

## **Intitulé du sujet de thèse : Etude et prédiction de l'impact des paramètres de digestion anaérobie sur la composition carbonée des digestats et leur effet sur la stabilité structurale des sols.**

Rennes (35)

### **Structures d'accueil :**

Cette thèse est en cotutelle et en accueil partagé entre deux unités de recherche situées à Rennes :

- L'unité OPAALE (Optimisation des procédés en Agriculture, Agroalimentaire et Environnement) d'Irstea. L'optimisation et l'étude des filières de méthanisation, ou digestion anaérobie, fait partie des objets de recherche de l'unité depuis une quinzaine d'années. Pour ce faire, les chercheurs de l'unité s'appuient sur des approches expérimentales (pilotes de méthanisation, laboratoire d'analyse,...) et numériques (modélisation).
- L'Unité Mixte de Recherche « Sol, Agro/hydrosystèmes, Spatialisation » (SAS) d'INRA/Agrocampus Ouest. Un des axes de recherche transversal de l'UMR SAS porte sur la contribution du recyclage des matières organiques aux services écosystémiques rendus par les systèmes de production de poly-cultures/élevage. Parmi les objectifs de recherche spécifiques, il s'agit de mieux caractériser ces matières organiques, notamment les formes des éléments qui les composent (C et N), ainsi que leurs effets sur les propriétés biologiques, chimiques et physiques des sols pour comprendre et modéliser leur devenir/dynamique dans les sols et leur effet sur le fonctionnement de ces derniers.

### **Descriptif du sujet de thèse :**

Les politiques environnementales et énergétiques actuelles engendrent un fort développement de la méthanisation agricole et territoriale. Ce développement s'est fait surtout dans un objectif de valorisation énergétique des produits résiduels organiques. Cependant, outre la production d'énergie renouvelable, la méthanisation génère un co-produit organique, le digestat, valorisé dans les sols agricoles pour sa valeur fertilisante. En effet, de nombreux sols agricoles sont soumis à des risques d'érosion et à une diminution des teneurs en matières organiques (Gis SOL, 2011), menaces considérées comme importantes au niveau européen, car sources de dégradation parfois irréversible de la qualité des sols.

Au sein du procédé de méthanisation, une partie du carbone organique (carbone labile) est convertie en biogaz et le reste (carbone stable) rentre dans la composition du digestat. D'une

part, la proportion de ces formes labiles et stables du carbone restant dans le digestat, dépendent du procédé de méthanisation (origine des substrats, temps de séjour, pré- et post – traitement). D'autre part, ces différentes formes du carbone restituées au sol impactent différemment :

- les propriétés impliquées dans les cycles biogéochimiques du C et N et de l'eau,
- la stabilisation de la structure physique des sols,
- le maintien d'une activité biologique optimale, impactant ainsi ses fonctions de production et de régulation de l'eau et de l'air.

Ainsi, afin de maximiser les services rendus par la méthanisation, il apparaît nécessaire de mieux comprendre l'impact du procédé de méthanisation, et de la filière associée, sur les propriétés carbonées du digestat et par voie de conséquence, sur les processus impliqués dans la stabilité structurale des sols. Le cycle du carbone étant étroitement lié à celui de l'azote, les devenir des différentes formes d'azote pendant le procédé de méthanisation ainsi que leur devenir dans les sols après épandage, seront suivies également.

Concernant le volet « génie des procédés », le sujet propose de se focaliser sur l'impact des substrats impliqués et du temps de séjour en digestion sur les propriétés carbonées des digestats.

Concernant le volet agronomique, le présent sujet propose de se focaliser sur un processus précis, la stabilisation des agrégats de sols. La stabilité structurale constitue en effet, une composante essentielle de la qualité d'un sol en jouant notamment sur sa capacité à (i) assurer un environnement favorable à la croissance des plantes, (ii) favoriser sa résistance à la battance et à l'érosion et (iii) séquestrer du carbone via la protection physique de la matière organique qu'elle assure. Cette propriété est par ailleurs reconnue comme étant un bon indicateur de l'impact d'apport de fertilisants organique sur la qualité des sols.

Un tel travail permettra :

- à court terme : de caractériser et comprendre l'impact du choix de la filière de méthanisation sur les services écosystémiques rendus.
- à moyen terme : de prendre en compte ces services dans la conception et le pilotage des filières de méthanisation

Pour ce faire, le travail de thèse se déroulera en trois étapes :

### **Tâche 1 : Etude et prédiction de l'impact des procédés de méthanisation sur la qualité carbonée des digestats**

Cette tâche visera à :

- Evaluer l'impact des variables « procédé » (substrats, temps de séjour) sur les caractéristiques du carbone présent dans le digestat, en comparaison avec les caractéristiques des substrats initiaux.
- Développer un modèle permettant de prédire l'impact des variables « procédé » sur ces descripteurs.

Pour ce faire, des expérimentations de digestion anaérobie seront menées à une échelle de laboratoire sur un grand nombre de déchets organiques méthanisables et couplés à des analyses des différentes formes du carbone (composition biochimique, structure physique,...). Les résultats obtenus permettront de développer un modèle statistique permettant de prédire l'impact des substrats méthanisés et du temps de séjour de digestion sur les caractéristiques carbonées du digestat. Ce modèle sera validé au travers d'essais en pilote de digestion anaérobie.

## **Tâche 2 : Mise au point de descripteurs analytiques pour prédire l'impact des digestats sur la stabilité structurale des sols**

Cette tâche consistera à :

- Evaluer l'impact des formes carbonées des différents digestats sur la dynamique de la stabilité structurale des sols et des processus associés. Des variables décrivant l'environnement (teneur en eau, teneur en azote minéral, pH, ...), l'état biologique du sol (structures des communautés fongiques et bactériennes, respiration, ...) et les processus d'agrégation (agents agrégants (polysaccharides, hyphes mycéliens, ...), hydrophobicité, ...) seront suivies de manière dynamique dans le temps.
- Développer un modèle permettant de prédire l'impact de ces caractéristiques sur la dynamique de la stabilité structurale dans les sols.

Pour ce faire, des essais en microcosmes (conditions contrôlées de laboratoire) seront réalisés pour caractériser l'effet potentiel d'un panel de digestats, comparés aux substrats bruts ainsi que ces mêmes substrats ayant subi d'autres procédés de transformation (compostage), sur la stabilité structurale des sols en lien avec leurs caractéristiques intrinsèques. Sur cette base, un modèle à base statistique sera développé et permettra de prédire cet effet à partir des caractéristiques prédites par le modèle de digestion issues de la tâche 1. La capacité du modèle à prédire l'impact des digestats sur la stabilité structurale des sols sera évaluée en confrontant les prédictions du modèle à des données issues de mésocosmes agronomiques, proches de conditions réelles (prise en compte du couvert végétal).

## **Tâche 3 : Identification des déterminants « procédé » de l'impact des digestats sur la stabilité structurale des sols par modélisation couplée**

Les objectifs de cette tâche consistent en :

- L'évaluation de l'outil de modélisation couplé développé
- Le développement de typologies de digestats (substrats/temps de séjour) en fonction de leur impact sur la stabilité structurale des sols

En premier lieu, les modèles issus des tâches 1 et 2 seront couplés. Une analyse de la sensibilité du modèle couplé sera effectuée afin d'identifier quel sont les principaux déterminants « procédé » (caractéristiques du jeu de substrat, temps de séjour...) de l'impact des digestats sur la stabilité structurale des sols. Un tel travail devra conduire à

définir des règles de décision permettant de dimensionner et piloter l'unité de méthanisation en fonction d'un effet attendu des digestats sur la stabilité structurale des sols.

### Cadre de la thèse :

**Durée :** Contrat de 36 mois d'automne 2019 à automne 2022.

**Laboratoire d'accueil :** Accueil partagé entre deux laboratoires :

- Irstea, Centre de Rennes, Unité OPAALE, Equipe Safir (<https://www.irstea.fr/fr/recherche/unites-de-recherche/opaale> )
- INRA/Agrocampus Ouest, UMR SAS (<https://www6.rennes.inra.fr/umrsas> )

**Ecole doctorale :** Écologie, Géosciences, Agronomie, ALimentation (EGAAL), Université de Rennes 1.

**Financement :** ½ bourse Irstea et ½ bourse région Bretagne (environ 1460€ net mensuels)

**Encadrement :** La thèse étant pluri-disciplinaire, elle bénéficiera d'un co-encadrement et d'une codirection. Ainsi, la thèse sera co-encadrée par Romain Girault pour le volet « génie des procédés » (UR OPAALE) et par Safya Menasseri (INRA – UMR SAS) pour le volet « agronomique ».

### Profil du candidat et compétences attendues :

Master 2 ou diplôme d'ingénieur **soit dans le domaine du génie des procédés** biologiques pour le traitement de l'eau et des déchets, **soit dans le domaine de l'agronomie**. Les compétences de base dans la discipline non couverte par la formation initiale du candidat seront apportées via le suivi du module doctoral Syst'MO porté par Irstea et AgroCampus. Enfin, le candidat devra faire la preuve d'un goût prononcé à la fois pour les travaux expérimentaux et les démarches de modélisation. Ses capacités rédactionnelles (en français et en anglais) et organisationnelle, particulièrement importante pour ce travail pluridisciplinaire, seront évaluées lors du processus de sélection.

### Modalités de candidature :

Candidater via le portail de candidature en ligne d'Irstea : <https://pasi.irstea.fr>

En cas de problème, n'hésitez pas à contacter un des contacts ci-dessous

Possibilité d'envoi du sujet de thèse complet sur demande aux contacts ci-dessous.

## Contacts :

### **Romain GIRAULT**

Irstea – UR OPAALE  
17, Avenue de Cucillé  
CS 64427  
35 044 RENNES cedex  
Tel : 02 23 48 21 17

**Courriel :** [romain.girault@irstea.fr](mailto:romain.girault@irstea.fr)

### **Safya MENASSERI**

INRA-Agrocampus Ouest - UMRSAS  
Bât. 13  
65 rue de Saint Briec-CS 84215  
35042 Rennes Cedex France

**Courriel :** [safya.menasseri@agrocampus-ouest.fr](mailto:safya.menasseri@agrocampus-ouest.fr)