majeur au développement
Le marché de l'énergie et ses enjeux cristallisent les efforts et les défis à relever

Couplage entre une centrale thermique classique et un système de culture de microalgues



O. Danielo, Biofutur, 2004

Green Fuel Corporation, 2004

Vue aérienne de la centrale de cogénération (Cogen) du Massachussets Institute of Technology (MIT) couplée aux bioréacteurs à microalgues de GreenFuel Corporation (en vert sur la photo)

Couplage entre une centrale thermique classique et un système de culture de microalgues

RWE Power

RWE'S ALGAE PROJECT
IN BERGHEIM-NIEDERAUSSEM

Production of micro-algae using power plant flue gases to bind CO_2

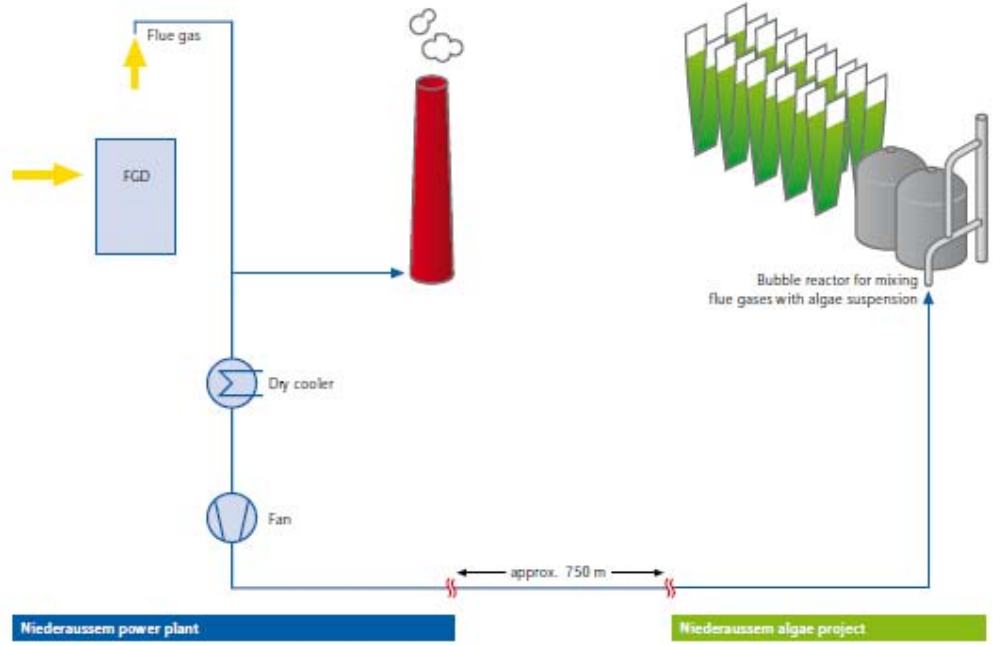


Fig. 2: Schematic diagram of the flue-gas link-up

- Production de micro-algues en utilisant le CO_2 issu des gaz de combustion et le photobioréacteur de Novagreen
- Surface éclairée d'environ 600 m2 en monoculture de *Nannochloropsis* en milieu salin

Couplage entre une centrale thermique classique et un système de culture de microalgues

Algae project data	
Cooperation partners in the algae project	• RWE Power AG • Jacobs University Bremen • Forschungszentrum Jülich GmbH • Phytolutions GmbH
Contractors	• Bong, gardening firm • Novagreen Projektmanagement GmbH, Vechta, algae reactors
Location of the algae project	• Bergheim-Niederaussem, in immediate vicinity of RWE's Niederaussem power plant • Pilot plants at Jacobs University Bremen and the Jülich Research Centre
Link-up to power plant	750 m flue-gas pipe with compressor
Max. area of photobioreactors	Approx. 1,000 sq.m.
Expected production	Approx. 6 t/a dry algae mass (on 600 sq.m.)
Expected CO_2 binding	Approx. 12 t/a from power-plant flue gases (on 600 sq.m.)
Term for overall project	3 years
In operation since	2008

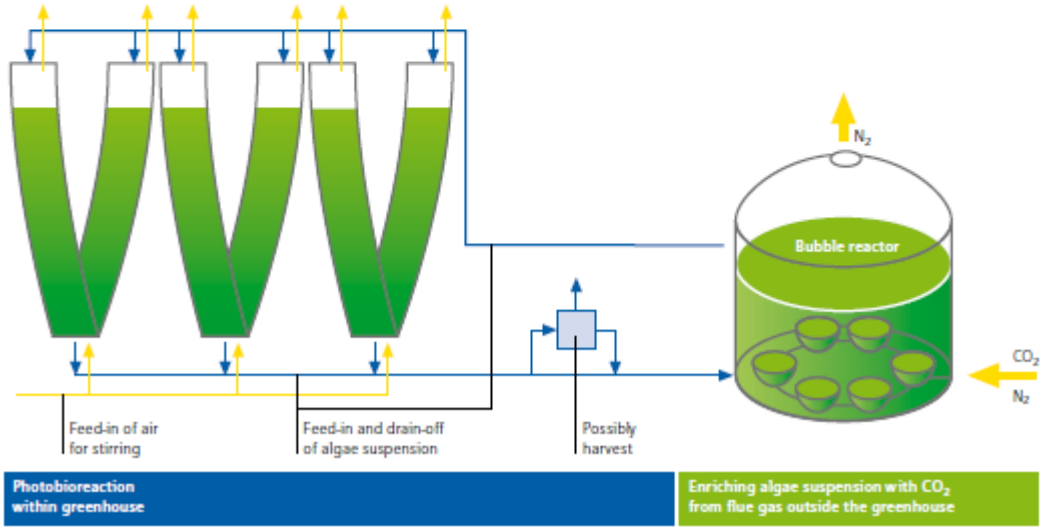


Fig. 4: Process diagram of photobioreactor with bubble reactor

Le CO_2 est absorbé jusqu'à saturation par la suspension cellulaire.
Le système peut produire jusqu'à 6000 kg d'algues par an ce qui correspond à l'absorption de 12.000 kg de CO_2.

Berlin, juin 2010

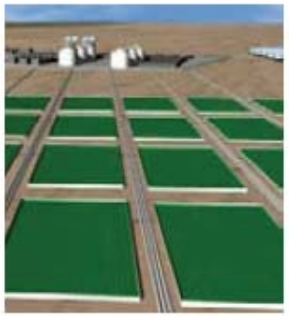
FIRST FLIGHTS WORLDWIDE
WITH PURE BIOFUEL FROM ALGAE

An **eCO_2avia** by EADS INNOVATION WORKS Project

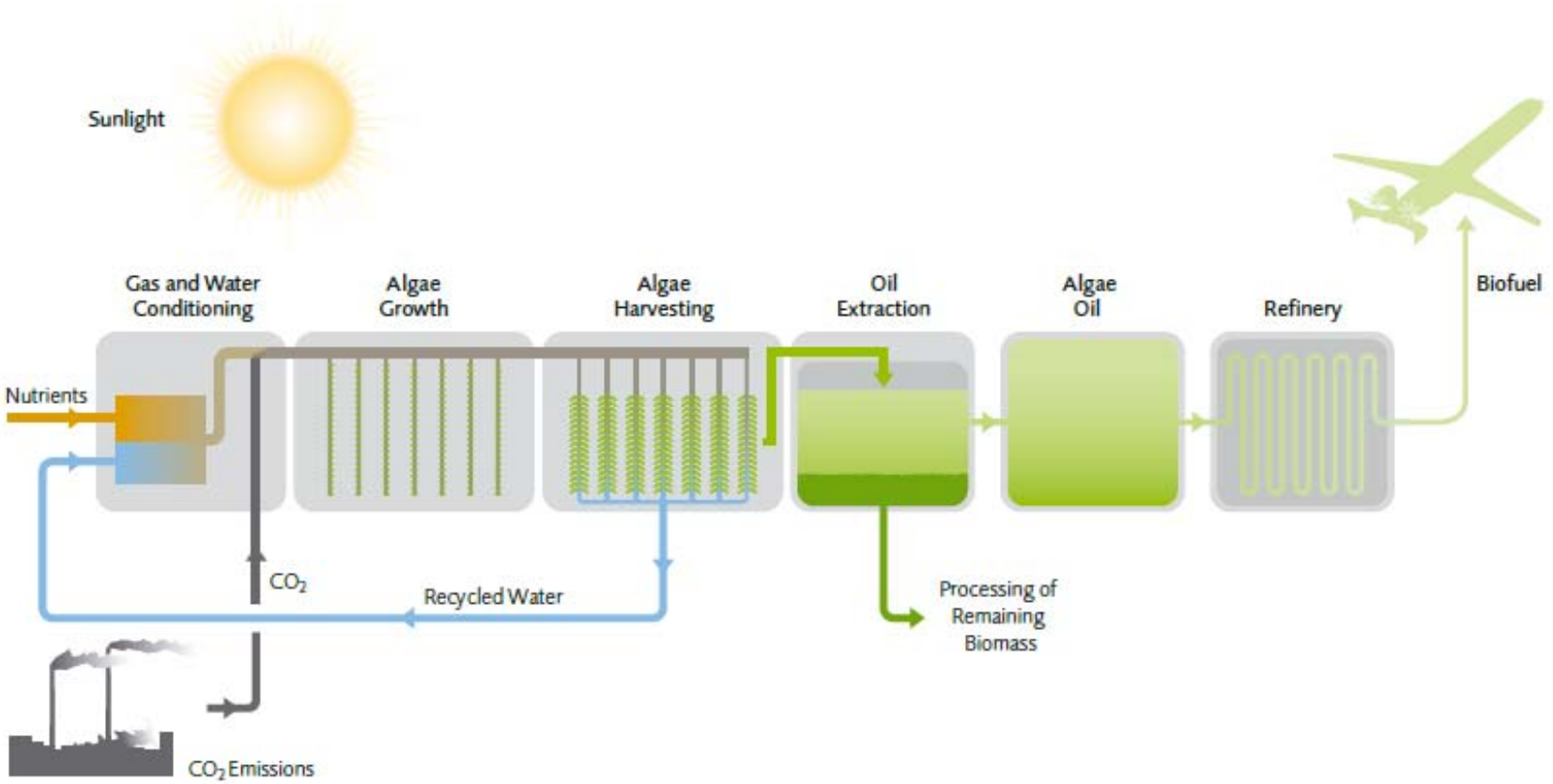
THE CULTIVATION **OF MICROALGAE**

Series-production photobioreactors from IGV GmbH are used to reproduce and grow microalgae. In the future, the same technology can be used to build larger facilities for the large scale production of algae biomass for biofuel. Biocombustibles del Chubut S.A. in Argentina is working with a combination of photobioreactors and ponds with a transparent roof, a promising solution for good algae yields where climatic conditions permit such installations.

Cost is an important factor – currently it is significantly more expensive to produce oil from algae in comparison to sourcing crude oil. If algae-based fuel is to be able to compete with kerosene, research and development work must aim to establish a cost-effective mass production of algae biofuels using industrial quantities of carbon dioxide.



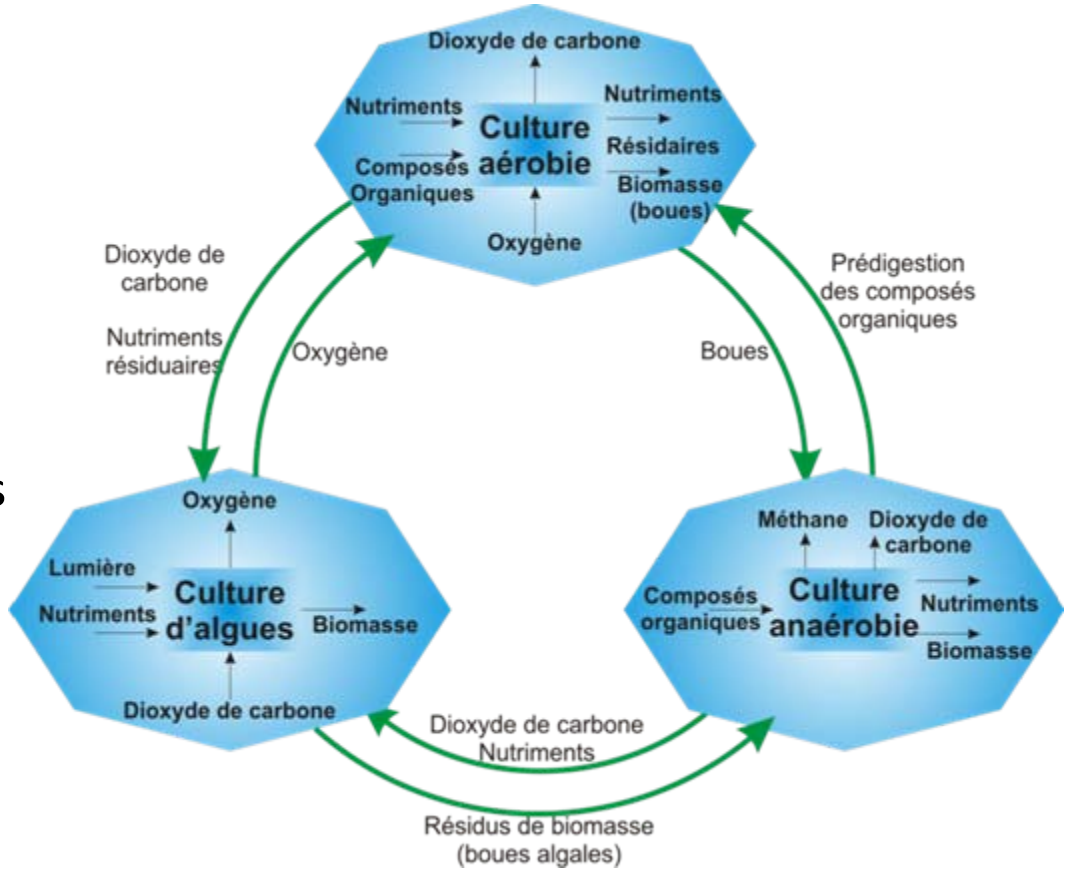
L'alternative « Microalgue » pour la production de bioénergies



Cultures d'algues et traitement des eaux résiduaires urbaines

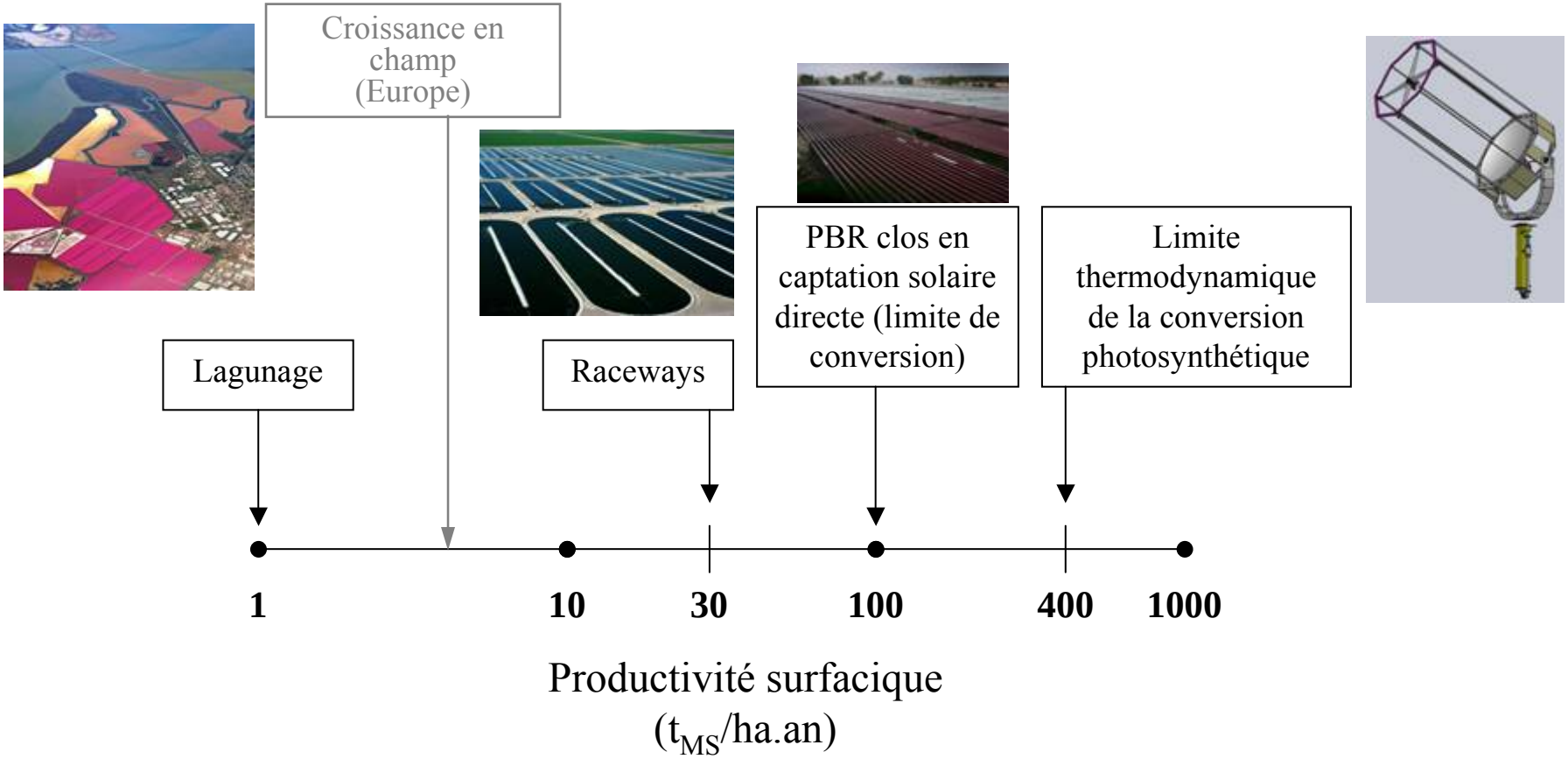
- Les eaux résiduaires urbaines traitées et rejetées dans le milieu naturel sont chargées en <u>azote et phosphore</u>

- Utiliser les eaux usées pour cultiver des microalgues valorisables au sein des stations d'épuration en conditions contrôlées



Biodiesel – coproduit du traitement des eaux

Positionnement des technologies solaires de production de biomasse végétale



	Microalgues	Plantes C4 (sorgho, maïs,…)	Plantes C3
Productivité maximale ($T.ha^{-1}.an^{-1}$)	**100**	**60**	**30**
Productivité observée ($T.ha^{-1}.an^{-1}$) Photobioréacteurs Champ	**50-70**	**10-30**	**10-15**

Source : ANR Biosolis

Comparaison des différentes technologies de photobioréacteurs

Actuel

Solution Bioénergie ?

Systèmes / Paramètres	Systèmes solaires		Systèmes artificiels
	ouvert	fermé	fermé
Risque de contamination	très élevé	élevé sauf pour les espèces extrêmophiles	très faible
Volume	de 0.1 à 10^6 m^3	de 0.1 à 700 m^3	limité à 0.1 – 0.4 m^3 actuellement
Rapport S/V	de 1 à 8 mais nécessité de grands espaces	de 20 à 100	de 5 à 600
Evaporation	très élevée	nulle	nulle
Perte en CO_2	élevée	faible	contrôlable à 0
Variabilité des espèces cultivées	estreinte à quelques espèces extrêmophiles	la plupart des espèces extrêmophiles	toutes les espèces
Flexibilité de la production	presque impossible	sans problème	totale
Reproductibilité des paramètres de production	fonction des conditions extérieures	possible avec certaines tolérances	parfaite
Contrôle du procédé	aucun : problèmes d'agitation, de température, de pH…	basique	rigoureusement contrôlé
Etalonnage	impossible	possible	possible
Stérilisation	impossible	impossible	éventuellement stérilisable
Eclairement	dépendance totale aux conditions climatiques	dépendance totale aux conditions climatiques	possibilité d'éclairement en continu mais la source lumineuse est gourmande en énergie
Transfert gaz-liquide	limité	très limité	bon
Concentration en biomasse	0.1 à 0.2 g L^{-1}	2 à 8 g L^{-1}	jusqu'à 10 g L^{-1}

Impossible d'utiliser des souches dédiées

Conditions non optimisées

Faible productivité, coût de récolte

Source : Jack Legrand, *Séminaire « La biomasse végétale pour la production d'énergie »*, Paris 2007

Photobioréacteurs solaires fermés

- Systèmes tubulaires, plans (agitation par « airlift »)
- Peu d'exemples, peu de recul en comparaison des systèmes ouverts
- Besoin de franchir encore un palier en performances pour être rentable :
  - Maitrise de la production - contrôle des conditions de culture à grande échelle
  - Exploitation des flux solaires
  - Consommation énergétique
  - Gestion des intrants - sortants

Marge importante pour l'intensification (non permise par les systèmes ouverts)

<u>Principales limitations</u> :

-Installation plus onéreuse et délicate à mettre en œuvre : rupture nette en termes de performances nécessaire

-Limitation par rapport aux transferts de gaz (tubes)

-Problèmes de régulation à grande échelle (pH, température)

La lumière comme contrainte spécifique de conception

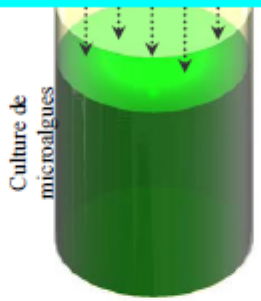
Lumière forcément extérieure à la culture
+
Pigmentation des microorganismes **photoautotrophes**

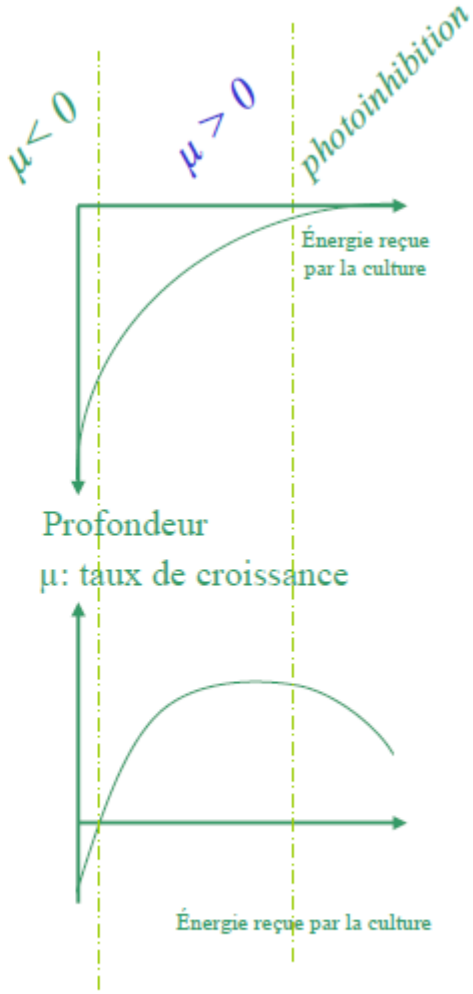
Milieu hautement absorbant

Lumière atténuée au passage de la culture
→ distribution hétérogène dans le procédé

Réponse biologique à la lumière complexe (très forte dépendance)
Besoins biologiques élevés en énergie lumineuse

Éclairage de la culture CO2





La lumière apparaît comme le facteur limitant principal des photobioréacteurs

Projet BIOSOLIS : développement de photobioréacteurs solaires intensifiés en vue de la production à grande échelle de microorganismes photosynthétiques

Technologie à haute productivité volumique et surfacique à captation-dilution (photobioréacteur DiCoFluv)

- Une conception en rupture technologique, qui concilie au mieux les contraintes par **captation et dilution contrôlée du flux lumineux en volume** (DiCoFluV). Ce principe de photobioréacteur permet de tendre vers les hautes productivités en surface et en volume en **améliorant le rendement thermodynamique de conversion du flux capté** (l'optimum thermodynamique de conversion de la photosynthèse donnant 400t/ha/an)

- Technologie à haute productivité volumique et captation directe en couche mince (photobioréacteur AlgoFilm)

  - Ce principe de fonctionnement permettant **d'atteindre la limite de conversion en surface sous éclairage direct (100t/ha/an environ)** apporte également une très **forte productivité volumique et donc une récolte avec très forte concentration en biomasse (>10g/l)** pour diminuer les coûts de fonctionnement et de traitement aval du procédé de production

http://www.biosolis.org/presentation.html

Résolution d'un cas concret

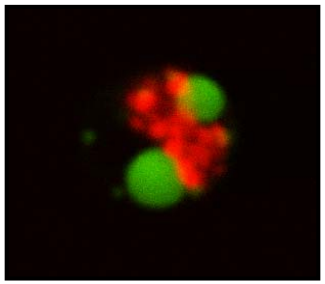
Calcul des surfaces et volumes nécessaires pour la <u>séquestration d'une tonne par jour de CO_2</u>

Type de Système	q_o (µmoles photons/m².s)	V (m³)	S (ha)	Biomasse maximale atteinte (kg/m³)
Végétaux supérieurs - Plein champ (moyenne Europe)	400	Non significatif	37	Non significatif
PBR actuels extensifs et solaires (données de la littérature)	400	2500	2,5	0,1 à 0,5
PBR intensifié en couche mince	400	250	2,5	2,3
PBR avec distribution interne de la lumière (limite thermodynamique, réacteur idéal)	Capture à 560 et utilisation à 15-20	250	0,5-0.6	15

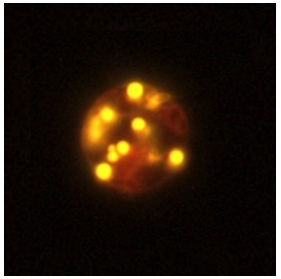
- Captation directe/plein champ : Gain d'un facteur 10-15 en surface
- Couche Mince/PBR actuels : Gain d'un facteur 10 en volume
- Captation-dilution/Couche mince : Gain d'un facteur 4-5 en surface

Par rapport à la culture plein champ, les enjeux et les gains attendus sont à la hauteur de la rupture technologique…mais au maximum 2 ordres de grandeur !

Potentiel pour la production de biodiesel et verrous



Neocholoris oleoabundans



Chlamydomonas reinhardtii

Certaines microalgues accumulent jusqu'à 60% de leur poids sec en lipides

	Microalgues	Plantes C4	Plantes C3
Productivité maximale ($T.ha^{-1}.an^{-1}$) Rendement photosynthétique	**150-180** ~6 - 7.5 %	**60** ~2.5 %	**30** ~1.25 %
Productivité observée ($T.ha^{-1}.an^{-1}$) Photobioréacteurs Champ	**50-70**	**10-30**	**10-15**
Productivité en lipides potentielle ($T.\ ha^{-1}.an^{-1}$)	**75-90**		
Productivité en lipides observée ($T.\ ha^{-1}.an^{-1}$)	**15-20**	**3**	**1.5**
Coûts de production ($\$.kg^{-1}$)	**0.4 - 40**	**0.04**	**0.04**

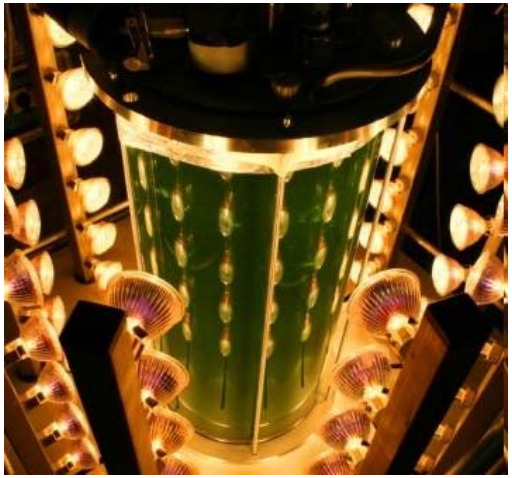
Verrous Biologigues

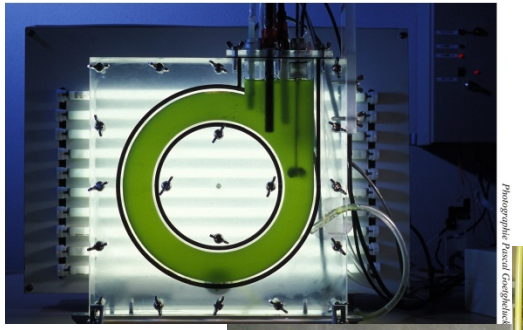
Verrous Technologiques

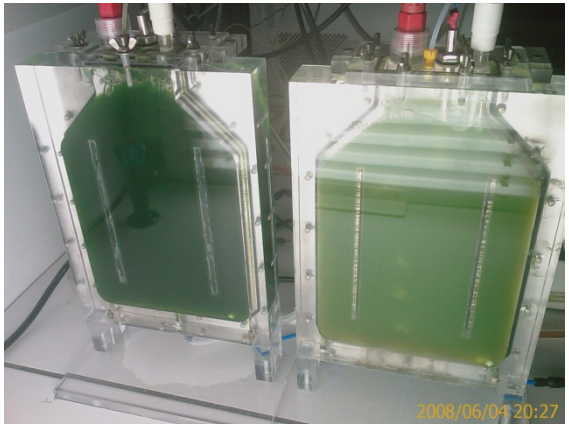
Les différents systèmes de culture de microalgues

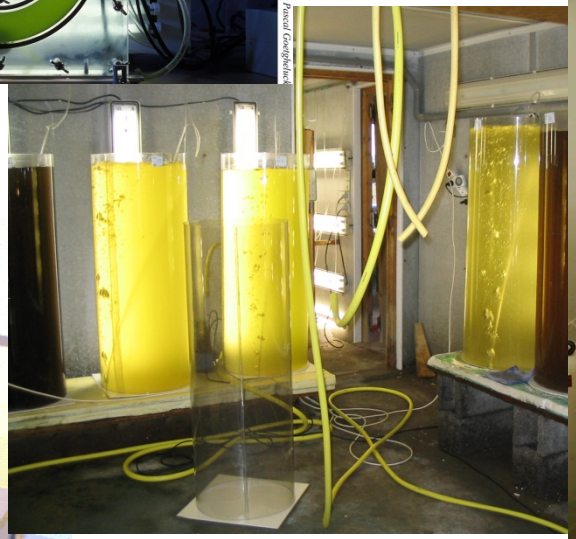
Production en lumière artificielle

- Production très contrôlée
- Haut niveau d'intensification
- Capacité de production réduite

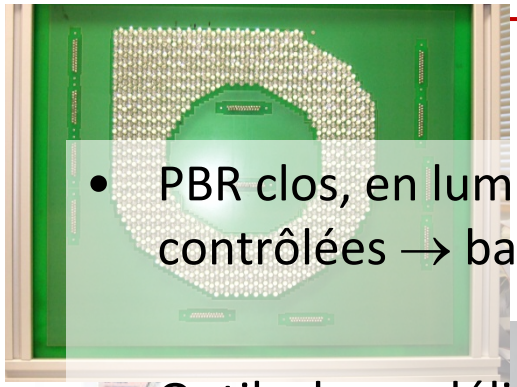






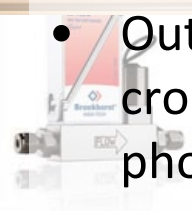


Intérêt de la modélisation et des expérimentations en milieu contrôlé



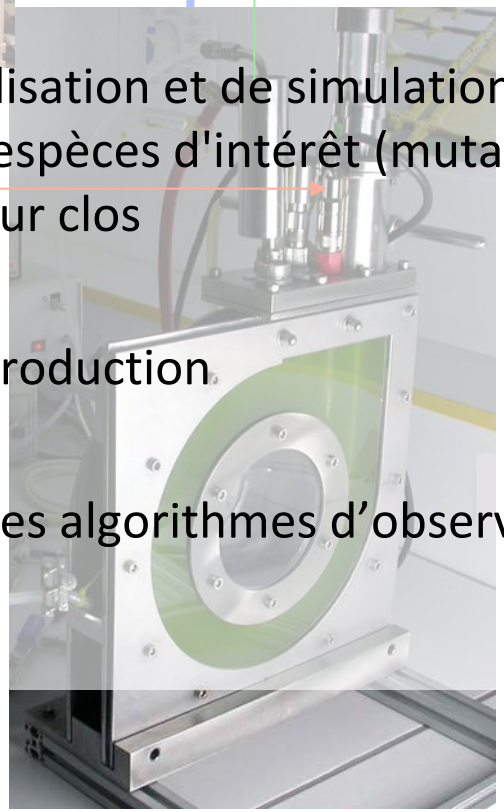
pH, Temperature, oxygène dissout, débit et composition de gaz

- PBR clos, en lumière artificielle → conditions de culture parfaitement contrôlées → base de données expérimentales



Debitmètre massique N_2

- Outils de modélisation et de simulation, permettant de caractériser la croissance des espèces d'intérêt (mutants) dans l'environnement d'un photobioréacteur clos



- Protocoles de production

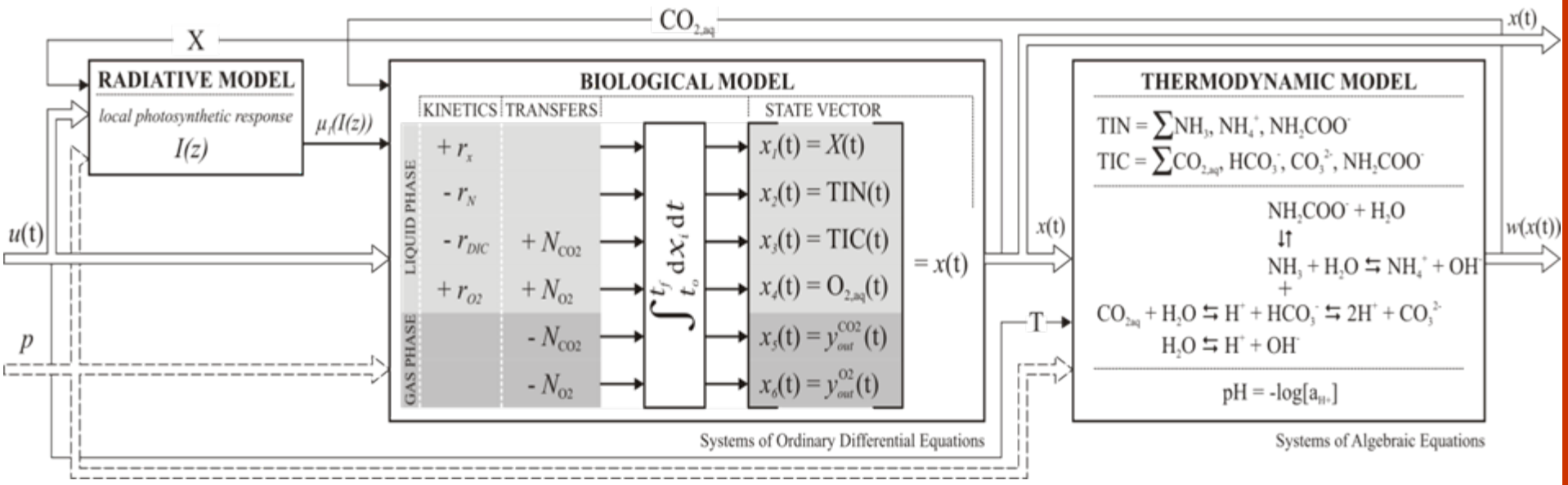
Debitmètre massique CO_2

- Mise au point des algorithmes d'observation et de commande

Mesure en ligne par spectrometrie de masse (H_2, O_2, CO_2 and N_2)

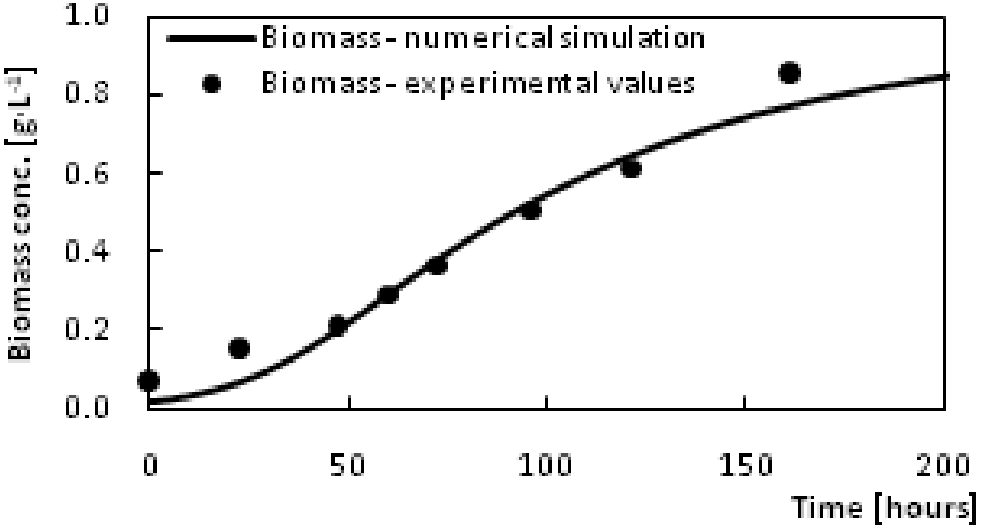
Modélisation mathématique d'un photobioréacteur

- 3 sous-systèmes :
  - 1 : caractérisant le transfert de lumière en photobioréacteur
  - 2 : caractérisant le comportement du microorgansime
  - 3 : caractérisant le milieu de culture : équilibres physico-chimique

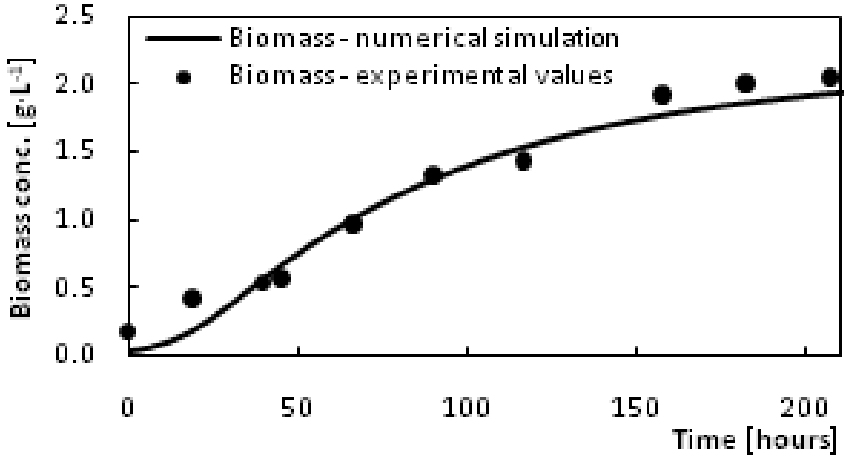


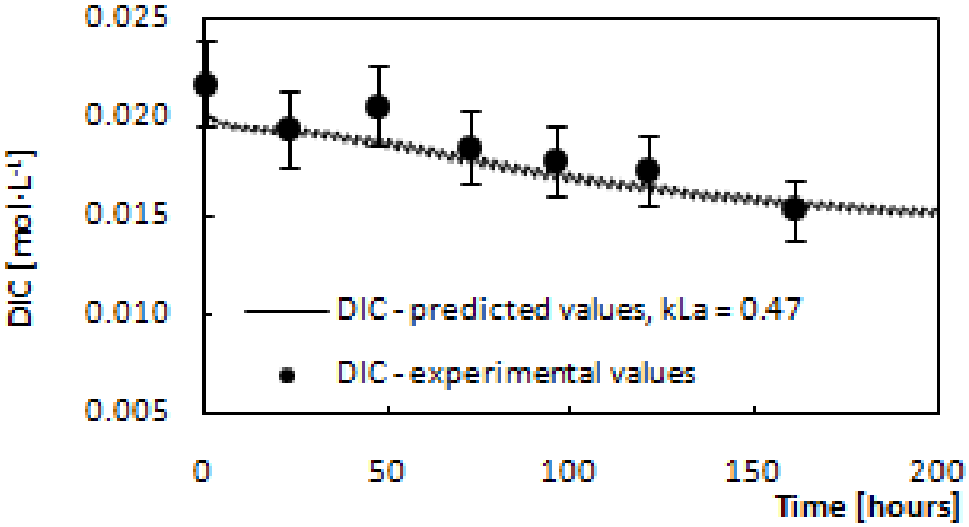
Model vs. Données Expérimentales

110 µmol·m^{-2}·s^{-1}

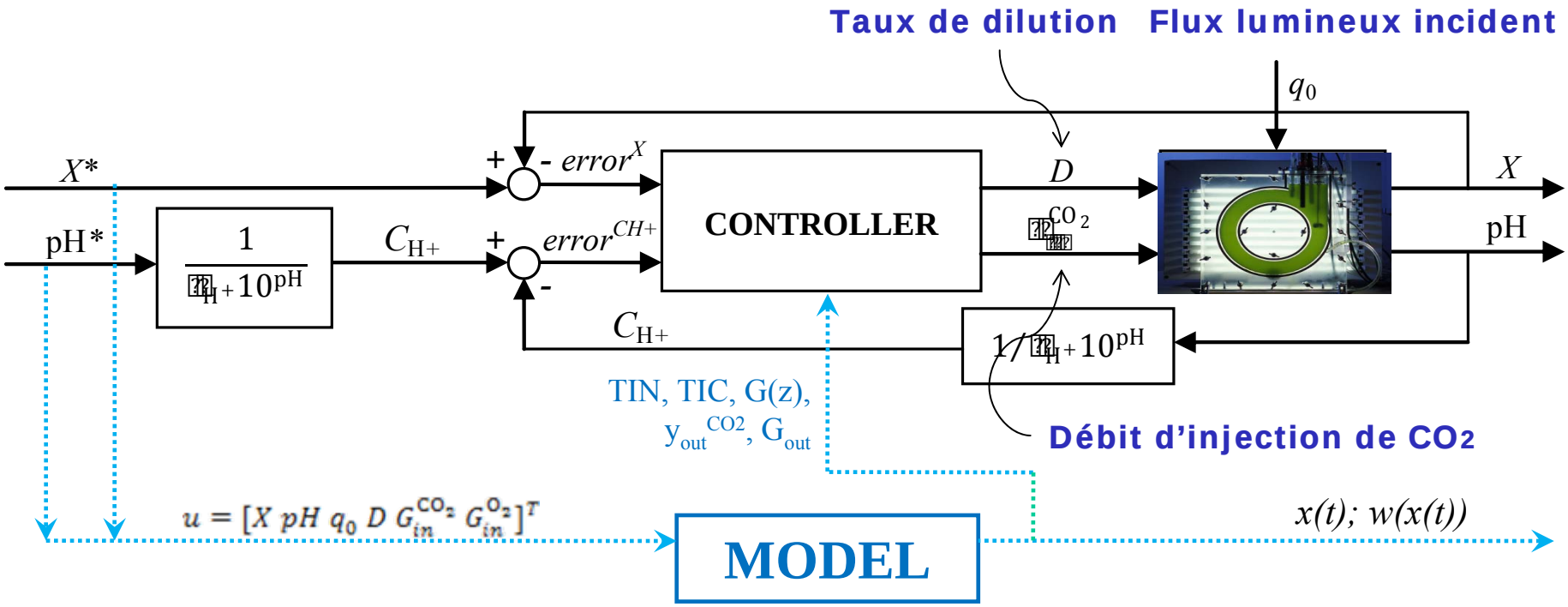


300 µmol·m^{-2}·s^{-1}





Algorithmes de commande basés sur le modèle



Variables de contrôle :

-Taux de dilution

-Débit d'injection de CO_2

Variables contrôlées :

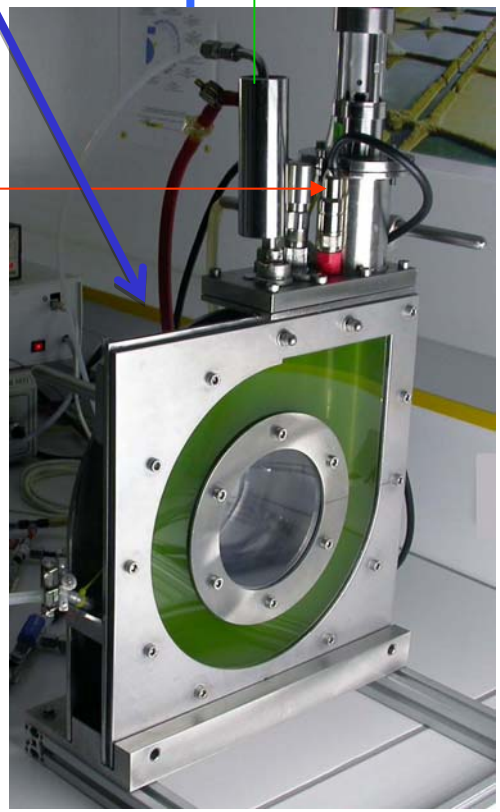
-Concentration en biomasse
-pH

Implémentation pratique

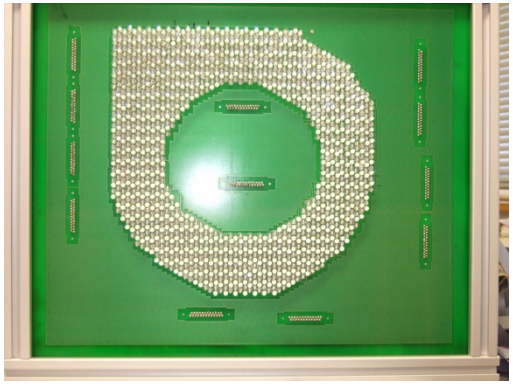
pH, Temperature, oxygène dissout, débit et composition de gaz

Debitmètre massique N_2

Debitmètre massique CO_2

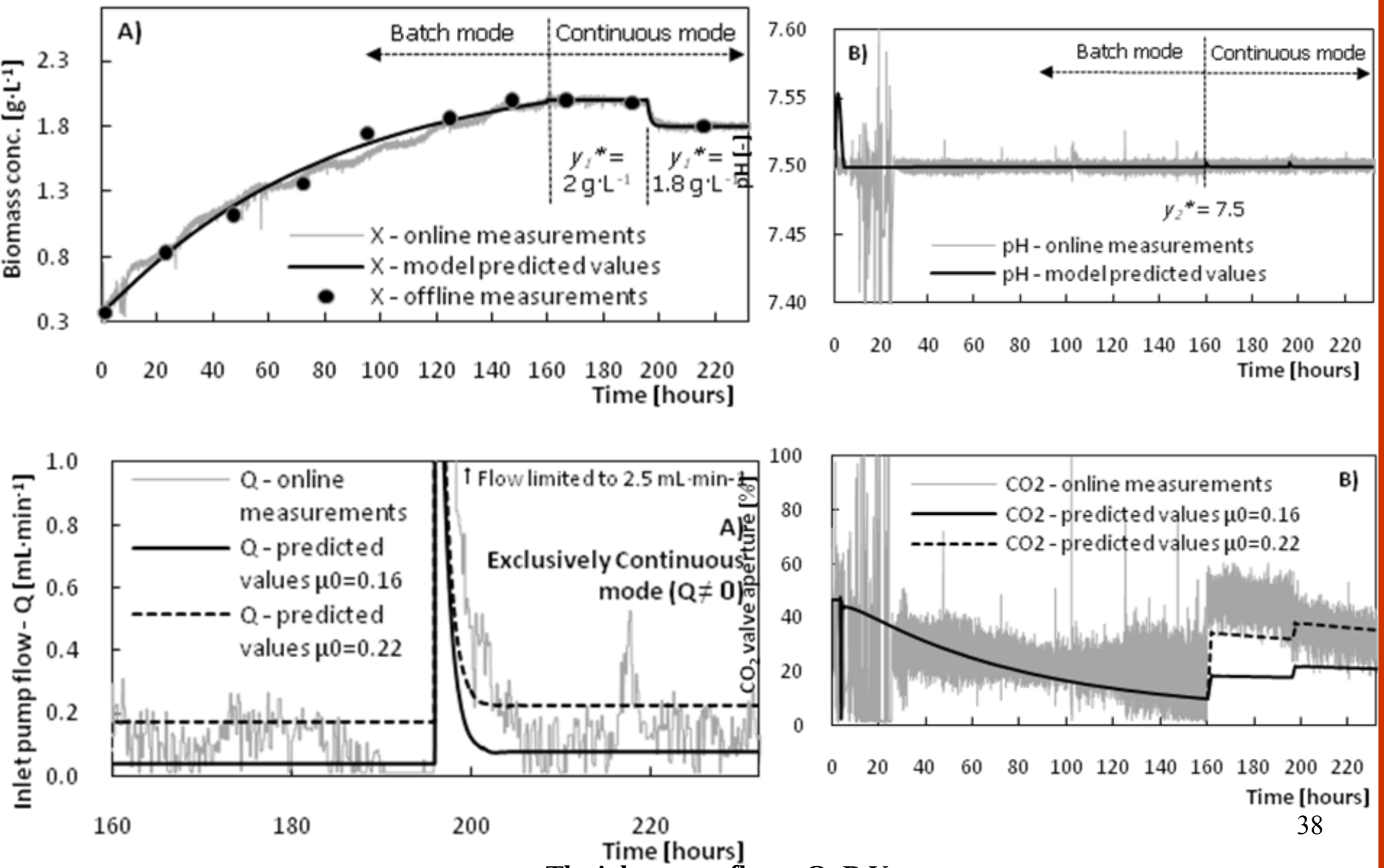


Source de lumière



Mesure en ligne par spectrometrie de masse (H_2, O_2, CO_2 and N_2)

Implémentation pratique



The inlet pump flow – Q=D·V

Etude, optimisation et modélisation

de la production autotrophe d'hydrogène

par *Chlamydomonas reinhardtii*

en photobioréacteur

Production autotrophe d'hydrogène par *Chlamydomonas reinhardtii* en photobioréacteur

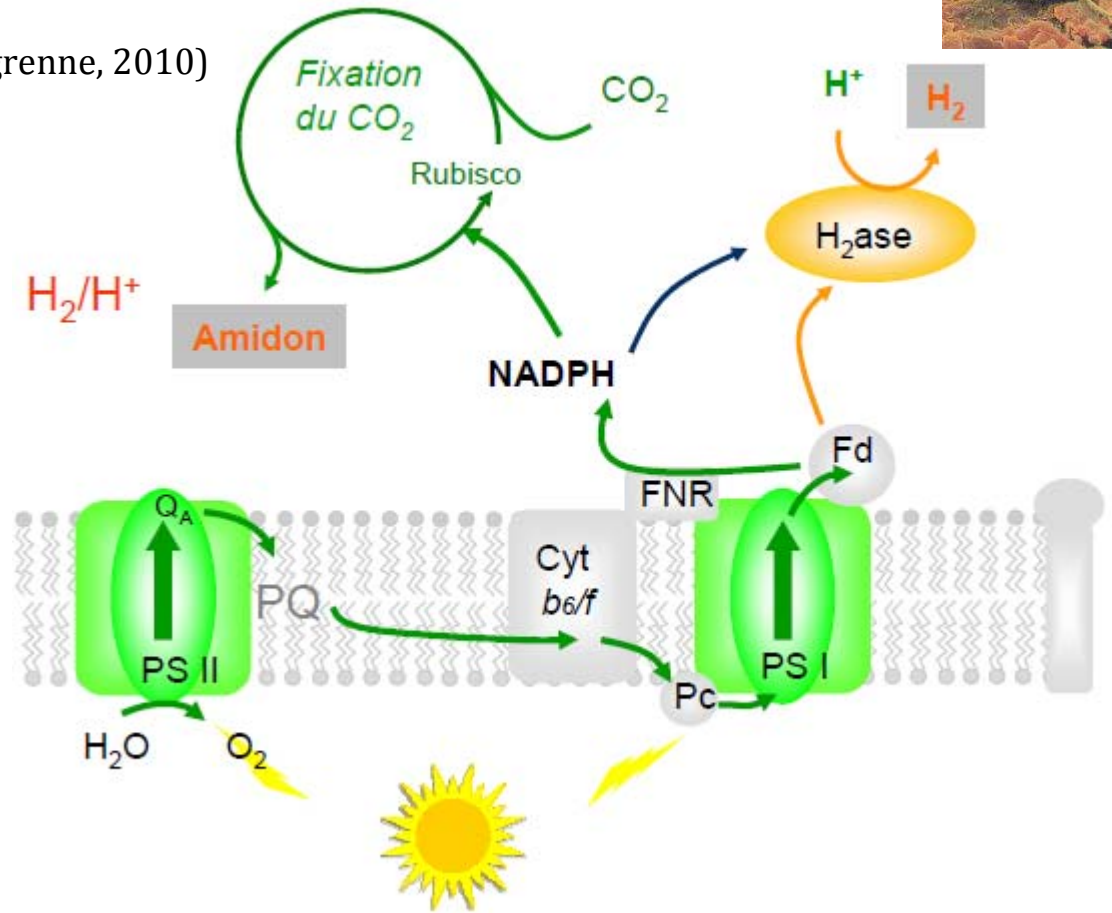
2 voies de production (Degrenne, 2010)

Voie PS II dépendante

Photolyse de l'eau

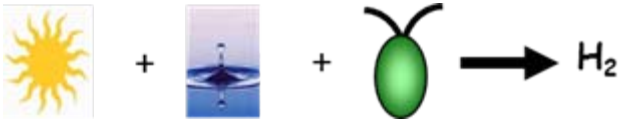
Voie PS II indépendante

Dégradation de carbohydratés



Enzyme [Fe]-hydrogénase inhibée par O_2 ⟶ nécessité anoxie

Production d'hydrogène par *Chlamydomonas reinhardtii* en photobioréacteur



1. Production d'H_2 en présence de lumière
2. Hydrogénase très sensible à l'oxygène ➔ nécessité de travailler en **conditions anaérobiques** (anoxie)
3. Production d'hydrogène maximale si les deux voies de production sont actives ➔ **Nécessité d'accumuler des réserves carbonées**

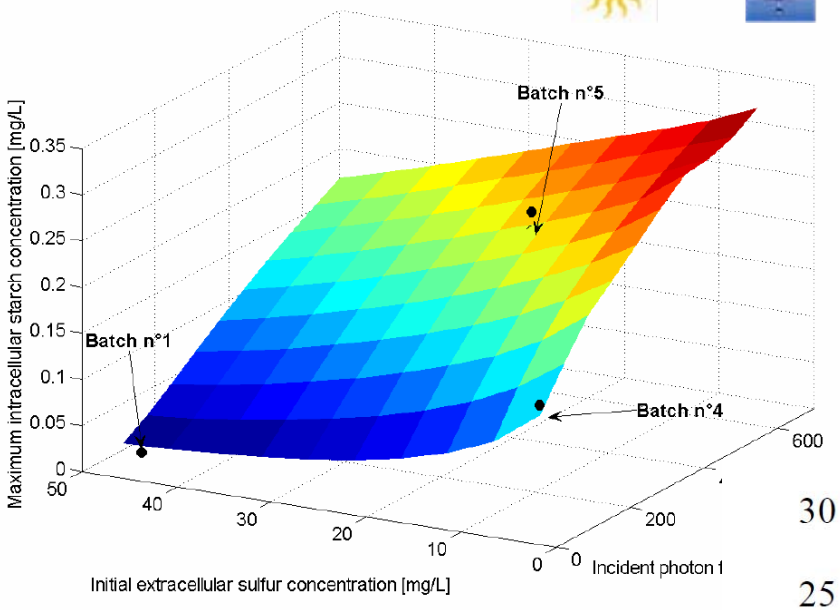
Protocoles de production de H_2 en photobioréacteur en 2 voir 3 phases:

Croissance photosynthétique

Accumulation d'amidon – Passage en anoxie

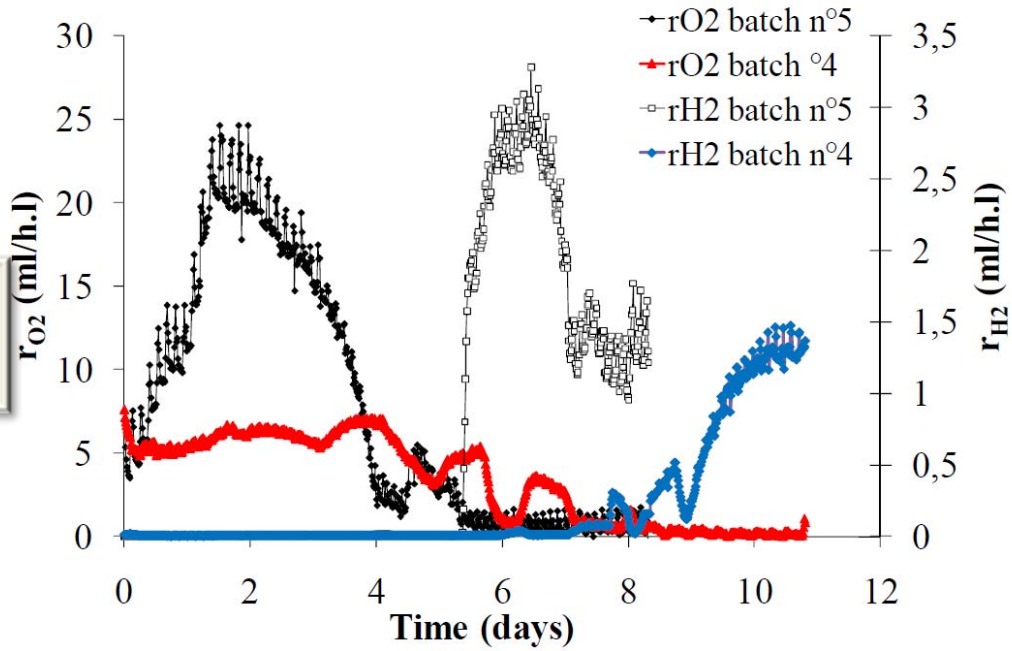
Production d'H_2

Protocole de carence en soufre en autotrophie – Modélisation et optimisation



Recherche de conditions opératoires optimisées (flux incident, concentration initiale en S) : maximisation de la biomasse, du niveau de réserve en amidon

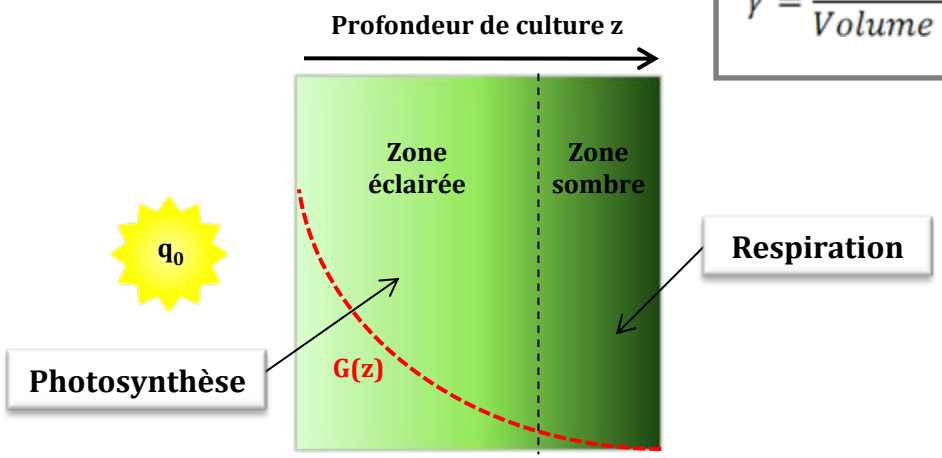
Application des conditions dans le PBR torique : production optimisée d'H_2 en autotrophie



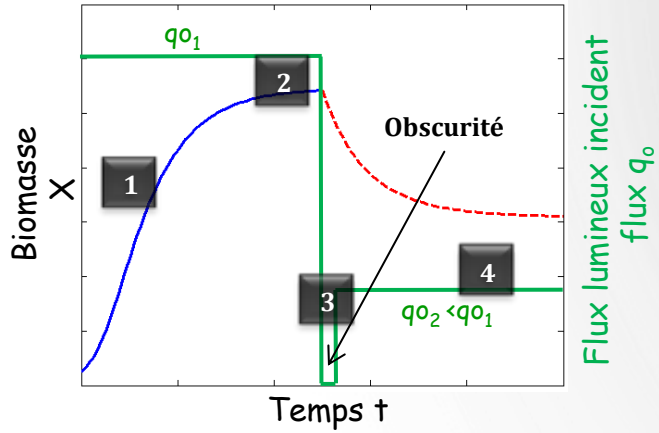
Mise en anoxie par contrôle de la fraction éclairée (Degrenne 2010)

Fraction volumique éclairée du photobioréacteur :

$$\gamma = \frac{Volume\ éclairé}{Volume\ de\ culture}$$



Protocole d'hypoxie :



1 : phase de croissance

2 : croissance photolimitée
⇒ Respiration = Photosynthèse

3 : induction de l'anoxie,
⇒ Hydrogénase exprimée

4 : réduction du flux incident
⇒ Respiration > Photosynthèse

Etude du protocole autotrophe de mise en anoxie à la lumière

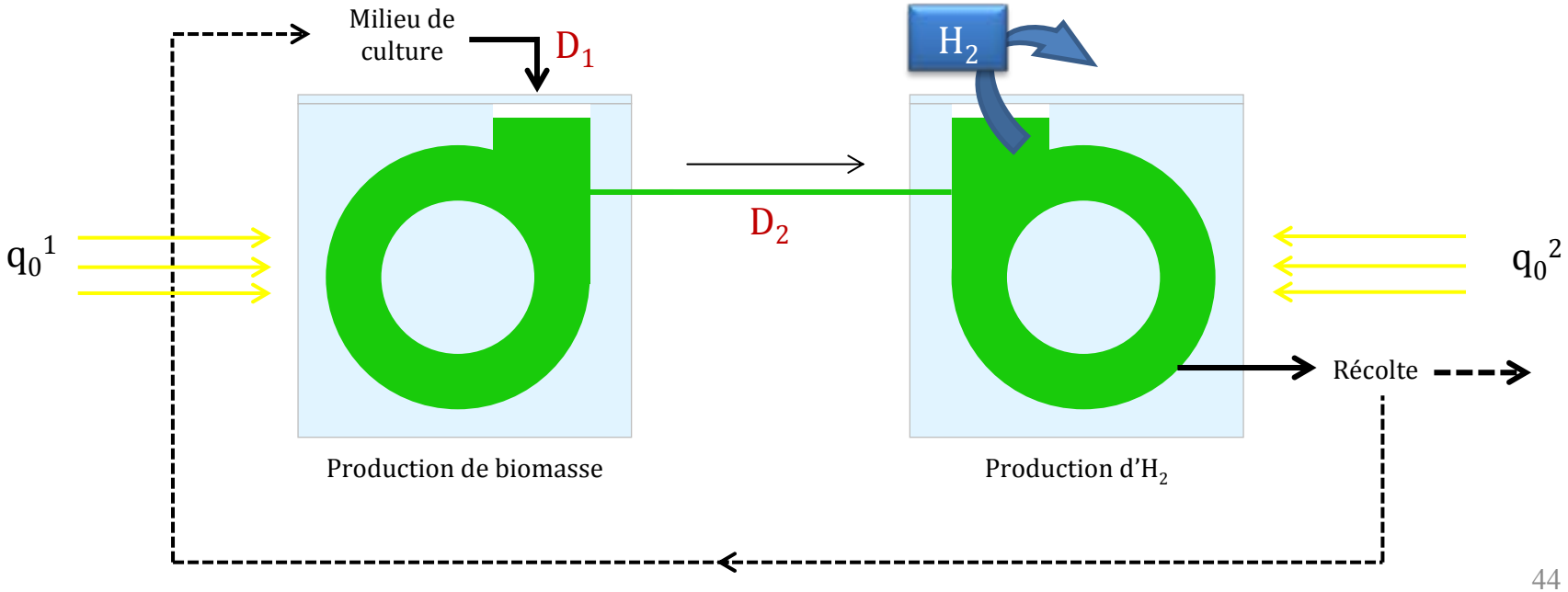
1) Mise en place d'un procédé bi-étagé en vue d'une production en continue

Conditions contrôlées :

- Flux lumineux incidents
- Taux de dilution
- Apport en nutriments
- pH, température, agitation
- Chémostat / turbidostat

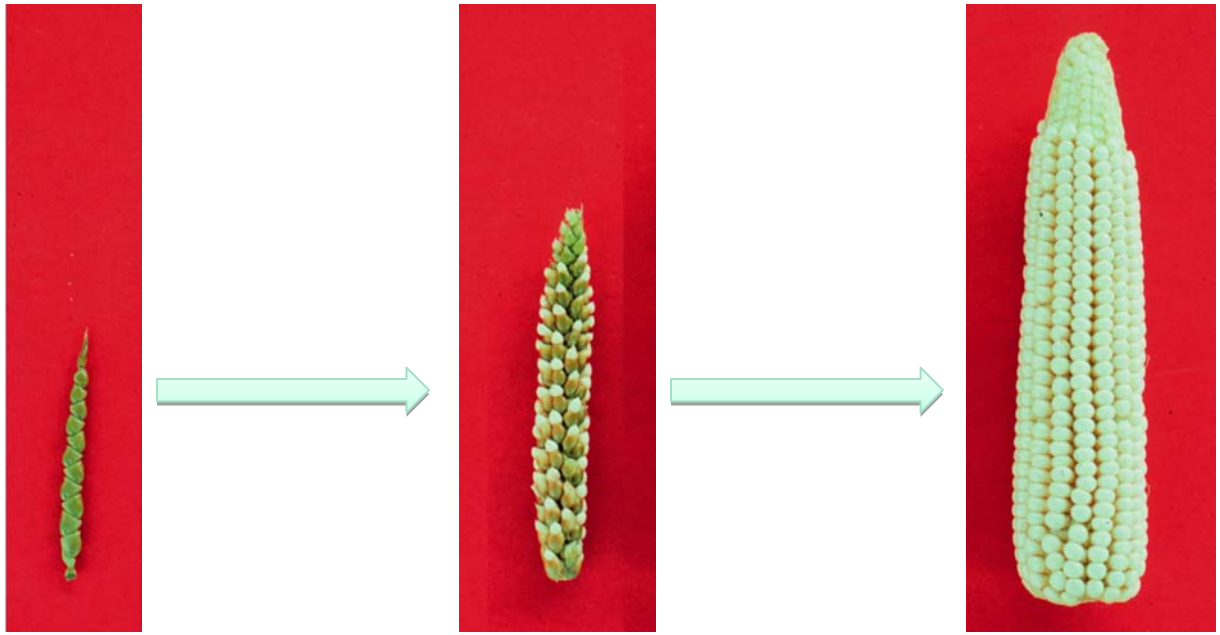
Mesures en ligne :

- Gaz en sortie (spectre de masse)
- Biomasse (sonde optique)
- Oxygène dissous
- Potentiel redox
- pH, température



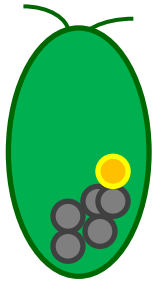
Conclusions et Perspectives

Rechercher-sélectionner des souches dédiées



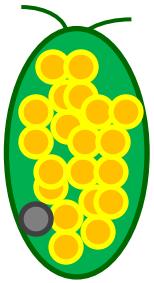
Téosinte 7,000 à 10,000 ans Maïs

Huile
Amidon



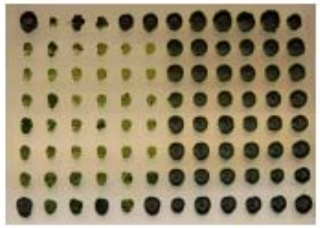
Biodiversité, génomique, génétique

Biotechnologie
10-20 ans ?



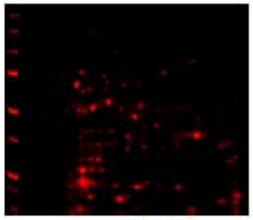
Emergence d'une approche intégrée: Biologie des systèmes

ANR ALGOMICS

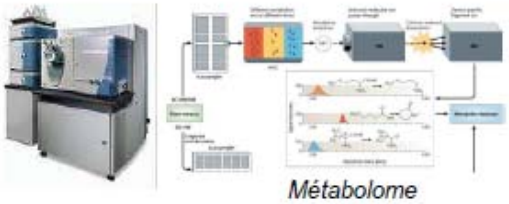


Banque de mutants de microalgues pour criblage

Transcriptome



Protéome



Métabolome

Obtention de mutants
-conversion photosynthétique
-stockage de l'énergie (lipides, hydrates de carbone)

↓

Caractérisation par des approches combinées
-physiologie, transcriptomique, protéomique, métabolomique
-modélisation

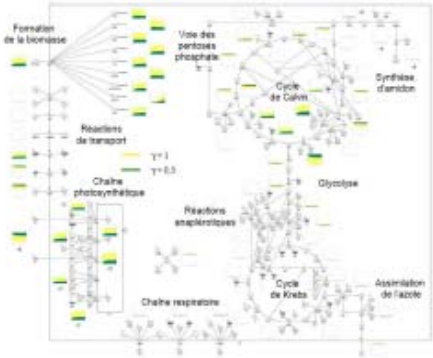
↓

Identification des points de contrôle métaboliques

↓

Stratégies d'optimisation (sur-expression, inactivation de gènes, nouvelle mutagénèse dirigée,…)

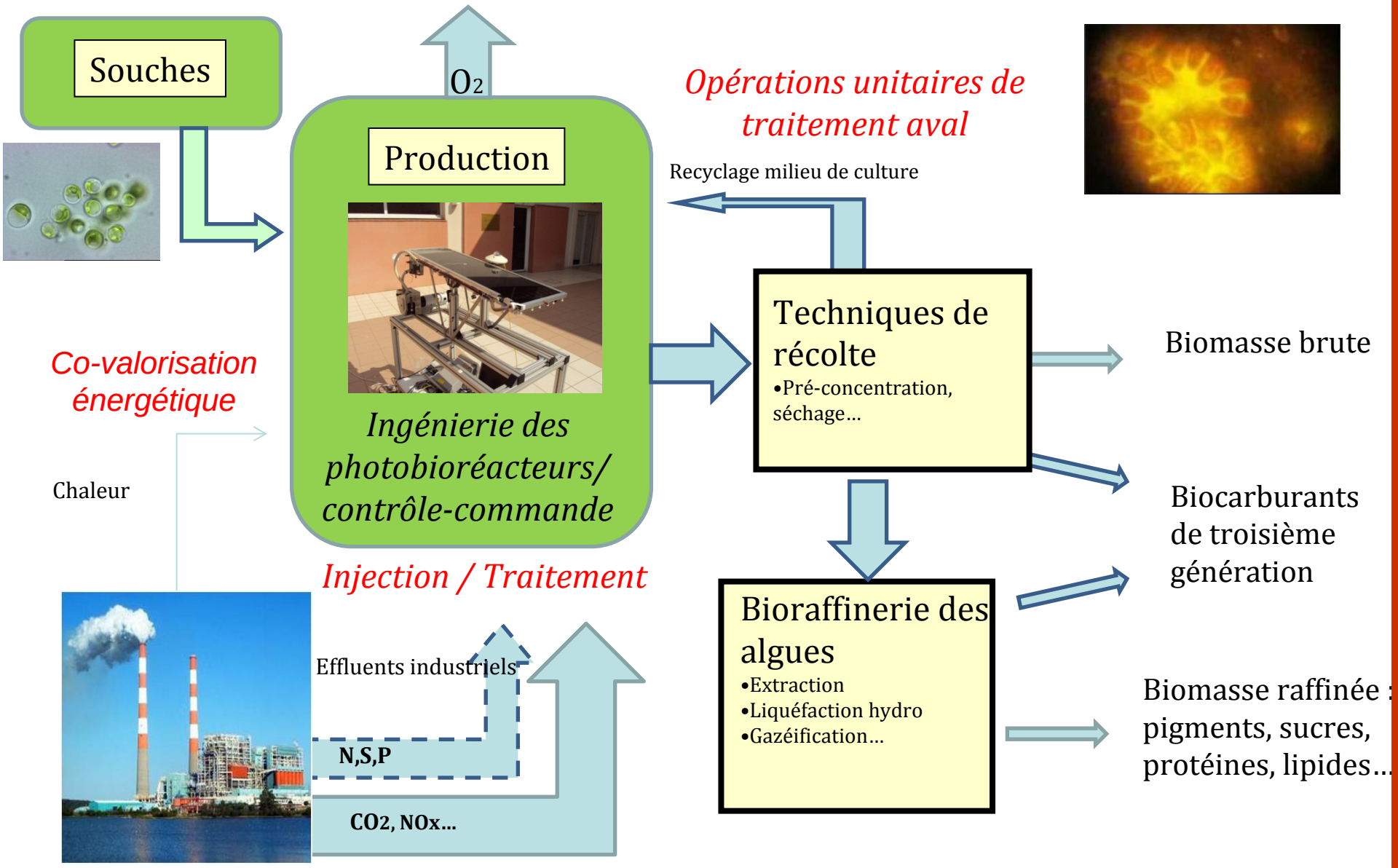
Cultures en chémostats



Modélisation de réseau métabolique

Source : Gilles Peltier, Coordonnateur ANR Algomics

Développer une filière industrielle adaptée et optimisée



Les microalgues : une bioressource nouvelle à fort potentiel…

- *Applications industrielles existantes mais ciblées*
- *Possible réponse à plusieurs défis de notre avenir : alimentaire (protéines), énergie, environnement*

…mais des défis à relever

- *Bioressource très spécifique : microorganismes végétaux en milieu aqueux*

  ➡ Filière industrielle d'exploitation nouvelle

- *Développer une recherche intégrée et pluridisciplinaire : recherche de souches dédiées, optimisation de l'exploitation, mise en place des ruptures technologiques attendues (production, récolte, bioraffinerie…)*
- *Faire émerger et rendre viables des nouveaux marchés*

Je vous remercie pour votre attention

http://www.gepea.fr

Remerciements :
Jack LEGRAND, Professeur
Jérémy PRUVOST, Professeur

Benoit Degrenne, Doctorant
George Ifrim, Doctorant

Ecole thématique « Ingénierie des biosystèmes : de la cellule au procédé »

Du 23 au 26 avril 2012 - Saint-Nazaire

1er thème : Modélisation de la réaction biologique
2e thème : Thermodynamique des réactions biochimiques
3e thème : Dynamique réacteur-réaction
Cas d'étude : Les photobioréacteurs
Valorisation énergétique des micro-organismes

Lieu : Site universitaire de Gavy / CRTT, GEPEA, Bd de l'Université, 44602 Saint-Nazaire Cedex

Inscription préalable obligatoire avant le 30 mars 2012

Contact : mariana.titica@univ-nantes.fr, guillaume.cogne@univ-nantes.fr