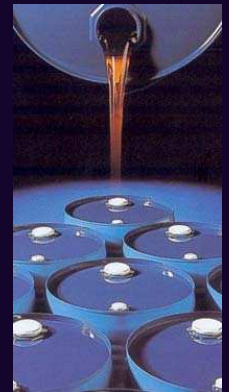


Les biocarburants issus de microalgues : enjeux et défis

Olivier BERNARD

COMORE
INRIA /CNRS/UPMC



Sauvons Le Climat



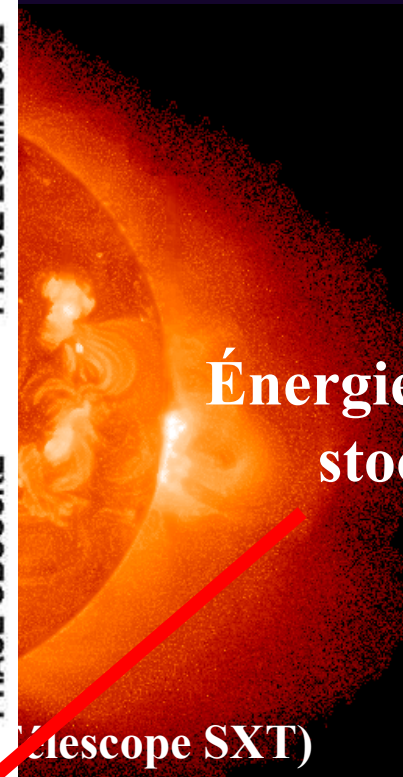
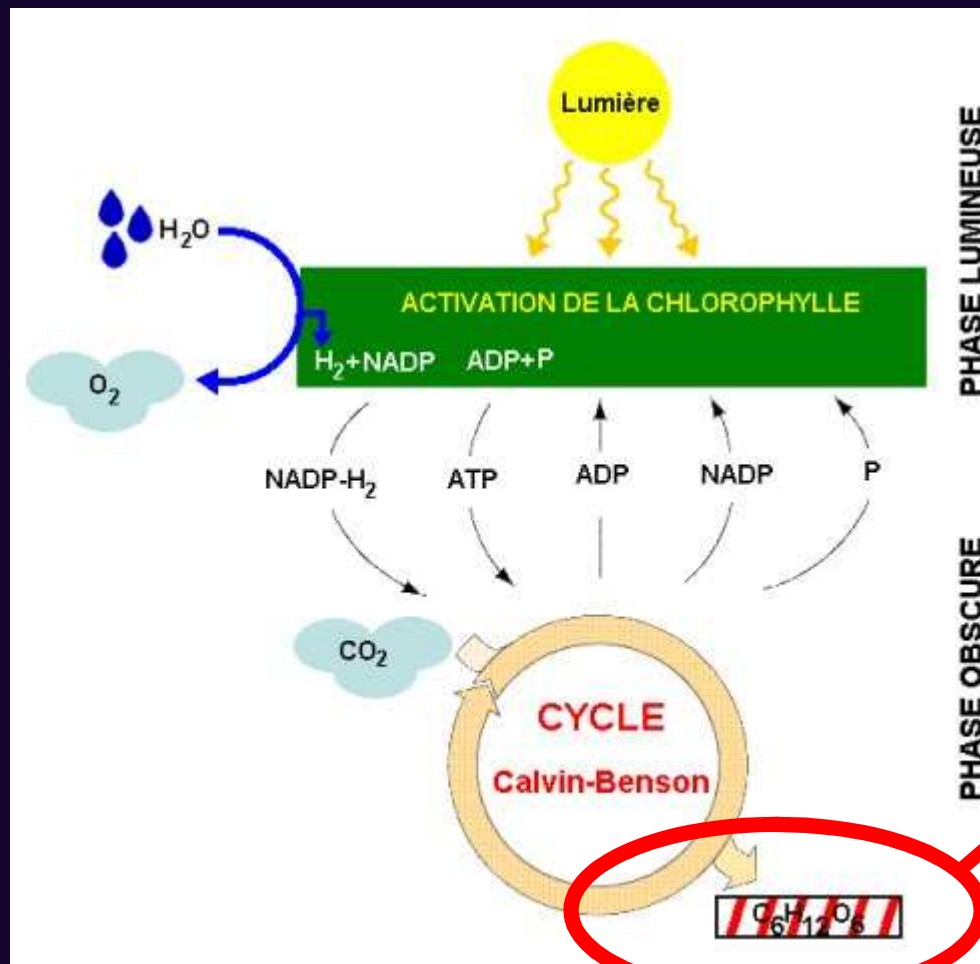
Sauvons le climat
Dijon 23-25 sept. 2010



De quelle énergie parle-t-on ?

2

Énergie solaire !!



Le biodiesel... avant le pétrole !

3

Le biodiesel peut être utilisé dans les moteurs...

- Rudolf Diesel (brevet 1893) : huile d'arachide
- Biodiesel pur (B100) ou avec du gasoil (B20, BXX)
- Peu ou pas de modification moteur
- Même réseau de distribution
- Disponible

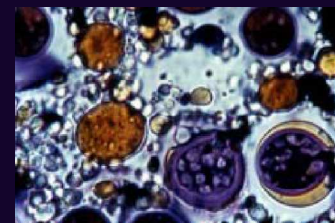
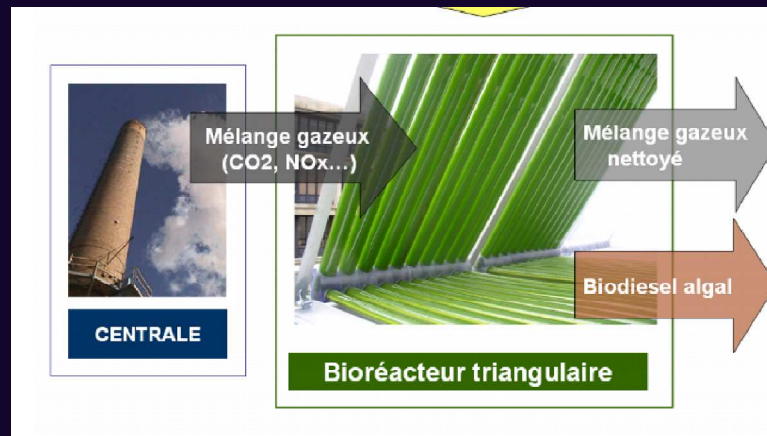


Certaines espèces de microalgues peuvent produire des lipides

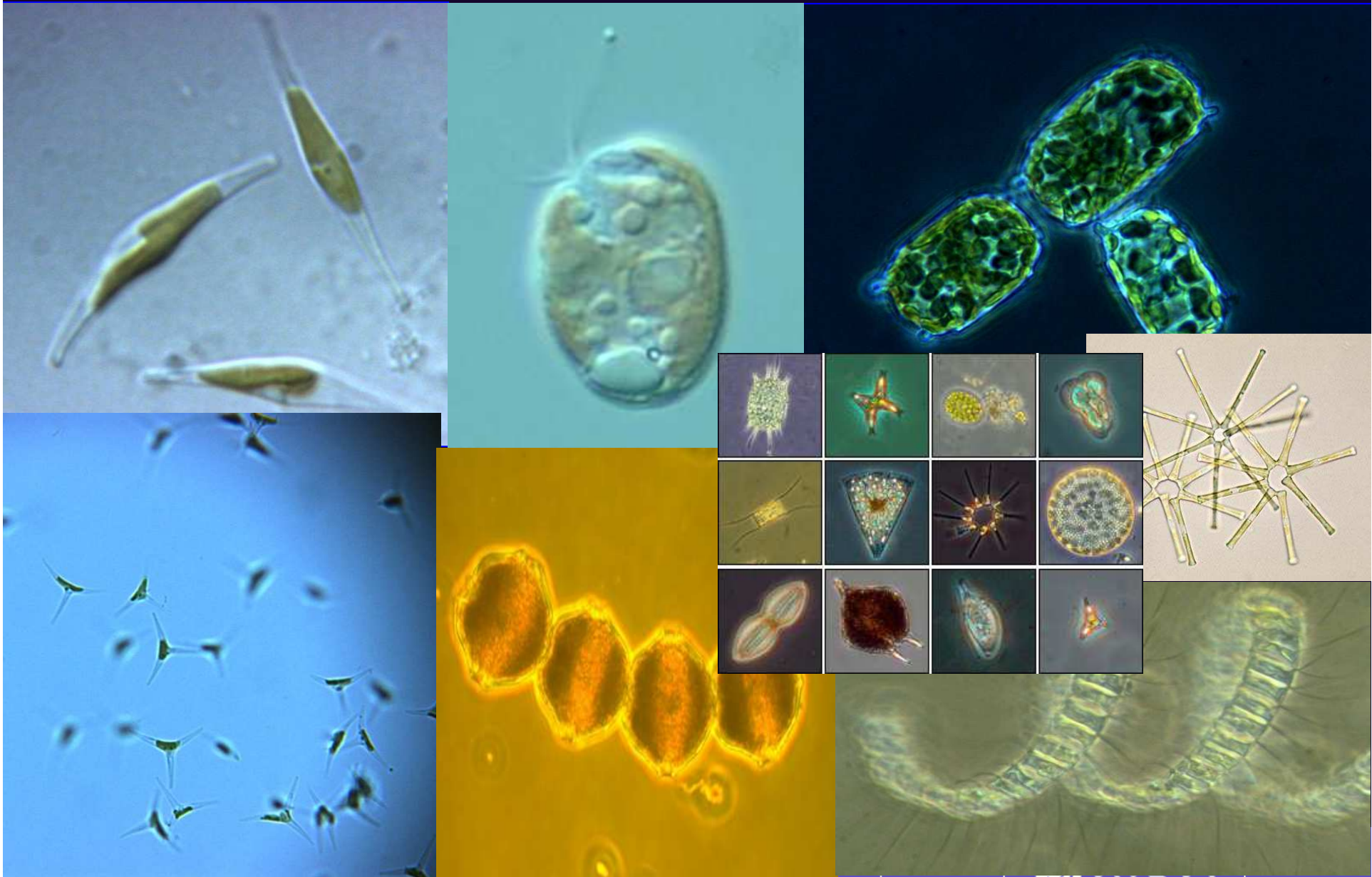
4

Production de lipides biocarburant à partir de microalgues

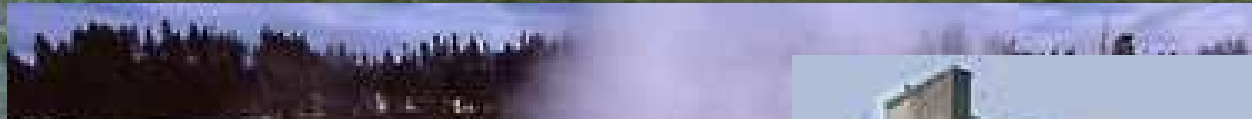
Accumulation transitoire induite par une carence minérale.



Microalgues : une grande biodiversité



Microalgues: on les trouve partout



Elles se développent naturellement à grande échelle



Marée rouge avec le dinoflagellé *Noctiluca scintillans*

Elles se développent à TRES grande échelle

8



bloom d'Emiliana huxleyi vu par satellite

On peut les cultiver en étangs à haut rendement ⁹



On peut les cultiver en photobioréacteurs

10

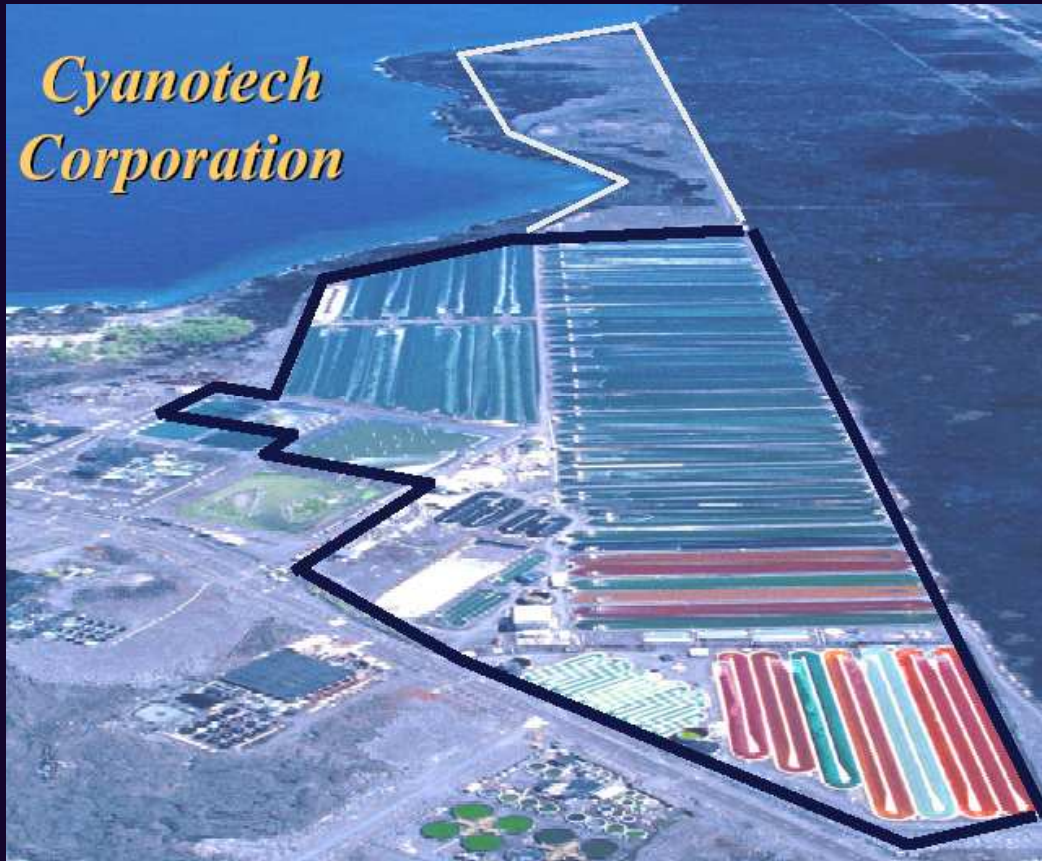


(Allemagne)

- 1 ha
- 700 m³
- 500 km the tubes
- 150 tonnes/an
- 25 €/kg

Encore peu cultivées (~10 000 tonnes/an)

11



Aquaculture



Nutraceutique

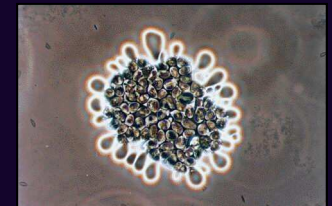


Cosmetique

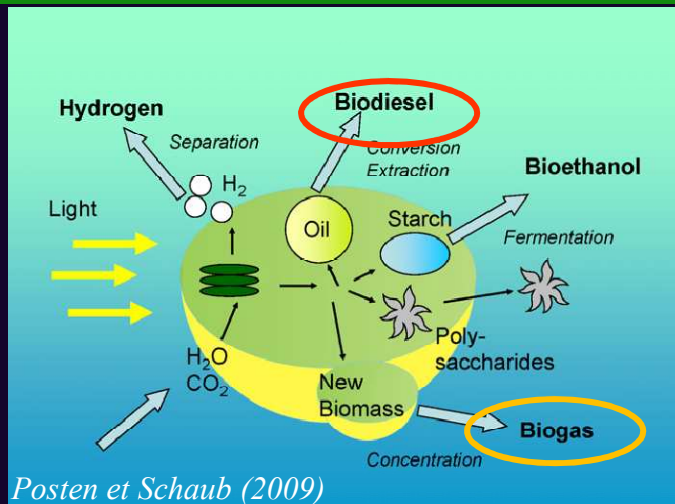


Santé

*Bioénergie et
fixation du CO₂*

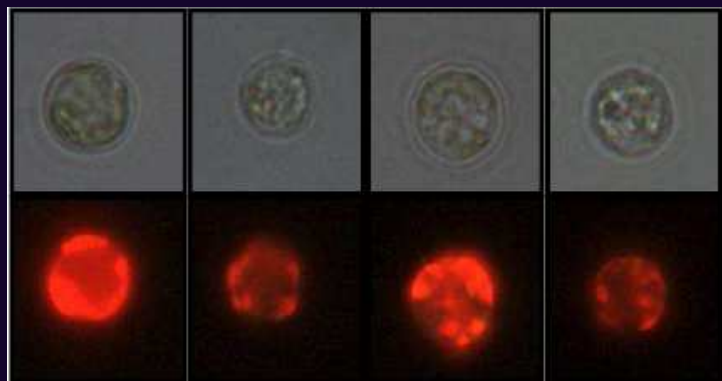


Production de bioénergie à partir de microalgues ¹²



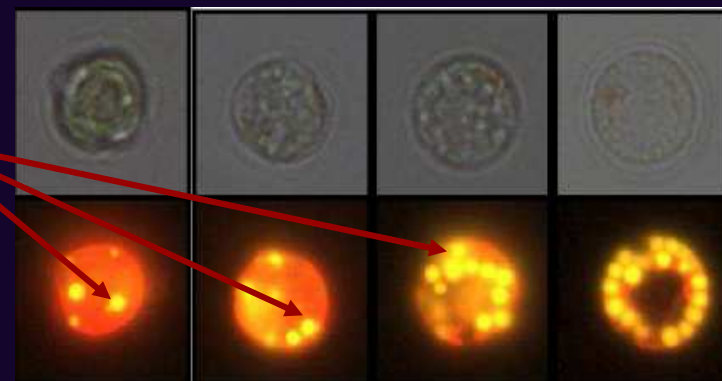
Récupération d'une partie
de l'énergie solaire

- Rendement très élevé (20 à 30 T/ha/an)
- Pas de concurrence avec des cultures alimentaires
- Pas de pollution des nappes phréatiques
- Consommation de CO₂ d'origine industrielle
- Sous-produits à haute valeur ajoutée



Microalgues cultivées dans des conditions de
croissance optimales

Globules
lipidiques



Microalgues cultivées sous conditions de stress
en azote

Contenu en lipides de diverses espèces (Chisti, 2007)

13

Microalga	Oil content (% dry wt)
<i>Botryococcus braunii</i>	25–75
<i>Chlorella</i> sp.	28–32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca</i> sp.	16–37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis</i> sp.	25–33
<i>Monallanthus salina</i>	>20
<i>Nannochloris</i> sp.	20–35
<i>Nannochloropsis</i> sp.	31–68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35–54
<i>Nitzschia</i> sp.	45–47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20–30
<i>Schizochytrium</i> sp.	50–77
<i>Tetraselmis sueica</i>	15–23

Production biomasse riche en lipides

Récolte

Extraction des lipides

Sous produits (pigments, protéines)



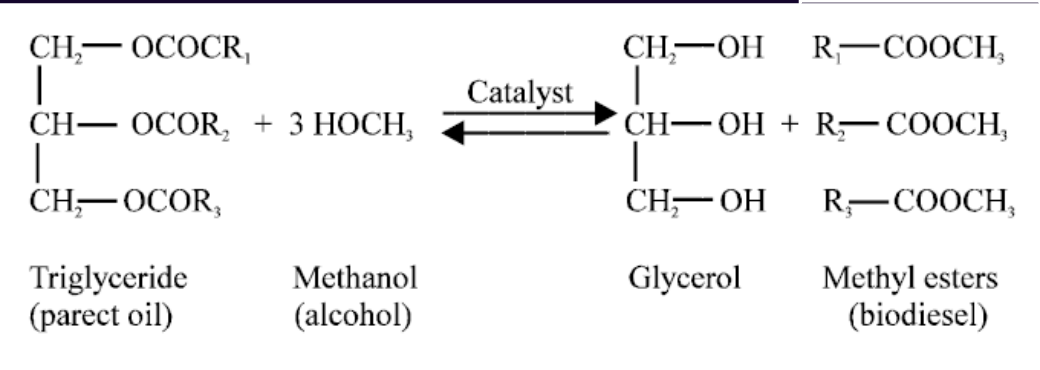
Huile

Glycerol

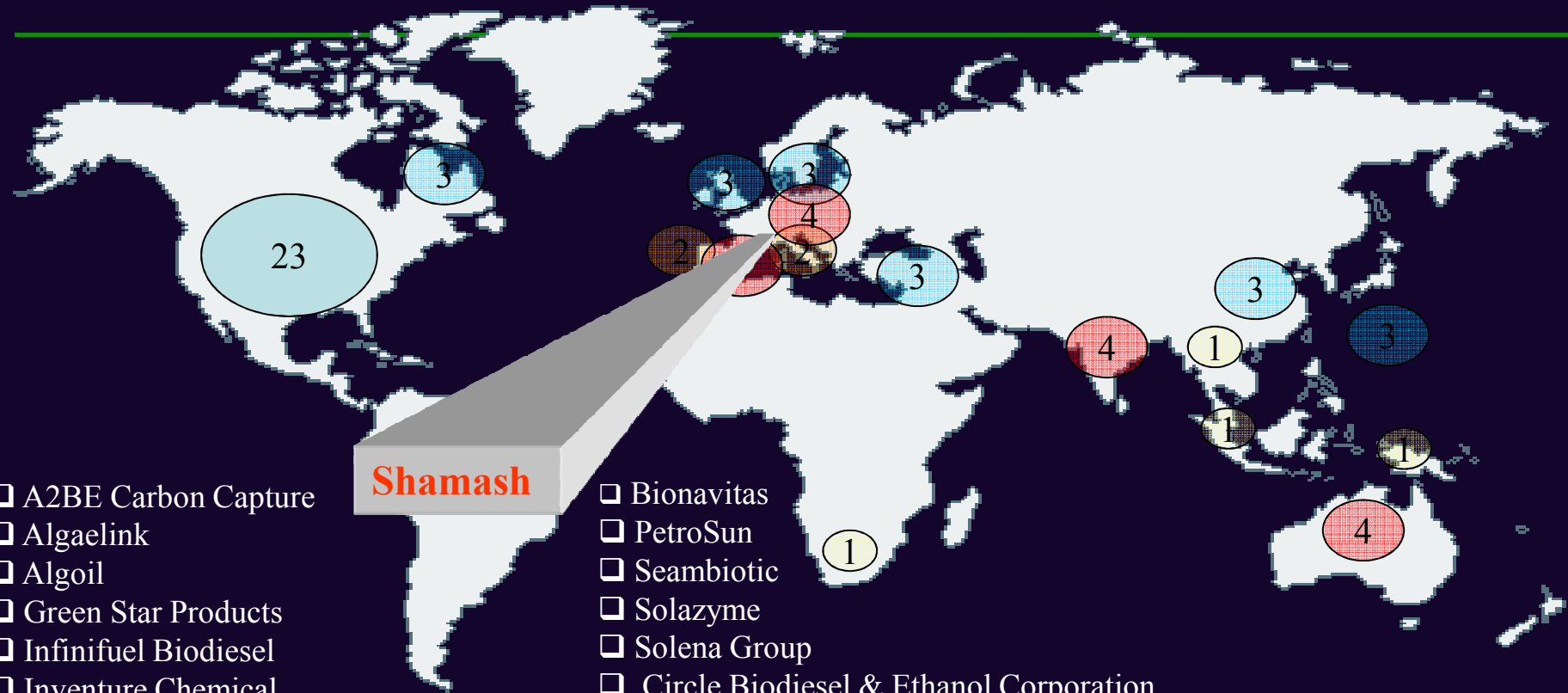
Biodiesel



Algae for Biodiesel



Plus de 200 équipes de recherche et de projets industriels lancés sur cette voie !



- A2BE Carbon Capture
- Algaelink
- Algoil
- Green Star Products
- Infinifuel Biodiesel
- Inventure Chemical
- Aquaflow Binomic Corporation
- Aquaflow Bionomics
- Aquatic Energy
- Aurora Biofuels
- LiveFuels
- OriginOil
- PetroAlgae
- Blue Marble Energy

- Bionavitas
- PetroSun
- Seambiotic
- Solazyme
- Solena Group
- Circle Biodiesel & Ethanol Corporation
- Enhanced Biofuels & Technologies
- Solix Biofuels
- Texas Clean Fuels
- Valcent Products
- GreenFuel Technologies
- Greenshift**
- Exxon mobil
- Vertical Algae Biofuel Growing

Production de biocarburant par des microalgues

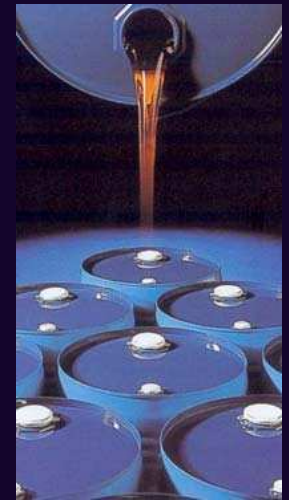
ANR : Programme National de Recherche sur les Bioénergies (PNRB)

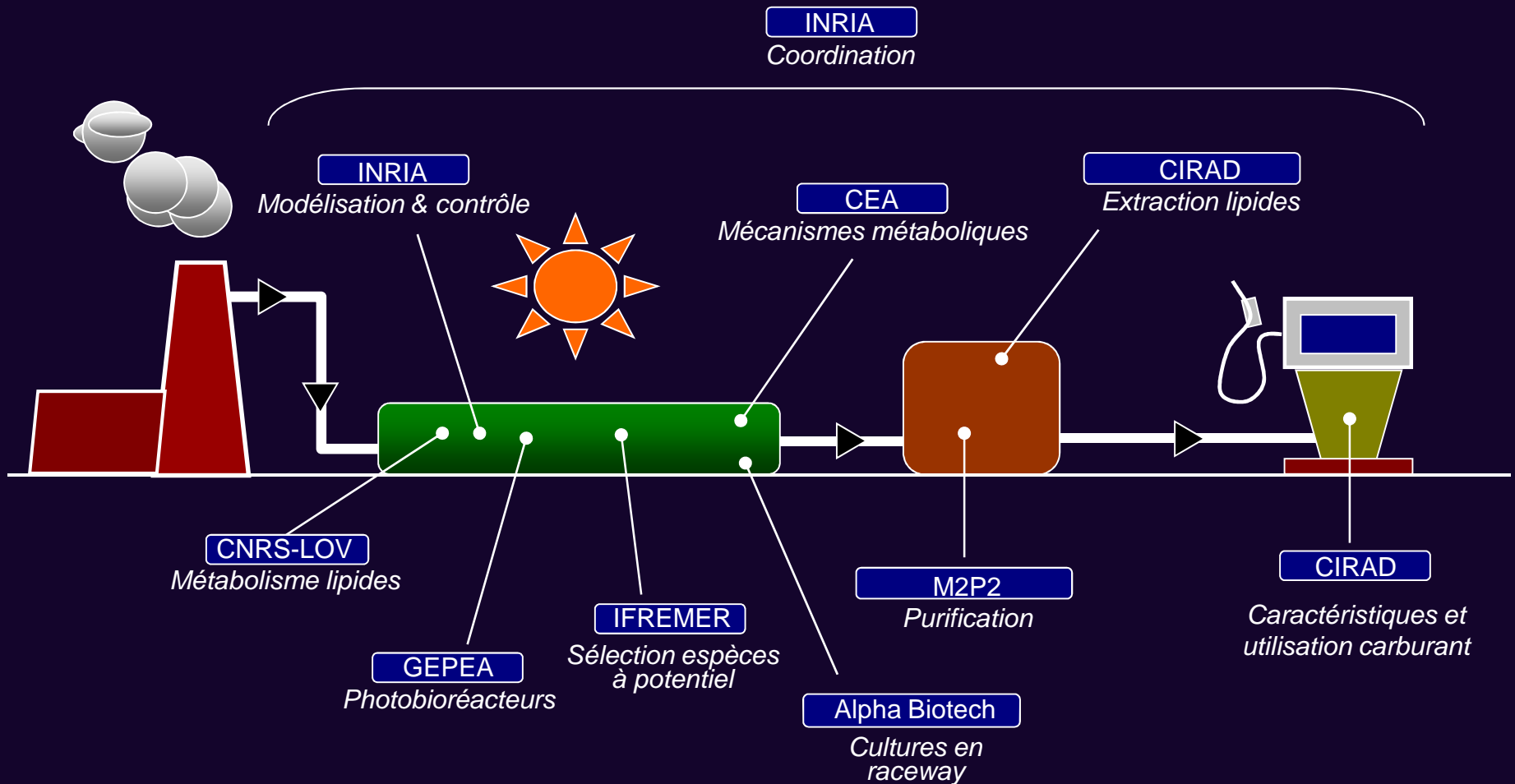
Coordinateur O. Bernard (INRIA)
8 partenaires France.

Budget: 2.87 Millions €
0.79 Million financé par l'ANR

Soutenu par les pôles de compétitivité
CapEnergies et Mer
Et par le CG 06

Démarrage : décembre 2006
Fin: décembre 2010

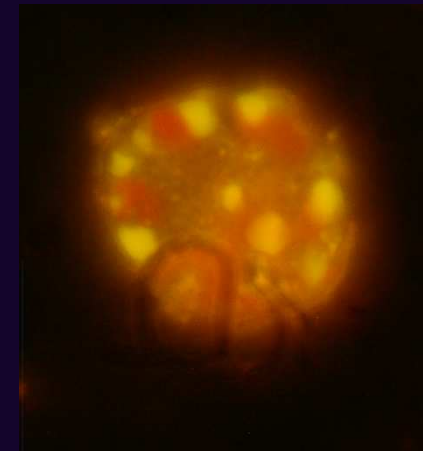
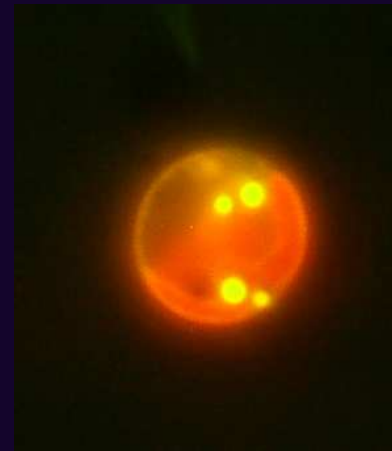
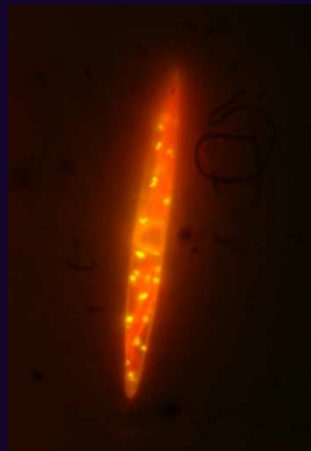
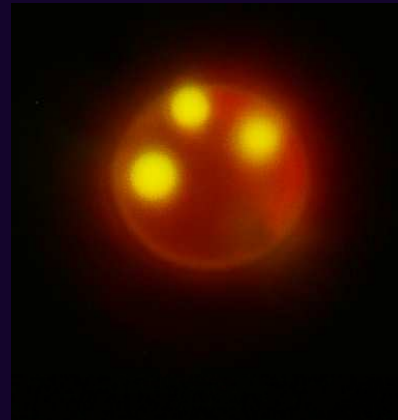
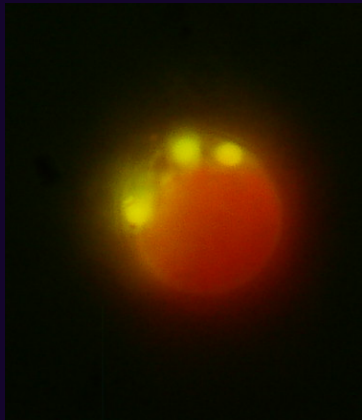




Exploration de la biodiversité

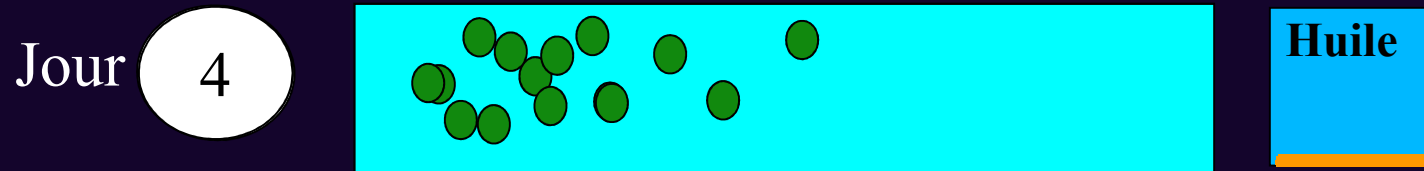
18

Observation des lipides pour différentes espèces



Compromis croissance/bioproduction

→ Carence faible en azote

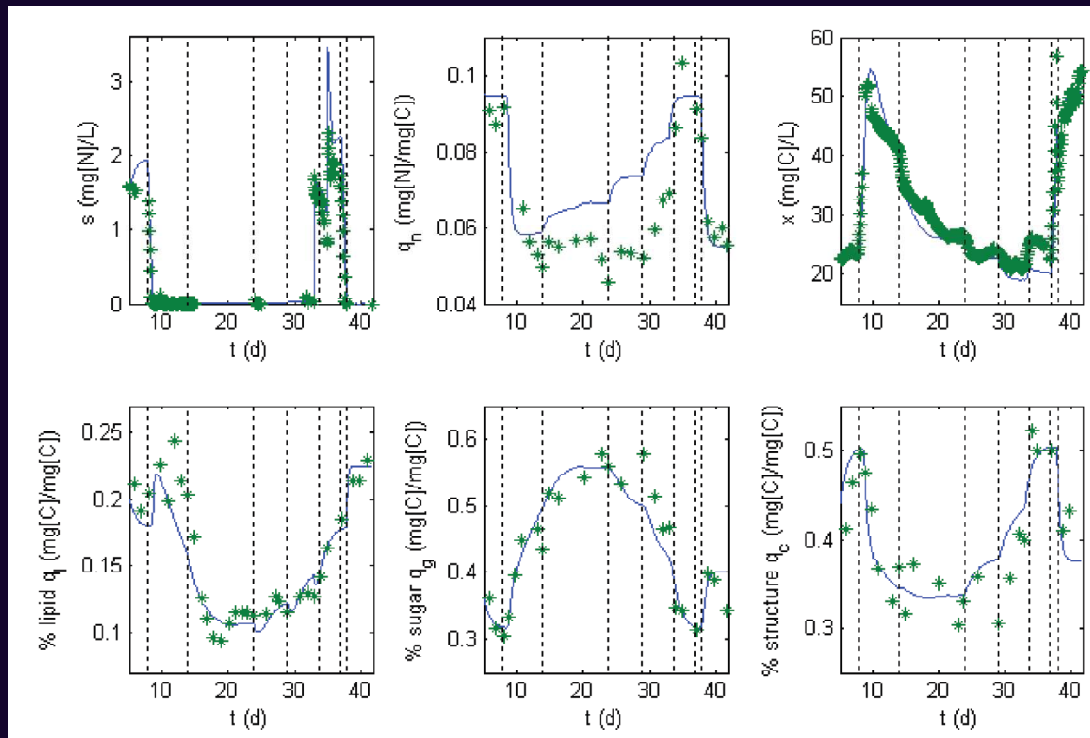


→ Forte carence en azote

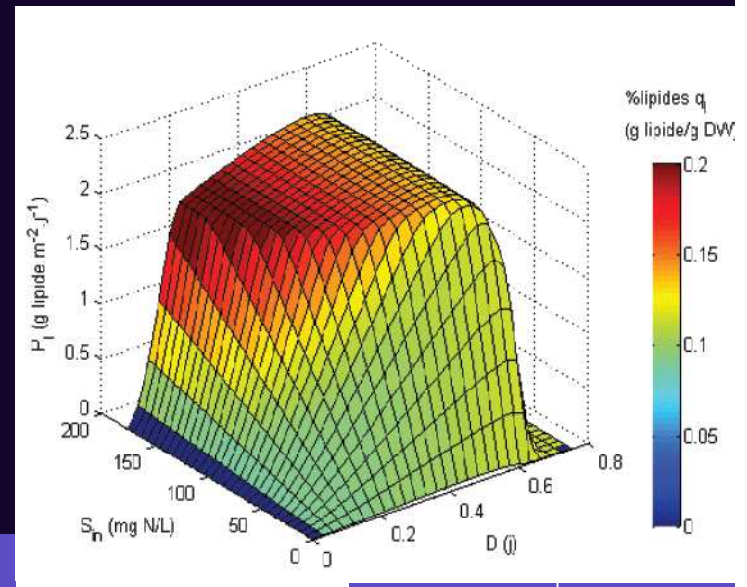


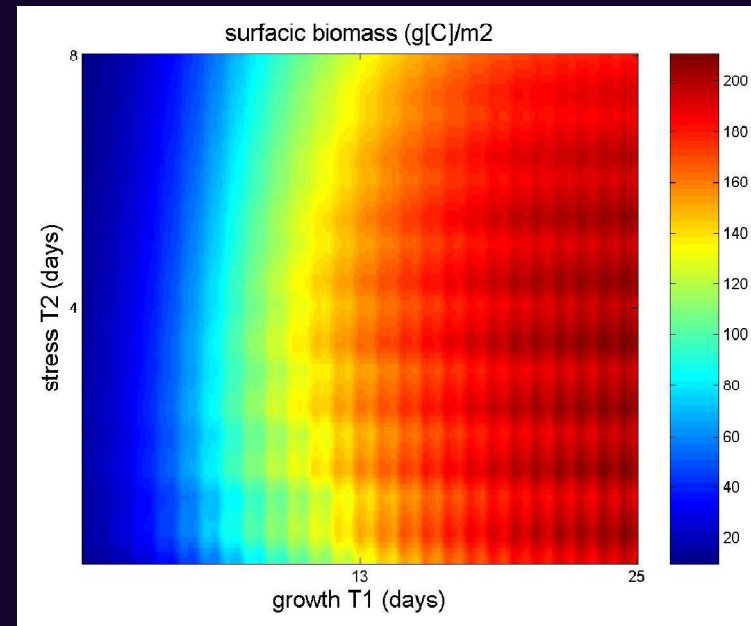
→ Compromis à identifier → Utilisation de modèles numériques

Développement de modèles numériques



Prédiction des productivités obtenues pour I.galbana





Simulation numérique = Prédiction des productivités ...
un gain de temps significatif dans les développements

Valider les résultats obtenus

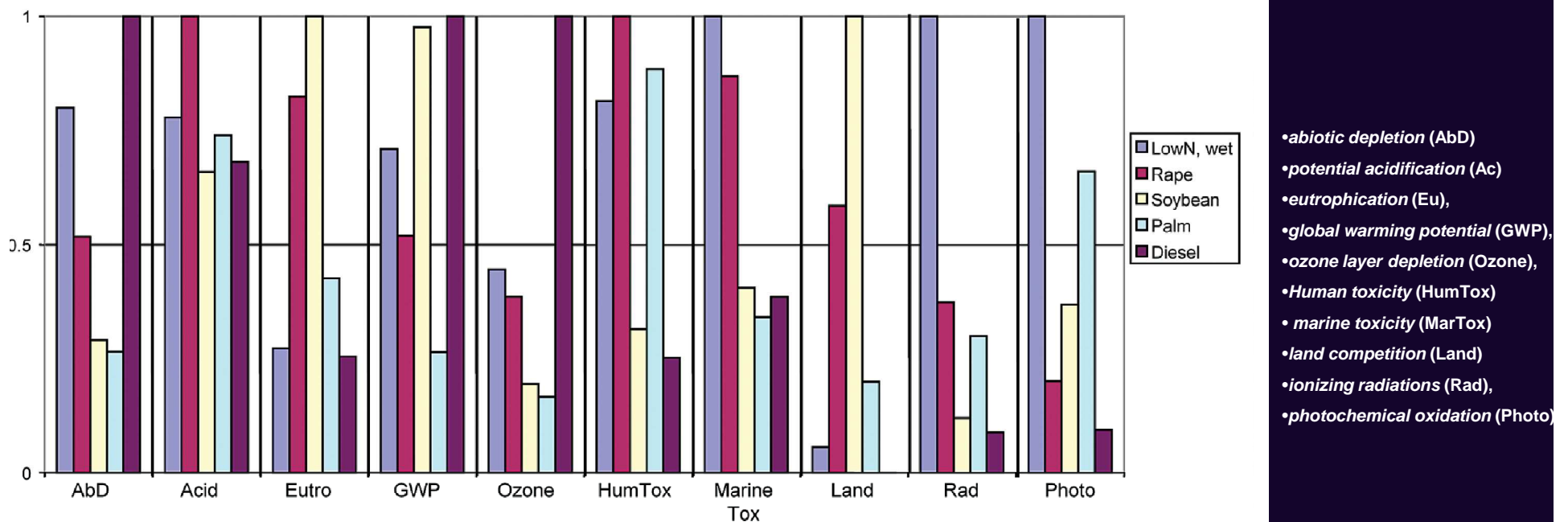
22



- Production industrielle chez Alpha Biotech



→ Analyse de l'impact de cultures de microalgues



4. Comparison of impacts generated by the combustion of 1 MJ of different biodiesel and oil fuels.

Lardon et al. Environmental Science and Technology (2009)

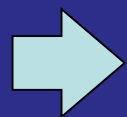
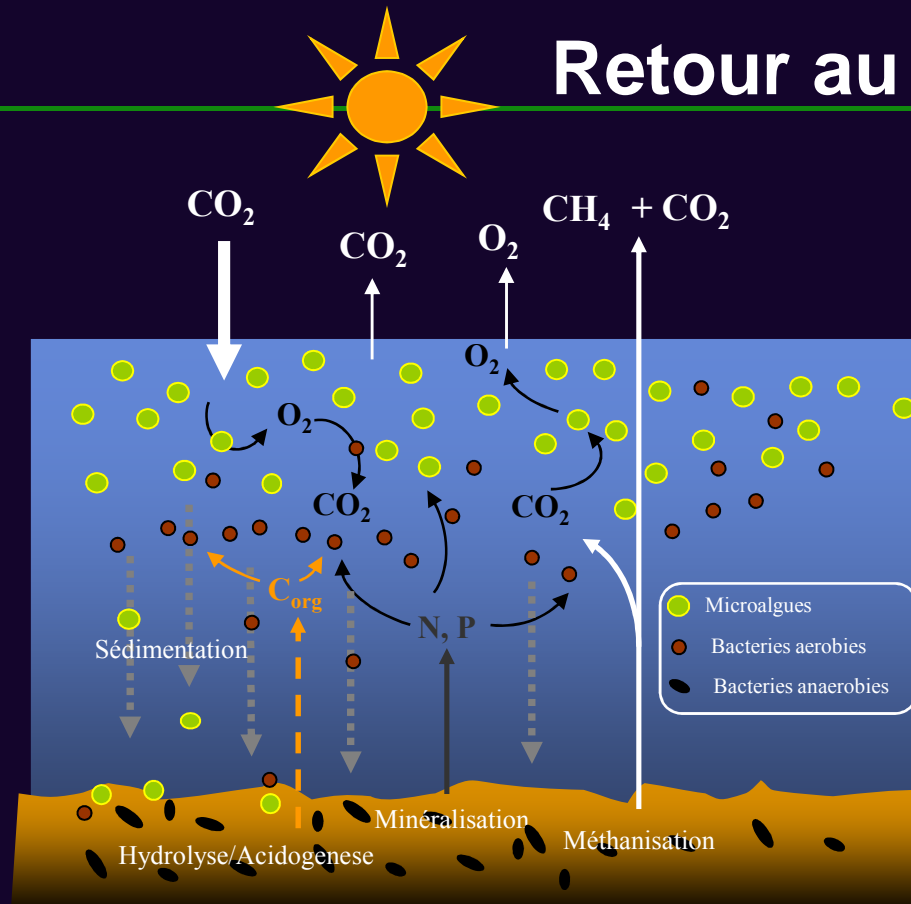
→ Nécessité de recycler N&P et valorisation énergétique de toute la biomasse (ANR Symbiose)

Energetic content of microalgae according to two scenarii based on data from Illman et al., 2000.

Species	Growth conditions	S1: anaerobic digestion of the whole algal biomass	S2: anaerobic digestion of algal biomass residues			Energetic added value with lipid recovery
		Methane ^a (kJ/g VS)	Methane ^a (kJ/g VS)	Lipids ^b (kJ/g VS)	Total energy (kJ/g VS) ^a	Additional energy (kJ/g VS)
<i>C. vulgaris</i>	–	23.0	20.1	6.6	26.7	3.7
<i>C. vulgaris</i>	Low N	24.9	17.2	14.7	32.0	7.1
<i>C. emersonii</i>	–	26.4	22.4	10.7	33.1	6.6
<i>C. emersonii</i>	Low N	33.1	27.6	23.2	50.8	17.7
<i>C. protothecoides</i>	–	23.4	21.8	4.1	25.8	2.4
<i>C. protothecoides</i>	Low N	25.5	22.2	8.5	30.7	5.2

B. Sialve et al. / Biotechnology Advances 27 (2009)

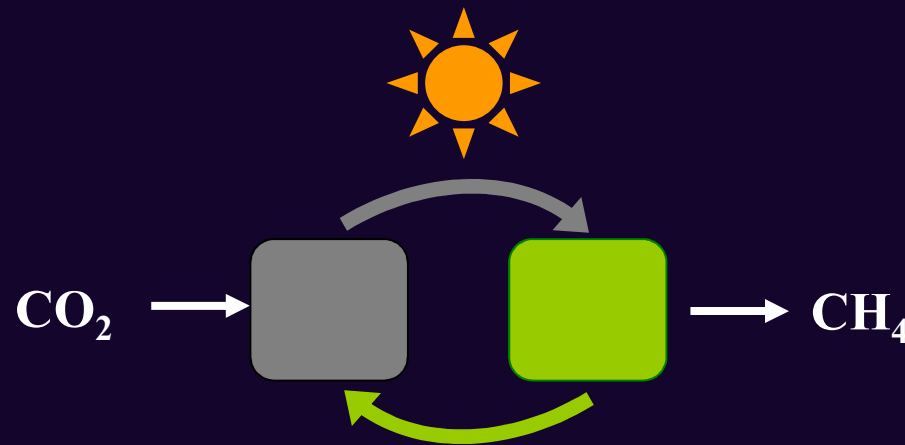
Retour au milieu naturel



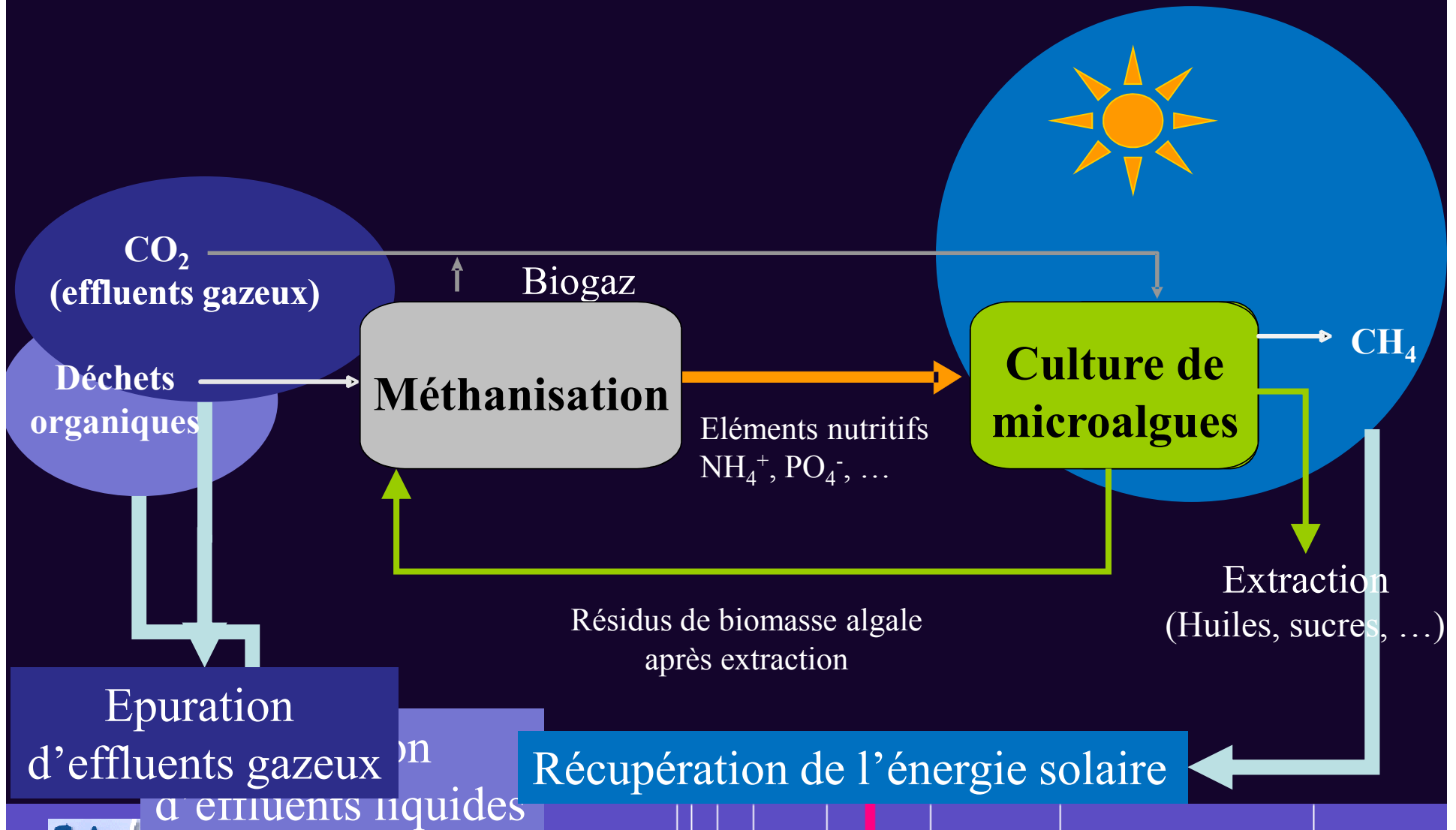
Une grande partie de l'azote et du phosphore est recyclée par
« la boucle microbienne »

Projet SYMBIOSE

Etude et Optimisation du Couplage Microalgues-Bactéries Anaérobies pour la Production d'Énergie par Voie Biologique à partir de Biomasse Primaire et de Déchets Organiques



Projet Symbiose



Projet Symbiose

- la récolte des microalgues + extraction des lipides = 50% du coût de production \Rightarrow méthaniser toute la biomasse !

-un kilo de microalgues sèches = 500 l de méthane = 4 kWh

Si 60% de lipides (non encore obtenu sur le long terme) = 5.4kWh

- Problème de pérennité des cultures monospécifiques à grande échelle : maintenir des écosystèmes plus résilients

Projet Symbiose

Reactor	Substrate	T (°C)	HRT (d)	Loading rate	Methane productivity L CH ₄ g VS ⁻¹	CH ₄ (% vol)	References
Batch 11 L	Algae sludge (<i>Chlorella</i> – <i>Scenedesmus</i>)	35-50	3-30	1.44 – 2.89	0.17 – 0.32	62 - 64	(Golucke et al., 1957)
CSTR 2-5 L	Algal biomass	35	28	1	0.42	72	(Chen, 1987)
	<i>Spirulina</i>	35	28	0.91	0.32 – 0.31		
	<i>Dunaliella</i>	35	28	0.91	0.44-0.45		
	<i>Tretraselmis</i> (fresh)	35	14	2	0.31	72-74	
	<i>Tretraselmis</i> (dry)	35	14	2	0.26	72-74	
	<i>Tretraselmis</i> (dry) + NaCl 35g/L	35	14	2	0.25	72-74	(Asinari Di San Marzano et al., 1982)
Batch 5 L	<i>Chlorella vulgaris</i>	28-31	64	-	0.31-0.35 ^a	68-75	(Sanchez and Travieso, 1993)
Semi continuous (daily fed) 10 L	<i>Spirulina maxima</i>	35	33	0.97	0.26	68-72	(Samson and LeDuy, 1982)
Fed Batch 2 L	<i>Spirulina maxima</i>	15-52	5-40	20-100	0.25-0.34	46-76	(Samson and LeDuy, 1986)
CSTR 4L	<i>Chlorella-Scenedesmus</i>	35	10	2-6	0.09-0.136	69	(Yen and Brune, 2007)

^aestimated from data given in L CH₄.gCOD-1 using a COD/VS ratio of 1.5xx

► Productivité en méthane: 0.2-0.5 L CH₄/g VS (~0.2 – 0.5 g oil/g d.w.)



Salinalgue

Production de microalgues pour des valorisations bioénergies et bioproduits





SALINALGUE

- Production de microalgues pour valorisation en Bioénergies (Biodiesel et Biogaz) et autres Bioproduits (β -carotène, alimentation aquacole).
 - Bioremédiation de CO₂ industriel.
 - Projet Salinalgue = deux phases avant le déploiement industriel :
 - 2010 - 2012 : Programme de développement
 - 2013 - 2014 : Démonstration sur 10 ha
- } **Projet FUI, nov. 2009**
- Partenariat fort : 12 partenaires. Acteurs majeurs : industriels et laboratoires
 - Projet industriel sur 6 000 ha dans le Sud de la France.
 - Plus grand projet de culture de microalgues Européen et qui compte parmi les plus importants potentiels de production au monde



Conclusion : les grands défis

32

- Rechercher des espèces à forte productivité en lipides, faciles à récolter...
- Récolte de la biomasse et extraction des lipides: coût énergétique!
- Pérenniser les cultures face à la biodiversité naturelle
- En même temps: produire du biodiesel, fixer du CO_2 , traiter des résidus et récupérer des composés à haute valeur ajoutée
- Faire baisser les coûts

Conclusion

**10 années de
recherches
nécessaires pour
faire baisser les
coûts**

