



Production de biogaz par traitement bioélectrochimique de saumures

Eric TRABLY & Nicolas BERNET

INRA Laboratoire de biotechnologie de l'environnement (LBE)

<https://www6.montpellier.inra.fr/narbonne>

Contacts : eric.trably@inra.fr ; nicolas.bernet@inra.fr

Le Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement



Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement, INRA, 102, Avenue des Etangs, 11100 Narbonne
<http://www6.montpellier.inra.fr/narbonne>

Le Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement

► Unité propre de recherche de l'INRA

- Départements
 - **Environnement et Agronomie (EA)**
 - **Microbiologie et Chaîne Alimentaire (MICA)**
- Centre **Occitanie - Montpellier**



**Le site du Quatourze
à Narbonne**

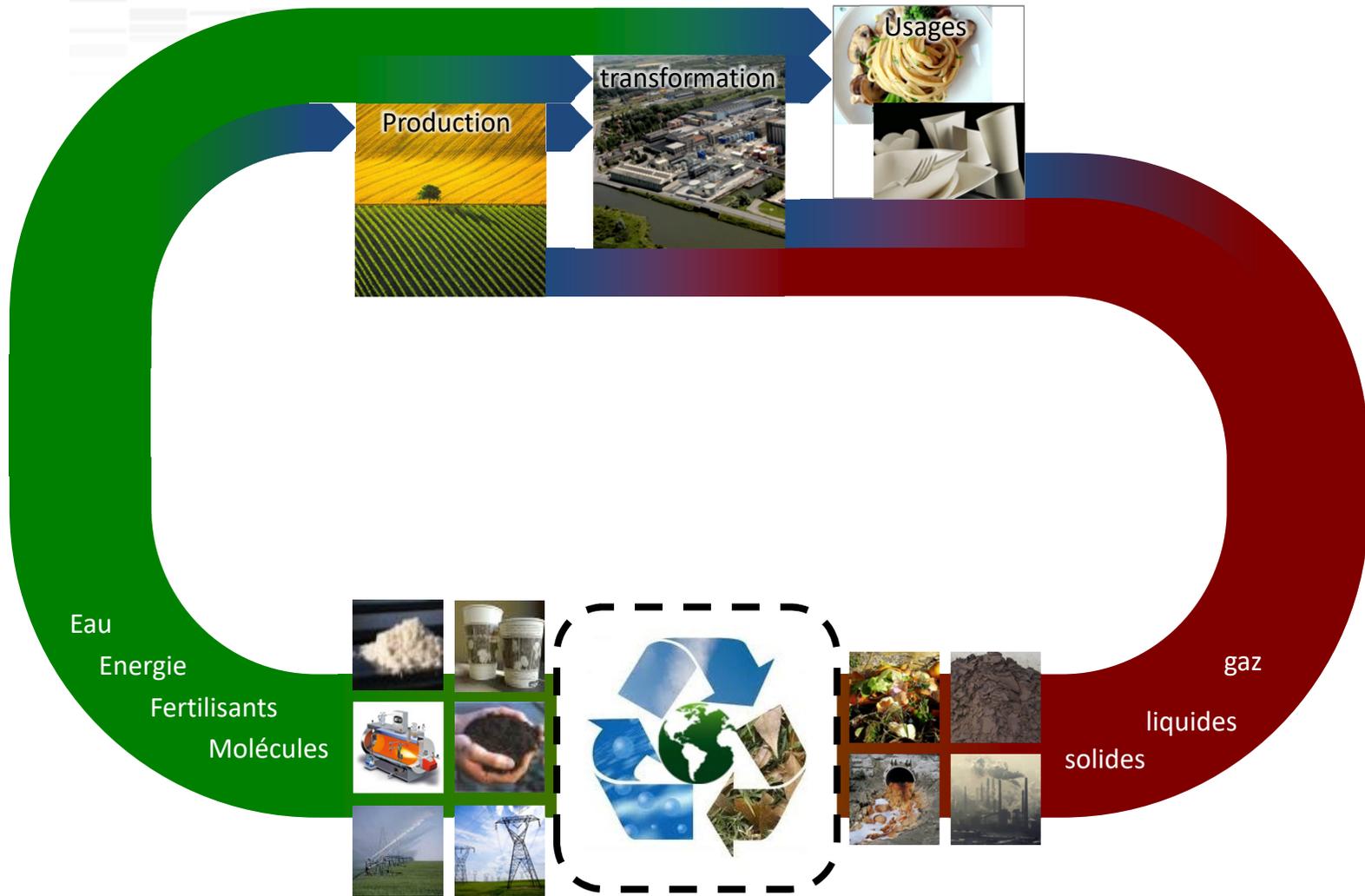


**Parc Méditerranéen de
l'Innovation à Narbonne**



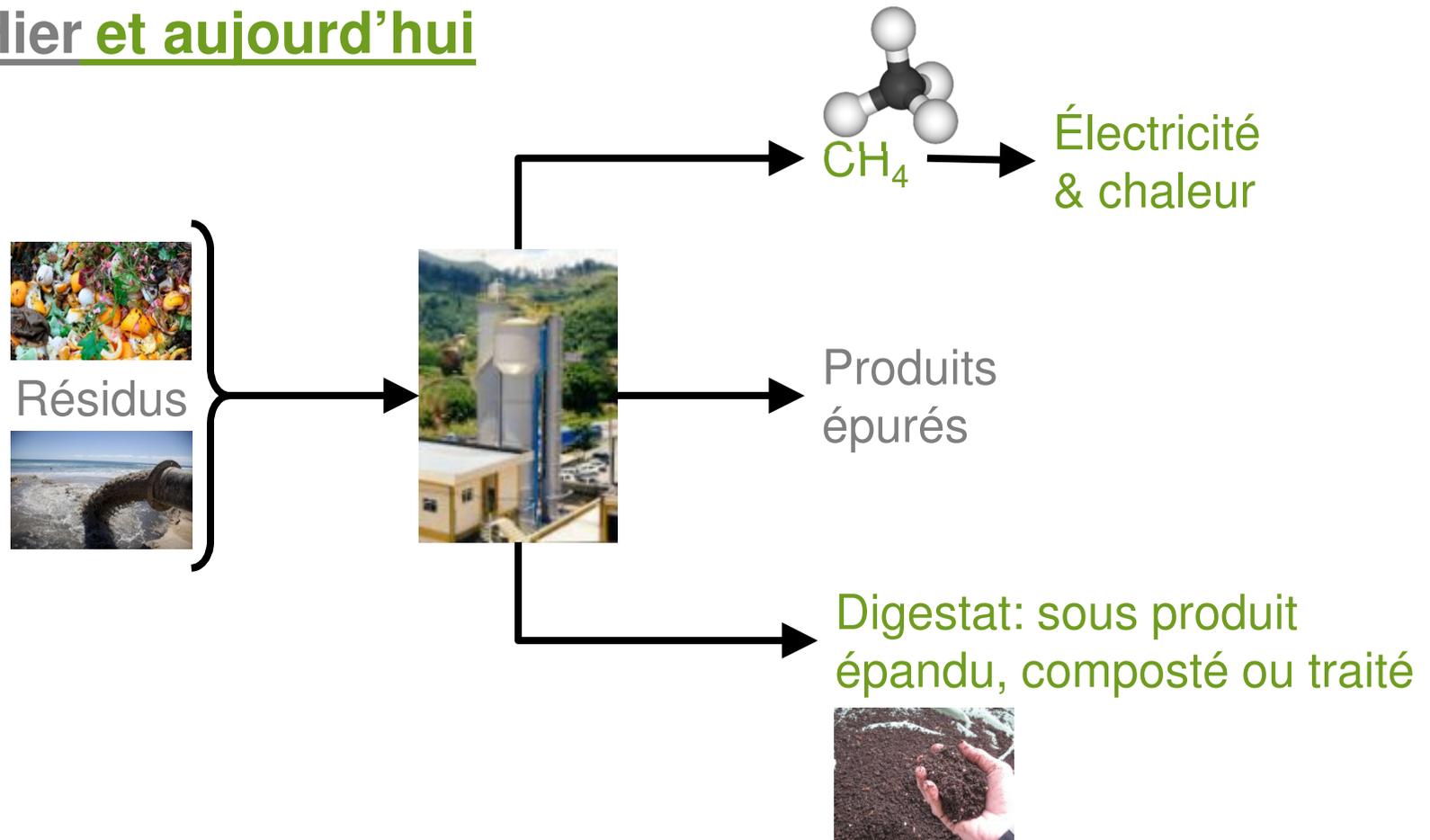
**Le site SUPAGRO Montpellier
(groupe ELSA)**

Positionnement et missions scientifiques du



La méthanisation ou digestion anaérobie

Hier et aujourd'hui



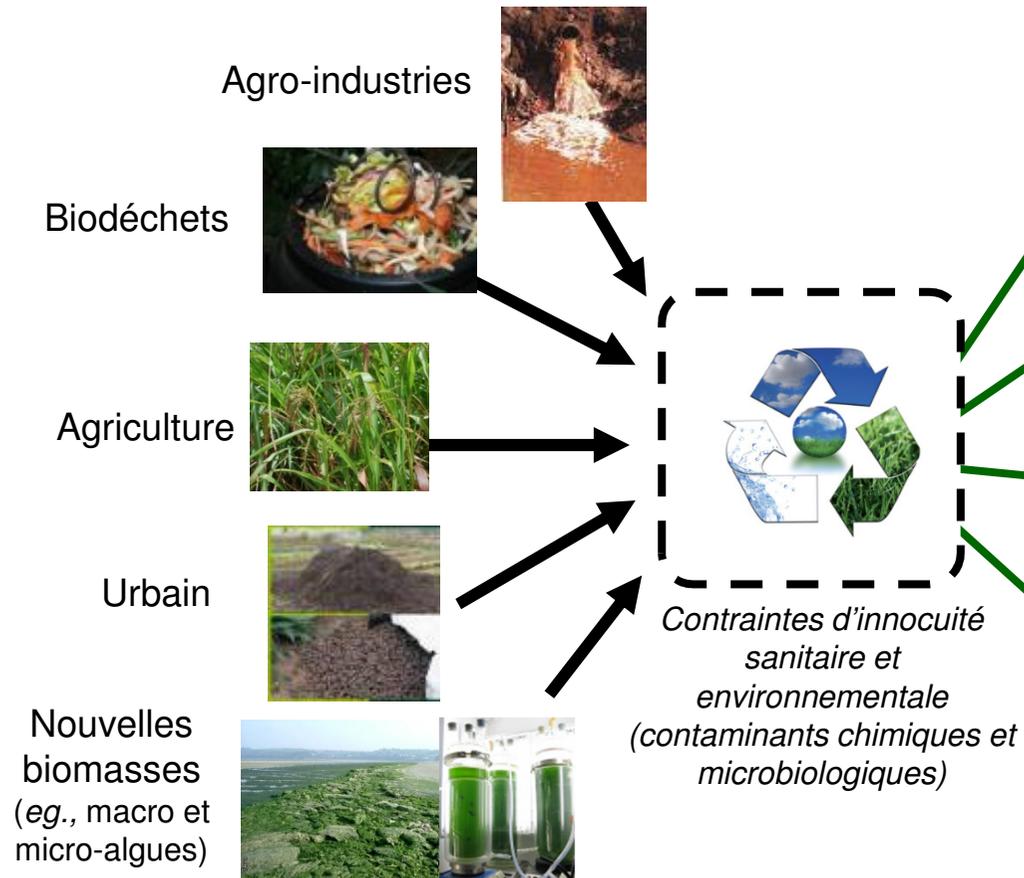
Au-delà de la méthanisation (Beyond AD)...

... d'autres procédés biologiques

- **La fermentation** (BioH₂, molécules d'intérêt)
- **Les systèmes bio-électrochimiques**
- **Les systèmes phototrophes** (microalgues, photogranules)

Le concept de Bioraffinerie Environnementale

Intrants multiples, contexte territorial



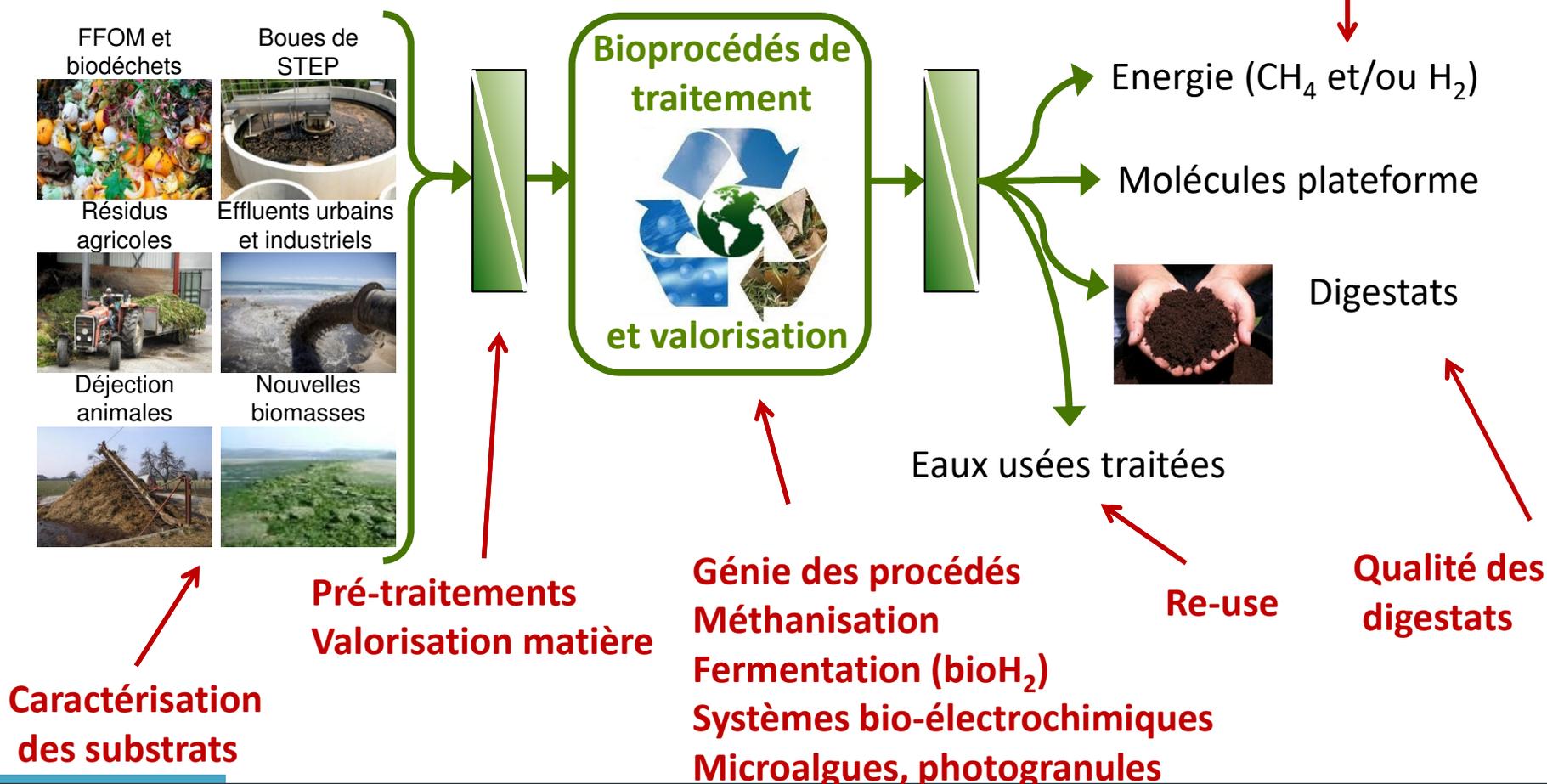
Services rendus pour la bioéconomie



La bioraffinerie environnementale

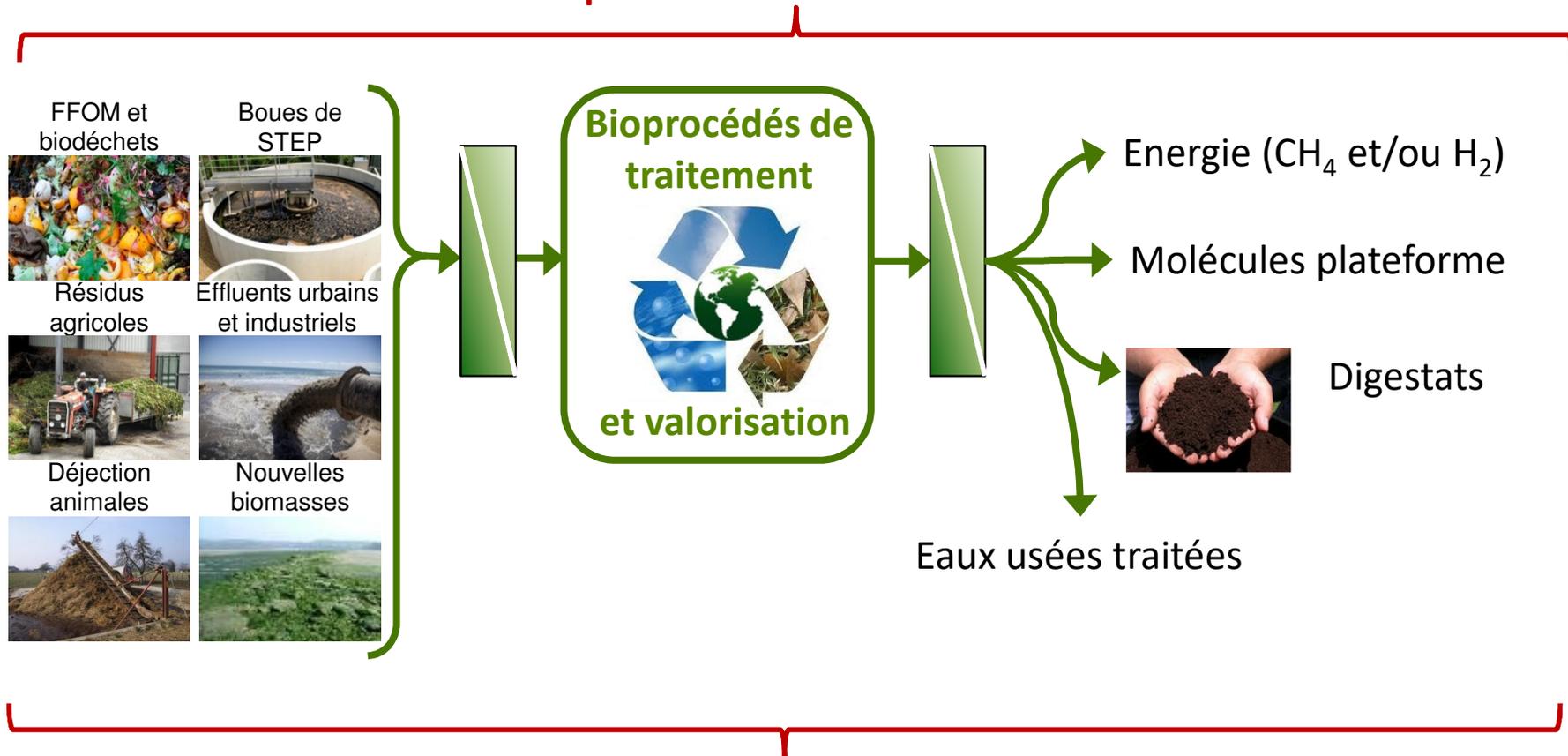
Ingénierie des écosystèmes microbiens (diversité, interactions)

Biométhanation



La bioraffinerie environnementale

Instrumentation, modélisation, commande, systèmes d'information
ACV et éco-conception



Micropolluant organiques, pathogènes, aérosols

Moyens, outils et techniques

□ Moyens humains: 80 ETP

- ✓ 36 agents permanents INRA , 1 MCF SupAgro et 7 IT-E
- ✓ 24 doctorants (9 nationalités), 3 post-docs, 2 AI CDD, 2 chercheurs invités, stagiaires

□ Moyens analytiques :

- ✓ Mesure du **potentiel méthanogène (BMP)** et **hydrogène (BHP)**, tests de biodégradabilité
- ✓ **Analyses physico-chimiques:** DCO, COT/IC, GC (gaz, AGV), HPLC (métabolites, micropolluants)
- ✓ Outils de **biologie moléculaire** (PCR, qPCR, CE-SSCP, bioinformtique) et microscopiques
- ✓ **Mesure spectroscopique** (IR, visible, UV, fluo 3D)



BMP/BHP: grande capacité



Chromatographie phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse



Chromatographie phase liquide

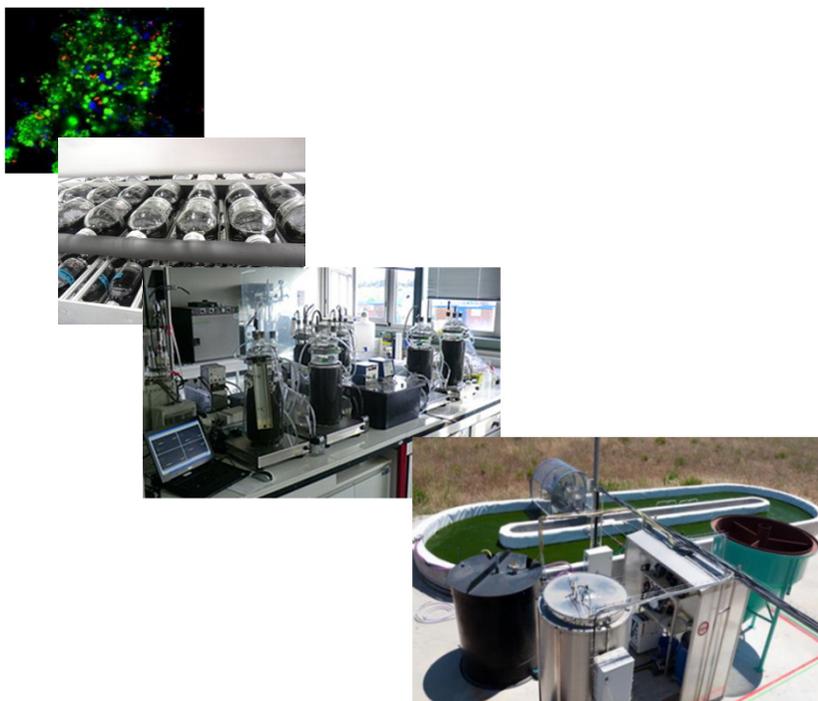


Système d'extraction pour phase solide

Moyens, outils et techniques

□ Moyens expérimentaux : de la recherche fondamentale au démonstrateur :

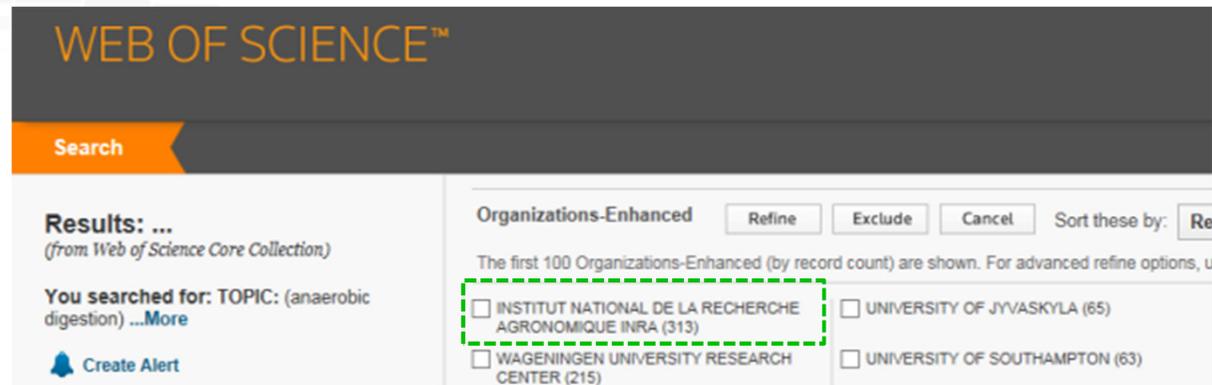
- Réacteurs biologiques instrumentés (du litre au m³ : aérobie / anaérobie, voie sèche / humide, effluents liquides / déchets solides, batch / continu, MBR, PBR, micro-algues ...)
- Procédés physico-chimiques



- 500 BMP*/an
- 60+ digesteurs (1L à 1m³) en opération
- Prétraitements (°C, US, O₃, broyage...)

Des sorties multiples et complémentaires

- 3,9 articles/chercheur.an + 77 % Q1 (exceptionnelles ou excellentes)



WEB OF SCIENCE™

Search

Results: ...
(from Web of Science Core Collection)

You searched for: TOPIC: (anaerobic digestion) ...More

Create Alert

Organizations-Enhanced Refine Exclude Cancel Sort these by: Re

The first 100 Organizations-Enhanced (by record count) are shown. For advanced refine options, u

<input type="checkbox"/> INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE INRA (313)	<input type="checkbox"/> UNIVERSITY OF JYVASKYLA (65)
<input type="checkbox"/> WAGENINGEN UNIVERSITY RESEARCH CENTER (215)	<input type="checkbox"/> UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON (63)

1^{er} laboratoire au monde publiant sur la méthanisation

- Prix de l'innovation ADEME en 2007, 2009, 2010, 2012 et 2013
- Lauriers de l'INRA 2017 « impact socio-économique »
- 7 brevets, 11 contrats de licence
- Plus de 60 emplois industriels en activité aujourd'hui (Naskéo, Ateliers d'Occitanie, IT-E, BioEnTech,...)
- Un long historique de partenariat (Véolia, Lesaffre, Suez, EDF, Air Liquide,.... + PME)

Plateforme Bio²E de Biotechnologies et Bioraffinerie Environnementale



Site du Quatorze

Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement –
Unité de Recherche

INRA Transfert Environnement –
Centre de Ressources Technologiques



Site du Parc Méditerranéen de
l'Innovation (PMI)

Recherche académique

Développement Technologique
et Innovation

Prestations d'analyses et
d'expérimentations

Expertise
technologique



R&D collaborative

Accueil, hébergement, accompagnement

Formation, ingénierie de projets



KET Technology Center

**Preuve de concept : Utilisation des systèmes
bioélectrochimiques pour la valorisation d'effluents
récalcitrants**

**Cas des saumures:
Table Olives Processing Wastewaters (TOPW)**



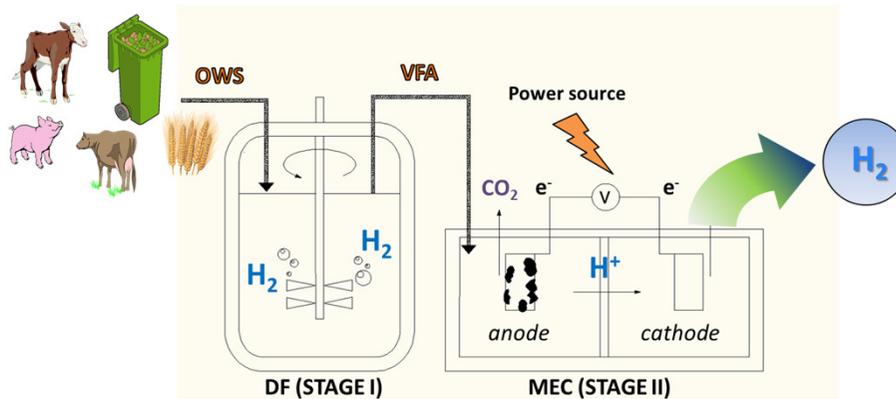
Projet "Waste2bioHy"



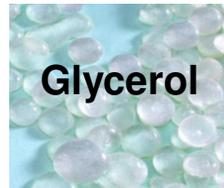
Projet Européen Marie-Curie IEF du 7ème Programme Cadre (2013-2015)

"Production durable d'hydrogène à partir de déchets par un procédé biologique en deux étapes "

IEF PostDoc: **Dr. Antonella Marone (IT)**



“Sélectionner des sources intéressantes d’effluents et déchets ”

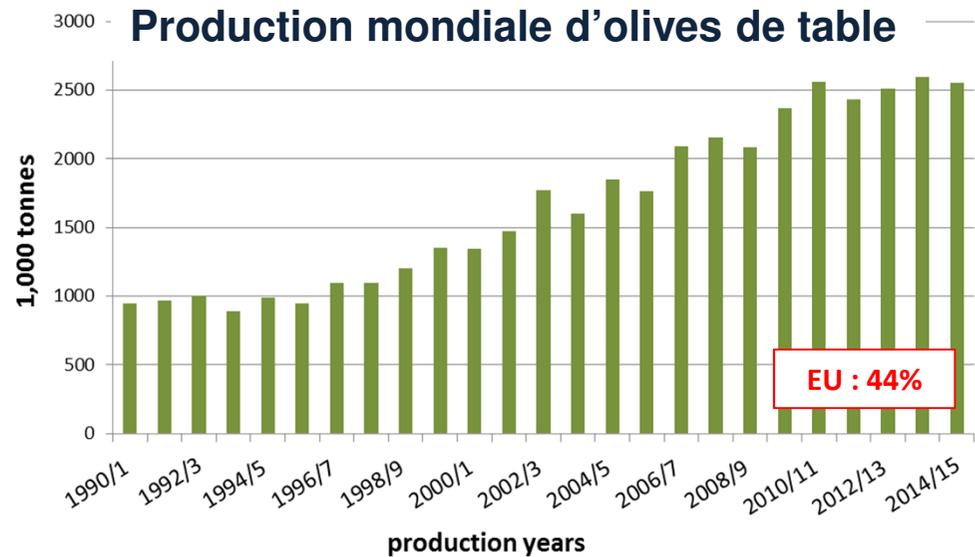


21 eaux usées industrielles ont été collectées et testées dont les :

- Les eaux usées de la production d’huile d’olive (Olive Mill Wastewaters)
- Saumures de la production d’Olives de table (Table Olive Wastewaters)

Contexte

La production d'olives de table est un secteur industriel en croissance dans le monde générant d'importantes quantités d'effluents.



Source: International Olive Oil Council (<http://www.internationaloliveoil.org/>)

Procédés de production :



- I. Traitement alcalin (NaOH)
- II. Fermentation saline (NaCl)



* Cappelletti G.M., Nicoletti G.M. and Russo C., 2011

Source: <http://www.bioenergyconsult.com/olive-oil-waste/>

TOPW est récalcitrant au traitement biologique

Caractéristiques des TOPW

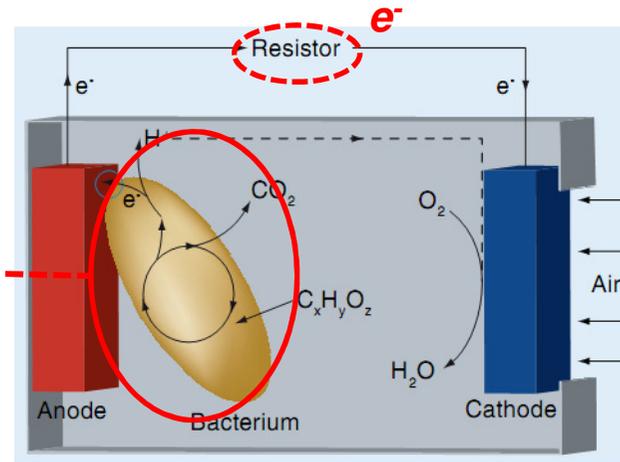
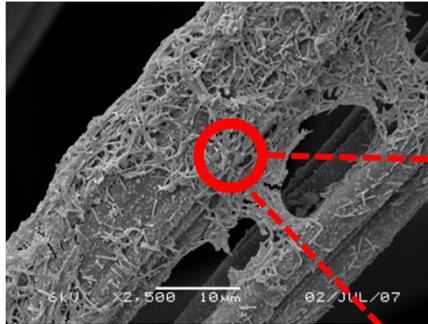
- COD 28 g /L → Nécessite un traitement
- NaCl 24 g/L → D'une nature corrosive et inhibitrice (milieu salin)
- Polyphenols 2 g/L → action antimicrobienne, ecotoxique et phytotoxique¹

TOPW est récalcitrant au traitement biologique conventionnel (aérobie² et anaérobie³)



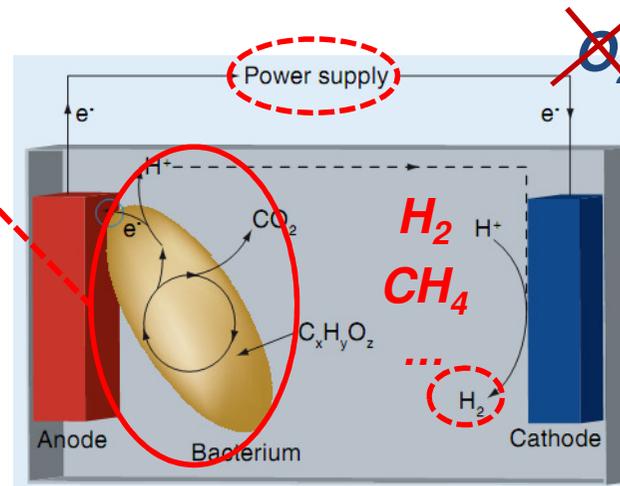
¹Niaounakis and Halvadakis, 2006; ²Aggelis et al., 2001; ³Kyriacou et al., 2005; ⁴Beltrán et al., 1999; ⁵Katsoni et al., 2008; ⁶Deligiorgis et al., 2008; ⁷Chatzisyneon et al., 2008; ⁸Kotsou et al., 2004; ⁹Kyriacou et al., 2005

Systèmes Bioélectrochimiques (BES)



MFC
Microbial Fuel
Cells

Les bactéries électro-actives sont capables de dégrader la matière organique et transférer leurs électrons à un circuit externe.



MEC
Microbial
Electrolysis
Cells



etc...
MXC's

Rabaey & Verstraete, 2005; Liu et al, 2005; Rozendal et al, 2006; Liu et al., 2010

Objectif

Proposer une solution simple et économiquement viable de traitement/valorisation des effluents TOPW

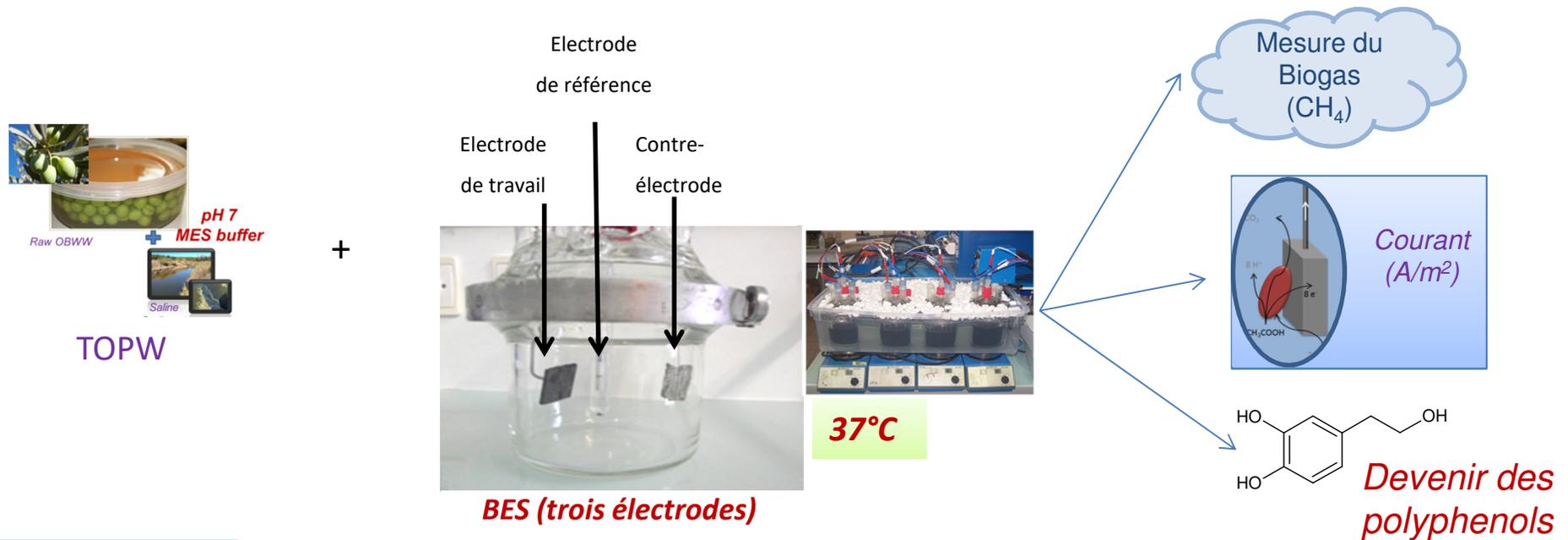
➤ NaCl 24 g/L



Conductivité électrique de 55.3 mS/cm

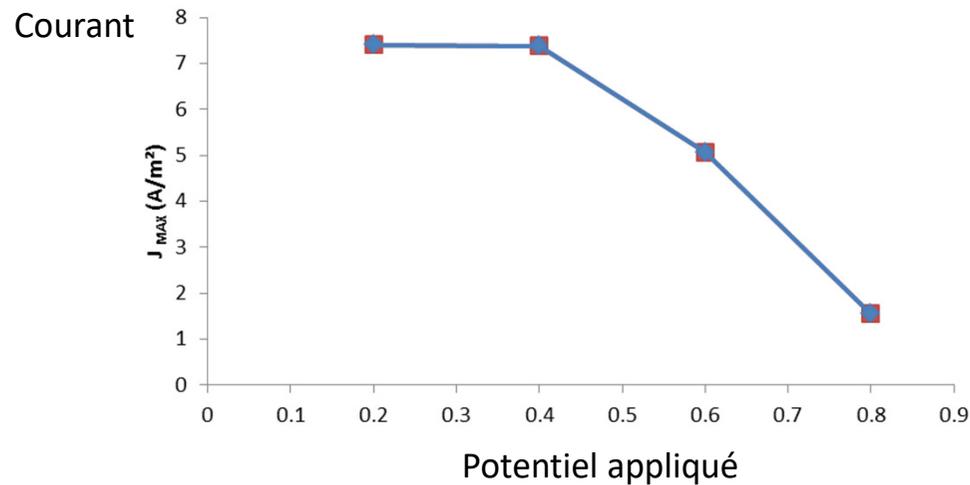
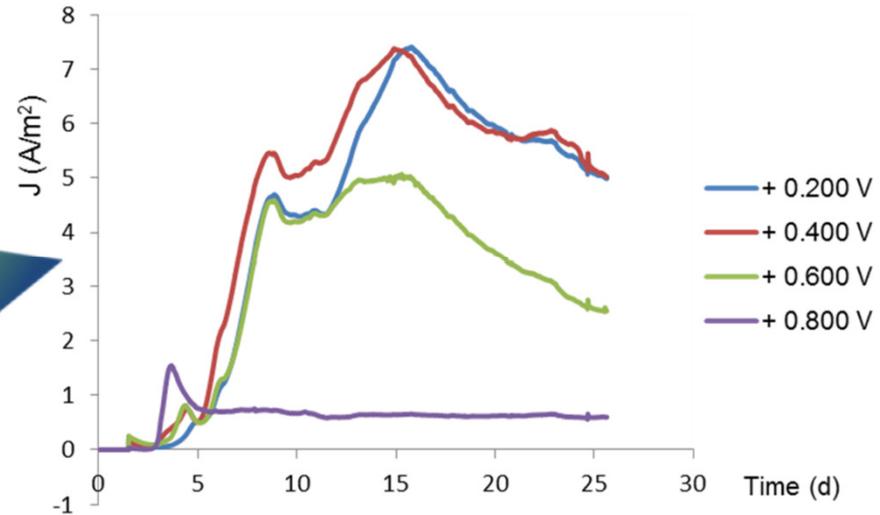
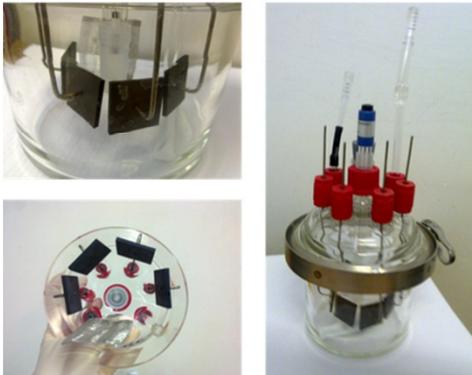
=> particulièrement favorable au systèmes bioélectrochimiques (BES)

Approche expérimentale



PHASE A: Sélection d'un potentiel appliqué

4 électrodes de travail (=4 potentiels différents)



**+ 0,2V est le plus approprié
(moins d'énergie à fournir et
le plus performant)**

PHASE A: Résultats principaux

Une production de méthane améliorée par rapport au témoin sans courant

(x10) !

experiment	CH ₄ %	Volumetric production (mL _{CH₄} /LOBWW)	YIELD (mL _{CH₄} /gCOD _{cons})
TOPW biofilm	63 ± 1	701 ± 13	109 ± 21
control (no applied potential)	7 ± 6	69 ± 69	-

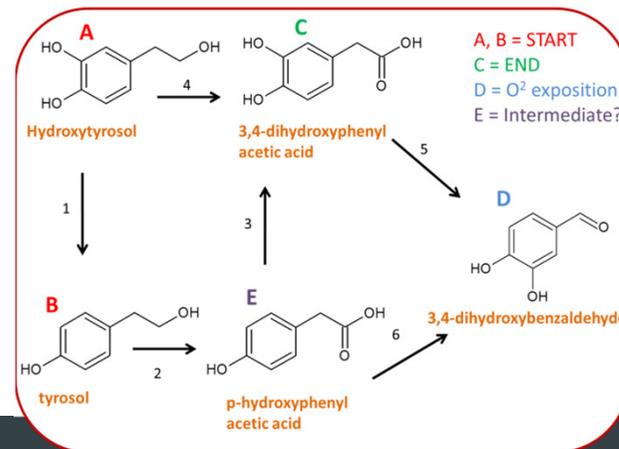
Paramètres électrochimiques

(→ biofilm à l'électrode très actif)

experiment	time (days)	J _{MAX} (A/m ²)	Q _{MAX} (C)	CE (%)
TOPW biofilm	22 ± 3	7.1 ± 0.4	11780 ± 936	30 ± 2.9

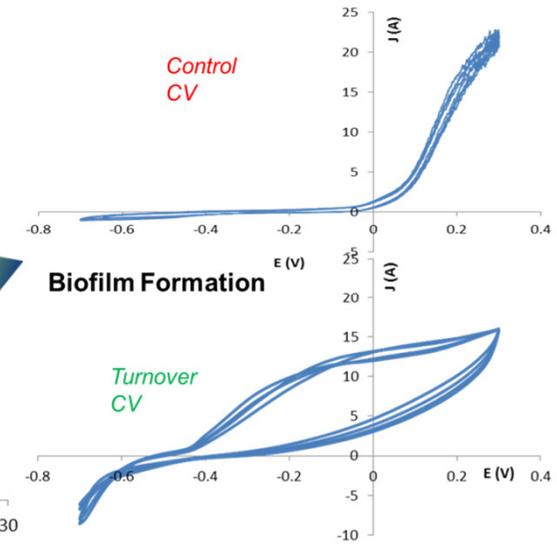
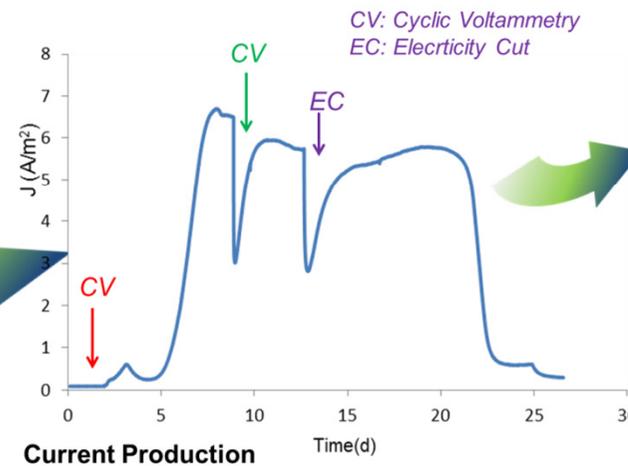
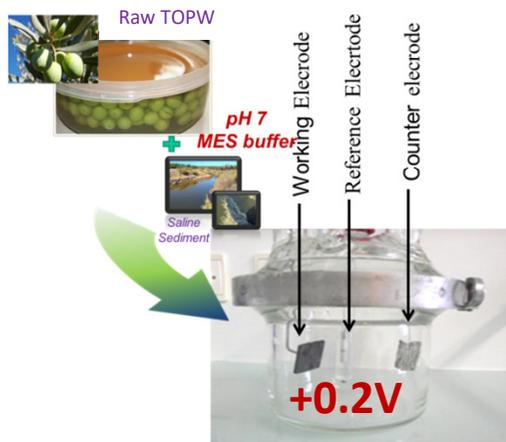
Efficacité de dégradation des polyphénols entre 57 et 82%

(Nouvelle voie de dégradation proposée de l'Hydroxytyrosol et Tyrosol)



En collaboration avec Emmanuelle Meudec (UMR1083 Sciences pour l'œnologie, Montpellier pour l'analyse UPLC-MS)

PHASE B: Enrichissement en bactéries électroactives



Enrichissements successifs par ajouts d'acétate puis test sur les effluents (en duplicats)

PHASE B: Résultats principaux

Une production de méthane encore améliorée (doublée)

Et x20 par rapport au témoin sans courant !

experiment	CH ₄ %	Volumetric production (mL _{CH₄} /L _{OBWW})	YIELD (mL _{CH₄} /gCOD _{cons})
TOPW biofilm	63 ± 1	701 ± 13	109 ± 21
acetate enriched biofilm	80 ± 2	1356 ± 37	199 ± 22
control (no applied potential)	7 ± 6	69 ± 69	-

Toutefois une efficacité de dégradation des polyphénols réduite entre 33 et 37%

(plus grande spécificité du procédé de méthanisation)

Paramètres électrochimiques

(→ biofilm à l'électrode encore plus actif

après enrichissement sur acétate)

experiment	time (days)	J _{MAX} (A/m ²)	Q _{MAX} (C)	CE (%)
TOPW biofilm	22 ± 3	7.1 ± 0.4	11780 ± 936	30 ± 2.9
acetate enriched biofilm	79 ± 1.5	5.3 ± 0.4	38212 ± 1016	94 ± 16

Analyses microbiologiques

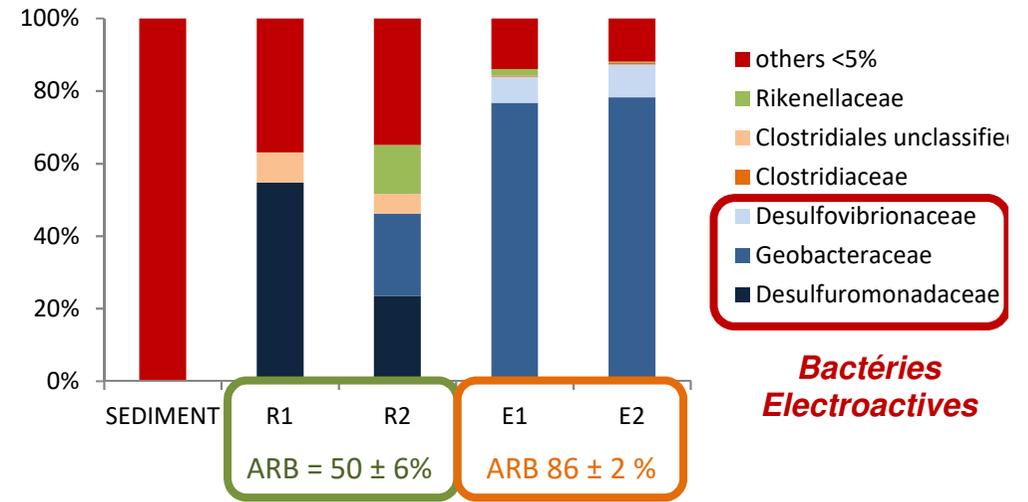
Analyse des biofilms sur les électrodes

En vert: phase A (non enrichi)

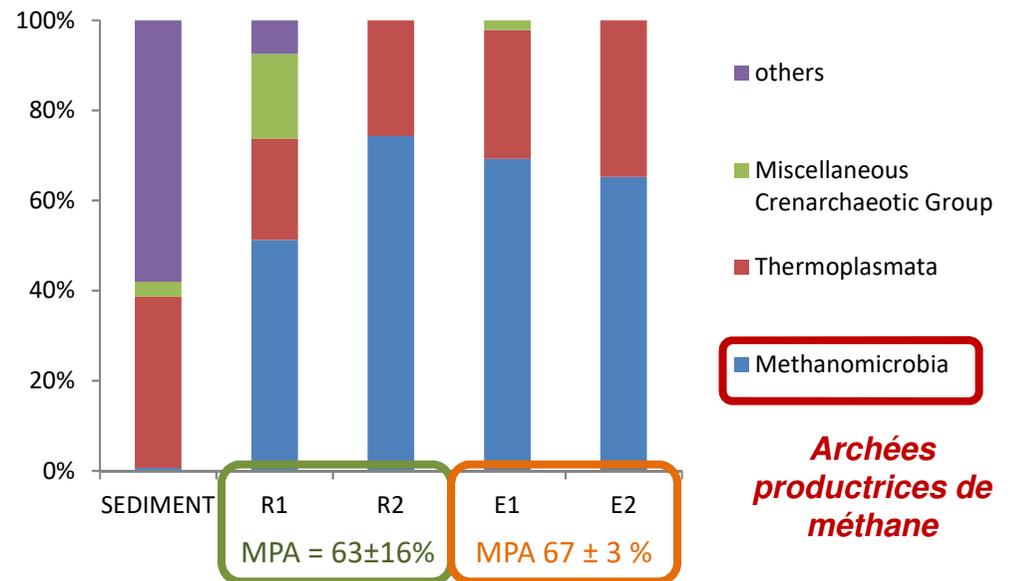
En Orange : Phase B (après enrichissement)

**Enrichissement spécifique
en bactéries électroactives et
archées méthanogènes
(confirmation des résultats
macroscopiques)**

Anodic biofilm 16S rDNA bacterial gene sequences



Anodic biofilm 16S rDNA archaea gene sequences



Conclusions

Ces travaux ont permis de tester une technologie innovante de traitement et valorisation sur des saumures des procédés de préparation d'Olive de Table, normalement réfractaire à toute dégradation biologique

Avec un procédé "simple" et peu coûteux en énergie (qqq W/L), il a été possible de montrer:

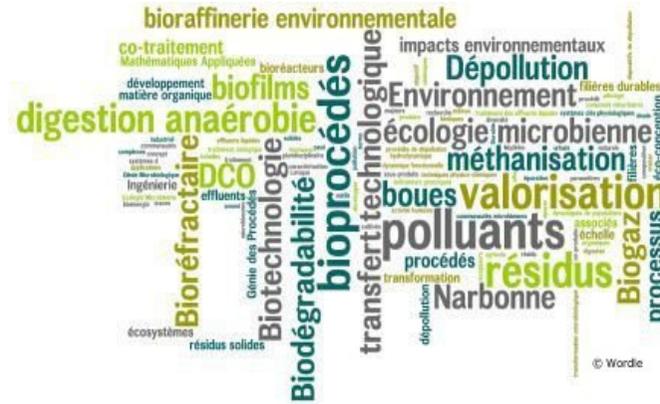
- *Une amélioration (jusqu'à x20) du rendement en methane $1.4 L_{CH_4}/L_{TOPW}$ (soit 200mL/gDCO consommée)*
- *Une dégradation jusqu'à 80% des principaux polyphénols initialement présents dans l'effluent*
- *Une réduction de la DCO totale d'environ 30% en une vingtaine de jours.*

Néanmoins, à ce jour et malgré ces résultats prometteurs, les procédés bioélectrochimiques nécessitent :

- *d'optimiser les paramètres opératoires (taille des électrodes, puissance fournie, température)*
- *de tester les performances sur des périodes plus longues de fonctionnement (continu)*
- *d'évaluer la robustesse et la variabilité face aux différents effluents industriels.*

(+ possibilité d'extraction des polyphenols par des techniques membranaires ?)

Merci de votre attention



Accès direct
Votre choix
Rechercher

Thèmes de recherche
Production scientifique
Projets
Enseignement
Personnel
Partenaires hébergés
Offres de thèse/stage/emploi
Conférences
Expertise
Moyens techniques
Prestations de service
Partenariats
Implantations

Accueil

Edito

Le Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement (LBE) situé à Narbonne est une unité propre de recherche de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). Concentré d'innovation, le LBE mène des recherches centrées sur le concept de la bioraffinerie environnementale.

Actualités

Thèse CIFRE Sciences des procédés
Valorisation de digestats de méthanisation
[Lire la suite](#)

Contrôler les écosystèmes microbiens grâce à la communication entre bactéries
Des travaux du LBE font l'objet d'une publication dans Nature communications
[Lire la suite](#)

Thèse - Microbiologie ou génie microbiologique
Eco-ingénierie des biofilms électro-actifs
[Lire la suite](#)

Thèmes de recherche

- Ecologie Microbienne et Biodiversité
- Biofilms Mixtes en Réacteurs
- Biodégradabilité, Biogéradabilité et Co-traitements
- Ingénierie et filières de Méthanisation
- Développement Technologique et Innovation

Le LBE en bref

- Le LBE en vidéo
- Page Google+
- Visite virtuelle du Parc



<http://www.montpellier.inra.fr/narbonne>