



Laboratoire de Génie des Procédés
Environnement - Agroalimentaire

Université Permanente de Nantes
19 Janvier 2022

**Alimentation, énergie,
dépollution...**

**Les microalgues, une solution
aux enjeux de demain ?**

Pr. Jeremy PRUVOST

Qu'est-ce qu'une microalgue ?



Une microalgue est un microorganisme se développant dans l'eau, grâce à la photosynthèse



Dans une goutte d'eau, on peut avoir plusieurs dizaines de millions de cellules

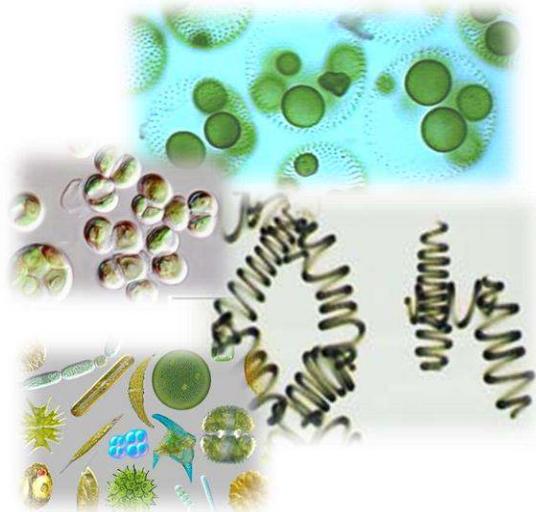
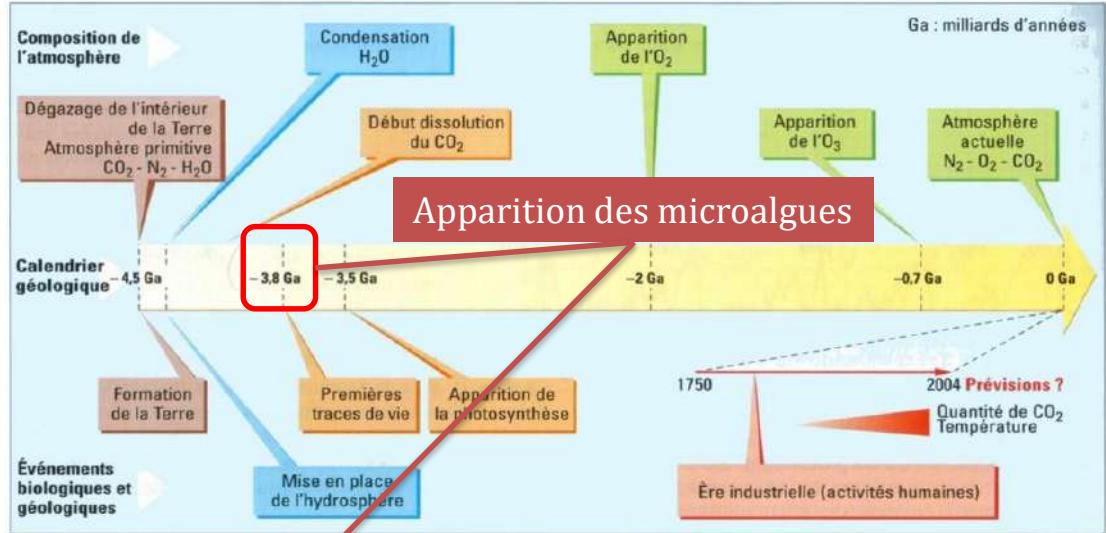
On en trouve dans le monde entier, dans les océans, les lacs, sur la glace...

Qu'est-ce qu'une microalgue ?

Une très longue évolution : Plus de 3 Milliards d'années !

L'Homo Sapiens a 200 000 ans, l'ère industrielle 250 ans...

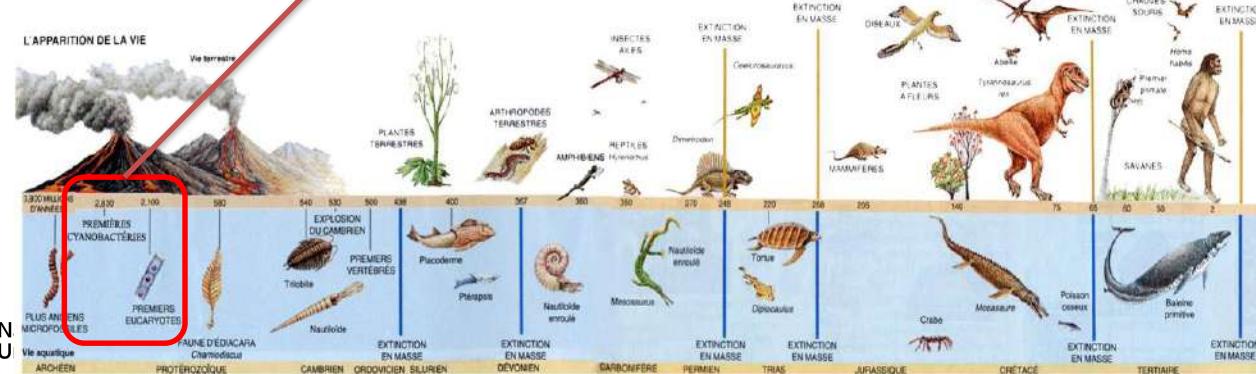
L'évolution de la composition de l'atmosphère au cours des temps



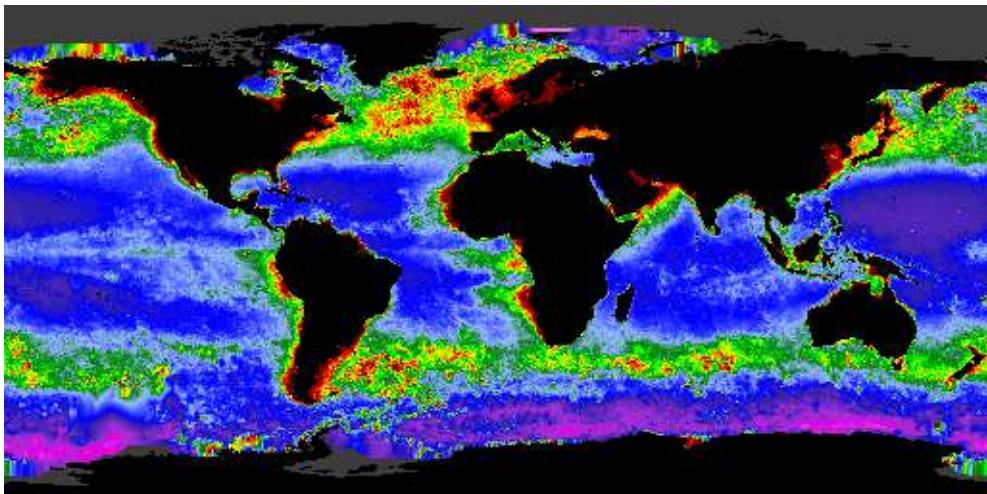
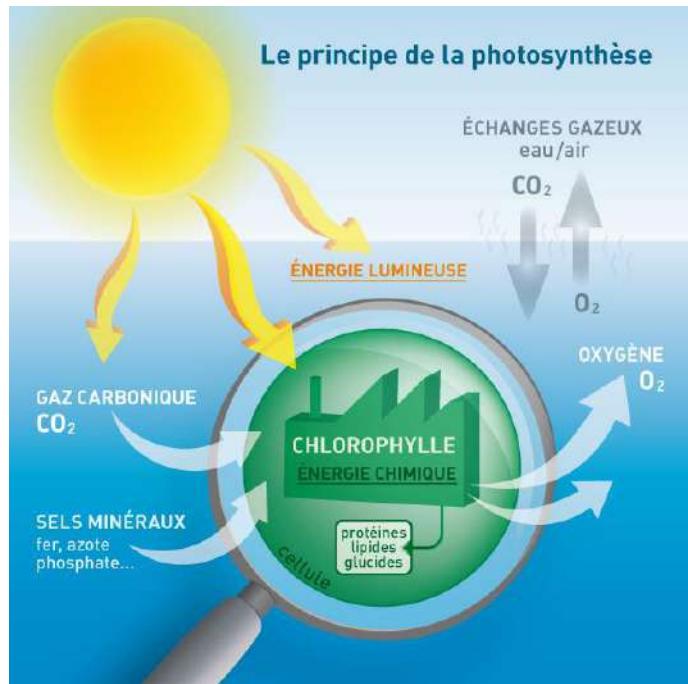
Une biodiversité largement méconnue

Aujourd’hui, on estime qu’il a plusieurs millions d’espèces de microalgues...

...et on en connaît quelques centaines...



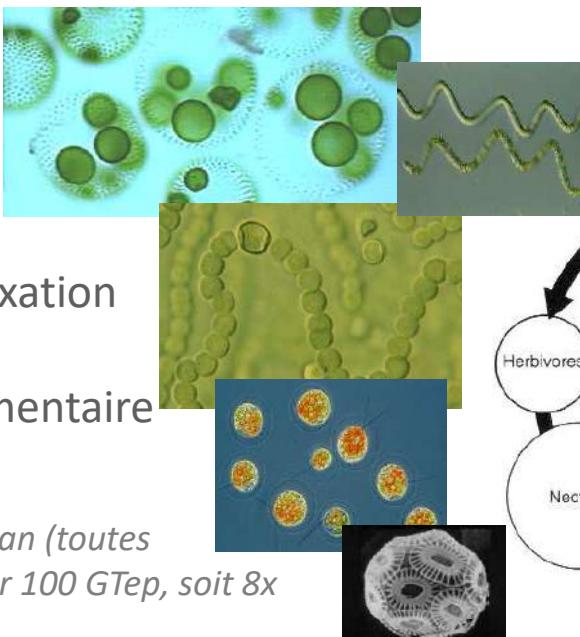
Les microalgues dans la nature



- A l'origine de notre atmosphère
- 40 à 50% de la photosynthèse terrestre (fixation annuelle de CO₂*)
- Un des premiers maillons de la chaîne alimentaire
- Rôle essentiel dans le cycle du carbone

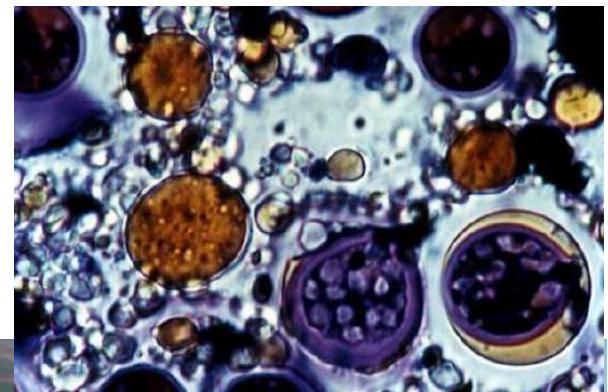
*La photosynthèse absorbe 100Gt de CO₂ par an (toutes plantes), équivalent aux émissions de CO₂ pour 100 GTep, soit 8x la consommation mondiale (12GTep)

→ mais ce n'est pas du stockage de carbone...



Pourquoi l'homme s'intéresse aux microalgues ?

	Microalgues	Plantes C4 (maïs,...)
Productivité maximale (T.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	100	60
Productivité observée (T.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	50-70	10-30



- Moyen le plus efficace de faire de la photosynthèse
- Procédé durable (pas de pollution des sols, recyclage de l'eau)
- Grande variété d'applications : nutrition, santé, biocarburants...
- Principe d'écologie industrielle : dépollution simultanée d'effluents (CO₂...)



Les microalgues dans l'alimentation

Une composition variée

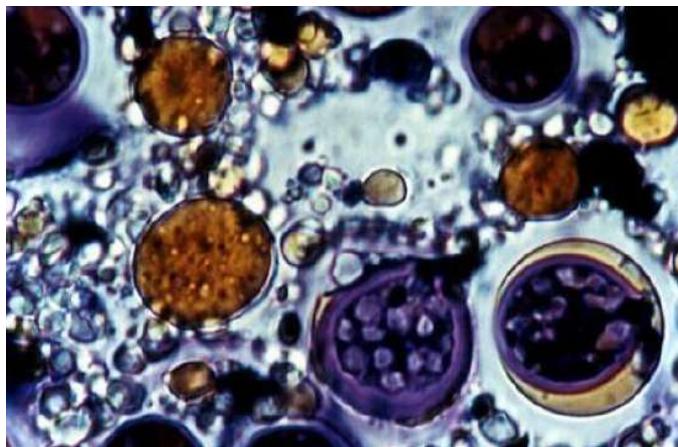


TABLE 1. General composition of different human food sources and algae (% of dry matter) (3)

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
<i>Anabaena cylindrica</i>	43–56	25–30	4–7
<i>Chlamydomonas rheinhardtii</i>	48	17	21
<i>Chlorella vulgaris</i>	51–58	12–17	14–22
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	6
<i>Porphyridium cruentum</i>	28–39	40–57	9–14
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50–56	10–17	12–14
<i>Spirulina maxima</i>	60–71	13–16	6–7
<i>Synechococcus</i> sp.	63	15	11

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

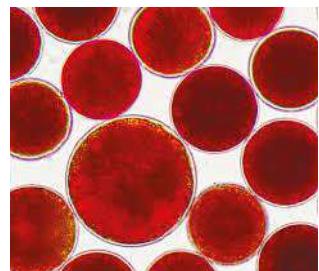
- Selon l'espèce, les fortes teneurs en protéines, sucres ou lipides peuvent être privilégiées
- Certaines espèces présentent des teneurs plus élevées que pour les plantes terrestres
- Une meilleure digestibilité est souvent observée (pas de paroi ligneuse)
- Une source de composés très prisés, parfois spécifiques à cette bioressource :

- Lipides polysinsaturés type ω_3 , ω_6 ...
- **Pigments** : caroténoides, phycobiliprotéines
- **Vitamins** : A, B₁, B₂, B₆, B₁₂, C, E...
-

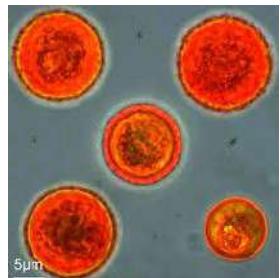
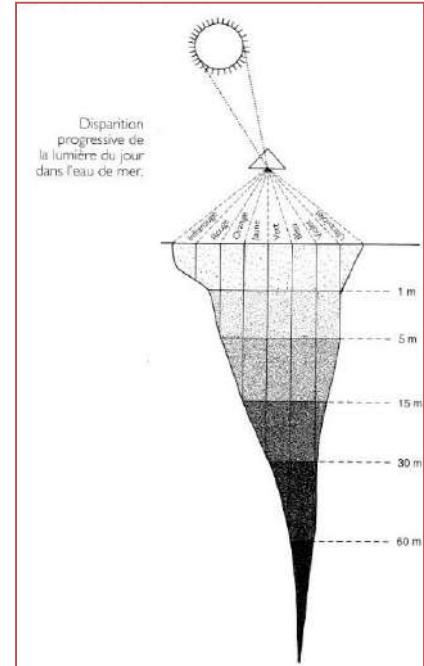
Alimentation : exemples de composés et produits



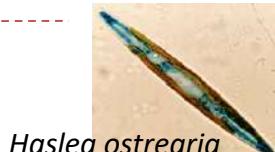
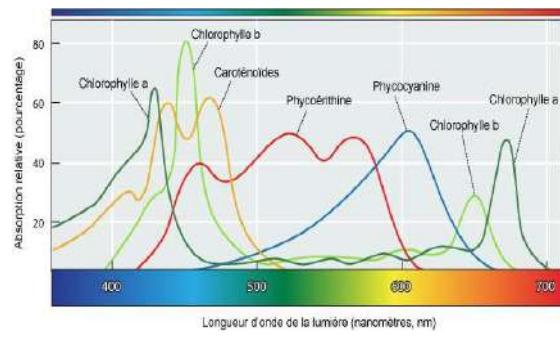
Spiruline



Haematococcus pluvialis



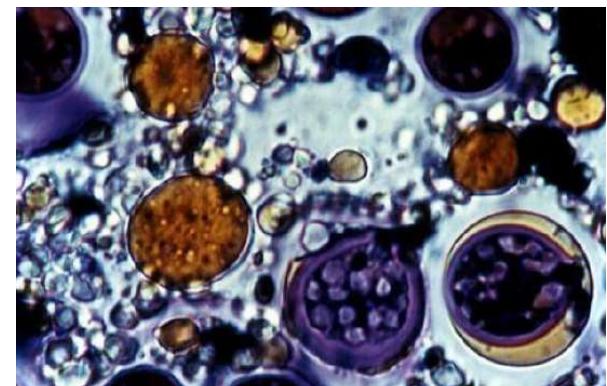
Dunaliella salina



Les microalgues comme source de biocarburants

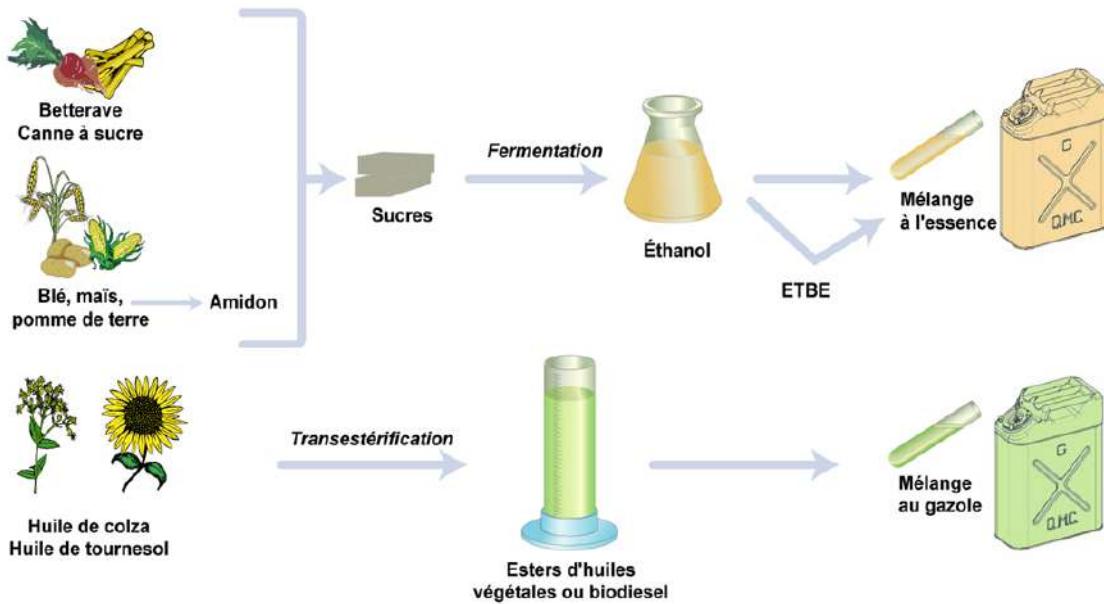
Les microalgues comme source de biocarburants

- Source possible de plusieurs vecteurs énergétiques: biodiesel, biokérosène (lipides, hydrocarbures, alcanes), H₂ issu de la photolyse de l'eau, methane, bioéthanol (sucres)
- Impact environnemental réduit: utilisation de CO₂, contrôle des nutriments et des rejets
- Productivité en surface plus élevée que pour les plantes terrestres
- Utilisation possible de terre non arable (ex : zones désertiques) et d'eau non potable (ex : eau de mer)
- Culture possible sur une large partie de la planète
- Possibilité d'intensification sans impact sur l'environnement (culture hors sol, possibilité de recyclage d'eau)
- Production industrielle possible



L'alternative « Microalgue » pour la production de biocarburants liquides

Les biocarburants de 1^{ère} génération



Mais, de nombreux inconvénients

- Rendement énergétique faible
- Coût environnemental élevé
- Compétition avec la production alimentaire
- Compétition avec les ressources en eau
- Bilan négatif sur l'effet de serre (N_2O)

Utilisation de parties non comestibles : paille, bois...

Les biocarburants de 2^{ème} génération

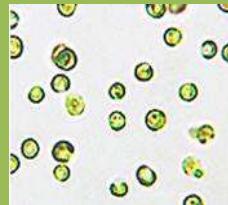
Utilisation de microalgues

Les biocarburants de 3^{ème} génération



Quel est le potentiel ?

Nannochoropsis gaditana
(souche marine)



Parachlorella kessleri
(souche d'eau douce)



Données issues du projet ANR DiesAlg
(criblage de la biodiversité algale et caractérisation des performances de souches oléagineuses)

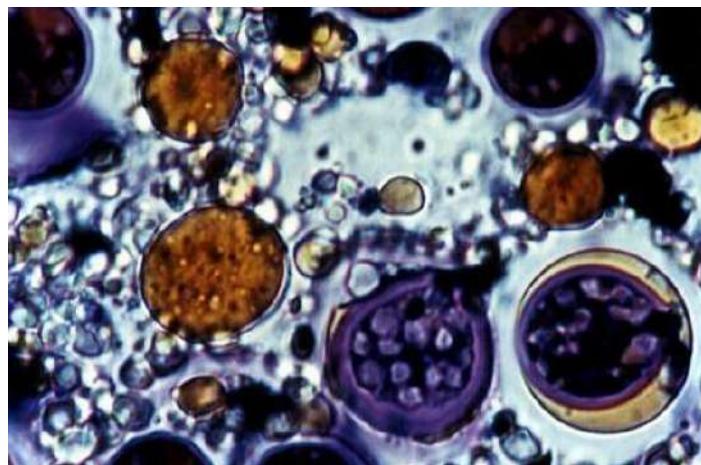
Productivité en biomasse (+N) PFD=250µmole/m ² /s	27g/m ² /jour (100t/ha/an)	27g/m ² /jour (100t/ha/an)
Productivité en lipides (-N)	2,3-2,5g _{TAG} /m ² /jour (8-10t_{TAG}/ha/an)	2,7-4,4g _{TAG} /m ² /jour (10-16t_{TAG}/ha/an)
Productivité en huile	9-12m ³ _{TAG} /ha/an	12-20m ³ _{TAG} /ha/an
Contenu max en lipides	62% de lipides totaux 56% de TAG	41-65% de lipides totaux 38-46% de TAG
Fragilité cellulaire (extraction en voie humide)	>70%	>90%

Références de plantes terrestres :

- Palmier à huile (équateur) : environ 3-4t d'huile/ha/an (max : 6)
- Colza (Europe) : environ 0.5-1t d'huile/ha/an

Productivité plus élevée (x3 à x10) et possibilité géographique de culture étendue

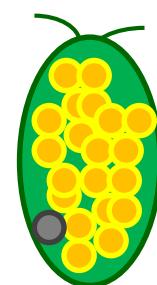
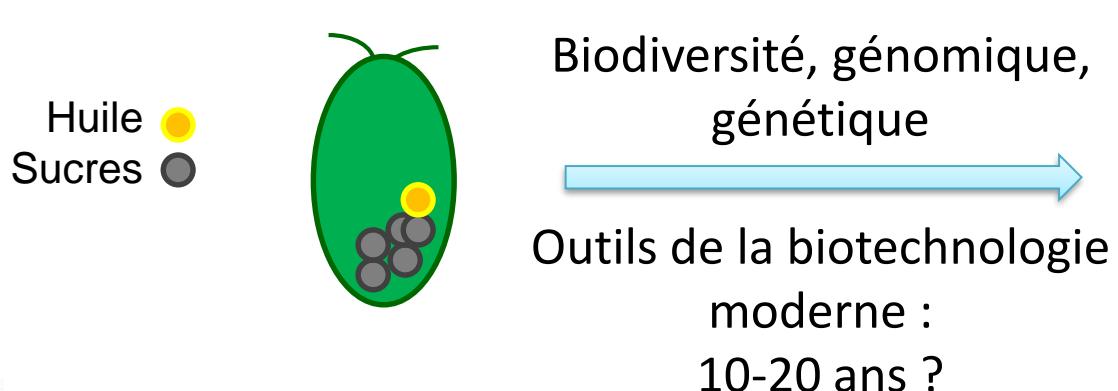
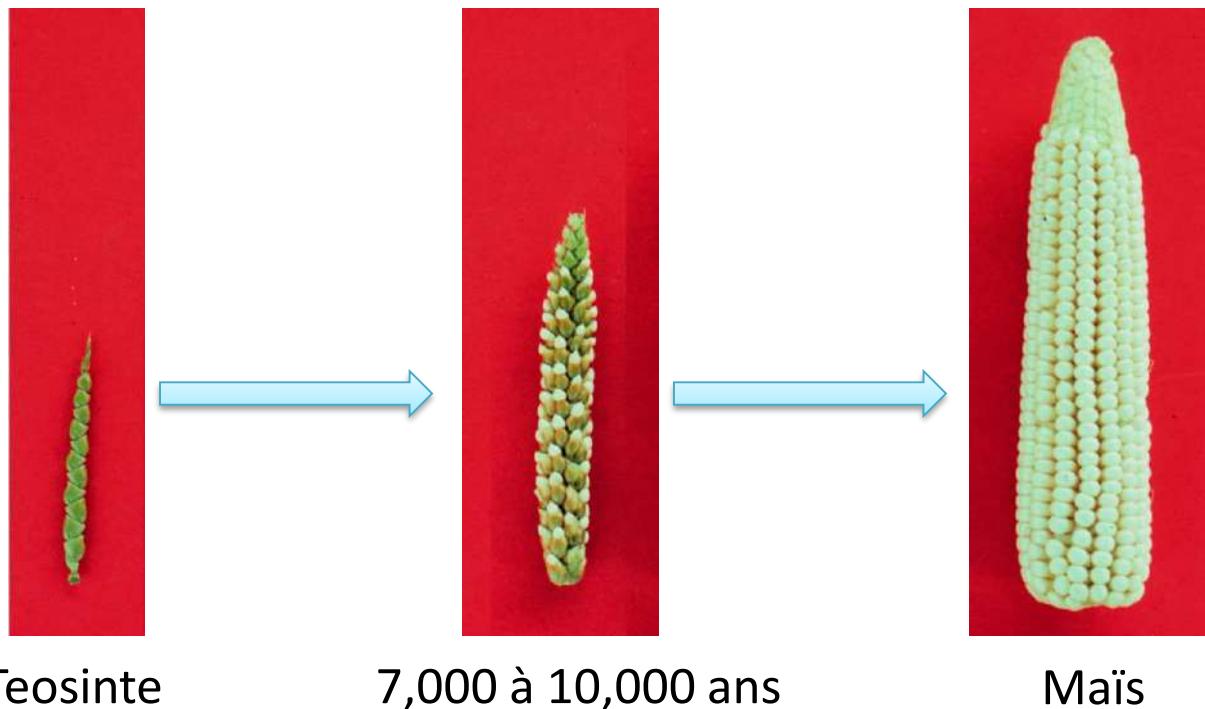
Quels sont les leviers d'optimisation ?



- Rechercher les souches les plus performantes
- Définir les systèmes d'exploitation durables et à très grande échelle
- Mettre en adéquation carburants et moteurs
- Industrialiser et commercialiser la production



Sélection et recherche de souches



Source G.Peltier – CEA Cadarache

Vers la production de biodiesel par microalgues



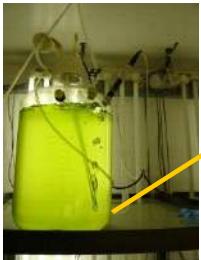
Projet Shamash-PE (2009-2013)

Production de 100 kg de biomasse en système ouvert (raceway)
(AlphaBiotech, AlgoSource group)

Colonnes



Ballons



Extraction de 5-8 l de lipides de microalgues (CO2sc, M2P2)



Production de biodiesel (CIRAD)



Tests moteurs (PSA)

Production de biodiesel démontrée, jusqu'aux tests en moteur HDi chez PSA (Perrier et al., Fuel, 2015)

Mais bilan énergétique global négatif.
Pourtant une condition pour une production durable...

Le consommation énergétique : un verrou majeur

Quelques chiffres clés :

- Contenu énergétique de la biomasse algale* : 20MJ/kg (5.56kWh/kg)
Contenu énergétique de l'huile seule : 38MJ/kg (10.56kWh/kg)
- Productivité maximale en biomasse algale (solaire) : 11-27g/m²/jour (40-100t/ha/an)

Energie maximale récupérable par jour : **220-540kJ/m²/jour**
(0.060-0.15kWh/m²/d – 22-54kWh/m²/y)

L'énergie solaire dépasse de loin notre besoin en énergie primaire (x7000-8000)***

+

Les microalgues sont actuellement la bioressource végétale la plus efficace que nous avons pour convertir l'énergie solaire en biocarburant

Mais, pour atteindre un bilan énergétique positif, l'énergie disponible est seulement de 150Wh/m²/jour !

(soit 50kWh/m²/an : 10 fois moins que l'énergie d'un ordinateur portable utilisé 6h jour !)

* Aussi appelé PCI

**Note: Biomasse sèche, correspondant à environ 12-40 t d'huile ou sucres, environ 7 000-26 000L d'éthanol ; 12 000-40 000L de biodiesel

***Energie solaire disponible (Californie) :
7-8kWh/m²/jour (2500-3000kWh/m²/an)

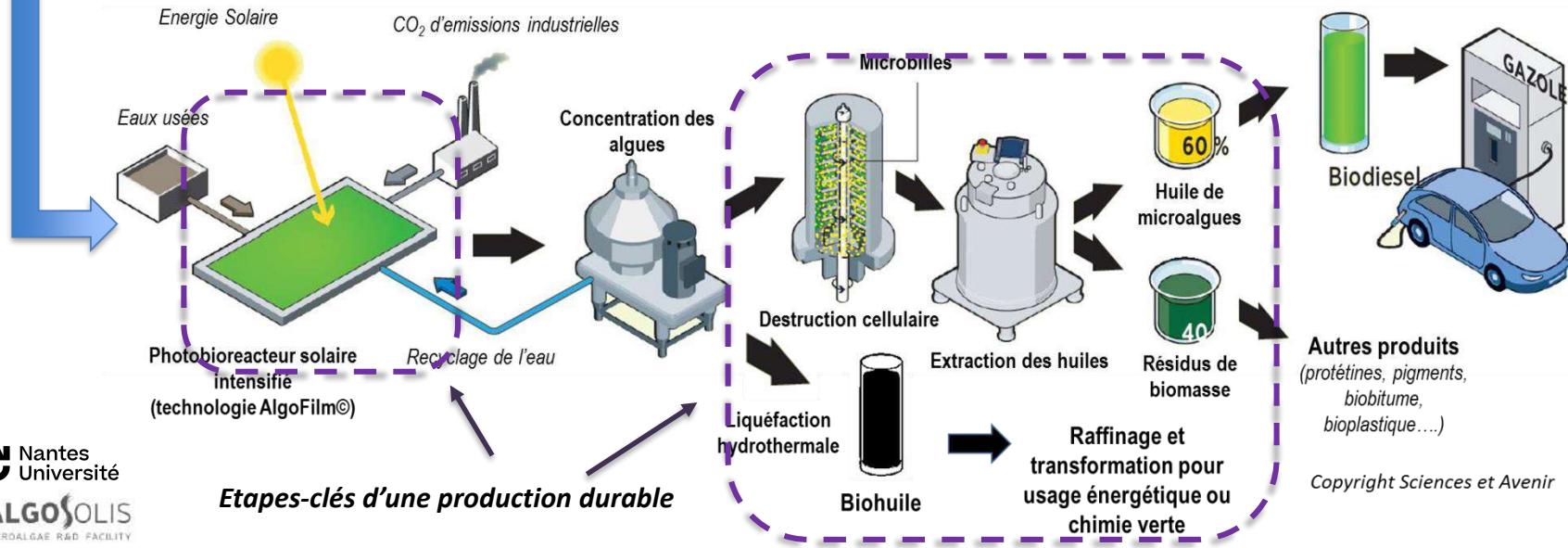
L'innovation technologique pour une production durable

La “voie sèche” mène à un bilan énergétique négatif
 → nécessité de définir une nouvelle voie technologique

Culture en système ouvert + procédés « voie sèche »

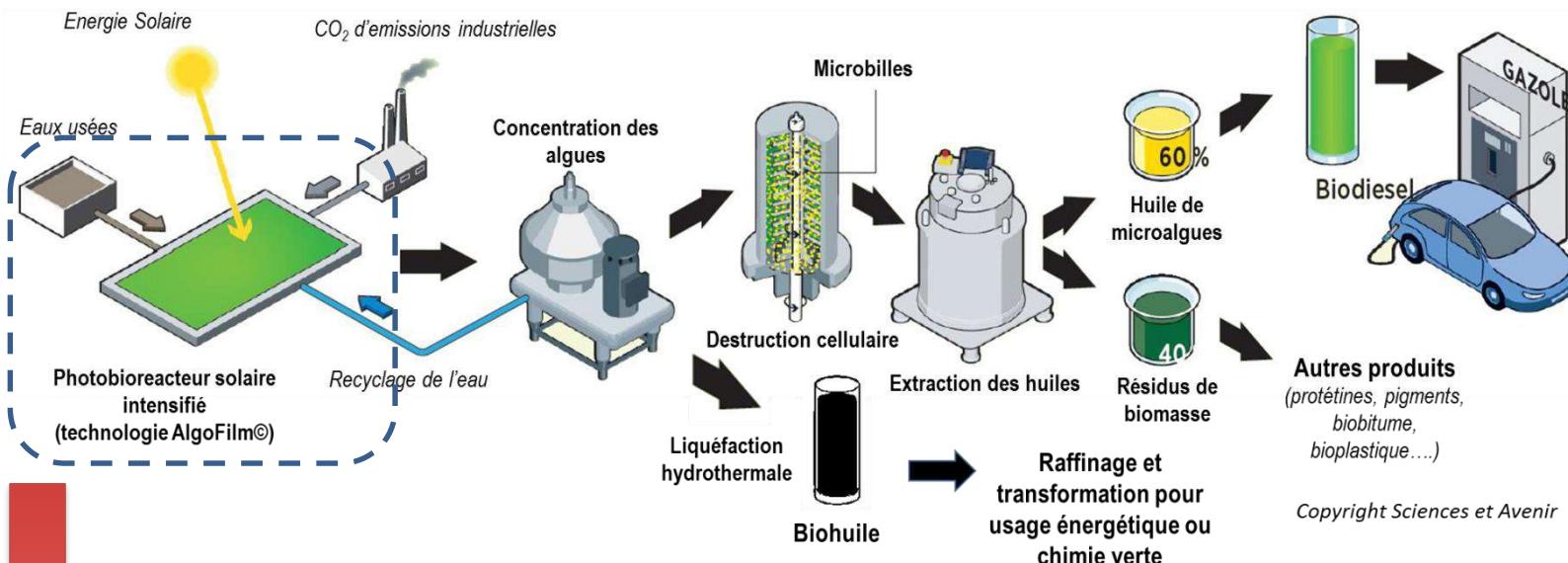


Culture en photobioreacteurs intensifiés et traitement en « voie humide »



L'innovation technologique pour une production durable

Le levier « photobioréacteur intensifié »



Un point clé : diminuer la quantité d'eau (et donc le volume de culture)



Culture d'algues :
50 - 150 Litres par m²

Mais la nature
nous bat
(encore !)



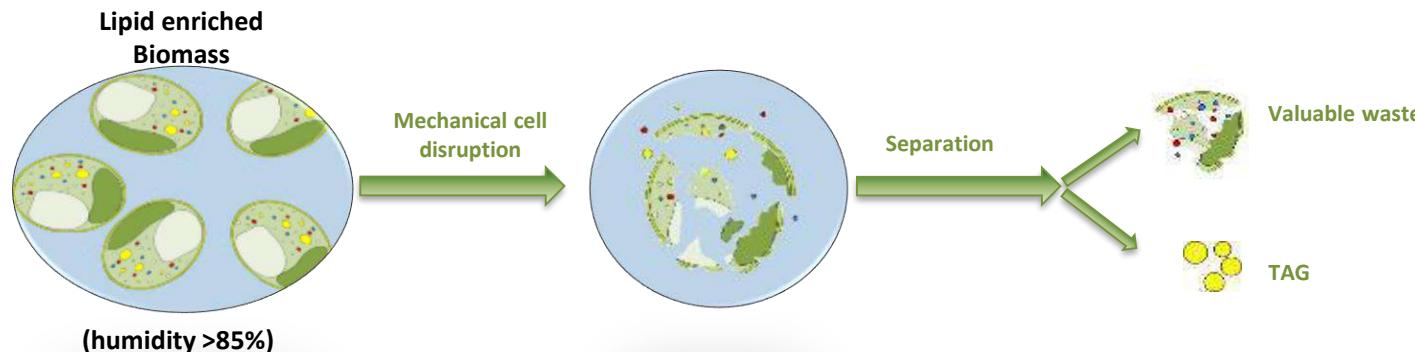
Feuilles d'arbre :
0.5 Litre par m² !!

Alors on s'inspire de
la nature

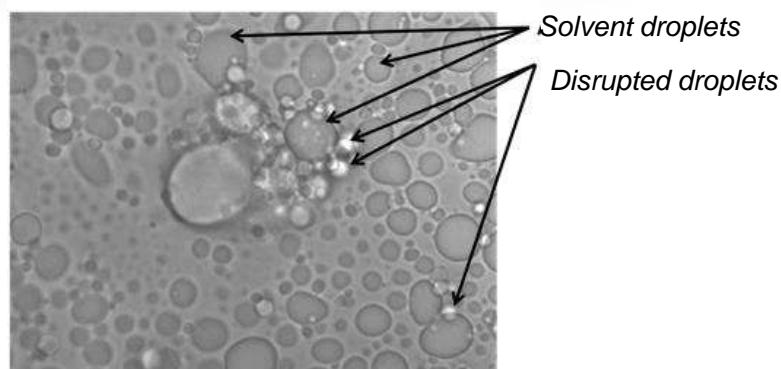


L'innovation technologique pour une production durable

Le levier « extraction en voie humide »

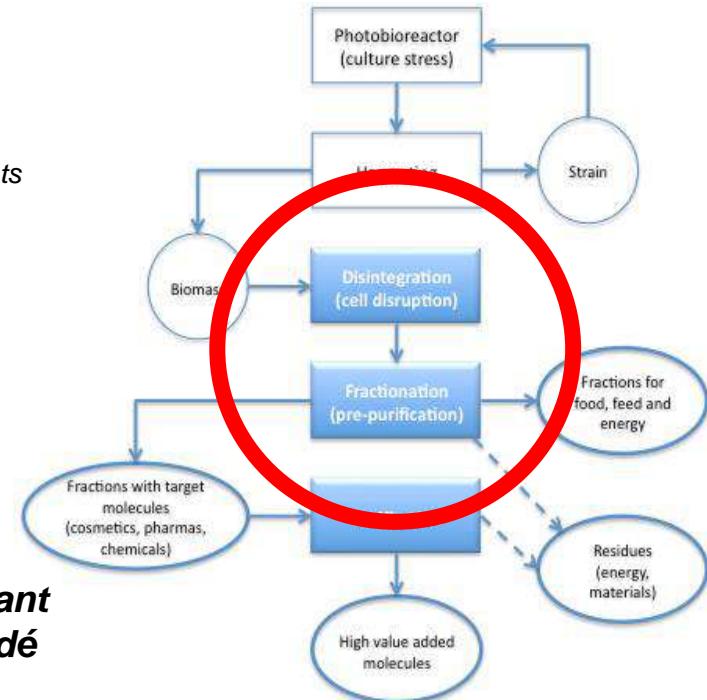


Extraction en voie humide



L'extraction des lipides implique:

- Le relargage dans le milieu: **lié à la fragilité cellulaire**
- La dissolution dans le solvant d'extraction : **lié au solvant**
- Le transfert de matière entre les phases : **lié au procédé**



De l'importance des choix technologiques

Comparaison au scénario « Culture système ouvert + voie sèche »

Reference: classic RW, centrifugation, Drum drying, Hexane extraction + transesterification, anaerobic digestion of residues (@3€/l, NER < 1, GES @25kgCO₂/100km, Water fp @2000l/l)



AlgoFilm© PBR
(ultrathin system,
2l/m²)

Scenario	Bilan énergétique ¹	Emission de GES	Consommation d'eau
Culture en photobioréacteur intensifié et extraction voie humide	+200% (≥2.5-3.4)	Divisées par 3	Divisées par 10

$$^1\text{Net Energy Ratio} = \frac{\text{Energy Produced}}{\text{Energy Consumed}}$$

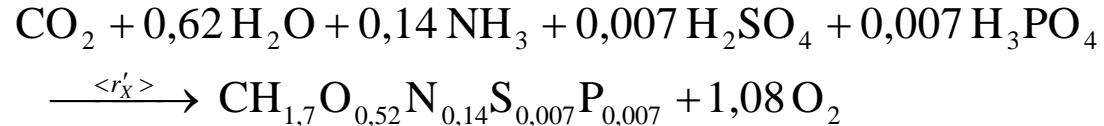
Un bilan énergétique peut être envisagé, accompagné d'un impact positif sur les critères d'impact environnementaux

Les microalgues : au centre d'une écologie industrielle vertueuse ?

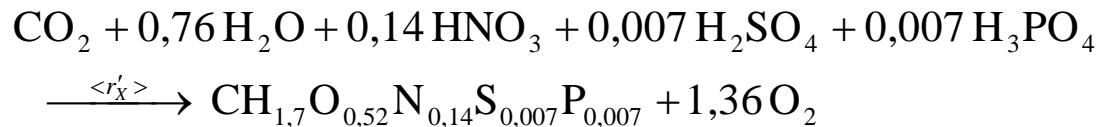
Les nutriments consommés lors de la croissance

Equation stœchiométrique de croissance

Culture sur ammonium



Culture sur nitrate



*Rendement de consommation
(nitrate, sulfate, phosphate)*

Rendement de consommation (CO₂)

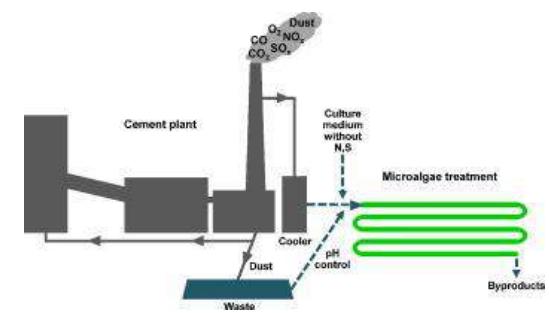
NO ₃ ⁻	$Y_{\text{NO}_3/\text{Cx}} = 400 \text{g/kg}$ de biomasse sèche
SO ₄ ²⁻	$Y_{\text{SO}_4/\text{X}} = 60 \text{g/kg}$ de biomasse sèche
PO ₄ ³⁻	$Y_{\text{PO}_4/\text{X}} = 50 \text{g/kg}$ de biomasse sèche

CO ₂	$Y_{\text{CO}_2/\text{Cx}} = 1600-1900 \text{kg/kg}$ de biomasse sèche
-----------------	--

C/N ratio entre 4,2 et 7,8

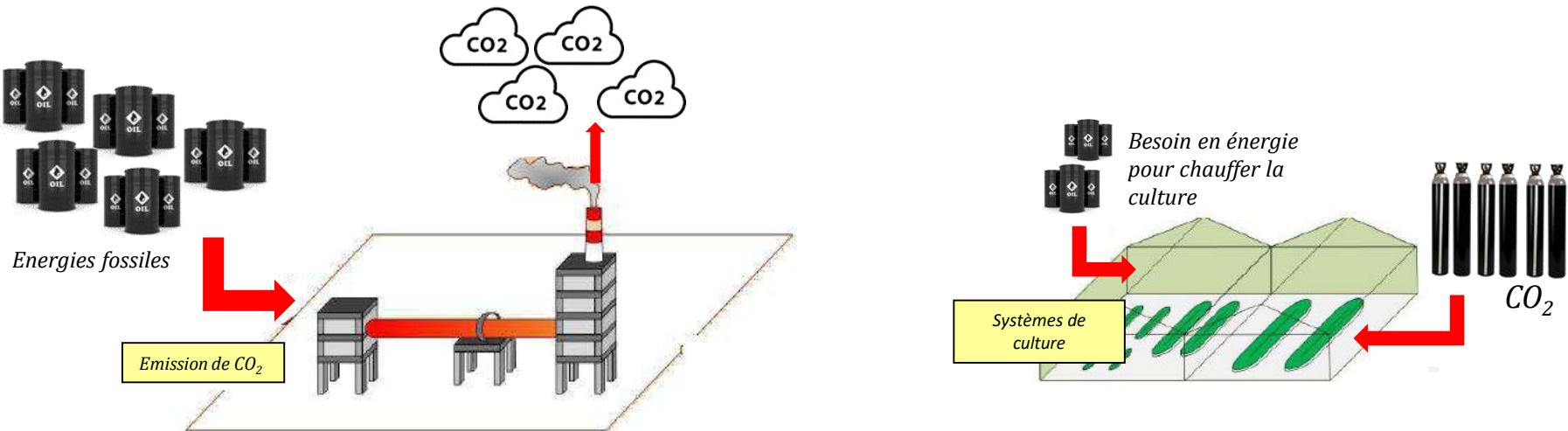
Culture sur eaux usées

- Urban wastewater : Nurdogan et Oswald, 1995
- Porc liver, Zhou et al., 2012
- Anaerobic digestion effluents

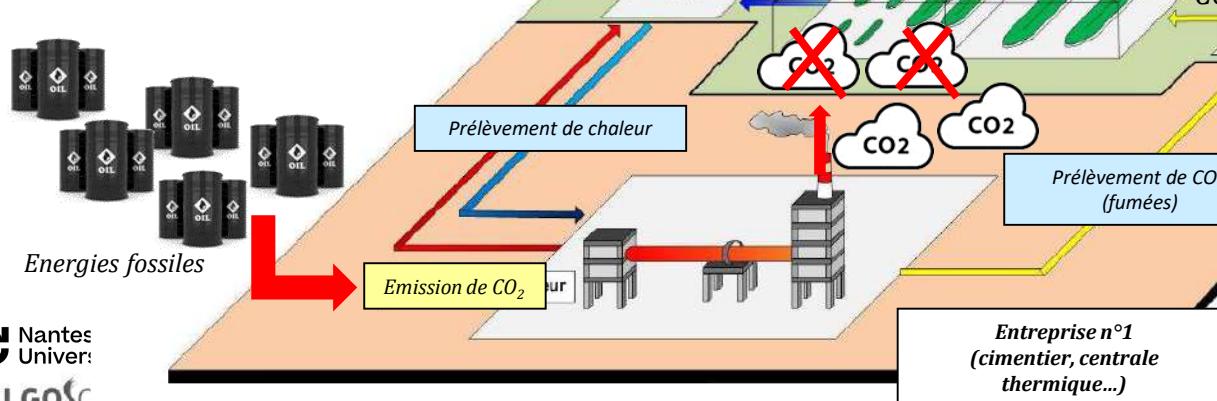


Culture sur effluents gazeux (CO₂ issu de fumées)

Les microalgues pour valoriser le CO₂ industriel



Le principe : valoriser les rejets de CO₂ pour la croissance des algues

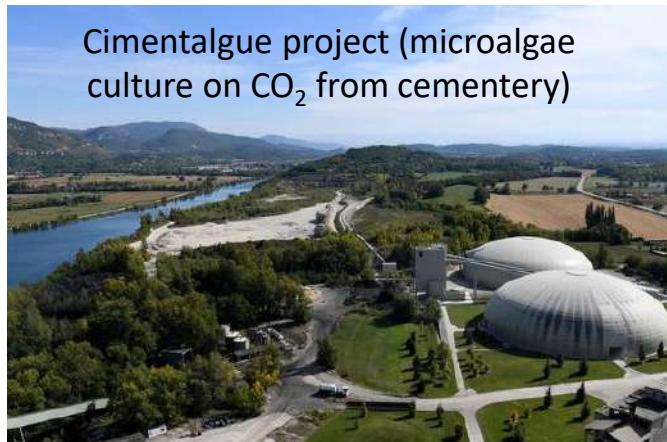


La méthode : coupler deux industries aux besoins complémentaires...
(aussi appelé l'Ecologie Industrielle)

L'intégration de la culture de microalgues aux sites émetteurs de CO₂

L'approche « écologie industrielle » est un levier de développement de la production de masse de microalgues

Cimentalgue project (microalgae culture on CO₂ from cementery)



IN_VIVO_Paris 13e
Concours Réinventer Paris 2015
BPD Mérignac | SNI
XTU architects | MU architecture
Retenu en finale du concours

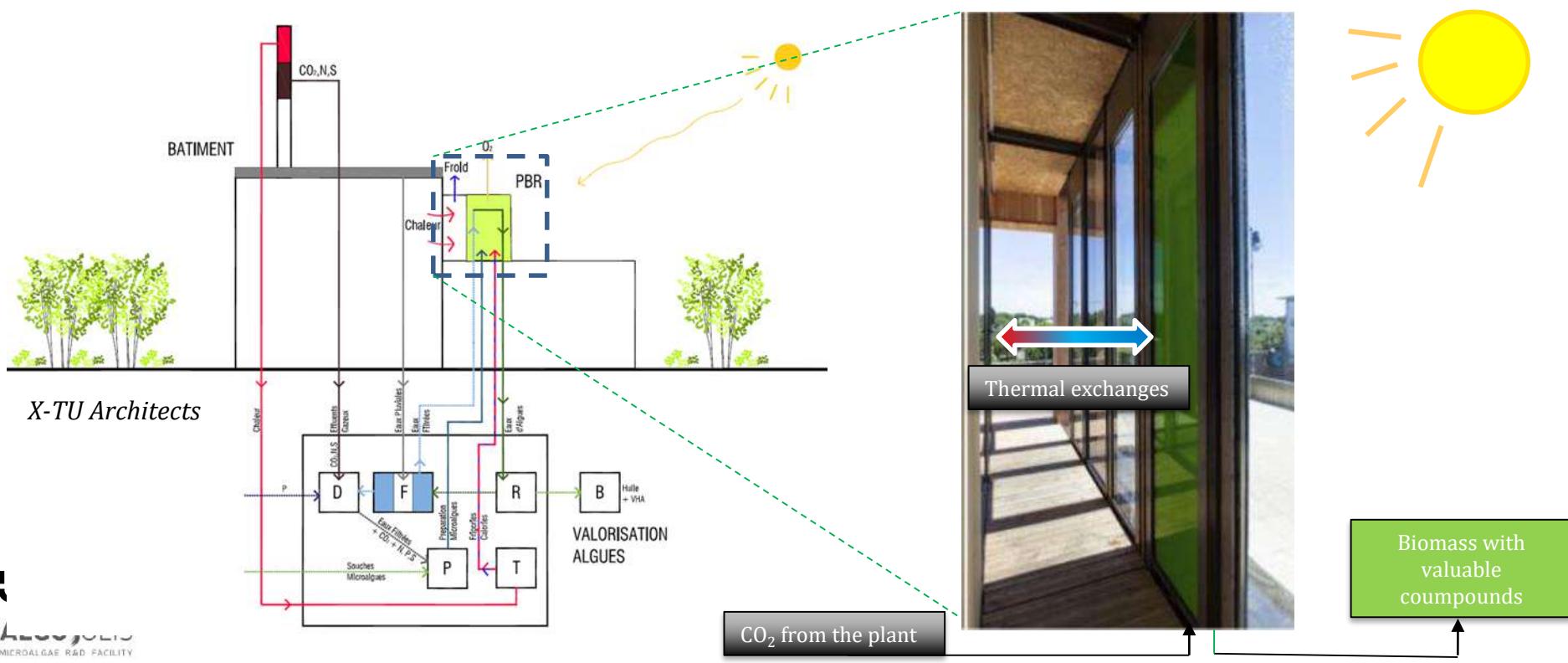


ALGO_PILOT
CSTB _ Champs-sur-Marne
Pilote industriel de biofabriques
XTU architectes | Consortium GymBIO₂
En chantier | Mise en service début 2016

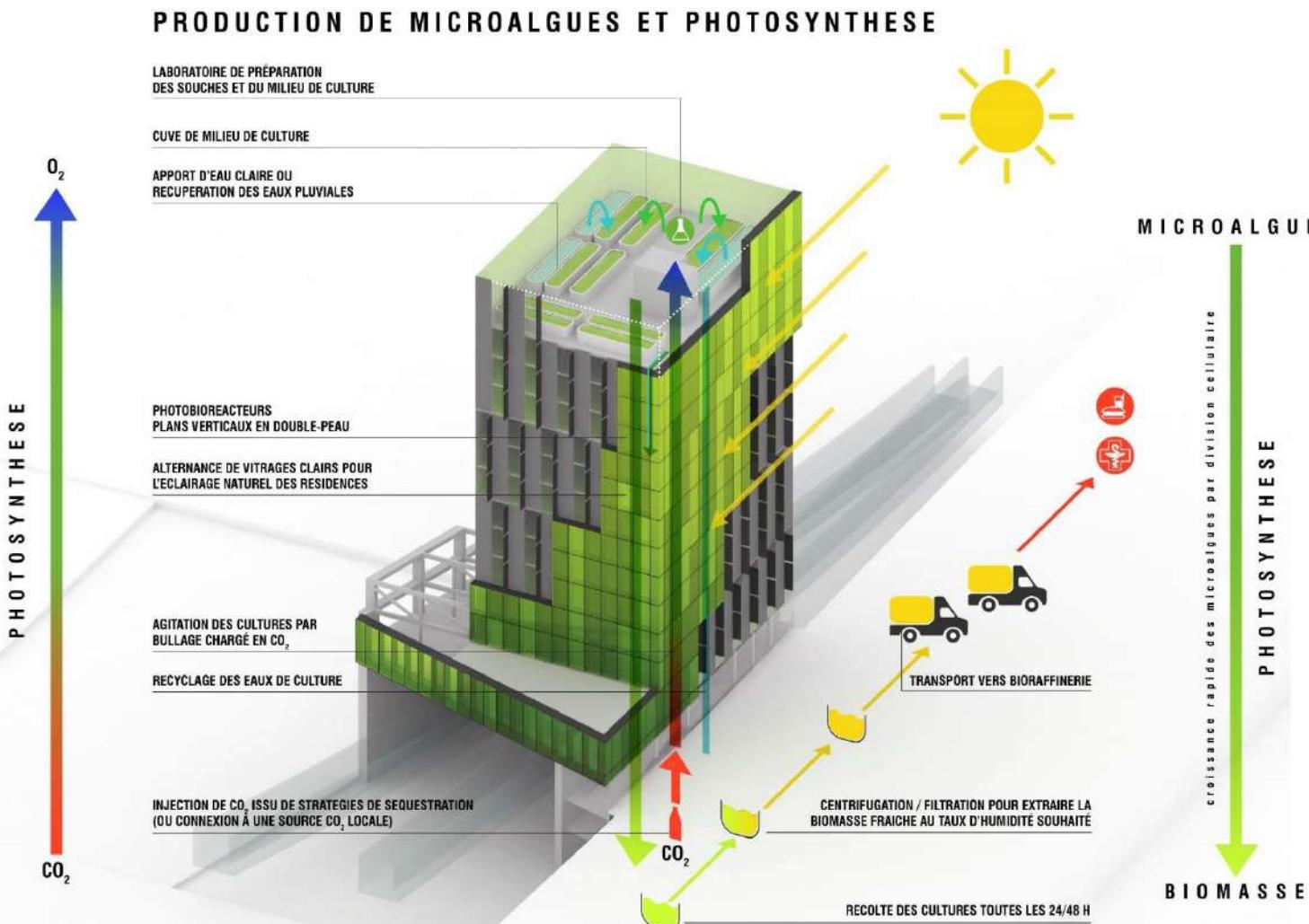


L'intégration urbaine : la culture en bio-façade

- Surfaces éclairées disponibles
- Partage de certains couts (exemples : verre)
- Possibilité d'induire une symbiose avec le bâtiment support pour réduire les couts opératoires (échanges thermiques, de CO₂...)



Culture de microalgues en façade de batiments



Source X-TU Architects



Applications



Projet Symbio2
(CSTB, 2016)



Projet InVivo
(Paris 13eme, 2019)

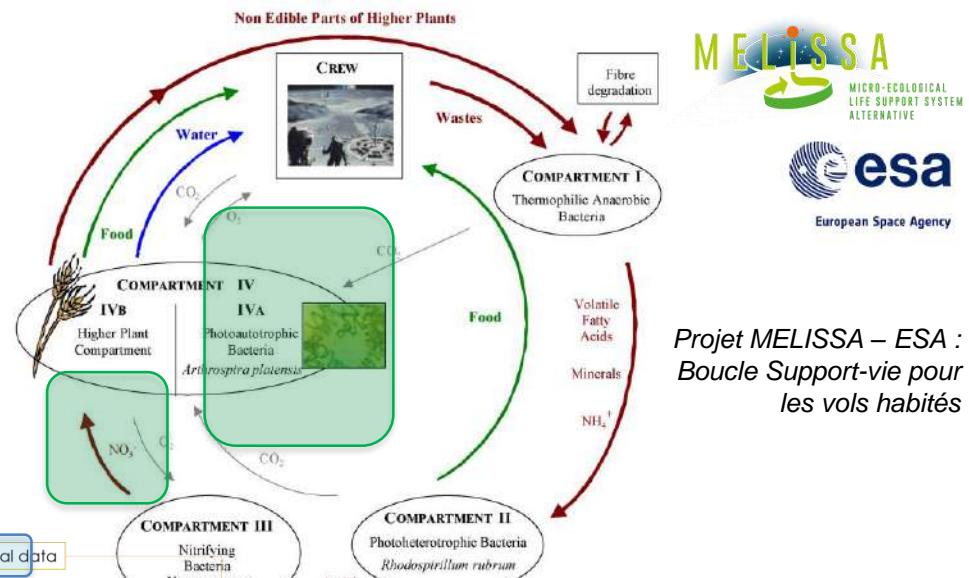
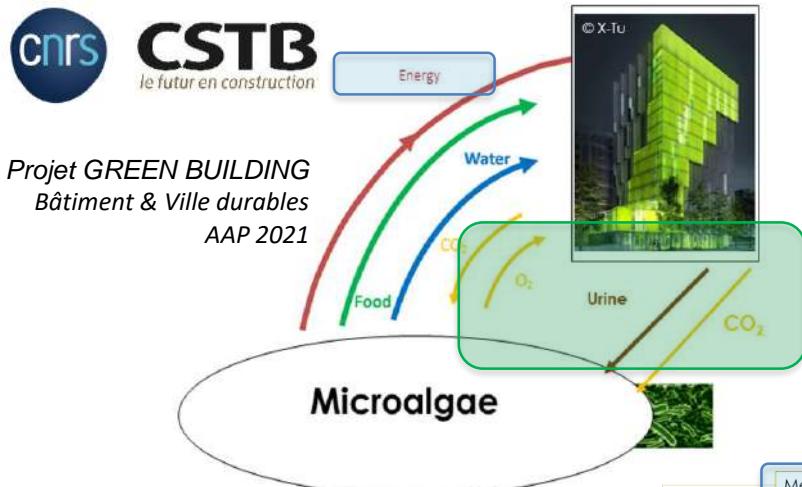


Symbio2Box
(Saint Nazaire, 2013)

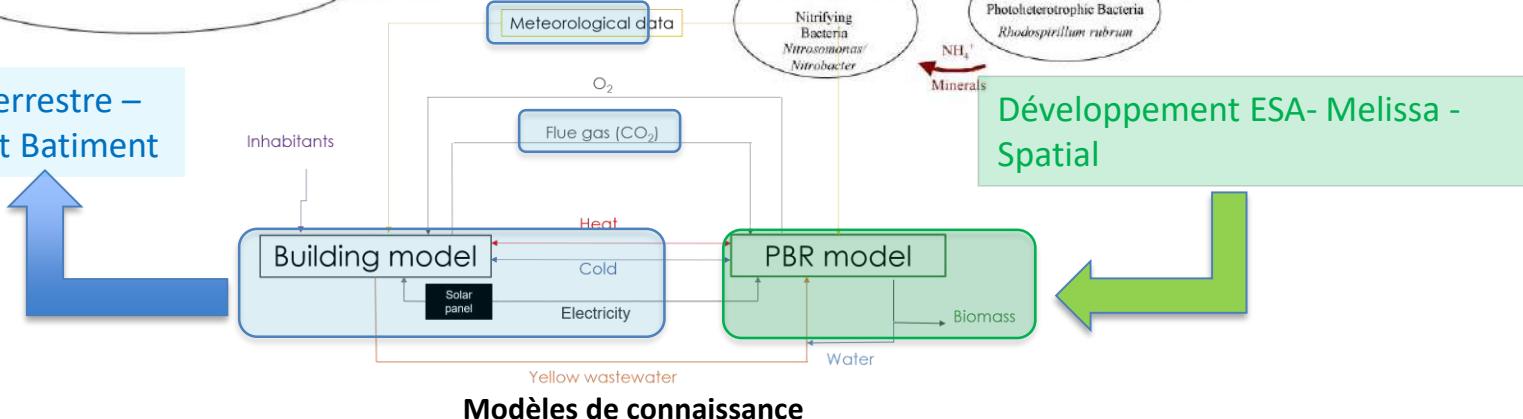
Source X-TU Architects

La recherche spatiale pour des bâtiments durables

- L'intégration de photobioréacteurs pour la culture de microalgues en façade de bâtiments ouvre la perspective de réalisation de bâtiments durables, par traitement sur site des rejets du bâtiment.
 - L'ESA développe des approches similaires pour les vols spatiaux habités au travers du projet MELISSA.

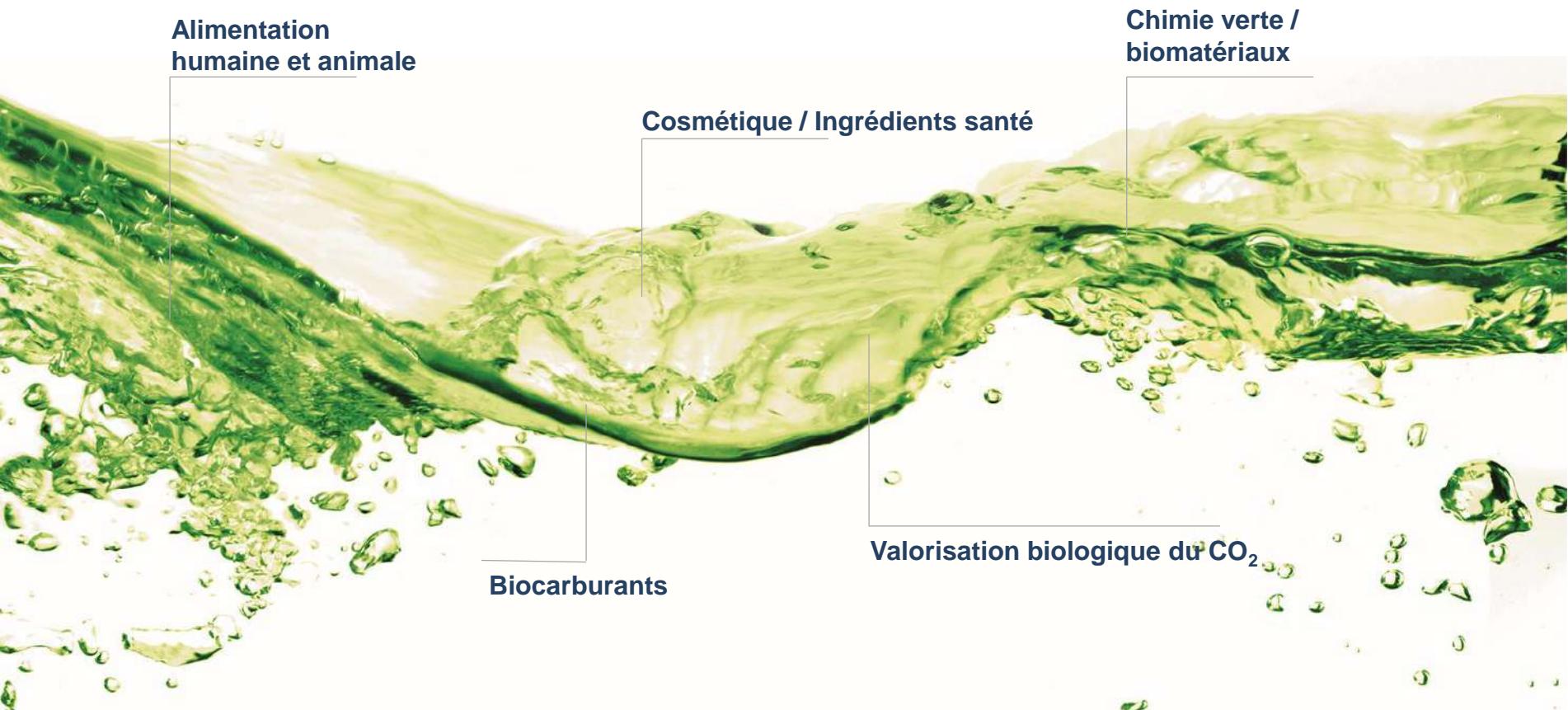


Projet MELISSA – ESA : Boucle Support-vie pour les vols habités



Et la réalité ???

Les microalgues, une biorésource aux nombreux débouchés



... mais une exploitation industrielle aujourd'hui limitée

**On produit autant de microalgues en un an,
que de céréales en 4 minutes !**

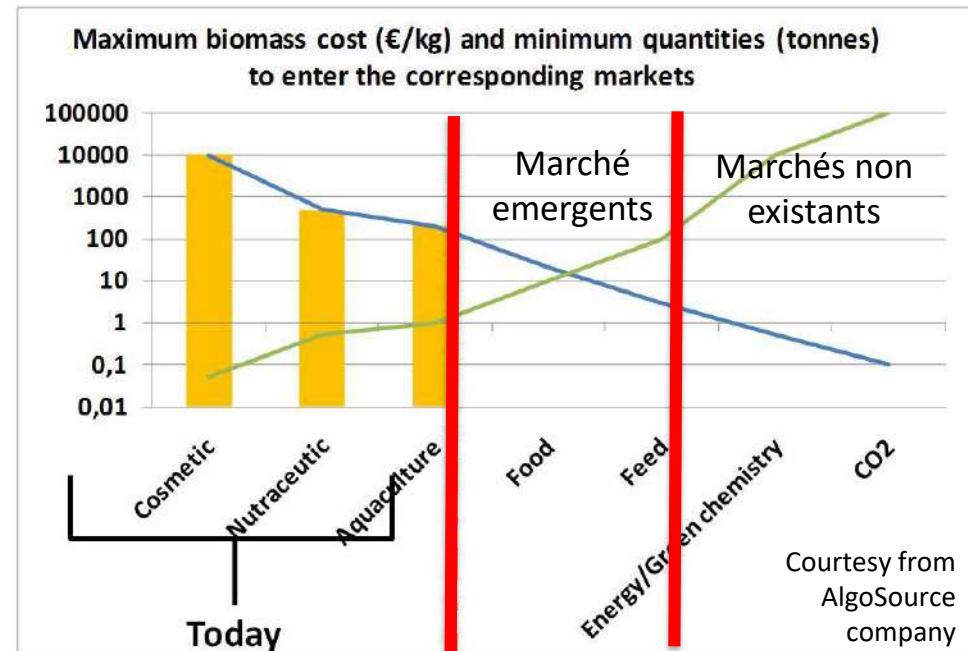
L'enjeu Cout/Volume de production

Projection des applications des microalgues (réalisé en 2010)



Les 2 critères majeurs pour de nouveaux marché : le **volume** et le **coût**

- Cout de production > 5€/kg, souvent ~ 20-30€/kg
- Production mondiale d'environ 20-30 000t/and



Une industrie longtemps tirée (tiraillée?) par sa promesse ultime: les biocarburants



the post algafuels age

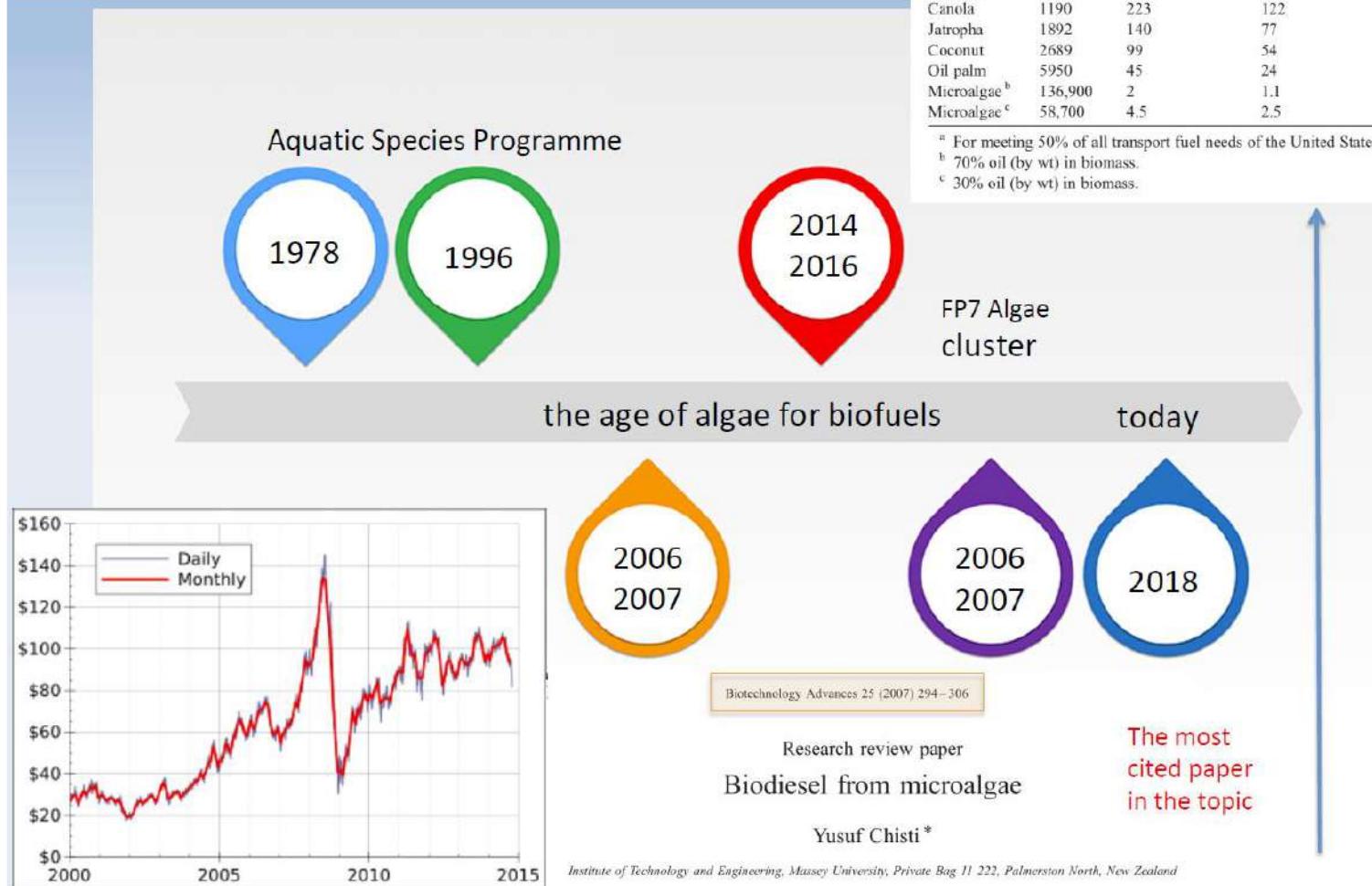


Table 1
Comparison of some sources of biodiesel

Crop	Oil yield (L/ha)	Land area needed (M ha) ^a	Percent of existing US cropping area
Corn	172	1540	846
Soybean	446	594	326
Canola	1190	223	122
Jatropha	1892	140	77
Coconut	2689	99	54
Oil palm	5950	45	24
Microalgae ^b	136,900	2	1.1
Microalgae ^c	58,700	4.5	2.5

^a For meeting 50% of all transport fuel needs of the United States.

^b 70% oil (by wt) in biomass

^c 30% oil (by wt) in biomass

Exemples de l'entreprise AlgoSource

Our journey towards sustainability

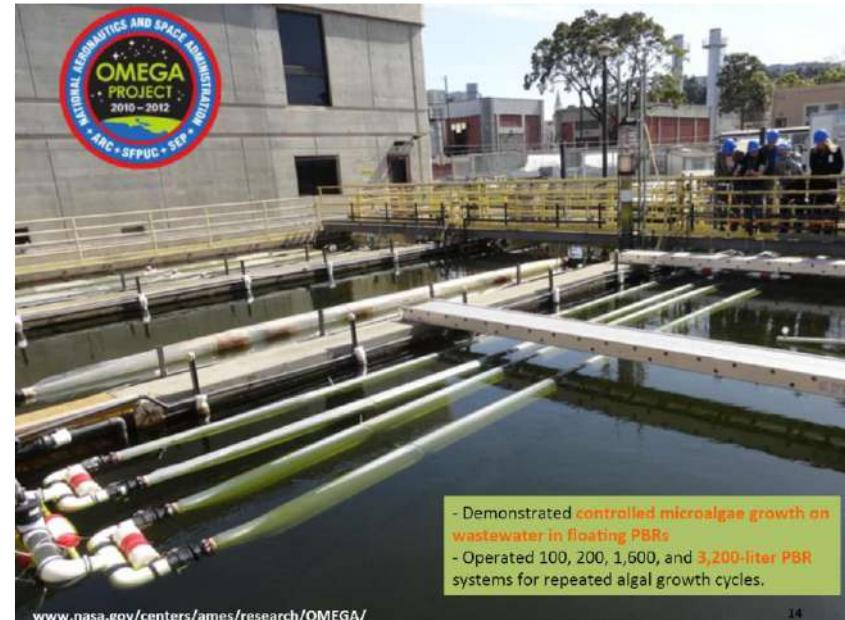
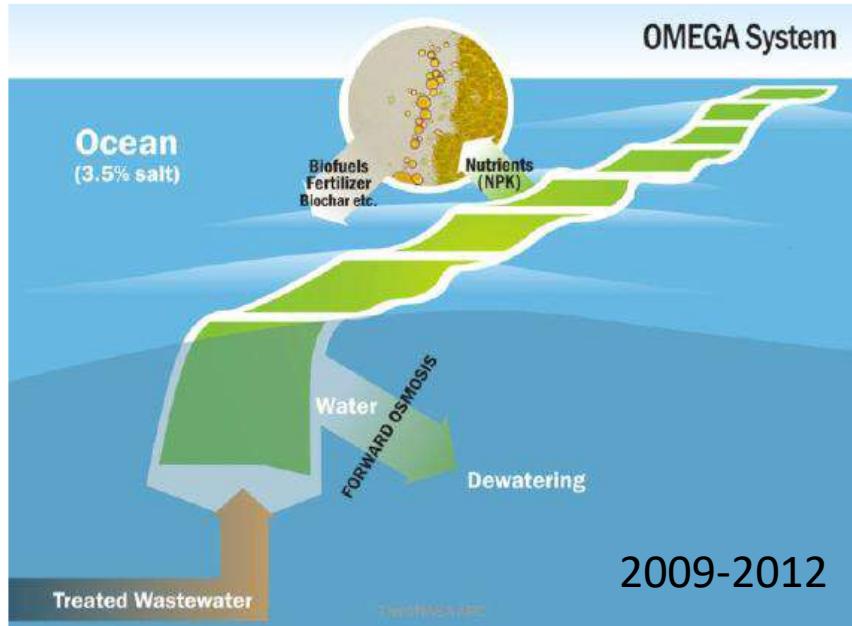
Source O.Lépine - AlgoSource



- 1993: Creation of Alpha Biotech
- 1995 First company to produce Spirulina in France
- 1998 Phycocyanin extraction patent: no solvents, water based, cold extraction, no drying
- Cultivation of all the classic strains in cheap affordable systems
- 2005: Biofuels from algae boom
- 2008 Shamash project: First production of biodiesel from autotrophic algae in Europe, First lyfe cycle analysis (Lardon at all). Biodiesel tests with PSA
- 2012: Algoroute, first bitumen from algae using HTL, world wide patent
- 2014 Diesalg : HTL development, Economic modelling, Net Energy ratio calculation in different scenarios
- 2016 Biofat : production of biodiesel from Nannochloropsis. Engine tests
- 2017: Life Cycle analysis of Spirulina extract production
- 2017-2020: 5 M€ investment program, new plant construction

La conséquence majeure : l'entreprise est sensibilisée aux éléments de la production durable (mais ne commercialise pas de biocarburants)

Vers la production industrielle à grande échelle : une industrie émaillée d'essais-erreurs



2004-2005



Vers la production industrielle à grande échelle : une industrie émaillée d'essais-erreurs et de réussite !!



Création en 1992 et toujours actif (1000t/an, 40ha)



Création en 1985 et toujours actif (400t/an)



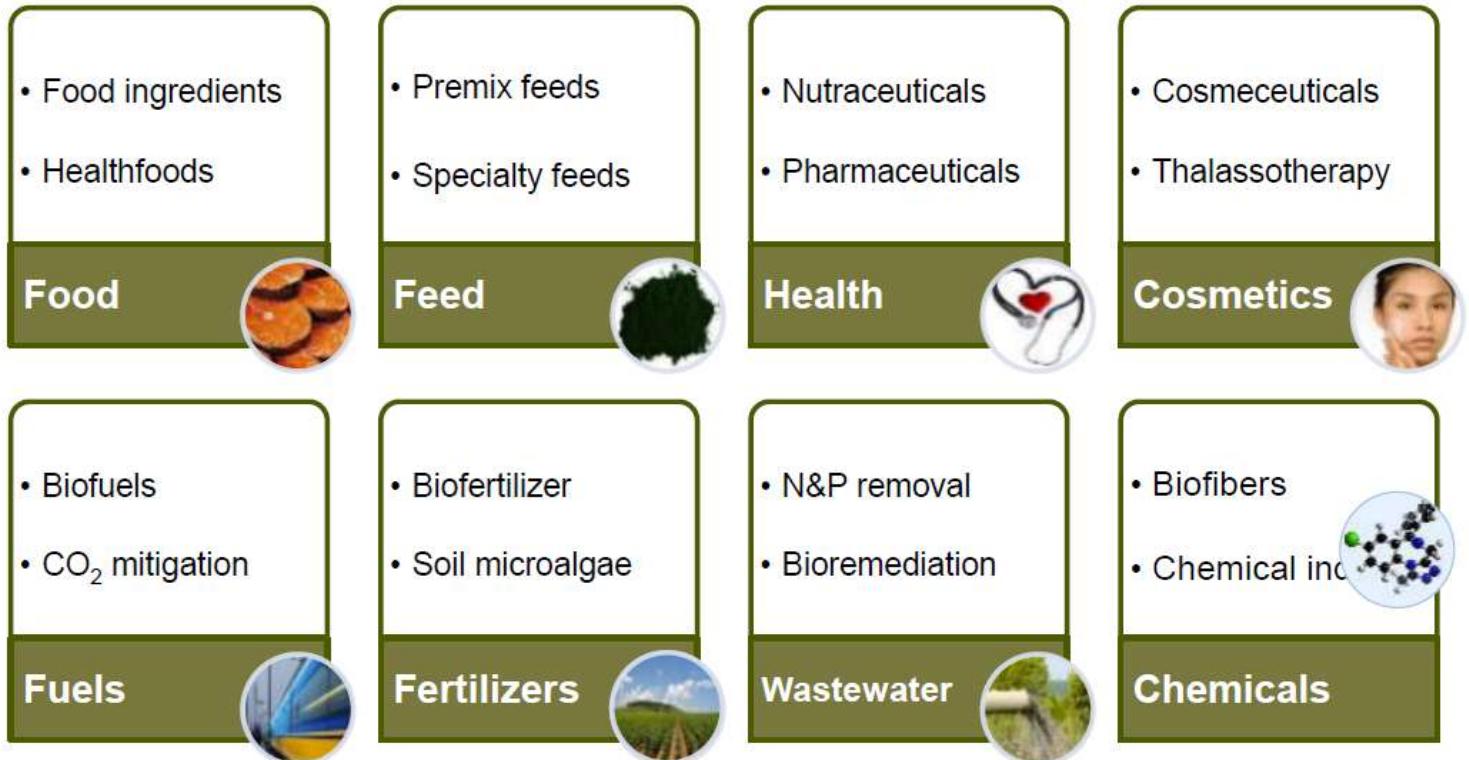
Et depuis une dizaine d'années, la technologie photobioréacteur se développe pour la culture de masse

La réalité des applications en 2022

established
applications



emerging
applications



Une industrie à part entière aujourd’hui

	Asia mostly ... India, Japan and China	Europe ... Finland to Portugal, Iceland to Israel	America mostly US
Large companies	final products	ingredients	final products
	the Largest companies in the sector small organic growth <i>acquisition of smaller companies</i> Produt based, Gov. framework Euglena Co, Chlorella Ind, DIC, ... BGG, King Darmsa, Green-A, ...	The Fastest growing companies strategic alliances acquisition of large companies Product based, Business framework DSM, BASF, Corbion, Roquette, Astareal, Algatechnologies,	Large companies higher risk approaches investment driven, supported by Government Cyanotech, Heliae, Earthrise Solix, Alltech, Qualitas Health. ...
SMEs and Startups	Few companies except Spirulina in China Few Clusters , mostly Spirulina Product centric Government supported	Many SME companies strategic alliances Many clusters Science and Technology driven Involvement in R&D projects	Many startups hype & policy influenced Some clusters , some unique as AFA Technology driven
	ingredients	final products	final products

L'industrie des microalgues en Europe (2015) :

- >430 entreprises (280 PME)
- environ 4600 emplois
- CA de 750M€ (<500tDW/an)
- (+ 300 groupes de recherche,
soit environ 5000 emplois)

Et dans le monde :

- 2000 entreprises
- >30 000 emplois
- CA > 2.6 Milliards d'€

Source Vitor V.Vieira (EABA, A4F)

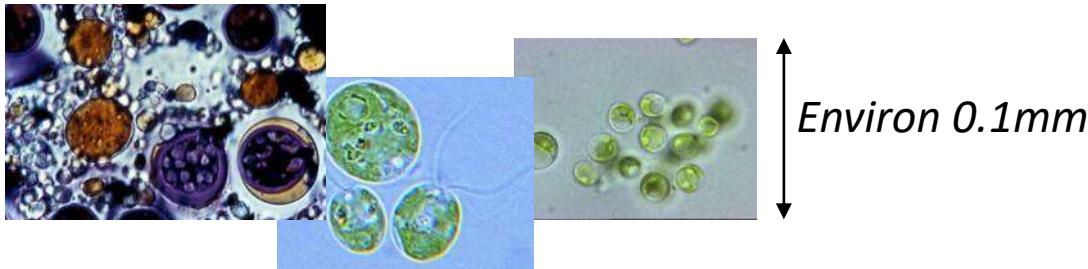
Les enjeux

Exploiter pleinement le potentiel des microalgues

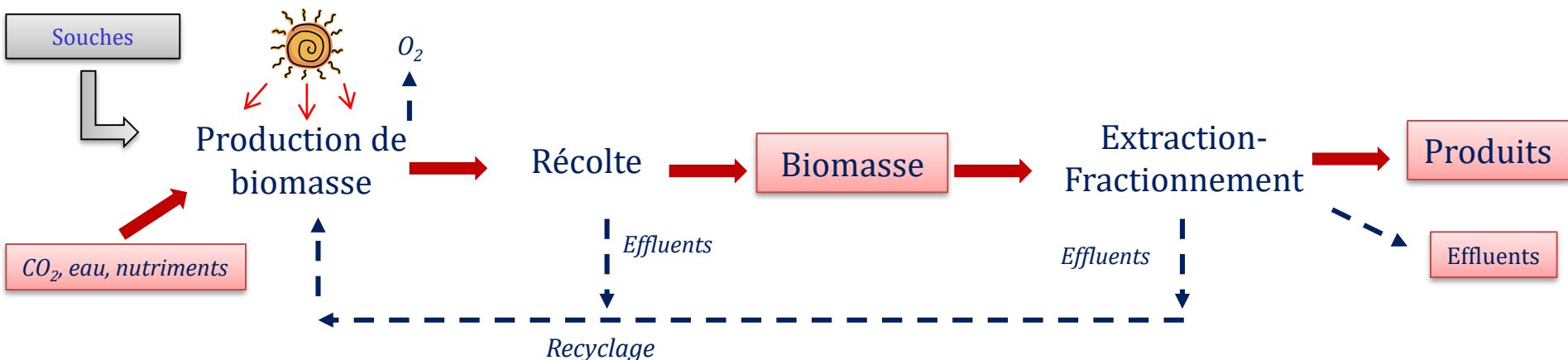
- Bioressource très spécifique : microorganismes végétaux en milieu aqueux



Filière industrielle d'exploitation nouvelle



- Besoin de procédés particuliers d'exploitation



Culture de microalgues : un enjeu technologique



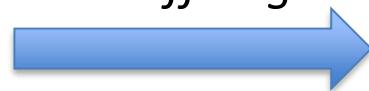
Le besoin d'une démarche intégrée procédés-produits

Le développement de l'industrie des microalgues est lié au développement de nouveaux produits commercialisables

Biomasse



Bioraffinage



Extraits

Pigments anti-oxidants, Exopolysaccharides, Lipides - PUFAs, extraits protéiniques...



Produits fonctionnels



Activités biologiques

Anti-oxydant, anti-viral,
texturant, anti-inflammatoire,
hydratant ...

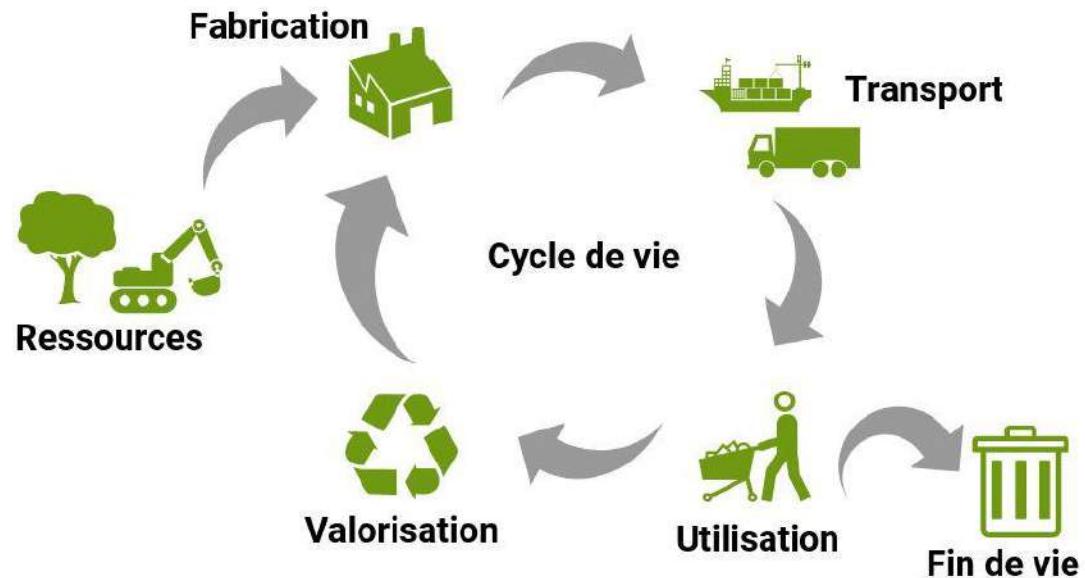


Un point clé : l'éco-conception

La question-clé de la transition environnementale : la solution proposée est-elle meilleure que l'existant ??

Le développement de procédés (et de façon générale, de nouvelles technologies) est à adosser à une analyse globale de l'impact environnemental, dite ACV :

- Prise en compte de **l'ensemble des étapes et des flux entrants** (ex : matière première) et sortants (rejets), du « berceau à la tombe »
- Calcul **d'indicateurs d'impacts potentiels sur l'environnement**



L'ingénieur dispose aujourd'hui d'un outil normé (ISO 14040) :
l'Analyse du Cycle de Vie (ACV)

Emissions de CO₂ pour une culture de microalgues : quelques chiffres

Exemple : Production d'1kg de Spiruline sèche en France (Ouest)

Source O.Lépine + J.Pruvost
Conf. AlgaEurope 2021

Un total de **15 kg CO₂ par kg de Spiruline est émis*** :

- **Electricité: 3 kg CO₂/kg de Spiruline**
- **Infrastructure et maintenance : 5 kg CO₂/kg de Spiruline**
- **Nutriments et produits de nettoyage: 7 kg CO₂/kg de Spiruline**

**Culture d'Avril à Octobre, sans regulation thermique, en bassin, conditions optimales de culture, sans séchage ni congélation*



Pour comparaison : 1 kg de tomates sous serre en France → **12.5 kg eq. CO₂**

Données pour un mix électrique français : 0.12 kg eq. CO₂/kWh électrique

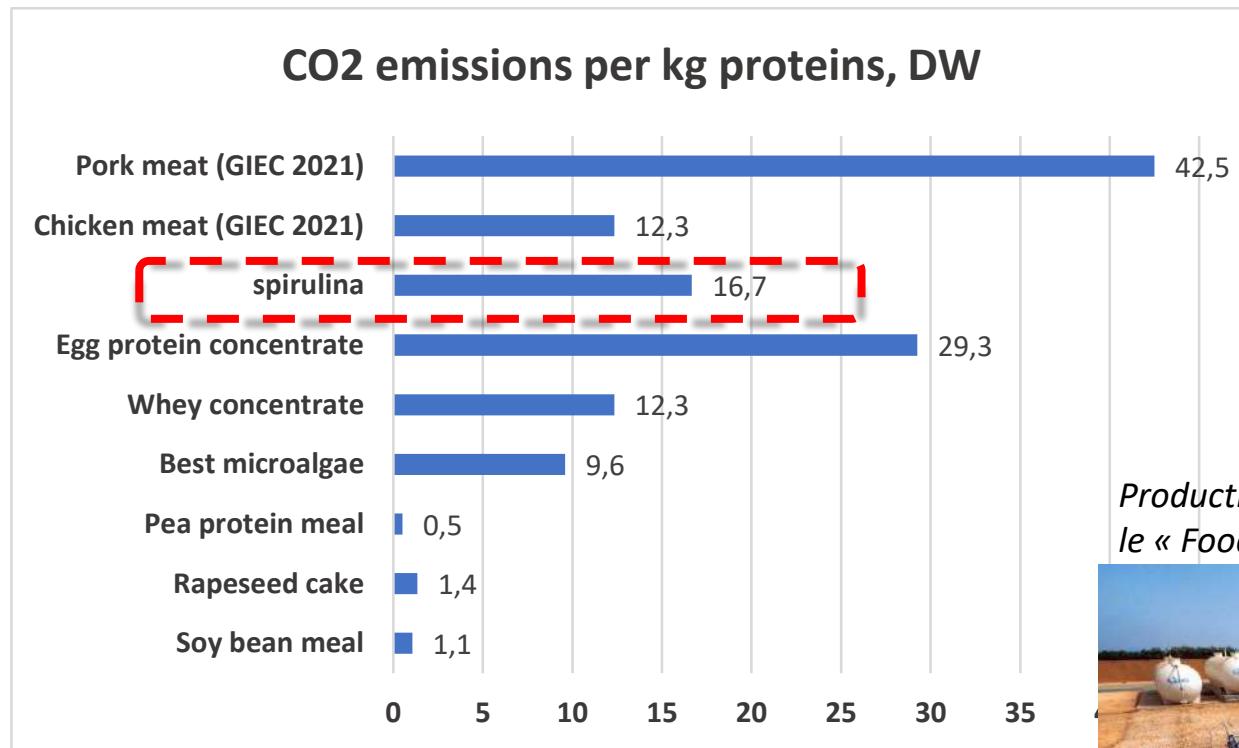
- Avec le mix chinois (0.766 kg eq. CO₂/kWh) : 30 kg CO₂ par kg de Spiruline
(18 uniquement pour l'électricité)
- Avec le mix allemand : 23 kg CO₂/kg de Spiruline

*Note : en lumière artificielle, 1kg de microalgues aura besoin au mieux de 110 kWh d'électricité soit 12 kg de CO₂ en France
(et sans compter le refroidissement, équivalent à l'énergie électrique fournie !)*

Un exemple : émissions de CO₂ par kg de protéines

L'un des enjeux de la transition industrielle alimentaire : **la production de protéines**

La Spiruline est l'une des biomasses ayant la plus forte teneur en protéines (60-70%) et elle est produite par photosynthèse (1kg de biomasse consomme biologiquement 1.6-1.8kg de CO₂)



Source O.Lépine + J.Pruvost
Conf. AlgaEurope 2021

L'analyse globale (ACV) montre que les microalgues ne sont pas forcément la meilleure solution... (à l'heure actuelle)

Production de microalgues au Qatar : le « Food Security issue »



Mais ce n'est pas le seul critère : enjeux de l'**usage des sols, en particulier non arables, et sécurité d'approvisionnement (pays désertiques)**
→ 2 notions non prises en compte dans l'ACV

Le levier technologique dans la réduction de l'empreinte environnementale

Scénario étudié : Production d'une tonne de biomasse sèche

Etape de culture



Façade PBR



Raceway



45° inclination PBR



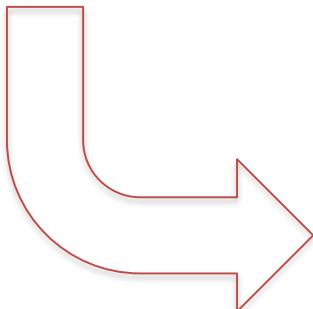
AlgoFilm© PBR
(ultrathin system)

8 g/m²/day
200/g/m³/day
Mixing 0.35 kWh/m³
Thermal regulation 1.1 kWh/m³
(0 if optimal symbiosis)

5 g/m²/day
10 to 30 g/m³/day
Mixing 0.1 kWh/m³
Thermal regulation 0 kWh/m³
(no regulation)

13 g/m²/day
260g/m³/day
Mixing 0.35 kWh/m³
Thermal regulation 1.1 kWh/m³

13 g/m²/day
6000g/m³/day
Mixing 0.35 kWh/m³
Thermal regulation 1.1 kWh/m³
(0 if passive regulation)



Etape de récole

Harvesting
(30%DW)

Centrifugation

2-10 kWh/m³
3.5 kWh/kg DW



Biomass thermal drying
(95%DW)

Thermal drying

800-2500 kWh/m³



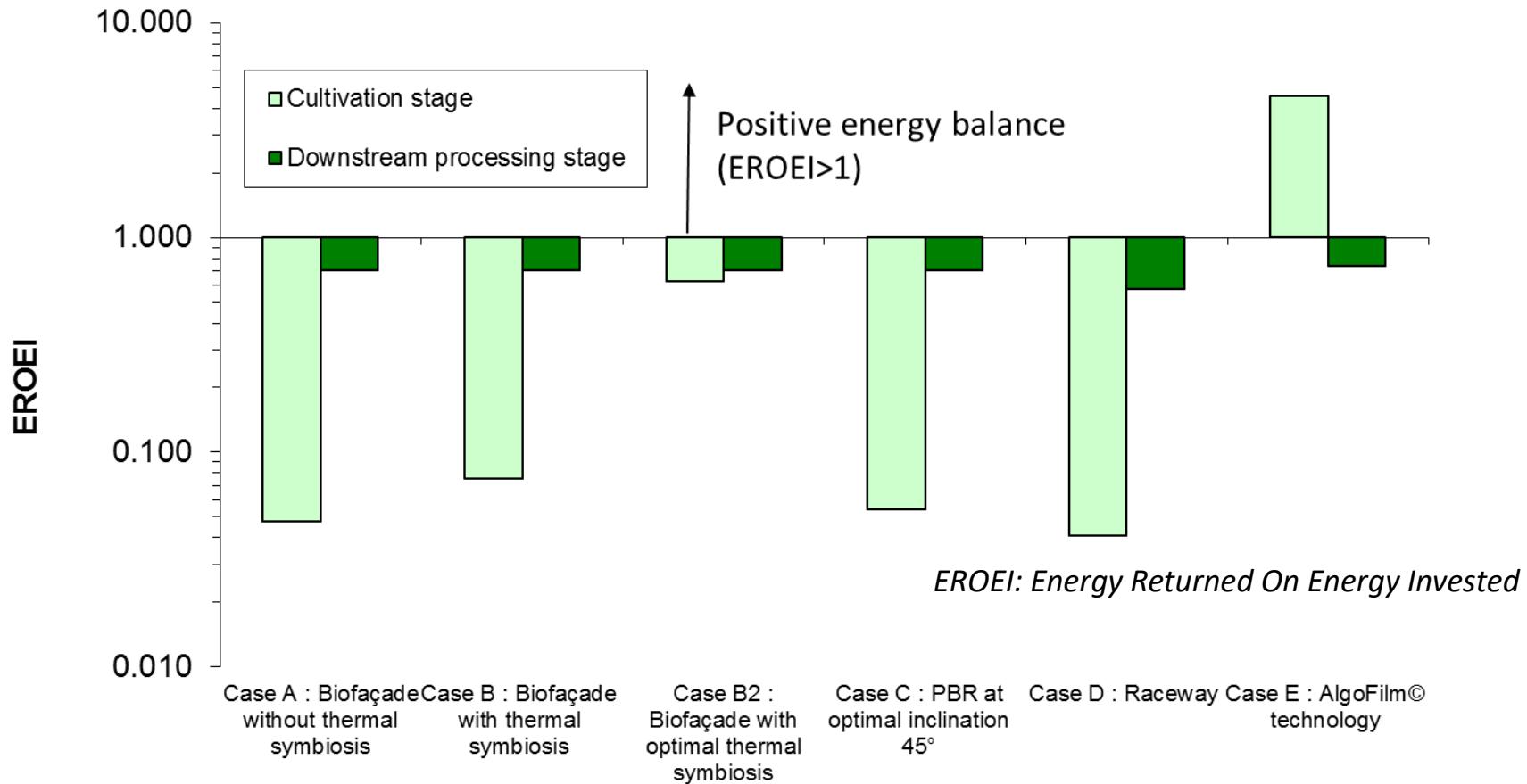
Dry biomass



Le levier technologique dans la réduction de l'empreinte environnementale

Analyse restreinte à la consommation énergétique

Cas simulé:
Culture et séchage de biomasse



La quantité d'eau utilisée par m² de culture a un impact majeur sur la consommation énergétique : **ici, seul le système intensifié type AlgoFilm permet d'envisager une production à énergie positive**

Réduction des émissions de CO₂ : culture intensifiée et écologie industrielle

Exemple : Production d'1kg de Spiruline sèche en France (Ouest) avec écologie industrielle

2 leviers majeurs :

- L'intensification permet de réduire d'un facteur 100 environ le besoin énergétique
- L'écologie industrielle permet d'utiliser le CO₂ issu des fumés industrielles et d'étendre la culture à toute l'année (valorisation de chaleur fatale)



Un total de **5.3 kg CO₂ par kg de Spiruline est émis*** (**-70% comparé aux bassins classiques**) :

- Electricité: **0.3 kg CO₂/kg de Spiruline (-90% comparé aux bassins classiques)**
- Infrastructure et maintenance : **2 kg CO₂/kg de Spiruline (-60% comparé aux bassins classiques)**
- Nutriments et produits de nettoyage: **3 kg CO₂/kg de Spiruline (-60% / aux bassins classiques)**

Source O.Lépine + J.Pruvost
Conf. AlgaEurope 2021

* Cela permet de gagner 10 kg CO₂/kg de Spiruline

Mais, au final, environ 200 tonnes de CO₂ émis/ha/an

→ 5 fois plus que le CO₂ capté dans la biomasse (1,8 kg/kg)

De la communication autour des microalgues...



« Un curieux mobilier urbain, capable d'absorber autant de gaz carbonique qu'une centaine d'arbres grâce à ses microalgues qui rejettent l'oxygène. »

« Nos bio-procédés permettent la décontamination tertiaire, la réduction de l'azote et du phosphore, le **captage massif du CO₂** et la préservation des écosystèmes »



« La culture de microalgues permet de participer à la lutte contre le réchauffement climatique provoqué par l'activité humaine, grâce à la capture du CO₂. En effet, pour 1 kg de microalgues produites (en matière sèche), 2 kg de CO₂ sont captés. Très propre, la production de microalgues n'entraîne aucun rejet polluant, l'oxygène étant la seule émission produite. »

Algae Chat • 1st
Sharing all things Awesome Algae! algaechat.com
27m •

Australian beer makers fight climate change by feeding carbon to algae
<https://buff.ly/3G5ebw3>

...see more

Une ACV rigoureuse permettrait de tempérer certains propos

L'écosystème nanto-nazairien

Le laboratoire GEPEA (UMR-CNRS)

Chiffres-clés :

- Environ 230-240 personnes (77 chercheurs)
- 5 équipes de recherche, 4 plateformes (AlgoSolis, Prever, SafeAir, Flavor) et 3 plateaux techniques (Baking, Mars, EASI)
- Impliqué dans 3 DUT, 3 Ecoles d'Ingénieurs, 1 Master international
- Production annuelle: 100 publications ACL, 40 projets obtenus(4-5M€), 20 thèses soutenues

Plus d'infos : www.gepea.fr

+ RS (Linkedin, Twitter)

Campus de Saint-Nazaire



UNIVERSITÉ DE NANTES

IMT Atlantique



IMT ATLANTIQUE
INSTITUT POLYTECHNIQUE DE LA LOIRE

IUT de Nantes



UNIVERSITÉ DE NANTES

Saint-Nazaire
Nantes

GEPEA
UMR CNRS 6144



UNIVERSITÉ DE NANTES



IUT de la Roche-sur-Yon

ONIRIS Géraudière



ONIRIS



Le Génie des Procédés pour l'essor de l'Usine du Futur et la réponse aux enjeux des transitions environnementales, énergétiques, et alimentaires :

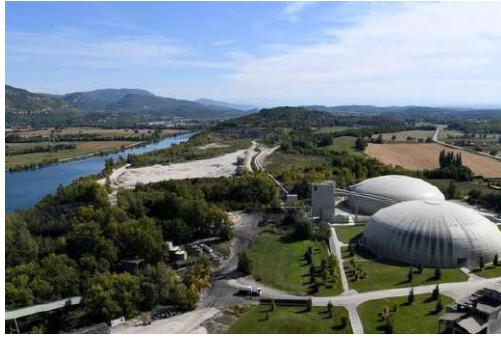
- **Gestion sobre et optimisée des (bio)ressources** (nouveaux sourcing alimentaires, approches intégrées procédés-produits, réduction d'empreinte industrielle),
- **Préservation de la qualité de vie** (écotechnologies pour la qualité de l'environnement air eaux, procédés de co-valorisation matière-énergie de résidus ou déchets industriels, procédés d'exploitation de ressources marines et en particulier *microalgues*).

AlgoSolis: une plateforme de recherche dédiée au développement industriel de nouvelles applications basées sur les microalgues



Plus d'infos : www.algosolis.com
(aussi sur LinkedIn, Twitter)

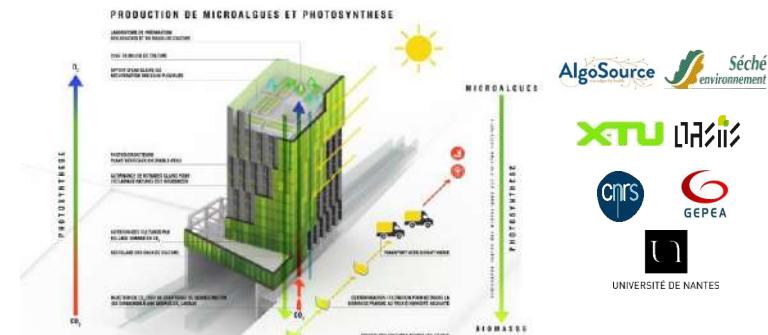
L'écologie industrielle et les microalgues : projets en cours



Projet Cimentalgue : Valorisation du CO₂ issu de cimenterie



Projet AlgoStep : Valorisation des effluents de STEP



- Projet FUI Symbio2 : Photobioréacteurs de façades pour l'amélioration des performances thermiques de bâtiment
- Projet CNRS-CSTB « Bâtiments Durables » GREEN BUILDING : traitement de l'urine de batiments



Projet PIAN (PIA):
Déploiement de la culture de microalgues en Guyane sur un site industriel de la SARA pour valorisation du CO₂ en biomatériaux et biocarburants 3G.



Conclusion

Les microalgues : une origine très ancienne, une jeune histoire scientifique, et un incroyable potentiel pour l'avenir car au cœur de solutions durables pour l'industrie de demain

- Il y a 3 Milliards d'années : les microalgues apparaissent
- Fin du 19^{ème} siècle : premières cultures en milieu artificiel de microalgues
- Années 1980-1990 : premiers exemples d'exploitations industrielles (mais application ciblées)



20-30 ans de recherche et développement industriel

Années 2010: Emergence forte de la filière industrielle « Microalgues »

Emergence d'applications dans de nombreux domaines pour des enjeux majeurs de demain :

- Biocarburants
- Valorisation biologique d'effluents (écologie industrielle)
- Chimie verte (bioplastique, colles...)
- Vols spatiaux
-



Nantes
Université



Merci pour votre
attention

Sources et liens utiles

Plus d'infos sur l'auteur (J.Pruvost) :

[Production scientifique \(base de données HAL – Archives ouvertes CNRS\)](#) :

[Liste de publications Google Scholar](#)

[Lien Research Gate](#)

[CV développé \(page personnelle - Université de Nantes\)](#)

Plus d'infos :

[Laboratoire GEPEA](#)

[Plateforme AlgoSolis](#)

Liens aux formations:

[Ecole d'Ingénieurs Polytech Nantes \(dept. Génie des Procédés et Bioprocédés\)](#)

[International Master Degree in Microalgae Bioprocess Engineering](#)

Suivre nos actualités:

- GEPEA : [Twitter](#) et [LinkedIn](#)
- Plateforme AlgoSolis : [LinkedIn](#)
- J.Pruvost : [Twitter](#) et [LinkedIn](#)

