

## **Proposition de sujet de thèse CIFRE**

### **Titre de la thèse**

**« Apport des systèmes d'information géographique pour l'évaluation environnementale des unités de méthanisation territoriale »**

### **Lieux de réalisation**

- Cemagref, Unité de recherche « Gestion environnementale et traitement biologique des déchets », 35 Rennes (<http://www.cemagref.fr/le-cemagref/lorganisation/les-centres/rennes/ur-gere>)  
- Akajoule, CIL, 1 bd Paul Leferme, 44600 Saint – Nazaire (<http://www.akajoule.com>).

### **Durée de réalisation**

- trois ans à partir de la rentrée 2011.

### **Encadrement**

**Direction** : Fabrice Béline, Chargé de Recherche en génie des bioprocédés appliqués au traitement des effluents, Cemagref, Rennes.

**Co-direction** : Université de Rennes 2

**Encadrement** : Lynda Aissani, Ingénieur de recherche en évaluation environnementale, Cemagref ; Thierry Bioteau, Assistant-ingénieur SIG, Cemagref ; Guillaume Accarion, Ingénieur thermicien, Akajoule.

**Ecole Doctorale** : Sciences De La Matière, Rennes 1.

### **Contexte général**

La digestion anaérobie, également appelée méthanisation, est un processus biologique de transformation de la matière organique en biogaz, composé principalement de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et de méthane (CH<sub>4</sub>). Ce processus est mis en œuvre dans des procédés spécifiques pour le traitement et la valorisation de la matière organique, notamment des déchets et coproduits organiques. Dans ce cas, le méthane produit est capté et valorisé comme source d'énergie.

Ainsi, en France, la méthanisation des déchets organiques a connu un essor important dans les années 1970-80, portée par la problématique énergétique, avec une centaine d'installations agricoles. Par la suite, la politique énergétique française a rapidement entraîné un déclin de ce procédé et la méthanisation a alors connu une traversée du désert de plus de 20 ans. Cette technique a connu un regain d'intérêt au début des années 2000, associée cette fois-ci à la problématique du changement climatique. En effet, ce procédé est proposé dans le plan climat 2004 comme une technique de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) de la filière agricole, et plus spécifiquement concernant la gestion des déjections animales qui représente au niveau national une part importante des émissions de CH<sub>4</sub> (de l'ordre de 25%). Ce regain d'intérêt a conduit à une première réévaluation, en 2006, du tarif de rachat de l'électricité produite à partir du biogaz issu des procédés de méthanisation et une seconde réévaluation est actuellement en cours.

Au niveau européen, le paquet Energie Climat a été mis en place (Conseil Européen du 12 décembre 2008) et fixe un objectif dit « 3 X 20 ». Il s'agit, d'ici à 2020, de réduire les émissions de GES de 20% par rapport au niveau de 1990, de porter à 20% la part des énergies renouvelables dans la consommation finale européenne et d'augmenter l'efficacité énergétique de 20% pour économiser 20% de notre consommation d'énergie. Cette volonté se prolonge au niveau national par la mise en place d'un plan national de développement des énergies renouvelables. La loi Grenelle 2 promulguée le 12 juillet 2010 rend notamment obligatoire pour les communes de plus de 50 000 habitants de mettre en place des Plans Climat Energie Territoriaux pour le 31 décembre 2012. Ils impliquent d'agir sur la production et la distribution locale d'énergie, le passage à des modes de production et de consommation durables, l'énergie consommée et les bâtiments, l'urbanisme et l'aménagement, les transports et la mobilité, les déchets, l'agriculture et la sylviculture et la gestion des forêts, des espaces verts et la biodiversité.

La méthanisation est une réponse au cœur de ces problématiques puisqu'elle permet de (i) traiter les déchets organiques, ce qui incite à les trier et donc à diminuer la masse de déchets partant en centre de stockage ou en incinérateur, (ii) produire localement de l'énergie renouvelable (chaleur et/ou électricité), (iii) diminuer les émissions de GES, (iv) limiter l'utilisation d'engrais (v) créer un dialogue entre les différents acteurs sur un territoire (communes, agriculteurs, industriels...). Pour ces raisons, de plus en plus de communes et de collectivités souhaitent s'informer et encourager le développement d'installations de méthanisation collectives sur leur territoire. Toutefois, si les premières réalisations de méthanisation à la ferme (méthanisation par l'agriculteur de ses propres déchets) commencent à sortir de terre en France, les projets de méthanisation collectives sont encore rares et ne voient que très difficilement le jour. La multiplicité et la complexité des problèmes abordés ainsi que le nombre important d'acteurs impliqués peuvent expliquer en partie ce phénomène. Le porteur de projet de méthanisation collective doit en effet prendre en compte la collecte de substrats d'origines variées (agricole, industriel, collectivités, ...), le procédé de méthanisation en lui-même pour obtenir un biogaz de qualité, la localisation du site d'implantation et son acceptation par les riverains, la vente de l'électricité et la valorisation de la chaleur, l'épandage des digestats, le bilan environnemental de l'installation, son financement... L'ensemble de ces paramètres doit être étudié sur un territoire vaste impliquant de nombreux acteurs. Il est difficile d'optimiser les projets à cette échelle notamment d'un point de vue environnemental car il faut pouvoir récupérer rapidement de grandes quantités d'informations et intégrer des concepts dans des domaines variés (notamment sur le gisement de déchets organiques, les besoins de chaleur et les possibilités d'épandages) pour pouvoir faire des choix en fonction des objectifs du projet. D'autre part, bien que les méthodologies d'évaluation environnementales basées sur la Pensée Cycle de Vie (ou Life Cycle Thinking avec l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) notamment) soient étudiées et normées, celle-ci ne prennent pas en compte les aspects spécifiques du territoire dans l'évaluation des impacts environnementaux potentiels des systèmes étudiés alors que ces caractéristiques du territoire apparaissent primordiales pour l'évaluation environnementale pertinente d'une telle installation au sein d'un territoire.

### **Objectif**

Dans ce cadre, l'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) pour l'optimisation des filières de méthanisation à l'échelle territoriale et le couplage avec les outils d'évaluation environnementale (ACV notamment) apparaissent pertinents notamment du fait de leurs possibilités d'intégration et d'analyse de l'ensemble des données d'un territoire. L'objectif de ce travail de thèse est donc d'étudier le couplage SIG/ACV afin d'avancer vers la construction d'un outil de simulation au service des acteurs du territoire pour planifier/animer le développement territorial de la méthanisation au regard du couple performances techniques et performances environnementales de ce système de traitement.

### **Contexte scientifique**

Au vu des résultats obtenus au niveau national et international sur le couplage des SIG et de l'évaluation environnementale, 2 axes de recherche complémentaires ont été identifiés pour l'optimisation « technico-environnementale » des filières de méthanisation territoriale :

- 1- L'utilisation des outils SIG pour une modélisation fine et précise des filières étudiées au regard des caractéristiques du territoire, couplée à l'utilisation de ces données de modélisation pour l'évaluation environnementale des filières. Cette modélisation fine des filières comprend principalement les étapes de la filière qui sont susceptibles d'influencer significativement le bilan environnemental et qui vont être influencées par les caractéristiques du territoire. Il s'agit des étapes amont de la méthanisation telles que les caractéristiques et la localisation des gisements de substrats et le transport associé à leur traitement, et les étapes aval telles que la valorisation locale des digestats et de l'énergie produite. Concernant les gisements, les études sont généralement effectuées à partir de données génériques qui ne sont pas toujours représentatives du territoire étudié. De plus, ces études ne prennent pas en compte la dispersion géographique de ces gisements sur le territoire. Dans ce cadre, l'utilisation des SIG doit permettre de mieux qualifier et quantifier ces gisements par l'utilisation et l'interprétation de données cartographiques et photographiques existantes et de géo-référencer ce gisement. Ces types de travaux d'identification et de géo-référencement à l'aide des outils SIG ont été

conduits à des échelles nationales et régionales (Batziar, 2005 ; Gomez, 2010 ; Dagnall, 2010) mais les techniques développées doivent être affinées pour descendre à des échelles plus locales afin d'utiliser ces données pour une évaluation précise d'un projet. Pour cela, il conviendra de s'inspirer des analyses spatiales effectuées à une échelle plus fine, réalisées pour des problématiques différentes telles que l'optimisation de collecte d'OMR, la prévention et le secours aux personnes, le géomarketing, ... (Kanchanabhan, 2010). Les données précises et géo-référencées obtenues permettront ainsi de fournir des données fiables et représentatives du territoire pour l'évaluation environnementale, notamment en termes de transport. Concernant plus spécifiquement l'utilisation et la valorisation agronomique et locale du digestat, l'utilisation des outils SIG au niveau du territoire doit permettre de prendre en compte les capacités précises du territoire ainsi que de géo-référencer ces débouchés. Les nombreux travaux effectués à l'aide des outils SIG au niveau des bassins versants agricoles, afin de relier les pratiques agricoles et les transferts d'azote vers le milieu naturel dans le cadre des études sur la pollution des eaux de surface (Merot et al., 2006 ; Conan et al., 2003 ; Bioteau et al., 2002 ; Beaujouan et al., 2001 ; Bordenave et al., 1999), permettront d'alimenter les travaux envisagés. Enfin, concernant les options de valorisations énergétiques, ces travaux permettront d'orienter le choix au regard des caractéristiques du territoire, des débouchés locaux et des impacts évités pour chaque type de substitution envisageable. Au niveau débouché de chaleur, la localisation de l'installation de méthanisation permettra de déterminer le type de valorisation thermique et électrique réalisable, ce qui se traduira dans l'ACV par une modélisation des substitutions énergétiques ajustées et cohérentes par rapport aux scénarios et la mise en perspective des impacts évités des différentes options de substitutions.

- 2- L'utilisation des outils SIG pour une évaluation spatialisée des impacts environnementaux locaux tels que la toxicité, l'écotoxicité (voire l'eutrophisation) en permettant dans un premier temps la localisation et la mobilité des sources d'émissions, dans un deuxième temps la détermination des caractéristiques des milieux et dans un troisième temps, le couplage de ces deux types d'informations afin d'évaluer « spatialement » les impacts locaux précédemment cités de l'installation et des activités d'arrière plan (production de carburant, de réactifs nécessaires à l'activité). Cette spatialisation permettra une interprétation différenciée des résultats d'ACV et leur exploitation pour mettre en évidence les performances « technico-environnementales » de cette filière, à différentes échelles spatiales, et notamment à l'échelle du territoire.

### **Description et organisation des travaux de recherche**

Afin d'avancer sur l'ensemble de ces problématiques et d'étudier les différentes pistes énoncées, la thèse se découpera en 3 étapes :

- 1- Dans la première étape, il s'agira de faire un point exhaustif sur la bibliographie existante concernant (a) l'utilisation des outils SIG pour l'évaluation des gisements de déchets et de biomasse, (b) les utilisations des outils SIG à une échelle locale et (c) l'utilisation des outils SIG en couplage avec la méthodologie ACV. L'analyse et la synthèse des résultats permettront de définir les pistes méthodologiques à suivre pour les différentes problématiques propres au sujet de thèse, à savoir (1) la modélisation fine des filières de méthanisation territoriale grâce aux outils SIG afin de produire des données spécifiques au territoire pour l'évaluation environnementale et (2) le couplage SIG/ACV pour la spatialisation des émissions et des impacts. Cette étape se déroulera sur les 6 premiers mois de la thèse et donnera lieu au final à un rapport bibliographique.
- 2- Suite à cette analyse bibliographique, les stratégies de développement méthodologique identifiées seront explorées, et la piste la plus prometteuse à suivre sera choisie au regard des critères de faisabilité technique et de pertinence scientifique dans le cadre de ce projet de thèse. Le travail méthodologique consistera donc, dans un premier temps, au développement des techniques de SIG à mettre en œuvre pour modéliser finement le système à analyser à l'échelle du territoire (en termes de gisements d'entrants potentiels, de débouchés pour la valorisation du digestat et pour les options de valorisation de l'énergie). Dans un deuxième temps, l'interface entre SIG et ACV pour l'évaluation spatialisée des impacts sera élaborée. La méthodologie globale sera élaborée et évaluée à partir d'un jeu de données existant sur le

territoire de Fougères (territoire étudié par le Cemagref dans le cadre du projet BIODEOCL2). Cette étape se déroulera sur 12 mois (mois 6 à 18).

- 3- La troisième phase de la thèse consistera à valider les méthodologies développées. Pour cela, les développements méthodologiques pour l'analyse des performances technico-environnementales d'un système de méthanisation territoriale seront mis en œuvre sur 2 territoires contrastés afin de vérifier la pertinence d'une part, scientifique et d'autre part, en tant qu'outil au service des acteurs locaux de ces développements méthodologiques de couplage SIG/ACV. Dans un premier temps, un travail de collecte de l'ensemble des données cartographiques et statistiques existantes nécessaires sera réalisé. Au besoin, des enquêtes spécifiques seront conduites. Puis dans un deuxième temps, ces données seront implémentées dans la méthodologie SIG/ACV développée précédemment. Cette étape se déroulera également sur 12 mois (mois 18 à 30).

Les 6 derniers mois seront consacrés à la rédaction du mémoire de thèse.

### **Résultats attendus**

- Obtention d'une méthodologie opérationnelle et documentée (utilisable via un outil informatique) pour effectuer l'évaluation environnementale d'unités de méthanisation territoriale à partir des outils de SIG
- Mise en œuvre de cette méthodologie à partir de deux territoires contrastés

### **Références bibliographiques**

- Batzias, F.A., Sidiras, D.K., Spyrou, E.K., 2005. Evaluating livestock manures for biogas production : A GIS based method. *Renewable energy*.
- Beaujouan, V., Durand P., Ruiz, L., 2001. Modelling the effect of the spatial distribution of agricultural practices on nitrogen fluxes in rural catchments. *Ecological Modelling*
- Bioteau, T., Bordenave, P., Laurent F. et Ruelland D., 2002. Évaluation des risques de pollution agricole à l'échelle de bassins versants : intérêts d'une approche par modélisation hydrologique avec SWAT. *Ingénieries – EAT*, 32: 3-13
- Bordenave, P., Bouraoui F., Gascuel-Oudoux C., Molenat J. et Mérot P., 1999. Décalages temporels entre modifications des pratiques agricoles et diminution de nitrate dans les eaux superficielles. *Pollutions diffuses : du bassin au littoral*, Ploufragan, France, 23-24 Sept. 1999. IFREMER, Collection Acte de Colloques n°24, pp. 311-333.
- Conan, C., Bouraoui, F., Turpin, N., De Marsily, G., Bidoglio, G., 2003. Modeling Flow and Nitrate Fate at Catchment Scale in Brittany (France)
- Dagnall, S., Hill, J., Pegg, D., 2010. Resource mapping and analysis of farm livestock manures – Assessing the opportunities for biomass-to-energy schemes. *Resources, Conservation & Recycling*.
- Geyer, R.a , Lindner, J.P.b , Stoms, D.M.a , Davis, F.W.a , Wittstock, B.b. Coupling GIS and LCA for biodiversity assessments of land use. (2010) *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15 (7), pp. 692-703.
- Gomez, A., Zubizarreta, J., Rodriguez, M., Dopazo, C., Fueyo, N., 2010. An estimation of the energy potential of agro-industrial residues in Spain. *Resources, Conservation & Recycling*.
- Kanchanabhan TE, Abbas Mohaideen J, Srinivasan S, Lenin Kalyana Sundaram V, 2010. Optimum municipal solid waste collection using geographical information system (GIS) and vehicle tracking for Pallavapuram municipality. *Waste Management and Research*.
- Merot, P., Hubert-Moy, L., Gascuel-Oudoux, C., Clement, B., Durand, P., Baudry, J., Thenail, C., 2006. A method for improving the management of controversial wetland. *Environmental Management*, 37 (2), pp. 258-270.

### **Profil recherché**

Ingénieur agronome ou généraliste avec de solides connaissances dans le domaine de l'environnement. Des compétences en géographie/systèmes d'information géographique et/ou en évaluation environnementale seront appréciées.

### **Modalités de candidature**

Envoyer un CV et une lettre de motivation par email à Guillaume Accarion ([guillaume.accarion@akajoule.com](mailto:guillaume.accarion@akajoule.com)) et à Fabrice Béline ([fabrice.beline@cemagref.fr](mailto:fabrice.beline@cemagref.fr)).  
Les candidatures sont à envoyer avant le 31 mai 2011.

### **Présentation succincte des partenaires**

#### Akajoule

Le bureau d'études Akajoule est spécialisé en maîtrise de l'énergie et chaleur renouvelable – biomasse, biogaz et chaleur captée-. Il a été créé en mars 2010 afin d'accompagner les maîtres d'ouvrages consommateurs de chaleur - collectivités territoriales, entreprises et industries - dans leurs projets de substitution d'énergies fossiles par une énergie renouvelable. Akajoule propose à ses clients son expertise pour définir et concevoir leurs projets de maîtrise de l'énergie, de méthanisation, de chaufferies bois, de réseaux de chaleur, d'énergie solaire et de géothermie. Pour mener à bien ses missions, le bureau d'étude met en œuvre des moyens et des outils de calculs adaptés à chaque domaine. Akajoule développe ainsi un outil de simulation d'unité de méthanisation collective à l'échelle du territoire appelé Bioptigaz pour lequel la société est reconnue depuis sa création comme Jeune Entreprise Innovante par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche.

#### Cemagref – UR GERE

L'unité de recherche "Gestion environnementale et traitement biologique des déchets" (GERE) du Cemagref de Rennes conçoit et développe des procédés de traitement biologique des déchets municipaux, agricoles (effluents d'élevage) et agro-industriels (boues) dans le but d'optimiser leur gestion. Cette conception est appréhendée via une évaluation environnementale, économique et sanitaire des procédés. L'unité, dotée d'un laboratoire de chimie de l'environnement, d'un laboratoire de microbiologie de l'environnement et d'un hall expérimental, est composée d'une trentaine de permanents, (dont 20 ingénieurs-chercheurs et 10 assistants et techniciens) et d'une dizaine de non-permanents doctorants et contractuels. Parmi les différents axes de recherche développés, l'unité GERE conduit des travaux sur la méthanisation à travers notamment la coordination du projet Biodecol2 financé dans le cadre du programme PSDR-GO. Ce projet regroupant 7 laboratoires de recherche du Grand-ouest et 9 partenaires socio-économiques a pour objectif de développer les connaissances, les références et les outils pour la définition et l'évaluation des modèles de développement de la méthanisation territoriale afin (1) de favoriser les synergies entre les différents acteurs des territoires ruraux et (2) de développer une approche d'écologie territoriale autour des déchets organiques et de l'énergie. Au sein de ce projet, des travaux ont été réalisés au Cemagref, en collaboration avec l'Université de Rennes 2, concernant la simulation spatialisée des filières de méthanisation territoriale. Ainsi, les interactions entre la localisation des substrats, la localisation de l'unité de méthanisation, les utilisations de la chaleur produite et le bilan environnemental des filières simulées ont été étudiées à partir d'outils SIG et de l'ACV sur le territoire de Fougères. Ces travaux sont à la base de ce sujet de thèse.