



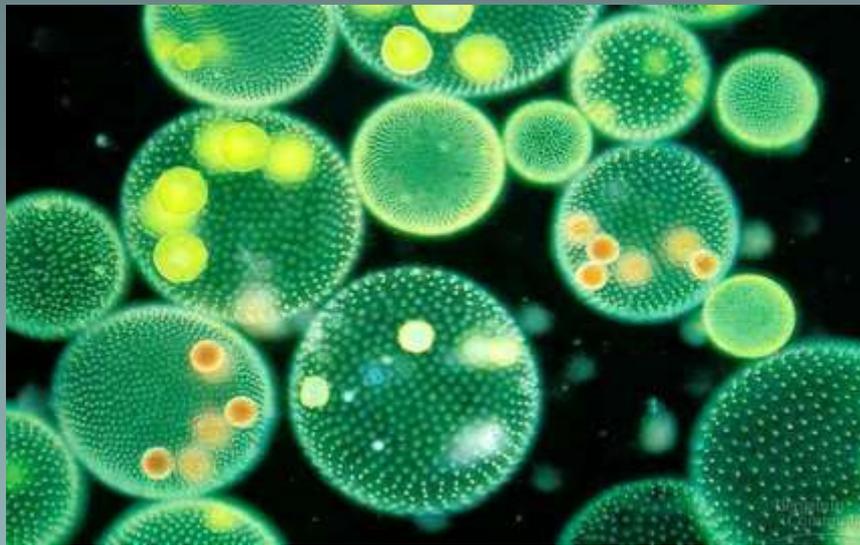
# 4èmes Rencontres académie- industrie du Comité National de la Chimie

## Microalgues : culture et applications

**Jack LEGRAND**

**5 décembre 2024 - Maison de la Chimie**





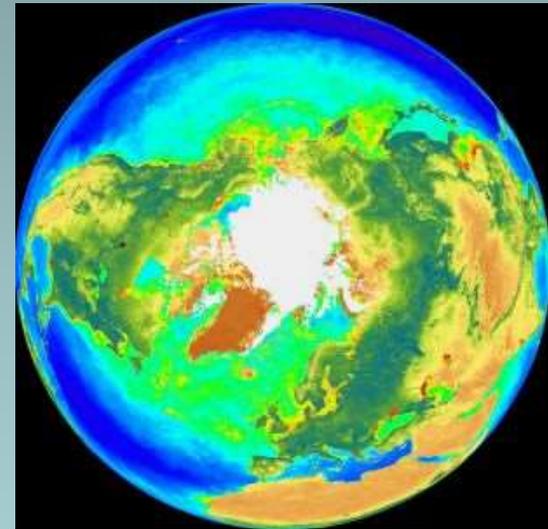
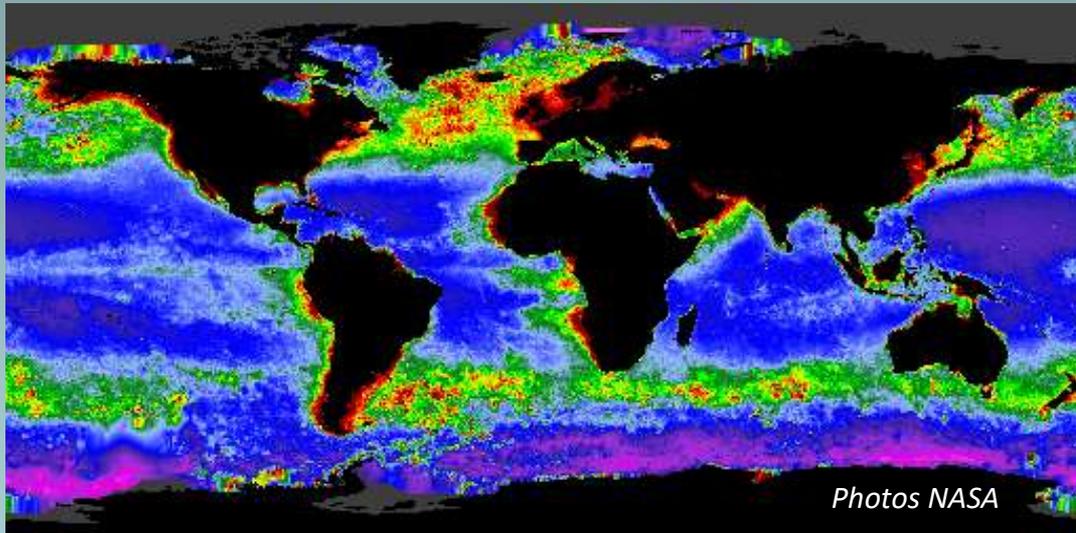
## Microalgues, Cyanobacteries

### Croissance par photosynthèse :

**Milieu entièrement minéral**, sans apport d'un substrat organique (organismes autotrophes), par absorption en milieu aqueux des minéraux nécessaires et du **carbone inorganique** environnant grâce à la **lumière captée** .

# Les micro-algues et les cyanobactéries

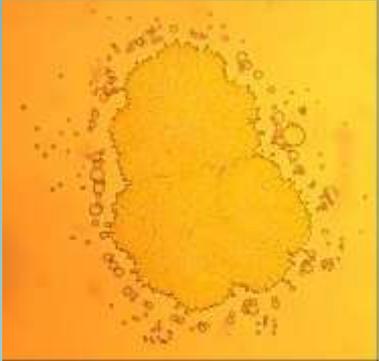
... une biodiversité à peine explorée :  
30 000 espèces décrites  
200 000 à 1 million estimées



**Photosynthèse :** - fixation du  $\text{CO}_2$   
- production d' $\text{O}_2$

# Biodiversité

## ▶ précurseurs de la vie sur terre



*Botryococcus Braunii*



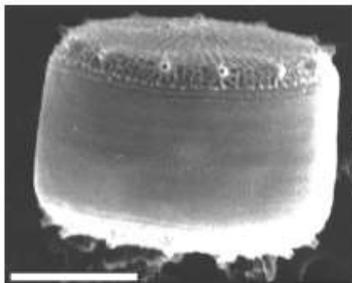
*Euglena*



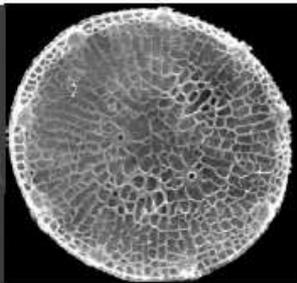
Cyanobacteria



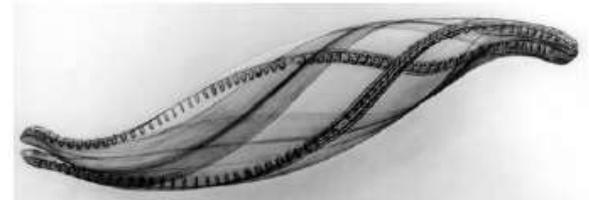
Cyanobacteria



*Thalassiosira pseudonana*



*Phaeodactylum tricornutum*



*Cylindrotheca fusiformis*

# Photosynthèse

- Grande diversité (longue évolution)
- Biochimie très variée
- Vitesse de croissance élevée

- Teneur élevée en **protéines**
- **Carbohydrates** : amidon, sucres, glucose, polysaccharides
- **Lipides** : Glycérols, acides gras saturés ou pas ( $w_3$ ,  $w_6$ ) (de 1 à 70% de la matière sèche)
- **Pigments** : caroténoïdes, phycobiliprotéines

# Photosynthèse



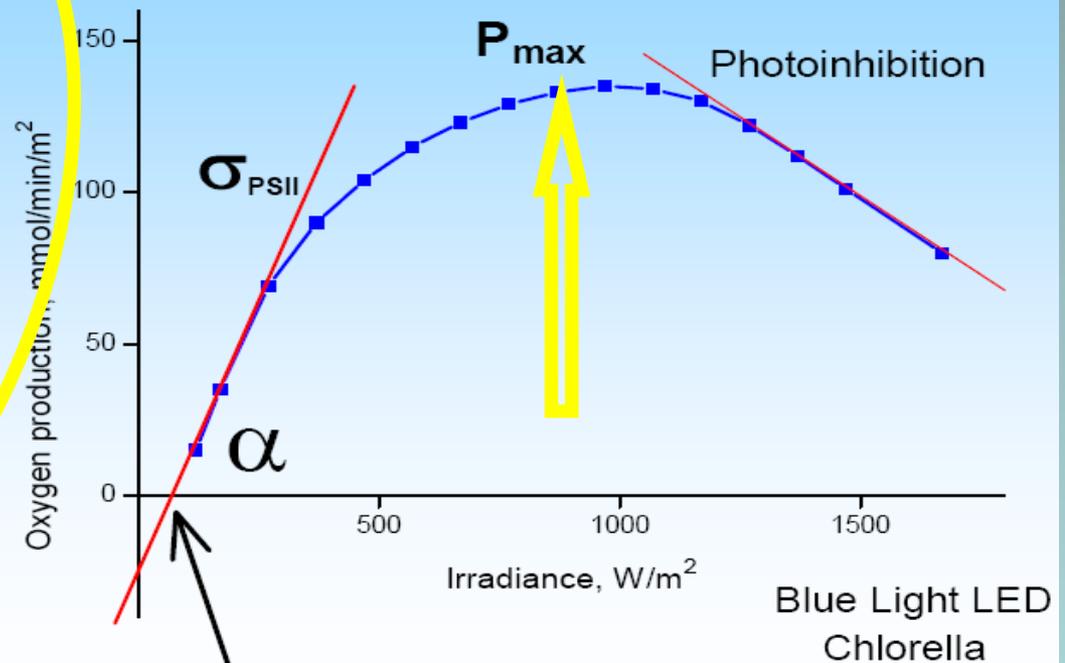
$\text{CO}_2$   
 $\text{PO}_4^{3-}$   
"N"

Carbohydrates

Proteins

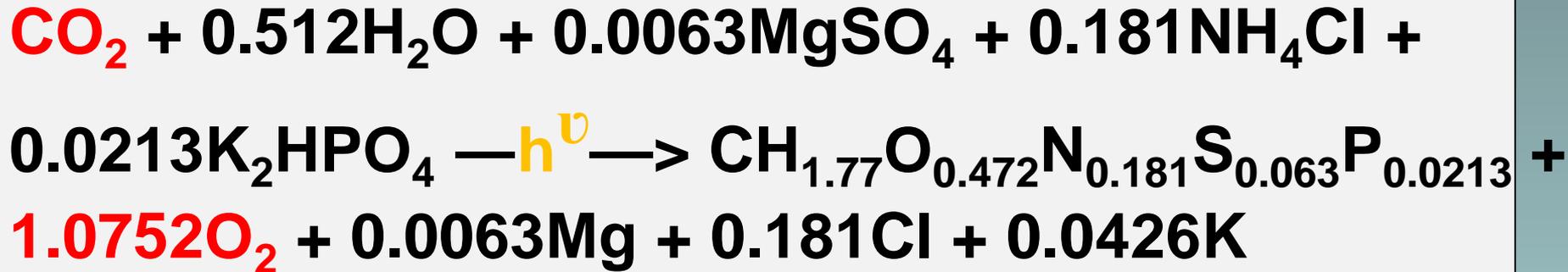
Lipids

credit : G.Dismukes, Princeton



*$\text{CO}_2$  réduit en  $-\text{CH}_2\text{O}-$   $\text{NO}_3^-$  réduit en  $-\text{NH}_2$*

# Photosynthèse

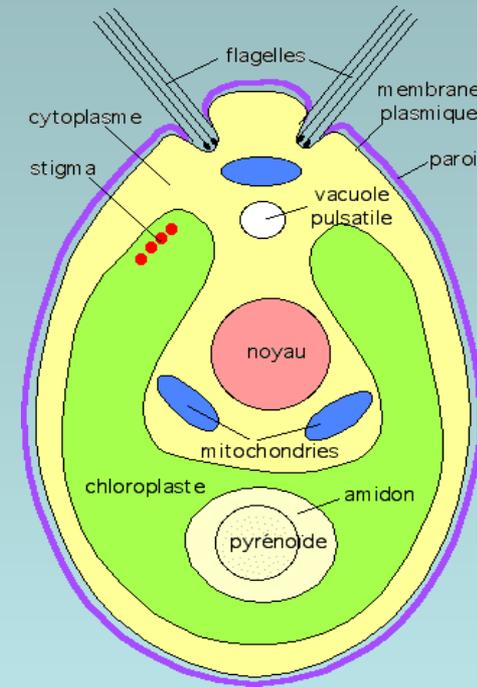


1 kg CO<sub>2</sub> → 0.6 kg biomasse

Photosynthèse : chloroplaste

Respiration : mitochondrie

Absorption de la lumière : pigments = Chlorophylle + Caroténoïdes)



# Composition

- Protéines
- Carbohydrates
- Lipides
- Antioxydant, pigments,
- Acides gras, vitamines,
- Exopolysaccharides, ...

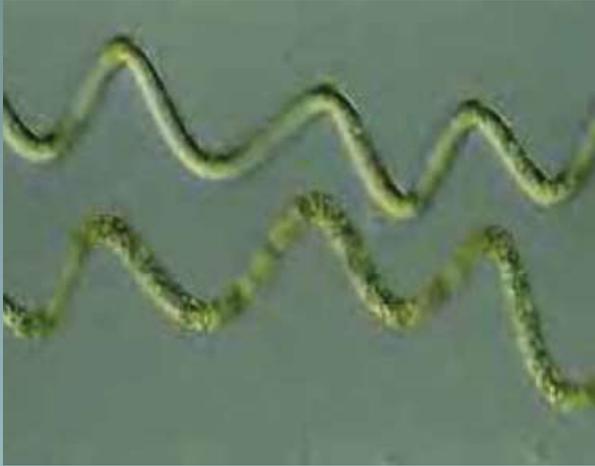


# Applications

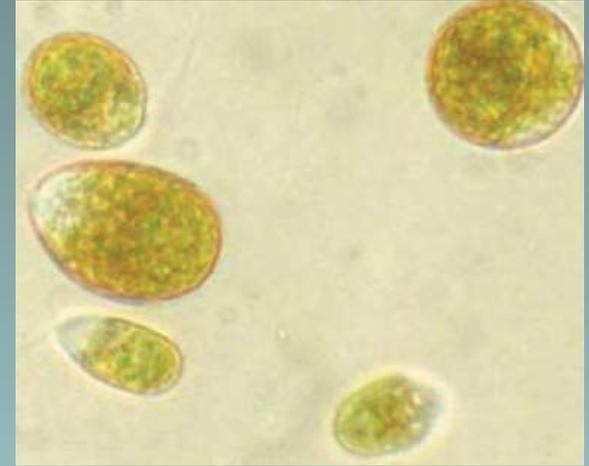
- Alimentation
- Alimentation animale
- Supplements alimentaires
- Pharmacie
- Cosmetiques
- Aquaculture
- ...



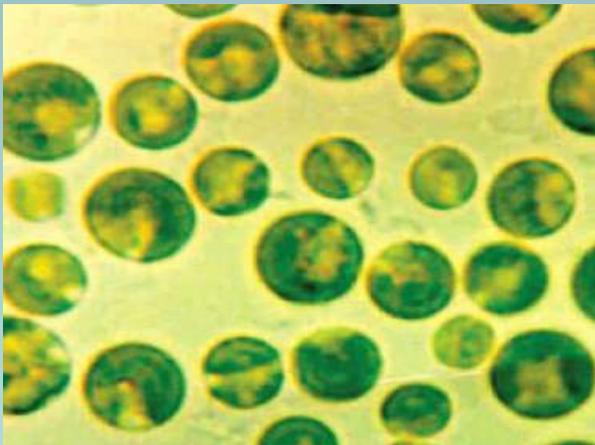
# Les 4 espèces les plus cultivées



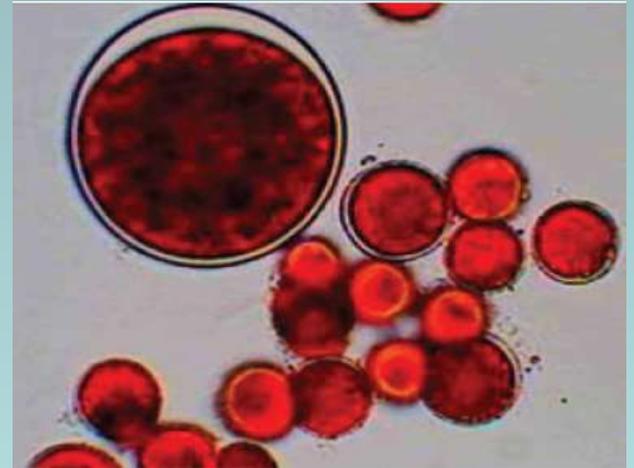
*Limnospira indica* (ex :  
*Arthrospira platensis*)



*Dunaliella salina*

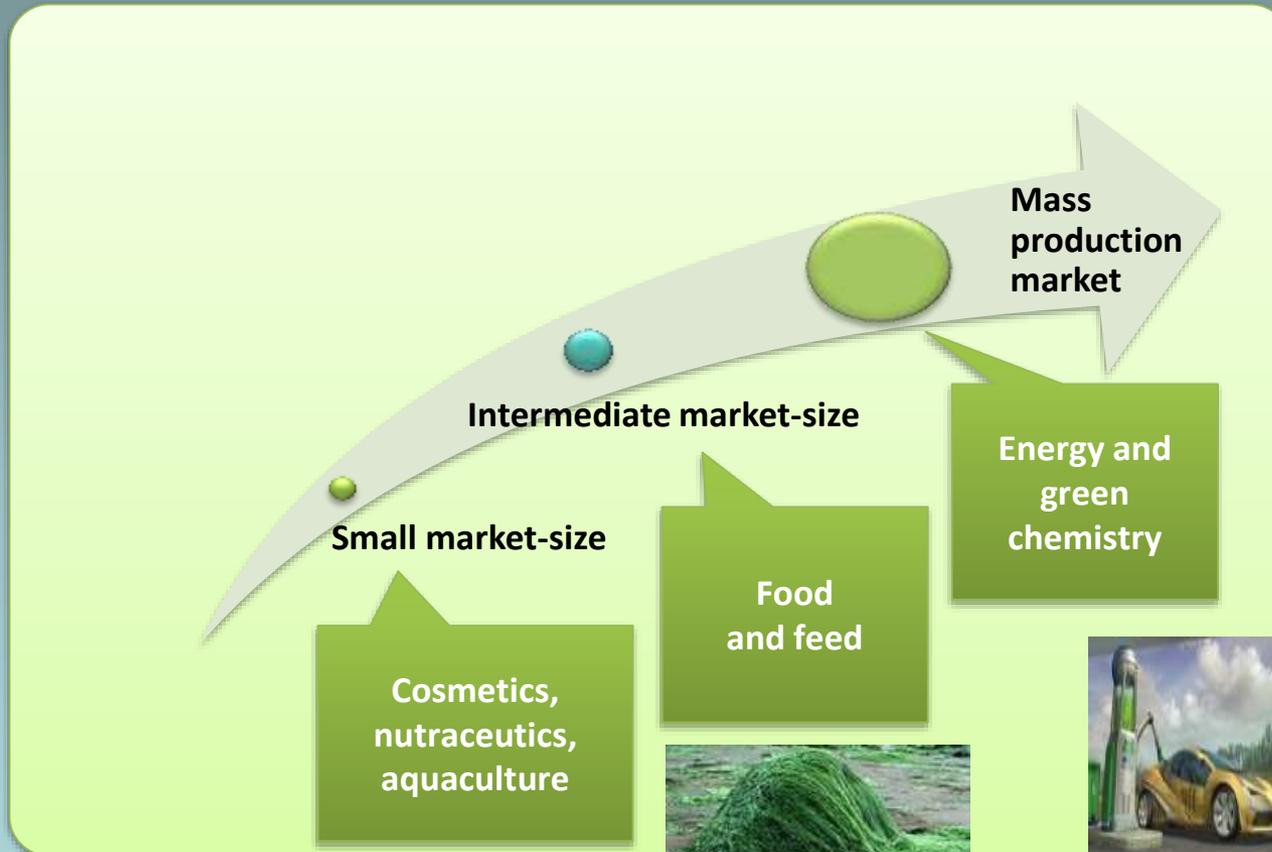


*Chlorella vulgaris*



*Haematococcus pluvialis*

# Exploitation industrielle des microalgues

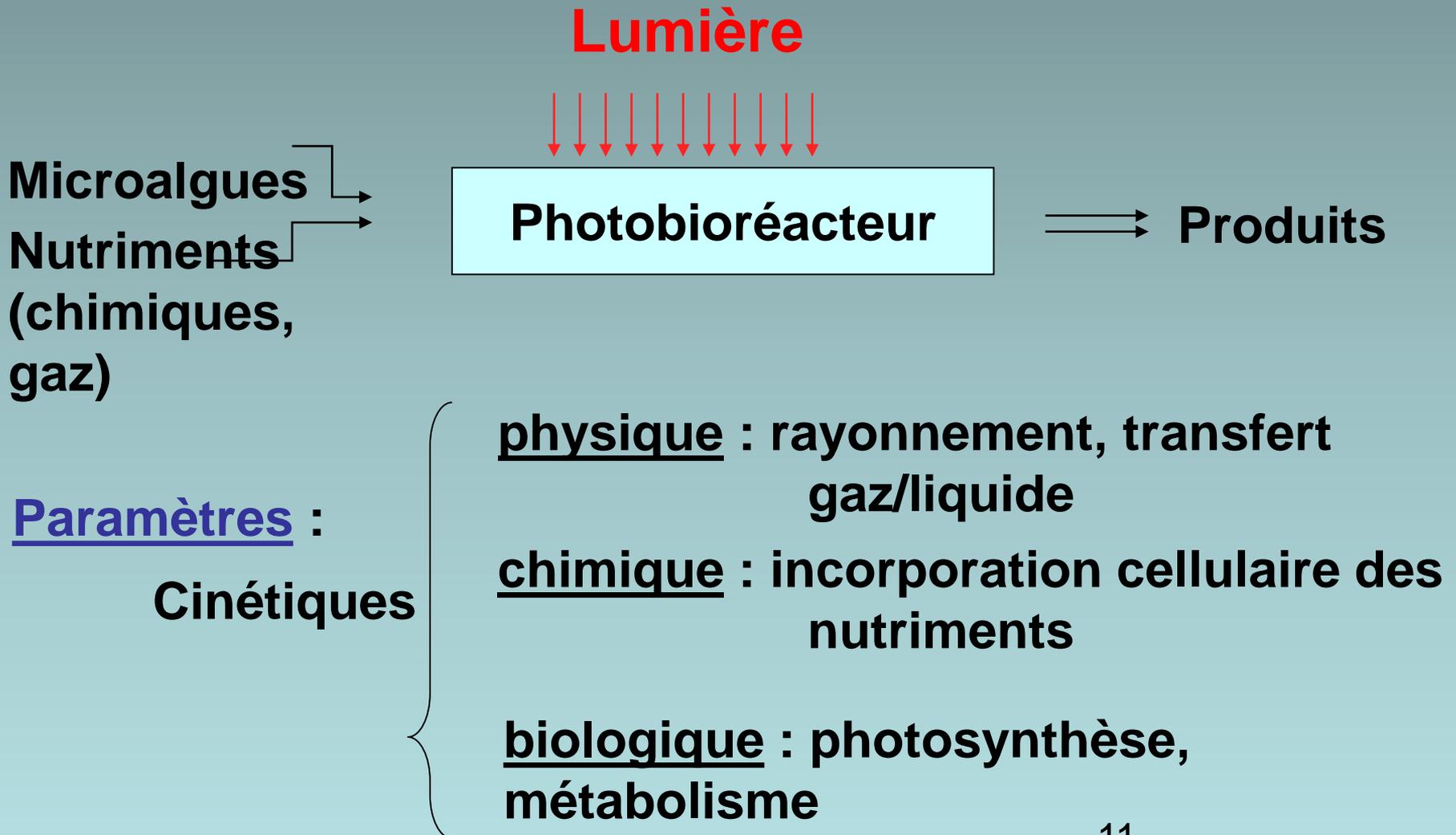


Composition of *C. vulgaris*

Element	Content (%)
Proteins	45-55
Carbohydrates	15-20
Lipids	10-13
Minerals	6-9
Water	3-6
Chlorophyll	2.6-3.6



# Systemes de production



# Ingénierie des photobioréacteurs

## De la Cellule au Photobioréacteur



# Culture des micro-organismes photosynthétiques

## Croissance photoautotrophique de *Chlamydomonas reinhardtii*



## Croissance photosynthétique

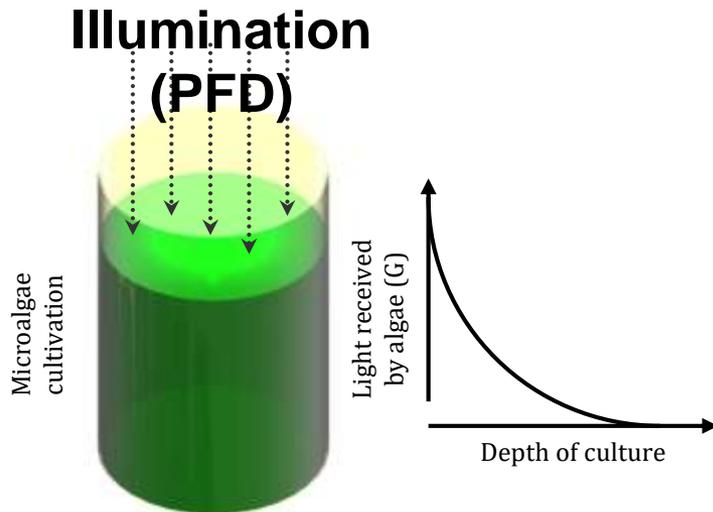


Besoin en lumière en plus des nutriments chimiques



Spécifiques bioprocédés :  
photobioreacteurs

La lumière est absorbée dans le milieu  
→ distribution hétérogène



## Facteurs limitants de croissance

- **Lumière**
- **Dioxyde de carbone dissous**
- **Autres nutriments**
- **Conditions de culture (T, pH)**
- **Contamination bactérienne**

Génie des Bioprocédés : contrôle des limitations de la croissance

**~40 000 tonnes de microalgues sont commercialisées par an**

**Spirulina Production in India  
(Parry Nutraceuticals Ltd.)**



**Spirulina Production in China (Hainan)**



**Algatech, Israël**



**AlgoSource, France**



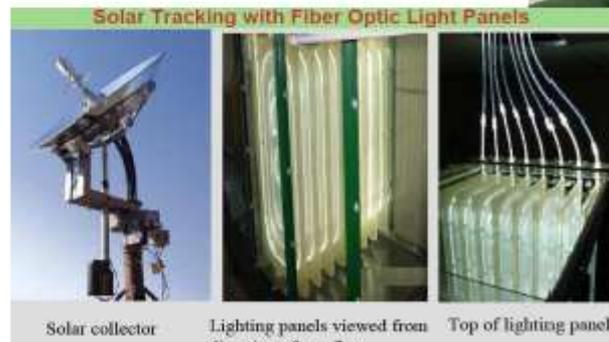
**Cyanotech, Hawaï**

## Production industrielle de microalgues



*Dunaliella salina*,  
Hutt Lagoon, Western Australia

Thin film photobioreactor (Trebou, Czech Republic)



Solar Tracking with Fiber Optic Light Panels



Solar collector



Lighting panels viewed from direction of use flow



Top of lighting panels

Production en photobioreacteurs: bassins ouverts et intensification de procédés

## Production industrielle de microalgues

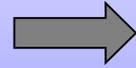


Production en photobioreacteurs: bassins ouverts et intensification de procédés

# Sources de carbone minéral pour la croissance des microalgues

## Apport "naturel"

CO<sub>2</sub> de l'air



Atmosphérique concentration  
0.038%



Cognis

## Alimentation en CO<sub>2</sub>

Carbonates  
Bicarbonates  
CO<sub>2</sub> purifié



CO<sub>2</sub> et produits chimiques  
ont un coût non  
négligeable pour les  
culture de masse



Enclosed PBR

Effluents industriels de CO<sub>2</sub>

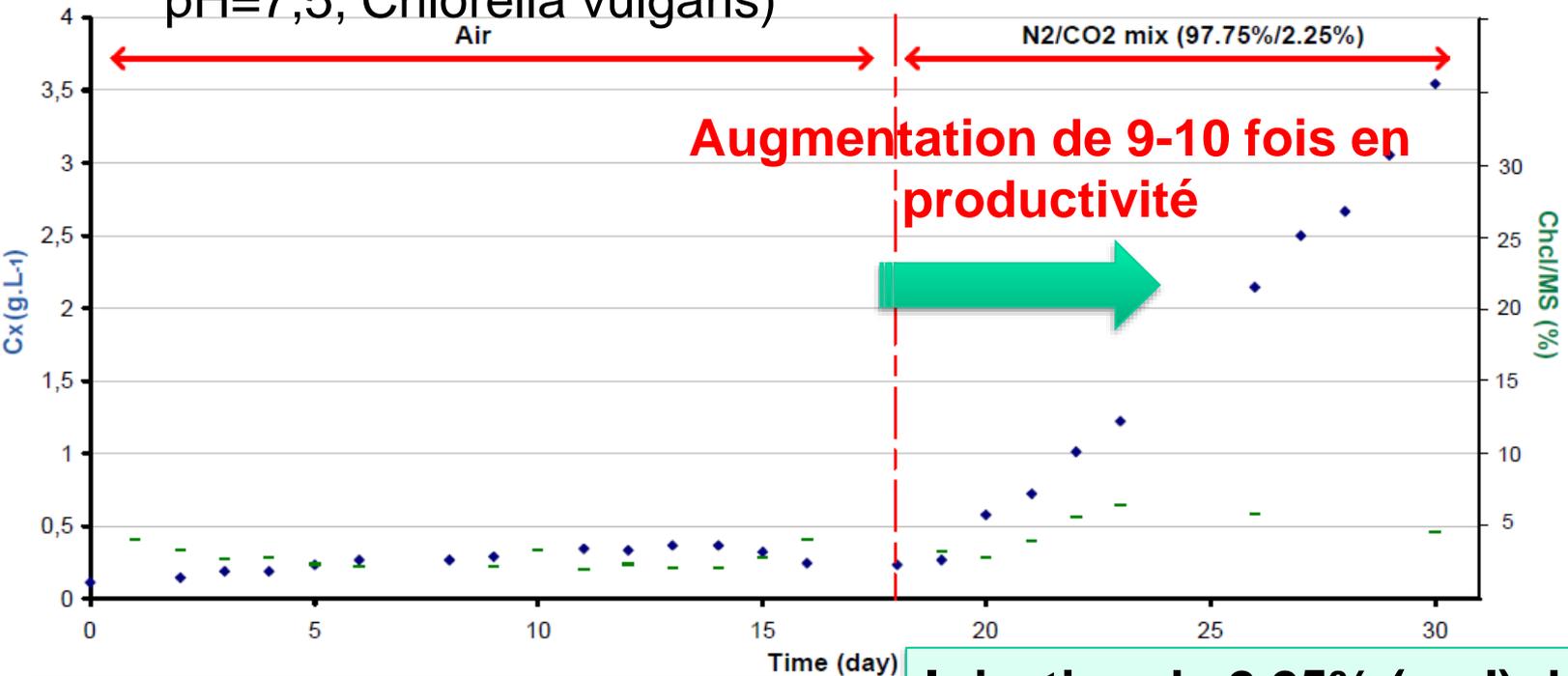


L'utilisation de gaz de  
cheminée (5 to 20% de CO<sub>2</sub>  
+ SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, cendres) est  
possible en éliminant les  
possibles effets toxiques  
(gaz prétraités)



# Illustration de la imitation en carbone sur la croissance

Evolution temporelle de la concentration ( $q_0=130\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ,  $\text{pH}=7,5$ , *Chlorella vulgaris*)



## Injection d'air :

- $C_{X_{\max}} = 0.33\text{g/L} - P_x = 8.6 \text{ g.m}^3.\text{j}^{-1}$
- $\%_{\text{pigments}} = 2.05\%$
- Pas de DIC dans la phase liquide

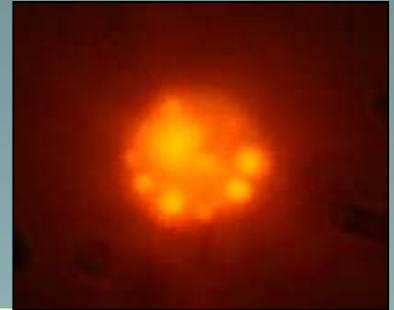
## Injection de 2.25% (mol) de CO<sub>2</sub>:

- $C_{X_{\max}} = 3,5\text{g/L} - P_x = 77 \text{ g.m}^3.\text{j}^{-1}$
- $\%_{\text{pigments}} = 5.14\%$
- De 0.1 à 0.2 mM dans la phase liquide

# Valorisation énergétique des microalgues

## Différents vecteurs énergétiques :

$H_2$  (photolyse de l'eau), lipides (biodiesel), polysaccharides (bioethanol), fermentation (méthane)



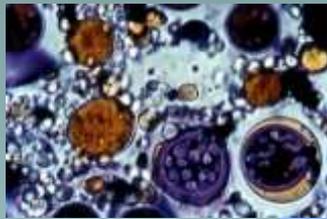
- Production sans gaz à effet de serre
- Production contrôlée dans des systèmes clos : pas de relargage de fertilisants, recyclage de l'eau,
- Pas de compétition avec l'alimentation



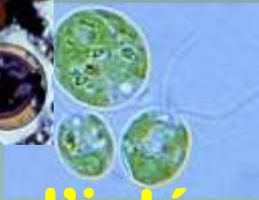
**Production solaire de  
masse**

# Valorisation industrielle des microalgues

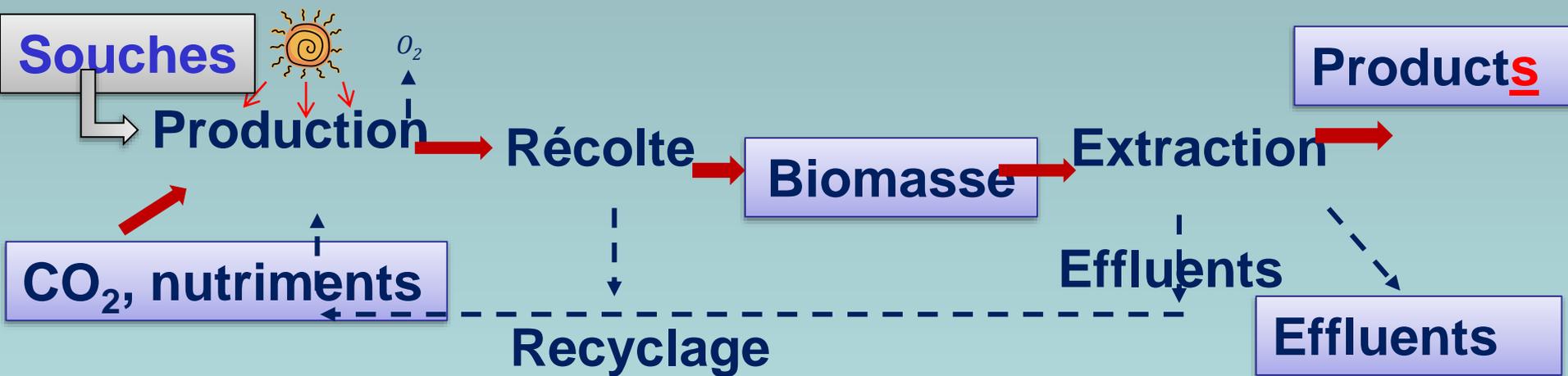
- Biomasse spécifique : milieux aqueux



Nouvelle ressource



- Nécessité d'intégrer les différentes étapes



# Algoraffinerie : *Porphyridium cruentum*

$\omega$ 3(EPA),  $\omega$ 6(ARA) 2-3%

**B-Phycoerythrine  
(B-PE) 2-4%**

- Complément nutritionnel

**Zeaxanthine <1%**

- Marqueur immunofluorescent  
- Colorant alimentaire

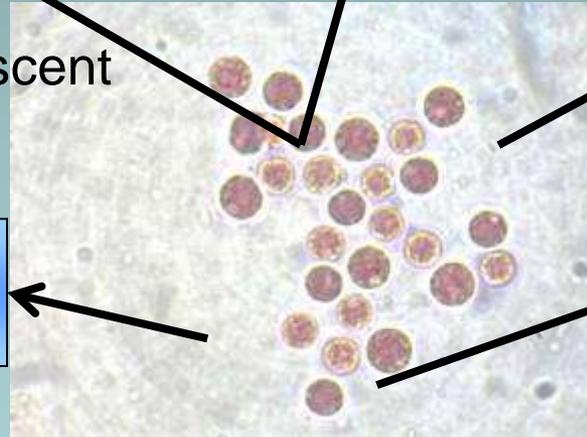
- Antioxydant  
- Additif alimentaire

**ExoPolySaccharides  
(EPS) 30-40%**

**SuperOxide Dismutase  
(SOD) < 1%**

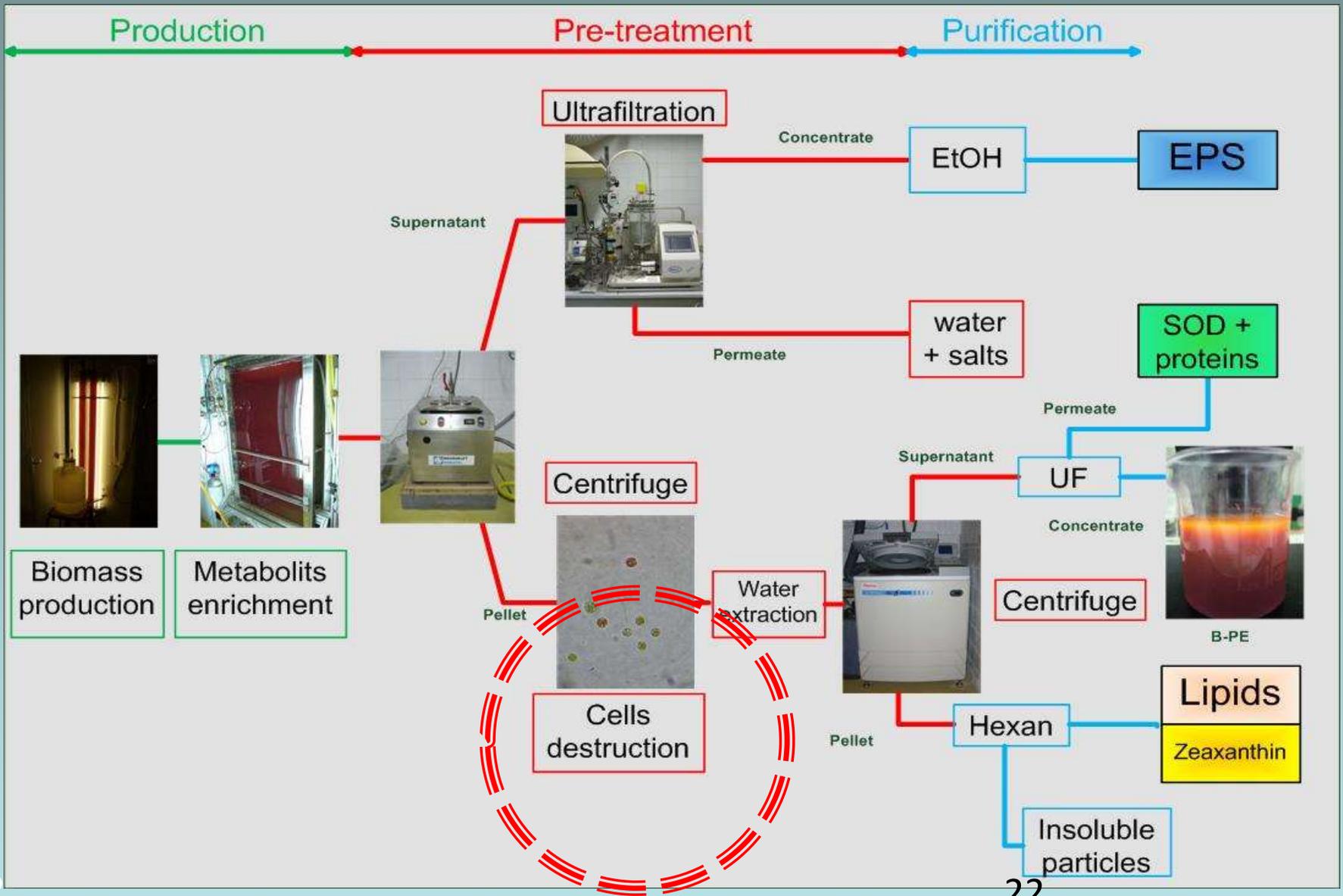
- Propriétés antivirales  
- Agent texturant

- Antioxydant



**Objectif :** trouver une suite de procédés pour extraire sélectivement chacun des composés sans altérer les autres constituants

# Algoraffinerie - Schéma de principe





**MERCI DE VOTRE  
ATTENTION**

