

WinSeaFuel

Production de macroalgues en pleine mer pour une valorisation en biométhane et autres bioproduits

Carte d'identité du projet

- Durée : 3 ans (2009-2012)
- Budget : 2 M€ dont 0,89M€ subventionné par l'ANR - BioE09

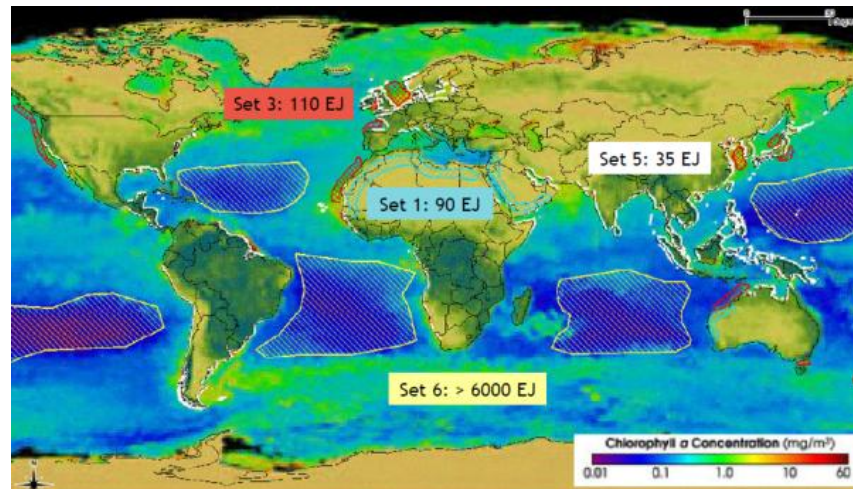


Eléments de contexte

Bioénergies : une tension sur les ressources en biomasse

- Des terres arables de plus en plus rares
- Impératif de préservation des réserves en eau douce

→ Les bioénergies marines répondent en partie à ces limites et présentent un potentiel de production très important :

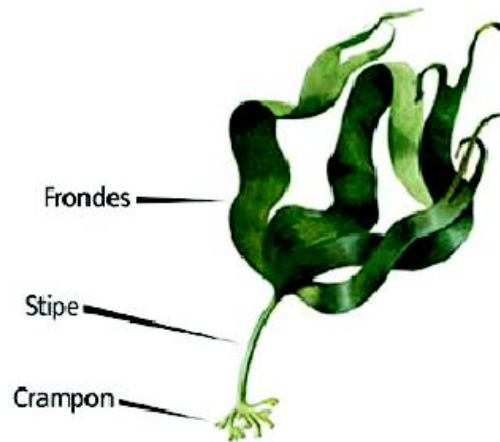


Source : Ecofys. NB : 1EJ=24Mtep. The consumption of worldwide primary energy is assessed between 500-700EJ in 2030.

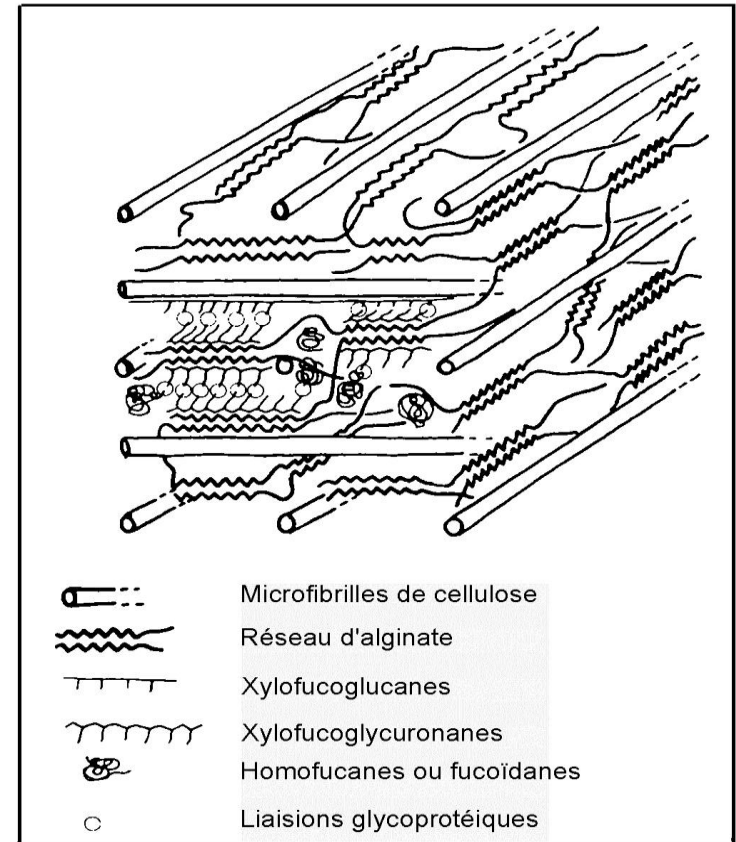
L'éolien Off-Shore

- La Compagnie du Vent développe le projet des Deux Côtes au large du Tréport (700MW, 140 éoliennes).
- En 2009 : perspectives d'évolution rapide du contexte réglementaire
 - Création de zones de développement dédiées
 - Mise en place d'un tarif de rachat→Le premier appel d'offre du gouvernement sera officiellement ouvert en 2011
- L'éolien Off-Shore permet :
 - D'instaurer des territoires propices au développement des énergies renouvelables
 - De sanctuariser des espaces maritimes de plusieurs hectares (pêche et plaisance y sont *a priori* limitées)

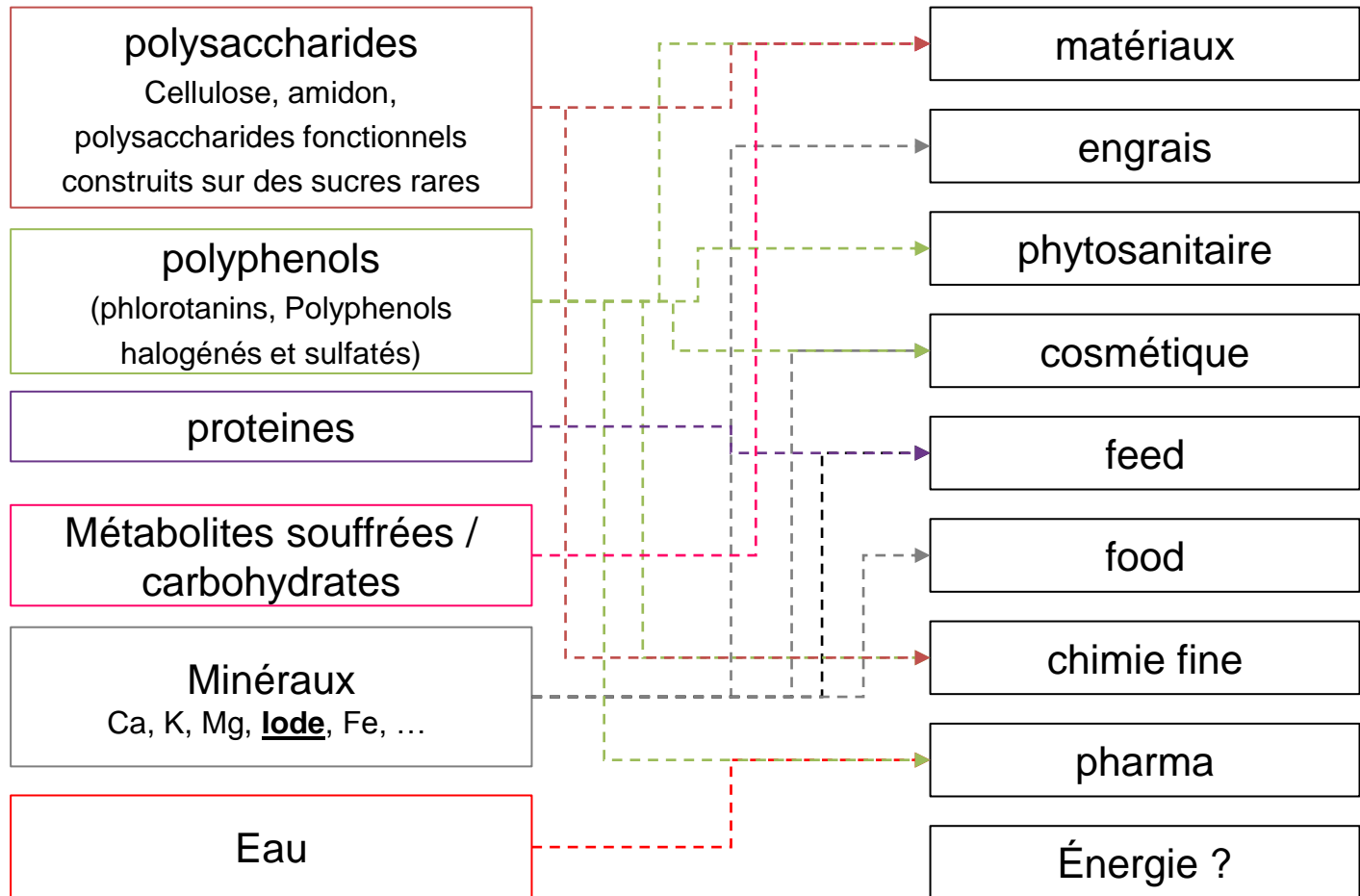
Qu'est-ce qu'une macroalgue ?



- Une phase cristalline : cellulose
- Une phase matricielle: Alginates, Fucanes
- Une phase de réserve : laminaranes, mannitol
- Des protéines
- Des minéraux
- Des polyphénols et tannins

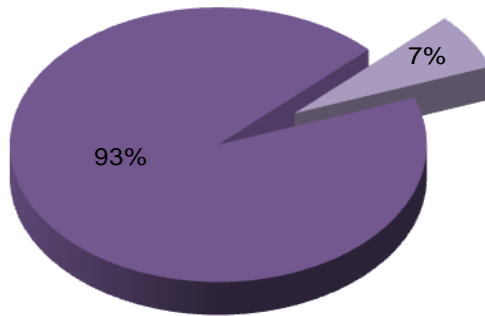


Craquage de macroalgues : applications potentielles



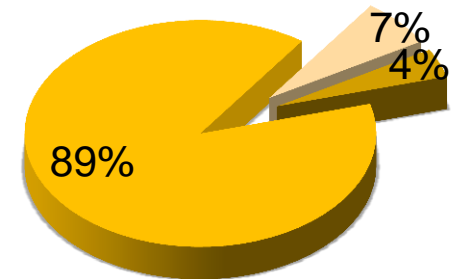
Marché des macroalgues

16 MT d'algues fraîches

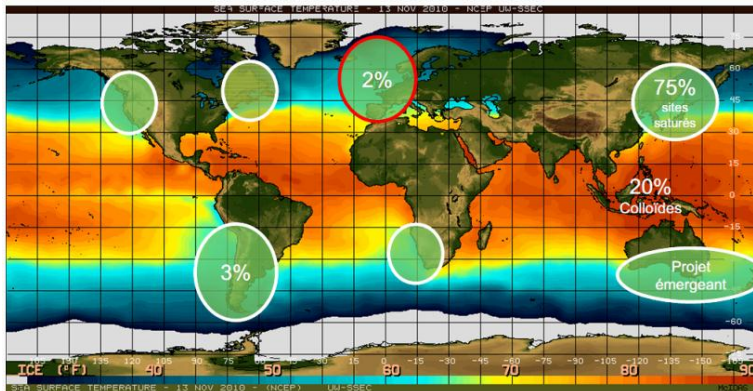


■ Culture ■ Cueillette

Un CA de 5 Milliards d'Euros



■ Colloïdes
■ Alimentation
■ Chimie fine

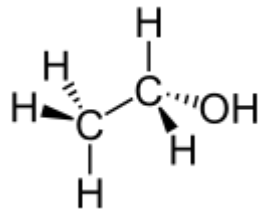


Zones propices à la culture de macroalgues et part de la production (%)

Potentiel énergétique des macroalgues

Ethanol

Filière peu mature
(verrous enzymatiques)



Des avancées très récentes sur cette option
→ An Engineered Microbial Platform for Direct Biofuel Production from Brown Macroalgae
Adam J. Wargacki, (Science, Janvier 2012)

Biogaz

Filières prometteuses,
malgré la problématique
des inhibiteurs



Biocrude

Pas envisageable avec
des algues → biomasse
trop humide



Enjeux et défis

Les conditions de réussite

- Augmentation des rendements via l'industrialisation des cultures
- Développement de bioproduits à fortes valeurs ajoutées
- Augmentation des tarifs de rachat du biogaz



Les verrous à lever

- Maitriser le changement d'échelle des techniques de culture
- Extraire les bioproduits dans le respect des techniques de la « chimie verte »
- Méthaniser malgré le sel

Programme de travail et résultats

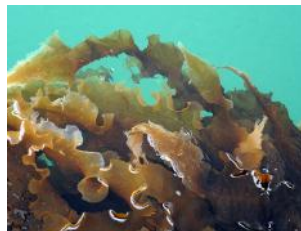
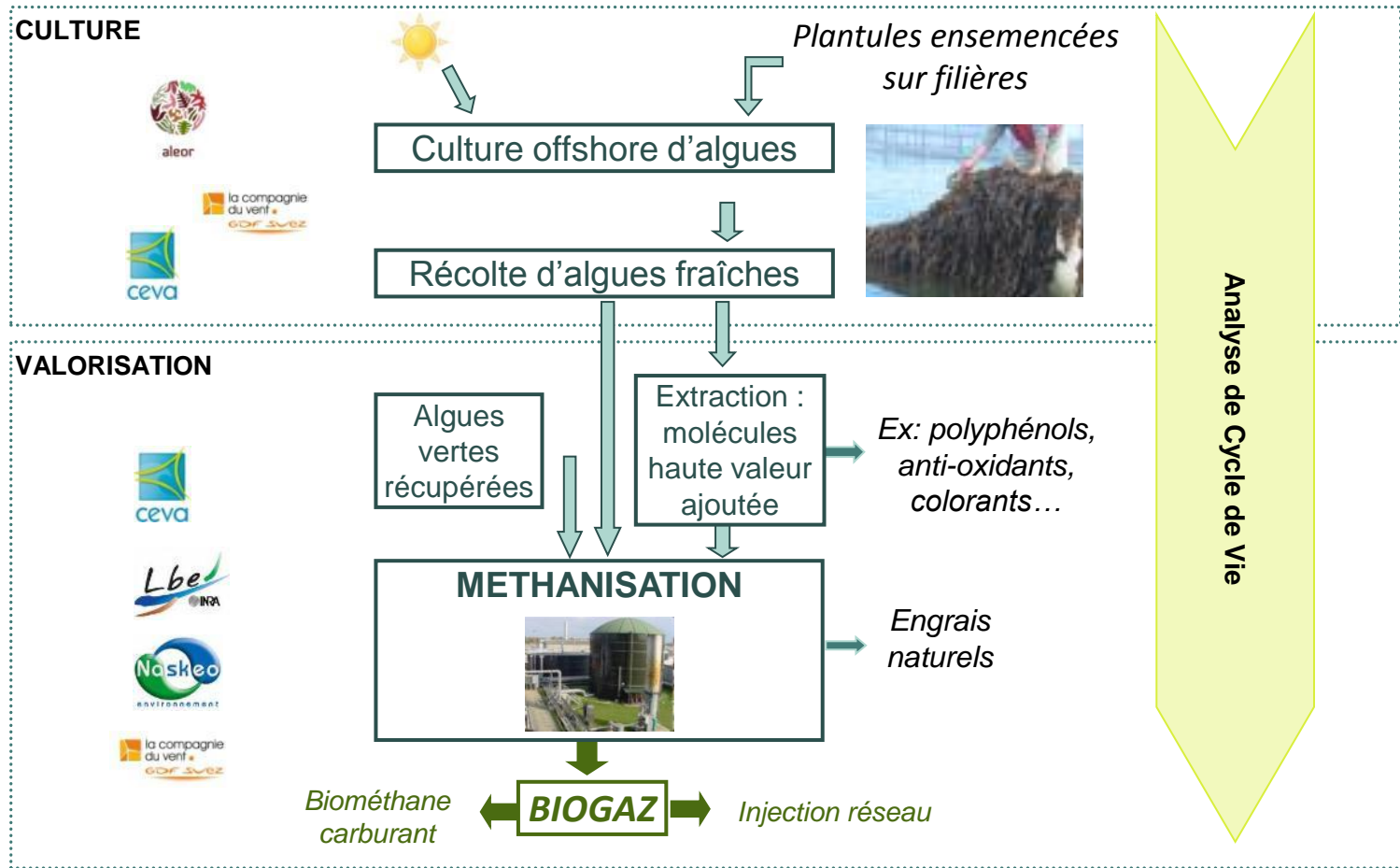


Schéma de filière WinSeaFuel



Ecloserie



Culture



Récolte



Extraction



Méthanisation

Sélection des espèces de macroalgues

Ulva sp.



Palmaria palmata



Sacchoriza polychides



Undaria pinnatifida



Laminaria saccharina
(Saccharina latissima)

Ecloserie

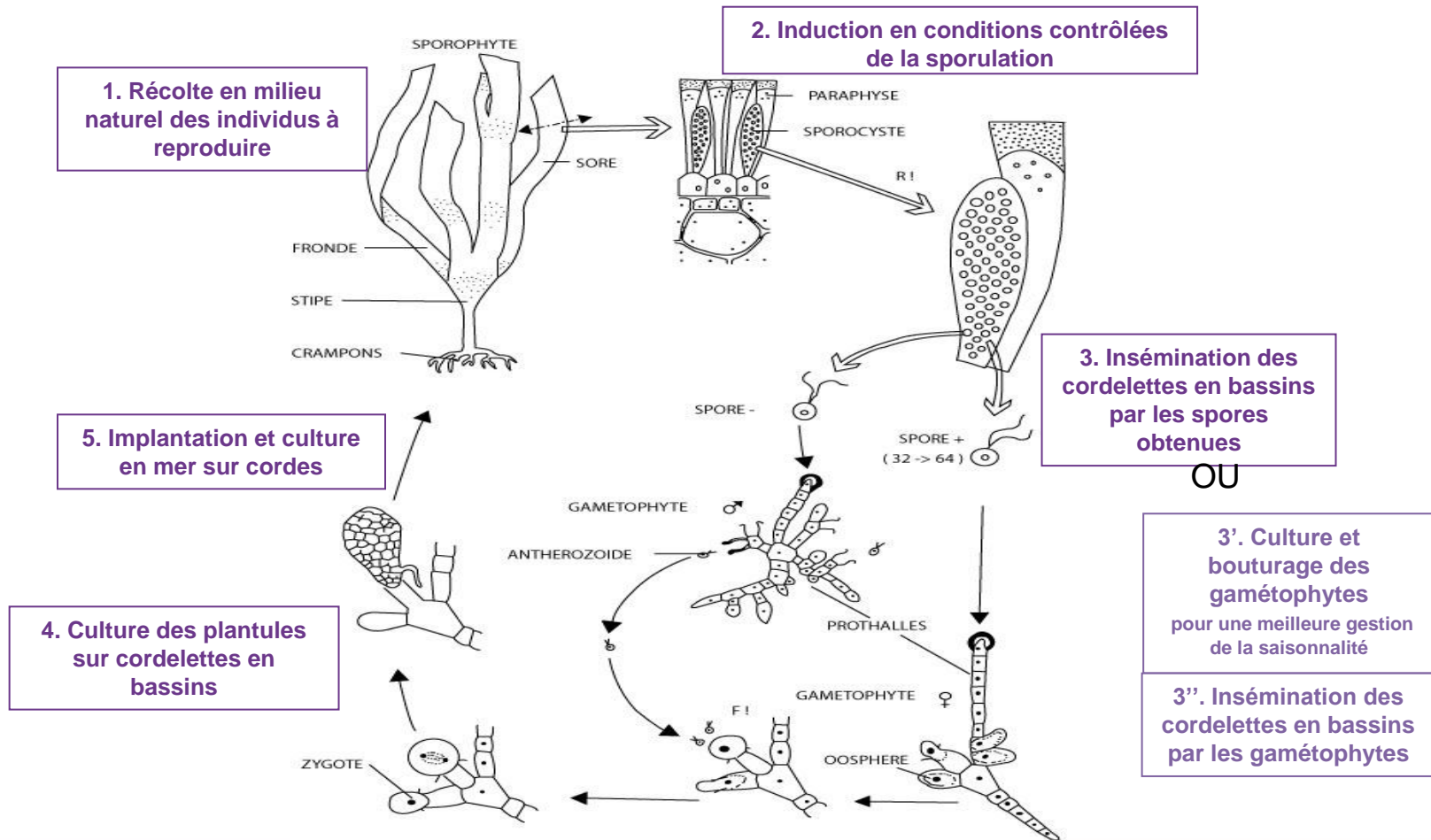
Culture

Récolte

Extraction

Méthanisation

Maitrise du cycle de reproduction (exemple de *Saccharina latissima*)



Ecloserie

Culture

Récolte

Extraction

Méthanisation

Production en grandes quantités de plantules



→ procédés d'éclosion dorénavant maîtrisés pour toutes les espèces d'algues sélectionnées

Ecloserie

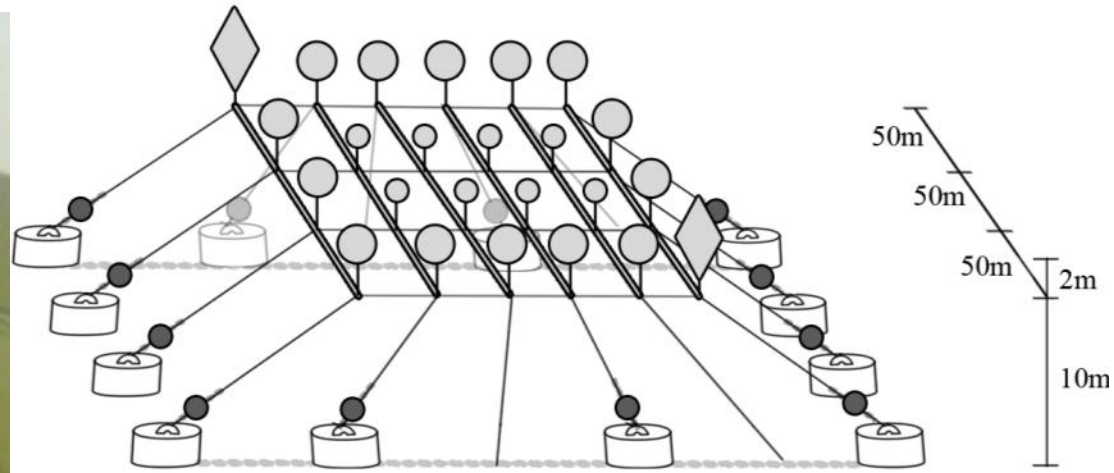
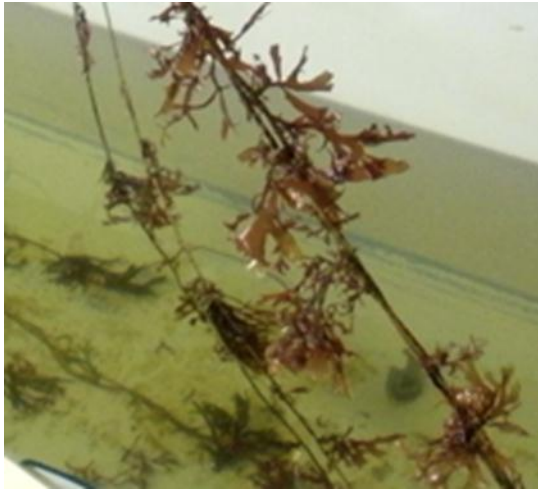
Culture

Récolte

Extraction

Méthanisation

Ingénierie de culture off-shore



		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<i>Laminaria saccharina</i>	Calendrier initial												
	Vers une prod. moins saisonnale												

Mise à l'eau

Récolte

- Le système de « radeaux » de culture fonctionne et est adapté/adaptable à différents sites de production
- La maîtrise des calendriers de culture permet de décaler les récoltes (pour tendre vers une production moins saisonnale = meilleure utilisation des infrastructures)

Ecloserie



Culture



Récolte



Extraction



Méthanisation

Ingénierie de récolte



- Pas d'innovations majeures sur la récolte, mais l'intérêt du système de « radeaux/filières » est de simplifier la récolte tout en utilisant les flottes existantes

Ecloserie

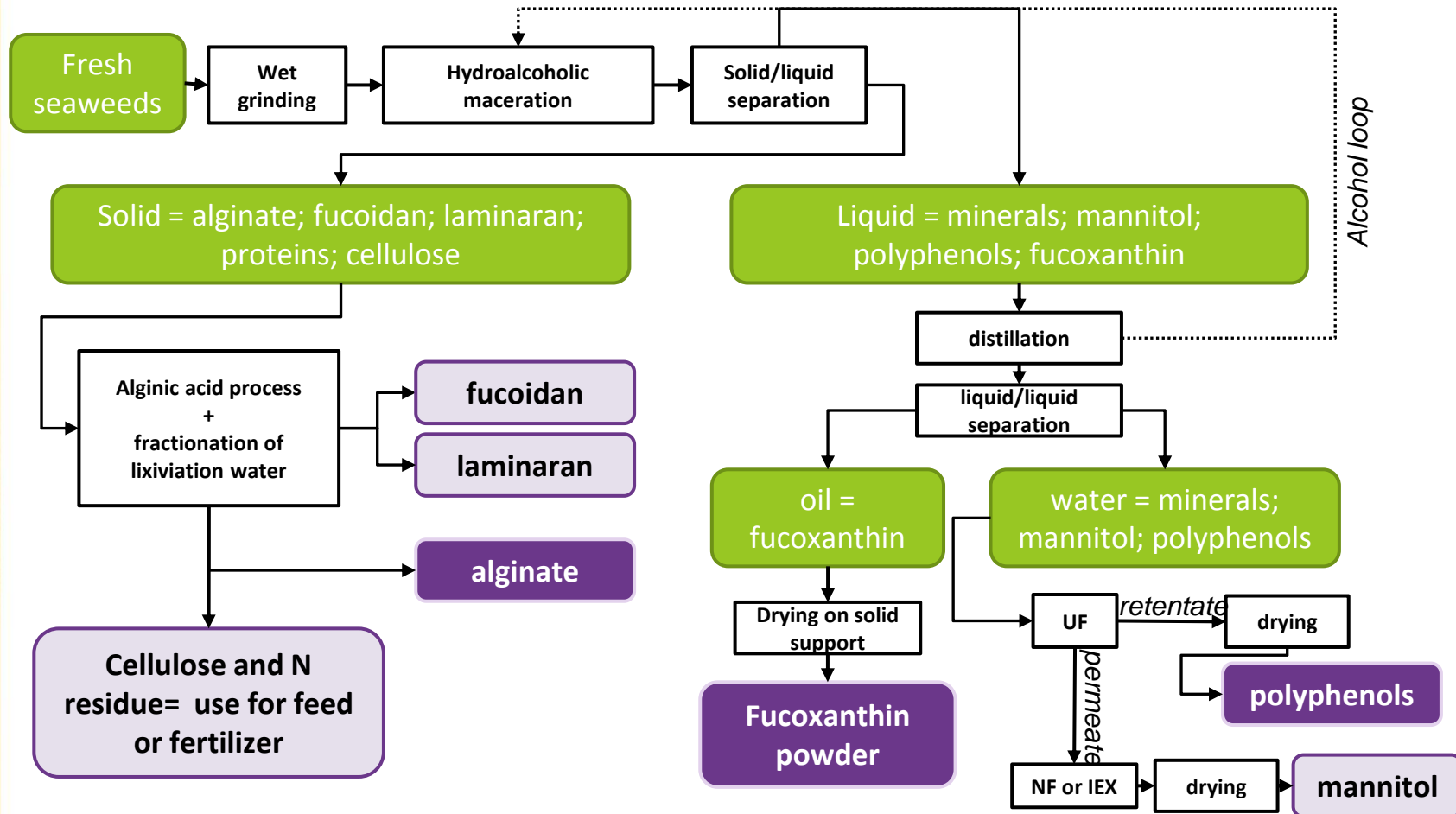
Culture

Récolte

Extraction

Méthanisation

Approche intégrée du fractionnement : de multiples produits valorisés



Ecloserie

Culture

Récolte

Extraction

Méthanisation

Co-produit	Alginates	Polyphénols	Fucoxanthine	Substituts de sels	Algues légumes
Potentiel économique	~ 10€/kg Marché mature, fortement concurrentiel, avec de fortes barrières à l'entrée	~ 200€/kg Très dépendant de la qualité des polyphénols produits	~ 3000€/kg Marché de niche en croissance mais non mature Très verrouillé (nombreux brevets)	<10€/kg En plein développement	~50€/kg (dw) Marché très développé en Asie Forte de demande
Mode de fabrication sélectionné	Extrusion réactive et extraction alcoolique : approche intégrée et innovante (brevet CEVA)			(En cours)	Récolte puis séchage
Intérêt	Faible	Moyen	Fort	Fort	Très fort

Ecloserie

Culture

Récolte

Extraction

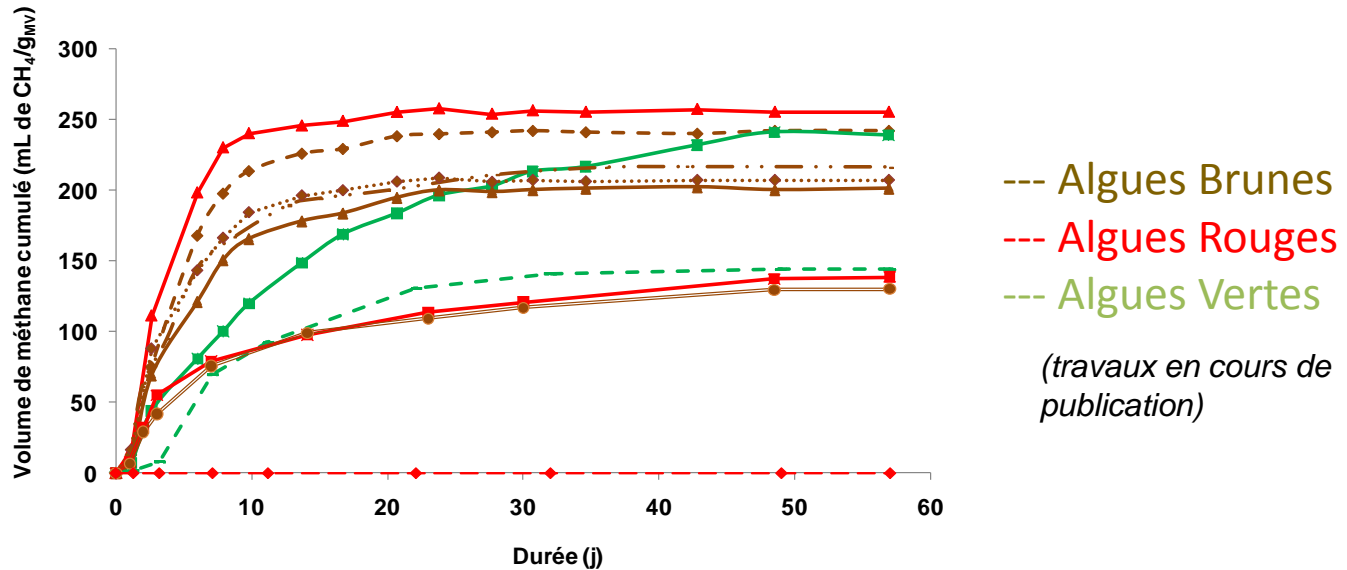
Méthanisation

Les enjeux afférents à la méthanisation de macroalgues :

- Caractérisation de la biodégradabilité anaérobie du substrat
- Recherche des conditions optimales de méthanisation des algues
 - Etude de prétraitements
 - Etude des inhibiteurs (Na, K, SO₄)
 - Détermination de la charge optimale
- Evaluation du potentiel à échelle pilote
 - Confirmation des résultats labo
 - Etude de différents scénarii de variabilité du substrat (saisonnalité, qualité,...)



Caractérisation de la biodégradabilité anaérobie du substrat



- BMP des différentes algues étudiées dans WinSeaFuel
- Egalement réalisé : BMP des différents résidus de la filière WinSeaFuel
- Protocole : algues rincées à l'eau douce puis séchées → le protocole de préparation des algues a une influence notoire sur le BMP
- Remarque : Pour une espèce donnée, il peut exister de fortes variabilités (+/- 20%) du BMP en fonction de la période de récolte

Ecloserie

Culture

Récolte

Extraction

Méthanisation

Recherche des conditions optimales: charge maximale vs inhibitions

RPP: *Palmaria Palmata*

RSL: *Saccharina latissima*

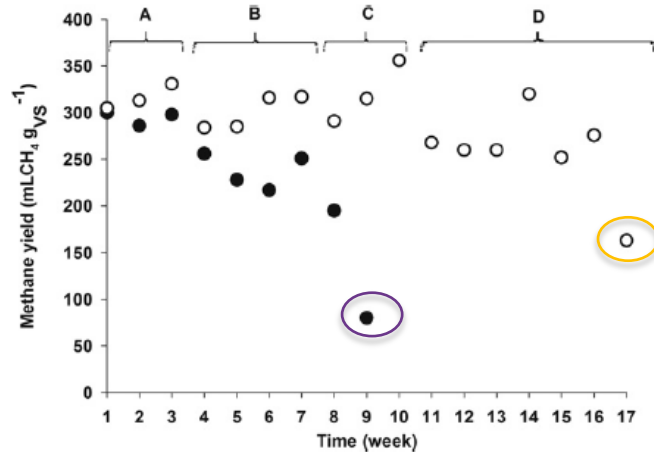


Fig. 3. Methane yield for reactor RSL (fed with *Saccharina latissima*, closed circle), and for reactor RPP (fed with *Palmaria palmata*, open circle).

Time		Substrate	Biogas production		Potent inhibitors in reactor concentration		Batch modeled inhibition	
Phase	Last operating week	Organic loading rate (g _{VS} L ⁻¹ d ⁻¹)	Specific initial methane rate (mL CH ₄ d ⁻¹ g _{VS} ⁻¹)	Decrease of specific initial methane rate (%)	Na ⁺ concentration (g L ⁻¹)	K ⁺ concentration (g L ⁻¹)	Calculated initial methane production rate (mL CH ₄ d ⁻¹ g _{ethanol} ⁻¹)	Decrease of calculated initial methane production rate (%)
A	3	0.866	510	-	5.3	12.1	232	-
B	7	1.733	243	52%	5.6	15.8	153	34%
C	9	2.174	272	47%	6.0	17.1	125	46%
A	3	0.862	908	-	3.1	5.2	589	-
B	7	1.723	588	35%	3.5	8.6	418	29%
C	10	2.117	646	29%	3.8	9.0	393	33%
D	17	2.628	430	53%	4.1	13.0	284	52%

- À partir d'une certaine charge, on observe une concentration en chlorure supérieure à 12g/L. Au même moment : [AGV] ↑ et production CH₄ ↓
- Etudes sur les inhibitions cationiques (K⁺ et Na⁺), ainsi que leur interaction, menées en parallèle

Jard, G., Jackowiak, D., Carrère, H., Delgenes, J. P., Torrijos, M., Steyer, J. P., Dumas, C. (2012). Batch and semi-continuous anaerobic digestion of *Palmaria palmata*: comparison with *Saccharina latissima* and inhibition studies. *Chemical Engineering Journal*.



Ecloserie

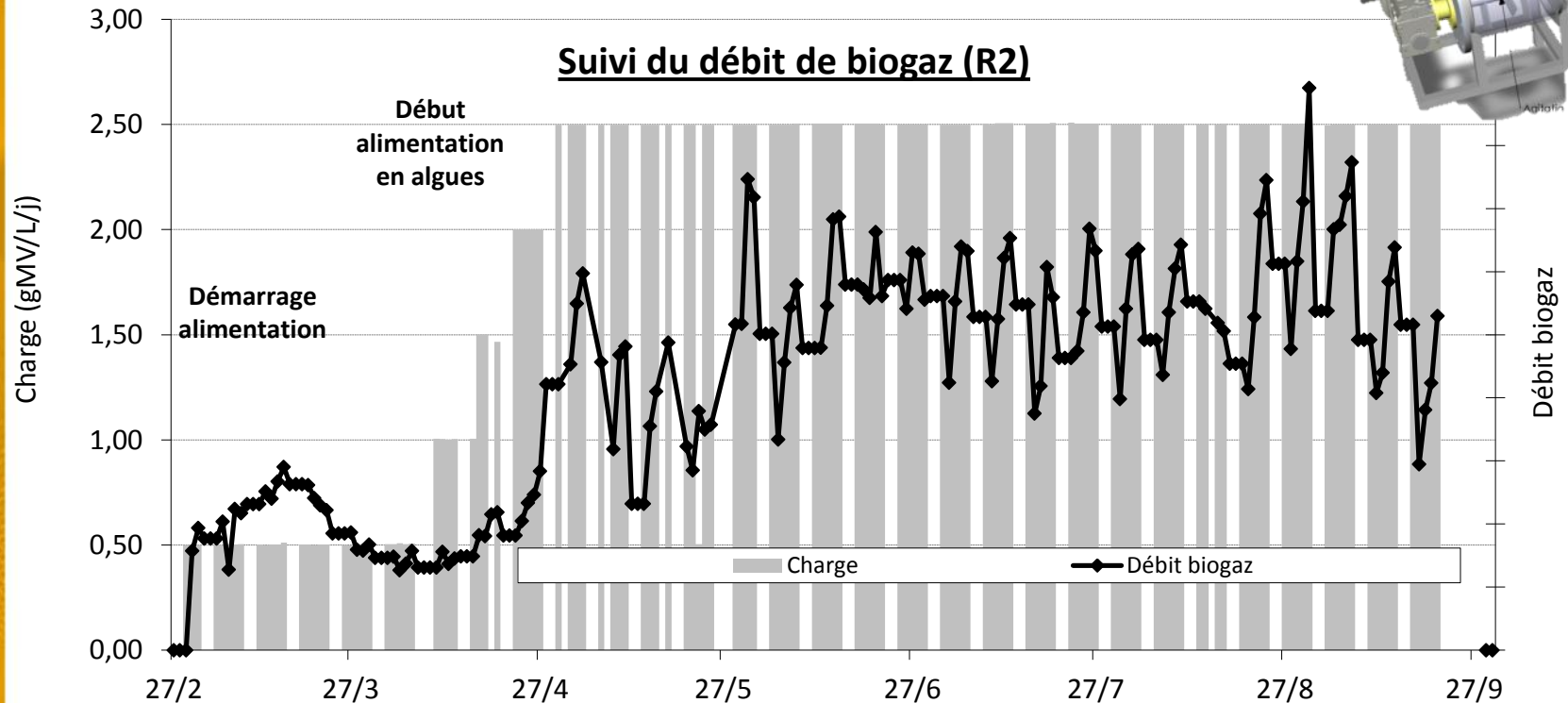
Culture

Récolte

Extraction

Méthanisation

Evaluation du potentiel à échelle pilote



- Les résultats sur les deux digesteurs « pilotes » (capacité de 5L) confirment les études réalisées à l'échelle labo
- Données complètes en cours de dépouillement

Ecloserie

Culture

Récolte

Extraction

Méthanisation

Analyse de cycle de vie : étude du système théorique

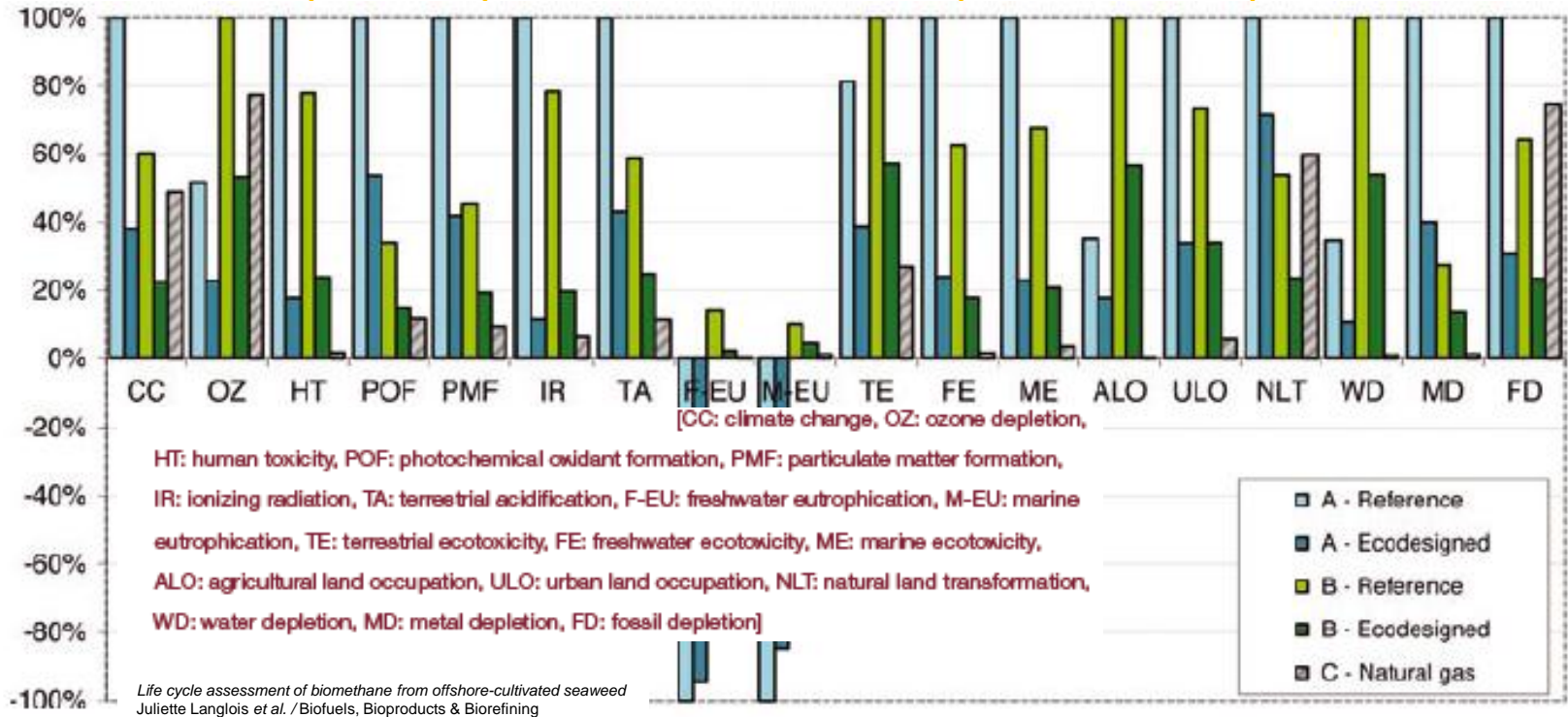


Figure 5. Comparison of the environmental impacts of biomethane from (A) untransformed algae, (B) macroalgal extraction residues and (C) natural gas used to drive a passenger car for 1 km. Abbreviations are detailed in Figure 3.

→ Un fort intérêt environnemental dès que les filières sont éco-conçues

Ecloserie

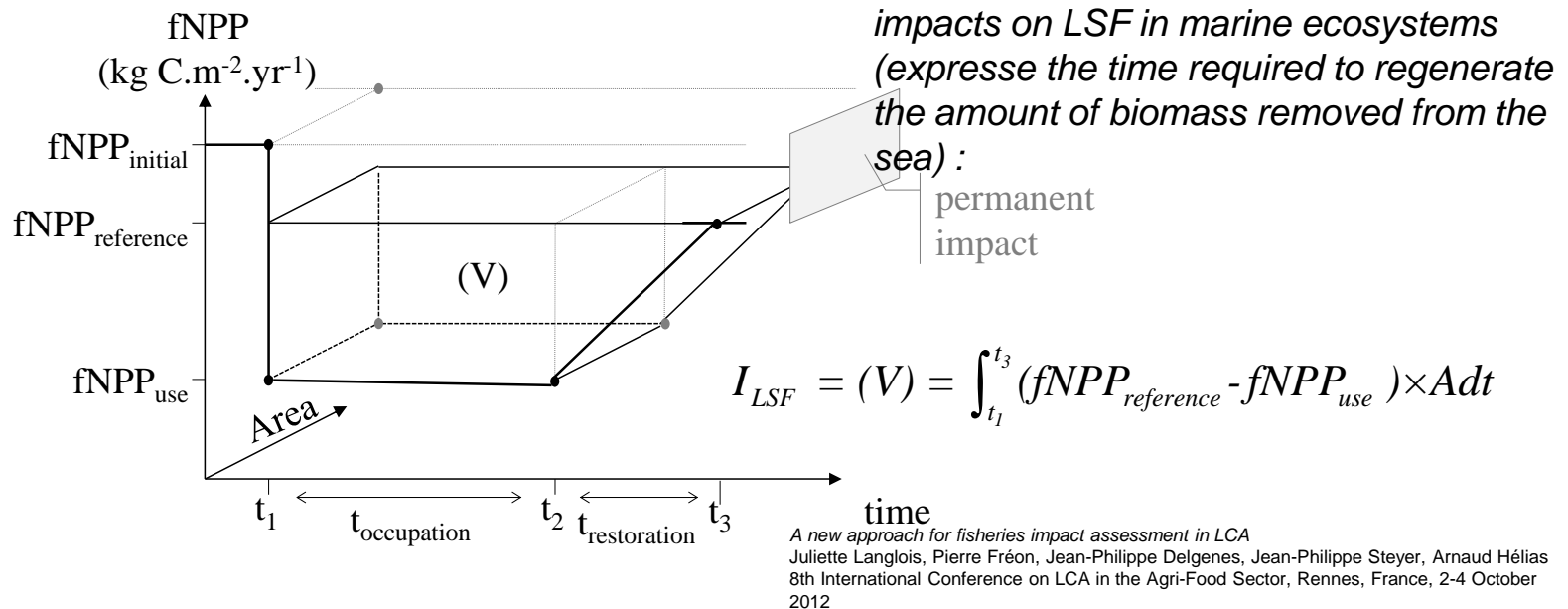
Culture

Récolte

Extraction

Méthanisation

Analyse de cycle de vie (méthodologie) : création d'un nouvel impact



- Un nouvel impact, directement utilisables par les praticiens en ACV, qui généralise le concept de « land use » (Mila i Canals et al., 2007) aux espaces maritimes.
- Permet de quantifier les atteintes faites à l'environnement - hors pollutions chimiques et en lien avec l'occupation des « sols » - lors d'activités en mer (algoculture, pêche, aquaculture, constructions...)

Ecloserie



Culture



Récolte



Extraction



Méthanisation

Analyse technico économique

- La viabilité économique d'une bioraffinerie de macroalgues n'est pas évidente
 - Forte barrière à l'entrée pour les alginates (les industriels du secteur dispose d'une matière première peu chère et d'outils amortis)
 - Difficultés pour évaluer précisément le potentiel des niches pour les molécules à très forte valeur ajoutée
- La culture de macroalgues pour la seule production de biométhane n'est pas rentable mais il existe des scénarii énergétiques possibles en méthanisant les résidus d'une production d'algues alimentaires

Ecloserie

Culture

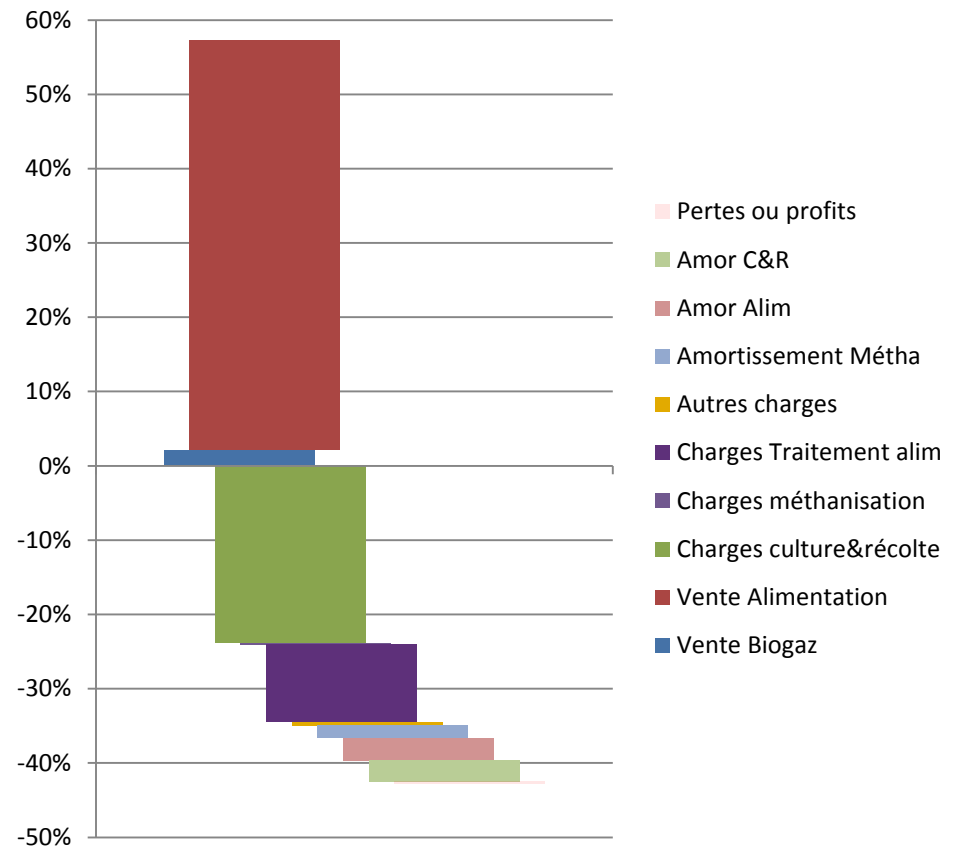
Récolte

Extraction

Méthanisation

Analyse technico économique

Compte de résultat : scénario
algues alimentaire et méthanisation
des résidus

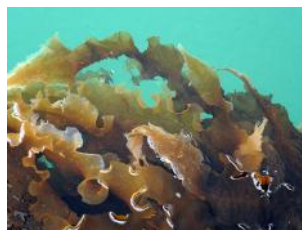


Conclusions techniques

- Des **procédés de cultures et récoltes maîtrisés**, avec un parti-pris technico-économique : des systèmes de cultures aux rendements moins importants mais à faible coût (investissement, opérations)
- Des perspectives de **valorisation de la biomasse immédiate** (algues alimentaires notamment)
- Des résultats sur la **méthanisation en laboratoire particulièrement encourageants** (faisabilité technique, volume de biogaz, stabilité des réacteurs,...)
- Deux digesteurs pilotes alimentés avec des algues depuis 6 mois qui **confirment les résultats** obtenus au laboratoire
- Une démarche d'éco-conception qui valide le **bienfondé environnemental** du projet

Perspectives

- Un projet qui fait écho au dynamisme des appels d'offre pour l'éolien off-shore (4 zones en 2012, 2 zones ouvertes en 2013,...)
- Des étapes à valider avec un projet complet à l'échelle démonstration industrielle
 - Viabilité technico-économique
 - Acceptabilité sociétale
 - Intégration territoriale





• winseafuel •



aleor

