

LA VALORISATION DES SARGASSES

JOURNÉE TECHNIQUE D'ÉCHANGES

15 DÉCEMBRE 2022

MÉMORIAL ACTE – POINTE-À-PITRE - GUADELOUPE

08h30 – 16h30





Introduction ADEME

Déroulé de la journée

01

9h – 11h : projets SAVE-C, SAVE, SARGOOD, SARTRIB

02

11h15 - 13h : projets Terre d'algues, PYROSAR, SargAsCld

03

14h – 14h30 : projets PYROSAR, société NST

04

14h30 – 16h30 : travail en ateliers et restitution



SAVE-C, valorisation d'extraits de sargasses en agriculture

Mme Béatrice Rhino, CIRAD Martinique

SAVE-C (2020-2023)

Study of holopelagic **S**argassum responsible of massive beachings: **V**alorization & **E**cology on **C**aribbean coasts



Cheffe de projet
Dr Valérie Stiger-Pouvreau

Consortium : 14 partenaires



Béatrice RHINO - La valorisation des sargasses

Journée technique d'échanges, Pointe à Pitre, le 15 décembre 2022

1. Présentation générale

Suivis écologiques, taxonomiques, physiologiques, chimiques...
Expérimentations sur le terrain vs en laboratoire

- Comblir les lacunes dans les connaissances :
 - sur l'écologie des radeaux (WP1, WP2)
 - sur l'écophysiologie des sargasses (WP3)

- Transformer les échouements en opportunités socio-économiques (WP4, WP5)

Recherche fondamentale

SAVE-C

Recherche appliquée

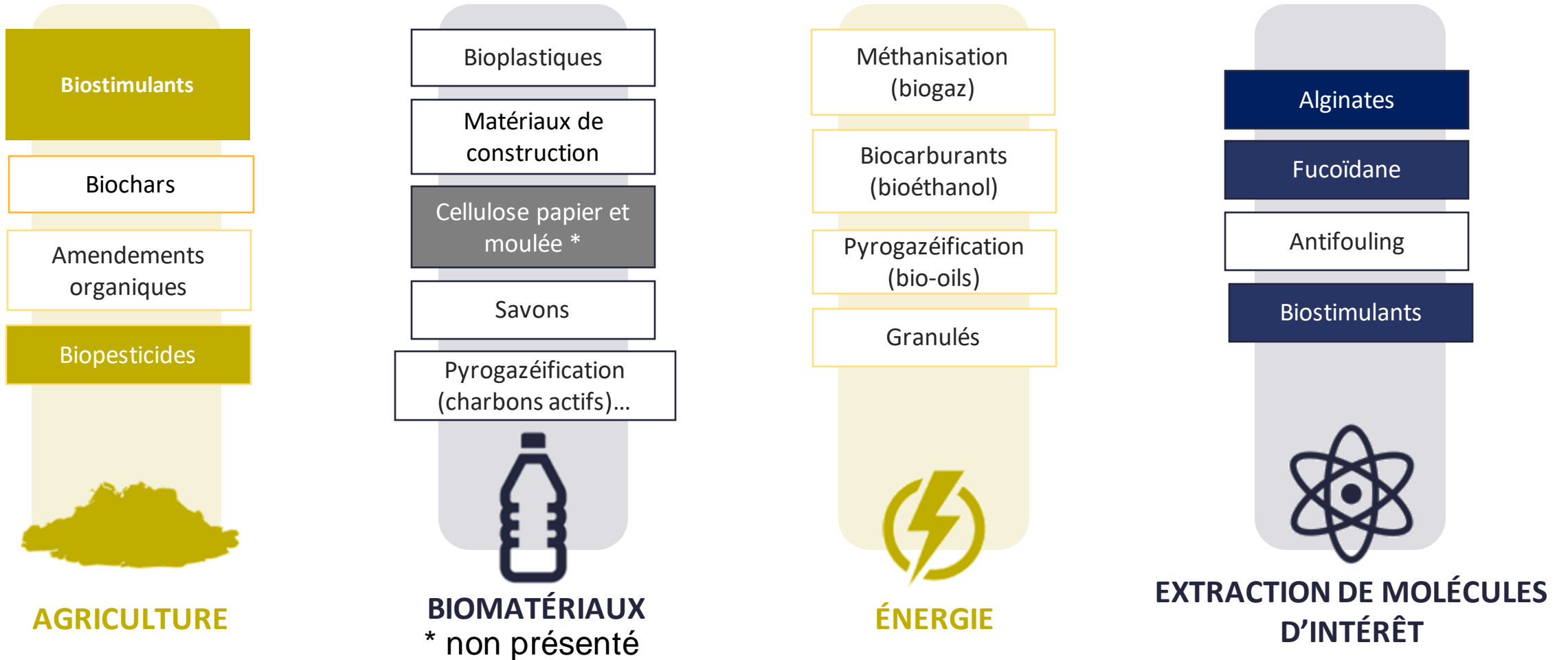
WP4 – Stratégies de collecte et de stockage des sargasses



WP5 – Valorisation des sargasses (Agriculture, Biomatériaux)



Les filières de valorisation



2. Expérimentations et résultats

La valorisation nécessite une bonne stratégie de collecte des sargasses

Zone de collecte : côtier vs hauturier

Collecte en eaux côtière



- Manoeuvrabilité
- Faible tirant d'eau
- Protection de l'hélice
- Capacité d'échouage
- Transportable par la route



VS

Collecte en pleine mer



- Autonomie, distance d'éloignement
- Capacité en mer formée : navigation et collecte
- Aménagement équipage
- OPEX et CAPEX

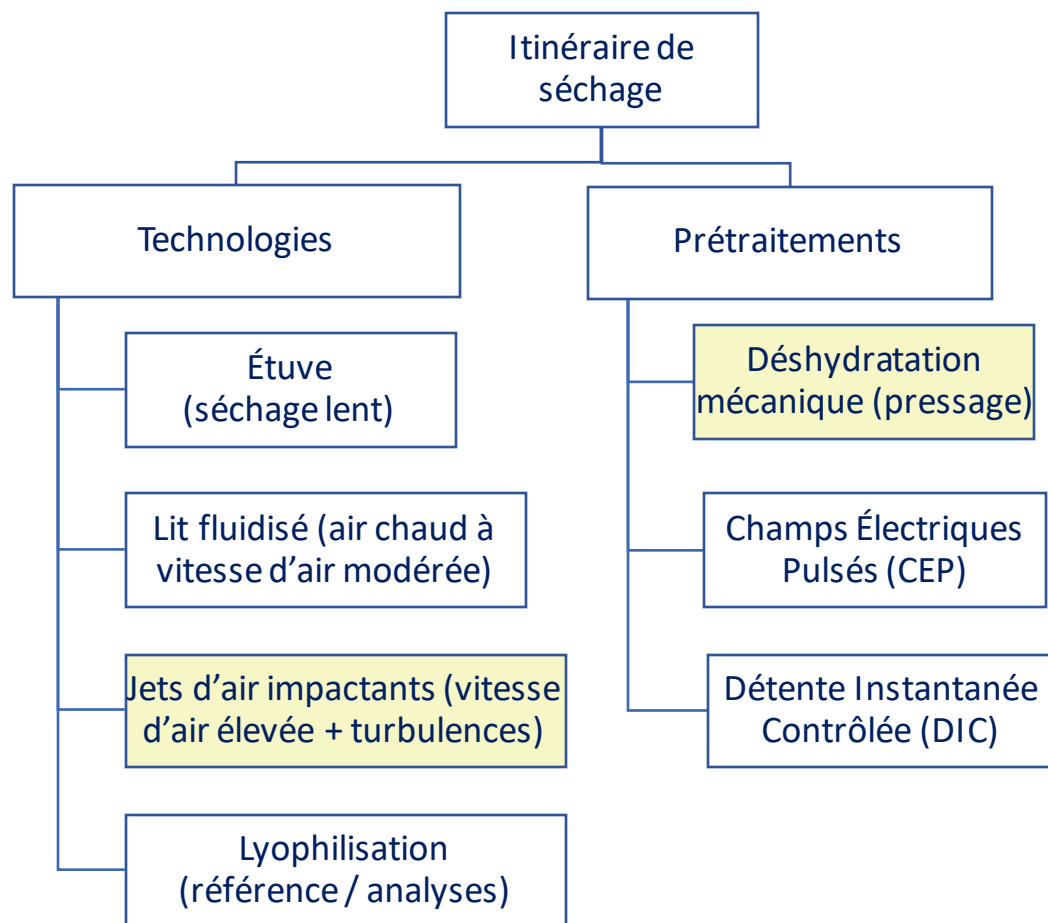


Prix

Rendement

La valorisation nécessite une bonne conservation des sargasses

Conservation des sargasses par séchage



La déshydratation par pressage mécanique est fortement recommandée:



- Permet d'éliminer très rapidement jusqu'à 50% de l'eau de constitution

La technologie de séchage rapide par jets d'air est validée:

- Quelle que soit l'espèce
- Séchage en couche mince ou en couche épaisse (4 à 5 cm)
- Peu d'impact sur la composition biochimique des algues

Tunnel de séchage



Pilote IRL
Étude laboratoire



Prototype CIMS
Implantation locale



C.I.M.S.
Construction Industrielle Métallique de Sablé

Prochaine étape => Déploiement du prototype aux Antilles

Des procédés éco-responsables pour la production d'extraits enrichis en bioactifs

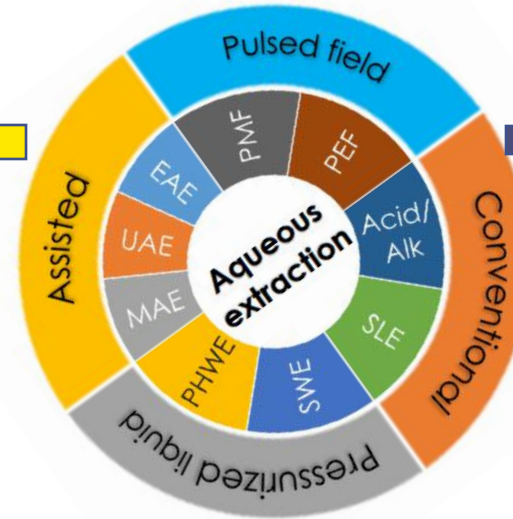


Technologies vertes

- Temps de traitement et consommation de solvants toxiques réduits
- Rendement d'extraction élevé
- Grande efficacité dans la désintégration des cellules
- Réduction de la température d'extraction
- Plus efficace que le chauffage conventionnel

APPLICATIONS

Agriculture – Biocontrôle
Matériaux



Analyse des rendements, suivi des sucres, sulfates, acides uroniques, protéines, phlorotannins et minéraux



Algues sèches des Antilles

Macération aqueuse à chaud (conditions acide ou basique)

Centrifugation

Formulation/stabilisation

Biostimulant liquide (MS 6%)

Co-Pulpe riche en cellulose

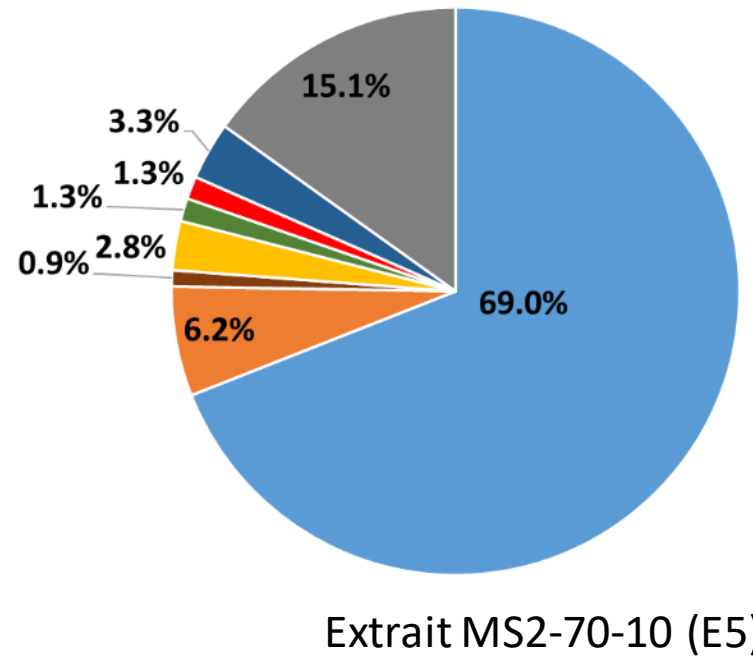
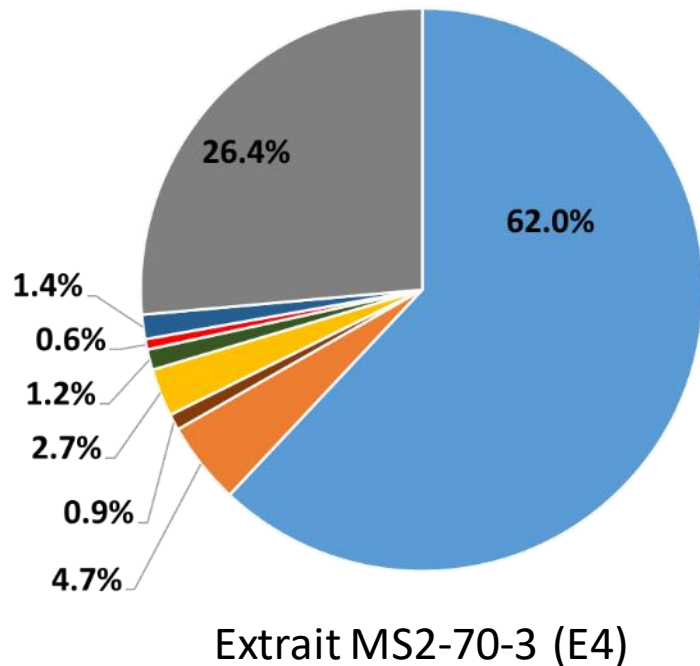
APPLICATIONS

Agriculture - Biostimulation

Extraits enrichis en bioactifs pour l'agriculture



Objectif : Optimisation d'un protocole de préparation d'un biostimulant liquide, adaptable sur un démonstrateur pilote en ligne « macération aqueuse »



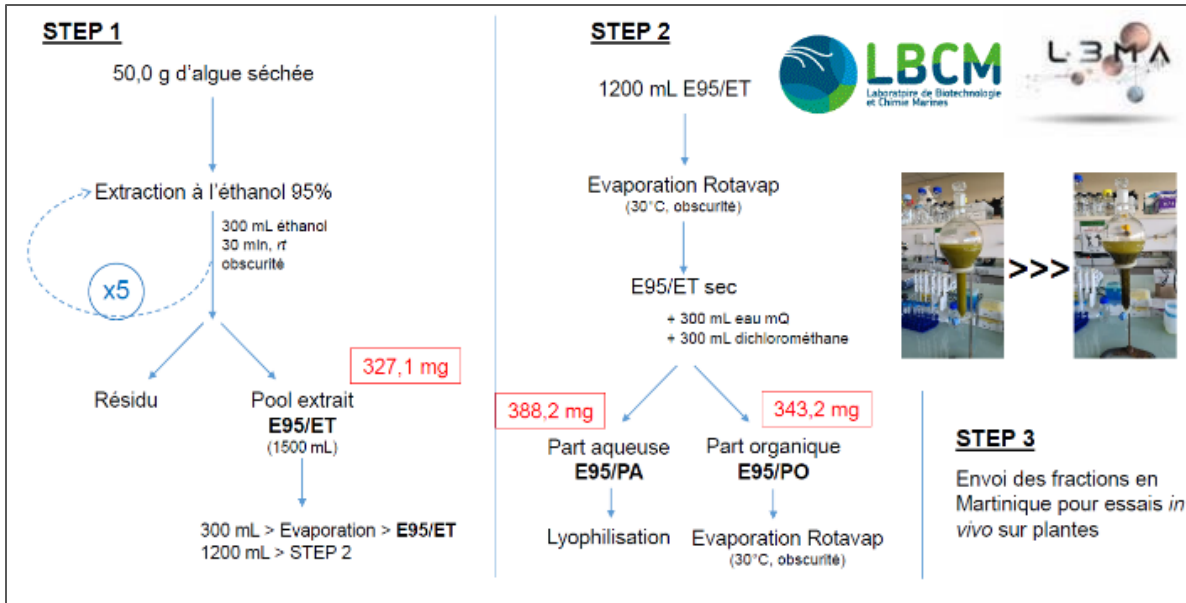
- Cendres
 - Mannitol
 - Laminaranes
 - Fucoïdanes
 - Alginates
 - Composés phénoliques
 - Acides aminés totaux
 - Composés non identifiés
- Composés d'intérêt



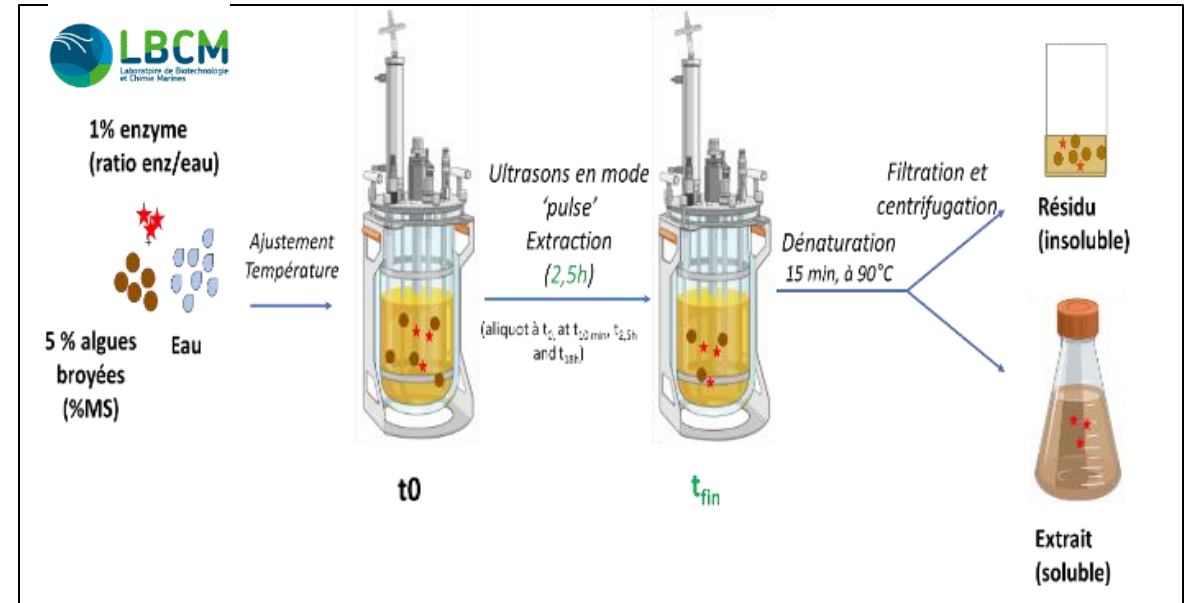
Expérimentations en biostimulation

Technologies vertes : Extraits enrichis en bioactifs pour l'agriculture

Extraction conventionnelle par solvants organiques

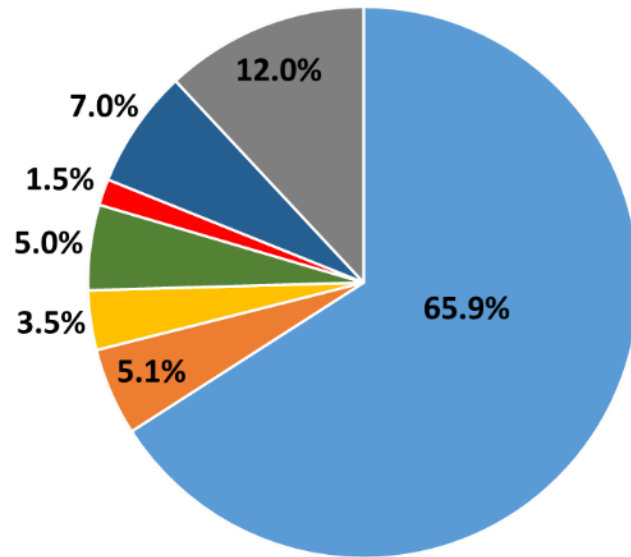


Extraction Assistée par Ultrasons et Enzymes

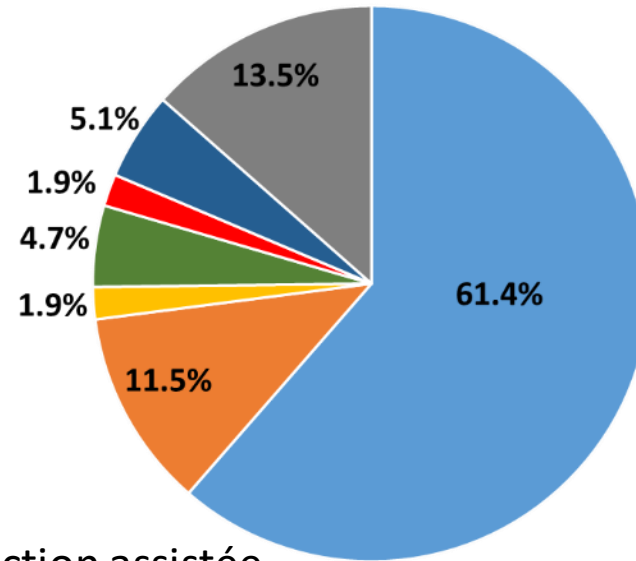


Rendement faible

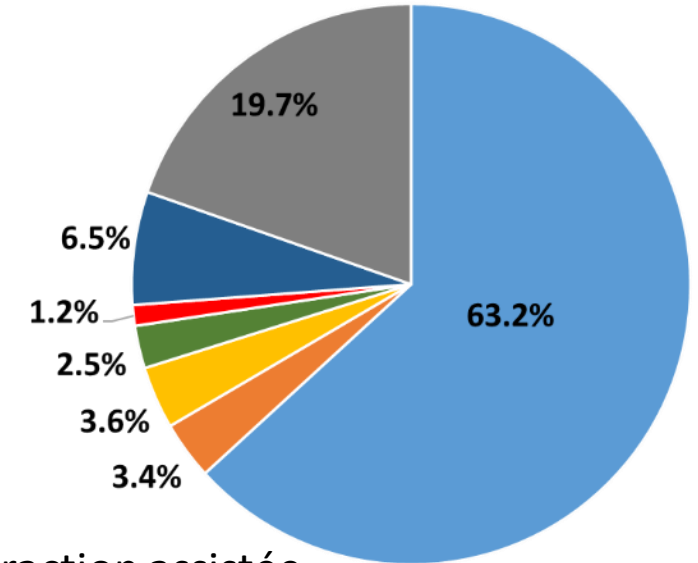
Composition des extraits assistés



Extraction assistée
par Ultrasons (UAE)



Extraction assistée
UAE + carbohydrases



Extraction assistée
UAE + protéases

- Cendres (minéraux)
- Composés phénoliques
- Sulfates *
- Composés non identifiés
- Sucres neutres **
- Protéines totales
- Acide uronique (alginates)

(*) indicateur des polysaccharides sulfatés riches en fucose (FCSP)

(**) indicateur des FCSP, cellulose et sucres de réserve



Expérimentations en biocontrôle

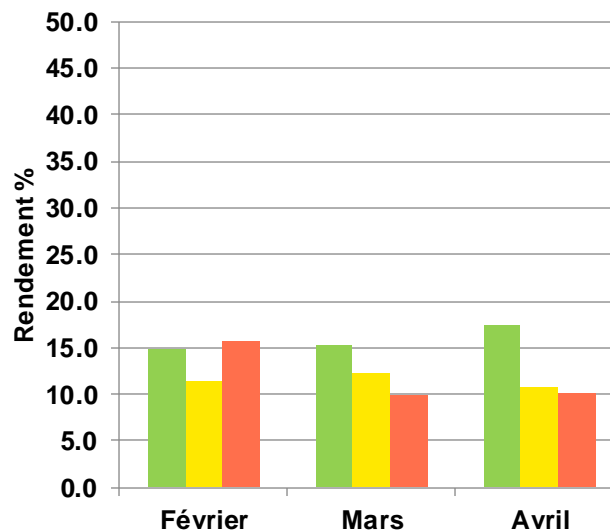


Technologies vertes : Extraits enrichis en bioactifs pour les matériaux

EXTRACTION DES ALGINATES EN VUE DE POLYMERISATION

Résultats:

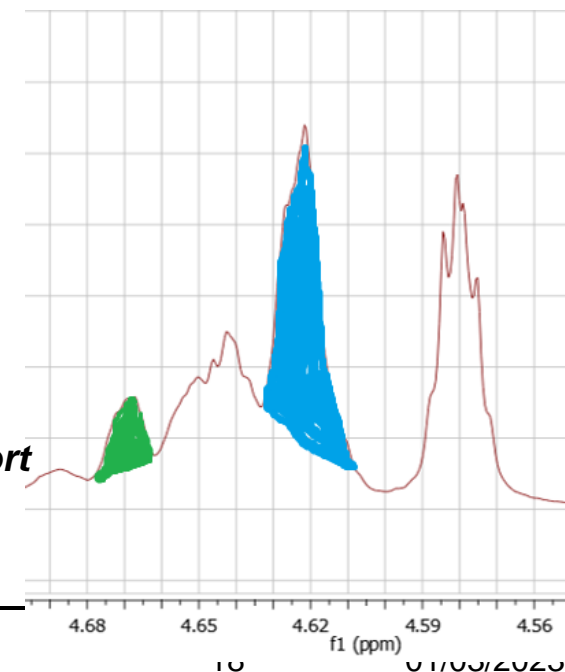
- suivi mensuel du taux d'alginate selon les trois morphotypes, suivi du rapport M/G déterminant l'utilisation des alginate
- amélioration de l'extraction par méthode verte: extraction assistée par ultrasons => réduction du temps de carbonatation (étape clé et très « énergivore ») de 2h à 30 min (pour un même rendement)



Exemple du suivi mensuel du taux d'alginate

■ S. Natans I
■ S. Fluitans III
■ S. Natans VIII

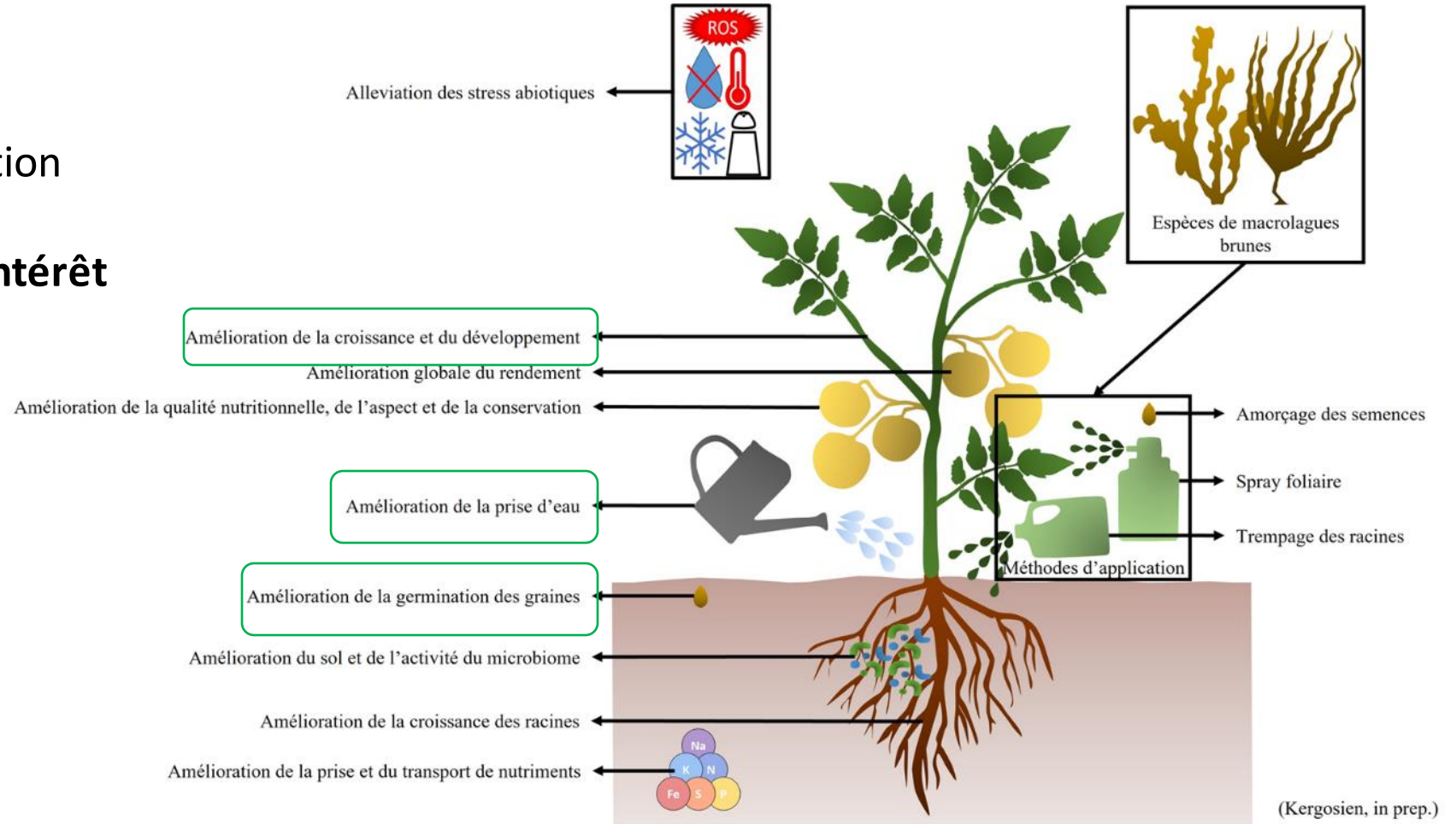
Détermination du rapport M/G par infrarouge



Expérimentations en biostimulation



Développement et commercialisation
d'extraits algues en biostimulants
**Identification des métabolites d'intérêt
pour la plante**





Expérimentations en biostimulation

Evaluation sur la croissance des plants en pépinière

Extraits testés sur tomate

- 2 extraits Sargasses (E4 & E5)
- 4 dilutions (0,2%, 0,5%, 1% et 1,5%)
- 1 référence : Extrait commercial (Alganact EVP6 Ld) dilué à 1%

2 modalités d'application

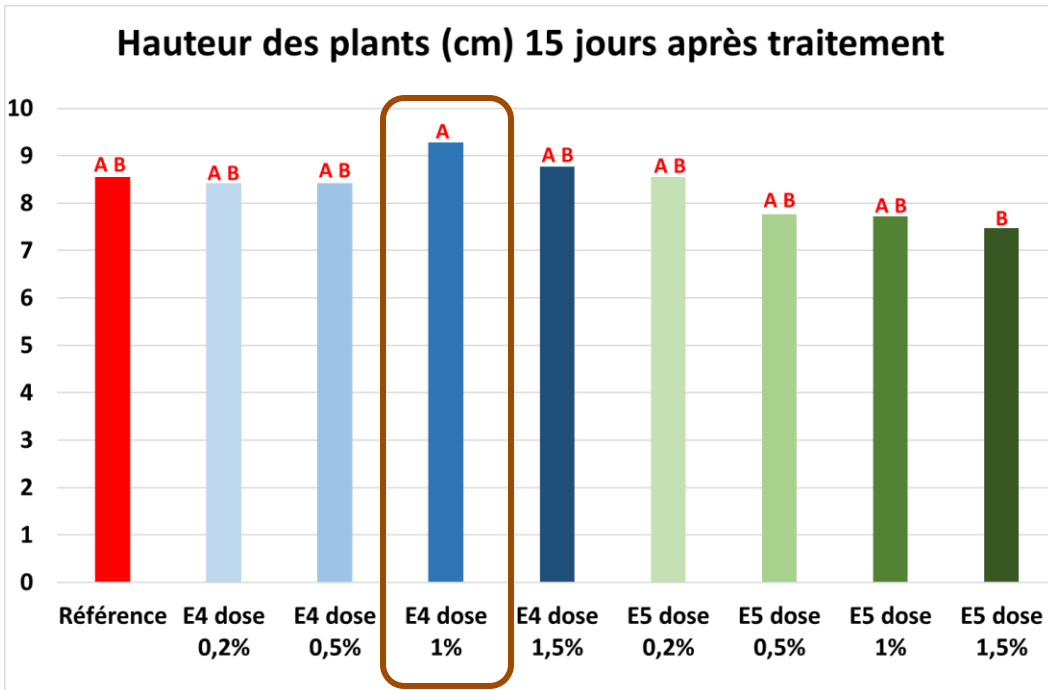
- *Unique application foliaire après repiquage*
- *Double application dans le substrat de semis + pulvérisation foliaire après repiquage*



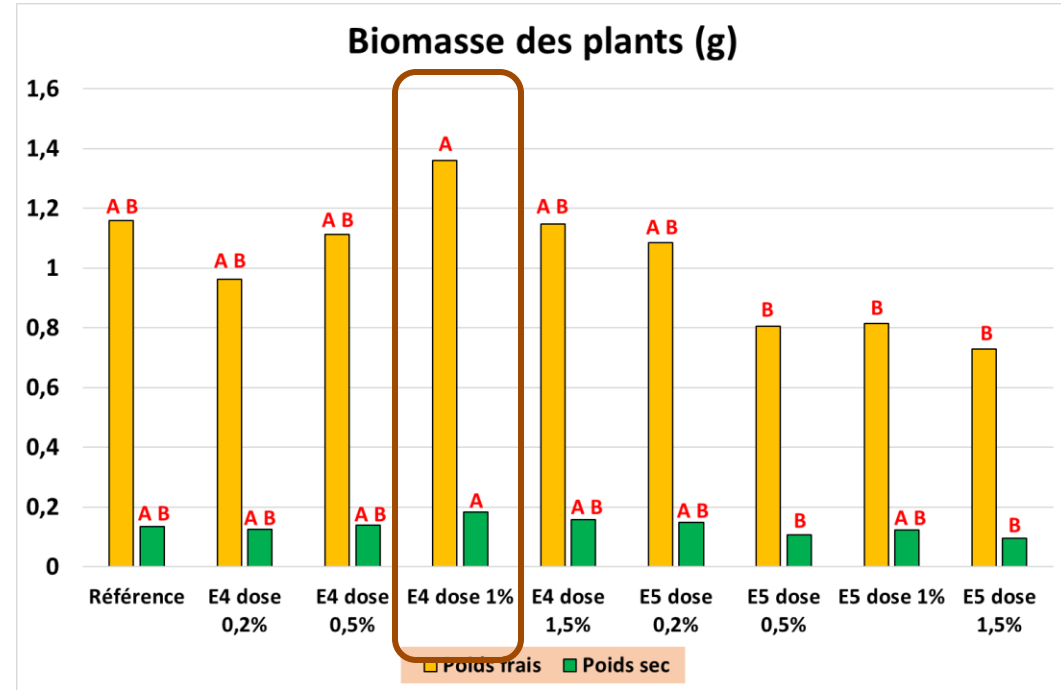
- Tests sur plants en pot
- Observations :
hauteur des plants ;
nombre de feuilles ; biomasse

Expérimentations en biostimulation : Résultats

Hauteur des plants (cm) 15 jours après traitement



Biomasse des plants (g)



CONCLUSIONS

- L'extrait Extrait MS2-70-3 (E4) à la dose de 1% est le plus prometteur

Expérimentations en biocontrôle

Extraits testés sur tomate contre l'aleurode *Bemisia tabaci* (ravageur majeur des cultures maraichères)

Extraits testés

- 2 extraits éthanoliques :
S.fluitans, *S. natans*
- 3 extraits assistés mixtes (*S.natans* + *S.fluitans*)
UAE , UAE + carbohydrases , UAE + protéases

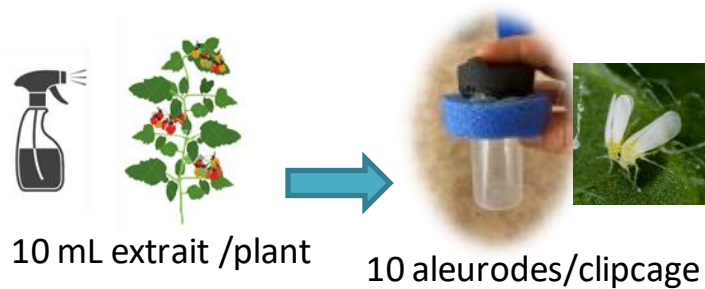
Doses testées en solution aqueuse

- extraits éthanoliques : 1%, 2%
- extraits assistés : 4%, 6%

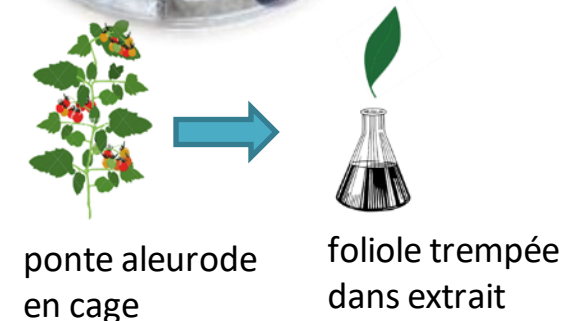
Observations

- % de mortalité des adultes
- taux d'émergence des larves

Test sur adultes (méthode des clips cages)



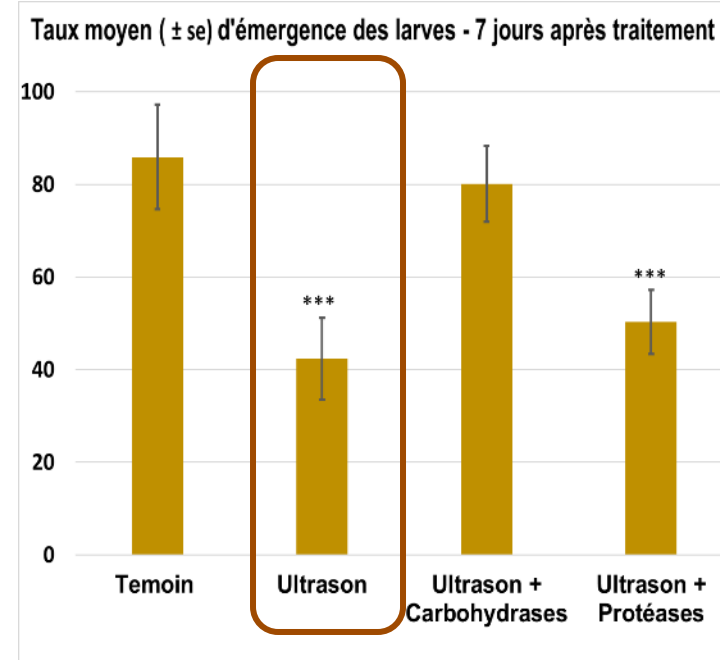
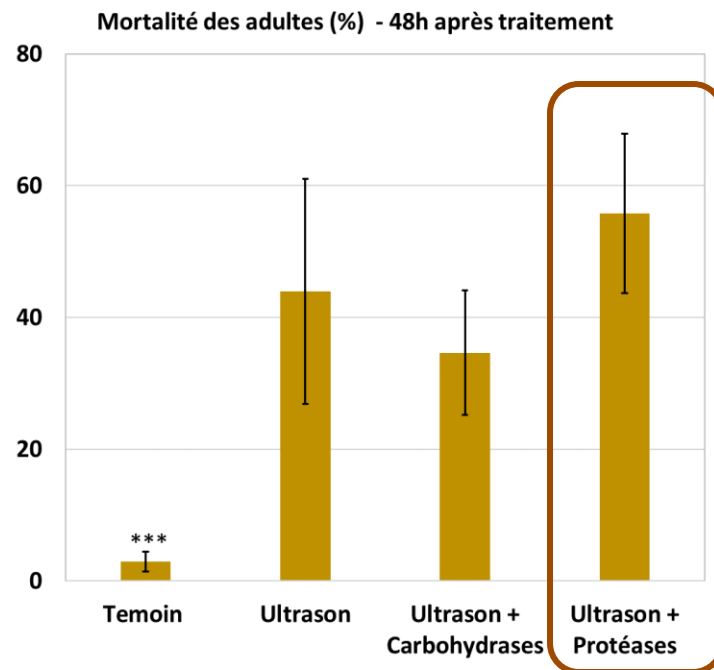
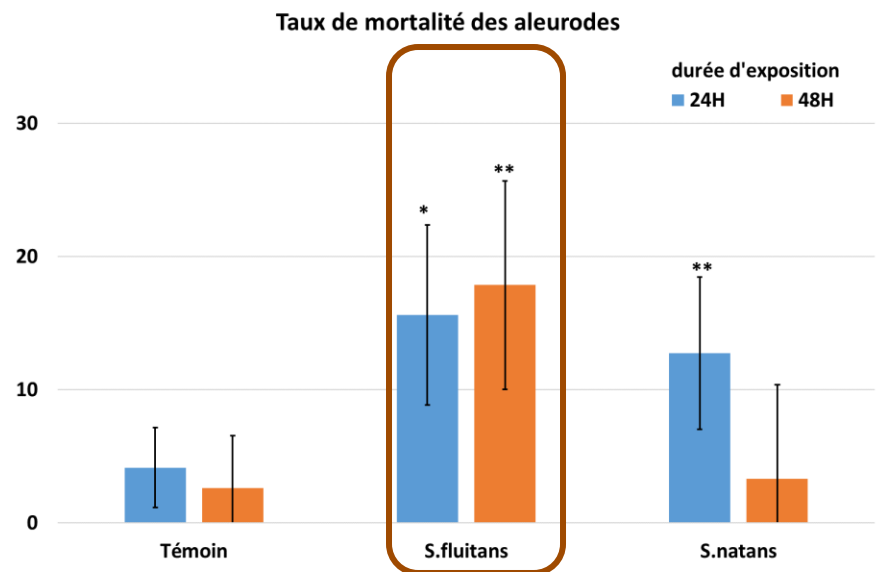
Test sur les oeufs



Expérimentations en biocontrôle : Résultats

extraits éthanoliques (2%)

Extraction Assistée par Ultrasons couplée EAE (6%)



CONCLUSIONS

- Effet biocide des extraits de sargasses sur *B. tabaci* quelque soit le procédé d'extraction

3. Prochaines étapes

Prochains points clés du projet

1 ^{er} trimestre 2023		2 ^{ème} trimestre 2023	3 ^{ème} trimestre 2023
Impact de la déshydratation des sargasses par pressage mécanique sur l'élimination de l'arsenic (étude laboratoire au Mexique)			
	Préparation de nouvelles fractions liquides biostimulantes à partir d'algues fraîches et tests efficacité – Définition des doses d'usage pour élaboration de fiches techniques produit		
Expérimentation en biostimulation : Evaluation extrait MS2-70-3 (E4) sur culture de tomate en serre			

Prochains points clés du projet

1 ^{er} trimestre 2023	2 ^{ème} trimestre 2023	3 ^{ème} trimestre 2023
Expérimentation en Biocontrôle :		
Tests biologiques avec des extraits issus de nouveaux procédés	Evaluation sur culture de tomate en serre avec le meilleur extrait (effet biocide + rendement extraction)	
Validation du mode de conservation des algues pendant le transport		Evaluation des différents scénarios de valorisation d'algues fraîches (circuit transformation court) ou sèches (circuit long) récoltées par bateau – proposition d'un schéma de bioraffinerie (WP4-5)
		Estimation du coût de production - viabilité d'un modèle économique

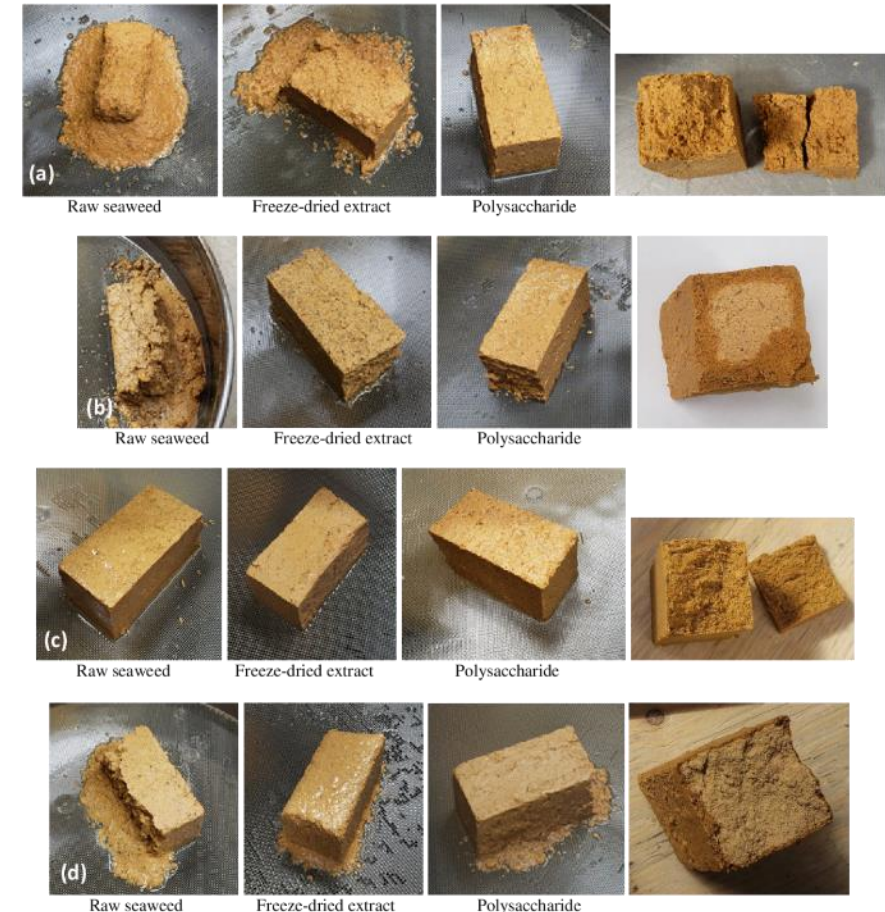
Autres perspectives

Valorisation pour le secteur des matériaux

Étude comparative des effets de divers polysaccharides pariétaux d'algues marines sur les propriétés rhéologiques, mécaniques et de durabilité à l'eau des matériaux à base de terre

Algues entières, extraits aqueux et polysaccharides

⇒ Fabrication de briques à partir d'alginate des sargasses des Antilles



4. Perspectives industrielles

Perspectives industrielles...

Pilote industriel

- Production des alginates par un procédé éco-responsable à l'échelle pilote – brevet en cours de montage

Prétraitement des algues

- Construction de tunnel de séchage

Partenaires

- ALGAIA ▪ ÉFINOR ▪ C.I.M.S ▪ BIOTHOT



**Merci de votre
attention**

Personnes ayant collaboré à la présentation

Collecte : Benjamin Lerondeau (EFINOR)

Séchage : Jean-Louis Lanoisellé (UBS-IRD)
Virginie Boy (UBS-IRD)

Extraction de molécules d'intérêt :

Nathalie Bourgougnon (UBS-LBCM) Kevin Hardouin (UBS-LBCM)
Valérie Stiger-Pouvreau (UBO-LEMAR) Solène Connan (UBO-LEMAR)

Maud Benoit (ALGAIA) Nolwenn Kergosien (ALGAIA)

Franck Hennequart (ALGAIA) Maxime Chevalier (UA-L3MA)

Valorisation agronomique :

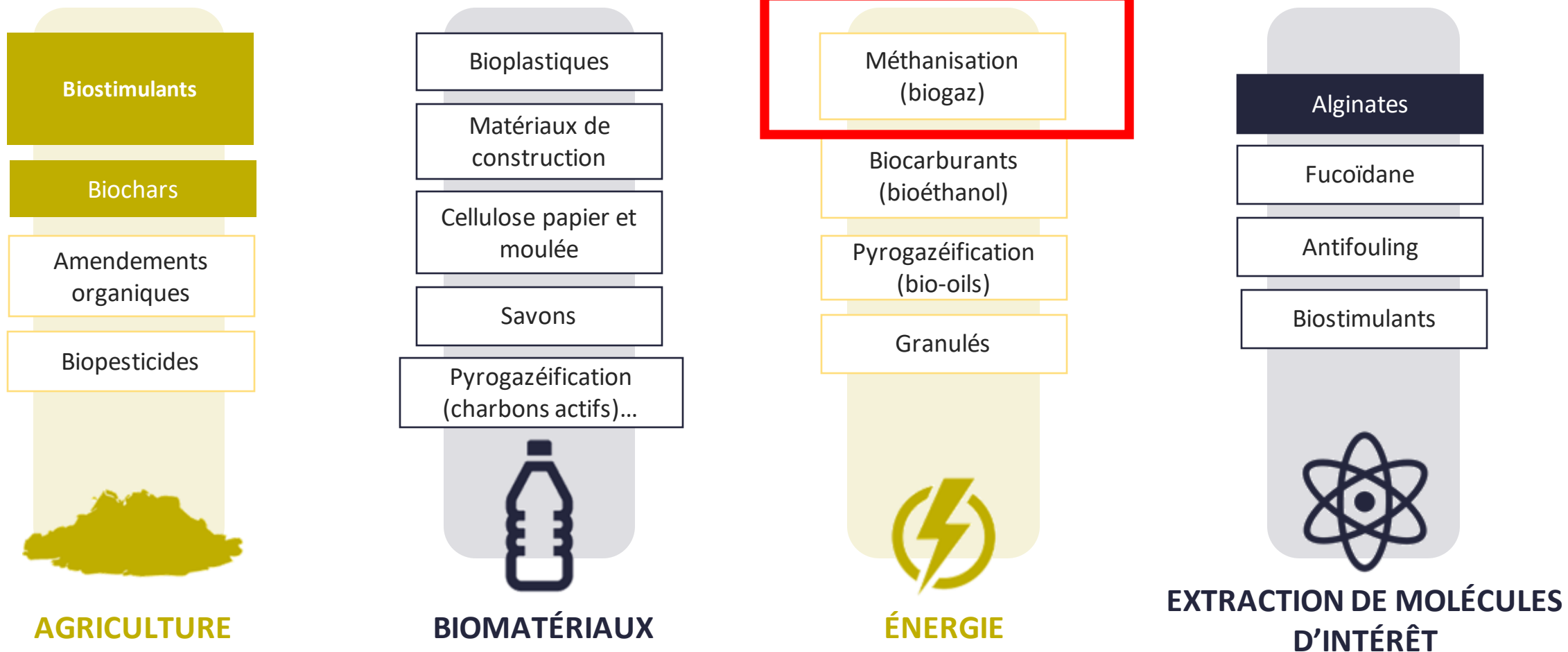
Béatrice Rhino (CIRAD-HORTSYS) Serge Simon (CIRAD-HORTSYS)
Chloé Corbanini (CIRAD-HORTSYS)

SAVE Sargassum Agricultural Valorization and Energy production

Yves Le Roux, Guillaume Henry

Contact : yves.leroux@univ-lorraine.fr

Les filières de valorisation



1. Présentation générale

Valorisation de la sargasse par méthanisation

Méthanisation
(biogaz)

Biocarburants
(bioéthanol)

Pyrogazéification
(bio-oils)

Granulés



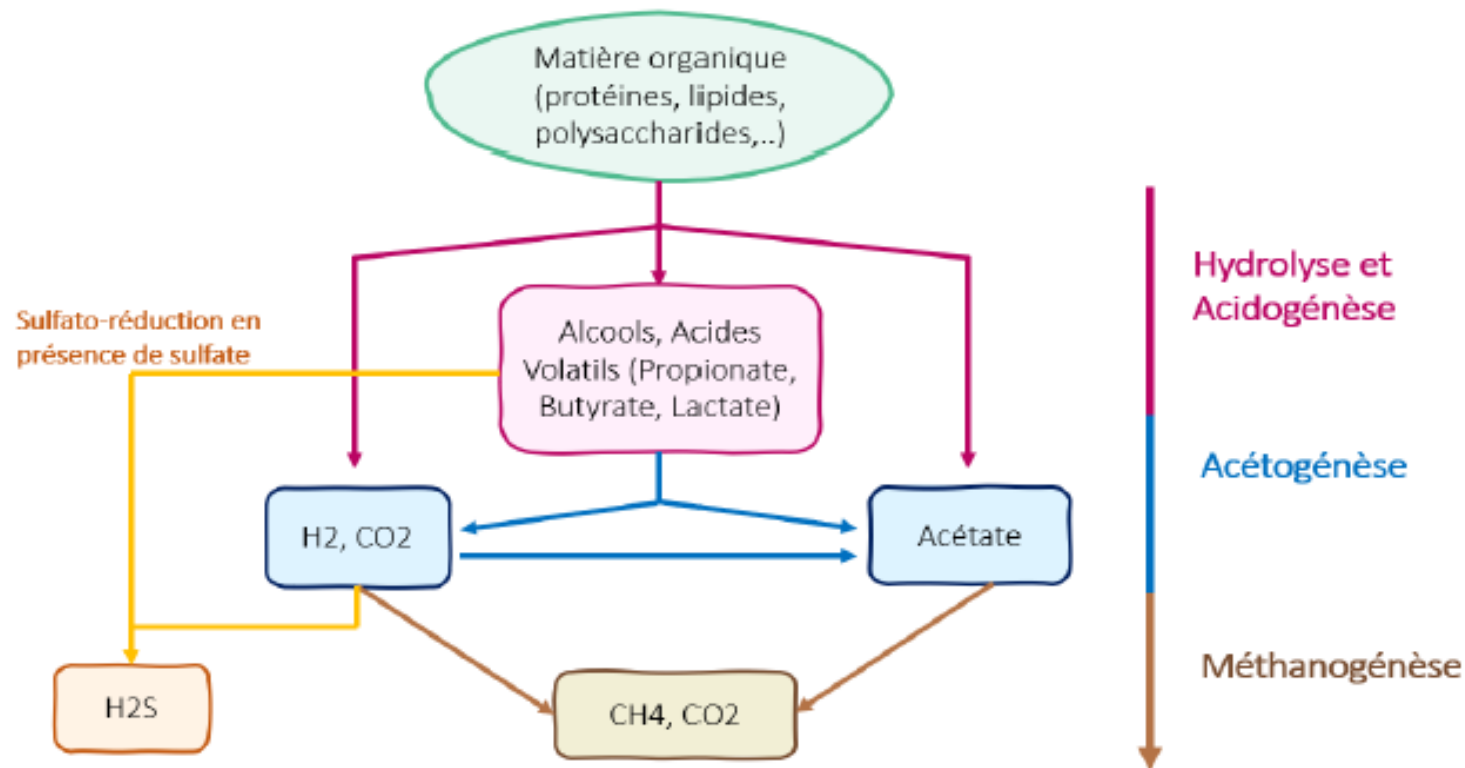
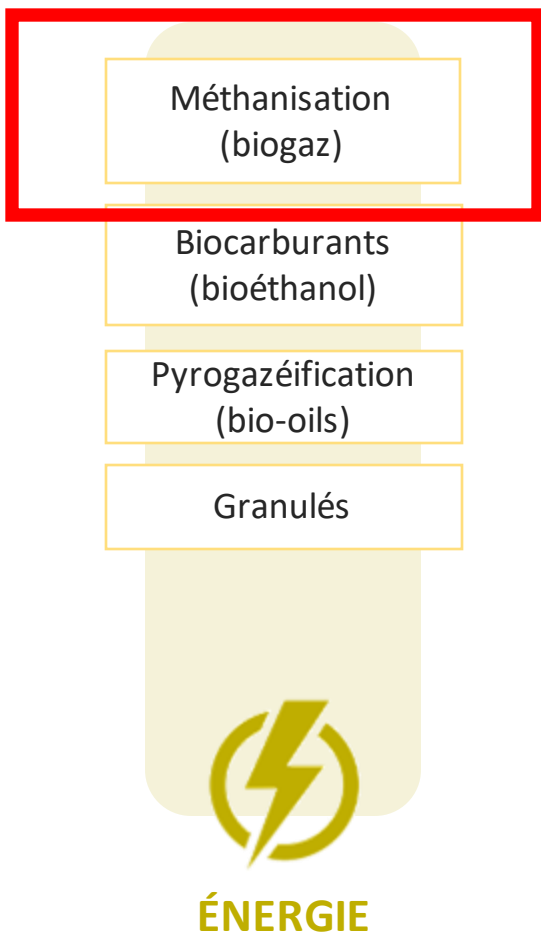
ÉNERGIE

CONTEXTE

- * Une bibliographie dense mais variable
- * Des technologies de méthanisation en évolution
- * Une approche de type recherche-développement qui doit permettre d'aboutir à un modèle technico-économique pérenne compatible avec un gisement variable.
- * Une ACV multicritère positive sur les compartiments sol, eau, air

Valorisation de la sargasse par méthanisation

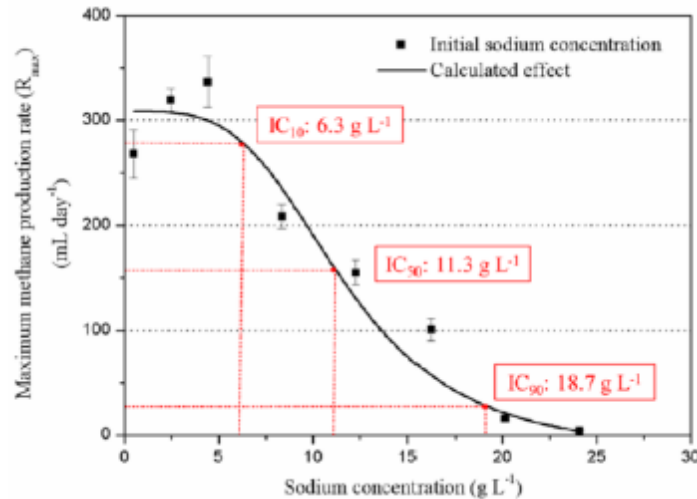
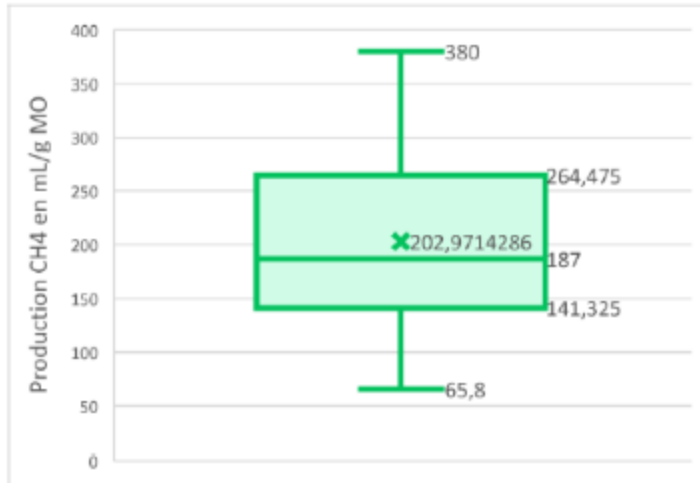
ETAT des connaissances



La méthanisation : processus en 4 étapes qui met en œuvre un écosystème microbien complexe, très sensible à de nombreux paramètres

ETAT des connaissances

Valorisation de la sargasse par méthanisation



* Une variabilité extrême des données bibliographiques sur le pouvoir méthanogène des Sargasses ($200 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{MO}} \pm 80$) : espèces, composition, prétraitements, technologie en batch vs continu, inoculum utilisé (STEP, digestats...), consortium microbien (classique vs halophile)...

* Prétraitement : importance de la teneur en sel qui a un impact majeur sur la méthanisation : au dessus de 5g/L, des impacts négatifs sur le processus

* Rapport C/N des sargasses très variable (20/30 idéal pour la méthanisation)

Concentration en métaux lourds des Sargasses

(mg/kg dw ^{**})	Mixe Sargasses	S.Natans VIII	S.Natans I	S.Fluitans
Aluminium	37,5	16,21	21,48	28,09
Arsenic	123,69	20,94	29,76	26,25
Fer	3811,37	81,58	998,56	262,02
Zinc	5,81	26,49	30,88	35,64

*% exprimé en fonction de la matière brute **% exprimé en fonction du taux de MS

Eléments	Rôles	Inhibitions	Seuils
Nickel	Nécessaire à la formation de nombreuses enzymes : CODH, ACS Central dans le cofacteur F430, essentiel à l'étape finale de la formation de méthane [17][20][21]		Inhibition faible : 5mg/L [21] Inhibition moyenne : 10mg/L [21]
Aluminium		Compétition avec le fer et manganèse + adhésion à la membrane cellulaire → affecte la croissance [22]	Inhibition moyenne : 1000-1500 mg/L [16] Inhibition forte : 2500 mg/L [14][21]
Calcium	Nécessaire à la croissance bactérienne et à la formation d'agrégats microbiologiques [14]	Précipitation des carbonates et phosphates → entartrage des réacteurs et de la biomasse, perte de la fonction tampon et de nutriments [14]	Optimum : 200mg/L Inhibition faible : 2500 mg/L Inhibition moyenne : 4000 mg/L Inhibition forte : 8000 mg/L [14]
Potassium		Flux passif d'ions potassium dans les cellules et neutralisation du potentiel membranaire [14]	Inhibition faible : 400 mg/L [14]
Cobalt	Présent dans les corrinoides et les enzymes à vitamines B12 → Atome central pour les acétogènes et méthanogènes [17]		Inhibition forte : 70 mg/L [15]

Sources ETUDE DES POTENTIELS DE METHANISATION DES SARGASSES, P. Stefan M2, 2021

Valorisation de la sargasse par méthanisation

ETAT des connaissances

- * Cas particulier de la composition en métaux lourds des sargasses
- * Une composition atypique, une variabilité très importante
- * De nombreuses interrogations sur l'impact de ces métaux lourds sur la méthanisation mais *a priori* les concentrations en métaux lourds sont insuffisantes pour modifier significativement le processus de méthanisation

2. Expérimentations et résultats

Expérimentation

Evaluation du pouvoir méthanogène (BMP)



Conditions batch : bouteilles, 37°C

A partir de Sargasses lavées, rincées et séchées envoyées à Nancy

A- 2 ratio testés sargasse/digestat en MS (biblio)

0,35

0,75

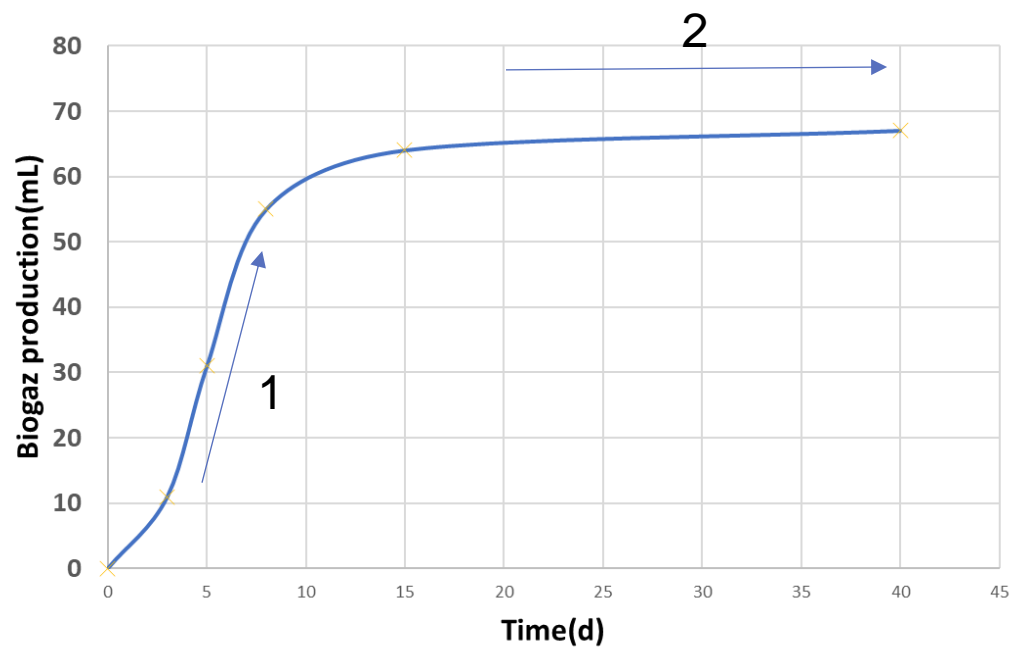
B- Test de prétraitement

* Broyage

* Macération 1 et 2 (volume d'eau utilisé différent)

Expérimentation

Evaluation du pouvoir méthanogène (BMP)



Courbe de production cumulée de biogaz

- 1 Permet d'évaluer une vitesse de production
- 2 Analyse de la composition du biogaz
- 3 Permet d'évaluer un volume de CH_4 par t_{MO}

P. Stefan, M2, 2021

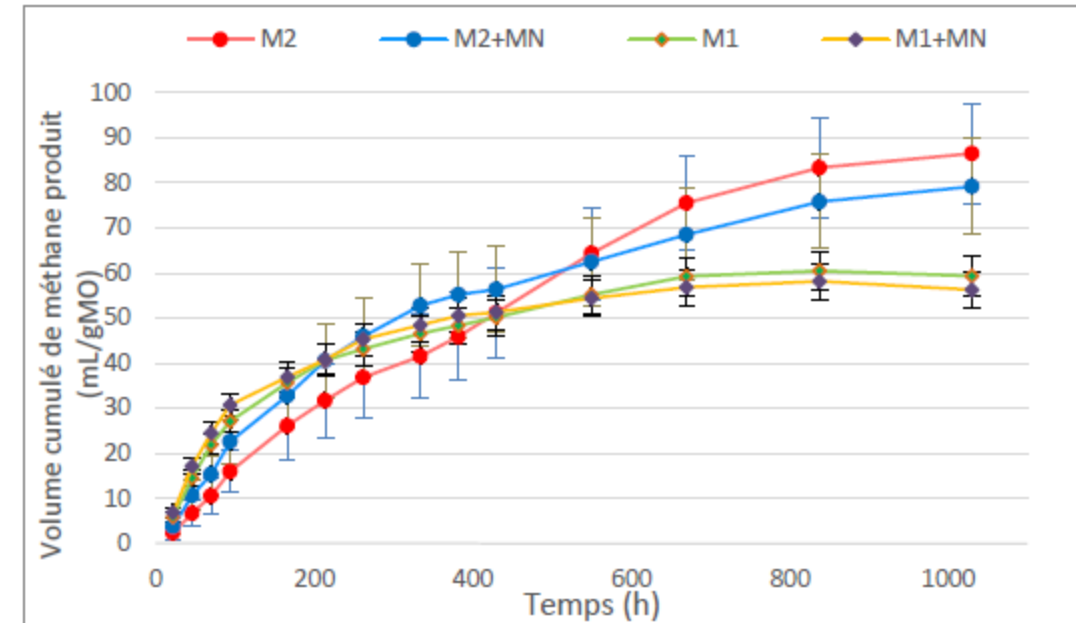
Résultats

Effet du ratio inoculum/substrat

* Pour le ratio 0,35 (M1) un plateau vers $90 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{MO}}$ avec ou sans milieu nutritif (MN)

* Pour le ratio 0,75 (M2) un plateau vers $55 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{MO}}$ avec ou sans milieu nutritif (MN)

- phénomène d'inhibition avec le ratio 0,75
- un ratio 0,35 permet d'atteindre des valeurs intéressante de production de biométhane mais /2 par rapport à la littérature



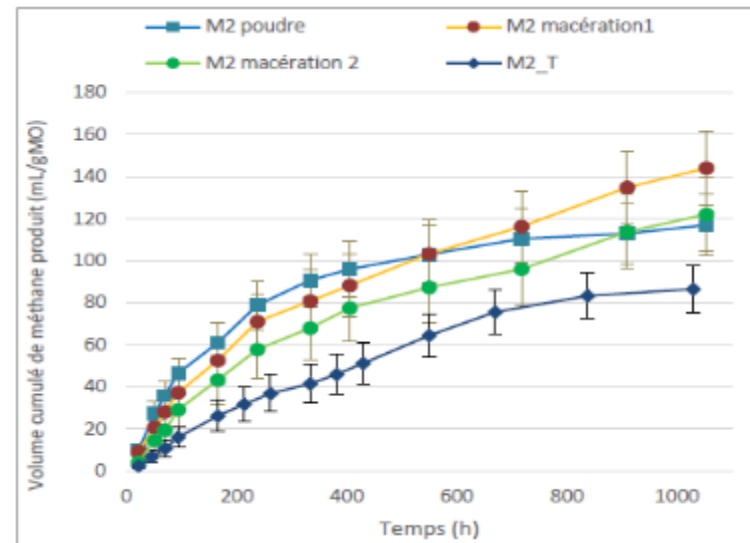
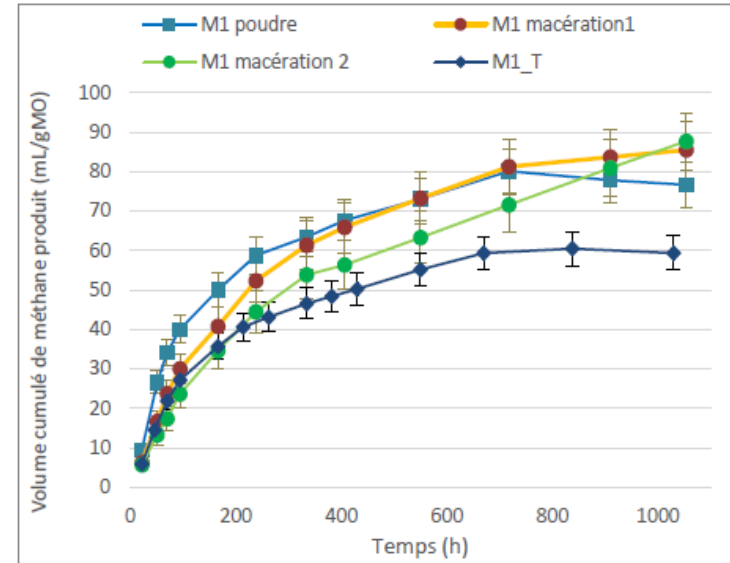
Résultats

Effet des prétraitements

Quel que soit le prétraitement

Le pouvoir méthanogène

- * Poudre = macération 1 et 2 > Témoin
- * Le ratio 0,35 > ratio 0,75 → Inhibition sel ?



Expérimentation

Effets des digestats de méthanisation thermophile sur la fertilité biologique et chimique des sols antillais (andosol)



Digestat collecté



Digestat dilué



Microcosme (4 répétitions par modalité)

Témoin

Dose X : 30m³/ha

Dose 2X : 60m³/ha.

Humidité des sols est ajustée à 100% de la CC.

Sacrifice des microcosmes à différentes dates T0, T3, T7, T14, T28

Différentes variables mesurées :

Fertilité chimique :

- pool de C, N extractible,
- teneurs en éléments minéraux
- pH

Fertilité biologique :

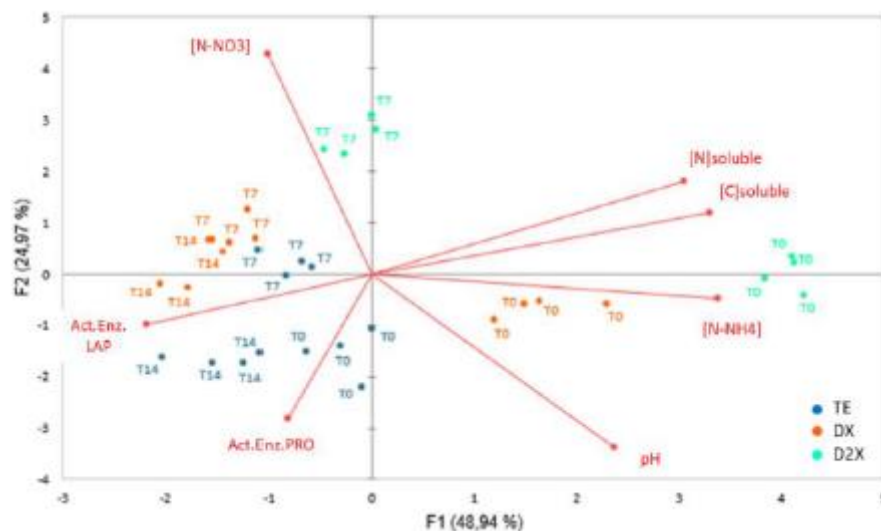
- abondance de bactéries et champignons
- activités enzymatiques en lien avec les cycles C, N

Résultats

	sol BAN	sol AND
pH	8,05	7,99
[C]soluble	312,70 mg/kg sol sec	690,95 mg/kg sol sec
[N]soluble	60,05 mg/kg sol sec	76,11 mg/kg sol sec
C/N	5,22	8,53
[N-NH ₄]	3,16 mg/kg sol sec	0,50 mg/kg sol sec
[N-NO ₃]	29,50 mg/kg sol sec	25,06 mg/kg sol sec
Activité enzymatique LAP	86,01 µg/g sol sec	126,90 µg/g sol sec
Activité enzymatique PRO	19,38 µg/g sol sec	78,58 µg/g sol sec

Variables	pH	[C]soluble	[N]soluble	[N-NH ₄]	[N-NO ₃]	Acti.Enz.LAP	Acti.Enz.PRO
pH	1	0,450	0,274	0,658	-0,714	-0,281	0,159
[C]soluble	0,450	1	0,912	0,820	-0,040	-0,514	-0,285
[N]soluble	0,274	0,912	1	0,824	0,136	-0,412	-0,208
[N-NH ₄]	0,658	0,820	0,824	1	-0,336	-0,443	-0,140
[N-NO ₃]	-0,714	-0,040	0,136	-0,336	1	0,019	-0,167
Acti.Enz.LAP	-0,281	-0,514	-0,412	-0,443	0,019	1	0,215
Acti.Enz.PRO	0,159	-0,285	-0,208	-0,140	-0,167	0,215	1

CONCLUSIONS



- * les mêmes interrogations sur l'impact des digestats sur la fertilité des sols dans l'hexagone qu'aux Antilles
- * Des sol antillais avec des caractéristiques particulières, des digestats avec des caractéristiques particulières : des interactions non étudiées qui nécessitent des travaux spécifiques de longues durées
- * Dynamique de l'arsenic non étudiée ici (digestat en phase liquide, phase solide ou digestat brut)

Un travail préliminaire d'évaluation du gisement de biomasse disponible en Guadeloupe



Canne



Sucrierie



Distillerie



Canne –
électricité



La banane



Les sous-produits
animaux



Les déchets verts

Synthèse des gisements disponibles	
Filière Canne / Rhum	Bagasse : 7545 T Vinsasse: 20 331 T Fond de cuve: 2 120 T
Filière Canne / Électricité	18 000 T
Filière Elevage	25 000 T
Filière sous-produits animaux	800 T
Filière déchets verts	33 800 T
Sargasses	Production aléatoire

Beaucoup de ressources à teneur en matière sèche élevée

Etude à conforter

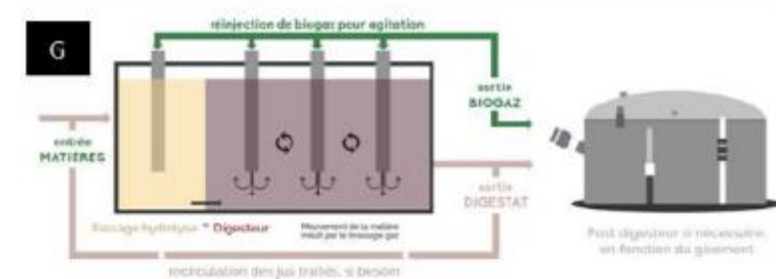
Sources : D. NARAYANINSAMY, M2, 2021

Enquête sur les unités thermophiles voie sèche continue en fonctionnement dans l'hexagone

9 Monographies sur les unités, retour d'expérience, schéma d'approvisionnement

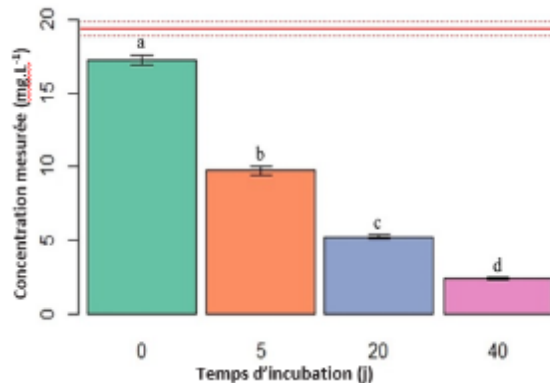
Confirmation de l'intérêt pour cette technologie

- * Déchets verts/déchets agro-alimentaires
- * Effluents secs (fumier)
- * Ration sèche
- * Temps de séjour court (< 30 jour)
- * Un digestat [concentré] dont la phase solide est **compostable**

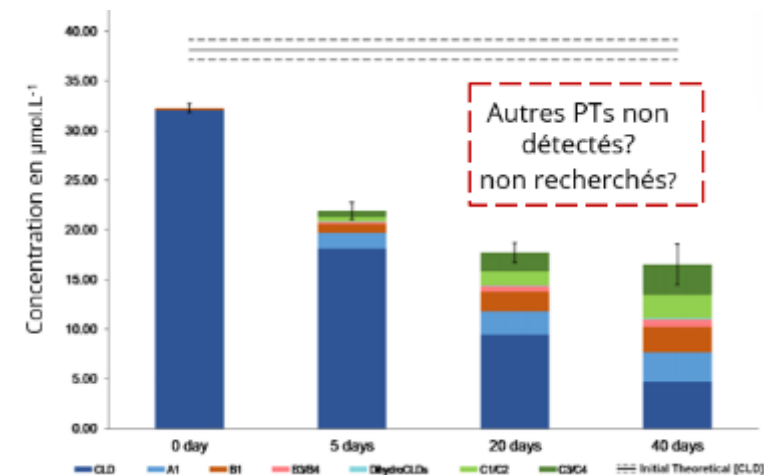


La méthanisation thermophile en complément

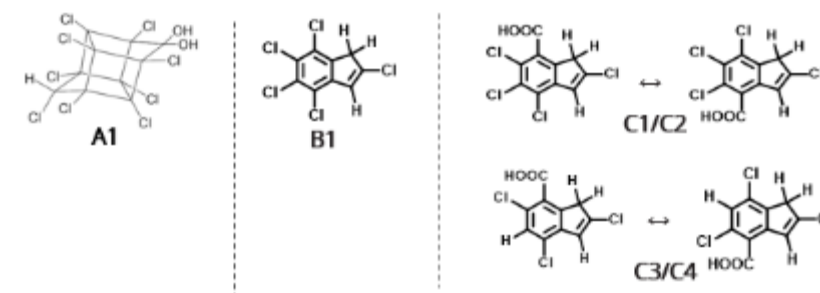
Évolution de la concentration en CLD en conditions thermophiles



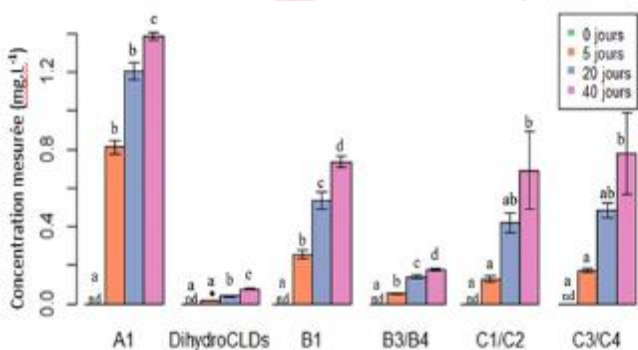
Un abattement de 86% +/- 5 de la CLD



✓ A1 principal PT formé, suivi du B1 et C1/C2 et C3/C4



Évolution des PTs en conditions thermophiles

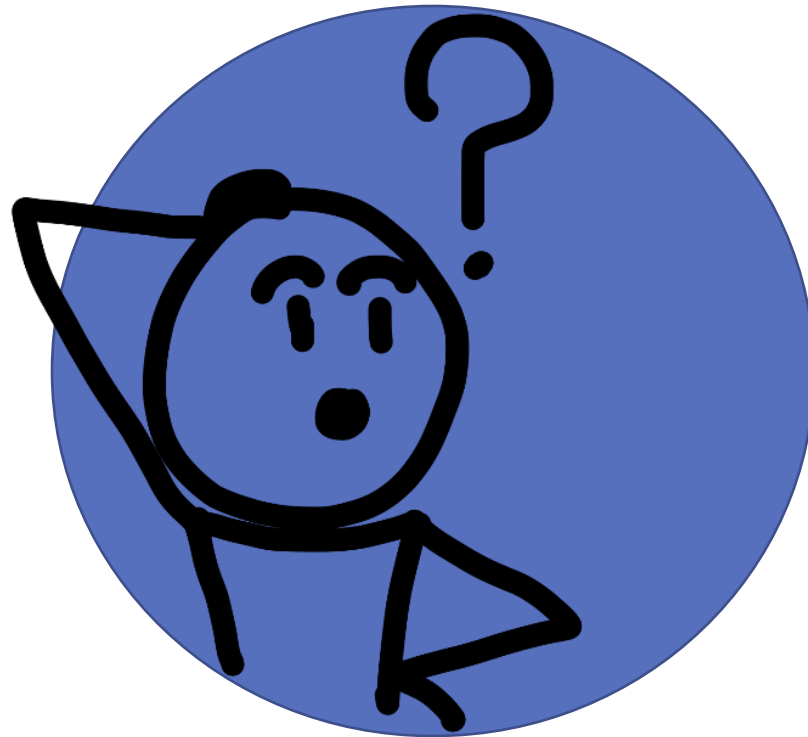


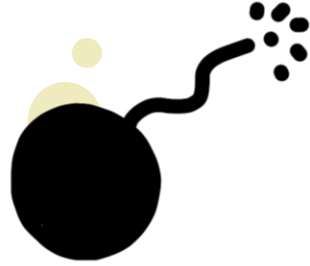
Des produits de transformation identifiés et quantifiés

• : < LOQ
nd : non détecté

Premiers éléments des travaux menés sur Nancy

- * **Des résultats de BMP compatibles avec la bibliographie,**
- * **Des travaux sur les digestats à conforter avec des digestats de sargasse sur les sols antillais**
- * **De nombreuses limites aux travaux menés à Nancy**
 - * Difficulté d'avoir des quantités de biomasse suffisante
 - * Impossibilité de travailler sur des prétraitements « sargasse » fraîche (ensilage, lavage..)
 - * L'envoi de sargasse dans l'hexagone se fait sous forme « séchée » : perte de l'écosystème microbien et transformation potentielle de la MO
- * **Une méthanisation 100% sargasse (dans nos conditions) ne semble pas possible : teneur en sel ou autres éléments induisent des phénomènes d'inhibition + arrivage irréguliers**
 - * nécessiter de trouver des biomasses complémentaires
 - * La technologie « infiniment mélangée » ne permet pas de travailler avec des matières premières présentant des matières sèches trop importantes
 - * Pas de référence sur de la méthanisation thermophile (55°C) adaptée aux déchets verts locaux





Fin 2021-Début 2022 : réflexion d'une réorientation stratégique du programme ANR



Nécessité de travailler aux Antilles avec des biomasses locales avec transfert de compétences et de matériels

Expérimentation

Evaluation du pouvoir méthanogène des biomasses locales (BMP)



Système AMPTS (Automatic Methane Potential Test System)

- * 6 Digesteurs discontinus 2L agités
- * 1 unité de mesure du débit de méthane (6 voies)
- * Logiciel de pilotage et traitement des données

Permet de travailler sur la mesure de 6 échantillons en ligne

Fin 2022

Des digesteurs discontinus de 2 litres permettant de tester des mélanges de biomasse

Expérimentation

A partir des résultats issus du système AMPTS, fonctionnement en ration mixte

En chemostat, continue, thermophile (55°C)

* Un chémostat a été livré sur l'unité INRAe

* Un doctorant (Josué Henry) a été formé à la Chaire Agrométha (juin-juillet 2022)

* Volume 10 litres, temps de séjour 25-30 jours

* Permet d'ajouter 300 g de matière quotidienne et donc de mixer des sargasses avec de la biomasse locale

* Production de digestat significative pour travailler sur des microcosmes de sols

* Présence **de l'arsenic** entre **phase liquide** et **phase solide** après séparation de phase



Fin 2022

Expérimentation 2023

Travail sur les prétraitements :
ensilage, mélange



Comparaison fertilisation organique, minérale,
digestat thermophile sur la croissance de
céréales

Phytotrons, conditions contrôlées

2023, Nancy avec les digestats issus des essais
chemostats en Guadeloupe



Effets des digestats de méthanisation sur la fertilité
biologique, chimique, physique des sols antillais



- * Microcosme
- * Micro-parcelles

* Installation d'un démonstrateur de 1m³ de méthanisation voie sèche thermophile continue sur le site INRAe ASSET (déjà installé sur la ferme expérimentale de l'ENSAIA)

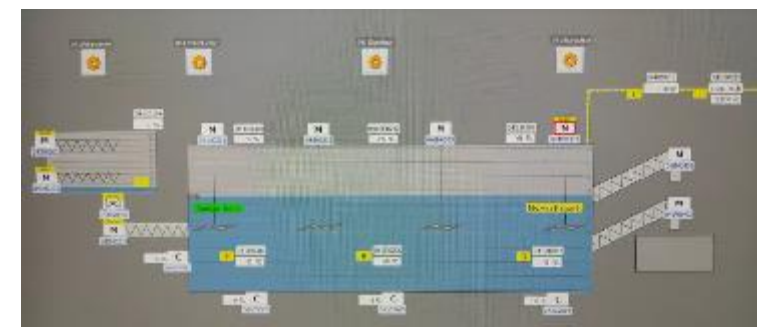
* Pilotable

* Permet de travailler sur des rations mixtes, prétraitement pour limiter l'arsenic en particulier, limitation de l'H₂S

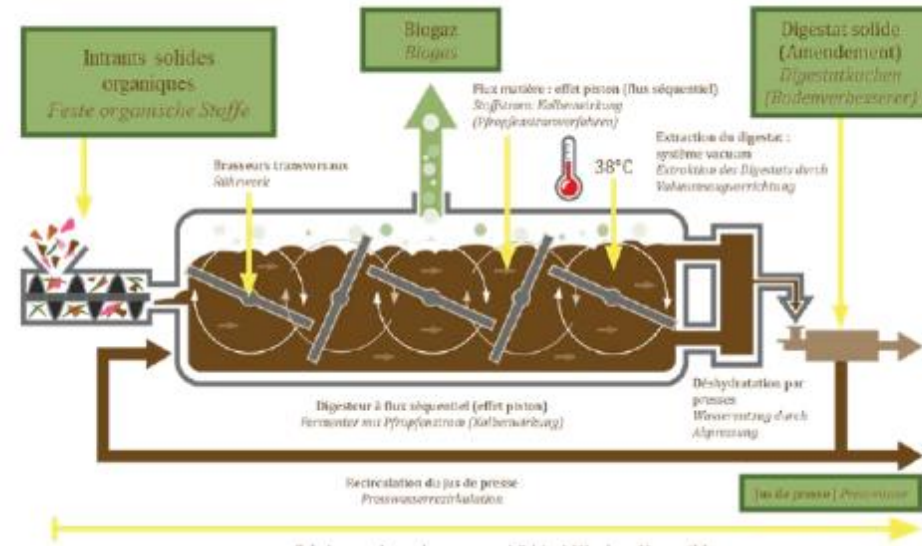
* Démonstrateur correspond une technologie éprouvée à Sarreguemines qui traite un mix de déchets verts/déchets de l'agro-alimentaire



Courant 2023



Perspectives industrielles...



En savoir plus :

[Site ADEME Guadeloupe](#)

[Site ADEME Martinique](#)

Yves Le Roux (Chaire Agrométha, ENSAIA)
Guillaume Henry (Chaire Agrométha, ENSAIA)
Harry Archimède (INRAe ASSET Guadeloupe)
Josué Henry (SARA/INRAe ASSET, Guadeloupe)





SARGOOD

Approche holistique de la valorisation des Sargasses



Marie-Ange Arsene

Laboratoire COVACHIM – M2E



- Quoi?
- Pourquoi?
- Comment?

Ensiacet
INP Toulouse

Problématique de recherche

- Quel est l'impact de la Sargasse, espèce invasive et de sa collecte sur la faune native?
- Quelles sont les méthodes adaptées pour l'extraction à partir de Sargasse?
- Quelle est la composition chimique détaillée de la Sargasse :
 - Composées organiques,
 - Matériau non extractible
- Comment valoriser de grandes quantités de Sargasse?
 - Applications dans l'habitat et les infrastructures
 - Traitement de l'eau
 - Applications dans en santé (humaine et animale)
 - Applications industrielles

SOMMAIRE

01

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU SUJET

02

EXPÉRIMENTATION RÉALISÉES
ET PREMIERS RÉSULTATS

- Extraits (molécules d'intérêt,)
- Matériel solide issu de sargasse (matériaux composite, poreux.....)

03

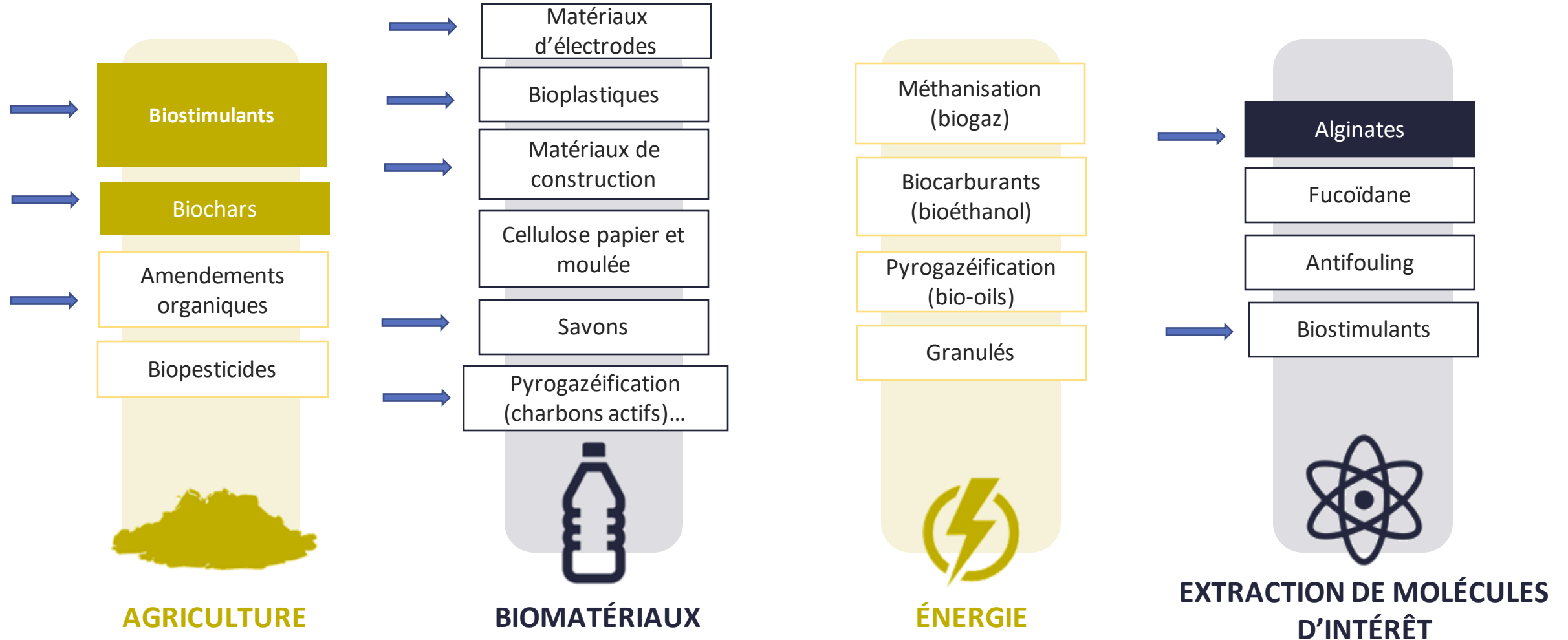
PROCHAINES ÉTAPES

04

PERSPECTIVES INDUSTRIELLES

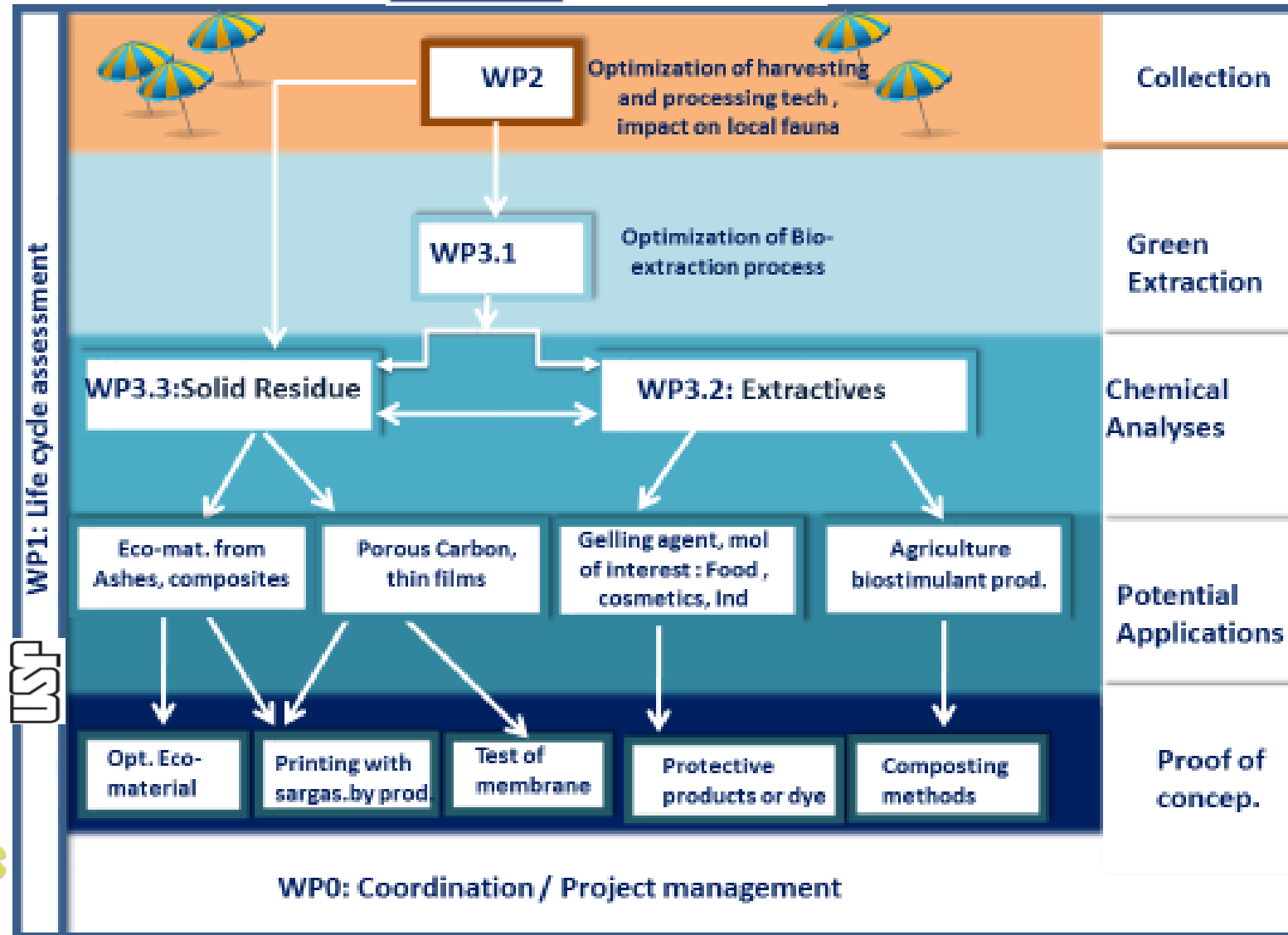


Les filières de valorisation



1. Présentation générale

> structure du projet



Les constituants extractibles

- Molécules d'intérêt
- Alginates

Matière solide

- Résidu après extraction
- Algues séchées

APPLICATIONS

- i Alginates (gélifiants) : Matériaux, Gels
Domaines d'utilisation, médecine, traitement de l'eau, polymères...
- i Molécules à principes actifs : antibactériens, microbiens, Insecticides
Domaines d'utilisation, médecine, traitement de l'eau, polymères...

APPLICATIONS

- i Matériaux, charges et additifs de matériaux
Domaines d'utilisation : habitat, construction, emballage...

2. Expérimentations et résultats

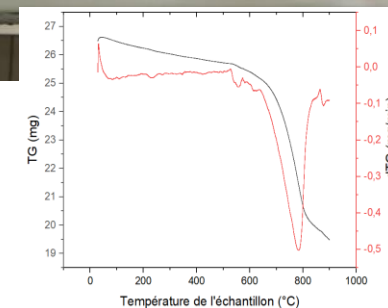
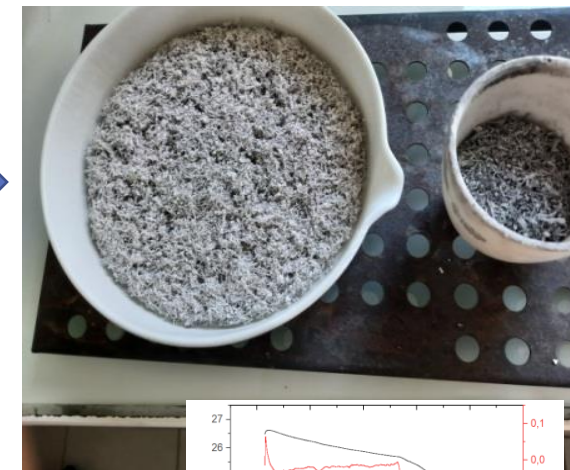
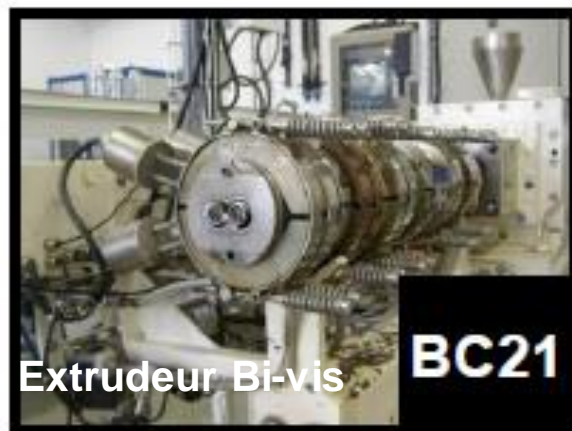
1 – Extraction : expérimentation et caractérisation des extraits,

Extraction-procédés Classiques et innovants

extraction verte

“Extrait” et résidu solide après extraction - caractérisation

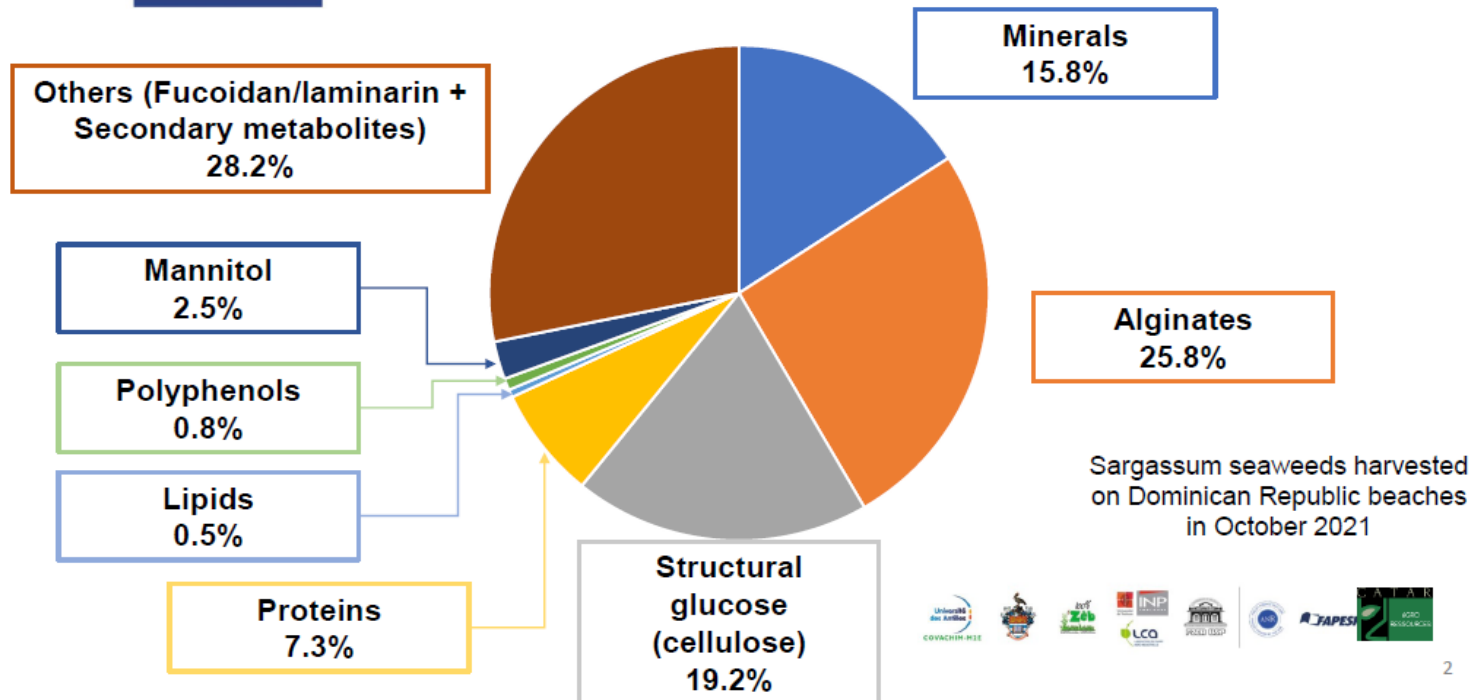
Cendres



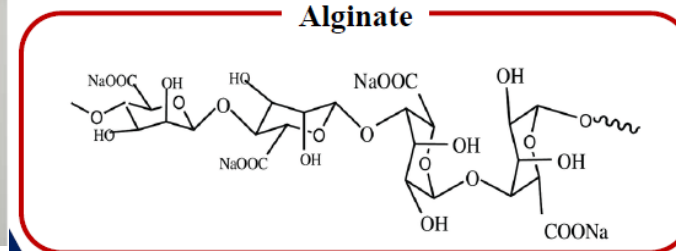
1 – Résultats : caractérisation des extraits



Characterisation of the Sargassum chemical composition



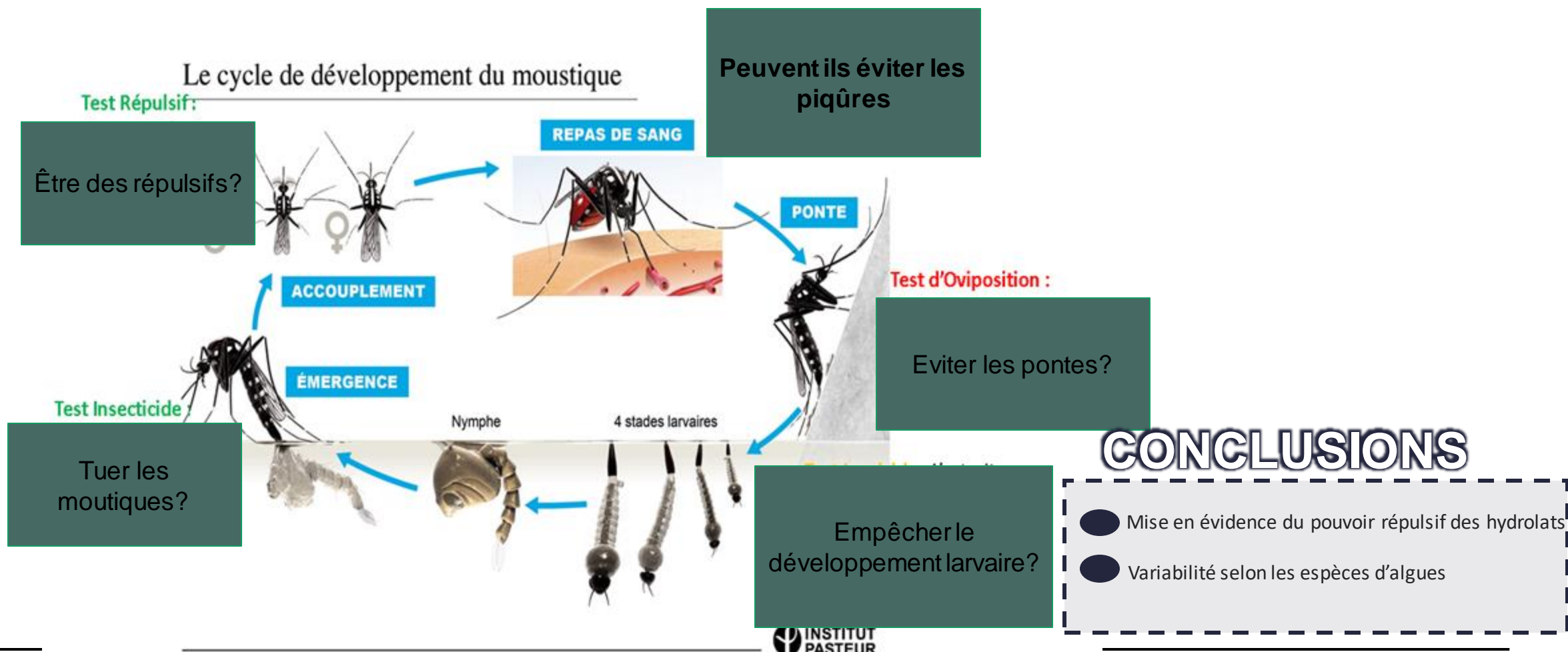
Extraction et Caractérisation de l'alginate



CONCLUSIONS

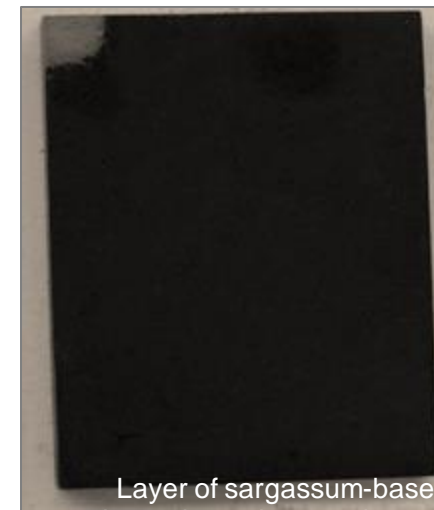
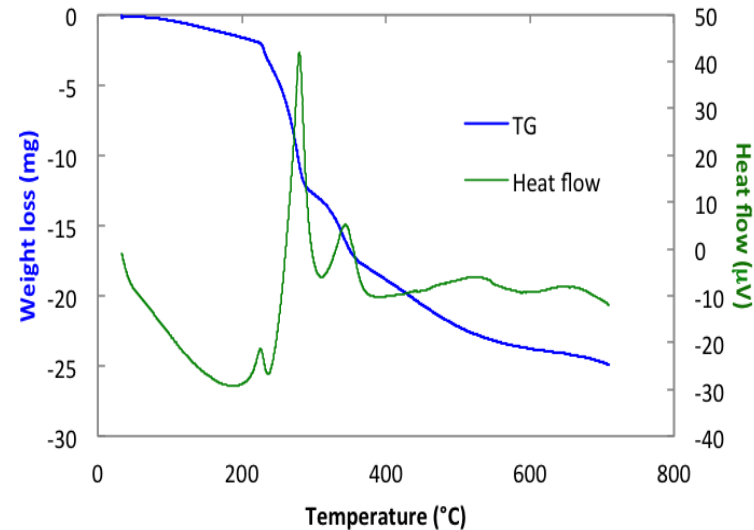
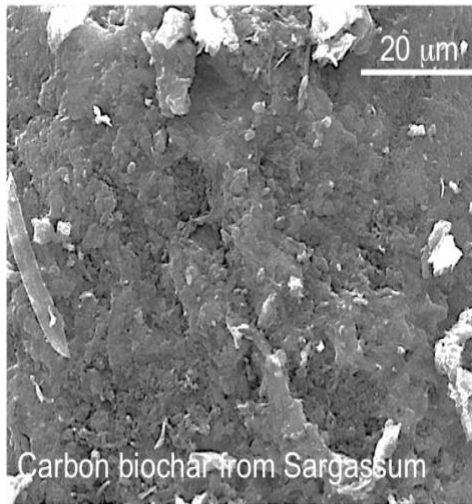
- Mise au point de techniques d'extraction et de quantification adaptées aux différents constituants
- Comparaison de 4 protocoles d'extraction des alginate (45 à 3 %)
- Comparaison de techniques et de Sargasses (origine/espèces)

2- Molécules d'intérêt/lutte antivectorielle Expérimentation et Résultats



3-Carbone poreux pour films minces

Expérimentation et Résultats



CONCLUSIONS

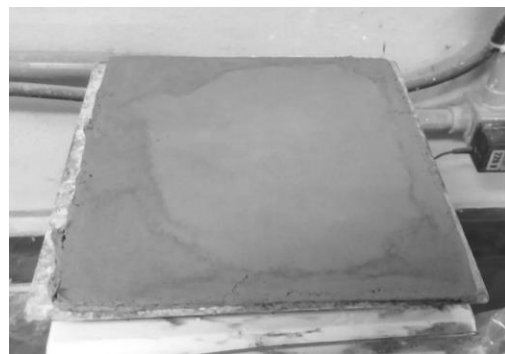
- Faisabilité démontrée : films minces pour électrodes
- Premiers tests de traitement d'eau par déionisation capacitive

4-Eco-Matériaux : Expérimentation et Résultats

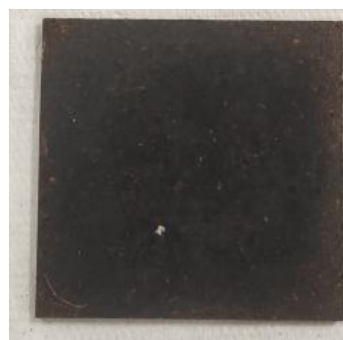
Matière « Sargasse »



Eco-Matériaux
Matrice cimentaire



Eco-matériaux
Panneaux de particules
Matrice polymère



CONCLUSIONS

- Faisabilité démontrée : blocs, panneaux de particules
- Caractéristiques comparable à celles des panneaux de type 2 (norme Brésil)
- Utilisation de sargasses sous différentes formes

5-Analyse du cycle de vie Résultat



(a)
*Pas de ramassage des
algues sur la plage*

(b)
*Collecte et dépôt des
algues en décharge*

(c)
*Utilisation des
cendres*

(d)
*Lavage et
broyage*

Emissions

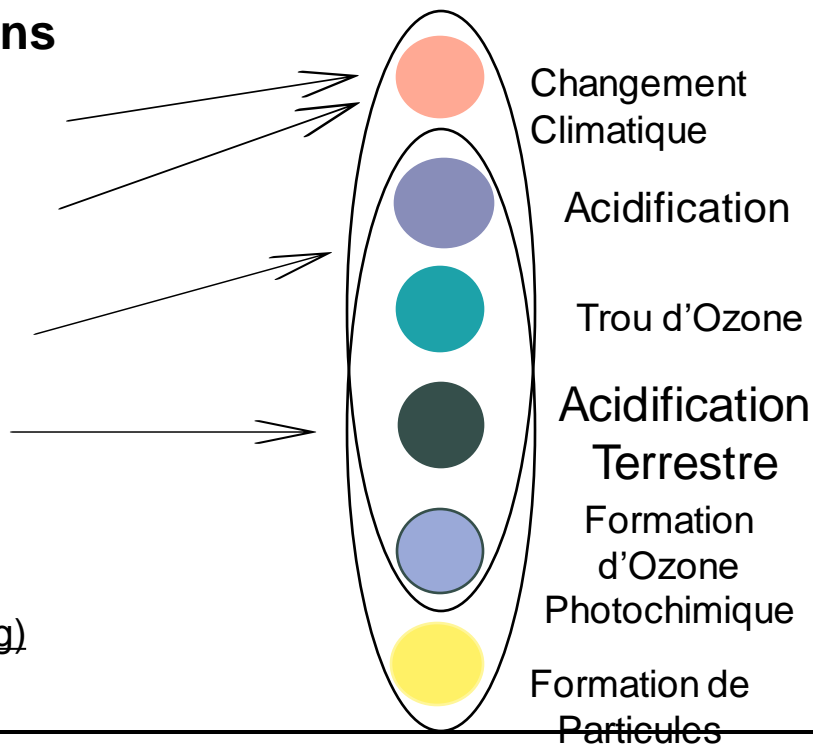
Monoxyde de
carbone (CO)

Dioxyde de
carbone (CO₂)

Oxydes d'azote
(NOX)

Dioxyde de
soufre (SO₂)

Demande en
Energie (kwh/kg)



CONCLUSIONS

- Evaluation par catégorie d'impact
- Les dépôts en décharge/ sur les plages présentent un fort impact environnemental

3. Prochaines étapes

Prochains points clés du projet

- **Eco-matériaux issus de Sargasses**
 - Optimisation des matériaux
 - Nouveaux matériaux et nouvelles techniques d'élaboration
- Tests de nouvelles membranes pour le traitement de l'eau
- Biostimulants/biofertilisants
- Produit protecteur (anti-corrosif et anti-vieillessement)

4. Perspectives industrielles

Perspectives industrielles...

- **Eco-matériaux issus de Sargasses**
 - Cendres → additions minérales
 - Panneaux de particules
- Tests de nouvelles membranes pour le traitement de l'eau
- Biostimulants/biofertilisants (UWI)
- Méthodes de Compostage
- Produit protecteur (anti-corrosif et anti-vieillessement)

L' équipe :



Pr. Marie-Ange ARSENE
Pr. Guylène AURORA
Pr. Ketty BILBA
Dr Gerardo CEBRIAN-TORREJON
Pr. Sarra GASPARD
Dr Génica LAWRENCE
Dr. Cristel ONESIPPE
Dr Muriel SYLVESTRE
Dr Audrey VINGADASSALON
Corine JEAN-MARIUS



Hugues OCCIBRIN



Pr. Jayaraj JAYARAMAN
Pr. Adesh RAMSUBHAG
Pr. Indar RAMNARINE
Dr. Nigel JALSA
Mr. Omar ALI
Dr. Chinnaraja CHINNADURAI
Dr. Aidan FARRELL
Dr. Azad MOHAMMED
Pr. Boppana CHOWDARY
Dr. Jeffrey SMITH
Dr. Bidyut MOHAPATRA, UWI-Cave Hill
Research associates
Dr. Chaney St. MARTIN, IICA
Pr. Gomathinayagam SUBRAMANIAN, UG



Pr. João A. ROSSIGNOLO
Pr. Holmer SAVASTANO JR
Pr. Juliano FIORELLI
Pr. Elíria PALLONE
Pr. Fernando TONIN
Pr. Cristiane BUENO
Mariana PAVESI (Techn.)
Gabriela LYRA (Ph D stud)
Leticia GAVIOLI (Master stud)
Maria Julia MORAES (Ph D stud)
Camilla ASSUNÇÃO (Ph D stud)
Igor PARENTE (Ph D stud)



Dr Valérie SIMON
Dr Christine RAYNAUD
Emmanuelle DAO (Ass. Tech)
Dr Antoine ROUILLY
Dr Virginie VANDENBOSSCHE
Jérôme BAUTA (doctorant)

En savoir plus :

Contact : marie-ange.arsene@univ-antilles.fr

MERCI DE VOTRE ATTENTION

M.-A. ARSENE - Université des Antilles
J. JAYARAMAN – Université des West Indies
J-A ROSIGNOLO – Université de Sao-Paulo
V SIMON – INP Toulouse
H OCCIBRUN – 100% Zèb

SARTRIB

Porteur de projet Dr Thierry CESAIRE

SOMMAIRE

01

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU SUJET

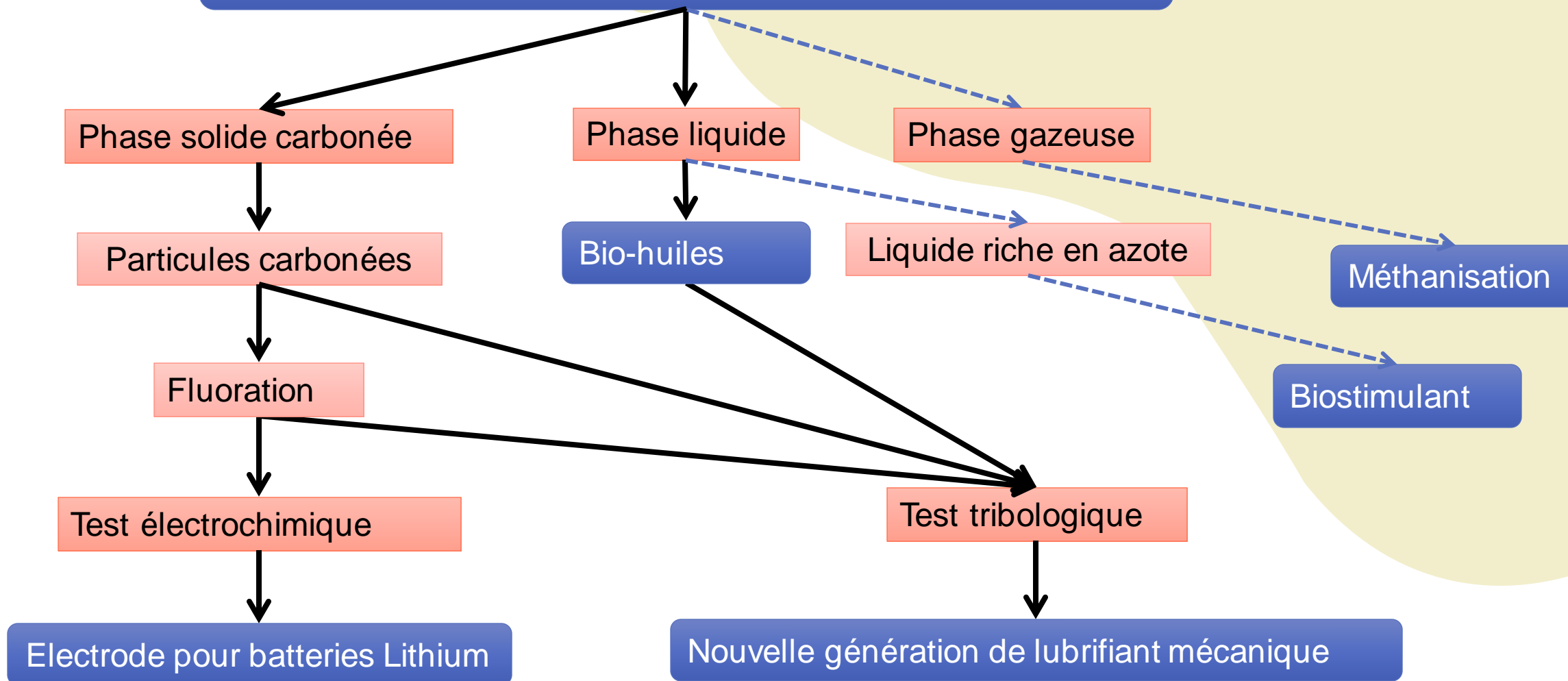
02

EXPÉRIMENTATION RÉALISÉES
ET PREMIERS RÉSULTATS



1. Présentation générale

valorisation des résidus de pyrolyse d'algues Sargasses



Directeur Pr Philippe THOMAS

Tribologie

Mécanisme réducteur de frottement et anti-usure (usure)

Additifs carbonés réducteur de frottement issu de la biomasse locale

Nanoparticules carbonées

Raman IR Spectroscopies, TEM SEM
X RD, X ray Fluorescence

Nano-mécanique

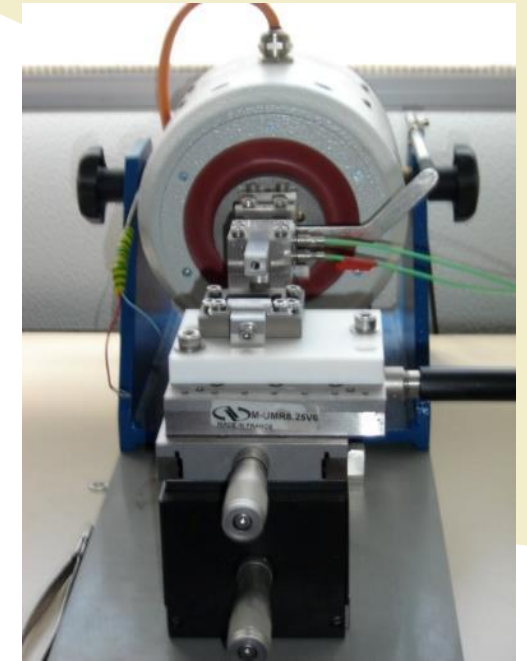
Approche multi-échelle



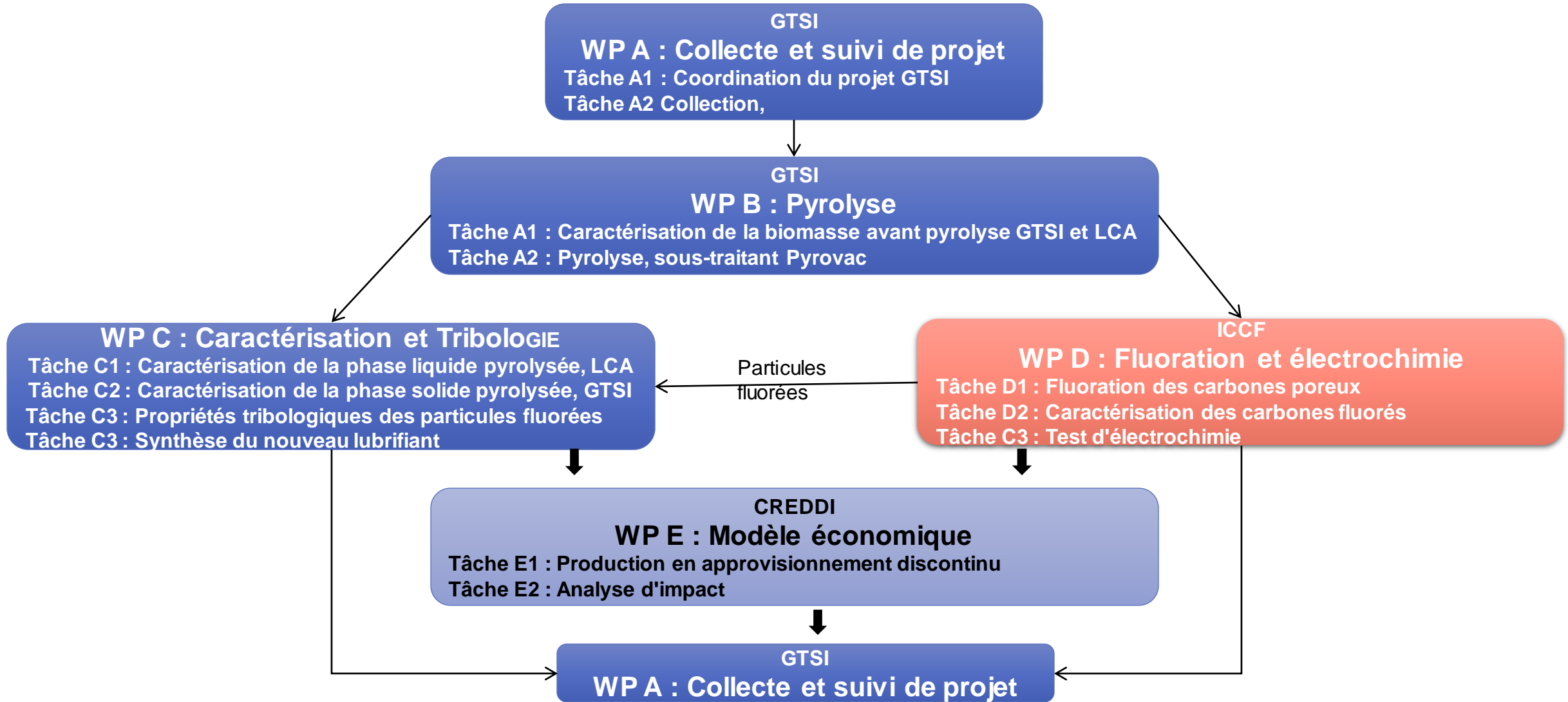
C3MAG

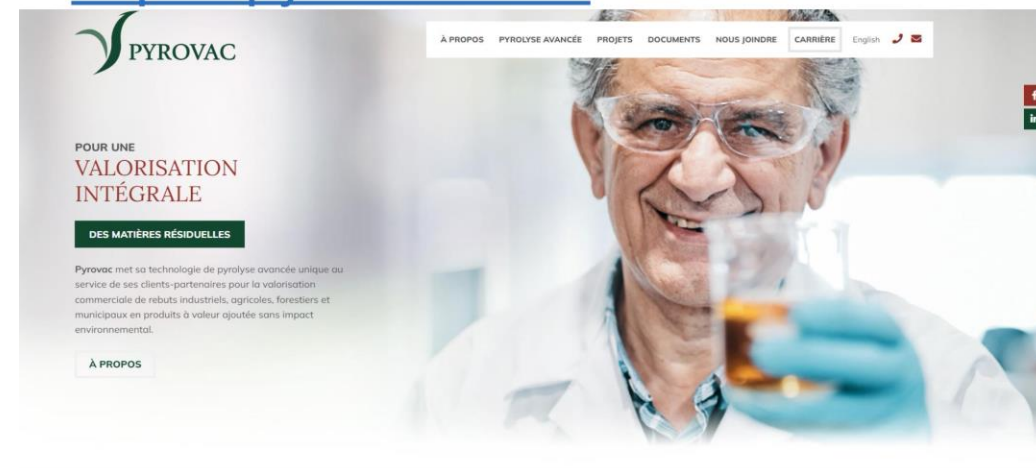
Caractérisation physico-chimique

Nouvelle stratégie de lubrification



Conçu au laboratoire





Pilote multifonctionnel,
350 kg/h
(en démarrage)

- Conçu pour valoriser divers rebuts et résidus:
 - Biomasse
 - PMMA, plastiques
 - Pneus usés
- Budget
- 9M\$

Confidentiel



Pilote de pyrolyse
Génération I



Pilote de pyrolyse
Génération II



Pilote de distillation



Réacteur Batch

Unités pilotes

Confidentiel



Les Sargasses

Préparation



Sargasses lavées

Association Verte-Vallée

Récolte des
sargasses

Lavage à
grande eau

Séchage
au soleil

Au Laboratoire

Test de salinité

résultats 0‰ ; pas de sel détecté

Séchage à l'étuve,
pendant 1h à 70°C

Broyage et
tamisage

Réfractomètre optique

INRA Petit Bourg



*Tamisage des sargasses séchées
et broyées*

2. Expérimentations et résultats **LCA**

Caractérisation de la biomasse - Echantillonnage



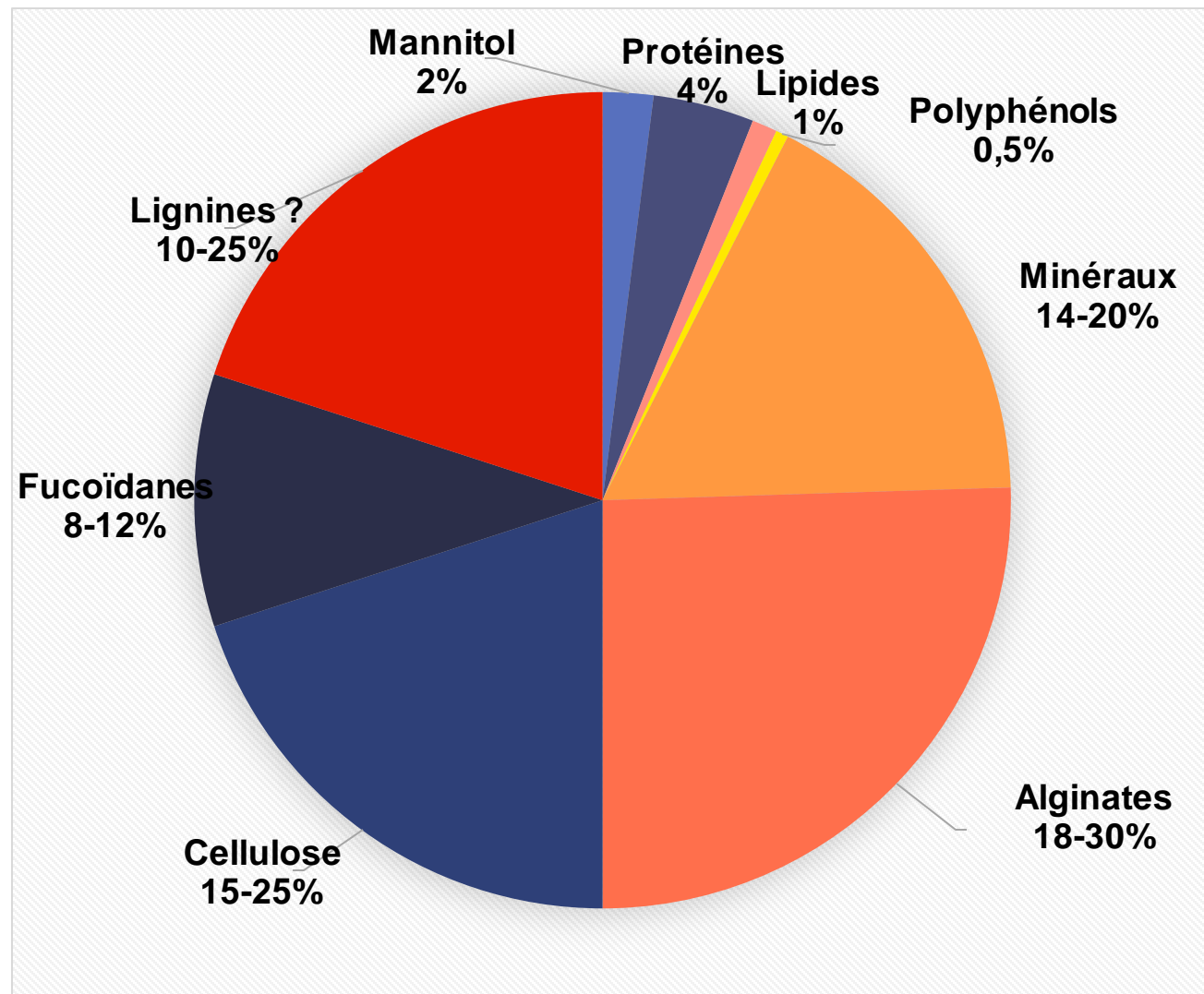
8 lots de sargasses pour observer l'impact de :

- la provenance géographique
 - 2 sites de Guadeloupe, 2 sites de Marie Galante,
 - Algues fraîches ou en décomposition
 - Prélèvement en mer, sur la côte ou dans un port
- la période d'échouage
 - Juillet 2021, Janvier 2022, Juillet 2022

Résultats

Composition de la biomasse

Déterminée à partir de protocoles d'analyse mis en œuvre au laboratoire



Expérimentation

Analyse des liquides issus de la pyrolyse

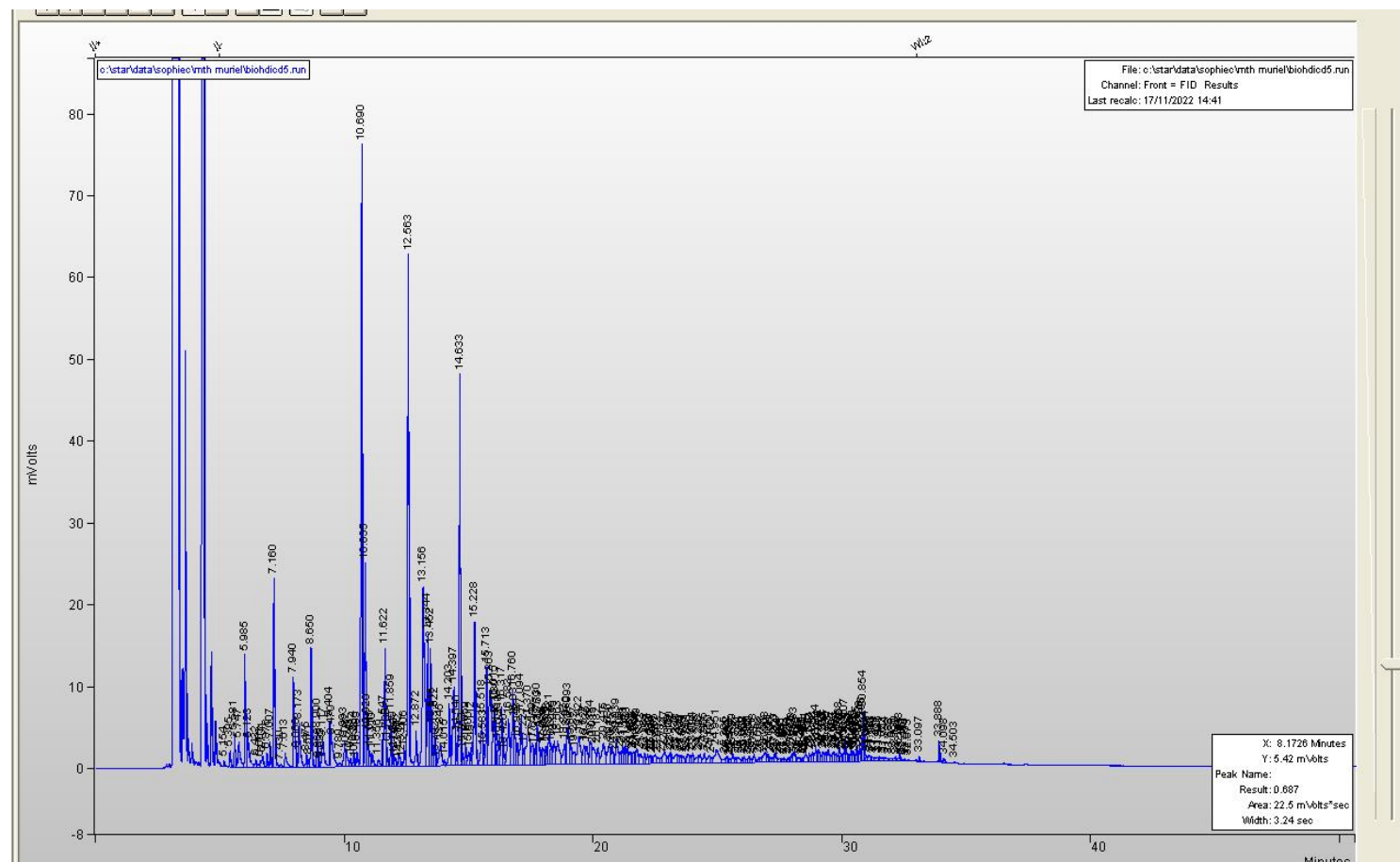
Par extraction aux solvants
et analyses
chromatographiques

- Analyse de la phase organique soluble dans une phase aqueuse (87% d'eau)
- pH basique (teneur en azote de 9%)
- Extraction de la phase aqueuse par solvant
- Analyse de la composition par chromatographie
- Analyses en cours – Résultats complets attendus pour début 2023

Résultats

Composition de l'huile de pyrolyse

Un grand nombre de
composés présents –
identification des
principaux en cours



Chromatogramme GC-FID de l'extrait dichlorométhane

3. Prochaines étapes

Fractionnement et identification des constituants de la biomasse, avant et après pyrolyse



- Identifier des molécules d'intérêt pour usages spécifiques
- Suivre les indicateurs environnementaux (métaux lourds)

2. Expérimentations et résultats GTSI

Objectif 1 : **Valorisation tribologique des résidus de pyrolyse d'algues sargasses**

Objectif 2 : **Evaluation des propriétés tribologiques des carbones Dots synthétisés à partir d'algues sargasses**

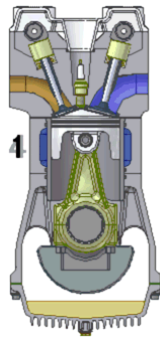
Objectif 1 :



Les pertes d'énergie par frottement représentent 6% à 10% du PNB

L'usure représente 30% des causes d'avaries

Dans nos conditions climatiques (tropicales/équatoriales humides)
les processus d'usures sont accrus par l'humidité élevée



41,35 millions de tonnes de lubrifiants sont consommés dans le monde, soit
1,1% de la consommation mondiale de pétrole

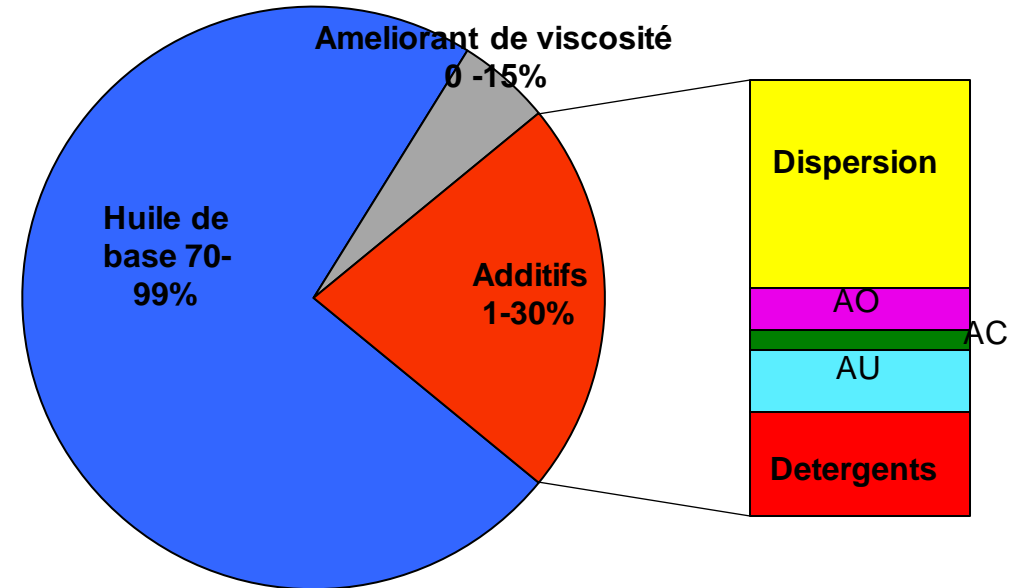
Les additifs sont responsables d'émissions de substances soufrées et
phosphorées à la fois **polluantes pour l'environnement** et **nocives** pour le
bon fonctionnement des pots catalytiques.

Role d'un lubrifiant

- Limiter les mécanismes d'usure engendrée
- Réduire les pertes d'énergies d'origine mécanique.

Composition d'un lubrifiant

- Base lubrifiante (Huiles minérales ou synthétiques)
- Additifs



Objectif 1 : Paramètres tribologiques :

- Rugosité des plans : 200 - 250 nm
- Rugosité des billes : 50 nm
- Charge normale : 10 N
- Vitesse de glissement : 4 mm/s
- Diamètre théorique de Hertz : 140 μm
- Pression moyenne théorique de Hertz : 0,65 Gpa

Coefficient de frottement :

$$\mu = \frac{|F_T|}{F_N}$$

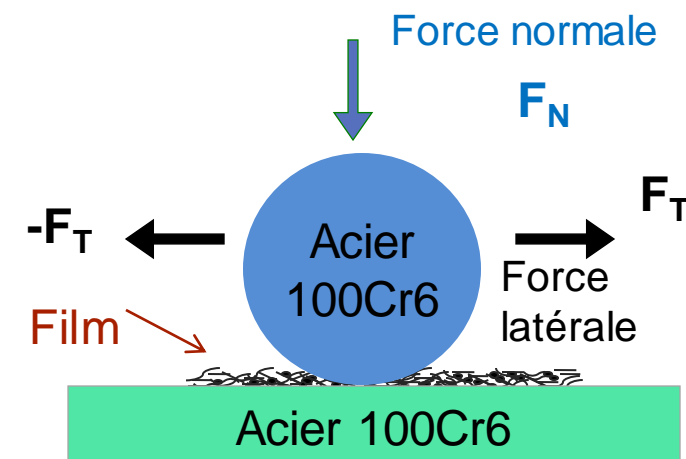
Perspectives

Optimiser les conditions de pyrolyse pour un meilleur comportement tribologique

Etude tribologique des **particules fluorées**

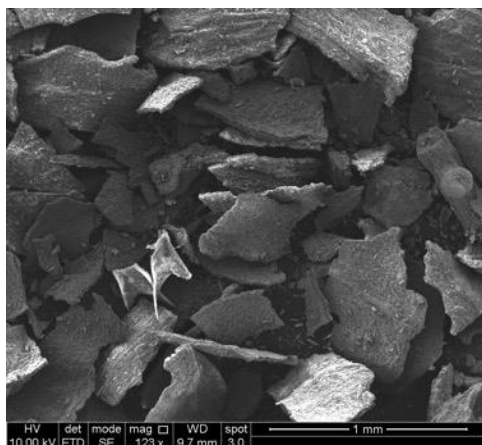
Etude tribologique des **huiles extraites**

Conception d'un **nouveau lubrifiant**

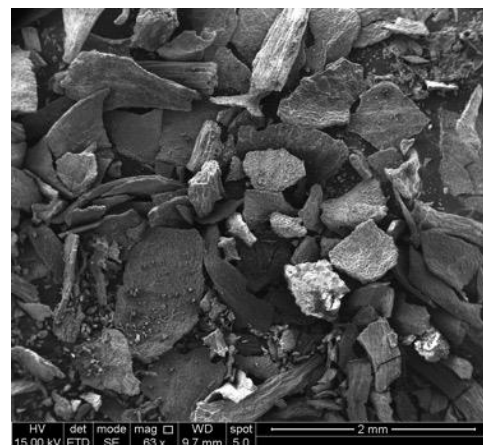


Objectif 1 : Particules Carbonées

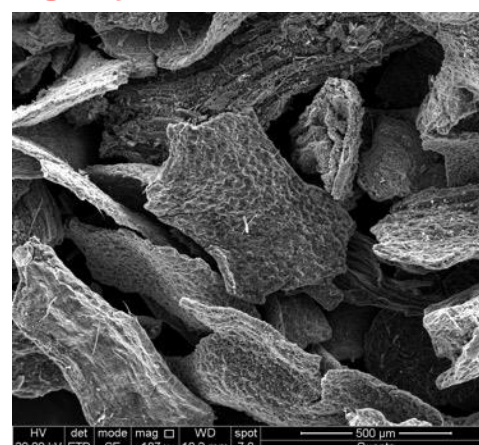
Sarg Pyr 400°C



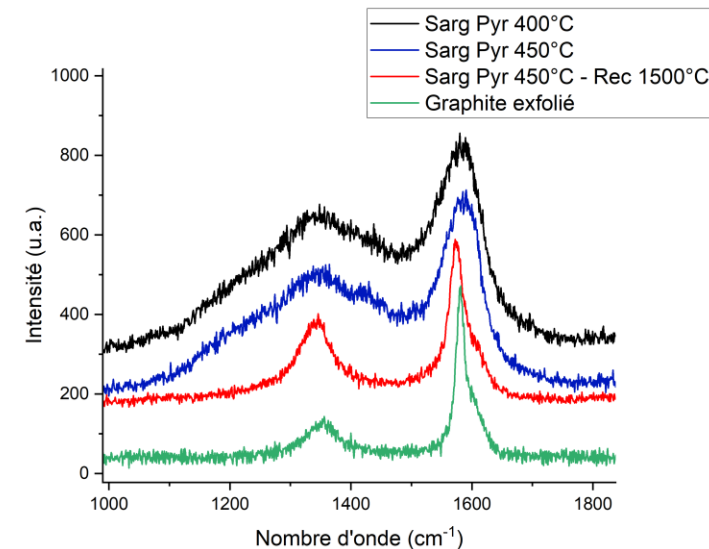
Sarg Pyr 450°C



Sarg Pyr 450°C – Rec 1500°C



Images Microscopie Electronique à balayage

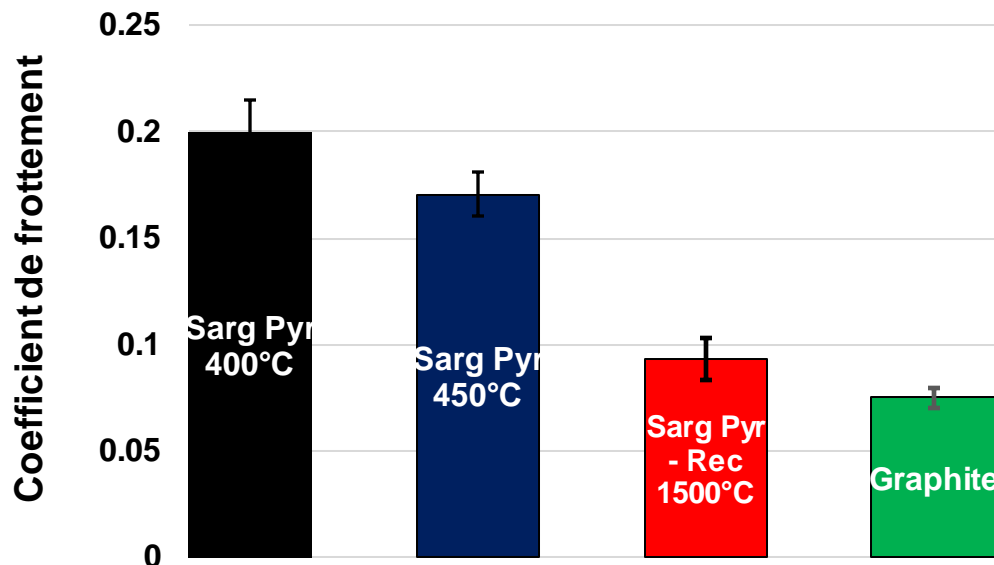


Spectres Raman

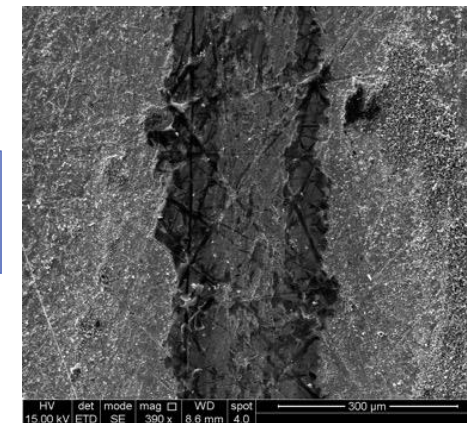
Augmentation de la temperature de pyrolyse



Organisation structural des particules



Amélioration des propriétés tribologiques avec la température



Tribofilm Sarg Rec 1500°C

Perspectives

Optimiser les conditions de pyrolyse pour un meilleur comportement tribologique

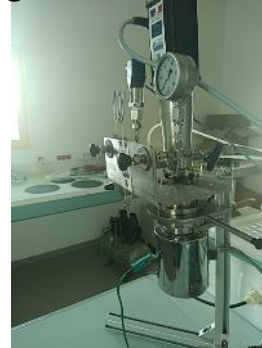
Etude tribologique des **particules fluorées**

Etude tribologique des **huiles extraites**

Conception d'un **nouveau lubrifiant**

Evaluation des propriétés tribologiques des carbones Dots synthétisés à partir d'algues sargasses

Synthèse hydrothermale



Lubrifiants à base d'eau



Découpe (béton, bitume, marbre)
Usinage de pièce métallique



Réduction du frottement



Protection anti-corrosion



Réduction de l'usure



Lubrifiants constitués d'huile végétale



Huile biodégradable à destination des
moteurs thermiques et électriques

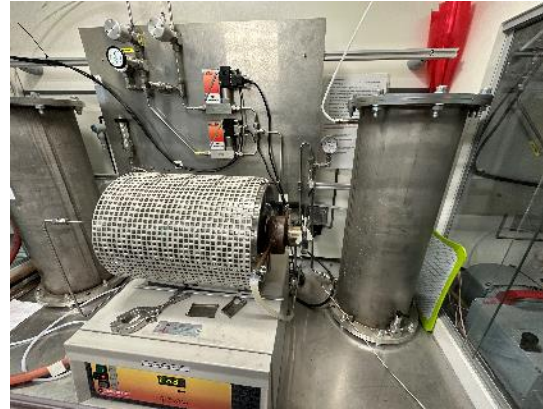
Perspectives

- Optimiser les formulations (en cours de publication)
- Comprendre les mécanismes mis en jeu

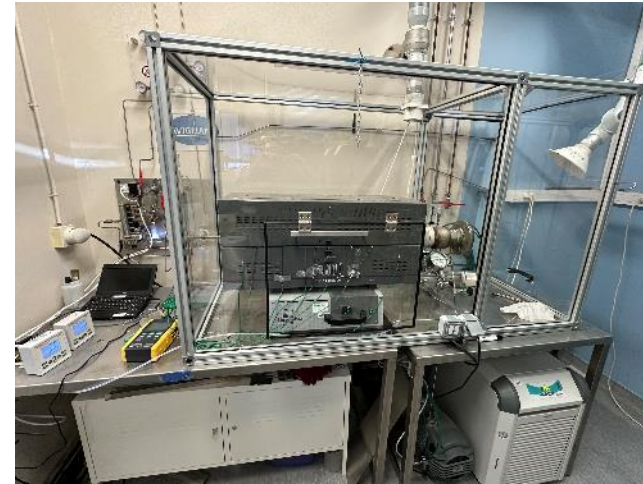
2. Expérimentations et résultats ICCF

Pourquoi la fluoration?

Un procédé versatile
à toutes les échelles...



100-200 mg (1L)



1-10 g (5L)



100-300g (50L)



qui apporte une plus-value



Composites, adsorption de micropolluants, barrière aux gaz, (super)hydrophobicité, ...

Lubrifiant solide

Electrode de batterie
primaire au lithium

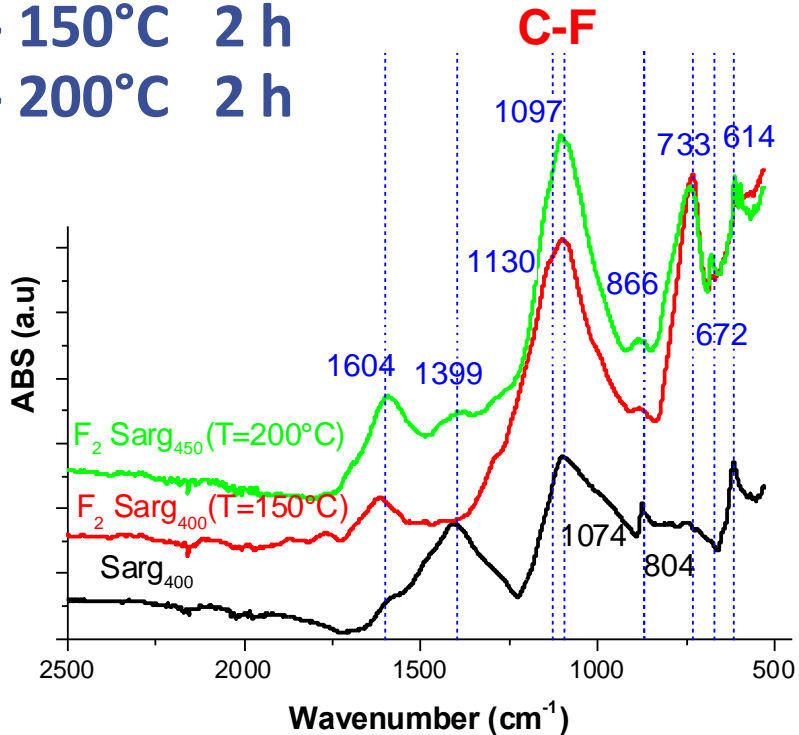


Résultats

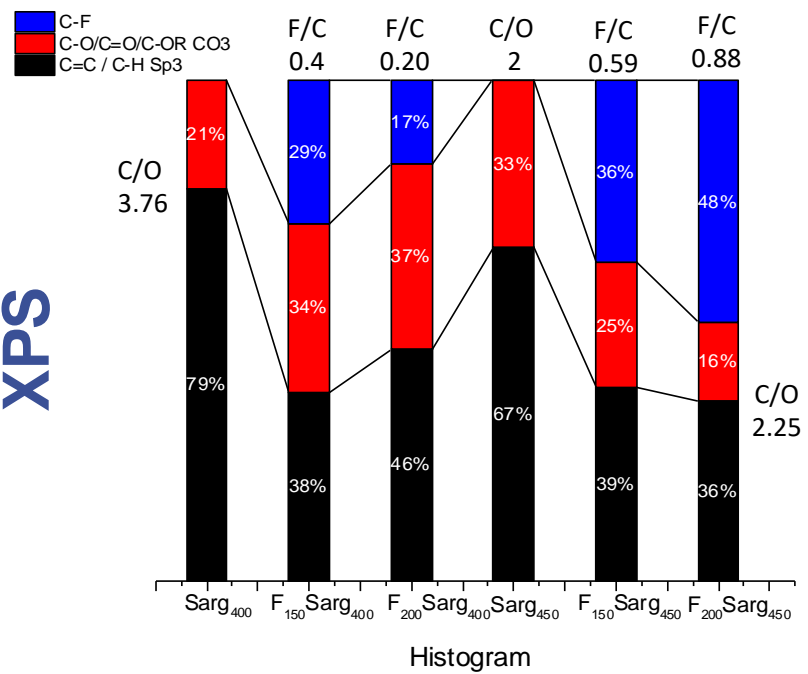
2 carbones issus de sargasses

F_2/N_2
50/50
 - 400°C
 - 450°C
 - 150°C 2 h
 - 200°C 2 h

IR



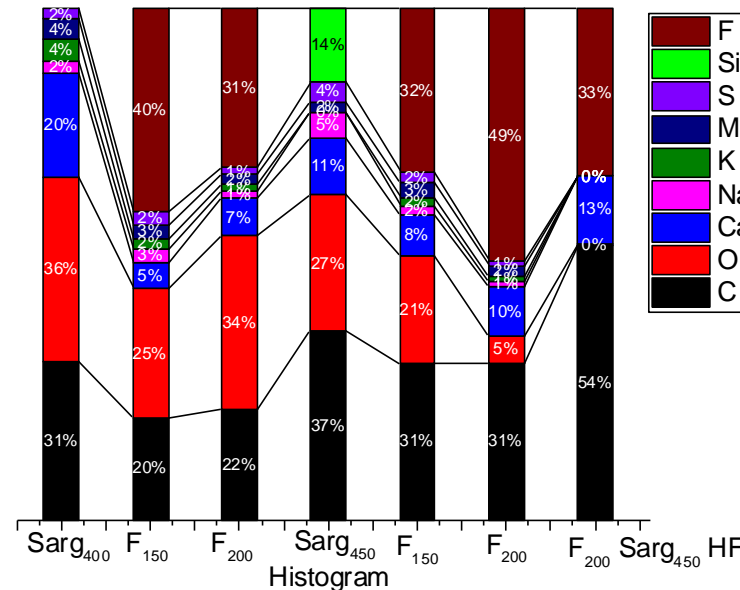
XPS



Formation de
liaison C-F
covalente (=RMN)

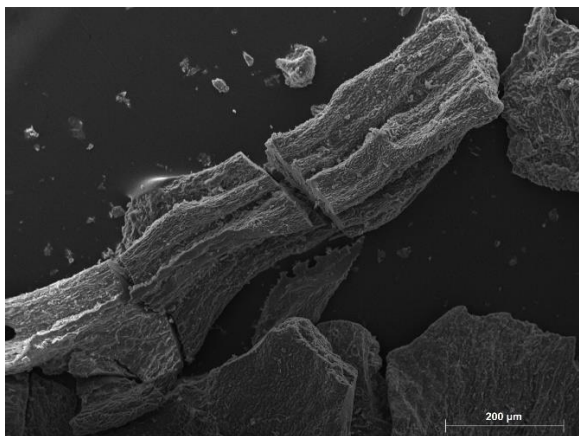
Teneur en O
diminue en
surface

EDX

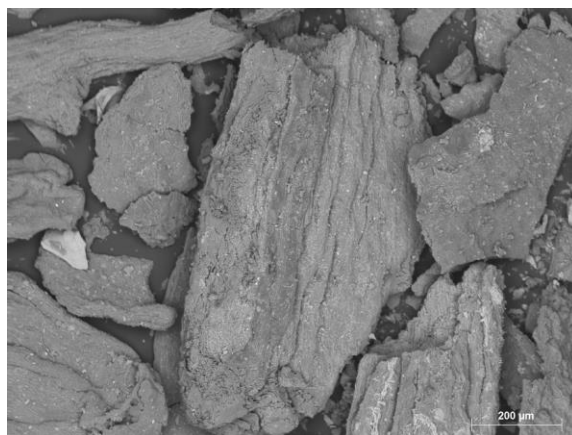
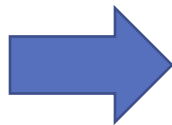


Formation de
fluorures
inorganiques
(= RMN + DRX)

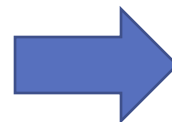
Teneur en Si
diminue en
surface



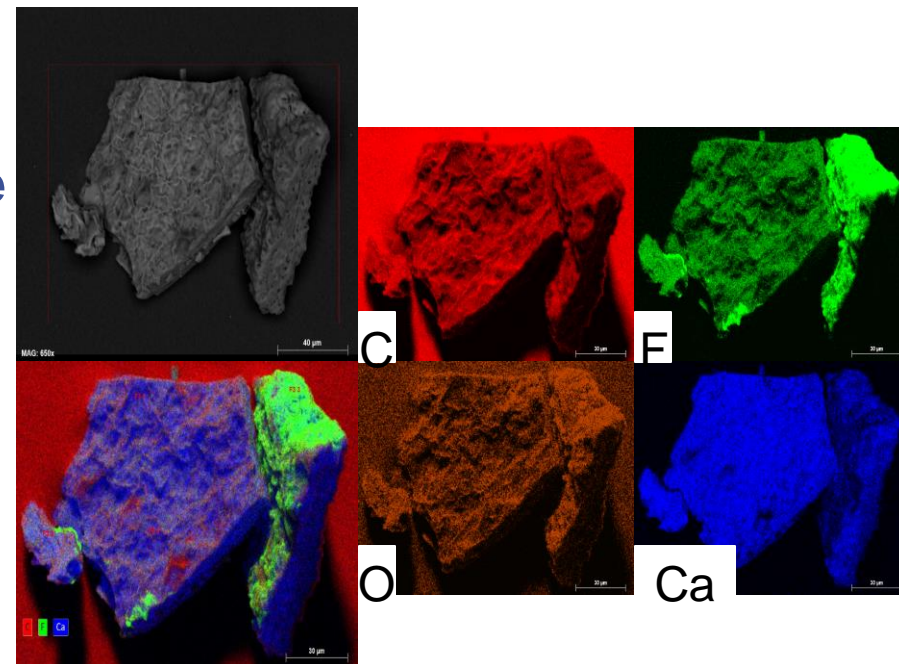
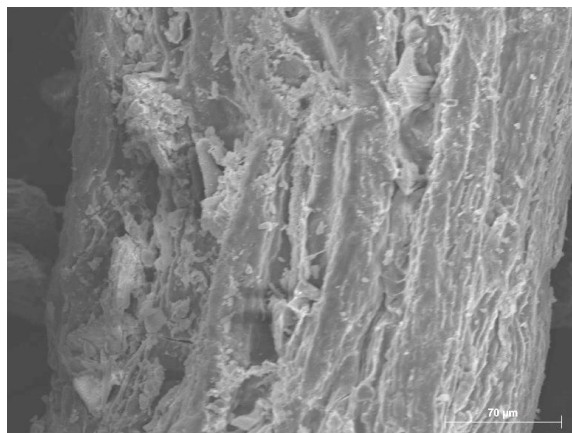
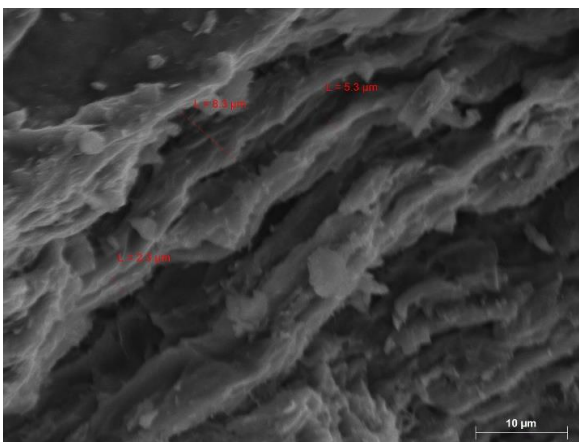
F_2/N_2
50/50



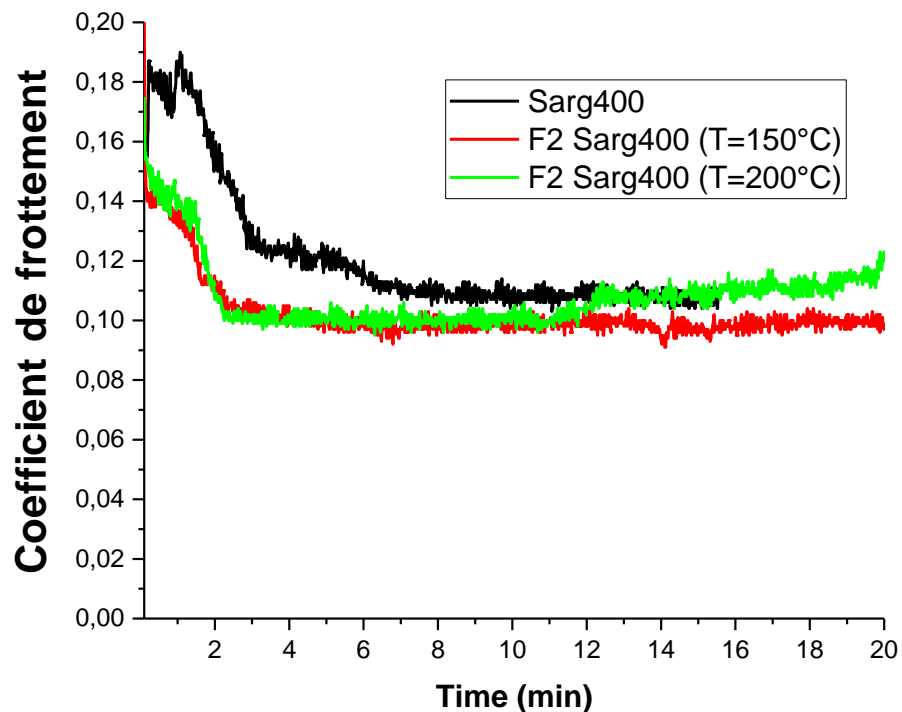
Lavage
HF



40%



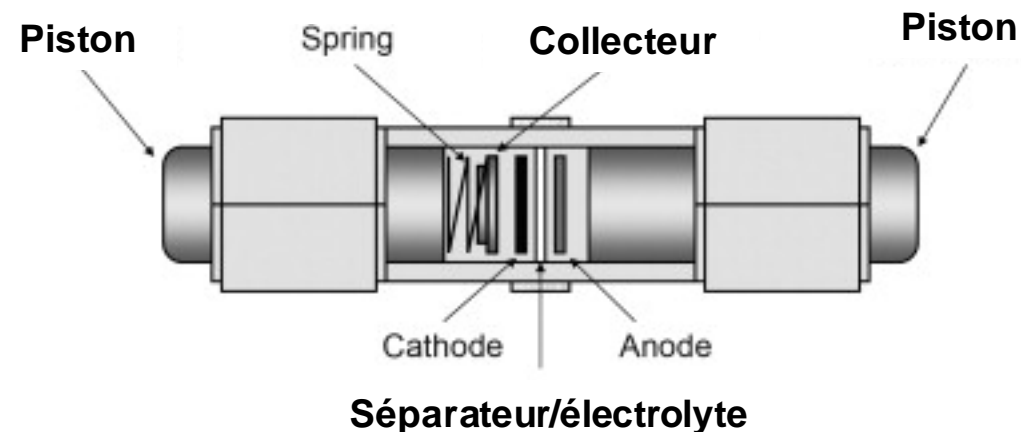
Résultats



Propriétés tribologiques améliorées

Perspectives

- ✓ Confirmer les bonnes propriétés tribologiques
- ✓ Lavage en amont de la fluoration (Ca)
- ✓ Mise à l'échelle de la fluoration (→ 100 g)
- ✓ Tests comme cathode de batterie primaire au lithium



2. Expérimentations et résultats **CREDDI-LEAD**

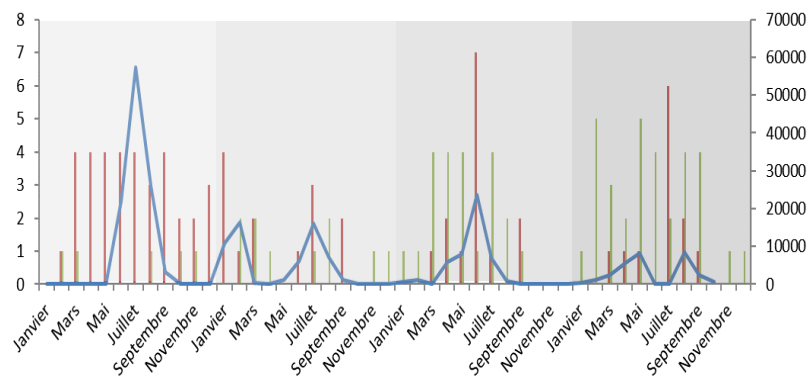
Membres impliqués dans le projet :

Alain MAURIN (Professeur, Directeur du CREDDI) ;
Sébastien MATHOURAPARSAD (MCF, Chef de projet)
Katie LANNEAU (MCFA, Coordinatrice) ;
Maurice BILIONIERE (MCFC, Coordinateur).

Construction d'une filière industrielle à partir de la sargasse

Production sur approvisionnement discontinu

Courbes de ramassage mensuel des sargasses en Guadeloupe et diagramme du nombre de risques d'échouages



Source : Cellule PULSAR, Service technique Capesterre de Marie-Galante, Météo-France

Analyse d'impact

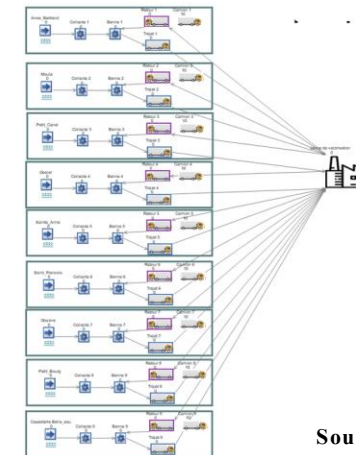
Données de transport

	Distance usine (km)	Temps de trajet (min)	Coût par zone (€)
Anse-Bertrand	38	42	700
Moule	33	35	700
Petit-Canal	26	27	700
Gosier	15	16	600
Sainte-Anne	27	31	700
Saint-François	42	51	700
Goyave	15	16	600
Petit-Bourg	9	11	500
Capesterre	27	29	700
Belle-Eau			

Source : prestataires

Évaluation du coût

Schéma de modélisation



Source : logiciel SIMUL8

Finalisation des travaux de modélisation de la chaîne logistique amont

Perspectives

Résultats attendus : Le cout de revient à la tonne de sargasse sur site d'exploitation

Pause – 15 min

Terre d'Algues

Visio avec Nicolas Vernoux-Thélot de In Situ Architecture

PYROSAR

Valorisation des sargasses par **pyrolyse**
pour la sécurité alimentaire

1. Présentation générale

Genèse : Projet ANR INSICCA (2016-2020)

Stratégie innovante de
séquestration pour
limiter le transfert de
CLD



Biochar et charbon actifs



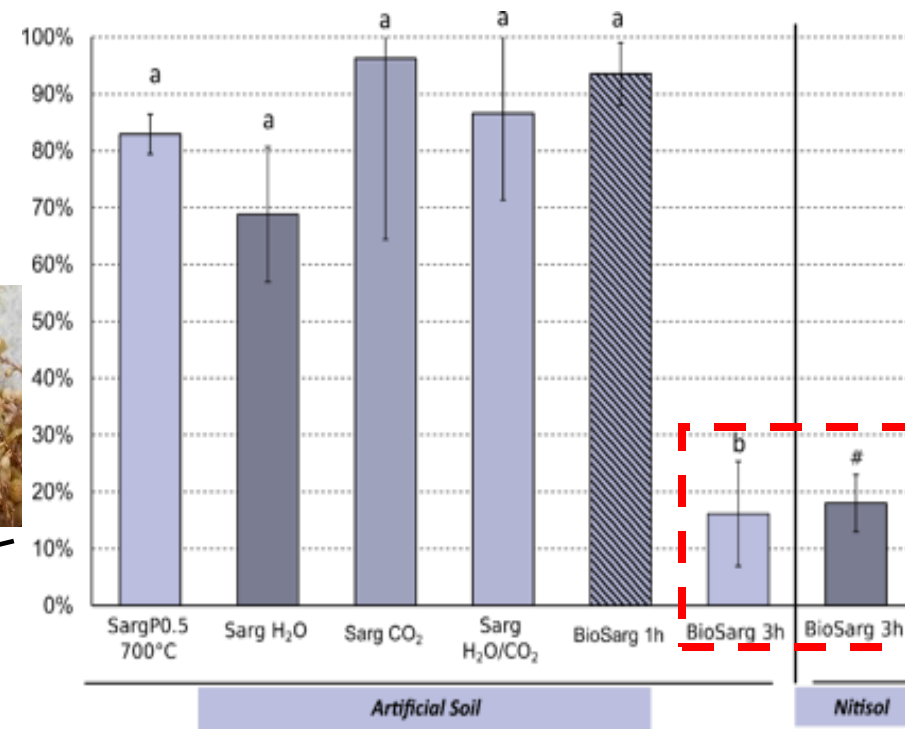
RESULTATS

i Potentiel de séquestration très prometteur des biochars de Sargasses (réduction biodisponibilité de la CLD > 80%)

i Questions de recherche :
Optimisation synthèse / Mécanisme / Echelle labo → industrielle ?



1. Présentation générale



Projet PYROSAR : organisation des groupes d'activité

- ❑ **WP1** Collecte et caractérisation des algues → synthèse micro-onde des biochars (et CA) en laboratoire et à l'échelle industrielle
- ❑ **WP2** : Séquestration des résidus de pesticides par les BC (et CA) – Evaluation de l'innocuité vis-à-vis du microbiote, des plantes et animaux.
- ❑ **WP3** : Démonstration *in situ* de l'efficacité de la séquestration des pesticides pour assurer la sécurité alimentaire.
- ❑ **WP4** : Impact macroéconomique de la stratégie d'amendement retenue. Evaluation de l'acceptabilité sociale et coûts associés.



2. Expérimentations et résultats



Expérimentation #1 :

Synthèse BC en four micro-ondes de laboratoire



Four de laboratoire micro-ondes



Enceinte de pyrolyse

- Plan d'optimisation avec 2 facteurs : **Puissance** (W) et **temps de pyrolyse** (min) ;

Facteurs	Valeur min	Valeur max
Puissance	500	1400
Temps	7	25

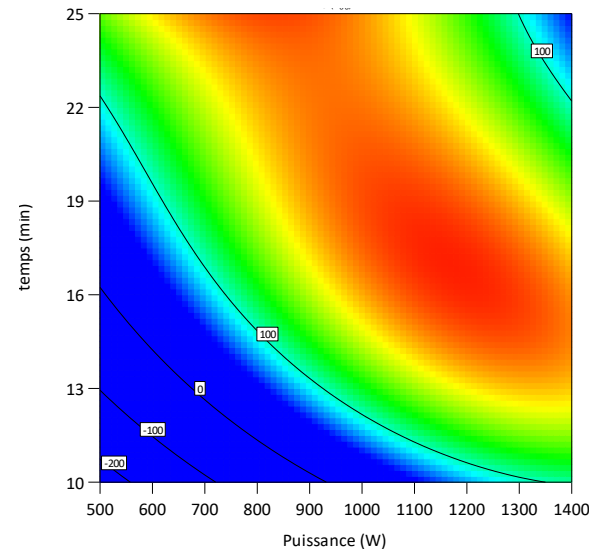
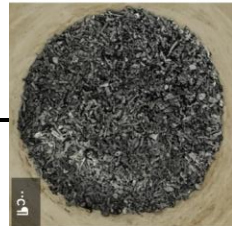
- Synthèse de **23 échantillons** pour les **modèles mathématiques de prédiction**.



Résultats #1 :

Synthèse BC en four micro-ondes de laboratoire

Puissance (W)	Temps (min)	Pen (mg/g)	Caf (mg/g)	BM (mg/g)	Cr (6+) (mg/g)	CF (%)	Désirabilité
1200.6	15.4	175.9	57.7	18.9	23.1	81.149	0.980



Pénicilline

CONCLUSIONS

- Temps de synthèse biochars court (min vs heure)
- Taux de Carbone Fixe élevé ;
- Meilleure capacité d'adsorption;
- Plus grande capacité de production (g vs kg)

Expérimentation #2 : Evaluation de l'efficacité du piégeage de CA sur la CLD

1 amendement

CA com.

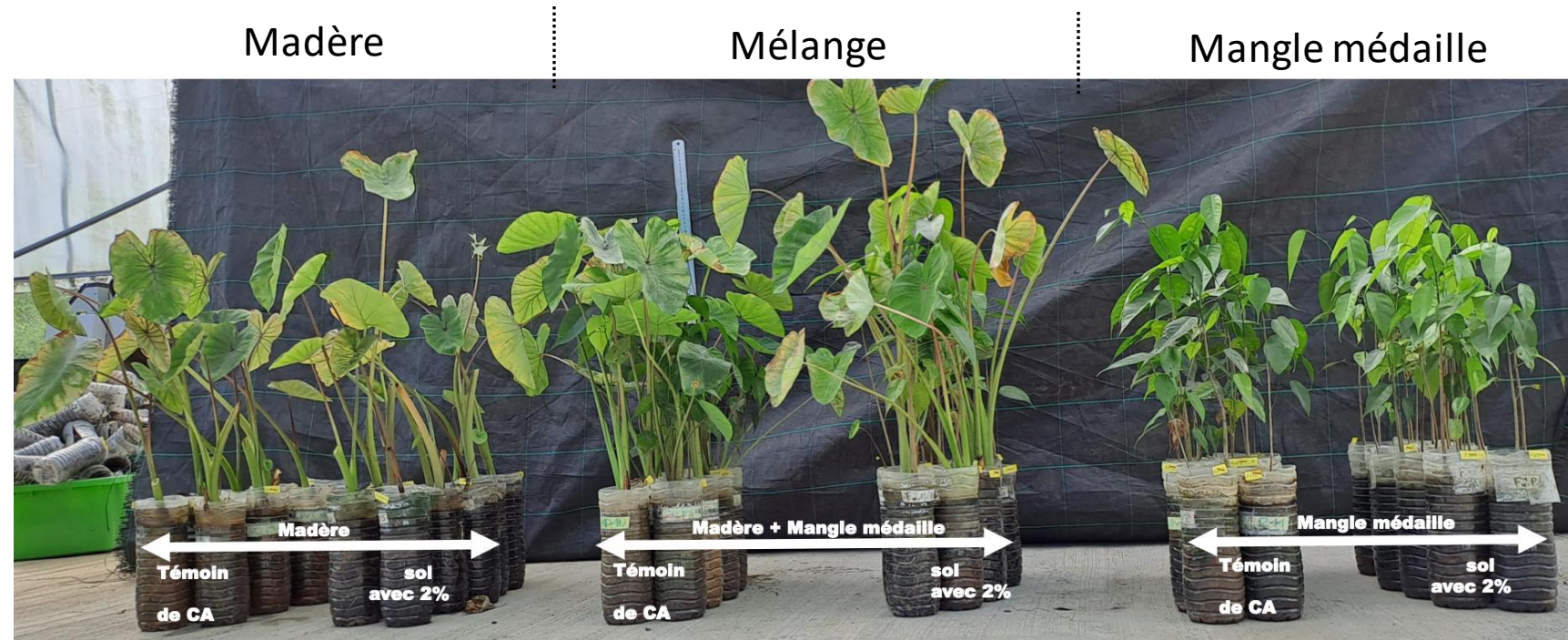
3 types de sols

Nitisol
Ferrasol
Andosol

2 teneurs en CA

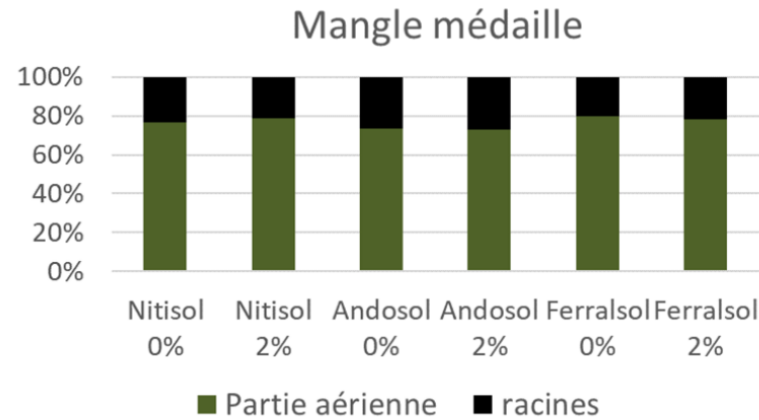
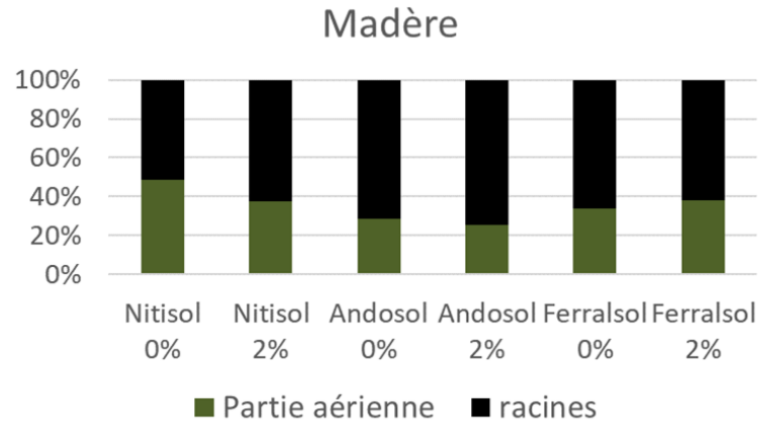
0%
2%

228 plantes en pots



→ Etude de la morphologie, de la biomasse et de l'évapotranspiration des plantes

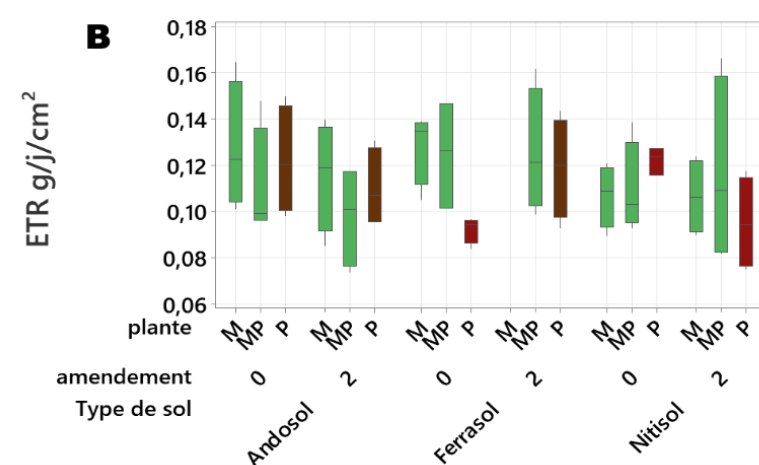
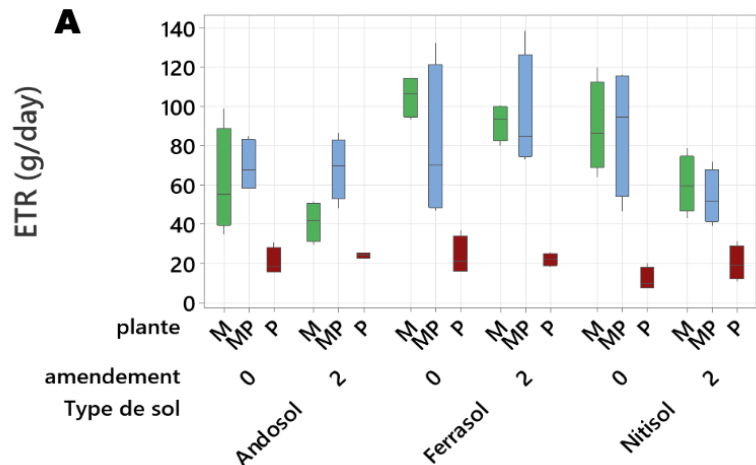
Résultats #2 : Evaluation de l'efficacité du piégeage de CA sur la CLD



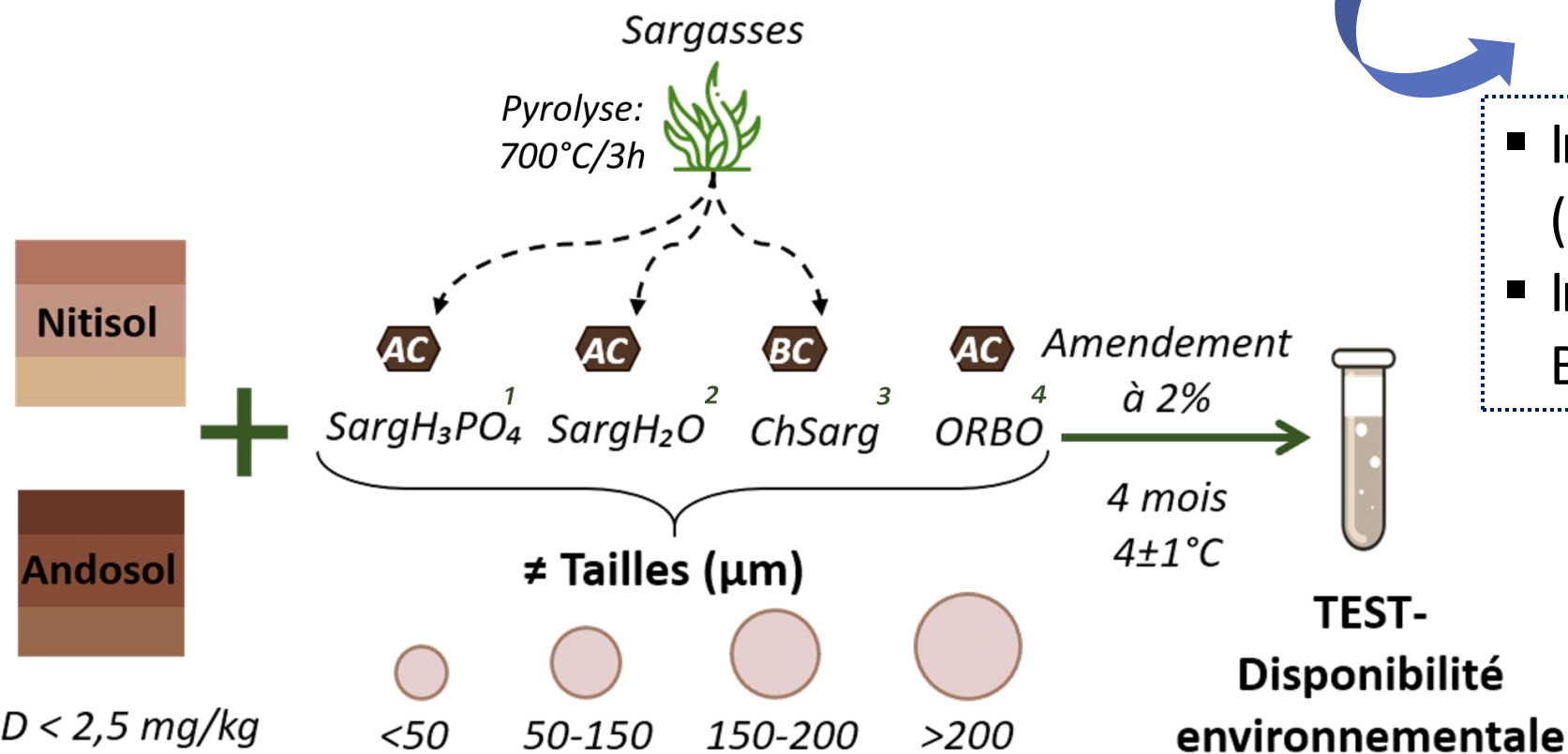
CONCLUSIONS

➤ Type de sol et amendement en CA n'affectent pas l'allocation du carbone entre les racines et les parties aériennes des espèces étudiées.

➤ Au vu de la biomasse racinaire et de la forte transpiration du madère, le niveau de contamination en CLD sera probablement plus important.



Expérimentation # 3 : Etude de disponibilité environnementale de CLD



Stratégie d'application ?

- Impact de la taille des particules (BC et CA) de Sargasses
- Impact du taux d'amendement de BC de Sargasse

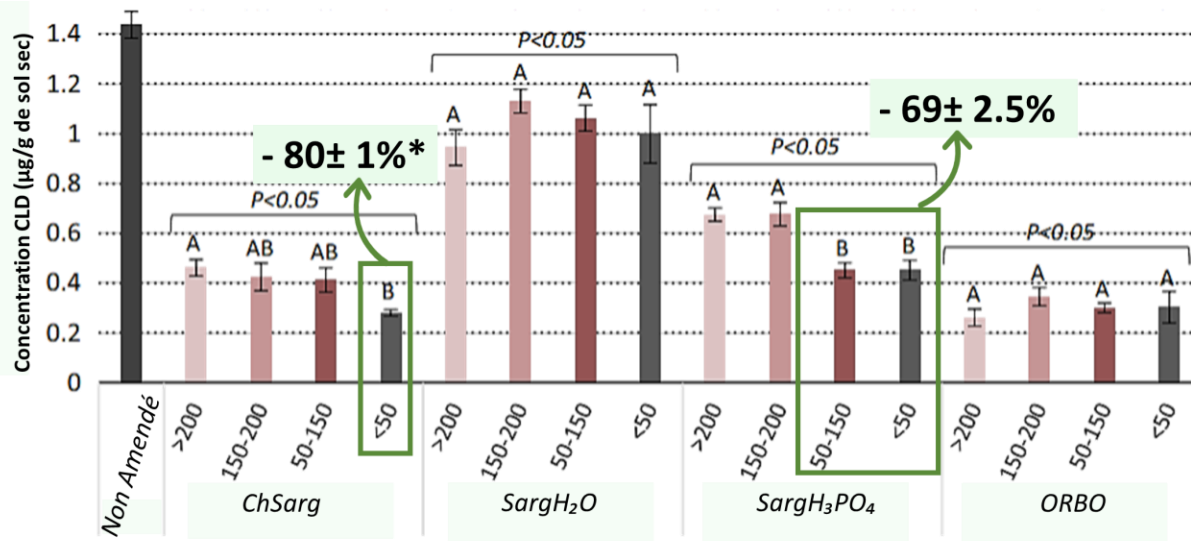
1 : Charbons actifs de Sargasse, activation Acide phosphorique

2 : Charbons actifs de Sargasse, activation vapeur d'eau

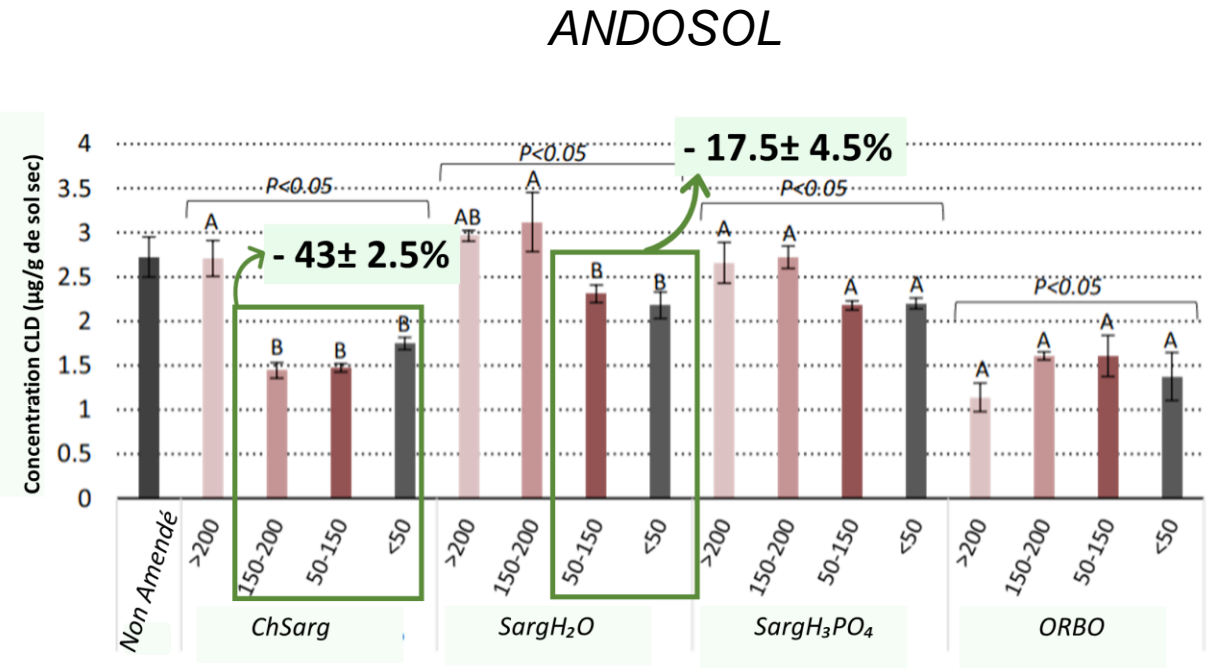
3 : Biochar de Sargasse

4 : Charbons actifs de coco (commercial)

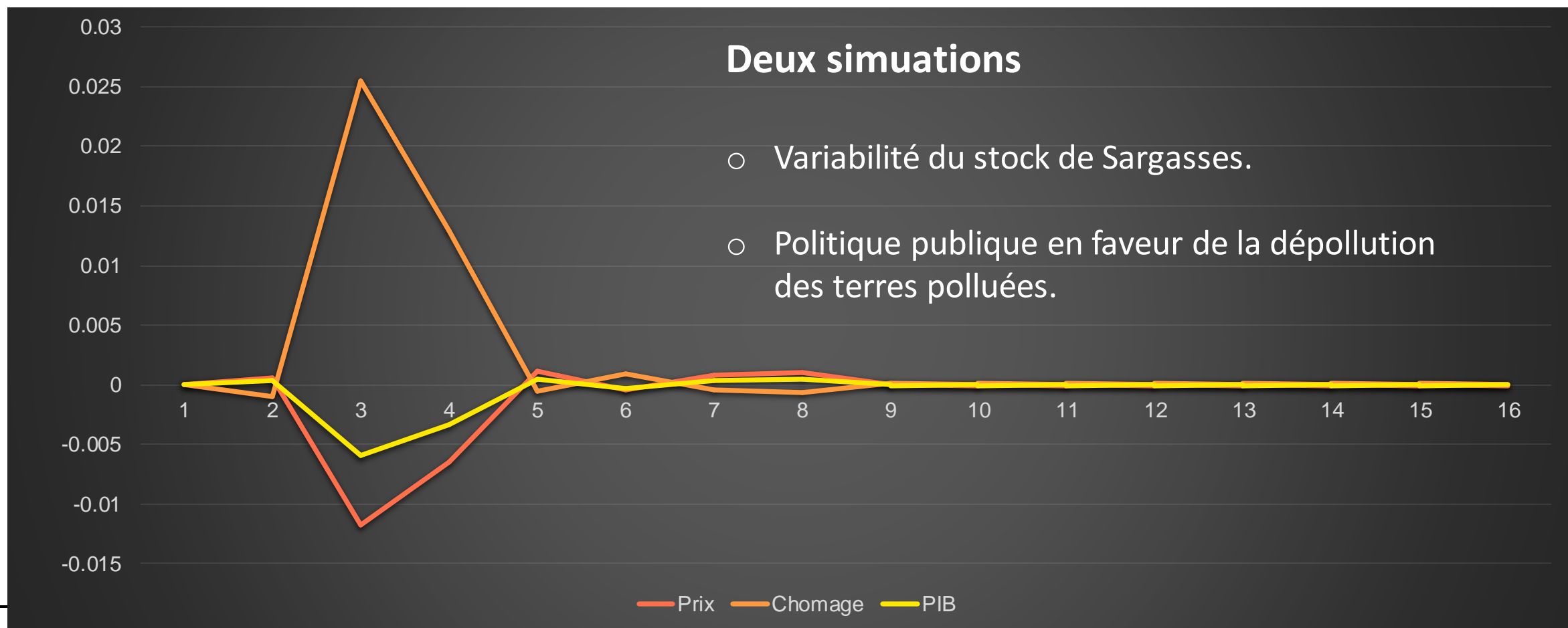
Résultats # 3 : Etude de disponibilité environnementale de CLD



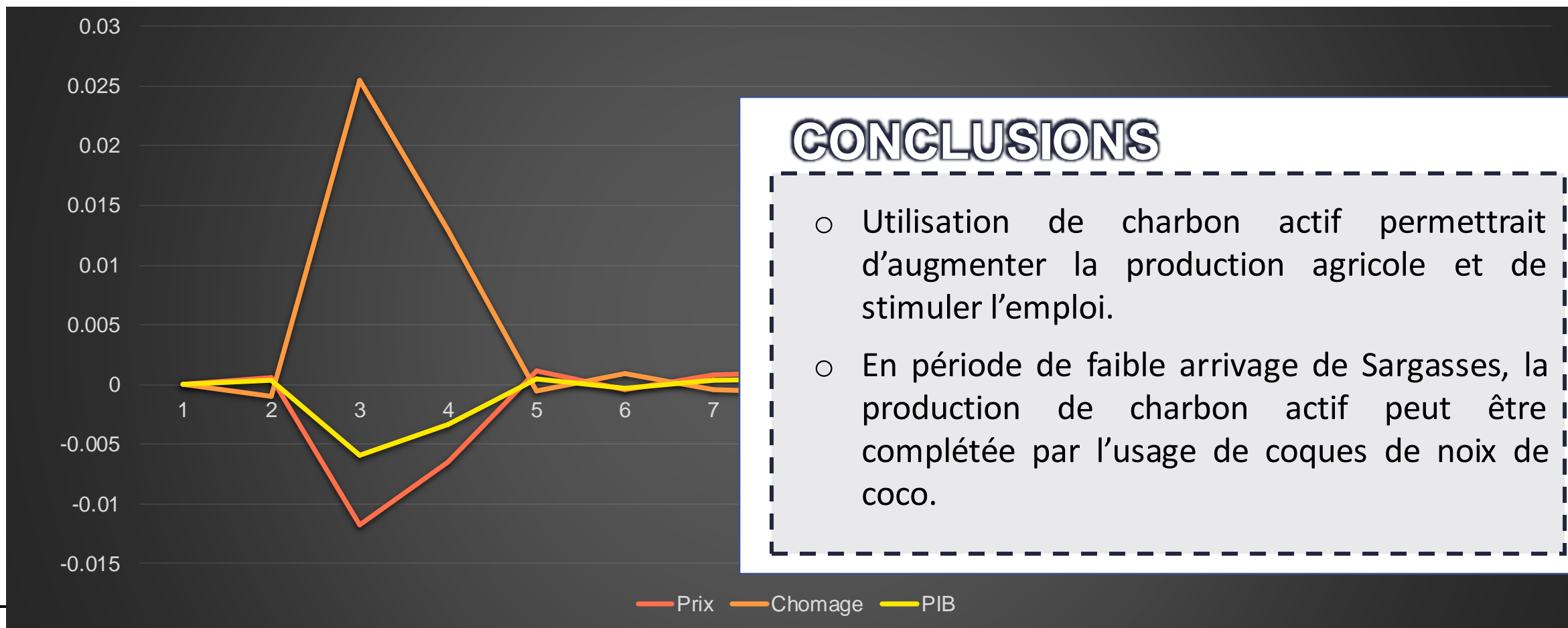
NITISOL



Expérimentation #4 : Impact macroéconomique



Résultats #4 : Impact macroéconomique



3. Prochaines étapes

Prochains points clés du projet

Evaluation de l'**innocuité** de l'ajout des BC et CA dans les sols vis-à-vis du microbiote, des plantes et animaux.

Démonstration *in situ* de l'efficacité de la séquestration des pesticides conduisant à la **sécurité des produits d'alimentation**

Production à **grande échelle** de BC (ou CA) de Sargasses et évaluation des performances

4. Perspectives industrielles

Atelier à 14h10 – Dr. N.Ugolin



Collecte



Stockage



Extérieur



Sous serre

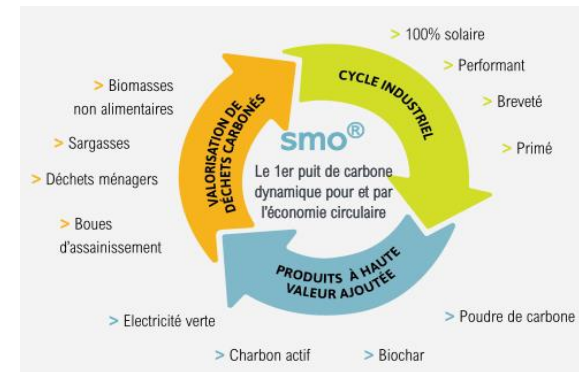


Zone couverte

Pyrolyse (SMO process)



Sargasse lavées et séchées



INTRANT

27 t

Déchets / jour



Partenariats en cours avec
entre l'entreprise "Vaitilingom"
et "Verte vallée"

En savoir plus :

[Site ADEME Guadeloupe](#)

[Site ADEME Martinique](#)

Partner	Research Unit	Name	Role	Expertise
UNIVERSITY OF ANTILLES	COVACHIMM2E	Pr Gaspard Dr Yacou Dr Jeanne-Rose V. Dr Passe-Coutrin Mme Jean-Marius Dr. Goudou Dr .Francoeur Dr. Gruelle	LPI* member member member Member Member Member Member	Environmental chemistry – Activated carbon – Energy storage
	UMR ECOFOG	Dr Dulormne	PPI* Member	Plant ecophysiology
	LARGE	Pr Soubdhan	PPI*	Energetic and process engineering
	CREDDI	Pr Maurin Dr Mathouraparsad Dr K Lanneau Mme F Navis	PPI* member member member	Economic modelling Economic analysis Social sciences
	UMR ISYEB	Pr. O. Gros Dr Loranger-Merciris	PPI* Member	Soil mesofauna and macrofauna Marine biology
UNIVERSITY OF LORRAINE	UR AFPA - INRA	Pr Rychen Pr C Feidt Dr Delannoy	LPI* member member	POP transfer food chain
INRA	ASTRO	Dr Richard Dr Tournebize	PPI* Member	Environmental Chemistry / pedology / Agronomy
NST	NST	Dr N. Ugolin	PPI*	Activated carbon production
ARS – IREPS	ARS-IREPS	M Thalmensi M Bocharel Mme Batoul	PPI* member member	Food safety



Les impacts environnementaux des sargasses dus à l'arsenic et à la chlordécone: quantification, atténuation et perception sociale – Sarg As & CLD

Mr Patrick Ollivier



01/03/2023

1. Contexte

- Les sarg. collectées en Guadeloupe (GDP) et en Martinique (MAR) sont éliminées par épandage le long des côtes ou à l'intérieur des terres,
- Les sarg. contiennent de fortes [As] (~50 mg/kg MS) et [CLD] (jusqu'à 2 mg/kg dw),
- A l'air libre, les tas de sargasses produisent des jus...
 - Total [As] peuvent atteindre 8 mg/L (i.e., ~450 x fois supérieure à la limite réglementaire dans l'eau de mer où les fruits de mer sont pêchés pour la consommation humaine).
 - [CLD] ~40µg/L



Questions

- Pourquoi les sargasses contiennent-elles de l'As et de la CLD? Où est localisé l'As dans les sarg.? Sous quelles formes?
- Comment l'As et le CLD sont libérés d'un tas de sarg.? Quelle évolution dans le temps ?
- Quelle est l'écotoxicité des jus de sarg. (As et CLD) pour les organismes (faune locale d'eau douce et de mangrove) ?
- Que pensent la population de la gestion de l'échouement des sarg.?
- Peut-on développer un procédé low-cost visant à retirer l'As et le CLD de ces jus?

2. Expérimentations et résultats

Expérimentation

Sarg. collectées en GDP :

- En pleine mer,
- Sur la plage,
- Dans les terres (après 2/3 jours de dégradation),



S.natans VIII (~20 %)

S.fluitans III (~80%)



Expérimentation

Arsenic inorganique le + toxique

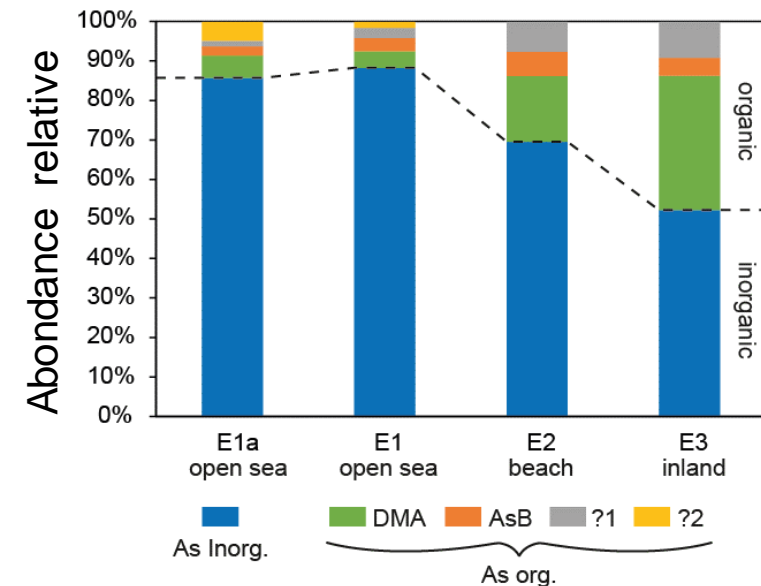
Arsenic organique

	?1(*) (mg As/kg)	As _{inorganic} (mg As/kg)	MMA (mg As/kg)	DMA (mg As/kg)	AsB (mg As/kg)	AsC (mg As/kg)	?2(*) (mg As/kg)	Total As (mg/kg)	Recovery
En mer	0.5 ± 0.2	30 ± 1	< 0.1	2.0 ± 0.2	0.80 ± 0.08	< 0.2	1.7 ± 0.2	34 ± 2	103 ± 11 %
En mer	0.75 ± 0.05	26.2 ± 0,3	< 0.1	1.25 ± 0.04	1.0 ± 0.1	< 0.2	0.47 ± 0.09	28.9 ± 0.8	103 ± 7 %
Plage	1.1 ± 0.1	10 ± 1	< 0.1	2.4 ± 0.3	0.88 ± 0.08	< 0.2	< 0.2(*)	15.6 ± 1.3	92 ± 10 %
Terre	1.4 ± 0.3	8 ± 1	< 0.1	5.2 ± 0.9	0.7 ± 0.2	< 0.2	< 0.2(*)	15.2 ± 1.1	101 ± 12 %

L'arsenic inorganique est prédominant dans tous les échantillons

L'abondance relative des espèces organiques (par rapport aux espèces inorganiques) dans le sarg. augmente de la mer vers l'intérieur des terres.

- 1) Perte préférentielle de l'As inorganique lors du stockage
- 2) Transformation en As organique



Caractérisation des jus et traitement de l'As dans les jus issus des sites de stockage



Tas de sargasses

Traitement

Sur site (en Martinique) :
Un pilote plurimétrique
Matériaux commerciaux



En laboratoire : Mésocosme +
colonnes de traitement
Matériaux naturels

Expérimentation sur site – Pilote plurimétrique

Objectifs :

- Etudier les concentrations de As dans les jus produits par les sarg. lors de leur dégradation dans des conditions "naturelles" (à l'air libre, sous l'effet de la pluie et des variations de température)
- Tester l'efficacité d'un traitement pilote avec des matériaux commercialisés pour éliminer l'As des jus avant qu'ils ne soient rejetés dans l'environnement,

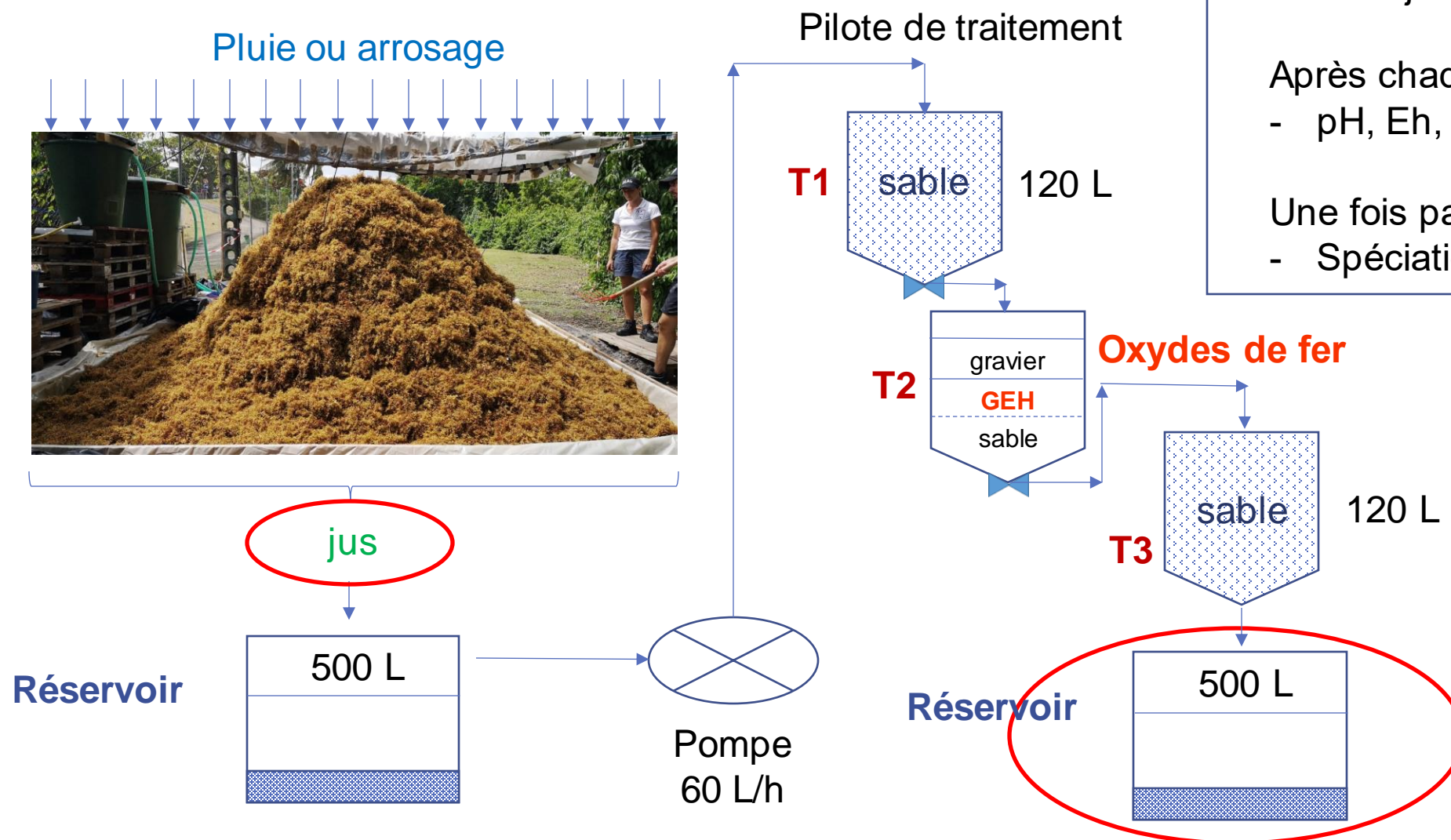
~2 tonnes de sarg. collectées
en mer



et installés à l'intérieur des terres
en plein air



Expérimentation sur site – Pilote plurimétrique



Dans les jus et en sortie de traitement

Après chaque pluie ou arrosage:

- pH, Eh, total [As], cations, anions,

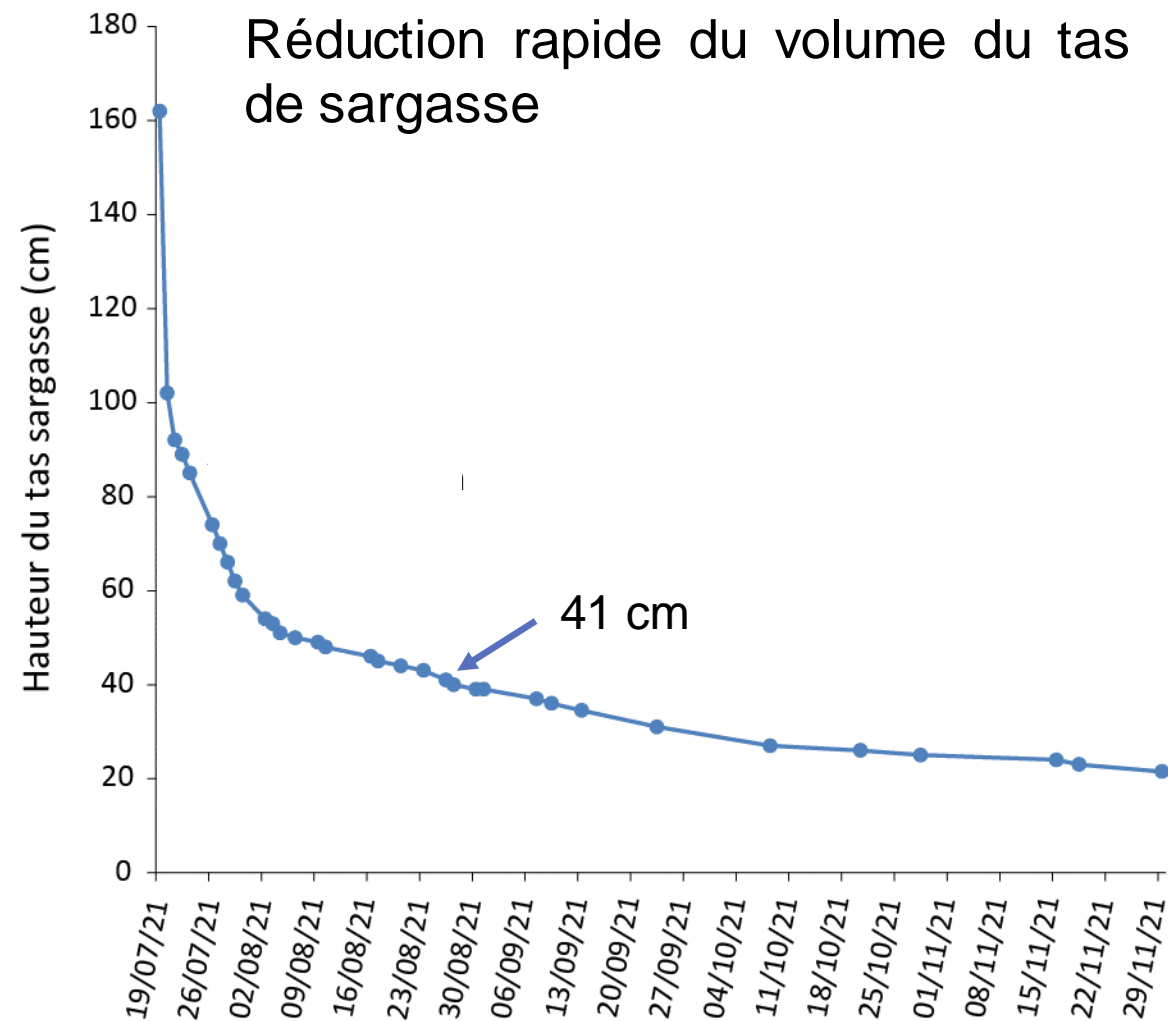
Une fois par mois:

- Spéciation As

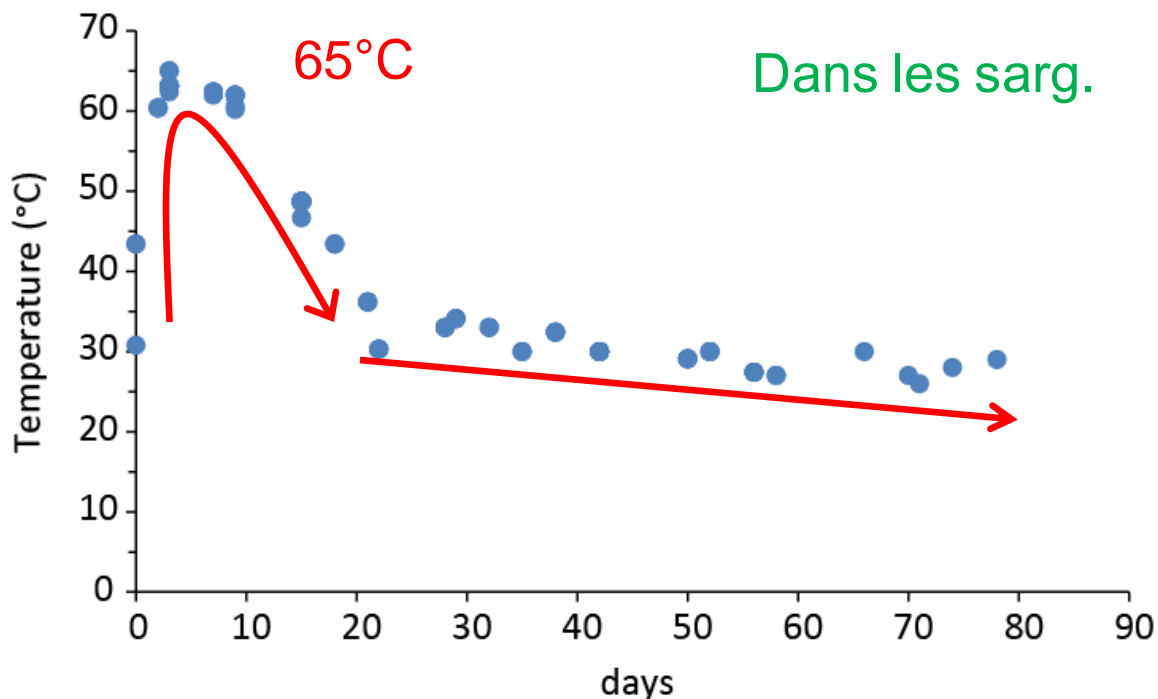
Expérimentation sur site – Pilote plurimétrique



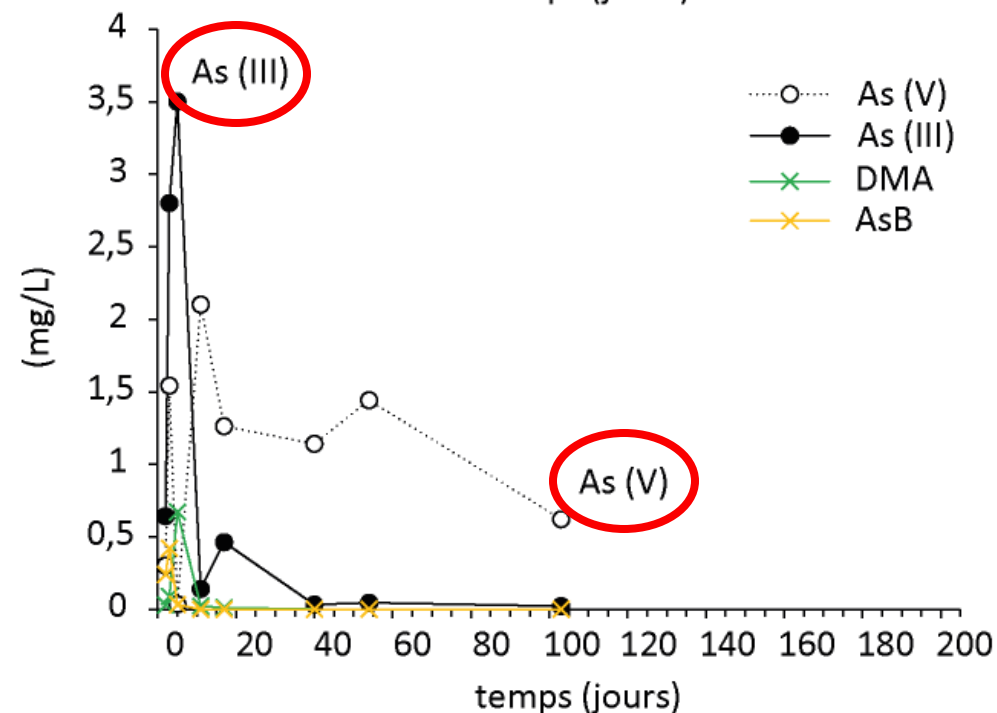
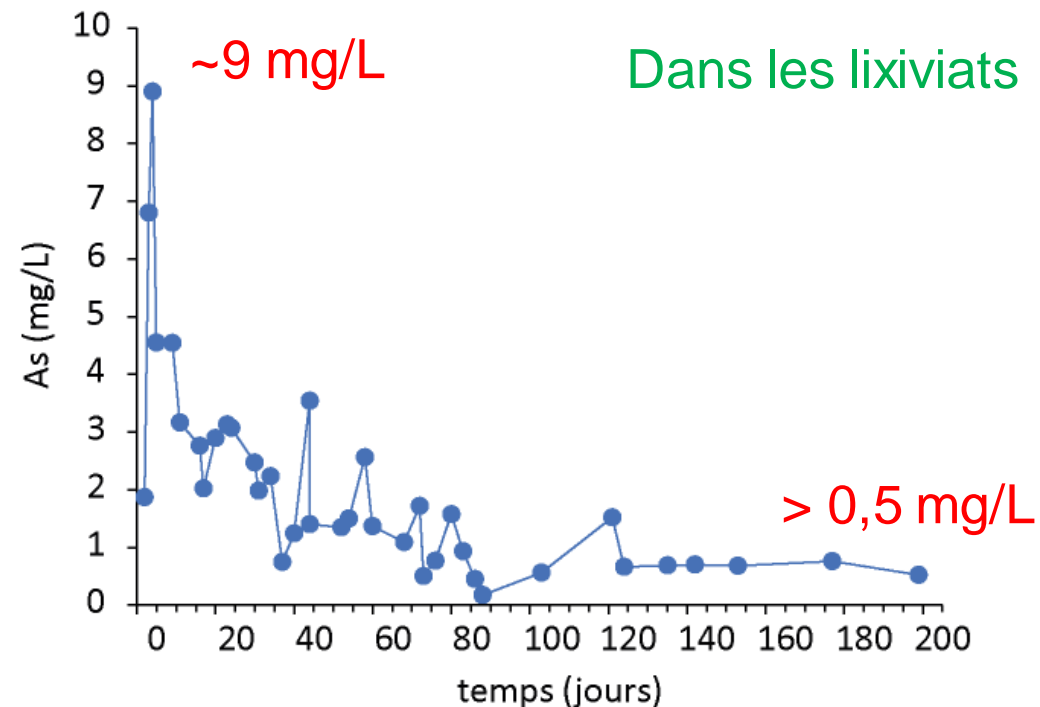
26/08/21



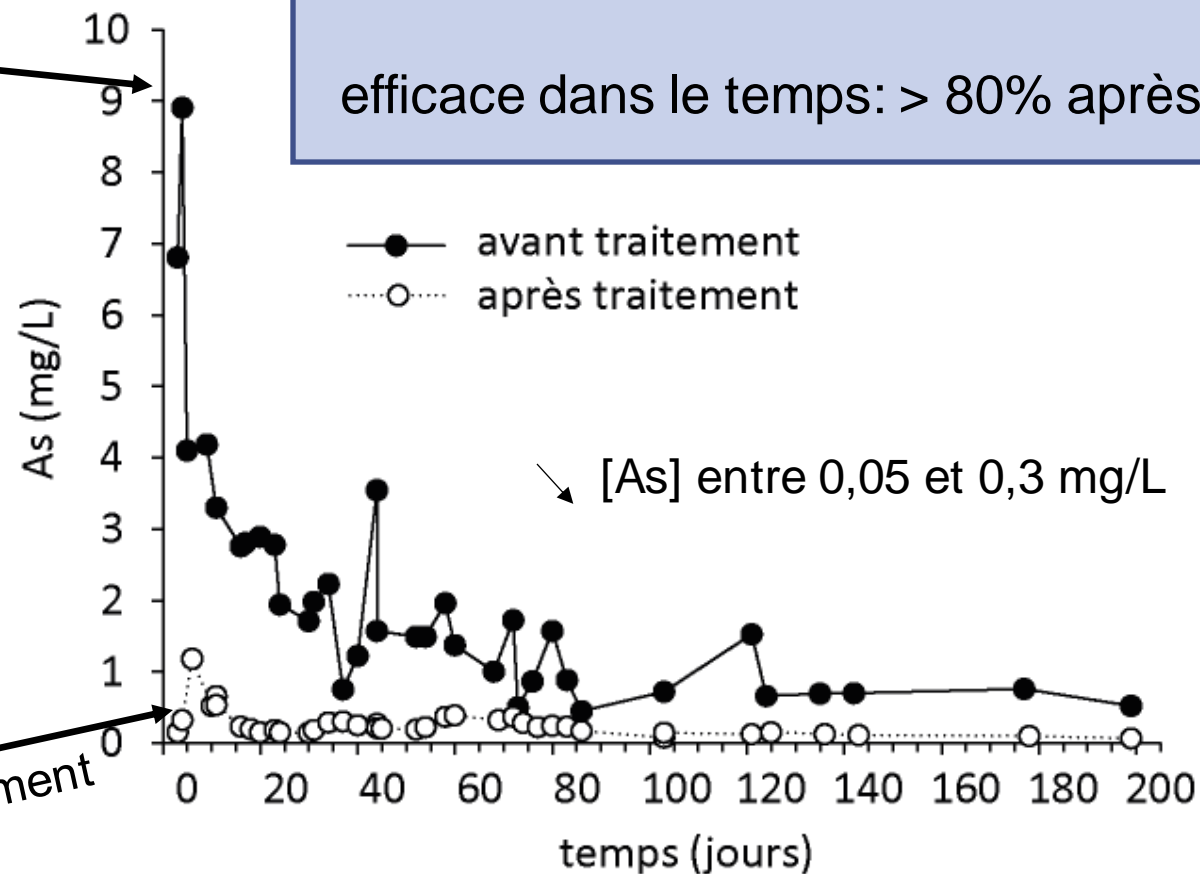
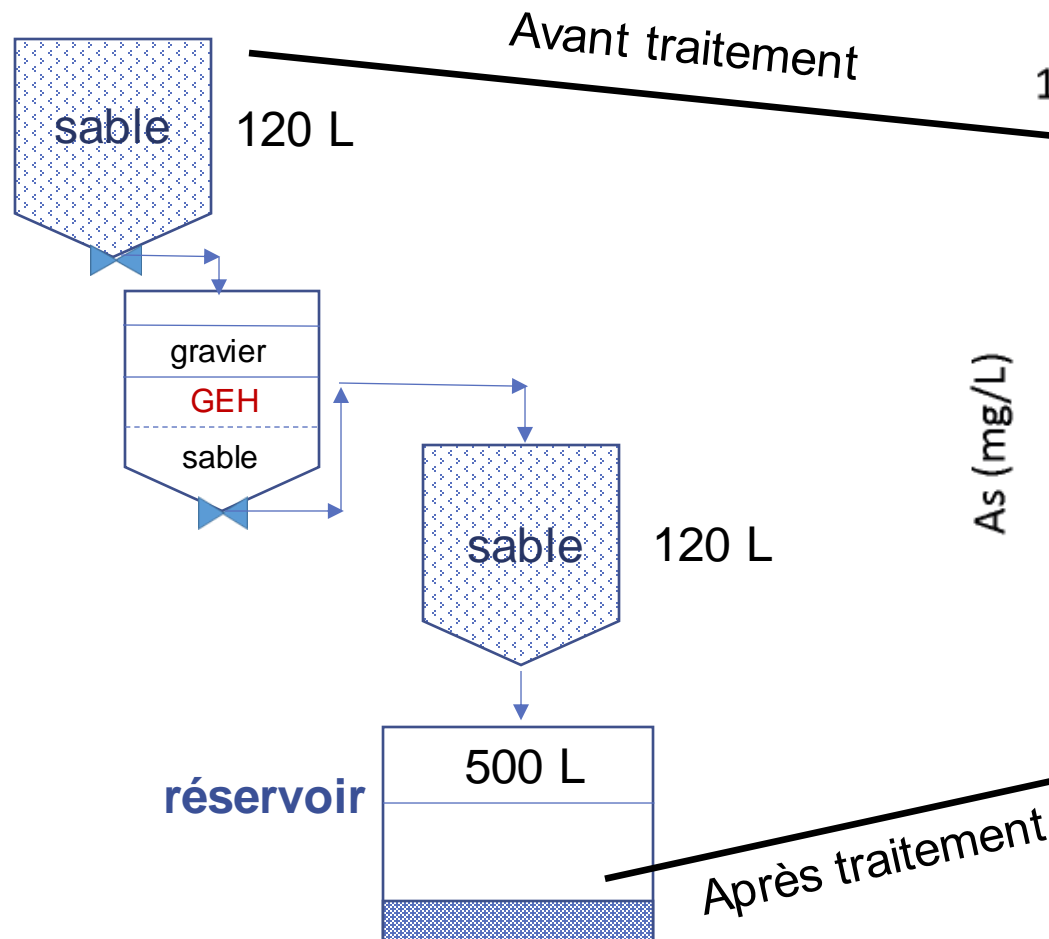
Expérimentation sur site



- Augmentation de la température: activité microbienne
- [As] est 90 fois supérieure aux normes de rejet et reste élevée après 190 jours
- As inorganique dominant



Efficacité du traitement



Le traitement permet de réduire drastiquement [As] dans les jus

Abattement compris entre 45% et 98%

efficace dans le temps: > 80% après 190 jours

Obstacle: coût du GEH ~16€/kg

Développer et tester des matériaux absorbants naturels disponibles dans les régions affectées par les échouements de Sargasses pour le traitement de As

2 matériaux retenus de par leurs propriétés (riches en fer)

(1) En Guyane Française : latérite
Altérite de l'Unité d'Armina = G4A

(2) En Martinique : ferrisol
Argile rouge à quartz (produit de l'altération de tufs volcaniques fins) = **M1**



Site de prélèvement en Guyane de l'altérite de l'Unité d'Armina = G4A. Aertgeerts et al. 2020, BRGM/RP-69939-FR

➡ Comparaison avec deux adsorbants à base de fer commercialisés (GEH[®], ASP[®])

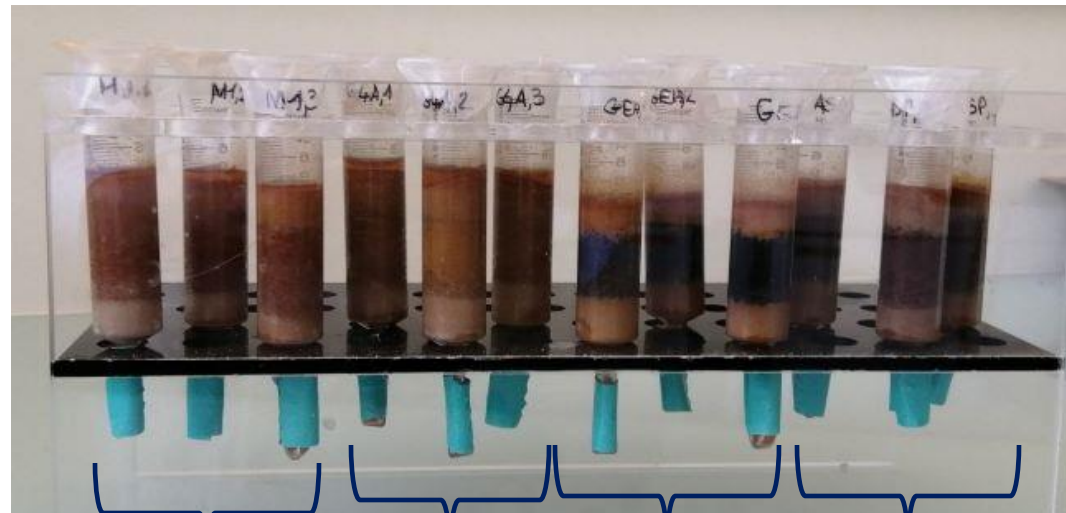
Test semi-continu en petites colonnes

- Percolation 5 mL de jus (concentré, début sortie mésocosme), aéré mais non filtré, 2 x par semaine
- Matériaux maintenus saturés entre 2 arrosages



2. Expérimentations et résultats

Lixiviat issu du mésocosme oxydé par bullage d'air, utilisé pour le test de traitement en petites colonnes

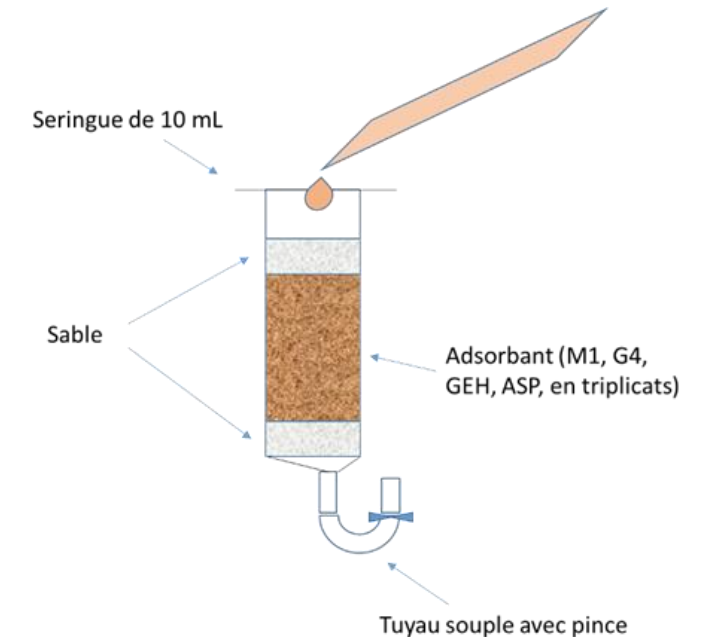


M1

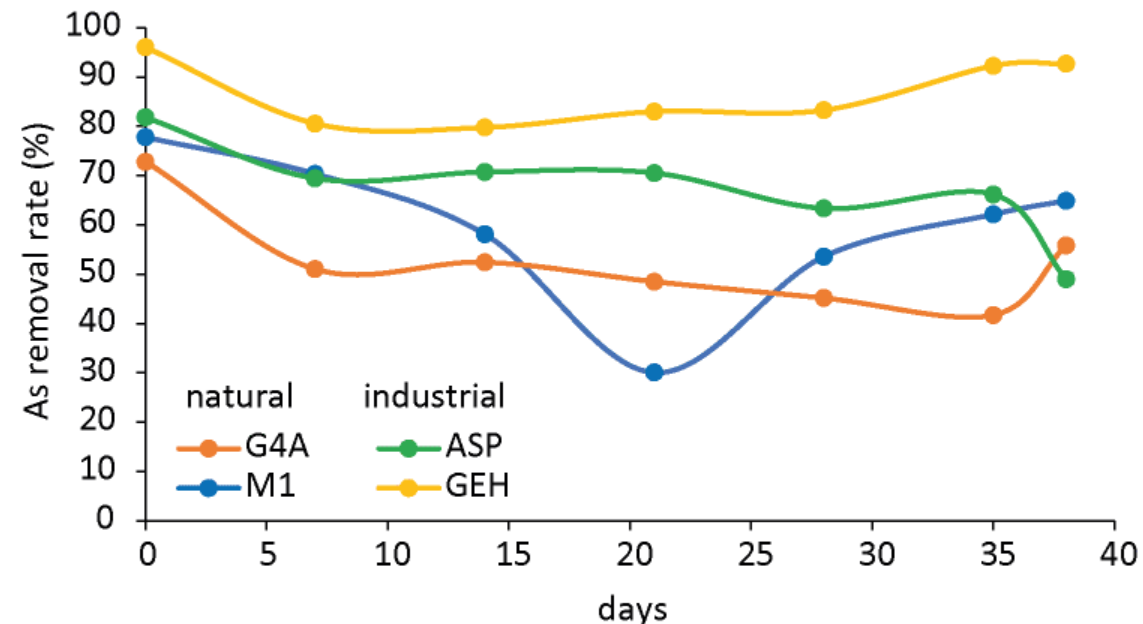
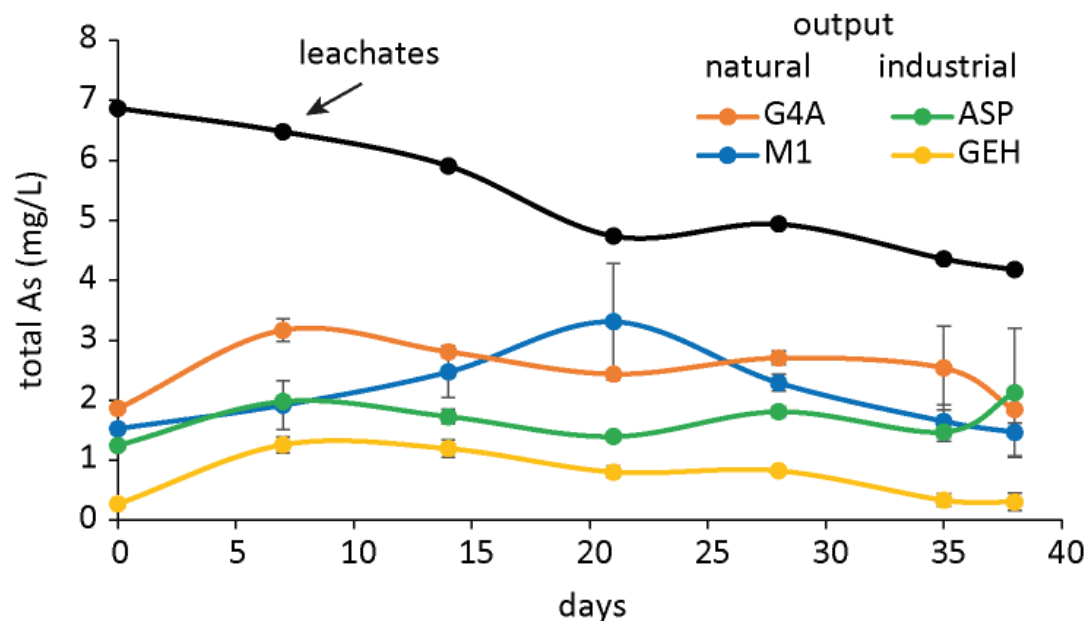
G4A

GEH[®]

ASP[®]



Test semi-continu en petites colonnes



Perspectives/en cours:

Développement de colonne de traitement de 50cm en flux continue + activité microbienne (réduction de la goethite en minéraux de fer amorphes) pour augmenter l'efficacité du traitement

Traitement CLD : Utilisation de 4 charbons actifs (CA) commerciaux

Matériaux
bruts

Jacobi Carbons (Vierzon, France)

Carbones activés	W ₀ (cm ³ /g)	L ₀ (Å)	S _{BET} (m ² /g)	S _{ext} (m ² /g)	S _{micro} (m ² /g)	S _{tot} (m ² /g)	% méso	% micro
PICA L27-W	0,57	18,5	1575	444	616	1060	41,88	58,12
Aquasorb 2000	0,36	13,5	1013	75	533	608	12,29	87,71
L39	0,62	23,2	1756	566	534	1100	51,43	48,57
BCC	0,46	10,8	1233	27	852	879	3,07	96,93

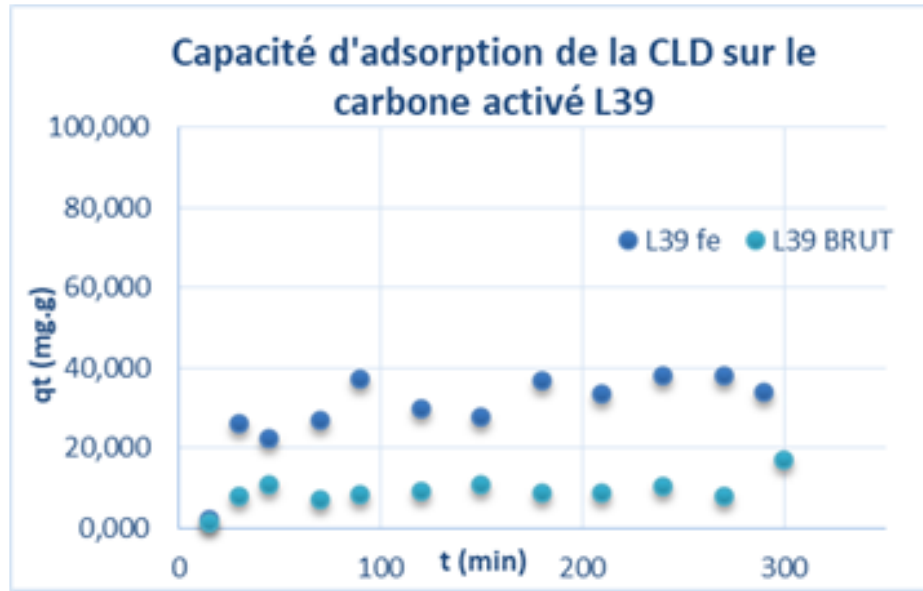
Matériaux
greffés Fe

Carbones activés	W ₀ (cm ³ /g)	L ₀ (Å)	S _{BET} (m ² /g)	S _{ext} (m ² /g)	S _{micro} (m ² /g)	S _{tot} (m ² /g)	% méso	% micro
PICA L27-W-Fe	0,28	17,6	804	438	318	756	57,92	42,08
Aquasorb 2000-Fe	0,23	15,3	636	66	301	367	18,00	82,00
L39-Fe	0,29	13,1	806	276	443	719	38,40	61,60
BCC-Fe	0,45	11,7	1226	54	769	823	6,56	93,44

CONCLUSIONS

- 4 matériaux adsorbants aux propriétés poreuses différentes : L27 et L39 avec domaines micro- et mésoporeux, et Aq 2000 et BCC uniquement microporeux.
- Greffage de fer à la surface des CA : diminution globale de la porosité

Cinétique d'adsorption de CLD sur L39



Conditions opératoires :

pH = 12;

T = 25 °C;

Concentration initiale en cld = 60 ppm

	L39 Brut	L39-Fe
q _e exp (mg/g)	10	30
k ₂ (g/mg.min)	0,0034	0,0008

q_e : quantité adsorbée à l'équilibre (mg de cld / g_{CA})

k₂ : constante de vitesse d'adsorption

Palier d'équilibre à
150 mn

Augmentation de
67% en termes
de capacité
d'adsorption

Diminution de
volume poreux
de 53%

Interaction
Fer/molécule

Conclusion sur l'adsorption de la chlordécone sur CA

La chlordécone s'adsorbe mal sur les carbones activés.

Le greffage de fer permet d'augmenter la capacité d'adsorption des CA pour la chlordécone malgré une diminution de la porosité.

Pour adsorber la chlordécone, le CA doit avoir des micropores et des mésopores.

Le L27-Fe présente des propriétés poreuses optimales pour un bon greffage de fer à sa surface et pour une bonne capacité d'adsorption vis-à-vis de la chlordécone

Perspectives



Optimiser l'adsorption de la chlordécone sur carbones activés en optimisant la méthode de greffage au sein d'une matrice poreuse.



Étudier l'adsorption de la chlordécone sur une matrice naturelle, comme le jus de sargasses.



Mettre en place un système d'adsorption en mode continu sur colonne.

Merci pour votre attention

En savoir plus :

[Site ADEME Guadeloupe](#)

[Site ADEME Martinique](#)



BRGM

Patrick Ollivier (p.ollivier@brgm.fr),
Fabienne Battaglia, Hugues
Thouin, Christophe Mouvet

ICMN

Benoit Cagnon

UPPA

Dirk Schaumlöffel
Maria Angels Subirana

UT2A

Fabienne Seby
Véronique Vacchina

Minea (Guyane)
Thierry Nicolas

Repas – Reprise à 14h

Bon appétit!

Comment passer de la recherche à l'industrialisation des procédés?

Introduction par l'ADEME

Le stockage : principal exutoire aux Antilles

100%

de la sargasse collectée est
actuellement stockée sur des
terrains dédiés

Dans d'autres pays :

- Plusieurs filières effectives
- Mais
- Des contextes réglementaires différents
- Un tissu industriel plus développé
- ...

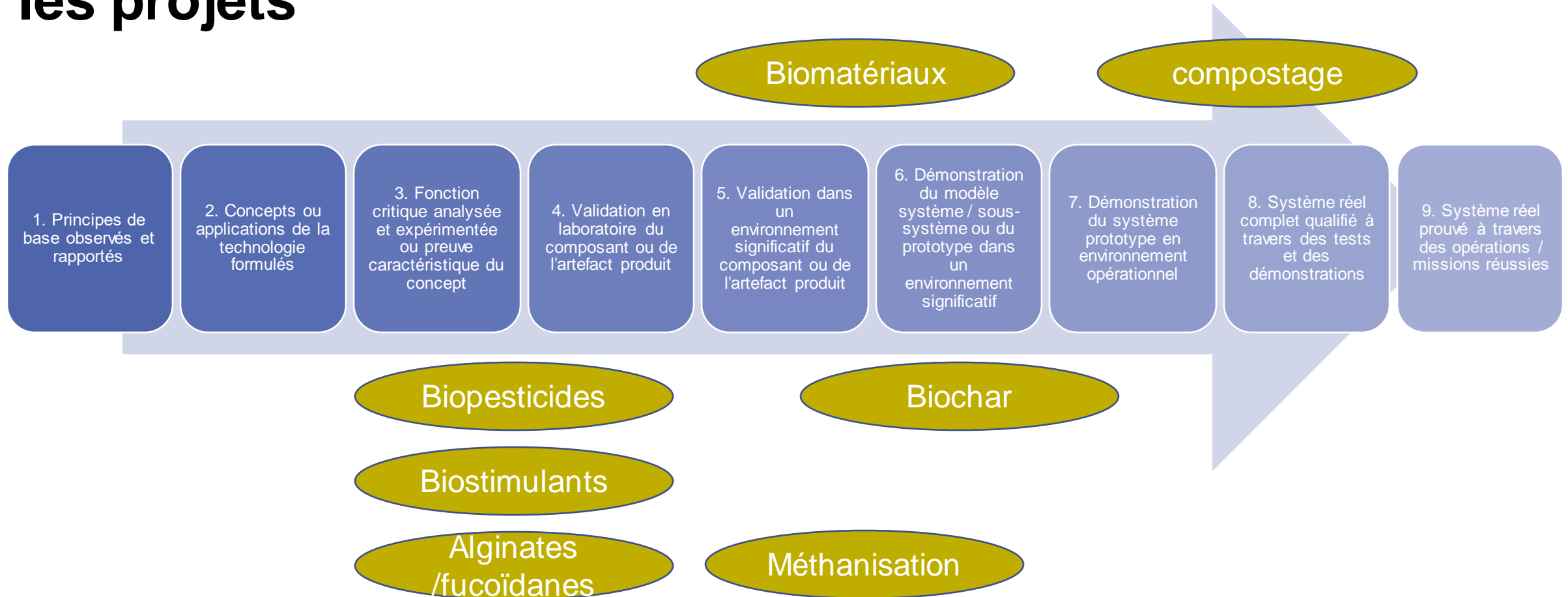


Guide de la valorisation des sargasses (2021)

édité par le CERMES (University of West Indies)
et la FAO (*Sargassum Uses Guide*, A.
DESROCHERS).



Des niveaux de maturité technologique différents selon les projets



Une grande question : comment passer de la recherche à l'industrialisation



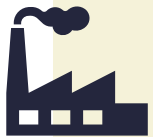
En limitant le risque environnemental

- Bilan matière « arsenic » pour l'ensemble des voies de valorisation jugées viables, l'arsenic contenu dans les sargasses peut rester lixiviable plusieurs mois après collecte
- Réflexion sur l'innocuité de son produit, dans le temps, lors de sa fin vie
- Recherche de techniques pour traiter les eaux de process en raison de la présence notamment d'arsenic/sel et contrôler les concentrations en arsenic des gaz émis



En s'adaptant au contexte local

- Collecte des algues
- Tissus industriel
- Marché



En s'appuyant sur des pilotes ou des installations existantes

- Poursuivre la recherche sur les filières de valorisation ayant démontré un intérêt (notamment le compostage)
- Installation d'un méthaniseur pilote à l'INRAE en Guadeloupe (projet SAVE AAP Sargassum)
- Possibilité d'installer un séchoir pilote (projet SAVE C AAP Sargassum) pour pré-traitement avant extraction

Société NST

Projet d'industrialisation, PYROSAR

Mr Nicolas Ugolin

Responsable Scientifique

Ateliers : comment passer de la recherche à l'industrialisation des procédés de valorisation ?

Travail en sous-groupe de 10 personnes par thématique :

01 Freins et Leviers à l'industrialisation

02 Cartographie des acteurs

Ateliers : comment passer de la recherche à l'industrialisation des procédés de valorisation ?

Salle patio de l'Auditorium

Groupe 1 : biomatériaux (construction, btp)

Groupe 2 : biomatériaux (construction, btp)

Groupe 3 : biomatériaux (bioplastique,
cellulose moulée...)

Groupe 4 : biomatériaux à partir de biochar

Groupe 5 : valorisation énergétique
(méthanisation, biocarburant)

Salle musée (1^{er} étage)

Groupe 6 : valorisation agricole (en biochar)

Groupe 7 : valorisation agricole (bio-contrôle et
bio-stimulants)

Groupe 8 : valorisation agricole (compostage)

Rendez vous à 16h pour la
restitution et conclusion

Restitution des ateliers



MERCI !

