

# V12Bio

Combiner la production de biogaz à l'échelle villageoise avec la pyrolyse dans des poêles à biomasse pour une cuisson et une production de froid propres, durables et hors réseau

# ***VIL2BIO***

**JUILLET 2023-MARS 2026**

Pascale GILLON Coordinatrice  
Directrice de recherche CNRS  
Laboratoire GEPEA Saint-Nazaire



# **LEAP-RE**

Long-Term Joint EU-AU Research  
and Innovation Partnership on Renewable Energy

## **Pillar-1 project**

Intégration de la biomasse dans des modèles  
d'économie circulaire : Opportunités pour les  
Economies Africaines



The LEAP-RE project has received funding from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Program under Grant Agreement 963530.

**Consortium** 10 partenaires de 5 pays

**GEPEA**- Saint-Nazaire France

**ICARE** Orléans - France

**ALTRAN** - Altran Technologies France

**CDER** - Centre de Développement des  
Energies Renouvelables Algerie

**TUHH** - Hamburg University of Technology  
Allemagne

**IBBK** - IBBK Fachgruppe Biogas GmbH  
Allemagne

**KIRDI** - Kenya Industrial Research And  
Development Institute Kenya

**UONBI** - University of Nairobi Kenya

**UH1** - Université Hassan Ier Settat Maroc

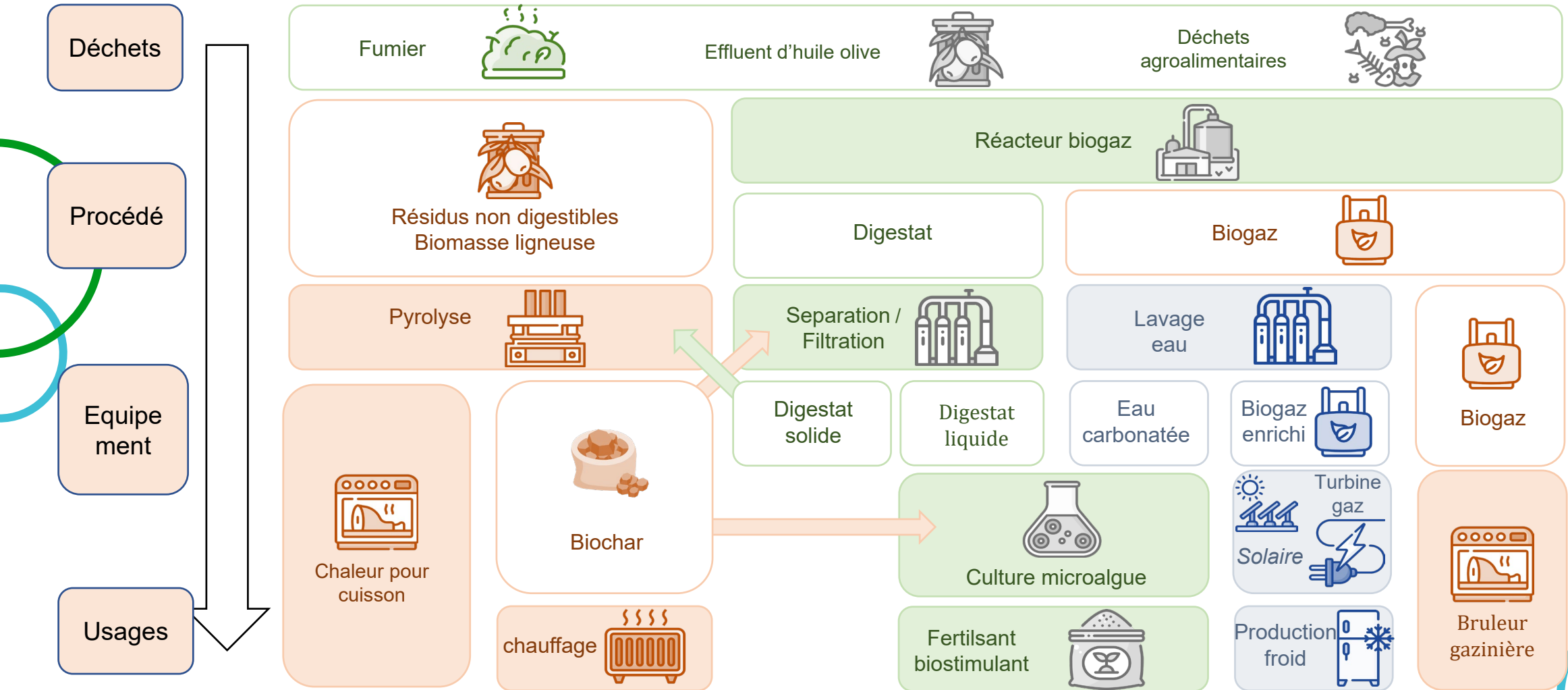
**USMS** - Sultan Moulay Slimane University  
Maroc

## Objectifs du projet

Combiner la production de biogas par digestion anaérobie et la transformation de biomasse en four de pyrolyse à l'échelle d'un foyer ou d'un village pour alimenter en énergie hors réseau la cuisson propre et sure

1. étude socio-économique pour évaluer les besoins des populations locales et guider les choix de technologies de production de chaleur par fours de pyrolyse ou biogas.
2. analyse des sources de déchets
3. développement des technologies bas coût pour la cuisson propre dans les foyers utilisant les déchets urbains ou agricoles locaux
4. Concept d'économie circulaire pour l'eau, les nutriments et limiter les émissions.

## Analyse socio-économique, politique et environnementale des technologies de cuisson propres dans les ménages ruraux au Kenya



# Enquête auprès des villageois



LEAP-RE

Analyse couplée socio-économique, institutionnelle et environnementale des technologies de cuisson propres dans les foyers ruraux au Kenya (Kiambu County)

- Mise en place de deux questionnaires : préférences en technologies de cuisson, analyse des investissements
- Choix des échantillons et réalisation du sondage (100 foyers)
- 1eres analyses

Université de Nairobi Kenya & Université Sultan Moulay Slimane Maroc



Les enseignements tirés de l'étude de référence ont mis en évidence la nécessité de disposer de solutions de cuisson propres, accessibles, durables et fiables pour améliorer la santé et réduire l'impact environnemental. Les problèmes de confiance et les expériences négatives passées avec les ONG ont été identifiés comme des obstacles qu'il convient de surmonter

## Kenya - Pyrolyse

- Bois et granulés (sciure et tiges de caféier)

## Kenya – Méthanisation

- bouses de vache, fumier chèvre et mouton, herbes, tiges bananes, maïs, résidus de thé.

## Maroc : digestion anaérobie (déchets urbains, oléicoles et agricoles)

- Fumier de bovins, déchets alimentaires, tourteaux d'olives

## Algérie

- Fumier de vache, boues de step

## Allemagne

- Analyses des échantillons (potentiels méthanogènes et chaleur calorifique)

Kirdi Kenya & U. Hassan 1 Maroc & TUHH Allemagne

# Développement des technologies

Four de pyrolyse type Anila ou TLUD : 2 chambres= combustion et pyrolyse

Entrée : biodéchets carbonés secs (bois, pailles, ...) non digestibles

Sortie : chaleur et biochar

KIRDI & ICARE & Altran



Digesteur Anaérobie

Entrée : déchets digestibles + eau + énergie (chauffage+ mélange)

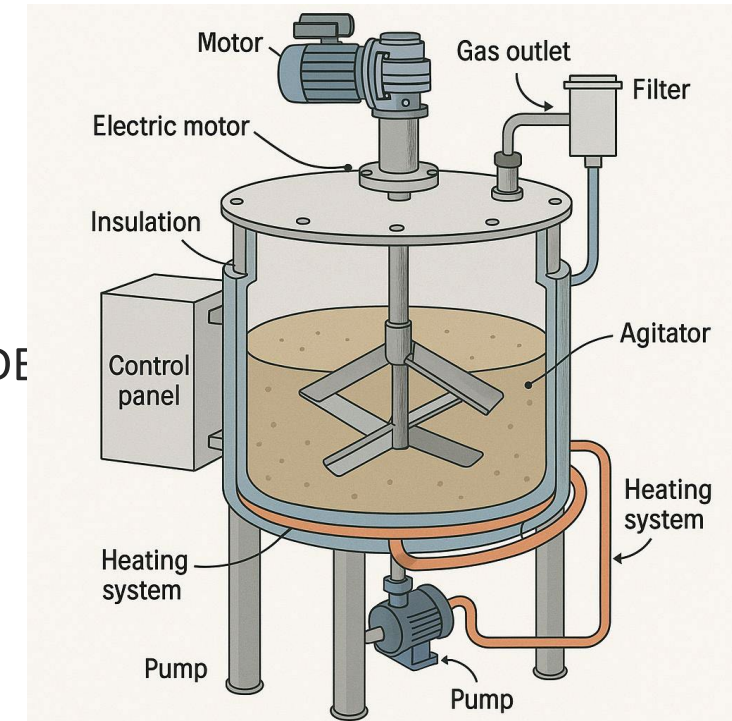
Sortie : biogaz ( $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \dots$ ) Digestat

KIRDI, Université Hassan 1 & Université technique de Hambourg & IBBK GmbH & CDE

Laveur de biogaz, traitement digestat et culture de microalgues

Sorties : eau chargée en  $\text{CO}_2$ , digestat liquide, microalgues pour fertilisation

ICARE & UH1 & CDER & GEPEA



# Fours de pyrolyse pour cuisson



LEAP-RE

## Pyrolyse



USMS Maroc



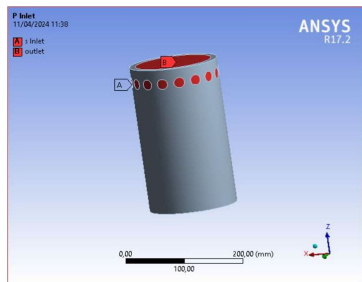
ICARE Orléans

## Briquettes de biochar



Formation sur site de fabrication de briquettes de biochar par presse manuelle

Fours de pyrolyse TLUD testés au Kenya  
Substrats : Briquettes & bois



Simulation de la chambre d'un four de pyrolyse ICARE-Cap-Gemini France

# Digesteurs biogaz



LEAP-RE



## Réacteur pilote UH1 Maroc

Cylindrique: 80L (40 cm diamètre x60 cm haut)

Base conique renforcée+ hublot d'inspection

Mélangeur

Régulation thermique (Mésophile 35-40°C)

Biogaz et traitement : compresseur et stockage en sac flexible

Plateforme de contrôle à distance IoT

microcontrôleur connecté aux capteurs

transmission des données via GSM/Wi-Fi

Système solaire par 2 panneaux PV, avec batterie et contrôle de charge

Pour alimenter : agitateur, PID, ESP232 et capteurs



## Digesteur CDER Algérie

Cylindrique en inox 316L, Paroi triple

Volume : 150 L

Mélange continu, système de chauffe  
et boîtier de contrôle

Substrat : 40% fumier+ 30% déchets alimentaires+  
30% résidus agricoles

Production : 0.2 m<sup>3</sup>/jour, Teneur CH<sub>4</sub> 55–65%

# Biodigesteur flexible au Kenya



LEAP-RE

Biodigesteur de Flexibiogaz installé dans une ferme au Kenya: 12 m<sup>3</sup>

Alimentation par jour = 40 kg déchets et 50 kg d'eau → Production attendue 2 m<sup>3</sup> biogaz/ jour

Stockage du gaz en ballon



Assemblage du sac de digestion, 7 jours après alimentation et connexion à une gazinière 2 feux

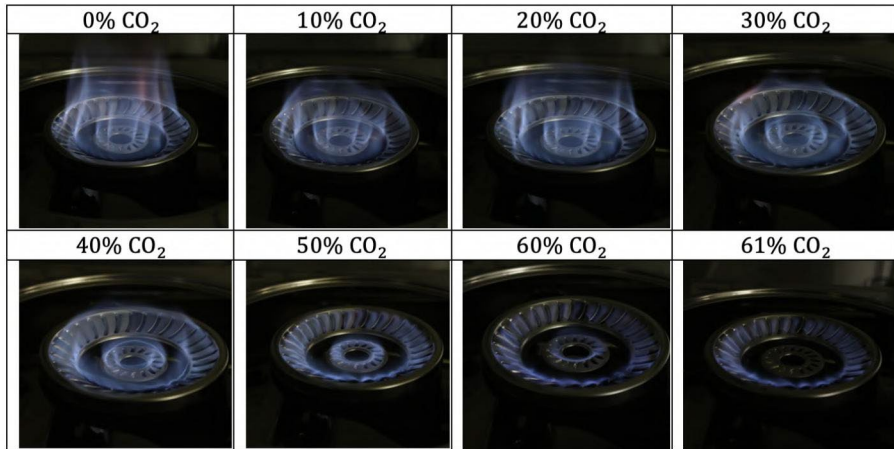
Analyse et caractérisation des différents substrats disponibles : bouses de vache, fumier chèvre et mouton, herbes, tiges bananes, maïs, résidus de thé.

Formation des utilisateurs pour la confection des mélanges de substrats en fonction des analyses

# Gazinières à biogaz



LEAP-RE



Influence de la teneur en CO<sub>2</sub> sur la combustion d'une flamme de biogaz, illustrée par trois brûleurs à biogaz différents.

Le brûleur à injecteurs multiples fonctionne dans une plage de 0 à 64 % de CO<sub>2</sub> (pour 1 kW).

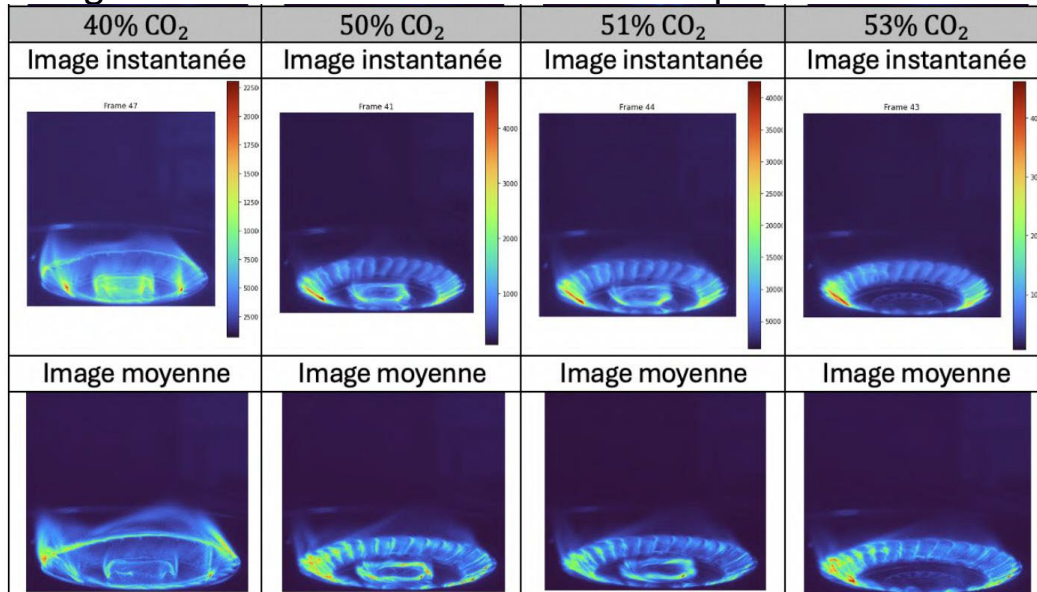
Le brûleur à swirl fonctionne jusqu'à 53 % de CO<sub>2</sub> dans le cas d'une puissance fixe.

Le brûleur à trous multiples fonctionne jusqu'à un maximum de 53 % de CO<sub>2</sub> (cas fixe de 1 kW).

Au-delà de 65 % de CO<sub>2</sub>, la flamme de biogaz s'éteint complètement.



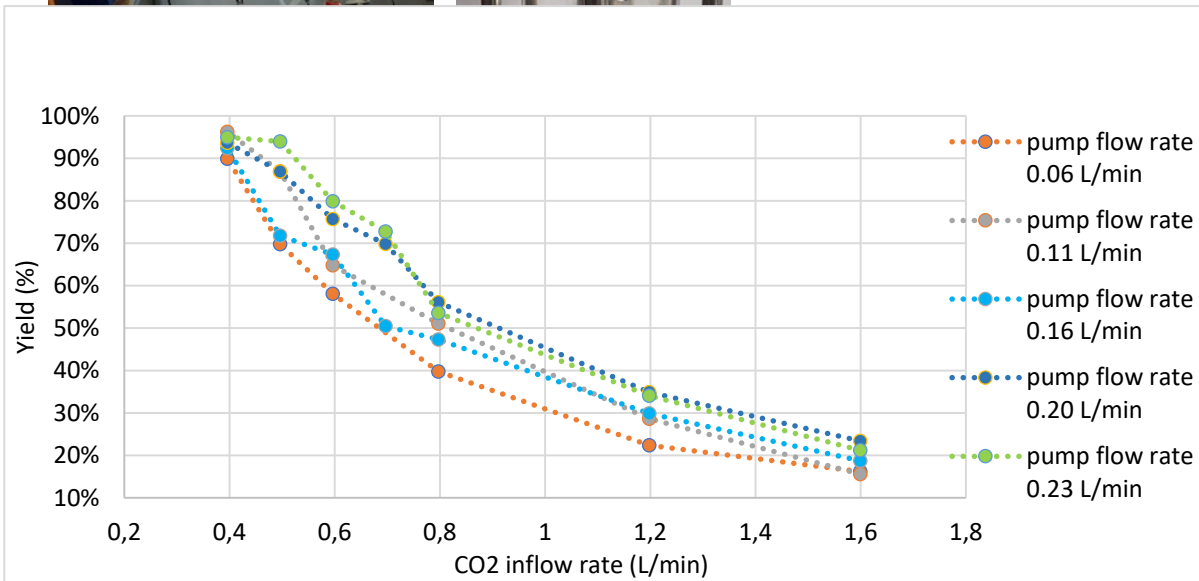
Images with a variation in CO<sub>2</sub>% : flame power of 1kW



Instantaneous and average OH\* chemiluminescence images



Le biogaz est composé de méthane (50 to 85% by volume) et de CO<sub>2</sub> (25 to 45%) + H<sub>2</sub>S et NH<sub>3</sub>. On a dimensionné un dispositif de lavage à l'eau pour réduire la concentration en CO<sub>2</sub>. La colonne est un cylindre de 2 m fonctionnant sous 4 bar avec visualisation du transfert. La colonne est chargée en anneaux de Raschig de 5 mm. On utilise de l'eau du robinet. L'objectif est d'enrichir le gaz entrant en CH<sub>4</sub> et d'utiliser l'eau de sortie chargée en CO<sub>2</sub> pour la culture de microalgues.



L'abatement décroît quand le débit de CO<sub>2</sub> augmente. Les rendements sont compris entre 95% to 10%, montrant l'influence du flux entrant.

L'abatement le plus bas correspond à un débit d'eau de 0.20 L/min.

L'utilisation d'une eau basique permet de former des carbonates et donc d'augmenter la capture de CO<sub>2</sub>. Il est possible d'utiliser de la cendre de bois qui permet aussi d'augmenter la capture.

# Traitement du digestat pour une utilisation comme milieu de culture de microalgues



LEAP-RE

3 types de digestat (France)

Boues de STEP, Résidus agricoles, Mix

Méthodes de séparation

Décantation / Tamisage

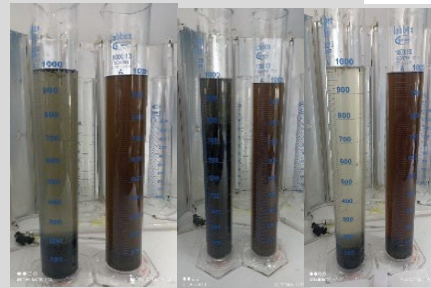
Centrifugation

Filtration

Analyses

DCO, NT, NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>,

pH, Turbidité



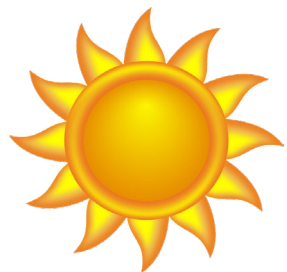
Digestat Algérie fumier de vache et STEP avant et après sédimentation et dilution



# Culture de microalgues

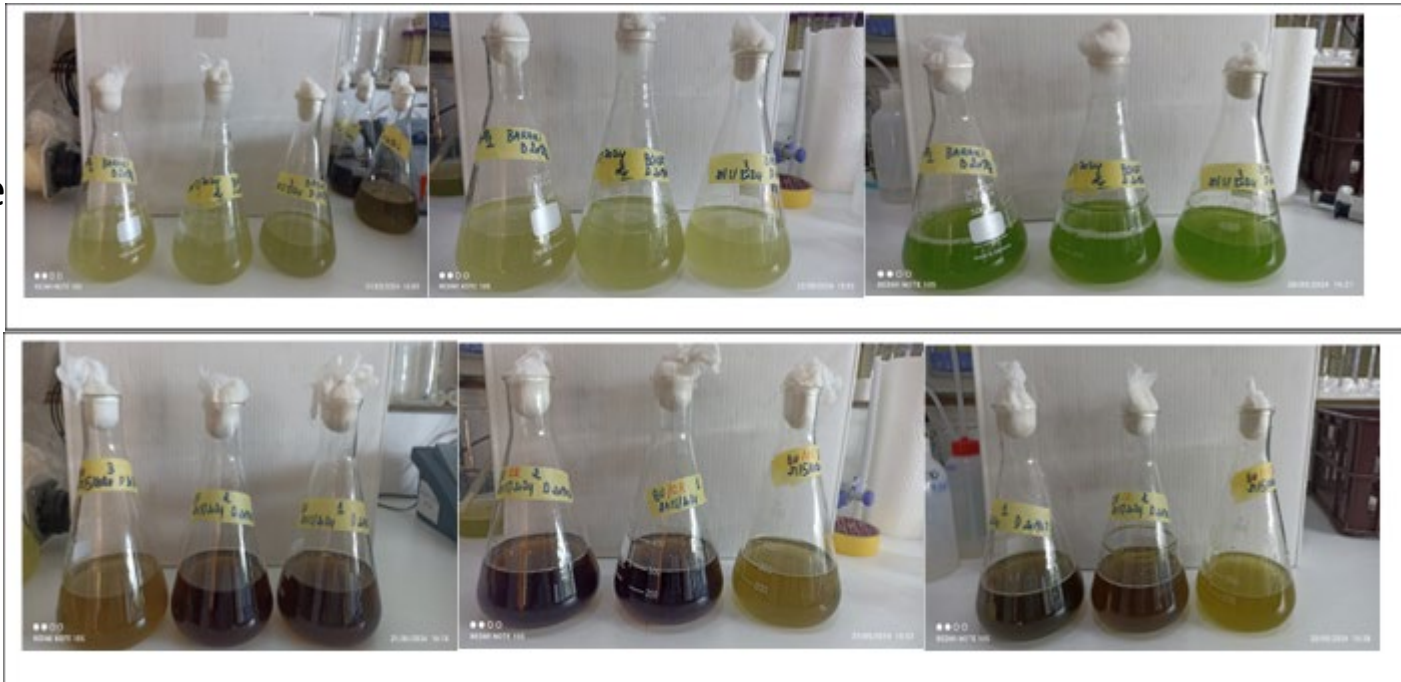


LEAP-RE



CDER  
échelle laboratoire  
Digestat de STEP  
Digestat Agricole

Lumière  
Eau  
Source de Carbone CO<sub>2</sub>  
Nutriments



Bassin raceway GEPEA  
échelle pilote, solaire



## Utilisation des effluents

- Digestat liquide (source de nutriments)

Nécessaire analyse de la teneur en azote et en ions Ammonium ( $\text{NH}_4$ ) risque d'inhibition de croissance

Turbidité : accès à la lumière

- Eau de lavage (pour dilution)  
contient  $\text{CO}_2$  dissous mais pH élevé
- Conditions de culture  
Évaluation du taux de dilution en fonction des analyses du digestat prétraité. (concentration, coloration) à Échelle laboratoire
- Passage à échelle pilote

## ► Biofilm de microalgues sur biochar

- Caractéristiques du biochar
- Adsorption des nutriments du milieu de culture par le biochar
- Culture de microalgues en présence de biochar

Quantité de biochar, granulométrie...

Accès à la lumière, critères de croissance

Caractérisation de la croissance

Caractérisation du biofilm

Irrigation avec la suspension de microalgues : fertigation

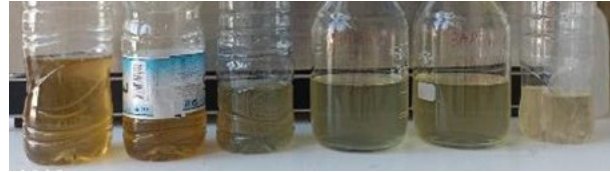
Amendement fertilisant : biofilm de microalgues sur support biodégradable

# Culture de microalgues sur digestat



LEAP-RE

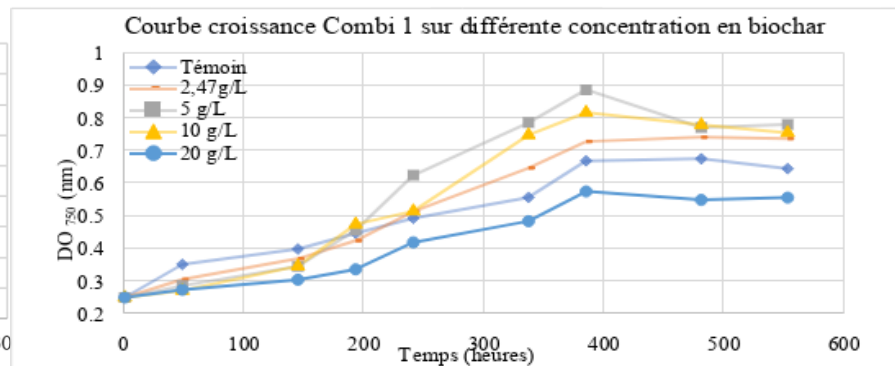
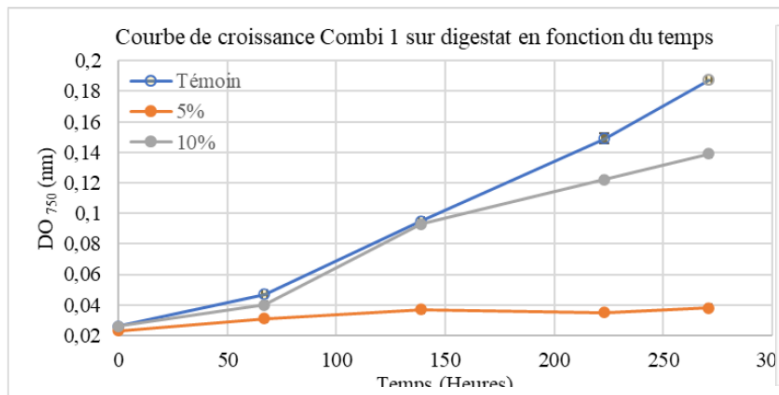
Digestat issu  
de STEP  
Sédimenté et  
dilué à 50%,



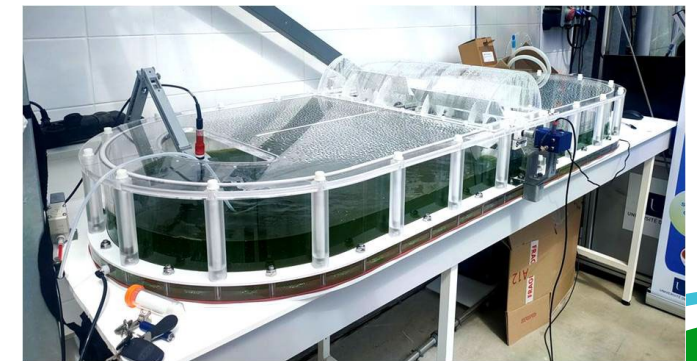
Clarification du digestat par microalgue

Production:  
Suspension diluée microalgues  
Biomasse microalgale (humide ou séchée)  
Biofilm de microalgues sur biochar séché

Bubble PBR CDER



Culture de microalgue en présence de digestat traité et en présence de biochar



Pilot raceway GEPEA

# Conclusion



LEAP-RE

2 technologies pour la production d'énergie en milieu rural hors réseau,  
fours de pyrolyse  
digesteurs anaérobies

Fours LTUD de petite taille et low cost distribués en cours d'implantation  
7 exemplaires au Kenya + 4 exemplaires au Sénégal pour cuisson propre  
Distributeurs Kenya (Gastov), Afrique du Sud, mais coût important (30 à 50 €)

Digesteur FlexibioGas en cours d'exploitation au Kenya,  
nécessaire implication des acteurs et formation

Intérêt pour des digesteurs en sac par d'autres communautés villageoises

Communauté urbaine au Maroc intérêt pour la gestion locale de déchets (taille réduite et instrumenté)

En France et en Algérie, couplage et circularité, intérêt pour la biomasse algale en fertilisation  
Essais en cours de culture en pots

# MERCI THANK YOU

CONTACT US FOR MORE INFORMATION



[www.leap-re.eu](http://www.leap-re.eu)



[contact@leap-re.eu](mailto:contact@leap-re.eu)



[@leapRE\\_EU](https://twitter.com/leapRE_EU)



Evaluation of some biomass resources: **biomass potential for biogas** in Algeria  
(CDER, Renewable Energy Development Center, Algeria)

Biomass resources	Annual biogas potential	Power generation potential (GWh)	(Electricity)
<b>Urban wastes</b>			
Organic fraction of household wastes	974 million of m <sup>3</sup>	1646	<b>188 MW</b>
Sewage from wastewater treatment plants	22.91 million of m <sup>3</sup>	38.72	<b>4 MW</b>
<b>Industrial and agribusiness wastes</b>			
Amurca from olive oil industry	10.5 million of m <sup>3</sup>	17.74	<b>2 MW</b>
Pomace from olive oil industry	–	215.5	<b>24 MW</b>
Whey from dairy industry	2.35 million m <sup>3</sup>	3.97	<b>0.1 MW</b>
<b>Total</b>	<b>1009.76 million m<sup>3</sup></b>	<b>1706.43</b>	<b>194 MW of electricity</b>

**Other potential biomass resources:**

- Agricultural effluents and residues (manure, straw)
- Agro-industrial effluents and residues (sugar, fruits, vegetables, beverages, alcohol, paper, meat industries)
- Firewood, wood residues (sawmills), **for combustion and pyrolysis**

→ Investigating all biomass resources is very difficult

Akbi, A., Saber, M., Aziza, M. and Yassaa, N., 2017. An overview of sustainable bioenergy potential in Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, pp.240-245.

# Les éléments présents dans le digestat liquide

caractéristiques	valeur	unités
pH	6.7-9.2	
COD	210-6900	mg.L-1
TIC	939-1353	mg.L-1
	139-3456	%
	65-98	
Azote total		mg.L-1
Pourcentage ammoniacal (TAN/Total N)	7-381	%
Phosphate Total	82-90	
Pourcentage phosphate (PO4-P/Total P)	102-2707	mg.L-1
Potassium	126-709	mg.L-1
	64-1044	mg.L-1
Sodium	3-659	mg.L-1
	160-438	

## Nutriments du digestat liquide de méthanisation

Le digestat contient en grande quantité des éléments utilisables pour la croissance des plantes comme les différentes formes d'azote, les phosphates et un ensemble de microéléments

Déchargé directement dans les sols peut conduire à une dégradation et une pollution des eaux de surface

Constituant des engrais traditionnels

Ici, culture de microalgues pour absorber une partie des nutriments contenus dans le digestat

La biomasse microalgale pour fournir azote, phosphore et potassium + facteurs de croissance

Le digestat liquide comme milieu de culture

- Rapport C/N et P/N (ratio Redfield C/N/P de 106/16/1)
- Niveau d'Opacité
- Présence de bactéries

Risques d'inhibition ou limitation de croissance

- Seuils à respecter <150 mg/L NH<sub>4</sub>, opacité <70 NTU
- Dilution

Les souches de microalgues ou de microorganismes à adapter

Captage des nutriments

Entre 81 et 93 gN/kg algue, pas de données précises pour P et K

## **Recyclage des effluents des opérations de transformation énergétique de la biomasse**

biochar pour amendement direct

biochar dans la séparation S/L par filtration du digestat

biochar de pyrolyse comme support de biofilm de microalgue

Digestat solide pour amendement direct

Digestat solide pour alimenter le four de pyrolyse

digestat liquide pour irrigation

digestat liquide pour alimenter en nutriments le milieu de culture de microalgues

CO<sub>2</sub> du biogaz dissous dans l'eau de lavage pour la culture de microalgues

## **Recyclage et économie de l'eau**

Utilisation eau de lavage du biogaz

Utilisation du digestat liquide

Récolte biofilm sans vidange du milieu de culture

# Flexibiogaz installation et fonctionnement



Préparation du sol



Assemblage



Installation de la serre et de la protection solaire



Préparation des intrants et alimentation

VI2Bo



[pascale.gillon@univ-nantes.fr](mailto:pascale.gillon@univ-nantes.fr)



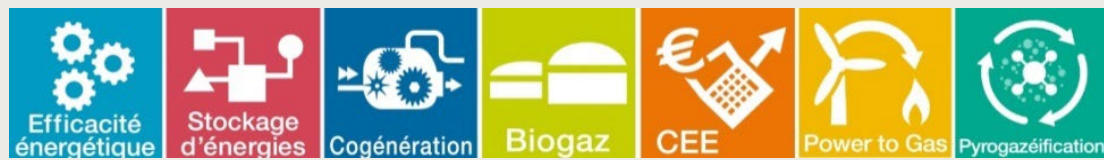
ATEE - Tour Eve - 1 place du Sud

CS20067 - 92800 PUTEAUX

Tél. : 01 46 56 91 43 - [www.atee.fr](http://www.atee.fr)



Retrouvez les infos scientifiques  
sur [InfoMetha.org](http://InfoMetha.org)



# Calendrier des Webinaires Janvier – Juin 2026

- **27 Avril de 14h à 15h** : Vil2Bio : Combiner la production de biogaz à l'échelle villageoise avec la pyrolyse dans des poêles à biomasse pour une cuisson et une production de froid propres, durables et hors réseau  
par Pascale Guillon Directrice de recherche CNRS GEPEA
- **5 mai de 11h à 12h** : Webinaire Regard de Jeunes Chercheurs
- **29 mai de 9h30 à 10h30** : Quelles externalités de la méthanisation ? Focus sur les gaz à effets de serre.  
par Hugo Kech, (Analyste Biogaz, AILE)
- **15 juin de 14h à 15h**: Methabiom : Evaluation des systèmes pour la méthanisation agricole en intégrant les spécificités territoriales et les indicateurs environnementaux.  
par Hélène PREUDHOMME (Agrotransfert) et Romain GLOAGUEN (Unilasalle)
- **25 juin de 9h30 à 10h30** : Méthascale : Changement d'échelle de la méthanisation : étude comparative du réacteur de laboratoire à l'unité industrielle.  
par Christine Peyrelasse (APESA) - Audrey Battimelli (Inrae) , Florian Monlau (Totalenergies), Grégory Vericel (Arvalis)