

INRAE



➤ Pré-compostage des intrants en méthanisation par voie sèche discontinue : problématique et recommandations

Diana García-Bernet¹, Néméhie Lawson¹, Henry Fisgativa², Valentin Fougerit²,
Renaud Escudié¹, Audrey Battimelli¹, Hélène Carrère¹

¹ INRAE-LBE, Université de Montpellier, 102 avenue des Etangs, 11100 NARBONNE, France.

²Naskéo Environnement, 52 rue Paul Vaillant Couturier, 92240 MALAKOFF, France

Montpellier, 28.01.2025

Plateforme Bio2E

Biotechnologie et Bioraffinerie Environnementales

Traitement et valorisation des effluents et des résidus issus des activités agricoles, industrielles ou d'origine urbaine

Mission

Assure la *continuum recherche* → *transfert de technologie* au LBE et la mise à disposition de moyens pour la réalisation d'études expérimentales de l'échelle laboratoire au démonstrateur, dans le domaine de la **biotechnologie environnementale**.



Offre

- Recherche collaborative et partenariale (consortia, BtoB)
- Etudes de R&D sur site industriel
- Hébergement



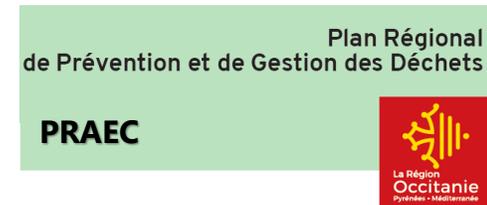
Ouverture

Les services de Bio2E sont ouverts aux acteurs du monde institutionnel, académique et industriel.

> Le projet Biogaz RIO

Contexte

- AAP PRRI « Plateformes Régionales de Recherche et Innovation » (FEDER/Région).
- Conditions : Réalité de la demande (et engagement) des entreprises ; projets relevant d'un domaine de spécialisation intelligente de la Région Occitanie.



Objectifs :

- Développement de solutions pour répondre aux besoins de la filière → **amélioration et sécurisation des performances des installations de méthanisation.**
- Amélioration de l'offre de Bio2E : renouvellement des équipements et maintien des compétences du LBE → **3S « Transition industrielle et énergétique »** .
- **Contribuer au développement économique local, en facilitant l'accès des PME locales à des outils technologiques de pointe en lien avec les bioénergies et bio-économie.**

➤ Résultats : des connaissances pour lever 4 verrous du développement de projets de méthanisation

Intrants : ***Cinétiques de dégradation*** des substrats et les prétraitements nécessaires pour améliorer leur biodégradabilité



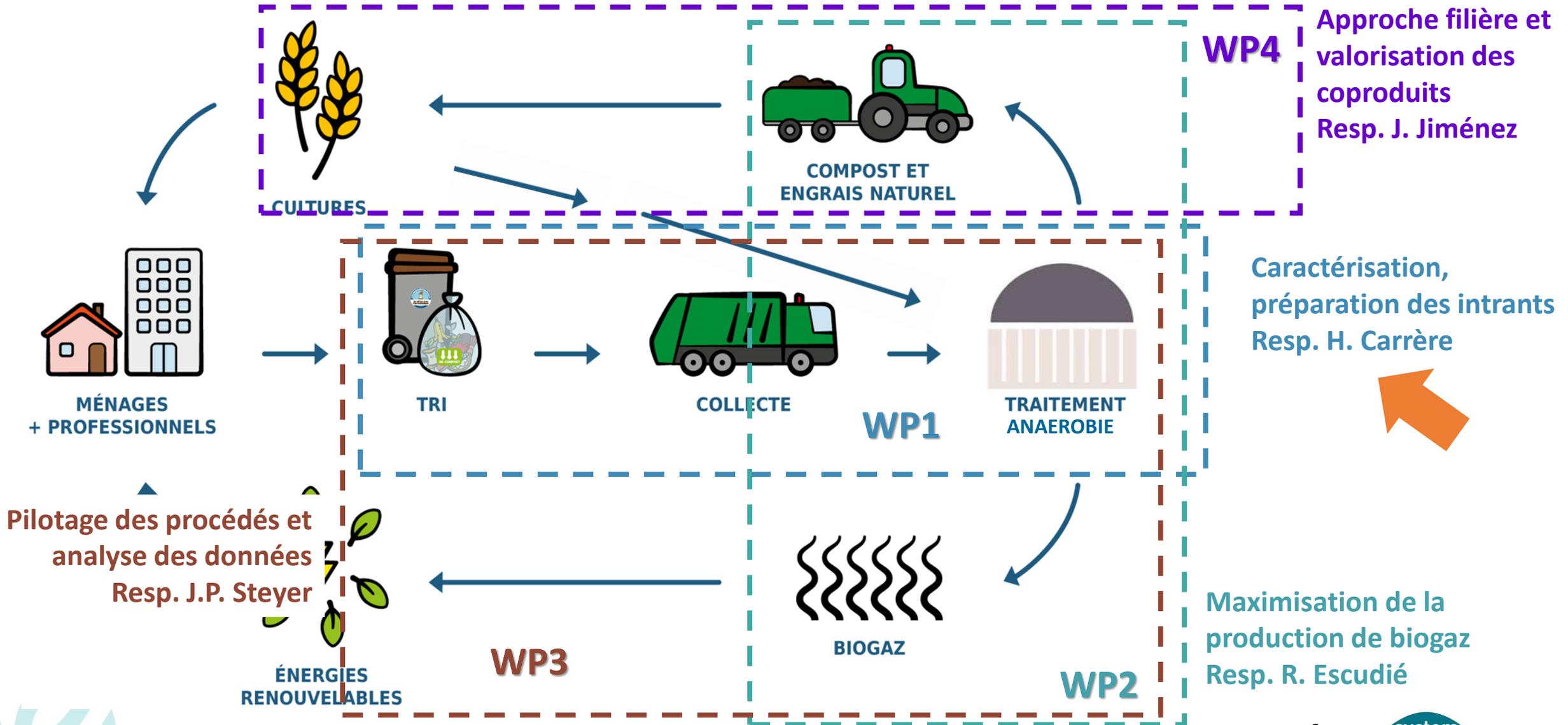
Compréhension et maîtrise des principaux ***paramètres*** opératoires et biologiques

Développement de systèmes pour l'acquisition et le traitement de données, le ***pilotage et la supervision*** des installations pour optimiser la production de biogaz



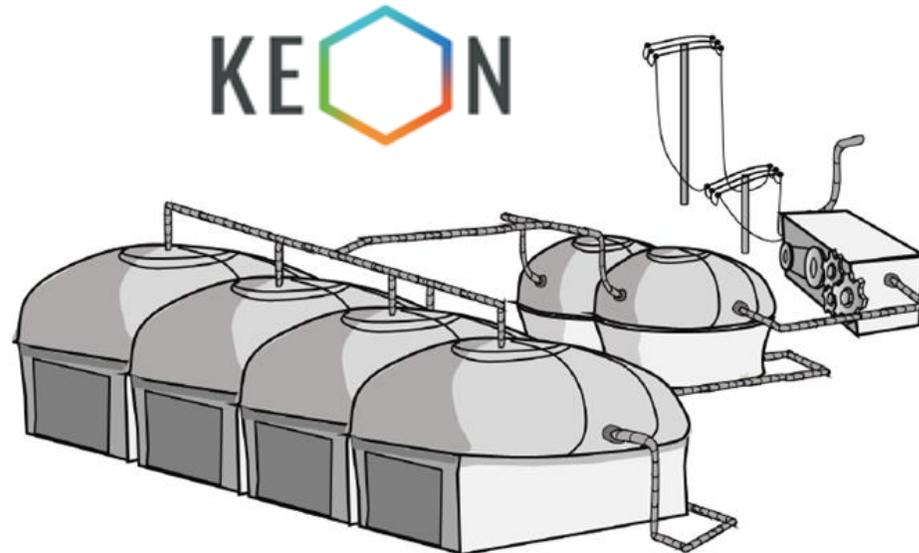
Une approche de ***valorisation maximale*** des coproduits de la méthanisation

➤ Programme de travail



➤ La méthanisation à la ferme

- Matières premières : fumier de bovins, fumier de chèvres, fumier de volailles, cultures énergétiques intermédiaires (ensilage), sous-produits céréaliers et digestat
- Plusieurs digesteurs en parallèle à différents stades de digestion ; 300 t d'intrant par lot, cycles de 40 jours
- Pour obtenir une production continue de biogaz, 40 % de CH₄ dans le biogaz doit être atteint le plus rapidement possible au début du lot
- Un préchauffage est nécessaire.
- Cogénération



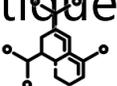
➤ Matériels et méthodes Suivi du prétraitement sur site

- Suivi de la température et de la perte de masse des substrats grâce à des dispositifs adaptés et prélèvements des substrats



Systeme de pesée (1 T)
et station météo

- Paramètres du prétraitement :

- Durée (de 1 à 8 jours) 🕒
- Equipement utilisé (godet, épandeur ou retourneur d'and )
- Substrats prétraités (mélange de fumiers avec ou sans co-substrat )
- Ajout d'enzymes dans le méthaniseur ou prétraitement enzymatique 

➤ Pourquoi préchauffer les intrants?

- La préparation des matières premières pour le processus de méthanisation VSD permet d'augmenter la température des substrats et donc de réduire le coût du chauffage pendant la phase de démarrage, mais elle entraîne également des pertes de carbone dans les matières premières biodégradables.
- L'objectif de l'étude était de déterminer la méthode de préparation optimale pour limiter cette perte. Pour ce faire, l'impact du préchauffage a été évalué en fonction :
 - des caractéristiques des substrats
 - leur potentiel méthane (tests BMP) et
 - le rendement de dégradation du réacteur



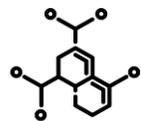
8 campagnes sur 4 saisons, 3 sites
4 outils de mélange (seau, épandeur, retourneur, broyeur)
24 à 8 jours de prétraitement
1 à 4 prélèvements pendant le pré-compostage
9 substrats différents sur les 3 sites
29 modalités différentes testées en double dans des réacteurs de laboratoire

➤ Matériels et méthodes

Différents paramètres testés pendant le prétraitement



| | Saison | Durée (jours) | Outil | Ensilage prétraité | Site |
|----------|---|---------------|------------------------|--------------------|------|
| Essai 1 |  | 7 | Epandeur | Oui | A |
| Essai 2 |  | 5 | Godet | Non | A |
| Essai 3 |  | 4 | Godet | Oui | A |
| Essai 4 |  | 6 | Godet | Non | A |
| Essai 5* |  | 8 | Godet | Non | A |
| Essai 6 |  | 6 | Godet | Non | B |
| Essai 7 |  | 4 | Godet | Non | B |
| Essai 8 |  | 1 | Retourneur d'andain | Non | C |

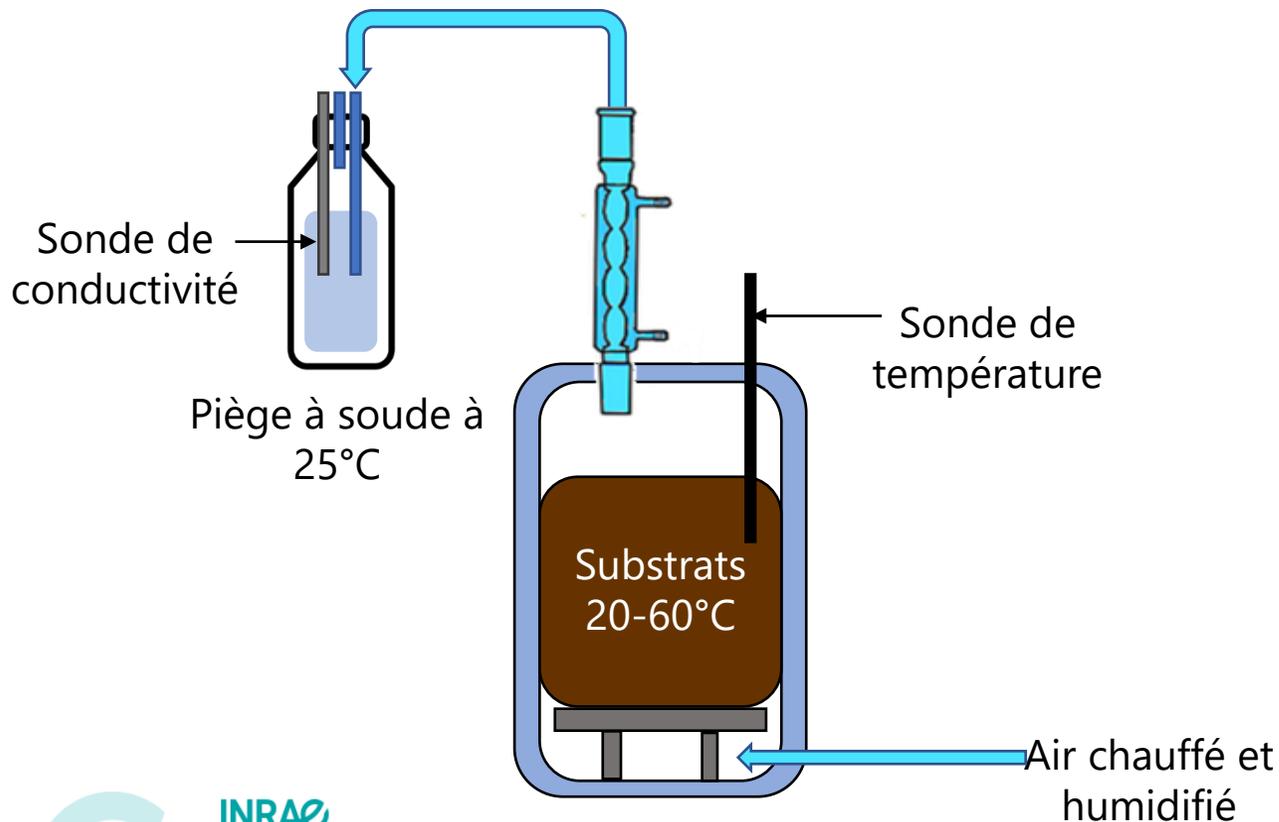


* L'ajout d'enzymes a été testé pendant l'essai 5 (résultats non présentés)

➤ Matériels et méthodes

Détermination de la perte en carbone pendant le prétraitement

- Dispositif qui permet de limiter l'évaporation : banc de compostage échelle labo



➤ Matériels et méthodes

Méthode d'évaluation de l'impact du prétraitement

- Essais en laboratoire avec les prélèvements des sites

Laboratoire



INRAE

4 conditions

t_0 avant prétraitement

t_1 pendant le prétraitement

t_2 à la fin du prétraitement

Conditions d'alimentation du site

Industrielle



Suivi des digesteurs (débit et composition du biogaz)

et

Prélèvements réguliers et analyse des percolats

➤ Principaux résultats – prétraitement et perte en masse

- Préchauffage efficace peu importe la saison
- 40°C obtenu après 1 à 4 jours
- Perte de masse de 1,7 à 3,9%/jour (eau + carbone)
- Peu d'influence de l'outil de mélange mais le godet est plus



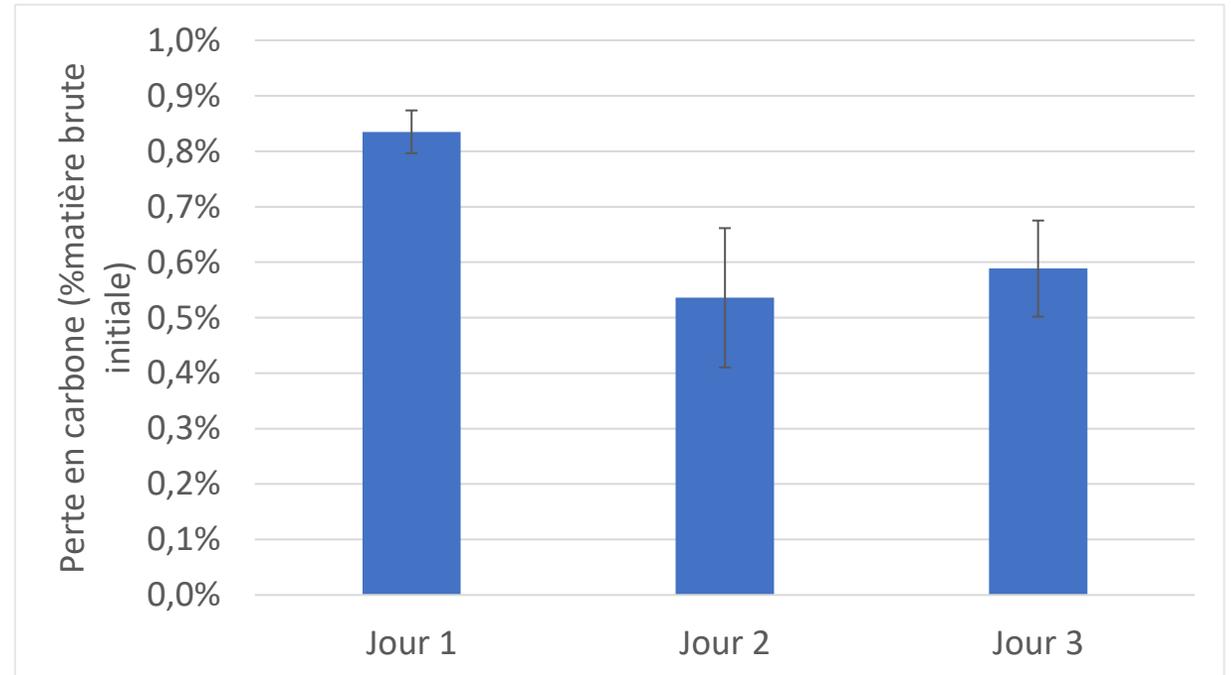
-23%

de consommation annuelle de carburant en utilisant le godet plutôt que l'épandeur

➤ Résultats

Prétraitement – Perte en carbone en laboratoire

| | Test 1 | Test 2 |
|---|---------|---------|
| Durée | 24h | 3 jours |
| Température finale | 45°C | 55°C |
| Perte en carbone par jour rapporté à la matière brute | 1,02%/j | 0,67%/j |

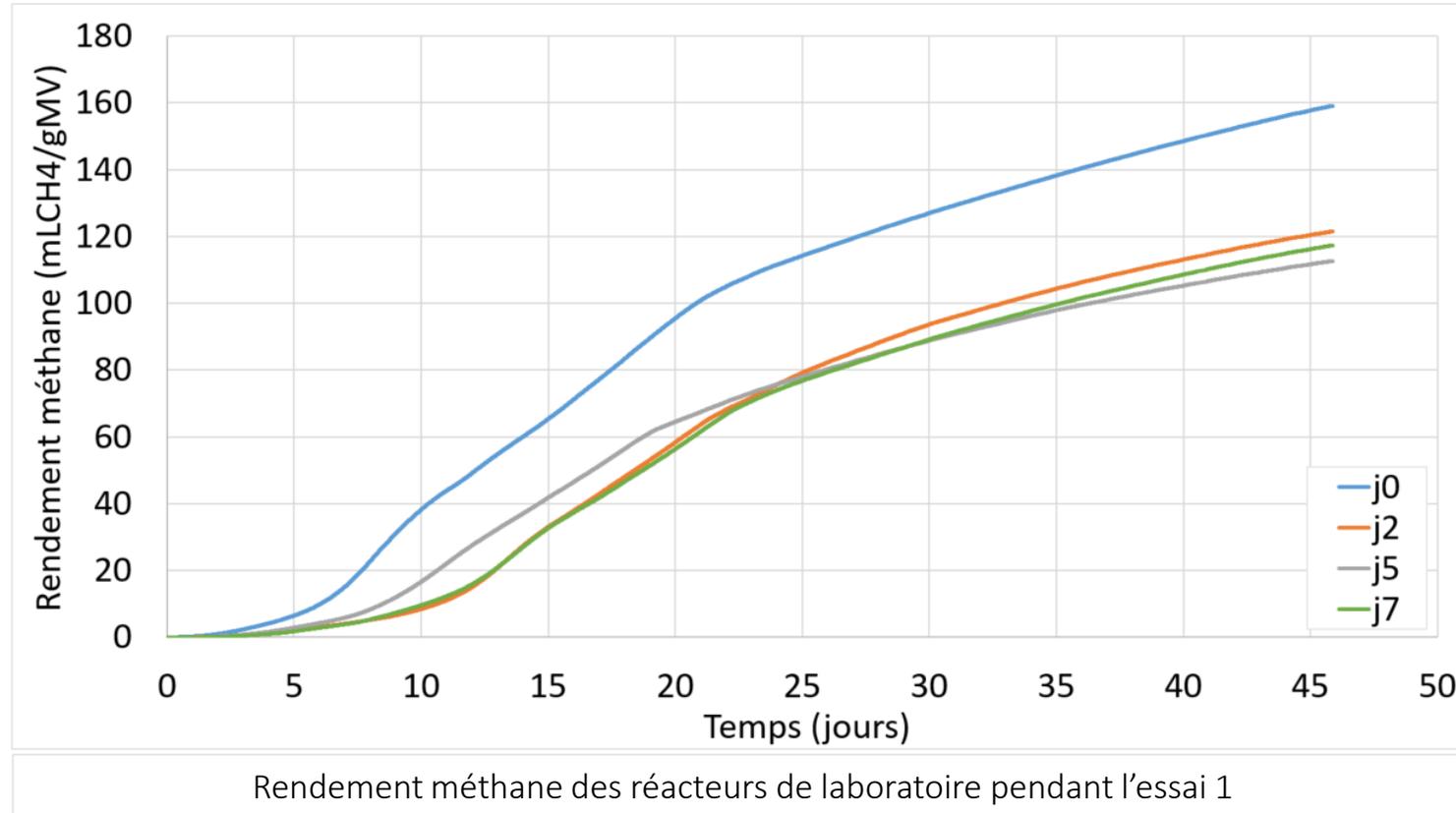


Perte en carbone journalière rapportée à la matière brute initiale pour le test 2

- Plus de 40% des pertes en carbone ont lieu pendant les premières 24h

➤ Résultats

Impact sur la méthanisation – Echelle laboratoire

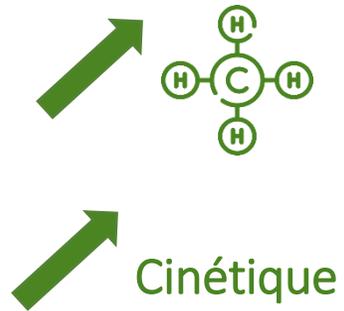


- Diminution du rendement méthane pour les substrats prétraités
- Pas de différence significative de rendement méthane entre les différentes durées de prétraitement

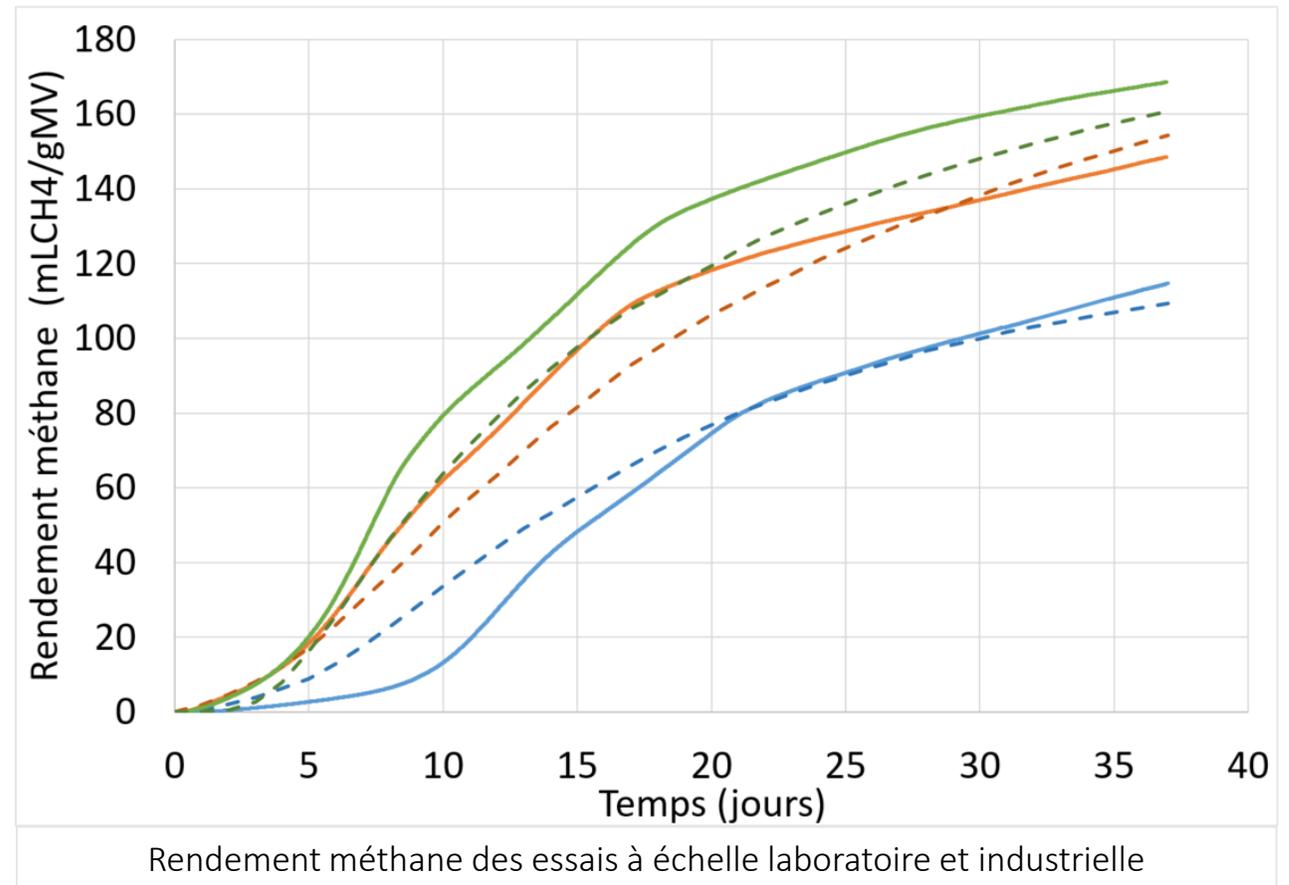
➤ Résultats

Impact sur la méthanisation – Prétraitement de l'ensilage à échelle industrielle

- Observation aux 2 échelles : ne pas prétraiter l'ensilage a un impact positif



| Laboratoire | | Site | |
|---------------|------------|-------------------|----------------|
| Avec ensilage | — (blue) | A - Avec ensilage | - - - (blue) |
| Sans ensilage | — (orange) | A - Sans ensilage | - - - (orange) |
| Sans ensilage | — (green) | B - Sans ensilage | - - - (green) |



➤ Conclusions

- ✓ Préchauffage efficace quelle que soit la saison ;
- ✓ 40°C obtenus après 1 à 4 jours
- ✓ Perte de masse de 1,7 % à 4 %/jour (eau + carbone)
- ✓ Plus de 40 % de la perte de carbone se produit au cours des premières 24 heures
- ✓ Peu d'influence de l'outil de mélange mais le seau est plus efficace
- ✓ Diminution du rendement en méthane pour les substrats prétraités
- ✓ Pas de différence significative entre les substrats pré-compostés
- ✓ Observation aux deux échelles : le prétraité a un impact négatif sur l'ensilage
- ✓ Effet du préchauffage non observé en laboratoire

Livrable : Guide de recommandations pour le pilotage du pré-compostage des intrants en méthanisation VSD (voie sèche discontinue)





©SAS Méthanchottes

Guide de recommandations pour le pilotage du pré-compostage des intrants en méthanisation VSD (voie sèche discontinue)

Un livrable du projet Biogaz RIO (Programme FEDER-FSE-IEJ 2014-2020 ; opération synergie LR0022182 ; numéro CCI 2014FR16MoOP006)

Janvier 2024



INRAE



INRAE

Avec la participation de GAEC Des Vallons, SAS Méthanchottes et SAS Méthasec



La préparation des intrants pour la méthanisation VSD*, appelée pré-compostage**, constitue une étape clé pour les exploitants de cette technologie: elle permet d'accélérer la phase de démarrage grâce à la montée en température des substrats, mais elle peut causer également une perte de potentiel méthane.

Les recommandations de ce document sont issues de 2 années de travaux, basés sur une approche combinant expérimentations de laboratoire et sur site :

- des essais de pré-compostage ;
- des données réelles de performance des sites ;
- la caractérisation des substrats avant, pendant et après pré-compostage ;
- les performances des réacteurs en laboratoire ;
- les retours et expériences des trois exploitants partenaires du projet.

L'objectif de ces fiches est de contribuer à optimiser les performances du procédé en lui-même, mais aussi à optimiser les pratiques sur site, en termes de coût d'exploitation et de main d'œuvre.

Sommaire



- **Réalisation des tests**
- **Fiches de recommandations**
 - F1. Outils de mélange**
 - F2. Durée de pré-compostage**
 - F3. Addition de co-substrats au mélange de fumiers**

* VSD : voie sèche discontinuée

** 1^{ère} étape de courte durée du compostage visant la montée en température mais évitant la stabilisation de la matière organique

➤ Réalisation des tests

Préchauffage des intrants :

- Prétraitement : aération simple
- Objectifs du prétraitement:
 - Homogénéisation des substrats
 - Chauffage des intrants
 - Accélérer la cinétique de démarrage



Suivi de la température et de la perte de masse des substrats grâce à des dispositifs adaptés et prélèvements des substrats.

Avantages

- ✓ Simple à mettre en place
- ✓ Faible coût

Inconvénients

- ✗ Perte en carbone sous forme de CO₂

8 campagnes sur 4 saisons, 3 sites
2 à 8 jours de prétraitement par site
1 à 4 prélèvements pendant le pré-compostage
9 substrats différents sur les 3 sites
9 modalités différentes testées en double dans des réacteurs de laboratoire

Paramètres du prétraitement :

- Durée (de 1 à 8 jours) 
- Equipement utilisé (godet, épandeur ou retourneur d'andain) 
- Substrats prétraités (mélange de fumiers avec ou sans co-substrats) 
- Ajout d'enzymes dans le méthaniseur ou prétraitement enzymatique 

> Fiche 1 : Outils de mélange

Quatre outils ont été utilisés pour la préparation et le mélange des substrats sur les sites par les agriculteurs-méthaniseurs :

1. Godet
2. Epandeur
3. Retourneur d'andain
4. Broyeur



Principaux résultats

L'utilisation du godet est nettement plus avantageuse, avec une **diminution de 23% des coûts et 20% du temps de travail.**

De plus la réduction du temps d'utilisation des engins permet de réduire leur usure, ce qui représente *in fine* un gain économique.

Recommandations sur les outils de mélange :



Outil à privilégier : Godet. Pratique, temps d'utilisation relativement court et faible coût.

Attention : veiller à mélanger et homogénéiser les intrants.



Emiettage des substrats compacts : épandeur, broyeur ou retourneur d'andain sont adaptés. Si tous les substrats sont compacts, il faut préférer le retourneur d'andain ou l'épandeur.



En été, éviter d'aérer avec le retourneur. Risque d'atteindre des températures (hyper)thermophiles pas recommandées pour la méthanisation.



INRAE
Si température insuffisante : répéter le processus de mélange. Attention à ne pas dépasser la température optimale.

Fiche 2 : Durée de pré-compostage



Substrats en prétraitement

Prétraitement – Perte en carbone en laboratoire

| | Test 1 | Test 2 |
|---|---------|---------|
| Durée | 24h | 3 jours |
| Température finale | 45°C | 55°C |
| Perte en carbone par jour rapporté à la matière brute | 1,02%/j | 0,67%/j |

Principaux résultats

- Préchauffage efficace peu importe la saison
- 40°C obtenu après 1 à 4 jours
- Perte de masse de 1,7 à 3,9%/jour (eau + carbone)
- Peu d'influence de l'outil de mélange mais le godet est plus économique

Recommandations sur la durée du pré-compostage :



Température idéale pour le chargement du garage : 40°C. Avantages : Réduction des besoins de chauffage, respect des conditions mésophiles de la méthanisation et limitation des pertes de masse lors du précompostage.



Température optimale pour stopper le pré-compostage : 40-45°C.

INRAE

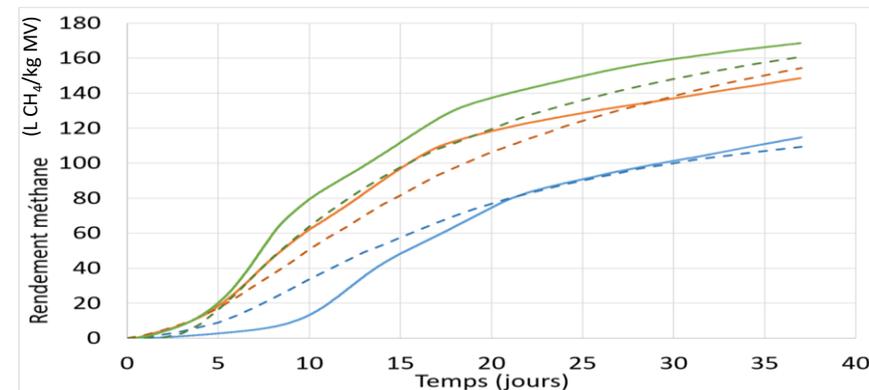


Durée moyenne : 4 jours (pour atteindre 40-45°C). A moduler selon les saisons: **hiver : 4-6 jours - été : 1-2 j.**

➤ Fiche 3 : Addition de co-substrats au mélange de fumiers

Observation aux 2 échelles (laboratoire et sur site) :
Ne pas prétraiter l'ensilage a un impact positif

| Laboratoire | Site |
|------------------------|----------------------------|
| Ensilage avec pré-ttmt | A - Ensilage avec pré-ttmt |
| Ensilage sans pré-ttmt | A - Ensilage sans pré-ttmt |
| Ensilage sans pré-ttmt | B - Ensilage sans pré-ttmt |



Principaux résultats

Fumiers majoritaires en méthanisation VSD : Pré-compostage obligatoire atteindre la température optimale.
Ajout de co-substrats avec un fort potentiel méthanogène possible avant le pré-compostage.

Recommandations sur l'addition de co-substrats au mélange de fumiers :



Ne pas pré-composter les substrats ensilés qui représentent moins de 25% du tonnage total des intrants.



Ensilage possible la veille du chargement pour atteindre la température optimale ; ou ajout et mélange le jour du chargement du garage.



Ajout de bio-déchets (fort potentiel méthanogène) aux fumiers. Proportion dans le mélange peut excéder 25%. Durée de pré-compostage à surveiller (par exemple minimum 2 jours pour les déchets d'oignons) pour limiter le risque d'inhibition (baisse de pH provoquée par l'accumulation des Acides Gras Volatils produits).



Le projet Biogaz RIO a eu pour vocation de produire des connaissances pour consolider les performances des installations de méthanisation. Plus précisément, l'objectif des travaux de recherche a été d'étudier les mécanismes clefs liés aux limitations de la performance des installations, afin de proposer des voies d'optimisation des procédés.

Plusieurs partenaires ont contribué aux travaux de ce projet dont le groupe KEON et en particulier sa filiale Naskéo. Ces résultats ont été possibles grâce à l'implication de trois exploitants agricoles (GAEC des Vallons, SAS Methanchottes et SAS Méthasec) qui ont participé au projet.

Ce projet a été porté par la plateforme Bio2E (Biotechnologie et Bioraffinerie Environnementales), l'outil de développement technologique du Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement (LBE) INRAE de Narbonne.

Pour plus d'informations : contact-bio2e@inrae.fr



INRAE



INRAE

