



**Votre correspondant :**

Romain CRESSON  
INRA Transfert Environnement  
Avenue des Etangs  
Narbonne, F-11100, France  
Tel: +33 (0)4 68 46 64 32  
Fax: +33 (0)4 68 42 51 60  
cresson@supagro.inra.fr

---

## **PROPOSITION TECHNIQUE ET FINANCIERE**

---

Etablie le :  
Référence :

PRESTATION DE RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT :

**ÉTUDE DE LA FAISABILITE TECHNOLOGIQUE DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE DE  
PRODUITS ORGANIQUES SOLIDES PAR METHANISATION « VOIE SECHE »**

Le coût relatif à la réalisation de la prestation est présenté en page 2. Le descriptif technique de la prestation, les modalités d'obtention des résultats, de conditionnement et de transport des échantillons, ainsi que les conditions générales de vente sont présentés en annexe.



## COÛT DE LA PRESTATION

Le coût relatif à l'étude de la faisabilité technologique du traitement biologique de produits organiques solides par méthanisation « voie sèche », est détaillé dans le tableau suivant :

Type de prestation	Prix unitaire Euros HT	Remise	Prix unitaire avec remise Euros HT	Quantité	Prix total remisé Euros HT
<b>Etude de faisabilité technologique</b> <i>Essai en bio-réacteur anaérobie voie sèche, à l'échelle laboratoire, pour l'étude de la faisabilité technologique du traitement biologique de produits organiques solides par méthanisation</i>					

<b>Total HT Euros</b>	
<b>TVA</b>	19,6%
<b>Total TTC Euros</b>	



## ANNEXE TECHNIQUE

### 1 Remarques préliminaires

La société souhaite confier à INRA Transfert Environnement, la réalisation d'un essai en bio-réacteur anaérobie voie sèche, à l'échelle laboratoire, afin d'étudier la faisabilité technologique du traitement biologique de produits organiques par méthanisation.

L'objectif de cet essai est double. Il s'agit, d'une part, de tester la biodégradabilité anaérobie du produit (ou du mélange de produits) et lever certaines incertitudes, notamment sur des effets potentiellement limitant (toxicité, inhibition, carence), pour le processus biologique de méthanisation. D'autre part, il s'agit de mesurer les performances du procédé, de dresser un bilan fonctionnel et d'obtenir les informations nécessaires au dimensionnement d'un méthaniseur industriel : débit et qualité du biogaz, performances de la méthanisation, production de boues, consommation de soude et d'additifs,...

Cette prestation sera réalisée au Laboratoire INRA de Biotechnologie de l'Environnement (LBE-INRA, <http://www.montpellier.inra.fr/narbonne/>), à Narbonne, par le personnel d'INRA Transfert Environnement.

### 2 Descriptif des essais

#### 2.1 Mise en œuvre de l'essai

Les essais de méthanisation à l'échelle laboratoire sont réalisés selon une méthode développée par l'INRA, spécifiquement adaptée pour l'étude du traitement des résidus solides, mettant en œuvre un réacteur anaérobie voie sèche, travaillant en mode discontinu séquentiel, dont le fonctionnement est présenté à la *figure 1*. Le fonctionnement de ce type de réacteur pilote de laboratoire a été analysé et comparé à des données de fonctionnement de réacteurs industriels. Les résultats montrent que ce type de réacteur pilote développé par l'INRA reproduit fidèlement les conditions et le comportement d'un réacteur industriel. Pour un déchet donné, les cinétiques de production de biogaz et de méthane, l'évolution des vitesses spécifiques de production de méthane, ainsi que les phénomènes d'inhibition (AGV, ammoniac) observés à l'échelle pilote reproduisent fidèlement les phénomènes observés à l'échelle industrielle.

#### 2.2 Fonctionnement en mode semi-continu

Au début de chaque cycle, une quantité connue du produit à étudier est ajoutée dans le réacteur au cours de la phase d'alimentation (étape 1).

Les bactéries dégradent la matière organique apportée au cours de la phase de réaction (étape 2), ce qui se traduit par la production de biogaz.

A la fin de la phase de réaction, la vitesse de production de biogaz chute, signe de la fin de la transformation de la matière organique. A la fin du cycle, la matière excédentaire est soutirée (étape 3), puis un nouveau cycle de traitement commence.

Le mode de fonctionnement semi-continu, avec mesure en ligne du débit de biogaz produit et du pH, a été choisi car il permet d'obtenir plus d'informations qu'un réacteur alimenté en continu. En effet :

- Au début de la phase de réaction, la matière organique est en excès. Il est alors possible de mesurer la vitesse maximale de production du biogaz qui est proportionnelle à la vitesse maximale de consommation du substrat. Ce

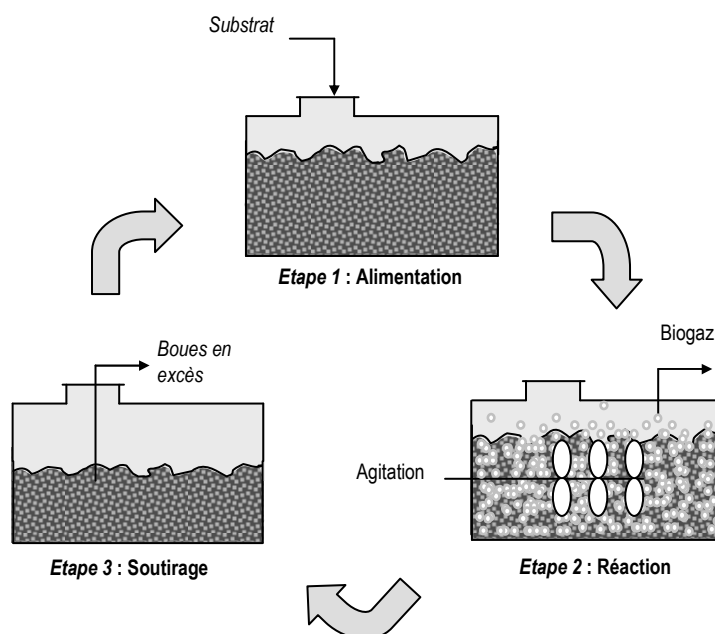


Figure 1 : Description des différentes étapes du cycle de fonctionnement d'un réacteur de méthanisation voie sèche



résultat permet d'estimer si la matière organique de l'effluent étudié est rapidement ou lentement biodégradable.

- Le suivi en continu du débit de biogaz et du pH permet de mesurer le temps nécessaire pour dégrader la matière organique apportée en début de cycle et d'estimer la charge maximale qui peut être appliquée quotidiennement.
- Le cumul et l'analyse de la composition du biogaz produit permettent de mesurer la quantité de méthane produite en continu et de calculer ainsi le potentiel méthane de l'effluent considéré.
- La mesure de matière en suspension (MES) permet de connaître le taux de dégradation des solides ainsi que la quantité de digestat produit lors de la méthanisation.

### 2.3 Dispositifs expérimentaux

La photo et le schéma ci-après présentent un réacteur de méthanisation voie sèche instrumenté. Le dispositif expérimental comprend un réacteur en inox enveloppe, de volume utile égal à 15 litres, agité mécaniquement à l'aide d'un module d'agitation composé de 16 pales dont la vitesse de rotation est de 3,2 tours/minutes, un pH-mètre et un débitmètre volumétrique à impulsion pour la mesure du débit de biogaz, une balance de précision pour le suivi de la variation de la masse. Le débit de biogaz, le pH et la variation de masse sont mesurés et enregistrés en continu grâce à un système d'acquisition en ligne.

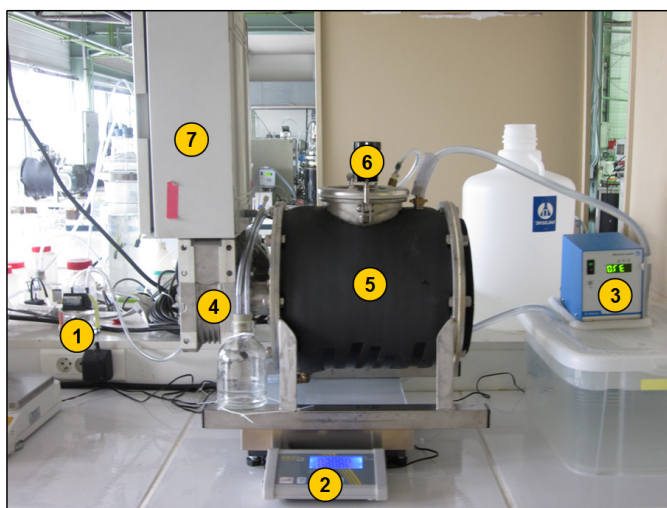


Figure 2 : Réacteur anaérobie « voie sèche » de laboratoire

(1) Débit mètre gaz, (2) Balance, (3) Système de régulation de température, (4) Moteur d'agitation, (5) Réacteur double enveloppe, (6) Sas d'alimentation/soutirage, (7) Système de contrôle et d'acquisition des données en ligne

### 2.4 Conditions d'inoculation et d'alimentation

L'ensemencement est réalisé à partir d'un inoculum fourni par INRA Transfert, composé de boues anaérobies issues de digesteurs traitant différents type d'effluents (agroalimentaires, boues de stations d'épuration, FFOM...).

Les réacteurs de méthanisation sont alimentés 5 jours par semaine selon un cycle journalier comprenant les phases suivantes :

- alimentation : ajout d'une quantité connue de substrat (prétraitée ou non) au début d'un cycle de traitement (durée : 15 min),
- agitation-réaction (durée : 23h30min),
- soutirage de la matière excédentaire (durée : 15 min).

La montée en charge est réalisée selon la stratégie conventionnelle qui consiste à augmenter graduellement l'apport en matière organique en augmentant le débit d'alimentation tout en conservant une activité méthanogène optimale. La montée en charge s'effectue ainsi par paliers en fonction des capacités épuratoires du réacteur.

L'accumulation de matière solide dans le digesteur alimenté par un substrat sec est un phénomène inévitable, directement proportionnel à la charge appliquée et au taux de dégradation des solides. Afin de permettre le mélange mécanique, dans ce type de réacteur, le taux de solide ne doit pas dépasser 35%. Une phase de soutirage est donc mise en œuvre régulièrement afin de maintenir le taux de solide inférieur à ce seuil.



## 2.5 Suivi analytique

Pour l'alimentation : Matière Sèches (MS), Matières Volatiles (MV) sont mesurées une fois par semaine,

Pour le digestat : Les paramètres suivants sont mesurés sur le digestat en sortie du méthaniseur 1 fois par semaine : Matière Sèches (MS), Matières Volatiles (MV), pH, alcalinité, DCO soluble, Acides gras volatils (AGV) par chromatographie en phase gazeuse, N-NTK et N-NH<sub>4</sub>,

Pour le biogaz produit : Le débit de biogaz est mesuré et enregistré en continu à l'aide d'un dispositif d'acquisition en ligne. La composition du biogaz (H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>) est analysée par chromatographie en phase gazeuse 2 fois par semaine. Des mesures de la teneur du biogaz en composés organo-silicatés (silanes et siloxanes) peuvent être réalisées ponctuellement sur demande<sup>1</sup>.

## 3 Résultats

Les résultats sont présentés sous la forme d'un rapport de synthèse incluant :

- les résultats des analyses de suivi des réacteurs,
- les courbes de production de méthane au cours du temps,
- les valeurs moyennes du potentiel méthane ainsi que la biodégradabilité anaérobie du substrat considéré,
- les courbes de montées en charges et la charge maximale applicables dans les conditions de l'essai,
- les valeurs du taux d'abattement des solides volatils,
- la quantité de digestat produit pour chaque essai.

Le compte rendu final donne des conclusions claires et argumentées permettant de déterminer, d'une part, la biodégradabilité du substrat considéré, en réacteur de méthanisation, d'autre part, les performances du procédé lors de la montée en charge et lors du fonctionnement à charge nominale. Les résultats obtenus grâce à la simulation en réacteur de laboratoire permettent de réaliser un bilan matière et énergie représentatif, d'identifier les limitations éventuelles et de proposer des solutions adaptées afin de définir les paramètres de fonctionnement d'un digesteur industriel.

## 4 Délais

Le délai de réalisation après réception des échantillons et de votre bon pour accord est de 5 mois. Ce délai peut varier en fonction des contraintes expérimentales.

## 5 Conditionnement et transport des échantillons

Une quantité suffisante substrat doit être fournie à INRA Transfert pour la réalisation des essais en réacteur (une quantité de produit équivalant à environ 50 kilos de matière sèche). Les prélèvements d'échantillons représentatifs du produit à étudier seront réalisés par le personnel en charge de l'exploitation sur le site de production. Ces échantillons seront ensuite conditionnés puis expédiés pour l'analyse.

Le coût de l'échantillonnage, du conditionnement et du transport est à la charge du commanditaire de l'étude. Les échantillons doivent être conditionnés dans des récipients en plastique, étanches et référencés, stockés à -20°C avant envoi. L'envoi des échantillons doit se faire en transport rapide réfrigéré.

La date d'envoi ainsi que la quantité à expédier doivent être définies préalablement, en accord avec le personnel d'INRA transfert Environnement. Les échantillons doivent être acheminés à l'adresse suivante :

*INRA Transfert Environnement  
Halle de Biotechnologie de l'Environnement  
Parc Méditerranéen de l'Innovation  
60 Rue Nicolas Leblanc  
11100 NARBONNE*

<sup>1</sup> La mesure de la composition du biogaz en composés organo-silicatés (silanes et siloxanes) n'est pas incluse dans la présente offre. Le coût forfaitaire pour une analyse est égal à 600 euros H.T.