



**NUFFIELD
FRANCE**

*Developing people through agriculture
Developing agriculture through people*

Valorisation des effluents d'élevage Focus sur la méthanisation à la ferme

Les effluents au service de la durabilité des élevages

Maxime MOINARD

Boursier Nuffield France 2016

Financé par Nuffield France et ses partenaires

Novembre 2017

Sommaire

LISTE DES ABRÉVIATIONS	3
REMERCIEMENTS	4
LA BOURSE NUFFIELD	5
PRESENTATION DE L'AUTEUR ET DE LA FERME FAMILIALE.....	6
CHOIX DU SUJET	8
INTRODUCTION	9
I. GÉNÉRALITÉS SUR LA DIGESTION ANAÉROBIE	10
A. Un procédé naturel	10
B. Historique et développement	10
C. Fonctionnement d'une unité de méthanisation à la ferme	10
1) Technologie en infiniment mélangé.....	11
2) La méthanisation en voie sèche	11
3) Comparatif.....	13
II. UNE VISION INTERNATIONALE DU BIOGAZ AGRICOLE.....	14
A. Écosse : Méthanisation XXL et cultures énergétiques	14
1) Hue & investors, - 2,5 MW	14
2) Ian et James Feirlie, Monikie - 500 kW.....	14
3) Peacehill Farm, Wormit - 370 m ³ /h.....	16
4) David Finlay, Cream O'Galloway - 25 kW	17
B. Angleterre : PlanET Biogas en force	18
1) Dave Morgan, Herefordshire - 500 kW	18
2) Sue Shakesheff - 250 kW	20
3) PlanET Biogas UK.....	21
C. Pays-Bas : les effluents en excédent	22
1) Ferme Den Eelder, Molen Achterdijk - 65 kW.....	22
2) Application Center for Renewable Resources, Lelystad - 500 kW	23
3) Hans Banning, Groninguen - 1,2 MW	24
4) Annechien Ten Have Mellema	25
D. Allemagne : les professionnels du Biogaz	26
1) 2G - Heek	26
2) LOFFLER Franz - 490 kW	27
3) ZELLERFELD Martin Sieber - 1,45 MW.....	28
4) MARTIN RUILE - 350 kW	30
5) SANKT OTTILIEN - 500 kW	30
E. Au Canada, les différentes politiques provinciales dessinent la filière	31

1) Ontario	31
2) Alberta.....	37
III. LA METHANISATION EN FRANCE.....	40
A. Denis Brosset - 30 kW	40
1) La simplicité de la voie sèche	40
2) Un système expérimenté et réajusté	40
3) Une charge de travail plus pénible et concentrée	40
4) Une unité modeste mais rentable.....	41
B. Une volonté politique et de nombreux atouts.....	42
1) Notion de durabilité	42
2) Volontés politiques	43
C. ... mais une évolution hésitante	45
1) De l'électricité verte à quel prix ?.....	45
2) L'épineux dilemme des cultures énergétiques.....	45
3) Une filière naissante mais ralentie.....	46
4) L'opinion publique française toujours au rendez-vous	46
D. Des perspectives intéressantes pour la valorisation du biogaz	47
1) Injection de Biométhane	48
2) Biométhane ou Biogaz carburant.....	48
3) Biogaz porté	48
4) Power to Gas	48
V. AUTRES ELEMENTS DE REFLEXION.....	50
A. Insectes et assimilés.....	50
1) Vermiculture	50
2) Entomoculture	50
3) Vers aquatiques.....	53
B. ALGUES	53
1) Algues unicellulaires.....	54
2) Azolla.....	54
C. AQUAPONIE.....	54
1) Définition.....	54
2) Collège de Lethbridge, Alberta.....	55
3) Verdeen	56
CONCLUSION	57
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES.....	58
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	60

LISTE DES ABRÉVIATIONS

C:N : ratio carbone sur azote

c€ : centimes d'euro

CH₄ : méthane

CIVE : Culture Intermédiaire à Vocation Énergétique

CO₂ : dioxyde de carbone

GES : gaz à effet de serre

H₂ : dihydrogène

H₂S : sulfure d'hydrogène

ha : hectare

j : jour

kW : kiloWatt

kWh : kiloWatt/heure

M€ : millions d'euro

MO : matière organique

MS : matière sèche

MW : mégaWatt

N₂ : diazote

NH₃ : ammoniac

T : tonne

TWh : TéraWatt/heure

REMERCIEMENTS

Cette aventure n'aurait pas été possible sans le soutien financier de **BIO 3G**, à qui j'adresse de sincères remerciements.

Merci à **Papa et Alicia** de m'avoir fait découvrir Nuffield. Les discussions étaient certes vagues, mais vous m'avez encouragé à postuler, ce qui fût finalement une très bonne idée.

Bien entendu, je remercie chaleureusement **Nuffield France** pour m'avoir offert cette formidable opportunité. Merci à tous ceux que j'ai croisé qui ont partagé avec moi leur vision, leur passion.

Merci à **mon épouse Alicia** d'avoir supporté mes longues absences pas toujours bien placées, en témoigne mon second voyage Nuffield, 3 jours après notre mariage... Pas top, comme lune de miel ! Il était convenu que tu me suives mais le planning a été monopolisé par des obligations professionnelles. Ce n'est que partie remise pour d'autres voyages.

Mes recherches m'ont porté dans différents pays. Je remercie tous ceux qui m'ont ouvert leur carnet d'adresse, leur porte et/ou leur point de vue. Je souhaite pouvoir rendre la pareille aux futurs boursiers Nuffield désireux de me rencontrer.

Enfin, merci à toi, lecteur. Par la lecture de mon rapport, tu prouves à nouveau l'utilité publique de la bourse Nuffield, vecteur d'idées innovantes.

LA BOURSE NUFFIELD

La fondation Nuffield, créée en Angleterre en 1947, a pour objectif de permettre, grâce à une bourse, aux agriculteurs sélectionnés d'aller chercher partout dans le monde les meilleures idées et les meilleures techniques. Cette bourse est aujourd'hui ouverte aux actifs du monde agricole des huit pays membres de l'association Nuffield International (Angleterre, Zimbabwe, Canada, Nouvelle-Zélande, Australie, Ecosse, Irlande, France et Pays-Bas) ainsi qu'à d'autres pays comme le Brésil, les USA, la Chine ou l'Inde (liste non limitative).

La bourse Nuffield permet d'approfondir un sujet technique. Le boursier est soutenu financièrement pour visiter des exploitations dans différents pays, rencontrer des agriculteurs étrangers, des responsables agricoles de haut niveau dans le monde entier et se faire aider, pour l'étude qu'il réalise, par les meilleurs spécialistes du domaine choisi. En 2016, environ 75 boursiers ont été sélectionnés par les pays membres, dont 3 par le réseau Nuffield France.

Au delà de l'opportunité à saisir pour voyager, la Bourse Nuffield permet un réel développement humain. En effet, les voyages au sein du réseau Nuffield permettent des rencontres et découvertes très riches. Le changement de contexte permet l'ouverture d'esprit et rend parfois dérisoire notre façon de travailler.

"Les voyages forment la jeunesse..." Montaigne

"... et déforment les valises." Mon père

La bourse Nuffield permet d'intégrer un réseau actif d'agriculteurs innovants, conscients de leur rôle primordial au sein d'une société.

Cette ouverture d'esprit est d'autant plus bénéfique avec le contexte morose dans lequel se trouve la France actuellement. Le fait de vivre à l'étranger m'a permis d'observer le stéréotype du Français râleur et mécontent. Je m'inquiète sur la capacité de la France à évoluer dans un futur proche. Les nouvelles relayées par les médias sont bien souvent mauvaises et les exemples de réussite sont pointés du doigt et dénigrés... Il est pourtant normal de souhaiter réussir ! Les voyages Nuffield permettent de sortir de ce contexte franco-français et d'avoir une autre image de l'agriculture.

PRESENTATION DE L'AUTEUR ET DE LA FERME FAMILIALE

Issu d'une ferme de bovins viande située en Vendée, j'ai suivi au cours de mon enfance et de mes études le développement de l'exploitation familiale. En voici une présentation :

Mon grand-père Auguste a été un acteur de la révolution verte et a su transformer l'élevage traditionnel en une exploitation en système intensif naisseur-engraisseur avec achats de broutards et une alimentation basée sur l'ensilage maïs. En 1974, l'exploitation est à la pointe de l'innovation avec un bâtiment d'engraissement de bovins sur caillebotis. Le chargement est alors de 6 UGB /ha !

Denis, mon père, a poursuivi le développement de l'exploitation en portant à 100 le nombre de vaches mères. Mon grand-père s'absentant régulièrement pour ses activités non professionnelles, l'accent est mis sur la simplification du travail et la réduction de la pénibilité. Un nouveau bâtiment d'engraissement est construit, optimisé pour nourrir 140 animaux en moins d'une heure. Des taureaux limousins sont préférés aux charolais afin de changer de race par absorption. Cela permet une moindre charge de travail pendant les périodes de vêlage. Progressivement, on enterre les réseaux d'irrigation et d'eau pour les abreuvoirs au pâturage. En 1992, alors que la PAC amorce le développement du second pilier et la conditionnalité, Denis acquiert 170 ha de prairies permanentes dans le marais poitevin, à 40 km de la ferme familiale. Cela permet d'extensifier la partie naisseur de l'élevage et d'être autonome en foin. Parallèlement, la charge de travail administratif s'alourdit pour les exploitations agricoles, **ma mère Martine** trouve sa place à plein temps sur "les papiers" du GAEC La Pibole. Des échanges entre voisins permettent d'obtenir un parcellaire groupé autour du siège d'exploitation.

Mon frère Alexandre s'installe en 2009 en reprenant la ferme céréalière d'un cousin, à 20 km du siège de l'exploitation. Cette diversification apporte un nouveau revenu et permet d'être autonome en paille. La bonne configuration du parcellaire et la surface permettent des économies d'échelle malgré l'éloignement du site. Le travail est organisé entre périodes intenses (travaux du sol, semis, foin, ensilages, moissons, vêlages, irrigation, etc.) et périodes plus calmes ne nécessitant qu'un minimum quotidien à pénibilité réduite (alimentation des animaux, surveillance). Le temps libre ainsi dégagé permet de réfléchir à de nouveaux projets, en témoigne l'installation de 4 000 m² de panneaux photovoltaïques en 2010, finançant un hangar et un nouveau bâtiment d'élevage. Les axes de réflexion en 2017 sont les suivants : atténuer les pointes de travail, simplifier les travaux du sol, rassembler voire aménager le parcellaire, rechercher la rentabilité.

Pour ma part, je décide de travailler à l'étranger après l'obtention d'un diplôme d'Ingénieur en Agriculture à l'ESA d'Angers en 2012. J'obtiens ainsi mon premier poste en tant qu'ingénieur de site sur une plantation industrielle de 3 000 ha de palmeraies en Côte d'Ivoire. En 2015, j'effectue une

mission en tant que chargé de développement pour Maisadour Semences, poste basé à Abidjan. Je deviens ensuite co-responsable de l'unique exploitation laitière de Tahiti en Polynésie Française, tout en réfléchissant à un retour sur la ferme familiale. J'ai vite réalisé pendant mes études la complexité des agricultures françaises. Les généralisations par production agricole ne sont plus aussi simples et pertinentes que lors des dernières décennies. La richesse est dans la diversité, la pluralité et la multifonctionnalité des agricultures.

Les consommateurs et médias veulent de l'agriculture familiale, du bio et des circuits courts et recherchent la proximité avec les producteurs. Cela permettra aux agriculteurs impliqués de mieux gérer leur commercialisation et leur rémunération. Parallèlement, nous serons 9 à 10 milliards de terriens en 2050 et la production de matières premières à bas coût par une agriculture industrielle restera une nécessité à l'échelle du globe à défaut de meilleure solution. Comme le modèle conventionnel actuel, les prix des denrées de base seront dictés par le marché mondial. Les exploitations devront être compétitives pour résister. Entre ces deux extrêmes, une multitude de systèmes est possible. L'agriculture ne doit pas seulement être axée sur la production de nourriture, mais aussi sur les services comme l'aménagement et l'entretien du territoire et la production d'énergie. Gardiens des espaces, les agriculteurs ont un rôle à jouer dans les filières des énergies renouvelables, via les filières biomasses et biocarburants, méthanisation à la ferme, voire éolien et photovoltaïque.



Coordonnées de l'auteur :

Maxime Moinard
La Pibolière
85240 Foussais-Payré
FRANCE
mail : max.moinard@gmail.com
gsm : +33 6 14 42 10 56

CHOIX DU SUJET

Ayant grandi avec la prise en compte de différents sujets comme la protection de l'environnement et le bien-être animal, je m'interroge sur la cohérence de la ferme familiale dans la société actuelle. L'élevage bovin est pointé du doigt pour ses émissions de gaz à effet de serre. L'engraissement intensif de taurillons en bâtiment n'a pas la "côte" auprès des consommateurs. La plupart des éleveurs utilisent des intrants chimiques pour garantir leurs productions. La réduction de nos émissions et l'optimisation des effluents me semblent des évidences économiques et environnementales. J'ai donc pour projet d'installation la création d'une unité de méthanisation qui s'intégrerait dans le système de production actuel.

Malgré les impacts positifs sur les plans économiques et environnementaux, la filière française de méthanisation à la ferme ne se développe pas aussi vite que prévu. L'Etat français souhaite développer la méthanisation, sans pour autant imiter le modèle allemand, critiqué sur l'utilisation massive des cultures énergétiques. Les conséquences engendrées sont multiples : concurrence alimentation/énergie dans l'utilisation des terres, modification des paysages, impact environnemental des monocultures de maïs, etc.

L'investissement est très élevé (0,5 à 10 M€ sur les sites visités) et les pionniers de la méthanisation en France présentent des résultats très contrastés en fonction des intrants utilisés, du système choisi, de la taille des installations, etc. En cogénération (transformation du biogaz en électricité et chaleur), une des clefs de la rentabilité est la valorisation de la chaleur produite. Les élevages bovins allaitants français n'ont pas de gros besoins en chaleur sur les exploitations, aussi un nouvel atelier est parfois envisagé pour profiter de cette manne thermique. Les exemples ne manquent pas : serres, séchoirs, raccordement à un réseau d'eau chaude... De plus, il existe des alternatives prometteuses à la cogénération : injection de biométhane dans le réseau, biogaz porté, biogaz ou biométhane carburant, etc. D'où l'intérêt de cette étude sur l'intégration d'une unité de méthanisation dans une exploitation agricole française.

En parallèle, il me tenait à cœur de rencontrer des acteurs d'une filière nouvelle : l'élevage d'insectes. En effet, les insectes sont des candidats intéressants à la transformation des effluents ou pour la production de protéines pour l'alimentation animale.

Le but de cette étude est donc de réaliser une présentation de la méthanisation et des possibilités innovantes générées. Cette étude n'a pas pour problématique la gestion des effluents dans des zones en excédent structurel où il est impératif de traiter les effluents. Il s'agit d'une réflexion autour des diversifications possibles des élevages français.

INTRODUCTION

Bien que ses effets ne soient pas toujours visibles à l'échelle d'une exploitation agricole, notamment en Europe où les saisons sont bien marquées, le réchauffement climatique est un phénomène réel à l'échelle mondiale. Les efforts déployés par la quasi-totalité des États ont permis une stagnation, insuffisante au regard de l'urgence environnementale, des émissions de gaz à effet de serre (GES) en 2016. L'augmentation de la teneur en dioxyde de carbone dans l'air est une conséquence de la perturbation du cycle du carbone par la déforestation et l'utilisation d'énergies fossiles. Les besoins en énergie de l'humanité sont toujours croissants alors que les prix des énergies sont sans cesse plus élevés. Bien que les variations des marchés du pétrole soient contrastées, tout laisse à croire que la raréfaction des ressources fossiles contribuera à cette augmentation dans les prochaines années, en plus d'autres facteurs (coûts de maintenance des réseaux, développement des énergies renouvelables, etc.). En France, un rapport du Sénat estime l'augmentation du prix de l'électricité pour les ménages de 2011 à 2020 à 49 %ⁱ.

Les agriculteurs sont souvent considérés comme destructeurs de l'environnement, en portant atteinte aux paysages et à la biodiversité, en polluant l'eau et l'air par l'emploi de substances chimiques ou en consommant en excès les ressources en eau. L'élevage de ruminants est également pointé du doigt comme étant le principal émetteur de méthane. L'élevage contribuerait aux émissions totales de GES en France et dans le monde à hauteur de 10 % et 14 % respectivement. L'agriculture est pourtant une des solutions au réchauffement climatique, puisqu'elle dispose de nombreux leviers permettant de réduire ses émissions et de renforcer son rôle de puits de carbone, notamment avec l'initiative 4 pour 1000 pour la sécurité alimentaire, des sols et du climat.

La France est un grand pays d'élevage, avec plus de 210 000 exploitations consacrées à l'élevage pour 305 000 emploisⁱⁱ. Notre pays dispose du cheptel bovin le plus important d'Europe avec 19,3 millions de têtes de bétail. Le durcissement de la réglementation européenne et française et le renforcement de la qualité de la production ont conduit à une hausse des coûts de production. Cette dernière n'a pas été compensée par une augmentation des prix de vente, mais par un agrandissement des exploitations. Le montant des subventions directes dépasse bien souvent le revenu des élevages allaitantsⁱⁱⁱ. Ces dernières années, le contexte économique est particulièrement difficile pour les secteurs allaitants, laitiers et céréaliers compte-tenu des prix bas et des aléas climatiques.

Dans ce contexte, la filière méthanisation semble être une opportunité intéressante de diversification pour de nombreux éleveurs. Cependant, les coûts d'investissement sont importants ; la rentabilité n'est pas toujours au rendez-vous et varie selon la cohérence et l'intégration d'une unité de méthanisation au sein d'une exploitation agricole. L'objectif de cette étude est d'aller à la rencontre d'acteurs de la méthanisation et de cibler des projets réussis, ainsi que de découvrir d'autres moyens de valoriser les effluents d'élevage générés sur les élevages français.

La première partie de ce rapport présente les généralités de la méthanisation et le fonctionnement d'une unité standard dans une exploitation agricole. Je détaille ensuite mes visites effectuées lors des voyages Nuffield. La troisième partie traite du développement en France, ainsi que des différentes valorisations du biogaz produit et les perspectives optimistes de la filière. Enfin, la dernière partie aborde des moyens de valorisation alternatifs plus ou moins liés à la méthanisation, notamment l'élevage d'insectes ou l'aquaponie.

I. GÉNÉRALITÉS SUR LA DIGESTION ANAÉROBIE

Cette partie a pour but de vous familiariser avec le jargon de la méthanisation et de vous présenter les bases dont je disposais avant de démarrer cette étude.

A. Un procédé naturel

La méthanisation est un procédé de dégradation de la matière organique (MO) par des bactéries en absence d'oxygène, produisant du **biogaz**. Cette réaction se déroule naturellement dans certains milieux où les conditions sont réunies (sédiments marins, marais, tourbières, panse des ruminants, etc.). Ce processus est également appelé la **digestion anaérobie**.

Plusieurs espèces de microorganismes réalisent un ensemble de réactions chimiques complexes (hydrolyse et acidogénèse, puis acétogénèse et méthanogénèse). Le mécanisme n'a pas été totalement élucidé et le rôle de chaque microorganisme n'est pas précisément défini à ce jour.

B. Historique et développement

Le procédé de méthanisation a été exploité dès le début du XX^{ème} siècle en Grande-Bretagne pour fournir le gaz d'éclairage de la ville d'Exeter. On a rapporté en France des cas isolés de production de gaz durant la seconde guerre mondiale, dans un contexte d'hydrocarbures rares.

En Asie, la méthanisation est une pratique courante en milieu rural, pour traiter les effluents à petite échelle et obtenir un gaz de cuisson.

La technologie a bien évolué ces dernières années. Différentes unités de productions de biogaz sont apparues, portées par des projets industriels de traitement des boues de station d'épuration ou de déchets d'industries agro-alimentaires. La méthanisation est également une technologie employée par les agriculteurs. Des projets collectifs de traitement des effluents ont vu le jour, ainsi que des installations individuelles plus modestes. On parle alors de **micro-méthanisation** à la ferme. En Europe, des tarifs attractifs de rachat de l'électricité ont permis de développer la filière, principalement en Allemagne avec plus de 9 000 installations à ce jour.

C. Fonctionnement d'une unité de méthanisation à la ferme

Dans une unité commerciale, on récupère le gaz produit dans des bioréacteurs hermétiques appelés **digesteurs**. Ce **biogaz** est composé majoritairement de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂). Le résultat de la digestion anaérobie, appelé **digestat**, est riche en azote minéralisé et est valorisé comme engrais organique plus rapidement assimilé par les plantes que les effluents classiques.

Afin d'optimiser les réactions aboutissant à la production de biogaz, les digesteurs sont **chauffés** entre 37°C et 45°C. La digestion anaérobie est alors dite mésophile. Des températures plus élevées (digestion anaérobie thermophile) permettent une production accrue et un temps de traitement plus court. Cependant, le process est moins stable et plus complexe à opérer. Cette technologie est donc rarement rencontrée à la ferme.

1) Technologie en infiniment mélangé

La technique en **infiniment mélangé** (Figure 1) est la plus répandue. En amont, le substrat plus ou moins liquide est ajouté quotidiennement dans le digesteur. En aval, on extrait le digestat de ce même digesteur. Il existe des installations avec un ou plusieurs digesteurs secondaires afin d'optimiser la production de biogaz malgré un investissement plus élevé.

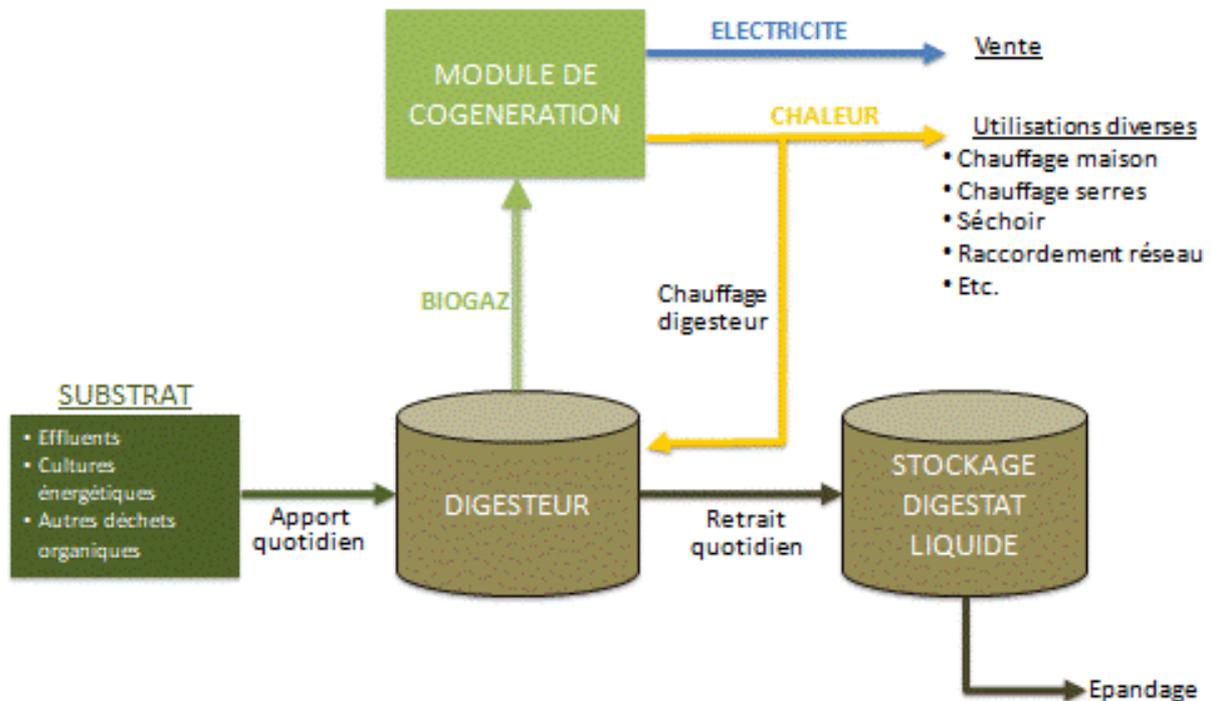


Figure 1 - Voie en infiniment mélangé

La charge de travail est régulière (alimentation du digesteur, surveillance des installations). Le procédé nécessite des pompes et malaxeurs pour les différents flux du substrat et de digestat. La maintenance est donc primordiale et les coûts d'investissement élevés à l'échelle d'une exploitation. Au niveau pratique sur une exploitation, le digesteur permet de stocker une partie des effluents.

La **cogénération** est une valorisation courante du biogaz produit. Celui-ci sert de carburant à un moteur couplé à une génératrice, produisant électricité et chaleur (via le circuit de refroidissement du moteur).

Avant combustion, le biogaz est débarrassé de ses vapeurs d'eau par condensation. Un filtre à charbon actif permet de fixer le sulfure de dihydrogène (H_2S), corrosif et dommageable pour les installations. La combustion rejette du CO_2 , généralement relâché dans l'atmosphère.

2) La méthanisation en voie sèche

Cette technologie alternative est plus adaptée aux substrats solides de type fumier. Les installations sont moins courantes et le fonctionnement différent. Le substrat est déposé dans un réacteur hermétique de type garage et est aspergé d'un percolat chauffé permettant 1) d'ensemencer le substrat en bactéries et 2) d'élever la température du réacteur.

La production de biogaz débute au bout de quelques jours. Elle atteint son maximum vers 2-3 semaines après la fermeture du digesteur, puis diminue progressivement. L'agriculteur décide de l'ouverture du garage et du remplacement du substrat lorsque la quantité et la qualité du biogaz produit ne sont plus satisfaisantes. Afin de lisser la production pour alimenter de manière constante une unité de cogénération, on associe plusieurs réacteurs (quatre voire plus), qui fonctionnent simultanément mais dont le remplissage est décalé dans le temps, généralement de 15 jours (Figure 2).

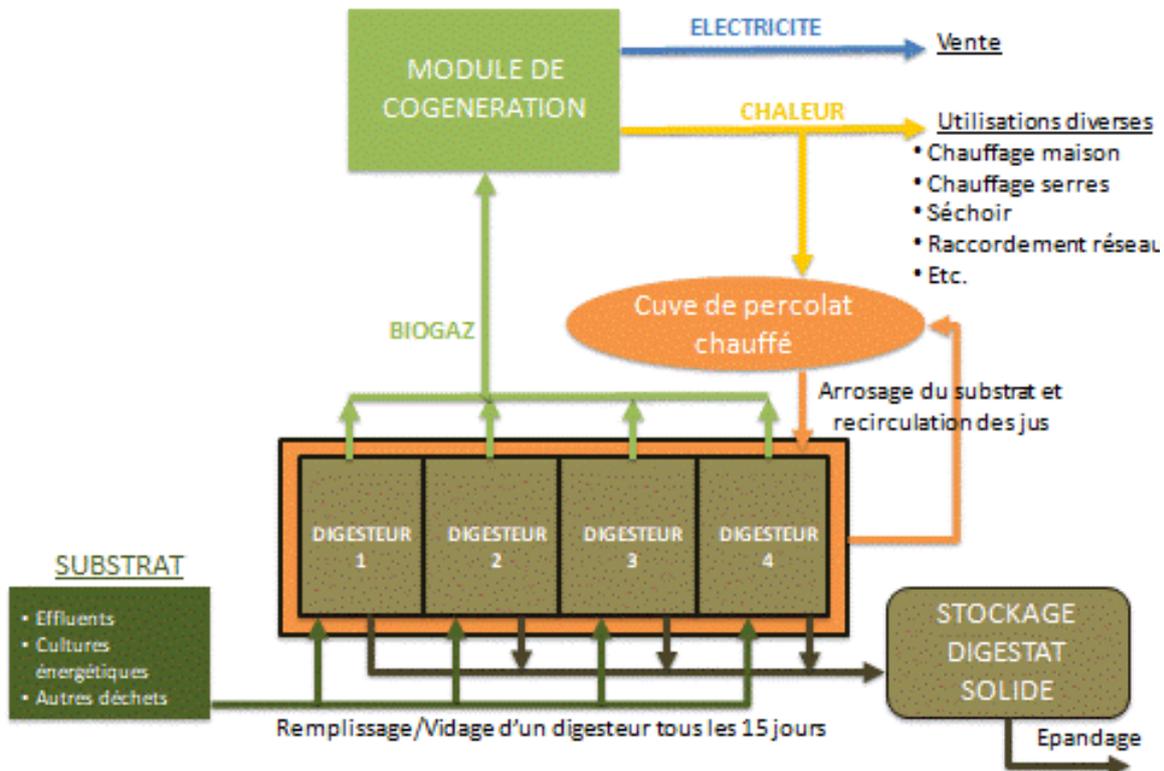


Figure 2 - Voie sèche discontinue

La charge de travail est donc intermittente, avec un chantier de vidange/remplissage d'un réacteur chaque quinze jours. En dehors de ces pics de travail, cette technologie ne nécessite qu'une surveillance minimale. L'absence de pompes et malaxeurs réduit significativement la maintenance.



Figure 3 - Les digesteurs du GAEC du Bois Joly : des silos en béton couverts d'une membrane

3) Comparatif

Ci-dessous, un résumé des différences entre la voie en infiniment mélangé (liquide) et la voie sèche, inspiré de la ferme du BIO Thorey^{iv}.

Tableau 1 : Comparatif Voie Sèche vs. Infiniment Mélangé

Critère	Voie liquide	Voie sèche
Matière entrante	Maximum 20 % de Matière Sèche	20 à 40 % de Matière Sèche
Consommation en eau	Dilution parfois nécessaire	Renouvellement du percolat
Stabilité du process	Plus facile d'intervention en cas de dysfonctionnement biologique	Gestion en parallèle de plusieurs digesteurs
Besoin en chaleur	20 à 30 % de la chaleur produite	Moindres sur les installations bien isolées
Besoin en électricité	Pompes, brasseurs et incorporateurs	Faibles
Digestat	Pompable	Manipulable au chargeur
Besoin en main d'œuvre	Automatisation possible	Important pour les chargements et déchargements
Production de Biogaz	Production linéaire	Production séquencée dans le temps
Sécurité	Période à risque = Phase de démarrage	Période à risque = chaque Chargement/déchargement

La méthanisation en voie sèche est plus adaptée à des gisements faibles de fumiers comme c'est le cas des exploitations en bovins allaitants en France. A partir d'un certain volume (grosses exploitations et collectifs agricoles), ou si le substrat est composé majoritairement de lisiers, la méthanisation en voie liquide est préférée. Les agriculteurs disposent ainsi de différentes technologies pour la mise en place d'une unité sur leur exploitation. De nombreuses sociétés spécialisées existent en Europe mais aussi en France, proposant des ajustements, comme la méthanisation en caissons pour des petits volumes, en réservoirs en bache souple, etc.

Vous connaissez maintenant les bases de la méthanisation. Vous êtes en capacité de bien appréhender le résumé de mes voyages Nuffield.

II. UNE VISION INTERNATIONALE DU BIOGAZ AGRICOLE

Cette partie détaille mes voyages effectués dans le cadre de la bourse Nuffield. Le premier volet (Figure 4) s'est déroulé en octobre 2016 au Royaume-Uni, Pays-Bas et Allemagne. Le second a eu lieu en avril 2017, principalement au Canada.



Figure 4 - Voyage Octobre 2016

A. Écosse : Méthanisation XXL et cultures énergétiques

Mon premier voyage débute en Écosse, chez **James Black** (Boursier Nuffield 1983), qui me fera visiter sa ferme et trois unités de méthanisation voisines. Dans un contexte très différent, la ferme Cream O'Galloway se distingue par sa production passive de biogaz.

1) Hue & investors, - 2,5 MW

Ma première visite est une installation de taille XXL en construction : un projet de 12 M€ ; capacité électrique de 2,5 MW en cogénération ; consommation de plus de 80 T/j d'ensilage de seigle... jamais je n'avais entendu parler d'installation agricole de cette taille ! Les dimensions sont impressionnantes, un cogénérateur de 500 kW (20 % de la capacité du site) est dédié à la génération de chaleur et d'électricité nécessaires pour la conduite opérationnel des digesteurs. Ce projet est celui d'une société spécialisée d'investisseurs, qui profite du contexte économique et réglementaire pour monter une dizaine de projets similaires. Le céréalier Hue met à disposition 600 ha de seigle pour alimenter ces digesteurs, selon un contrat prévu pour 25 ans. Cet agriculteur possède 6 fermes, j'ai pu visiter la dernière récemment construite pour l'engraissement de bovins allaitants. Le fumier est épandu classiquement, il y a peu de stockage.

2) Ian et James Feirlie, Monikie - 500 kW

Ces agriculteurs père et fils ont converti une partie de leur parcellaire en cultures énergétiques. La société autrichienne Biogest leur a proposé un schéma de production légèrement différent de ce que je connaissais : il s'agit en fait de deux digesteurs en béton construit l'un dans l'autre. Le substrat est

incorporé dans la partie externe, trois mélangeurs permettent le déplacement vers la partie interne. Une pompe évacue le digestat depuis le centre du digesteur interne vers une fosse de stockage. Le digestat est épandu sur leurs terres, la production de cultures énergétiques n'exporte ainsi ni azote, phosphore ou potassium.



Figure 5 : Discussions "au sommet" sur le toit du digesteur de Fairlie Farming Co.

Cas particulier : la réserve de biogaz ne se situe pas au dessus du digesteur mais dans un ballon de stockage abrité dans un local séparé. Les moteurs des malaxeurs sont accessibles depuis le toit en cas de panne (Figure 5). L'isolation du digesteur est meilleure, puisqu'il n'y a plus de mince membrane souple en guise de toit. La chaleur est valorisée par une unité de pasteurisation du digestat, afin de pouvoir exporter au besoin. L'électricité produite est utilisée par les pompes et moteurs du site.

Concernant l'organisation du travail, un salarié a été recruté pour s'occuper du site. Les tâches quotidiennes sont la surveillance depuis le poste aménagé dans un préfabriqué et l'alimentation du digesteur matin et soir pour un total de 25 T/j. L'herbe et le seigle sous forme d'ensilage sont les cultures les plus rentables pour la méthanisation dans les conditions pédoclimatiques écossaises. En tout, 200 ha sont récoltés chaque année et convertis en énergie (Figure 6).



Figure 6 - Stockage de l'ensilage d'herbe et de seigle

L'objectif principal était d'affranchir leur revenu des aléas du marché des céréales, grâce au contrat d'achat d'électricité fixé sur 25 ans à 12 c€/kWh. Ian m'explique qu'il a dû créer un nouveau site au milieu de son parcellaire pour des raisons "internes" : son épouse ne voulait pas d'un digesteur à côté de l'habitation principale. Le site est donc flambant neuf et sera facile à revendre si besoin.

3) Peacehill Farm, Wormit - 370 m³/h

Ross Forster et sa famille sont des agriculteurs diversifiés : moutons, pommes de terre, céréales, poulets, etc. Leur projet biogaz a été décidé en 2014 et l'unité était fonctionnelle à compter de février 2016, soit deux ans après. Ils ont préféré construire deux monodigesteurs séparés plutôt qu'un ensemble digesteur primaire et secondaire. Les deux unités sont bien distinctes, ce qui permet d'atténuer les pertes en cas de panne.

Je suis de nouveau surpris par la taille du site : les deux digesteurs engloutissent chacun 30 T/j de substrat (Figure 7). Sur une année, le substrat représente 450 ha de seigle, 120 ha de betteraves sucrières, 1 700 T de fientes, ainsi que les déchets de légumes de l'exploitation. Deux ouvriers travaillent à plein temps sur l'unité. Les agriculteurs ne détiennent que 10 % de ce projet de 10 M€, porté majoritairement par des investisseurs privés. En dépit de la proximité des bâtiments avicoles, il n'a pas été possible de valoriser le biogaz en chaleur.



Figure 7 - Les trémies d'incorporation avalent 30 T/j

Une unité de cogénération de 250 kW est dédiée au chauffage des digesteurs et à l'approvisionnement électrique. Le reste du biogaz est épuré puis injecté dans le réseau local à hauteur de 370 m³/h. Un local est dédié à la préparation du biogaz (assèchement, filtration). La technologie employée est la filtration à 90 bars par des pailles minuscules perforées, permettant de séparer le CO₂ du CH₄. Avant injection, le biométhane est odorisé et contrôlé. L'ensemble paraît extrêmement complexe (Figure 8) et est géré par la compagnie rachetant le gaz. Le CO₂ séparé n'est pas valorisé à ce jour et relâché dans l'atmosphère.



Figure 8 - Panorama de la complexité de l'épuration du biogaz

Le choix de la méthanisation est avant tout économique : la valorisation en cultures énergétiques permet une meilleure rémunération. Je m'interroge sur l'opinion publique concernant les cultures énergétiques. "En Écosse, les gens sont habitués à faire du whisky avec les céréales. Il n'y a pas de débat sur telle ou telle utilisation des terres" me répondra Ross en souriant.

4) David Finlay, Cream O'Galloway - 25 kW

Cream O'Galloway accueille de nombreux visiteurs des environs à la recherche d'une "pause nature". Au programme : visite de la ferme de 180 vaches laitières, de la production de crèmes glacées, ateliers pédagogiques, sentiers dans les champs, bar à glaces, vente directe, etc. Un budget de 1,8 M€ a permis de construire une stabulation aménagée pour maximiser le bien-être des animaux et des visiteurs (salle d'observation vitrée au dessus de la salle de traite). La stratégie est de maîtriser toute la filière de production, en se souciant des aspects environnementaux et du bien-être animal pour répondre aux attentes des nombreux visiteurs.

Les exemples suivants illustrent le côté atypique de l'exploitation de David Finlay:

- Par souci de préservation de la biodiversité, 10 % de la surface agricole de l'exploitation ont été volontairement laissés à l'abandon.
- Sur le plan éthique, une expérimentation a été menée dernièrement pour élever les veaux laitiers avec leur mère. Malgré d'excellentes croissances des veaux, la production laitière a chuté de près de 90 %. Ils recherchent actuellement un compromis : ne laisser les veaux que quelques heures par jour afin de limiter la quantité de lait ingéré.
- Le méthaniseur (Figure 9) est un prototype... atypique également ! Après avoir rentré les animaux en début d'hiver, les fumiers et lisiers sont pompés progressivement dans le digesteur. En l'absence de brassage et de chauffage, la production de gaz dans le digesteur se fait très lentement. Quand la réserve de gaz est suffisante, David démarre son cogénérateur qui fournit les besoins en électricité et en eau chaude de la salle de traite. Ils vendent très peu leur surplus électrique, à 5 c€/kWh.



Figure 9 : Le digesteur esthétique et économique de David Finlay

Il s'agit d'une récupération du méthane produit naturellement, sans optimisation coûteuse de la production. Le digesteur est vidé en avril et réapprovisionné avec le lisier stocké sous les bâtiments. Le cogénérateur est mis à l'arrêt en fin de printemps. David m'indique que la valeur fertilisante de son digestat est supérieure de 20 % par rapport au lisier ; *"Tout le monde devrait avoir un digesteur chez soi !"*.

Je tire un bilan très positif de mon premier pays visité en tant que boursier Nuffield. Alors que ma ferme familiale en Vendée se distingue par sa taille relativement importante et ses trois sites distincts, cela semble très anodin en Écosse. Hormis la ferme Cream O'Galloway qui fait exception, toutes les fermes que j'ai visitées sont le fruit de plusieurs acquisitions de fermes voisines. L'agriculture reste familiale mais le travail est principalement effectué par des salariés ou des entrepreneurs. En France, on assiste à la disparition de nombreuses exploitations pour cause de faillite ou de départ en retraite. Les structures sont absorbées par des voisins, causant une augmentation de la taille moyenne des exploitations. Serait-il tabou de penser racheter un site sans y travailler soi-même ?

Concernant la méthanisation, les agriculteurs rencontrés n'ont pas peur de l'opinion publique sur le recours aux cultures énergétiques. L'agriculture est un secteur économique comme un autre, le but avoué de l'agriculteur investisseur est de tirer un revenu de la méthanisation. Est-ce moi qui donne un poids trop important à l'opinion publique ? Ou bien les Français qui sont un peuple revendicateur à considérer à part ?

B. Angleterre : PlanET Biogas en force

Sue Shakesheff, boursière Nuffield 2002 m'a ouvert son carnet d'adresse de l'Ouest de l'Angleterre. En plus de son exploitation avicole, elle travaille pour PlanET Biogas, une société allemande de construction de digesteur présente dans de nombreux pays, y compris la France.

1) Dave Morgan, Herefordshire - 500 kW

Dave Morgan conduit une exploitation naisseur-engraisseur avec achats. Il a construit en décembre 2014 un digesteur avec cogénération d'une puissance de 250 kW. Toute l'électricité est alors vendue. La rémunération du producteur est constituée d'une aide à la production d'énergie "Feed-in tariff", fixe sur 20 ans, additionnée du prix de marché de l'électricité (variable, 3,8 c€/kWh lors de ma visite). Dave a branché son second cogénérateur un an plus tard, mais les politiques publiques concernant les énergies renouvelables avaient évolué (Figure 10) : son prix "feed-in tariff" est inférieur de 45 % !

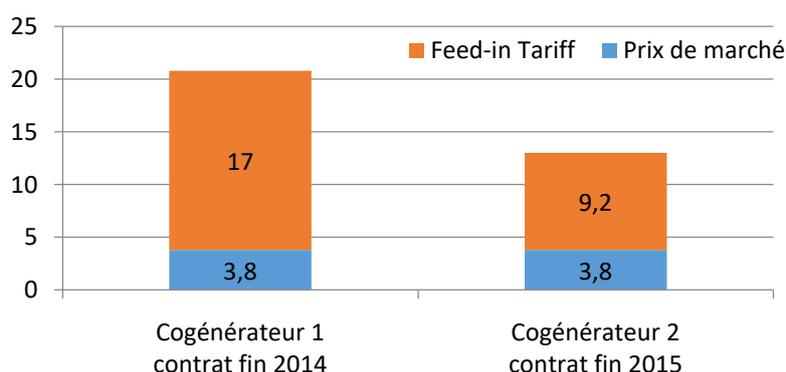


Figure 10 - Prix de rachat de l'électricité en UK

Dave étant limité en place, son digesteur était initialement prévu pour 250 kWh et en réalise finalement le double en réduisant le temps de séjour. L'ensemble de l'unité représente un investissement d'environ 2 M€, avec un retour sur investissement prévu entre 8 et 10 ans.

En Angleterre, un mécanisme encourage la valorisation de la chaleur renouvelable : l'agriculteur reçoit une prime de l'ordre de 6,5 c€ pour chaque kWh valorisé. Dave a donc investi 175 000 € dans un séchoir à grains qu'il fait fonctionner au maximum de sa capacité. L'investissement a été rentabilisé en un an ! Lors de ma visite, il séchait de l'ensilage de maïs qu'il échange à un voisin aviculteur contre les fientes de volaille. Les poulets apprécient cette litière très sèche, d'autant plus qu'elle contient des grains de maïs. Les fientes ainsi récupérées sont bien plus méthanogènes que celles des élevages utilisant des copeaux ou de la sciure.

En complément, Dave utilise le fumier des taurillons, particulièrement méthanogène en raison de la ration sèche, très énergétique. Toutes les eaux de pluie du corps de ferme sont récupérées et pompées vers le digesteur. Les cultures énergétiques de l'exploitation représentent 120 ha de maïs ensilage et 120 ha de seigle ensilage. Le tableau 2 détaille la ration journalière du digestat.

Tableau 2 : Détail de la ration journalière du digesteur (données fournies par l'agriculteur)

Substrat	Ration journalière (T)	Potentiel biogaz (m ³ /T)	Total Biogaz	% ration
Fumier de bovins	8	90	720	13 %
Fientes volaille (dont litière maïs ensilage séché)	4	220	880	16 %
Ensilage de maïs	8	220	1760	33 %
Ensilage de seigle hybride	3	240	720	13 %
Blé aplati	2	660	1320	25 %
TOTAL	25		5400 m3/j	

La société PlanET Biogas a construit le digesteur de Dave (Figure 11). Aujourd'hui, elle se diversifie en proposant un suivi microbiologique des digesteurs. Un échantillon est prélevé chaque 15 jours sur la ferme de Dave.



Figure 11 : Digesteur-type de PlanET Biogas.

Au centre, la trémie d'incorporation. Le toit en membrane est gonflé en permanence à l'air pour éviter la prise au vent. A droite, on aperçoit la cuve de stockage du digestat.

Certains agriculteurs anglais remplacent les bâches plastiques sur le silo de maïs par une couche de digestat séché. Les pertes d'ensilage sont importantes mais elles alimentent le digesteur. La pénibilité est moindre en l'absence de bâches plastiques.

2) Sue Shakesheff - 250 kW

En 2011, quand Sue et ses associés ont décidé de construire leur digesteur, il n'y avait que 37 unités de méthanisation au Royaume-Uni. On en compte aujourd'hui plus de 450. La ferme comprend un atelier avicole de 90 000 poulets de chair, 70 ha de cultures (maïs ensilage ou orge) et 30 ha d'ensilage d'herbe, ainsi qu'un digesteur et un cogénérateur de 250 kW. L'apport quotidien est présenté en Tableau 3.

Tableau 3 - Détail de la ration du digesteur de Sue Shakesheff

Substrat	Ration journalière (T)
Fientes de volailles	2
Marc de pomme/raisin (automne et hiver)	12
Ensilage de maïs et herbe (printemps/été)	12
Eaux de lavage des bâtiments	En complément pour un substrat à 20-24 % de MS

Le marc de fruits a un ratio C:N élevé et est moins cher que le maïs (23 vs 39 €/T). En hors-saison, le marc de fruits est remplacé un mélange d'ensilage de maïs et d'herbe. Le niveau d'azote incorporé est surveillé de près, car les excédents, en fonction de la température et du pH, se transforment en ammoniacque NH₃. Les fientes de volailles sont également riches en H₂S et sont ainsi limitées à environ 15 % du total. L'objectif de Sue est d'avoir un ratio C:N de 6,5.

Le temps de rétention est un paramètre stratégique (Tableau 4), car des matières qui séjournent longtemps demandent un volume plus important et donc des coûts supplémentaires. Il faut décider son projet en fonction des matières disponibles et non l'inverse.

Tableau 4 : Temps de rétention de différents substrats

Substrat	Temps de rétention optimal (j)
Paille	120
Marc de Pomme	40
Betteraves	40
Ensilage d'herbe ou de céréales	80
Ensilage de maïs	70

Le plan d'épandage étant un peu chargé, Sue et ses associés exportent du digestat autant que possible. Le digestat est plus compliqué à vendre que les fientes de volailles car c'est un engrais organique aux caractéristiques mal connues. En revanche, il existe une demande pour la mise en place de nouveaux digesteurs dans les fermes voisines.

Deux ans ont été nécessaires entre la décision du projet et la première vente d'électricité, bien qu'ils aient été ralentis car ce fut l'une des premières unités de méthanisation du pays. Ils comptaient sur des subventions pour valoriser la chaleur pour les poulets, mais cela ne s'est jamais mis en place. Au contraire, il y a eu un retour en arrière des politiques, puisqu'aujourd'hui il n'y a plus d'aide pour les énergies renouvelables.

Non loin de la ferme de Sue, la société Vale Green Energy produit 6 MW de méthane sur deux sites, dont 1 MW valorisé par cogénération. Le reste est injecté dans le réseau national : ils furent les premiers au Royaume-Uni en 2013. La chaleur est valorisée dans des serres et bâtiments avicoles, le CO₂ issu de l'épuration du biogaz est conditionné et vendu pour l'agro-alimentaire (soda, atmosphères modifiées, etc.). L'injection est une technologie coûteuse à ce jour et ne serait pas rentable pour des projets inférieurs à 1,5/2 MW.

3) PlanET Biogas UK

Les installations de Dave et Sue sont similaires car elles ont été construites par la même société : PlanET Biogas UK. On retrouve ainsi le dôme vert et gris, le système d'incorporation (Figure 12) et les deux modules préfabriqués pour la cogénération et la gestion des flux. La société PlanET Biogas est également l'auteur de plusieurs innovations.



Figure 12 : Trémie d'incorporation, installation PlanET Biogas. Tous les substrats sont pesés pour le suivi de l'installation

Le joint à air comprimé est une fierté de PlanET Biogas tant il fonctionne bien. Il permet de maintenir le toit en place en ne demandant qu'un apport d'électricité minime pour le compresseur.

La structure de la couverture, comprenant un filet en fibres synthétiques, permet la fixation de bactéries transformant le sulfure d'hydrogène en amas de soufre solide (Figure 13). Ces derniers tomberont par gravité dans le substrat et seront éliminés via l'épandage du digestat. Les bactéries nécessitent un apport d'oxygène, un compresseur est donc dédié à l'injection d'air en faible quantité dans le digesteur.



Figure 13 : Stalactites de soufre à l'intérieur du digesteur

Le broyeur Gorator© permet d'augmenter la surface de contact entre les bactéries et le substrat, élevant la production de biogaz de 10 %. La consommation d'électricité du broyeur serait compensée par l'économie sur les malaxeurs, le substrat devenant plus fluide. Chez Sue, ce broyeur traite 38 m³/j en parallèle du digesteur. Elle regrette cependant de ne pas l'avoir positionné dès l'entrée du digesteur afin de broyer toutes les matières entrantes.

permet un compostage accéléré (24 h à 60°C). Le résultat est un compost très léger, utilisé comme litière dans les logettes des vaches laitières (Figure 15).

Pour un investissement total de près de 2 M€, le bénéfice net n'est que de 2 000 € par an. C'est donc loin d'être un investissement extraordinaire, mais Willem et sa famille sont satisfaits de pouvoir générer eux-mêmes leur énergie et de montrer l'exemple. Attention cependant aux pannes, qui peuvent rapidement coûter quelques dizaines de milliers d'euros non prévus au budget.

Concernant le prix de rachat de l'électricité, l'État néerlandais subventionne la différence entre le prix du marché et le prix payé au producteur (15 c€/kWh). Le gouvernement pensait que le prix de marché allait augmenter et que ça ne coûterait rien au budget de l'État. Malheureusement, le prix du marché était de 4 c€/kWh lors de ma visite, ce qui fait du biogaz un gouffre financier pour le contribuable néerlandais !

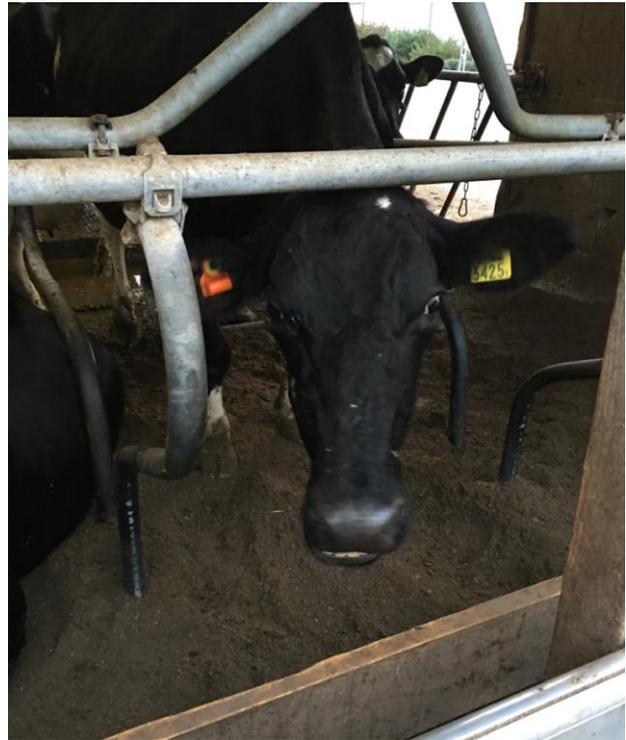


Figure 15 - La fraction solide du digestat est valorisée comme litière

2) Application Center for Renewable Resources, Lelystad - 500 kW

L'université agricole de Wageningen compte un important institut de recherche. Le Dr Marteen Kootstra, chercheur en process durables et bioraffinerie, me fait visiter le site de Lelystad de 1 200 ha, où de nombreux travaux dans des domaines très différents (cultures, porcs, lait, environnement...) sont menés, notamment avec des partenariats privés.

Le centre de recherche ACCRES a été mis en place en 2009 et est spécialisé dans les énergies renouvelables. Quelques expérimentations sont menées sur les filières photovoltaïque et éolienne, notamment avec quelques impressionnantes éoliennes de 200 m de haut qui permettent d'étudier la force des vents en altitude.

Concernant la méthanisation, un petit digesteur de 500 m³ permet de tester le pouvoir méthanogène de différents produits. Il alimente une unité de cogénération de 100 kW. L'électricité est autoconsommée et la chaleur valorisée par d'autres expérimentations. Des recherches portent sur l'épuration de biogaz et la compression du biométhane. Ce dernier est acheminé vers un mystérieux caisson d'une société privée, ayant besoin d'un apport constant de gaz méthane pur sous pression. Nous n'en saurons pas plus sur ce projet confidentiel.

Les gaz d'échappement de la cogénération, riches en CO₂, sont également valorisés par injection dans les bassins de culture d'algues (Figure 16) pour booster leur croissance. Les algues peuvent atteindre des phases de croissance record en bassins chauffés. On peut en extraire plusieurs composants, notamment des biocarburants de troisième génération.



Figure 16 - Le CO₂ accélère la croissance des végétaux

Compte-tenu du contexte particulier des Pays-Bas en excédent structurel, différents bassins permettent d'étudier le traitement de la fraction liquide du digestat par des plants de massette ou de châtaigne d'eau. J'ai même observé des plants de soja bien fournis, alors que nous sommes au mois d'octobre au Pays-Bas ! Les résultats sont prometteurs, la prochaine étape analysera la croissance et la composition des plantes et pourquoi pas transformer et valoriser les matières produites (protéines, cellulose, etc.).

La recherche scientifique n'a pas de limite, dès lors qu'une structure est prête à financer les travaux. Parmi les programmes de recherche à venir figurent la culture de rotifères (organismes microscopiques) et de lentilles d'eau sur digestat.

3) Hans Banning, Groningue - 1,2 MW

Hans Banning dirige son laboratoire spécialisé dans la méthanisation à Groningue, près de la frontière allemande au Nord-Est du pays. Hans a une approche très scientifique et chimique du sujet. Des dizaines de microdigesteurs de 4 à 20 L lui permettent d'affiner les connaissances fondamentales sur les réactions de production du biogaz. Ses recherches portent bien souvent sur des sujets peu étudiés par l'industrie. Par exemple, l'injection de dihydrogène (H₂) dans un digesteur augmenterait significativement la teneur en méthane dans le biogaz. Certains procédés amélioreraient la dégradabilité de la MO, pour générer davantage de biogaz. Le digestat serait alors un liquide incolore dépourvu de matière organique.

La veille de ma visite, le gouvernement néerlandais a lancé un plan pour la réalisation de 1 000 digesteurs à la ferme afin de diversifier les revenus des éleveurs laitiers et faire ainsi face à la crise laitière que traverse l'Europe. La coopérative Friesland Campina a obtenu ainsi 150 M€ d'aides pour la construction des 200 premiers digesteurs. Hans est très critique vis à vis de ce programme, car la méthanisation des lisiers de bovins, trop dilués, ne serait pas profitable. Le nombre de digesteurs aux Pays-Bas est passé de 120 en 2011 à 20 en 2016 à cause de l'augmentation du cours de l'ensilage de maïs, rendant plusieurs digesteurs non rentables.

De même, à ma grande surprise, Hans prédit l'arrêt de la plupart des digesteurs en Allemagne dans les prochaines années, convaincu que le substrat nécessite un traitement particulier (et secret) afin d'exprimer tout son potentiel méthanogène. Il est justement en train de créer une entreprise de traitement des effluents de volaille (contre redevance), qu'il revendra après son mystérieux traitement comme substrat pour les unités de méthanisation.

Nous visiterons l'installation de méthanisation qu'un agriculteur a confié à Hans afin de mettre en pratique ses théories. Pas moins de 6 digesteurs sur ce site surréaliste de 1,2 MW, où les quatre

cogénérateurs ont été récemment remplacés après avoir été détruits par un excès de H_2S . Le digestat était séché, pressé en granulés et brûlé dans une chaudière à bois... jusqu'à ce que le matériel non adapté soit détruit après deux mois d'utilisation ! Hans m'expliquera que les propriétaires sont avant tout entrepreneurs agricoles et n'ont pas spécialement le temps de s'occuper de leur installation de méthanisation, ce qui explique ces gâchis.

Ce chercheur a également pour projet de développer des caissons de méthanisation producteurs de chaleur et d'électricité pour particuliers et de proposer la livraison de "carburant" à base de fientes traitées. Je suis assez sceptique concernant l'engouement des néerlandais sur ce projet. Les poêles à bois, le biométhane et l'électricité verte tracée me semblent des solutions écologiques bien plus pratiques à mettre en œuvre pour les particuliers.

4) Annechien Ten Have Mellema



Figure 17 - Vu sur l'autoroute, à croire que le méthane me suit dans mes déplacements !

Mes visites me mène dans le nord du pays, dans une région riche en gaz naturel (Figure 17). Annechien Ten Have Mellema et sa famille conduisent un élevage porcin avec une unité de méthanisation. Deux digesteurs en béton (primaire et secondaire) sont alimentés par les effluents de l'élevage et différents cosubstrats : déchets de céréales, glycérine, etc. Cette dernière est ajoutée directement dans le 2ème digesteur car sa dégradation est beaucoup plus rapide. Du chlorure de fer est également régulièrement ajouté pour réduire les émissions de H_2S . Fourni par une compagnie de traitement et de distribution d'eau, il s'agit principalement de dépôts de canalisations.

Initialement, le site ne comptait qu'un petit digesteur et une fosse de stockage, mais cette dernière a été réaménagée avec ajout de mélangeurs électriques. En cas de besoin, un accès à la prise de force d'un tracteur est possible, permettant un brassage très efficace. Le constructeur assure un suivi en étalonnant la ration chaque semaine pour optimiser le coût de production du biogaz (annexe 1).

L'unité demande environ 2,5 h de travail par jour, dont une bonne vingtaine de minutes pour l'alimentation du digesteur. Le reste consiste à surveiller le bon fonctionnement des installations, accueillir les camions de cosubstrats, effectuer la maintenance des installations et faire face aux différentes pannes : il faut avoir le goût pour la mécanique. Les exploitants sont très satisfaits de leur système d'alimentation en béton à fond mouvant, après une dizaine d'année sans problème majeur. Un entrepreneur passe régulièrement avec un séparateur de phases mobile. La partie liquide est stockée en fosse couverte tandis que la partie solide est séchée et pasteurisée dans des caissons mobiles, puis exportées vers l'Allemagne.

Depuis la construction de son unité, Annechien a gardé contact avec le fournisseur du cogénérateur 2G. Elle m'a donc arrangé une visite de l'usine de production à Heek en Allemagne, de l'autre côté de la frontière.

La trop grande concentration des élevages hollandais impose un traitement des effluents. En conservant les éléments fertilisants, la méthanisation ne se positionne pas comme une solution intéressante dans ce contexte. Elle coûte également cher au contribuable et n'est pas plébiscitée par les pouvoirs publics. Je retiens de la visite des instituts de recherche les innovations sans limite des travaux menés et le regard différent que les chercheurs portent sur les agriculteurs. En plus de produire alimentation et énergie, ces derniers sont considérés comme de futurs fournisseurs de bioressources pour la chimie verte.

D. Allemagne : les professionnels du Biogaz

Considéré comme le champion du biogaz agricole moderne, le modèle allemand impressionne par le nombre d'installations dans les campagnes et la rapidité de leur mise en œuvre. Hormis l'usine 2G, les visites suivantes se déroulent dans le cadre d'un voyage à Egling and der Paar, village bavarois jumelé à ma commune. Dans cette bourgade de 2 000 habitants, trois exploitations agricoles ont mis en place des unités de méthanisation, représentatives de la filière allemande.

1) 2G - Heek.



Figure 18 - Chaîne de production à Heek

La société 2G, du nom de ses deux fondateurs Grotholt et Gausling, compte parmi les leaders mondiaux en conception de cogénérateurs à gaz (gaz naturel ou biogaz, voire hydrogène). Avant et après mon passage dans cette usine, j'ai pu voir de très près ces cogénérateurs dans plusieurs sites de méthanisation visités. La société 2G compte 550 salariés et produit des cogénérateurs avec des capacités allant de 20 à 4 000 kW (Figure 18). Les moteurs sont testés dans l'usine, puis expédiés dans plus de 40 pays clients.

Récemment, une unité de production a été mise en place aux USA pour l'approvisionnement du continent américain. La société 2G se remarque par la qualité de ses modules et sa résilience. Bien que la Commission Européenne n'ait pas validé le CHP Act 2016, entraînant une diminution du marché de l'ordre de 7 M€, 2G a réussi à développer ses exportations à hauteur de 44 % de son chiffre d'affaires.

Durée de vie d'un cogénérateur

J'ai appris lors de cette visite que la durée de vie d'un module n'est que de 60 000 heures dans de bonnes conditions de maintenance. En ce qui concerne la filière biogaz, cela signifie qu'il faut prévoir remplacer le module chaque 8 ans. D'où l'intérêt d'une installation légère (type container amovible) et facilement accessible en prévision du remplacement. Je m'interroge également sur l'impact de l'allongement des contrat d'achat de 15 à 20 ans. Les cinq années supplémentaires nécessitent l'installation d'un troisième module, augmentant de fait le coût de production du kWh sur les dernières années...

2) LOFFLER Franz - 490 kW

Les Löffler sont éleveurs de porcs et céréaliers (200 ha : 50 % céréales, 50 % maïs) en association père en fils. En 2006, à la suite de politiques encourageant la méthanisation, ils construisent deux digesteurs (primaire et secondaire) et un endläger (fosse de stockage couverte). Le cogénérateur installé a une capacité de 190 kW. Comme beaucoup d'installations allemandes, elle sera agrandi quelques années plus tard en raison du contexte économique très favorable. En 2010, un digesteur primaire plus volumineux est construit et réceptionne l'intégralité du substrat ; l'ancien digesteur primaire devient secondaire ; un second endläger plus gros est élevé en fin de process pour pallier à cette augmentation de volume (Figure 19). Un second cogénérateur de 300 kW est ajouté.

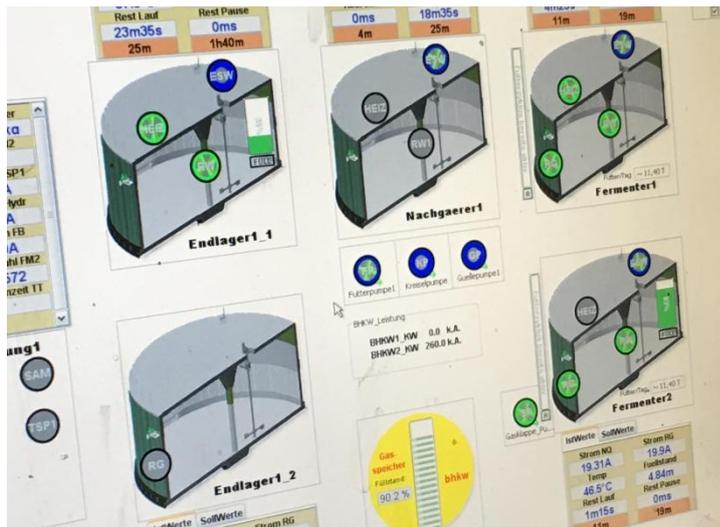


Figure 19 - Pas moins de 5 cuves à gérer sur cette installation

Ici aussi, il faut être mécanicien... Les agriculteurs ne me cachent pas que des pannes surviennent assez fréquemment. Dernièrement, certains tuyaux de biogas se sont comblés de cristaux de soufre, en témoigne un tas jaunâtre près du digesteur. Cette exploitation comporte différentes particularités :

- Les moteurs des agitateurs sont accessibles depuis le toit en béton pour des raisons pratiques. Le système de chauffage du digestat est également externalisé pour un meilleur accès (Figure 20).
- Un système de pesée automatisée permet de mesurer le poids de toutes les remorques lors de l'ensilage de maïs.

- La chaleur est valorisée par un séchoir à grain astucieux : des remorques avec un faux plancher permettent de sécher et déplacer facilement les céréales. Un séchoir à bois a également été raccordé pour le compte d'un voisin. Les bûches séchées sont beaucoup plus efficaces et la demande des particuliers en bois de chauffage est importante.

A ce jour, l'unité consomme 24 T/j d'ensilage de maïs et 16 m³/j de lisier de porc. Les Löffler consacrent une grande partie de leur parcelle au maïs énergie et achètent l'équivalent de 100 ha d'ensilage de maïs au voisinage. Un vrai marché de l'ensilage de maïs énergie s'est ainsi créé en Allemagne, la demande est très forte compte tenu des nombreux digesteurs.



Figure 20 - Le système de chauffage externe

La fameuse loi sur les énergies renouvelables

L'Allemagne s'est doté d'un véritable plan de développement de la méthanisation avec la loi sur les énergies renouvelables appliquée en 2000, en faisant la part belle aux cultures énergétiques. Des réformes ont permis une meilleur tarif de rachat si le substrat méthanisé comportait plus de 50% d'effluents. Aujourd'hui, la filière est quasiment à l'arrêt depuis les dernières réformes en 2014, portant la part maximum de maïs ensilage, que ce soit comme substrat ou comme plante cultivée sur l'exploitation, à 60%.

Malgré ces nouvelles contraintes, Franz est assez optimiste : les réserves mondiales de pétrole s'essouffent et la politique allemande de production d'énergie renouvelable va maintenir une augmentation des coûts de l'énergie.

L'investissement des Löffler est élevé (1,4 M€) ; le retour sur investissement est d'environ dix ans. Le contrat de rachat de l'électricité de 17 c€/kWh est récemment passé à 20 c€/kWh pour une durée de dix ans. Cependant, ce prix n'est pas garanti et varie selon le marché. Ces agriculteurs ne seront pas bavards sur l'aspect financier. Les nouveaux projets de méthanisation agricole seraient toujours rentables, mais moins qu'il y a quelques années. Si c'était à refaire, ils recommenceraient le projet, mais d'une taille encore plus importante.

3) ZELLERFELD Martin Sieber - 1,45 MW

Cette unité construite en 2012 est le fruit du regroupement de trois céréaliers de la commune. Elle fonctionne à 100 % avec des cultures énergétiques pour une capacité de 1,45 MW.

Martin me présente les deux fermenteurs enterrés maintenus à 50°C. Ils sont très bien isolés : en hiver, la neige qui se dépose dessus ne fond pas. Les malaxeurs sont actionnés par un système hydraulique nécessitant 50 kW, dont la maintenance est gérée par l'installateur (Figure 21). Les performances sont au rendez-vous mais les coûts sont plus élevés que prévus. Des malaxeurs électriques auraient été plus appréciés.



Figure 21 - Le système hydraulique pour le brassage

L'endläger de 6 400 m³ (8m x 32m) permet de stocker à la fois le digestat et le biogaz. Chaque jour, 43 T d'intrants sont incorporées : 23 T de maïs ensilage, 2 T de blé, 4,5 T de triticale, 8 T d'ensilage d'herbe et 5 T de betteraves (Figure 22). En complément, des minéraux régulent le pH.

Depuis 2015, la chaleur est transférée vers un village à 1,3 km, comptant une quinzaine de foyers. La

chaleur est vendue seulement 1,3 c€/kWh car le réseau a été financé par le village. L'atelier rutilant dispose d'un chauffage au sol, très confortable pour la maintenance en hiver !



Figure 22 - Sacré silo de maïs !

Les trois céréaliers produisent 75 % de leur substrat et achètent le reste. Pour 100 T achetées, 60 T de digestat sont redistribués aux fournisseurs.

Compte tenu de la taille de leur unité, des contrôles ont lieu chaque année sur le respect des normes environnementales. Un manquement peut entraîner une pénalité sur le tarif de rachat.

La production s'adapte à la consommation

Le principal problème des énergies éolienne et photovoltaïque est leur production discontinue et imprévisible. La méthanisation a l'avantage de pouvoir produire en continu. Un des grands enjeux du secteur énergétique est l'estimation des besoins électriques en fonction des prévisions météorologiques, sujet sur lequel travaille la société Audi. A l'échelle d'un territoire, le projet SmartGridVendée, lancé en 2017, a pour but d'adapter la production à la consommation, évitant ainsi des gaspillages.

A Zellerfeld, un cogénérateur de 550 kW tourne continuellement tandis qu'un second de 900 kW se met en route uniquement aux périodes de forte consommation. Pour accepter de ne pas faire tourner leurs installations à 100% de leur capacité, Martin et ses associés reçoivent un meilleur tarif de rachat. Les excédents d'électricité peuvent être vendus à la bourse de Leipzig selon le prix du marché.

Comme la plupart des pays, le réseau allemand n'a pas été conçu pour une production diffuse d'électricité, de nombreux travaux ont été nécessaires pour l'adapter à la méthanisation. Le réseau allemand reste de mauvaise qualité : par temps ensoleillé, Martin doit éviter de connecter le gros cogénérateur en même temps que leur champ de panneaux photovoltaïques, au risque de faire sauter le transformateur.

Le développement du biogaz a été vraiment intense entre 2004 et 2012. Les tarifs ne sont plus aussi intéressants qu'auparavant et l'opinion publique n'apprécie pas l'utilisation démesurée de maïs ensilage. L'impact de la monoculture sur les sols est pointé du doigt, malgré le fait que la méthanisation entraîne un retour au sol du digestat, évitant ainsi l'utilisation d'engrais chimiques. L'augmentation du foncier est un effet de l'engouement pour le maïs ensilage, qui impacte l'ensemble des productions agricoles. Cette visite a eu lieu avec Luitgard, mon "interprète", qui découvrait totalement la méthanisation et représentait ainsi l'opinion publique allemande. Pour elle, le changement de paysage est une réalité sur la commune d'Egling, voire un danger du fait du manque de visibilité sur les routes sinueuses bordées de champs de maïs.

4) MARTIN RUILE - 350 kW

Martin Ruile était historiquement engraisseur de taurillons. S'inquiétant des prix de la viande, il s'est petit à petit intéressé au biogaz, malgré des premières visites peu convaincantes. En 2001, il arrête l'élevage et devient céréalier sur ses 100 ha, mais la faible surface ne permet pas de dégager un revenu suffisant. Suite à la mise en place de la loi sur les énergies renouvelables, il décide en 2007 de convertir toute sa surface en cultures énergétiques pour une unité de méthanisation de 200 kW. De part sa présence au cœur de la commune, les relations avec les voisins et la mairie sont houleuses et le mèneront au tribunal pour des soupçons de non respect des normes environnementales. Il obtient néanmoins un agrément pour 350 kW, avec un tarif de rachat de 20 c€/kWh. Aujourd'hui les procédures sont toujours en cours pour porter cet agrément à 800 kW.

Le site compte deux digesteurs primaires de 1 000 m³ et un digesteur secondaire de 2 500 m³, tous chauffés. L'endläger est seulement isolé et couvert pour le stockage du digestat et du biogaz. Martin est l'architecte de son système de pompage, avec une pompe unique et une boucle équipée de nombreuses électrovannes afin de réaliser tous les mouvements de fluides souhaités. Le cogénérateur tourne au maximum de sa capacité et ne s'arrête que pour la maintenance et lors des jours chauds (> 25°C) pour préserver le matériel. La chaleur produite est valorisée dans trois foyers et deux entreprises voisines. En hiver, toute la chaleur est valorisée, dont l'équivalent de 120 kW uniquement pour le chauffage des digesteurs.

Martin récupère 7 000 m³ de lisier d'un élevage voisin et n'a donc pas de souci avec la nouvelle limite légale de 60 % de maïs maximum. Une nouvelle loi est prévue pour 2025, limitant la part des cultures énergétiques à 40 % du substrat. L'herbe et les betteraves ne seraient pas considérées dans ces 40 %. Pour Martin Ruile, le maïs reste la culture idéale : simple et économique. Sur son exploitation, il a remplacé l'engrais chimique par du digestat et effectue un seul traitement par an. Il se considère donc comme proche du bio. De plus, Martin apprécie d'avoir plus de marge de manœuvre sur les périodes d'épandage : il dispose d'un engrais organique abondant et avec une meilleure disponibilité pour les plantes.

Je l'interroge sur ce qu'il fera après la fin de son contrat de rachat : "On verra bien !". Les politiques allemandes s'orientent vers des installations résilientes pouvant répondre à des appels d'offres à court terme, plutôt que sur des contrats de tarifs de rachat garantis sur de très longues périodes. Pour le moment, Martin recherche les cultures énergétiques les plus rentables. Il constate que tous les agriculteurs se jettent dans le biogaz à base de maïs sans sécuriser leurs approvisionnements. Les prix de rachat diminuent progressivement et celui de l'ensilage augmente...

5) SANKT OTTILIEN - 500 kW

Le monastère de Sankt Ottilien comprend un village de 800 habitants, un lycée, une ferme de 150 ha cultivés, un potager de 8 ha, 126 ha de forêts, 170 vaches laitières, 3 000 poules et un atelier porcin. Ouvert au public, c'est un lieu de détente pour les habitants des alentours.

Au total, ce sont plus de 70 000 m² de bâtiments, souvent anciens, qui nécessitent d'être chauffés l'hiver. Il y a quelques années, les besoins en fioul étaient de 700 000 L/an ! Les moines ont réalisé des études sur leurs besoins, leur potentiel d'isolation, de production et ont installé en 2007 un réseau d'eau chaude dans le village. En 2008, on installe deux chaudières à biomasse (350 kW et 700 kW) alimentées avec des copeaux de bois issus des forêts du monastère. La chaleur est stockée sous forme d'eau chaude dans une cuve de 55 m³.

En 2010, une unité de méthanisation de 250 kW vient compléter ce réseau (Figure 23). Le digesteur est volontairement surdimensionné afin d'accueillir en 2013 un second cogénérateur de 250 kW, augmentant la capacité de production de chaleur de 700 kW. Le digesteur reçoit 24 T/j (60 % effluents, 40 % maïs). Comme en France il y a quelques années, le prix de rachat augmente avec la proportion de chaleur valorisée. Il n'est pas judicieux de consommer l'électricité produite, car le tarif de rachat est plus élevé que le prix de l'électricité aux particuliers (23 c€/kWh vs 16 c€/kWh). Au final, l'énergie thermique produite par le monastère provient à 35 % de leurs bois, 50 % des cogénérateurs, 10 % de bois acheté et 5 % de fioul utilisé en complément si la température descend en dessous de -5°C.



Figure 23 - Sankt Ottilien

Durant les quinze à vingt ans à venir, des travaux d'isolation et de rénovation viendront diminuer les besoins en chaleur du monastère et l'unité de méthanisation sera probablement mise hors d'usage à la fin du contrat de rachat.

Le modèle allemand surprend par la rapidité de sa mise en œuvre. L'essentiel des installations se sont montées entre 2004 et 2012, alors que les politiques encourageaient l'utilisation de cultures énergétiques. Le grand nombre d'installations a permis de réduire les coûts de mise en place, renforçant la rentabilité des unités.

Aujourd'hui, la filière de construction d'unités s'est stabilisée autour de 45 000 emplois et cherche désormais à s'exporter vers les pays demandeurs de la technologie allemande, dont la France. Le développement de la filière biogaz a profondément bouleversé le secteur agricole, impactant la disponibilité des terres cultivables et le prix du foncier.

E. Au Canada, les différentes politiques provinciales dessinent la filière

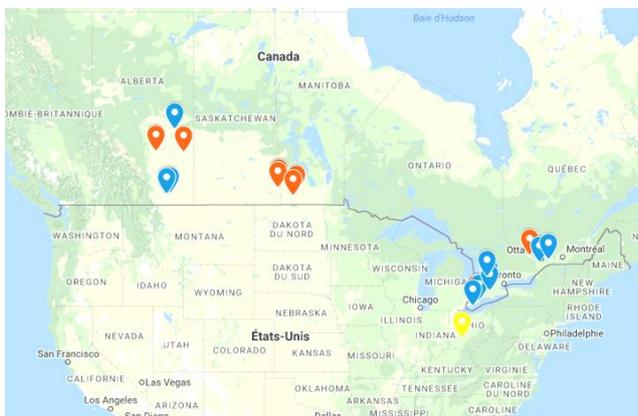


Figure 24 - Voyage Avril 2017

Le Canada est un vaste pays agricole qui présente différents systèmes, allant des fermes relativement similaires aux fermes françaises dans l'Est (Québec, Ontario) jusqu'aux exploitations céréalières et élevages extensifs démesurés des Prairies Canadiennes (Alberta, Saskatchewan, Manitoba). Les différentes provinces disposent d'administrations distinctes et indépendantes du gouvernement fédéral. Ce voyage a été réalisé en avril 2017 (figure 24), avec un détour aux USA pour découvrir l'élevage d'insectes (cf. annexe 1).

1) Ontario

Mon voyage au Canada débute en Ontario, chez **Blake VINCE**, boursier Nuffield 2013, qui me fera rencontrer plusieurs de ses voisins céréaliers (Dan Cornwell, Jack Rigby, Jim Clark) en agriculture de conservation des sols (Figure 25). Je retiens de ces rencontres la cohérence de l'agriculture de



Figure 25 - Tour de plaine avec Blake Vince

conservation des sols et l'importance portée au temps libre et aux passions. Blake a pour projet de monter un élevage allaitant pour pâturer ses couverts ; Dan profite de l'arrêt de son élevage laitier pour se consacrer à l'engraissement de dindes, plus rémunérateur ; Jim retape des voitures de collection et cultive des citrouilles géantes... Bien que ces agriculteurs ne soient pas impliqués dans la méthanisation, ces rencontres furent marquantes et sont détaillées en annexe 1.

1a. Campus de Ridgetown - 250 kW

En arrivant sur ce campus dépendant de l'université de Guelph, je reconnais le design de PlanET Biogaz (Figure 26). L'unité de 250 kW tourne avec 6 à 7 T/j d'huiles alimentaires usagées et 35 T/j de lisier de porc. L'essentiel de la production de biogaz provient des huiles, le temps de rétention est très court. Serait-il intéressant d'utiliser des oléagineux comme cultures énergétiques ?



Figure 26 - Vue d'ensemble PlanET Biogaz

Hormis le chauffage du digesteur, la chaleur est très peu valorisée. Le responsable de l'unité, Lucas McNea, m'explique que la rentabilité n'est pas recherchée car une université publique ne peut pas avoir d'activité lucrative. Le campus paye d'ailleurs 15 \$/T pour obtenir les huiles alors que les autres installations reçoivent une redevance pour ce service de traitement ! Le prix de rachat du kWh est de 18 c€ entre 11h à 19h et 12 c€ la nuit. Le contrat est fixé sur 20 ans mais des variations à la baisse sont possibles. En comparaison, le kWh payé par les particuliers est d'environ 10 c€, le Canada ayant une énergie bon marché du fait de ses ressources en gaz naturel importantes.

A Ridgetown, des recherches portent sur la méthanisation de cadavres de poulets. Bien que l'activité semble dégoûtante, il y a un potentiel méthanogène certain. Précédemment, la culture d'algues sur du digestat ou du fumier a été étudiée, mais cela reste difficile à mettre en œuvre à échelle industrielle. Il a également été question de produire une matière plastique avec des champignons de type *Geotrichum* à partir des effluents d'élevage !

L'opinion publique en Ontario est très critique envers les énergies renouvelables, responsable d'une hausse du prix de l'électricité. Plusieurs politiciens, plus ou moins corrompus, auraient favorisé des parcs éoliens ou photovoltaïques dans lesquels ils étaient impliqués. Cela explique d'ailleurs le développement rapide des énergies renouvelables en Ontario. Les programmes publics de développement durable sont de moins en moins nombreux et aujourd'hui décriés par la population.

1b. Roger Thiessen, Leamington - 1,6 MW

Roger Thiessen est un entrepreneur multi activité qui pilote depuis 2005 une unité de méthanisation de 1,6 MW (Figure 27). Ce projet de 10 M€ a été porté par des producteurs de concombres sous serre qui souhaitent s'affranchir du coût de l'énergie. Aujourd'hui, le site vend l'électricité (contrat 8 c€/kWh sur 20 ans), l'eau chaude, le digestat et le service de ramassage des ordures (50 000 T/an). Pour ce dernier point, il est en concurrence directe avec les décharges publiques. Tous les déchets sont ramassés, puis une surprenante machine lave et trie le plastique.



Figure 27 - L'installation de Leamington

Cette visite m'a fait découvrir une autre réalité de la méthanisation : ici le principal rôle est la gestion des déchets organiques des particuliers. Les ordures sont stockées temporairement dans une énorme structure qui permet de travailler au chaud l'hiver tout en réduisant les odeurs. De mon point de vue, la gestion des déchets des villes est autrement plus sale que les effluents classiques d'élevage.

Roger m'avouera que la gestion n'est pas de tout repos, avec de nombreuses pannes et soucis d'approvisionnement. A la fameuse question "Si vous deviez recommencer à zéro, qu'est ce que vous feriez ?", Roger me répondra avec humour : "Des pizzas ! C'est beaucoup plus facile !".

Roger est membre de la coopérative Cornerstone qui regroupe différents sites de méthanisation. En Ontario, les industries et restaurateurs sont obligés de faire traiter tous leurs déchets organiques. Cornerstone permet de centraliser cette collecte et assure une régularité dans la capacité de traitement, même en cas d'impossibilité d'un adhérent. Les deux visites suivantes sont des fermes adhérentes de Cornerstone.

1c. Steve Terpstra, Donegal - 1 MW

Steve pilote une exploitation de 500 vaches laitières et 2 500 bovins allaitants. La construction en 2010 d'un digesteur d'une capacité de 1 MW a permis de traiter les lisiers des bovins et des déchets organiques extérieurs (Figure 28). Les contrats de rachat de l'électricité sont attribués par vagues suite à des appels d'offre du gouvernement. On a conseillé à Steve d'attendre une offre intéressante,



Figure 28 - Le digesteur à l'arrêt de Steve

mais une faute de frappe dans le dossier l'a invalidé. Steve et ses associés attendent donc un nouvel appel d'offres, mais il n'y en a pas eu depuis plusieurs années. La structure est donc à l'arrêt après avoir fonctionné un an et demi seulement.

Malgré ces déconvenues, Steve est toujours motivé pour développer les énergies renouvelables, du moment qu'elles soient rentables.

1d. Dave Green, Embro - 250 kW

Depuis 2013, une installation PlanET Biogas trône au milieu de cette ferme de 250 vaches laitières. L'unité fonctionne avec les lisiers de l'exploitation et des déchets organiques externes (pulpes de fruits, graisses issues de l'agroalimentaire, etc.). La méthanisation n'a pas changé fondamentalement l'organisation de travail, mais Dave consacre assez de temps à son unité, notamment pour l'entretien qu'il réalise lui-même. L'épandage de la phase liquide se fait avec une double tonne à lisier, le parcellaire étant trop morcelé pour faire de l'épandage avec un enrouleur ou un système sans tonne.

Dave utilise la fraction solide du digestat pour composter ses vaches mortes (Figure 29). Elles sont ensuite incorporées dans le digesteur, après avoir retiré les principaux os qui pourraient entraîner de la casse dans les mélangeurs. Au lieu de payer 40 € d'équarrissage par animal, il estime un gain de 140 € d'électricité produite par cadavre.



Figure 29 - Compostage de cadavres de bovins

Le temps de rétention n'est actuellement que de 35 jours. Le cogénérateur tourne à 100 % et le surplus de gaz est brûlé par une torchère. Dave a pour projet de construire un second digesteur tout en ajoutant un cogénérateur de 250 kW. Cela permettra d'arrêter la torchère et d'optimiser la production de biogaz en allongeant le temps de rétention. Il verra ensuite s'il est intéressant pour lui de produire des cultures énergétiques. Cette extension est possible car Dave avait fait deux dossiers pour 250 kW lors des appels d'offres. Il a donc un contrat de rachat déjà prêt. Dave me conforte dans l'idée qu'il faut savoir se tenir prêt lorsque les opportunités se présentent. Il a su garder un œil sur la législation concernant la méthanisation pour anticiper son augmentation de capacité.

1e. Georges Heintzle, St Eugène - 360 kW

Cet autrichien est arrivé en Ontario en 1993 en achetant 40 ha non drainés pour 42 000 €. Les prix ont bien changé depuis, puisqu'il a récemment racheté 40 ha pour 800 000 € ! Sa ferme compte aujourd'hui 460 ha et 160 vaches laitières.

En 2007, il devient le premier agriculteur d'Ontario à vendre de l'électricité issue du biogaz, avec son unité qu'il a lui-même construite à l'aide des conseils de ses cousins restés en Autriche. Des déboires avec l'administration lui ont fait acheter deux petits cogénérateurs de 180 kW identiques au lieu d'un de 360 kW. Au final, cela permet une meilleure gestion des pièces détachées en cas de panne. Son contrat de rachat est fixé à 14 c€/kWh. Environ 20 % du biogaz est issu des lisiers, le reste provenant de déchets organiques externes liquides.

Contrairement à la très grande majorité des installations, la membrane de son digesteur n'est pas gonflée à l'air afin d'éviter une prise au vent (Figure 30). Même avec quelques tempêtes, Georges n'a jamais eu de souci avec sa membrane, si ce n'est qu'elle est un peu moins esthétique. Il envisage pour la prochaine récolte de raccorder son silo à grain avec le réseau de chaleur. Le transport de l'eau chaude se fait par des tuyaux isolés extrêmement chers. Je m'interroge sur l'obligation d'isoler ces tuyaux, étant donné que la chaleur est majoritairement excédentaire.



Figure 30 - Derrière les deux cabanes techniques, le digesteur à membrane lâche

Georges a également installé des panneaux photovoltaïques sur une partie de son exploitation. Il est très satisfait de cet investissement, grâce au tarif de rachat très intéressant de 46 c€/kWh.

1f. Shane MOWATT, Ashton - 500 kW

Shane a connu de nombreux déboires avec son installation. Peu après la mise en place de son digesteur en 2011, le constructeur a fait faillite, laissant cinq installations en Ontario quasiment toutes à l'arrêt. Shane a donc réaménagé plusieurs parties, notamment le système de chauffage du digesteur. L'écran de pilotage (14 000 €) s'est cassé au bout de quelques mois : la solution de



Figure 31 - Fosse d'incorporation et de dilution

remplacement est un simple ordinateur portable et un logiciel de suivi à distance (7 000€). Shane en est très satisfait et aurait aimé avoir ce matériel dès le début. De même, il est satisfait de sa pompe à solide de marque Houle, dont le système en piston n'est pas dérangé par des pierres ou autres éléments solides. Il a reconstruit cet hiver une fosse d'incorporation (Figure 31) où il dilue les déchets solides avec du lisier. Un mélangeur classique de fosse à lisier semble très efficace et économique.

Depuis les réaménagements, l'exploitation tourne à 100 % de sa capacité. Son exploitation est trop loin de Toronto et d'Ottawa pour espérer récupérer des déchets organiques liquides, mais les déchets solides valent le coup. Concernant l'organisation du travail, avec la nouvelle fosse de préparation des solides/lisiers, Shane aimerait faire en sorte de préparer la ration du dimanche dès le samedi afin d'alléger l'astreinte quotidienne. Shane s'est lancé dans le biogaz suite à un scandale sanitaire dans un village voisin. Plusieurs habitants ont été intoxiqués suite à l'épandage de lisier près d'une rivière. L'opinion publique s'est mobilisée contre ces agriculteurs irresponsables. C'est donc pour hygiéniser son lisier que Shane a installé une unité de méthanisation.

Sa fille souhaite profiter du réseau de chaleur. Elle vient de construire une serre pour produire des paniers de légumes locaux (Figure 32). Bien que les campagnes soient peu peuplées, les consommateurs recherchent la proximité avec les agriculteurs.



Figure 32 - Début d'une activité de vente directe par la fille de Shane

J'ai pu constater en Ontario le dynamisme des villes et des nombreuses exploitations agricoles au sud, plutôt céréalières et maraîchères sous serres. En remontant vers le Nord, les campagnes semblent désertées et on retrouve principalement des élevages laitiers et allaitants. Je n'ai cependant exploré qu'une très petite partie de la province, bien plus grande que la France !

La loi obligeant les industries agro-alimentaires à traiter leurs déchets organiques a augmenté la rentabilité de la filière qui a été mise en place par acteurs motivés. L'opinion publique est défavorable à des politiques de développement des énergies renouvelables, il est donc peu probable que ce développement se poursuive si les cours du gaz naturel et du pétrole se maintiennent à des niveaux bas. J'ai poursuivi mon voyage aux USA, en Saskatchewan et au Manitoba, mais ces rencontres ne traitaient pas de la méthanisation, elles sont donc consignées dans la partie insectes et en annexe.

2) Alberta

L'Alberta est réputée pour sa production d'énergies fossiles, mais également par sa production céréalière. De nombreux feedlot permettent d'engraisser les brouards issus des grands élevages extensifs du Nord avec les céréales produites plus au Sud du Canada.

2a. Les vastes prairies inhabitées

J'ai ainsi pu rendre visite à **Tim Smith**, boursier Nuffield 2017, qui dispose d'un ranch extensif au Centre-Est de la province (compte-rendu en annexe), une zone très calme, peu habitée. Ici il y a peu de services, comme en témoigne ma recherche de carburant sur les 60 kilomètres avant d'arriver... La nuit, malgré une vue très dégagée, on n'aperçoit aucune lumière de villages voisins aux alentours. A la fin de mon séjour, une couche de neige a renforcé ce sentiment de solitude. Et je ne suis pourtant que dans le sud de l'Alberta !



Figure 33 - Allure des parcellaires autour de Red Deer, Alberta

La conquête du Canada s'est déroulée il y a environ 150 ans. On a ainsi quadrillé les plaines en délimitant des parcelles d'un mile carré (258 ha) et des routes carrossables tous les 6 miles (Figure 33). Un lopin de terre d'un quart de section (65 ha) était offert à celui qui était capable de l'entretenir et l'habiter au moins 6 mois de l'année. Cette colonisation a permis de peupler les campagnes et d'installer une vie en colonies. Avec le temps et l'exode rural, les villages se sont dépeuplés et les exploitations se sont agrandies.

Certains ont maintenu ce mode de vie : on trouve à quelques km de chez Tim une colonie d'une bonne centaine d'habitants. Des allemands, arrivés après la deuxième guerre mondiale, produisent un peu de tout sur une ferme moderne et autonome : porcs, volailles, lait, céréales. Le village est constitué de résidences communes, de réseaux d'eau chaude et d'électricité collectifs... Il y a même un fabricant de chaussures pour les besoins de la colonie !

Plus loin, dans la colonie Iron Creek, on a fait construire un digesteur en 2007. Le prix de rachat de l'électricité est progressivement passé de 12 à 3 c€/kWh. La colonie a donc décidé dès 2012 d'auto-consommer son électricité. Suite à la privatisation récente de fournisseurs d'électricité, de nouveaux contrats d'électricité à très bas prix ont poussé la colonie à arrêter complètement la cogénération. Si le prix de marché de l'électricité remonte, ils relanceront leur digesteur mais le sujet n'est pas à l'ordre du jour. Ils recherchent toujours à améliorer leur autonomie en réfléchissant aujourd'hui à produire leur propre carburant avec de l'huile de colza.

2b. Harold Perry - 633 kW

Harold Perry, boursier Nuffield 2006, est céréalier et producteur de pommes de terre qu'il transforme en chips pour Lays. Avec son frère Chris, ils ont créé "Grow the Energy Circle", une entreprise qui fait la promotion de leurs actions autour de la durabilité de leur ferme. Dans ce cadre, des audits ont été réalisés sur la gestion des énergies de leur exploitation. Une unité de géothermie a été mise en place pour le stockage des pommes de terre. Des outils technologiques ont permis de

cibler les apports en eau sur leurs parcelles irriguées sous pivot. Et en 2014, ils ont construit avec PlanET Biogaz un digesteur d'une capacité de 633 kW (Figure 34).



Figure 35 - Vue d'ensemble du digesteur des Perry

Ce dernier a été dimensionné pour doubler la capacité si besoin (emplacements des futurs digesteurs déjà délimités, tuyaux enterrés, gros œuvre, etc.). Il était prévu que la fraction liquide du digestat soit épandue via les pivots d'irrigation. Cependant, le taux de résidus est trop élevé et les canalisations se bouchent. Un essai est actuellement en cours pour décanter ces solides dans une cuve avant pompage (Figure 35).



Figure 34 - Essai de décantation de Harold

La station fonctionne avec les déchets de la production et de transformation de pommes de terre, ainsi qu'avec des matériaux externes à l'exploitation : lisiers et fumiers d'une ferme voisine (30 à 75 T/j) échangés contre de la paille, graisses d'abattoir (7 T/j) et déchets de tri de graines de colza. Pour ce dernier intrant riche en huile, une redevance est perçue pour traiter ces déchets, soit une double rémunération. Les Perry se sont refusés à utiliser les déchets des villes : trop de plastiques étaient retrouvés dans des déchets soi-disant organiques... Le tri par les particuliers a ses limites.

Actuellement, le biogaz n'est pas très rentable sur le plan économique. Les contrats à long terme sont réservés pour les centrales à charbon de plusieurs MW. Le gouvernement ne permet pas l'autoconsommation et impose la revente de l'électricité au prix de marché. Celui-ci est très volatil et varie de 0 à 70 c€/kWh, mais se situe en moyenne sur une année aux alentours de seulement 2 c€. Un bonus de 4 c€/kWh est accordé pour les énergies renouvelables, mais ne permet pas d'atteindre le seuil de rentabilité. Harold fait actuellement pression avec un groupe de petits producteurs d'énergies renouvelables afin d'obtenir un prix garanti à 4,5 c€/kWh hors bonus, mais les démarches sont longues.

2c. Lethbridge BioGas - 2,85 MW

Au sud de la province, la ville de Lethbridge compte un site de méthanisation industriel d'une capacité de 2,85 MW. C'est la plus grande unité de méthanisation du Canada. Bodo Müller est allemand, il travaille pour PlanET sur ce projet depuis 2012, gérant la mise en place de cette unité et les projets de développement. Ce site collecte des effluents issus d'élevages alentours, mais fonctionne surtout avec des déchets agroalimentaires (Figure 36).



Figure 36 - Vue d'ensemble Lethbridge BioGas

Un dispositif a été mis en place afin de collecter les cadavres d'animaux de la région, ils sont alors broyés et incorporés dans les digesteurs après hygiénisation. Notre visite correspond avec la mise en route du dispositif, ce n'est pas très ragoûtant... surtout lorsque nous devons enjamber les flaques de liquides douteux issus d'une fuite dans le broyeur. Ce type de substrat a pourtant un très haut potentiel méthanogène et permet aux territoires de se débarrasser de ce type de déchets tout en maîtrisant les risques de diffusion de pathogènes. Il est prévu dans les prochaines années l'installation d'un troisième cogénérateur de 1,43 MW, portant la capacité totale du site à 4,28 MW.

L'installation a le même principe que les installations agricoles visitées, mais en beaucoup plus grand et avec plusieurs options complexes (cuisson des matières entrantes, broyage des cadavres en amont, installations de sécurité liées à la taille de l'unité, etc.). Ce type de méthanisation peut paraître effrayante par sa concentration de déchets organiques et sa complexité.



Figure 37 - Mon comité d'accueil international à Lethbridge : Bodo (PlanET Biogas, allemand) ; Ziad et Nick (Lethbridge College, tunisien et russe) ; Harold (Ferme Perry, canadien). Le Français prend la photo...

Le gouvernement de l'Alberta a investi plusieurs millions de dollars dans une demi-douzaine de projets de méthanisation, dont la plupart sont à l'arrêt aujourd'hui. Le biogaz a une très mauvaise opinion publique en Alberta : les projets éoliens et photovoltaïques sont aujourd'hui préférés. Je pense cependant que les colonies des zones peu peuplées sont un potentiel marché pour la méthanisation au Canada, puisqu'elles disposent 1) de leur propre réseaux d'énergies, 2) des effluents générés par leurs élevages et 3) d'une volonté forte de vivre en autonomie. La méthanisation compte quelques sites agricoles portés par des acteurs passionnés, mais reste surtout une solution intéressante à échelle industrielle, pour le traitement de tout type de déchet organique.

Le Canada présente une agriculture intensive à grande échelle, les exploitations des Prairies paraissent démesurées par rapport aux exploitations françaises. La densité de population étant bien plus faible, les agriculteurs ne semblent pas préoccupés par l'opinion publique lorsqu'ils développent leurs projets. Les Canadiens aiment la proximité avec leurs agriculteurs et recherchent des circuits courts, comme en témoigne le développement des microbrasseries artisanales (annexe 1).

Comme en Allemagne, la taille du projet est corrélée avec sa rentabilité. Faire plus gros permet de réaliser des économies d'échelle et d'anticiper des évolutions futures. Mais l'investissement est considérable et l'abandon par les pouvoirs publics reste une éventualité.

III. LA METHANISATION EN FRANCE

En France, la filière se développe depuis une bonne dizaine d'année à un rythme relativement lent. La technologie de l'infiniment mélangé peut paraître complexe aux yeux des non-initiés. J'ai découvert la méthanisation agricole en 2012, au Gaec des Manets dans l'Orne (61). Les agriculteurs avaient fait le choix, comme beaucoup en France, de travailler avec une société allemande pour leur connaissance du sujet.

Un des objectif de cette étude était également d'observer la technologie en voie sèche, plus adaptée à la méthanisation de fumiers pailleux. Résidant en Polynésie, la rencontre avec **Denis Brosset** est ma seule visite française.

A. Denis Brosset - 30 kW

Le Gaec du Bois Joly est une référence parmi les pionniers du biogaz en France, avec une unité construite en 2006. Faisant partie d'un pilote suivi par l'Ademe, on trouve facilement de la documentation sur internet.

1) La simplicité de la voie sèche

Il s'agit d'une méthanisation en voie sèche fonctionnant avec quatre digesteurs indépendants de type silo de maïs (Figure 38). Chaque 15 jours, Denis vide un digesteur et le recharge. Il n'y a ni agitateur ni pompe pour la gestion du digestat. Le process de méthanogénèse démarre une fois le digesteur recouvert d'une membrane souple.

Le module de cogénération est de 30 kW électrique + 56 kW thermique. La chaleur est valorisée avec le chauffage des digesteurs et de deux maisons. Un essai de production de spiruline a été mis en place il y a quelques années, mais sans succès.

Les effluents apportés comprennent le fumier des 50 vaches allaitantes du Gaec et des effluents des exploitations voisines : litière volaille, fumier de canards, tontes de pelouse, matière stercoraires d'un abattoir, etc.



Figure 38 - En arrière plan les digesteurs, à gauche le local technique

2) Un système expérimenté et réajusté

Créé avec un bureau d'étude français, cette unité est la première du genre en France. Des améliorations sont sans cesse apportées pour faciliter le processus et simplifier le travail de l'exploitant. Par exemple, le substrat était initialement inondé en l'aspergeant de percolat, mais des particules bouchaient les tuyaux d'évacuation au sol. Aujourd'hui, Denis envoie le percolat par le dessous. De même, l'utilisation de quatre pompes différentes pour la gestion du percolat a été remplacée par une pompe unique et quatre vannes manuelles pour régler le débit de chaque digesteur.

3) Une charge de travail plus pénible et concentrée

Denis Brosset estime la surveillance à une dizaine de minutes par jour, ainsi qu'une matinée de travail lors du vidage/remplissage d'un digesteur, chaque 15 jours. La manipulation de la bêche constitue le travail le plus pénible. Denis est devenu de plus en plus efficace en se chronométrant. Voici les principales étapes de la mise en route d'un digesteur :

- Enlever la membrane (la veille)
- Vider le digestat au chargeur (1h15)
- Remplir le fumier, figure 39 (35 minutes)
- Asperger le substrat par le dessous
- Mise en place d'un filet et du tuyau pour la diffusion du percolat par le dessus (quelques minutes)
- Couvrir de plaques isolantes de 5m x 2,5m (7 minutes)
- Couvrir avec la membrane (19 minutes)



Figure 39 - Chargement d'un digesteur

L'exploitant observe le lancement de la production de biogaz en fonction de l'allure de la membrane. Après environ deux mois, les vannes de percolat et de biogaz sont fermées et le digesteur vidé. A noter que le process est stoppé avant son terme afin de garder un digestat solide comportant une part de matière organique dégradable.

4) Une unité modeste mais rentable

Denis Brosset est très satisfait de son installation. Il a récemment arrêté la production de lapins pour se concentrer sur le biogaz. Bien que l'unité soit très modeste en comparaison de celles visitées à l'étranger, l'exploitant réussi à en tirer un revenu avec un chiffre d'affaires de 52 000 € de vente d'électricité pour 26 000 € de frais annuels. Au début du contrat, son tarif de rachat était de 14 c€/kWh (dont une prime de 3 c€ pour l'utilisation de la chaleur). Il a été réévalué à 22 c€/kWh (dont 4 c€ de prime effluents). Si c'était à refaire, l'agriculteur recommencerait sans hésiter le projet, mais avec un cogénérateur plus important, probablement 60 kW.

L'unité de méthanisation du Gaec du Bois Joly m'a paru très intéressante, car elle est simple et facile à mettre en œuvre sur une exploitation agricole. Il y a cependant quelques limites à prendre en compte. A titre de projet pilote, des subventions ont permis de réduire le coût de l'investissement. De plus, une bonne partie des travaux de construction ont d'ailleurs été mené par M. Brosset et son associé. Le coût de construction de son unité est donc probablement sous-estimé et les aides plus importantes qu'un projet similaire construit à ce jour.

De plus, la faible capacité du cogénérateur rend l'exploitation fragile en cas de hausse des charges ou de baisse des produits, par exemple une fois le contrat de rachat arrivé à son terme. Une capacité plus importante permet de diluer les charges, sans pour autant augmenter significativement le temps de travail consacré à l'unité. D'autant plus que l'avenir est incertain concernant les prix de rachat et les coûts de production du kWh...

Denis Brosset est actif dans la filière, notamment sur l'utilisation du biogaz carburant. Il a lancé un appel aux constructeurs qui voudraient mettre à sa disposition un tracteur ou un utilitaire roulant au biogaz. Il suit également le développement d'une solution de compression de biogaz avant transport vers un site d'injection, pour un investissement d'environ 40 000 €.

B. Une volonté politique et de nombreux atouts...

En France, la méthanisation agricole n'a pas suivi le rythme allemand. Plusieurs programmes de dynamisation ont été lancés prudemment, avec cependant la volonté de ne pas baser la filière sur l'utilisation de cultures énergétiques comme en Allemagne. La méthanisation est une filière avantageuse qui s'intégrerait pourtant bien dans le contexte agricole français.

1) Notion de durabilité

Dans le secteur agricole, la **durabilité** est un indicateur d'une exploitation agricole, qui prend en compte les performances selon 3 axes : l'économie, l'environnement et les aspects socio-territoriaux. La négligence d'un seul de ces axes entraîne une diminution de la viabilité de l'exploitation, à court ou long terme. La méthanisation à la ferme s'inscrit parfaitement dans l'amélioration de la durabilité des exploitations. Elle permet de **diversifier les élevages** en produisant une **énergie renouvelable** et participe au **développement socio-économique** des zones rurales (Figure 40).

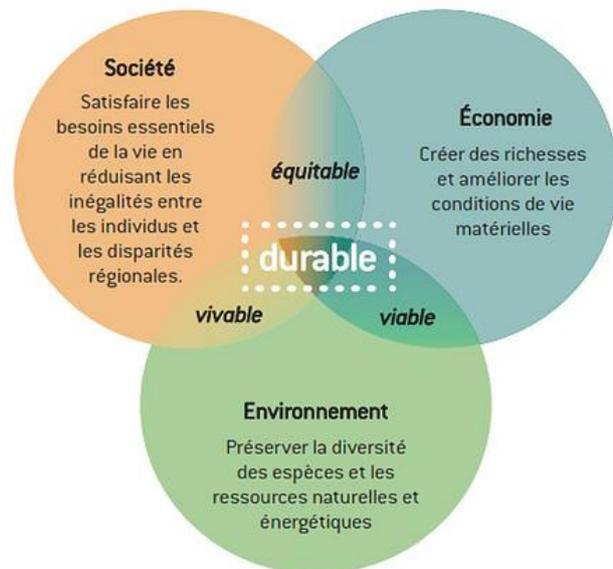


Figure 40 - Relations entre les piliers de la durabilité (Agridurable Tunisie)

1a. Aspects économiques

Malgré l'investissement élevé, un digesteur assure un revenu régulier et mensualisé pour l'agriculteur. Avec un prix d'achat garanti et subventionné, c'est un investissement rentable sous réserve d'un bon fonctionnement du digesteur.

Le poste fertilisation peut être réduit, par une gestion plus fine des épandages de digestat. Lorsqu'elle est bien valorisée, l'énergie ainsi produite peut concourir à des économies à l'échelle de l'exploitation (chauffage gratuit de bâtiments, séchoirs, etc.).

Comme vu au Canada, les agriculteurs peuvent collecter une redevance en participant au traitement des déchets organiques des collectivités et industries voisines.

1b. Aspects environnementaux

Le digestat issu de la méthanisation présente de l'azote sous forme minéralisée, plus facilement assimilable que dans le substrat. Il se substitue directement aux engrais azotés industriels, ces derniers étant de gros consommateurs d'énergie lors de leur production.

Même dans le cadre de l'utilisation de cultures énergétiques parfois décriées, le retour au sol (Figure 41) des éléments via le digestat permet de conserver toute la richesse des terres en plus d'augmenter la vie du sol

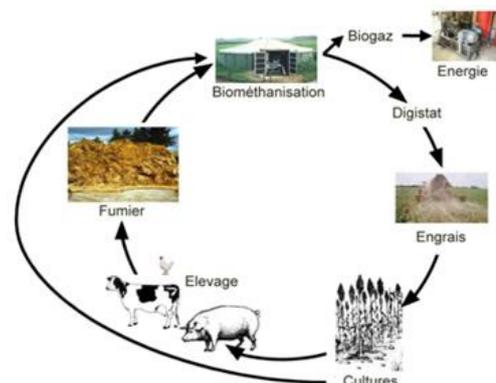


Figure 41 - Cycle du carbone méthanisé (C3E Sarl)

par l'apport régulier de matière organique. La méthanisation participe ainsi à l'initiative 4 pour 1000 pour la sécurité alimentaire et le climat, en améliorant la qualité des sols et en augmentant le rôle de puits de carbone de l'agriculture.

Le biogaz est une ressource renouvelable de premier plan. L'énergie générée est considérée comme renouvelable puisqu'elle ne provient pas de ressources fossiles. La quantité de dioxyde de carbone émis lors de la combustion du biogaz correspond à la quantité de carbone fixé par les plantes de la ration des animaux (ou par les cultures énergétiques le cas échéant).

La cogénération produit de l'électricité en continu, contrairement aux énergies solaire et éolienne dépendantes des conditions météorologiques. Le biogaz est également une énergie stockable sous forme comprimée ou non, les infrastructures étant déjà existantes.

En France, les effluents d'élevage bovins représentent un gisement de matières méthanisables réparti sur l'ensemble du territoire. En développant la méthanisation à la ferme, la France peut se doter d'une production décentralisée d'énergie, limitant les pertes liées au transport.

1c. Aspects socio-territoriaux

La production d'énergie décentralisée permet également de maintenir un tissu d'activités dans les zones rurales. La création d'une filière comptant plus de 8 000 installations de méthanisation à la ferme en Allemagne a participé à la création d'environ 40 000 emplois permanents^v, dont une bonne partie dans les campagnes.

En utilisant des déchets organiques externes à l'exploitation, la méthanisation à la ferme s'inscrit dans une économie circulaire à l'échelle d'un territoire . Cela permet de convertir à l'échelle locale des déchets en énergie et digestat.

2) Volontés politiques

Le gisement global mobilisable à l'horizon 2030 pour la méthanisation a été évalué à 56 TWh d'énergie primaire en production de biogaz. Il est composé à 90 % de matières agricoles, dont 183 millions de tonnes de matières brutes^{vi} (Figure 42). Fin juin 2016, 291 installations de méthanisation produisent de l'électricité à partir de biogaz, correspondant à une puissance installée de 100 MW^{vii}.

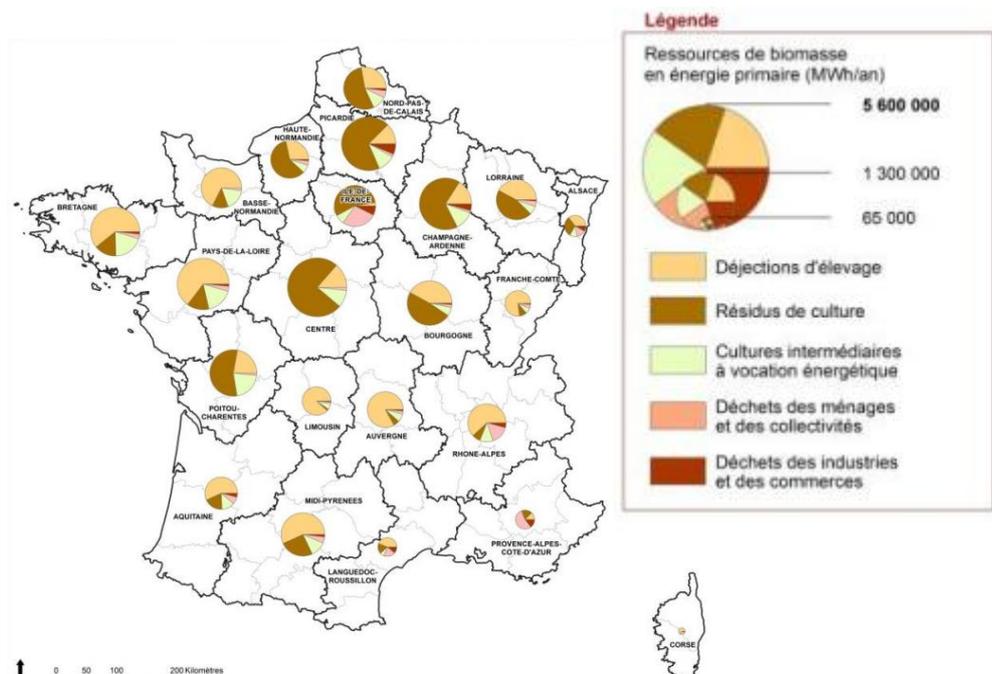


Figure 42 - Ressources annuelles mobilisables (Ademe 2013), les déjections d'élevages représentent une large partie de ce potentiel dans l'Ouest

2a. Programme de développement

Un appel à projet de 1500 projets a été lancé en 2014 pour une durée de trois ans. Les agriculteurs, industriels et collectivités territoriales retenus pourront bénéficier différentes aides en fonction de leur projet.

En 2013, le ministère du développement durable a lancé le plan Énergie Méthanisation Autonomie Azote (EMAA). Ce plan s'inscrit dans une démarche agronomique fondée sur le respect de l'équilibre de la fertilisation et la réduction globale du recours aux intrants. L'objectif est de développer en France 1 000 méthaniseurs à la ferme à l'horizon 2020, contre 90 fin 2012. Ce développement est amorcé dans l'Ouest de la France, mais atteindre les objectifs semble difficile (Figure 43).

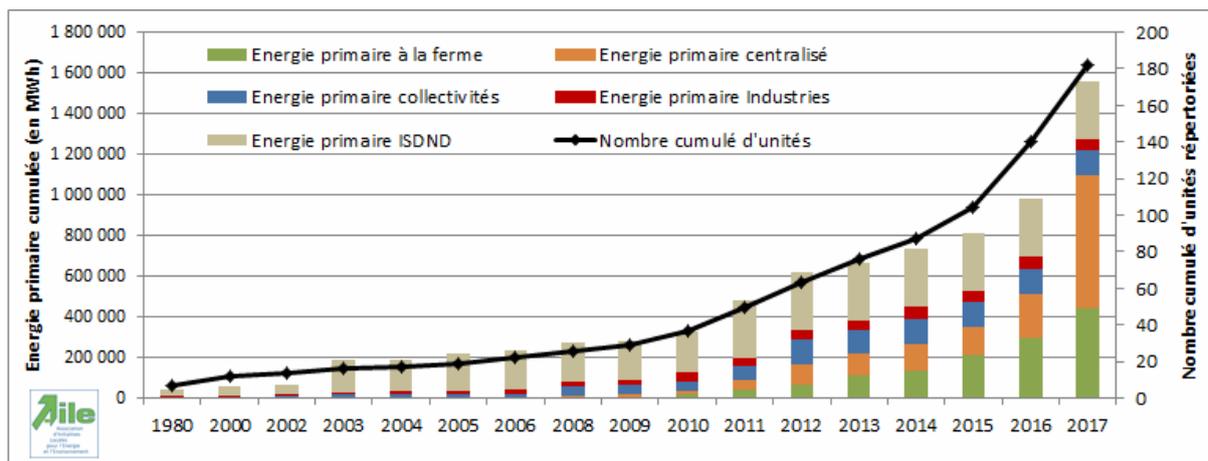


Figure 43 - Développement de la méthanisation en Bretagne et Pdl tous secteurs confondus (Aile)

L'initiative 4 pour 1000, lancée officiellement lors de la COP21 en décembre 2015 par le ministre de l'agriculture Stéphane LeFoll, a pour but d'accroître la fertilité des sols grâce à la séquestration de carbone. Cette initiative s'inscrit dans une volonté de garantir la sécurité alimentaire, d'adapter l'agriculture aux impacts du réchauffement climatique et d'atténuer les émissions de GES. La méthanisation s'inscrit dans cette démarche en permettant un retour au sol des éléments fertilisants, notamment dans le cadre d'unité fonctionnant avec des cultures énergétiques, CIVE ou autres substrats qui n'étaient pas destinés à devenir des engrais organiques.

2b. Dispositifs de soutien

Depuis les arrêtés du 19 mai 2011 et du 23 septembre 2016, un dispositif de soutien permet de garantir la vente de l'électricité issue de la méthanisation sur une période de 20 ans pour les installations de moins de 500 kW. Au delà, la mise en marché de l'électricité est soumise à un appel d'offre. Le premier appel d'offre, portant sur 3 ans, a été lancé en février 2016. Il porte sur un volume de 10 MW pour les filières méthanisation et bois énergie.

L'Ademe participe au développement des projets de méthanisation depuis 2007 par le biais de son fond déchet et son fond chaleur. Certaines régions se proposent également d'aider la mise en place de petits projets. Le total des aides varie de 30 à 50 % du montant de l'investissement.

Différentes mesures encouragent également la production de biométhane à partir de biogaz, comme cela va être détaillé ci-dessous.

C. ... mais une évolution hésitante

Les principaux inconvénients de la méthanisation sont des coûts importants à l'investissement et une crainte du public vis à vis des cultures énergétiques.

1) De l'électricité verte à quel prix ?

En France, 77 % de l'électricité produite provient du nucléaire. Son coût est relativement faible, de l'ordre de 50 à 60 €/MWh.

En prenant en compte toute l'énergie produite (thermique et électrique), la méthanisation présente un coût de production de 96 à 130 €/MWh selon les projets^{viii}. Les contrats de rachat imposés par le gouvernement permettent d'assurer la rentabilité du site, mais avec l'argent du contribuable qui voit sa facture augmenter avec la TICFE (taxe intérieure sur la consommation finale d'électricité, ex-CSPE contribution au service public de l'électricité), qui a pris 650 % en 15 ans. Cette taxe représente environ 100€ par français, dont un peu moins de 10 % sont directement imputés au développement de la cogénération (Figure 44)^{ix}.

Charges de service public prévisionnelles 2016

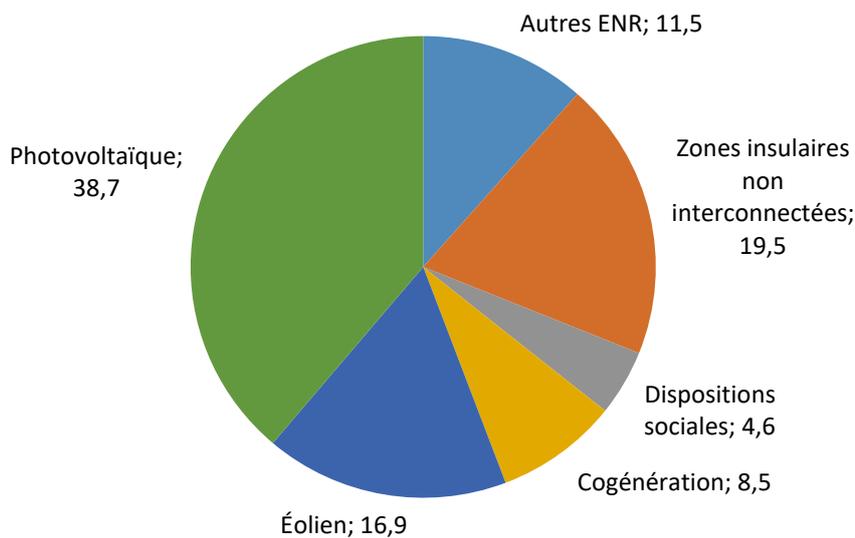


Figure 44 - Détail des imputations de la TICFE

Les énergies photovoltaïque et éolienne présente des coûts de production inférieurs (60 et 80 €/MWh respectivement en 2017), mais ces chiffres sont difficilement comparables. En effet, ces énergies renouvelables ne produisent pas en continu sur une année et les périodes de production ne correspondent pas toujours aux pointes de consommation. Le coût d'investissement de la méthanisation reste élevé, de l'ordre de 5 à 10 k€/kW de puissance installée selon la taille du projet.

2) L'épineux dilemme des cultures énergétiques

Le gouvernement français ne souhaite pas imiter le développement allemand en encourageant les cultures énergétiques. Celles-ci se substituent à la culture de céréales ou de fourrages pour les animaux. La méthanisation devient dans ce contexte concurrente à la production de denrées alimentaires. Les émeutes de la faim en 2008 nous ont rappelé qu'il est éthiquement discutable de réduire notre production alimentaire au détriment des populations qui souffrent de la faim.

La monoculture de maïs, plante la plus rentable pour la méthanisation, est également décriée. Cette critique n'est cependant pas toujours fondée puisque les agriculteurs connaissent les conséquences agronomiques de la monoculture stricte et la pratiquent peu en métropole en dehors du maïs grain^x. De plus, le retour à la terre du digestat permet l'enrichissement du sol en matières organiques, à l'inverse d'une exportation annuelle de récoltes.

L'utilisation d'une grande quantité d'énergie (tracteurs, semences, produits phytosanitaires) pour les cultures énergétiques est pointée du doigt, bien que le bilan énergétique des cultures soit supérieur à celui du lisier dans le cadre de la méthanisation^{xi}.

Sur le plan territorial, le développement des cultures énergétiques, s'il est mal contrôlé, peut aboutir à la transformation des paysages et à l'augmentation du transport routier.

Cependant, comme j'ai pu l'appréhender lors du CSC en Irlande^{xii}, la production primaire ne représente qu'une seule finalité parmi d'autres dans l'utilisation des terres. Recyclage des nutriments, régulation de l'eau, stockage du carbone et habitat de la biodiversité sont autant d'utilisations qui ne rémunèrent pas ou peu le travail de l'agriculteur.

La concurrence alimentation/énergie dans l'affectation des terres a toujours été une réalité. Du temps de mon grand-père, 20 à 30 % de la surface cultivée était réservée pour nourrir les bœufs de travail. Le développement actuel des filières lin ou chanvre textile est un autre exemple de la multifonctionnalité de l'agriculture.

3) Une filière naissante mais ralentie

Les pionniers de la méthanisation en France ont essuyé les plâtres d'une filière nouvelle. La plupart des premiers projets, mal dessinés, ont connu des dysfonctionnements techniques ou administratifs allant parfois jusqu'à la perte totale de la rentabilité du projet. Dans une moindre mesure, la plupart des projets de ces dernières années avaient sous-estimé la charge de travail supplémentaire. A l'image des robots de traite, le travail de surveillance n'est pas pénible mais est nécessaire pour détecter toute anomalie et intervenir rapidement.

En Allemagne, la plupart des agriculteurs rencontrés sont férus de machinisme et réalisent eux-mêmes la maintenance des installations sans rencontrer de problème. A l'échelle de mon exploitation, nous ne sommes pas aussi doués, ou passionnés, en mécanique et la maintenance peut poser un problème technique ou économique si elle est sous-traitée.

Enfin, la lourdeur administrative française est responsable du développement contrasté de la filière. Dans tous les pays visités, 2 à 3 ans sont nécessaires pour monter un projet de méthanisation. En France, les projets les plus rapides sont sortis de terre en 4 à 5 ans. Certains parlent de 8 à 10 ans entre la décision et la première vente d'électricité ! Malgré les efforts entrepris pour alléger les démarches, la procédure reste longue et décourage parfois les porteurs de projet.

4) L'opinion publique française toujours au rendez-vous

Une nouvelle fois, l'agriculture française a montré qu'elle avait un problème de communication avec ses concitoyens. Certains agriculteurs ont rencontré des blocages par des collectifs à l'échelle de leur commune, voire leur voisinage proche (Figure 45).

Des médias alarmistes ont fait état du risque d'explosion d'une unité de méthanisation. Certes, le méthane est un produit inflammable, mais le biogaz, dépourvu d'oxygène, ne l'est pas. La quantité

totale de biogaz stockée sous forme de gaz dans une unité représente généralement moins qu'une petite citerne de stockage liquide.

GOUY-SOUS-BELLONNE

Près de 400 personnes manifestent contre un projet d'unité de méthanisation

« Non, non, à la méthanisation ! » Le slogan a retenti dans les rues de Gouy-sous-Bellonne ce samedi matin, scandé par près de quatre cents personnes opposées à l'unité de méthanisation en projet à l'entrée du village.

Par Thomas Bourgois (Texte) Et Elise Ohier (Photos) | Publié le 04/11/2017

463

PARTAGER

TWITTER

Le Journal du Jeur à partir de 2,72€

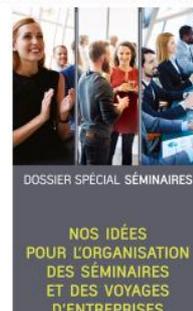


Figure 45 - Manifestation en Hauts de France début novembre 2017 contre un projet agricole

Le digestat est inodore, mais des nuisances olfactives peuvent intervenir lors de la gestion des matières entrantes.

D. Des perspectives intéressantes pour la valorisation du biogaz

La transformation du biogaz via la cogénération permet la récupération de 40 % de l'énergie sous forme d'électricité, 40 % sous forme de chaleur et 20 % de pertes. La clef de la rentabilité d'un tel projet est l'utilisation efficace de la chaleur, généralement valorisée par le chauffage du digesteur et des habitations des exploitants. Parfois, la cogénération entraîne une diversification de la ferme pour un atelier demandeur de chaleur (serres, bâtiment avicole, séchoir, etc.), notamment dans les élevages allaitants où les besoins en chaleur sont faibles. Il existe également d'autres possibilités intéressantes pour la valorisation du biogaz (Figure 46).

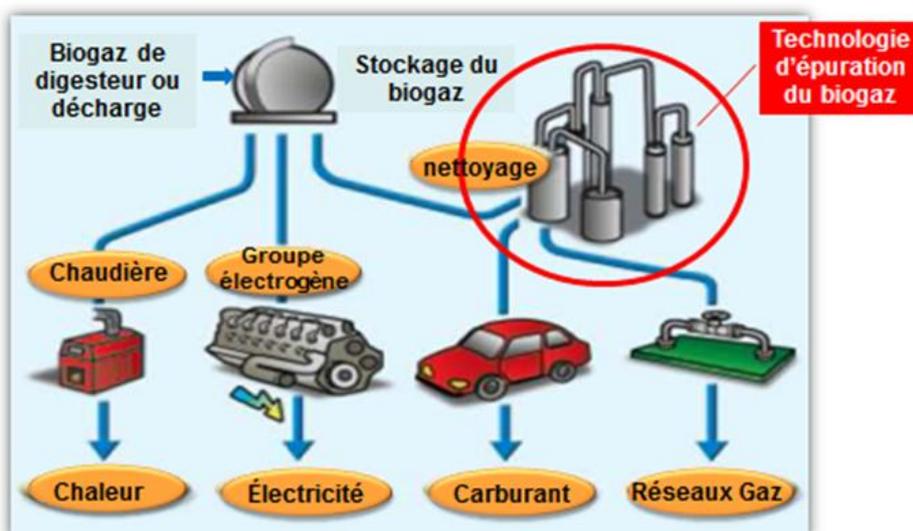


Figure 46 - Valorisations possibles du biogaz

1) Injection de Biométhane

Le biogaz généré est constitué de 50 à 60 % de CH₄. Une épuration par filtration à haute pression permet d'extraire le biométhane en minimisant les pertes énergétiques (5 à 10 %). Un dispositif de contrôle assure la qualité du biométhane avant injection dans le réseau de gaz naturel. Un des premiers arguments de faisabilité est la proximité de l'installation par rapport au réseau de gaz (Figure 47). Le processus est très coûteux (1 M€ pour un épurateur d'une capacité de 100 m³/h) et par conséquent réservé aux unités de production importantes, équivalente à environ 1 MW en cogénération.

Le CO₂ isolé peut également être valorisé par injection dans des serres de maraîchage afin d'augmenter la croissance des végétaux. Grâce à sa pureté, il peut également être commercialisé pour l'industrie.

Quelques projets de biométhane agricole ont été réalisés en France, par des collectifs d'agriculteurs. Le gouvernement a une nouvelle fois annoncé en automne 2017 son objectif de développement de la méthanisation en proposant jusqu'à 40 % de subventions à l'investissement pour les sites d'injection de biométhane agricole.

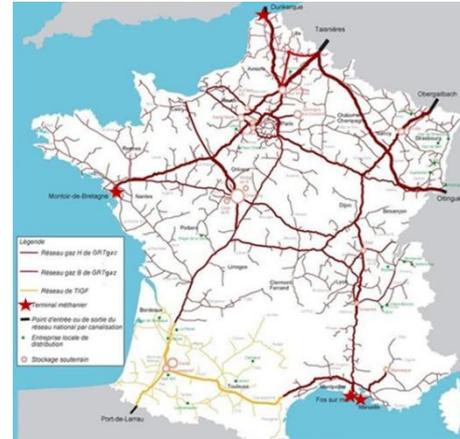


Figure 47 - Réseau de gaz en France

2) Biométhane ou Biogaz carburant



Figure 48 - Logo BioGNV

Dans certains sites, le biométhane est comprimé dans des bonbonnes et s'utilise comme le GNV, le gaz naturel pour véhicules. En octobre 2017, un collectif vendéen a installé la première station de bioGNV d'origine agricole. Ce dispositif reste encore réservé aux gros producteurs, avec un investissement de près d'un million d'euros. Des opérations de communication permettent d'informer les particuliers (Figure 48).

Les constructeurs d'engins agricoles Valtra et New Holland ont présenté ces dernières années des prototypes fonctionnant au méthane ou au biogaz brut. On peut imaginer un modèle de production de carburant dans les fermes pour réduire la facture d'énergie fossile.

3) Biogaz porté

Le système de collectifs d'agriculteurs regroupant leurs effluents a parfois montré ses limites, générant un transport considérable de matières brutes et des nuisances associées. En Bretagne, la coopérative Triskalia s'intéresse au biogaz porté, ou injection groupée de biométhane. Sur le modèle du laitier, on envisage alors une collecte de gaz comprimé dans de multiples élevages. L'épuration et l'injection, qui sont des postes très coûteux, se font alors de manière groupée.

4) Power to Gas

Le procédé *Power-to-gas* est une technologie permettant de transformer l'électricité en dihydrogène ou en méthane par hydrolyse de l'eau et méthanation. Ce principe permettrait de synthétiser du gaz lors des pics de production d'énergies renouvelables (photovoltaïque et éolien principalement), afin de pouvoir stocker cette énergie pour les pics de consommation.

Un site d'épuration et d'injection génère du CO₂ et peut se porter candidat à la méthanation en présence d'une source d'énergie renouvelable intermittente. Un réseau développé de digesteurs sur le territoire permettrait de stocker facilement ce gaz et de le consommer à la demande. Ce principe est un argument supplémentaire pour faire de la méthanisation une clef de la transition énergétique.

En France, de nombreux exemples montrent que la méthanisation est rentable sous réserve d'un projet bien étudié. Les projets collectifs, de plus grande taille, permettent des économies d'échelle mais ne sont pas toujours économiquement viables et socialement compliqués à gérer. La micro méthanisation à la ferme, plus modeste, présente des coûts au kW plus importants bien que l'environnement professionnel et social soit plus favorable de mon point de vue. Reste à définir s'il faut parier sur une petite unité s'intégrant bien sur un élevage, comme c'est le cas chez Denis Brosset ; ou bien surdimensionner volontairement une unité en infiniment mélangé, changer ses méthodes de travail, afin d'anticiper un agrandissement futur...

V. AUTRES ELEMENTS DE REFLEXION

J'ai pu observer lors de mes voyages des modes de production alternatifs, permettant de valoriser des effluents ; ou bien étant cohérents avec la mise en place d'une unité de méthanisation ; ou bien traitant de sujets différents.

A. Insectes et assimilés

1) Vermiculture

En Alberta, Dan Rollingstone (Figure 49) s'est lancé récemment dans l'élevage de vers de terre. Le substrat est inoculé et laissé au repos le temps que les moisissures et champignons du sol se développent. Après ajout de vers, deux mois de maturation sont nécessaires en pots et bacs artisanaux pour obtenir le produit fini : le lombricompost. Ce terreau à haut niveau d'activité biologique est vendu à des horticulteurs et jardiniers comme un engrais organique activateur du sol.



Figure 49 - Dan Rollingstone (à gauche) me fait visiter son atelier de production de lombricompost

La vente au détail est particulièrement lucrative avec des prix allant de 0,4 à 2 €/kg selon le conditionnement. Les particuliers sont également intéressés par l'achat de vers vivants, d'œufs et de thé de ver. Pour ce dernier, Dan fait simplement infuser du vermicompost riche en micro-organismes dans de l'eau. Son produit respecte l'environnement et apporte des solutions aux particuliers souhaitant réduire leur utilisation d'engrais de synthèse.

Son activité est jeune mais admirable, Dan a réussi à développer son entreprise à partir de rien. Il a su redonner vie à une partie de cette friche industrielle et compte recruter si le développement se poursuit. Finalement, créer de l'emploi et des richesses semble facile pour Dan.

2) Entomoculture

En 2014, un rapport de la FAO (Food & Agriculture Organisation ; la branche agricole et alimentaire de l'ONU) a mis en avant les intérêts écologiques de la consommation d'insectes. L'indice de consommation des insectes est en effet très faible et leur croissance rapide. Certains systèmes imaginent une transformation de déchets en protéines comestibles pour l'homme ou les animaux.

2a. Dr Beynon's Bug farm

Sarah Beynon est revenue sur la ferme familiale galloise en 2013 et l'a transformé en ferme pédagogique. Cela lui permet de financer ses recherches sur les insectes et la biodiversité. Elle mène notamment des recherches sur les bousiers autochtones et leurs impacts sur la décomposition des effluents des animaux au pâturage.

L'équipe de la ferme du Dr. Beynon a également développé un lieu de restauration avec des insectes comestibles au menu. Certains voient en l'insecte l'aliment du futur, plus respectueux pour

l'environnement que les sources de protéines traditionnelles. Personnellement, je vois plutôt un marché de niche surfant sur la curiosité des occidentaux. Cependant, on peut réfléchir à une utilisation commerciale des insectes dans le traitement des déchets (Figure 50), la production de protéines pour l'alimentation animale ou d'huile comme biocarburant.



Figure 50 - Un champion de la dégradation de la matière organique, catégorie "poids-lourds"

2b. P.O. Maquart - Stirling University

En Écosse, j'ai retrouvé une connaissance des bancs du collège : **Pierre-Olivier Maquart**. Il termine actuellement ses études en entomologie par une thèse ayant pour but de remplacer la farine de poisson par des larves dans l'alimentation des alevins. Ayant comme souvenir de lui un adolescent passionné par les insectes, ce fut assez étonnant de constater d'une part, que sa passion ne l'a pas



Figure 51 - Larves de BSF au stade prépupe

quitté et d'autre part, que ses travaux sur la production d'insectes sont extrêmement intéressants et potentiellement valorisables par les agriculteurs. Il a démocratisé l'élevage d'insectes au Ghana en valorisant des déchets organiques issus de marchés. Il va poursuivre ses travaux à plus grande échelle en Thaïlande, avec un projet de production de 10 T par mois d'insectes à partir de fientes de volailles.

L'utilisation de la mouche soldat noire *Hermetia illucens* (Figure 51 ; en anglais BSF, black soldier fly) est assez récente, aucun travail scientifique n'a été fait sur son élevage. Pierre-Olivier est donc devenu un expert du domaine en réalisant les premières expérimentations sur le cycle de vie de la BSF. Comme moi, il a eu vent des start-up américaines, néerlandaises, françaises ou autres, se lançant dans la production providentielle et industrielle d'insectes, mais il a constaté que la majorité des acteurs ne sont

pas très avancés et se cachent derrière leur principe de secret de l'innovation. Selon lui, les possibilités en France sont limitées à cause du coût élevé de la main d'œuvre. Il ne croit pas trop à l'intensification, du moins ne s'y est pas penché. "La majorité des acteurs du secteur sont issus

d'écoles de commerce et pensent avoir découvert un filon". De mon point de vue, les agriculteurs ont justement cette force de maîtriser l'industrialisation et les techniques d'élevage...

2d. Enviroflight - Ohio, USA

Le fondateur Glen Courtright (Figure 52) s'est lancé dans les biocarburants en 2006 par conviction, mais la crise économique l'a poussé à rechercher de nouveaux moyens de produire des huiles pouvant servir de carburant. Il s'est intéressé aux insectes, puis s'est vite rendu compte du potentiel de traitement des déchets et de production de protéines pour l'alimentation animale ou humaine. L'élevage de Black Soldier Fly permet la production de protéines la plus importante ramenée à la surface d'élevage car il est possible de superposer les bacs. Selon le fondateur, c'est la solution à de nombreux problèmes : faim dans le monde, surpêche, traitement des déchets organiques.



Figure 52 - Le fondateur Glen Courtright devant ses bacs de culture

Ma seule visite aux USA valait le déplacement. Les trois "bioréacteurs" sont constitués de 460 bacs de 0,5 m², ils permettent de traiter 3 400 T/an de déchets et produisent 168 T/an de larves fraîches. Chaque bac accueille 1 g d'œufs de BSF et 20 kg de farine de céréales et de déchets de cookies. Chaque jour, des employés vérifient l'état des bacs et maintiennent l'humidité avec des pulvérisateurs à main. Les larves vont transformer les déchets en 2 à 3 semaines et multiplier leur poids par 1000 (!). Les bacs sont ensuite vidés dans un séchoir automatisé et un tamis permet de séparer les larves sèches des déjections, exuvies (mues) et restes d'alimentation. Environ 160 kg d'insectes séchés (95 % MS) sont produits chaque jour. J'ai pu tester le goût d'amande grillée de ces larves. La totalité de la production est vendue à un fabricant d'aliment pour animaux. Les effluents de cet élevage font un très bon engrais organique ; les exuvies sont riches en chitine (matériau souple et résistant) et pourraient dans le futur alimenter l'industrie.

Non loin de là, l'écloserie compte une dizaine de cages, mais le secret est bien gardé et la visite impossible. La capacité de production d'œufs d'une cage atteint 7 g/j en moyenne à l'année. Des groupes d'investisseurs se sont intéressés à ce projet et ont permis sa mise en place. Cependant, au regard du grand nombre d'employés et des faibles volumes produits, le projet n'est pas rentable à ce jour. Enviroflight cherche donc à développer la production industrielle en très grands volumes. Il est également possible que la start-up se spécialise dans l'éclosion et la fourniture d'œufs. La stratégie reste secrète pour le moment.

2c. Entomofarm

En octobre 2017, la startup Entomofarm a justement annoncé un partenariat avec la coopérative Maïsador dans le Sud-Ouest de la France. La jeune entreprise proposera aux éleveurs de Maïsador des contrat d'engraissement des larves de *Tenebrio molitor*, un ver de farine présent naturellement en France. L'objectif est de fournir une protéine de qualité pour l'alimentation animale. Cette filière est effectivement dépendante des importations de soja d'Amérique du Sud d'une part ; et de la surpêche meunière productrice de farine de poisson d'autre part.

2d. Technival

A Tahiti, la société Technival mène actuellement des recherches sur la transformation de tourteau de coprah, un co-produit de la fabrication d'huile de coco abondant à Tahiti. J'ai pu visiter les débuts de l'élevage d'*Hermetia illucens*. Les larves au stade pré-pupe pourraient être valorisées dans l'alimentation aquacole locale.

3) Vers aquatiques

Lors de ma visite du centre de recherche ACRES aux Pays-Bas, j'ai pu déjeuner avec Dr. Hellen Elissen, qui réalise des essais de traitement d'effluents liquides par des vers aquatiques. Les travaux portent notamment sur la régulation des teneurs en ammoniac, fatal pour bon nombre d'organismes vivants. D'autres travaux ont été menés sur la capacité de certains vers à améliorer le pouvoir méthanogène d'un substrat, voire même sur les possibilités d'utiliser ces vers aquatiques comme source de protéines pour l'alimentation animale en aquaculture. Cependant, le souci de la biosécurité reste présent, la recherche doit se poursuivre pour apporter des réponses.

Dans le thème de ce voyage, les fumiers pourraient être valorisés par des larves de BSF. Cependant, ce substrat est pauvre en nutriment en comparaison des déchets organiques issus des cités, ou des déchets de céréales comme vu aux USA. L'élevage d'insectes représentera peut-être une possibilité de diversification pour les éleveurs, mais l'utilisation d'insectes pour la valorisation d'effluents semble compromise. Dans les pays développés, la réglementation est bien souvent source de blocage puisque les insectes ou fragments d'insectes dans une denrée alimentaire brute sont considérés juridiquement et culturellement comme indésirables.

Concernant les vers aquatiques, des solutions pourraient apparaître pour le traitement des digestats liquides dans le futur... mais rien de réalisable à ce jour.

A l'échelle d'un élevage allaitant, la transformation du fumier en vermicompost pourrait être envisageable pour une partie du gisement, dans le but de commercialiser un produit à haute valeur ajoutée. Il y a cependant plusieurs aménagements nécessaires et beaucoup de manipulation du substrat à envisager.

B. ALGUES

Les plantes aquatiques et algues demandent de la chaleur, du CO₂ et de l'azote pour se développer... c'est précisément ce que peu fournir une unité de méthanisation! L'idée est donc de transformer le digestat en valorisant la chaleur et les gaz d'échappement de l'unité de cogénération. Les cultures d'algues sont l'objet de nombreuses recherches, puisqu'elles sont la source des biocarburants de

troisième génération. Comme vous commencez à le comprendre, je vais vous reparler du centre de recherche de Lelystad, dont la visite m'a particulièrement plu !

1) Algues unicellulaires

La croissance des algues est extrêmement rapide. Dans un essai de Lelystad, ce sont 60 m³ d'algues qui ont été obtenues en un mois, dans des bassins d'une centaine de mètres carrés ! Le problème actuel pour le développement de la culture d'algues est le passage à la culture industrielle. De larges bassins sont économiques mais peu précis et sensibles à une pollution du milieu par d'autres organismes. Des colonnes transparentes permettent de maîtriser totalement la culture, mais coûtent excessivement cher. De plus, la production concerne parfois des organismes invasifs en Europe et leur production en dehors du cadre de la recherche n'est pas autorisée.

Les variations de luminosité avec des LED impacte directement les composants d'algues unicellulaires et en faire une source de matière première pour différents secteurs de la chimie verte. (Figure 53).



Figure 53 - La luminosité impacte la composition des algues

2) Azolla

L'azolla est une fougère aquatique à croissance rapide, qui fixe l'azote atmosphérique. Cette plante est utilisée en alimentation animale dans certains pays comme l'Inde, où des petits producteurs cultivent l'algue dans des bassins alimentés en bouse fraîche. En Europe, cette plante est considérée comme invasive, mais pourrait être cultivée dans des bassins en aval des installations de méthanisation. On peut envisager le développement de culture d'azolla pour sa capacité à fixer l'azote, mais le volet juridique restera à mon avis assez complexe concernant l'hygiénisation du substrat.

La culture de la spiruline est une diversification réussie chez certains agriculteurs. La culture d'algues semble très prometteuse mais reste délicate à mettre en œuvre à ce jour.

C. AQUAPONIE

J'ai commencé à m'intéresser à l'aquaponie comme possibilité pour valoriser la chaleur issue de la cogénération. Elle représente un curieux mode de production, très cohérent avec les enjeux actuels de préservation des ressources.

1) Définition

Il s'agit d'une technique de production mêlant aquaculture et hydroponie en circuit fermé. La gestion du cycle de l'eau est la clef de l'aquaponie. L'eau sort des bassins piscicoles chargée en ammoniacque ; ceux-ci sont transformés en nitrates par des bactéries ; les nitrates sont absorbés par les bassins de cultures maraîchères ; l'eau ainsi épurée regagne les bassins piscicoles. L'aquaponie interdit l'usage de pesticides, au regard des risques de contaminations croisées. La lutte intégrée et naturelle est

privilegiée. Pour schématiser, on produit des légumes et des poissons sans engrais ni phyto, avec comme seuls intrants des semences et de l'aliment piscicole.

Ce dispositif en circuit fermé nécessite jusqu'à 100 fois moins d'eau par rapport à une production hydroponique sans recirculation, et jusqu'à 1000 fois moins d'eau par rapport à une production classique en terre. Pour ce qui est de la surface, on convient généralement que l'aquaponie est 150 fois plus productive au m² pour une même culture en plein champ. Mais c'est une moyenne grossière, cela varie d'un facteur 10 pour les tomates « rustiques » et système à un seul étage pour les plantes à feuilles, à un facteur 1000 pour les plantes à feuille produites sur des étagères de plusieurs dizaines de mètre.

L'aquaponie est encouragée par la FAO pour une faible production maraîchère dans des contextes de pays en voie de développement (Figure 54). Elle est cependant une alternative potentiellement rentable dans les pays développés, par la qualité des légumes produits. L'aquaponie est proche de l'agriculture biologique, bien que celle-ci n'autorise pas la culture hors-sol.

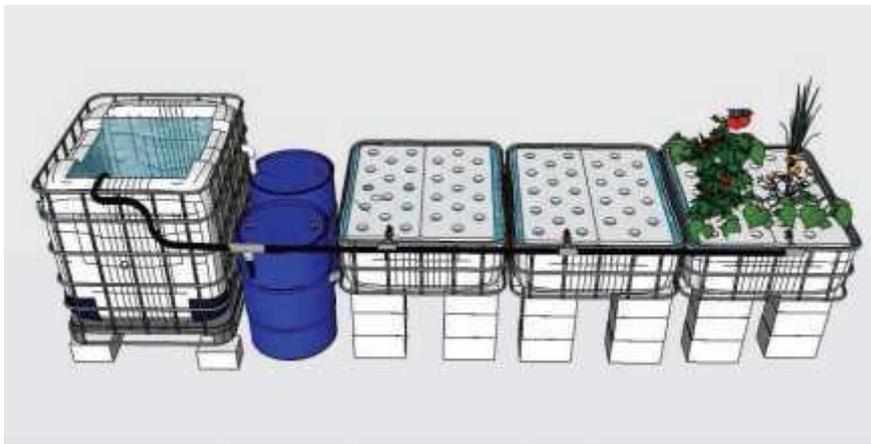


Figure 54 - Schéma proposé par la FAO pour encourager l'aquaponie dans les pays en voie de développement

2) Collège de Lethbridge, Alberta

Le **Dr Nick Savidov**, originaire de Russie, coordonne depuis 2014 le projet de recherche doté du plus gros financement à ce jour pour l'aquaponie : 1,6 M€. Parmi les expérimentations menées, j'ai pu observer plusieurs systèmes d'environ 4m² de bacs de culture pour 2m³ d'eau (Figure 55). Comme tous les systèmes aquaponiques, ces bassins ont pour seul intrant la nourriture des poissons. Cependant, ces essais fonctionnent avec 3 gr/m² de nourriture, soit cent fois moins qu'en aquaponie normale. Ils mettent en avant la capacité des plantes à capter des éléments dans une eau quasiment pure. La clef résiderait selon M. Savidov dans l'injection d'oxygène dans l'eau, permettant de booster l'activité des bactéries et la croissance des plantes.



Figure 55 - Essais du Dr Savidov

Dans un autre coin du hangar, différents bassins de pisciculture sont conduits avec une densité normale. Les boues solides des bassins sont concentrées, puis suivent un traitement de digestion aérobie en fûts d'environ 300 L disposant de bulleurs à oxygène. Lors de la mise en route, la solution doit être chauffée à 30/40°C, puis la digestion aérobie devient enthalpique : elle peut fournir de la chaleur. En trois semaines, l'ensemble de l'ammoniac contenu dans les boues initialement est transformé en nitrates. Après décantation, on obtient une solution transparente concentrée, équivalente à un engrais azoté concentré du commerce.

Le Dr Nick Savidov est un chercheur passionné, qui a à cœur de comprendre le fonctionnement d'un système aquaponique dans sa globalité. Ses études ne portent pas sur la faisabilité économique, il ne pourra pas répondre à nos questions pragmatiques sur la mise en pratique d'une telle production.

3) Verdeen

Près de ma résidence en Polynésie, Verdeen est un projet aquaponique à échelle commerciale (Figure 56). Il a été initié par un distributeur qui souhaite sécuriser ses approvisionnements en s'affranchissant des aléas de la production locale (continuité et atteintes des volumes, prix, qualité, etc.).



Figure 56 - Production aquaponique Verdeen

Le projet a débuté avec 4 serres de 1000 m² et se poursuit avec 26 000 m² supplémentaires (+2 ha en plein champ et 4 ha de fruitiers). La production est très technique, alliant l'hydroponie (cultures en NFT sans substrat, les racines dans un filet d'eau, et sur substrat en pains de coco) et l'élevage aquacole en circuit fermé (RAS, Recirculated Aquaculture System). Des systèmes automatisés permettent la gestion des irrigations et des solutions nutritives (avec recirculation), avec un système indispensable d'alarmes en cas de dysfonctionnement. Il n'y a rien à redire pour ce projet vertueux, si ce n'est la crainte des producteurs locaux de voir un effondrement du prix des légumes.

Ce dernier projet est à échelle industrielle, mais je réfléchis à la réalisation d'un projet aquaponique à l'échelle d'une exploitation agricole française. Les différents programmes de santé publique encouragent la consommation de fruits, légumes et poissons. Les consommateurs recherchent de la proximité et des circuits courts. De mon point de vue, l'aquaponie est une solution idéale pour produire de manière durable. Malgré le changement de métier, c'est une solution qui s'intégrerait bien sur la ferme familiale. Et pourquoi pas en valorisant une partie de la chaleur issue d'une unité future de méthanisation.

CONCLUSION

Ces voyages m'ont permis d'acquérir de solides connaissances sur la méthanisation, de par la diversité des installations visitées. Les politiques publiques, parfois bien différentes d'un pays à l'autre, sont les principaux moteurs de développement de la méthanisation. La taille d'un projet se décide en fonction des effluents présents, de l'utilisation ou non de cultures énergétiques et de la disponibilité de substrats externes. Au terme de cette étude, je dessine deux possibilités de méthanisation sur la ferme familiale.

D'une part, la technologie en voie sèche, comme l'unité de Denis Brosset, est simple à mettre en œuvre et encouragée par les politiques françaises. Les digesteurs sont robustes, ils peuvent se positionner en complément d'une fumière sur un élevage allaitant. Concernant l'organisation du travail, le rythme curage des bâtiments doit être légèrement remanié au quotidien. Le chargement/déchargement d'un digesteur est une surcharge de travail conséquente, mobilisant une matinée chaque 15j. L'investissement est modéré mais le chiffre d'affaires également, générant un complément de revenu et produisant peu d'électricité. D'ici quelques années, on peut espérer le développement de techniques d'épuration ou de compression à la ferme, pour de petites unités de production. Le choix serait libre pour le producteur de mettre en place une petite station-service pour vendre sa production en bioGNV, ou bien d'auto-consommer son carburant directement dans ses tracteurs. Le développement de ces techniques est intimement lié au cours du pétrole.

D'autre part, sur le modèle vu dans la plupart des pays, une unité importante en voie liquide permet des économies d'échelle. Le système cultural de l'exploitation doit être profondément retravaillé pour produire le maximum de MS/ha. Les CIVE doivent être généralisées et les cultures énergétiques représentent une éventualité, même si ces-dernières entraînent en France une réduction des subventions à l'investissement. Un travail de communication doit être réalisé auprès du voisinage, ainsi que du démarchage auprès des industries et commerces pour la récupération de substrats. L'investissement est considérable et la maintenance bien plus complexe. Une capacité volontairement surestimée permettrait d'anticiper un éventuel agrandissement, tout en diminuant le coût de production du kWh. L'injection de biogaz permet un meilleur rendement énergétique mais reste réservé aux très grosses unités de production.

Des discussions approfondies avec mes associés nous permettront de décider quelle voie nous allons suivre. Dans une vision plus globale, le séchage de céréales et la construction de serres me paraissent des projets pertinents. L'aquaponie me semble une technologie tout à fait abordable pour les porteurs de projet maraîchers. Elle répond bien aux attentes des consommateurs en terme d'absence de produits phytosanitaires et de proximité.

J'ai également pu acquérir un regard neuf sur les différents systèmes agricoles des pays visités et sur différentes productions alternatives, notamment l'agriculture de conservation. C'est un mode de production très répandu au Canada qui permet d'alléger considérablement les charges de mécanisation, tout en améliorant la structure du sol et en minimisant l'érosion.

Je ressors de cette étude grandi par les nombreuses connaissances acquises, que j'espère mettre en pratique autant que possible.

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1 : Comparatif Voie Sèche vs. Infiniment Mélangé	13
Tableau 2 : Détail de la ration journalière du digesteur (données fournies par l'agriculteur)	19
Tableau 3 - Détail de la ration du digesteur de Sue Shakesheff.....	20
Tableau 4 : Temps de rétention de différents substrats	20
Figure 1 - Voie en infiniment mélangé	11
Figure 2 - Voie sèche discontinue.....	12
Figure 3 - Les digesteurs du GAEC du Bois Joly : des silos en béton couverts d'une membrane.....	12
Figure 4 - Voyage Octobre 2016.....	14
Figure 6 - Stockage de l'ensilage d'herbe et de seigle.....	15
Figure 5 : Discussions "au sommet" sur le toit du digesteur de Fairlie Farming Co.....	15
Figure 7 - Les trémies d'incorporation avalent 30 T/j	16
Figure 8 - Panorama de la complexité de l'épuration du biogaz.....	16
Figure 9 : Le digesteur esthétique et économique de David Finlay	17
Figure 10 - Prix de rachat de l'électricité en UK	18
Figure 11 : Digesteur-type de PlanET Biogas.....	19
Figure 12 : Trémie d'incorporation, installation PlanET Biogas. Tous les substrats sont pesés pour le suivi de l'installation	21
Figure 13 : Stalactites de soufre à l'intérieur du digesteur	21
Figure 14 - Un tableau à destination des visiteurs détaille les activités de la ferme : élevage, laiterie, biogaz, cultures... ..	22
Figure 15 - La fraction solide du digestat est valorisée comme litière.....	23
Figure 16 - Le CO2 accélère la croissance des végétaux	24
Figure 17 - Vu sur l'autoroute, à croire que le méthane me suit dans mes déplacements !.....	25
Figure 18 - Chaîne de production à Heek	26
Figure 19 - Pas moins de 5 cuves à gérer sur cette installation	27
Figure 20 - Le système de chauffage externe.....	27
Figure 21 - Le système hydraulique pour le brassage	28
Figure 22 - Sacré silo de maïs !	29
Figure 23 - Sankt Ottilien.....	31
Figure 24 - Voyage Avril 2017.....	31
Figure 25 - Tour de plaine avec Blake Vince.....	32
Figure 26 - Vue d'ensemble PlanET Biogaz.....	32
Figure 27 - L'installation de Leamington	33
Figure 28 - Le digesteur à l'arrêt de Steve.....	33
Figure 29 - Compostage de cadavres de bovins	34
Figure 30 - Derrière les deux cabanes techniques, le digesteur à membrane lâche	35
Figure 31 - Fosse d'incorporation et de dilution	35
Figure 32 - Début d'une activité de vente directe par la fille de Shane	36
Figure 33 - Allure des parcelles autour de Red Deer, Alberta.....	37
Figure 34 - Essai de décantation de Harold.....	38
Figure 35 - Vue d'ensemble du digesteur des Perry	38
Figure 36 - Vue d'ensemble Lethbridge BioGas	38

Figure 37 - Mon comité d'accueil international à Lethbridge : Bodo (PlanET Biogas, allemand) ; Ziad et Nick (Lethbridge College, tunisien et russe) ; Harold (Ferme Perry, canadien). Le Français prend la photo.....	39
Figure 38 - En arrière plan les digesteurs, à gauche le local technique	40
Figure 39 - Chargement d'un digesteur.....	41
Figure 40 - Relations entre les piliers de la durabilité (<i>Agridurable Tunisie</i>)	42
Figure 41 - Cycle du carbone méthanisé (C3E Sarl).....	42
Figure 42 - Ressources annuelles mobilisables (Ademe 2013), les déjections d'élevages représentent une large partie de ce potentiel dans l'Ouest	43
Figure 43 - Développement de la méthanisation en Bretagne et PdL tous secteurs confondus (Aile)	44
Figure 44 - Détail des imputations de la TICFE.....	45
Figure 45 - Manifestation en Hauts de France début novembre 2017 contre un projet agricole	47
Figure 46 - Valorisations possibles du biogaz.....	47
Figure 47 - Réseau de gaz en France	48
Figure 48 - Logo BioGNV.....	48
Figure 49 - Dan Rollingstone (à gauche) me fait visiter son atelier de production de lombricompost	50
Figure 50 - Un champion de la dégradation de la matière organique, catégorie "poids-lourds"	51
Figure 51 - Larves de BSF au stade prépupe	51
Figure 52 - Le fondateur Glen Courtright devant ses bacs de culture	52
Figure 53 - La luminosité impacte la composition des algues.....	54
Figure 54 - Schéma proposé par la FAO pour encourager l'aquaponie dans les pays en voie de développement	55
Figure 55 - Essais du Dr Savidov	55
Figure 56 - Production aquaponique Verdeen	56

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ⁱ Commission d'enquête sur le coût réel de l'électricité afin d'en déterminer l'imputation aux différents agents économiques. Estimation pour un "ménage type" sans modification de comportement. Février 2012
- ⁱⁱ Chiffres de l'élevage français. Agreste, 2004
- ⁱⁱⁱ Les revenus d'activités des indépendants. Le poids des aides directes dans le revenu des exploitations agricoles. Desries et al. 2009
- ^{iv} Site internet de la ferme à énergie positive du Biothorey (Aube)
- ^v Office franco-allemand pour la transition énergétique. Les projets biogaz en Allemagne. Interview de Marie-Luise Schaller sur les critères de réussite des projets biogaz, septembre 2016
- ^{vi} Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation. Rapport Ademe Avril 2013
- ^{vii} Site internet du Ministère de la Transition écologique et solidaire
- ^{viii} Coût des énergies renouvelables en France - Rapport Ademe 2016
- ^{ix} www.fournisseurselectricite.com
- ^x Enquête sur les pratiques culturelles. Les dossiers Agreste, n° 21 - juillet 2014
- ^{xi} Analyse de cycle de vie du biogaz issu de cultures énergétiques. Valorisation en carburant véhicule et en chaudière, après injection dans le réseau de gaz naturel. Rapport de l'ADEME, 2011
- ^{xii} Contemporary School Conference, séminaire international réunissant tous les boursiers Nuffield de l'année.

ANNEXE 1 - FERMES DIVERSES VISITEES

Au cours de mes voyages, j'ai pu rencontrer des agriculteurs variés très intéressants. Ces visites n'avaient pas de lien avec mon étude et sont donc consignées dans cette annexe. Elles sont classées chronologiquement.

A. Pays-Bas

1) Ferme van Boekel

Les parents de Ruben sont éleveurs de porcs, avec 500 truies et 3 500 porcs à l'engraissement. Je découvre les premières contraintes liées à la gestion des effluents aux Pays-Bas : la fosse est obligatoirement couverte pour réduire les émissions d'ammoniac. Les porcheries comptent un système de traitement de l'air (100 K€ de charges) par des bactéries dénitrifiantes. La surface de l'exploitation, inférieure à 10ha, ne permet pas d'épandre la totalité du lisier. Le surplus est enlevé par une entreprise spécialisée qui le traite pour un coût de 20 €/m³. Je l'interroge sur la possibilité de le vendre à l'étranger, mais l'exportation nécessite une pasteurisation, coûteuse elle aussi.

Concernant les excédents d'effluents, les Pays-Bas sont découpés en trois zones. Au sud, 50 % des effluents doivent obligatoirement être "traités" ou exportés. Les zones Est (30 %) et Nord (10 %) sont moins affectées, mais toujours excédentaires.

2) Bennie Ottink

Ruben est journaliste pour une revue agricole et me propose de visiter un agriculteur voisin spécialisé dans le traitement d'effluents (figure a). L'exploitation de Bennie Ottink compte une unité d'engraissement de 4 000 veaux pour seulement 10 ha. Il traite 50 000 m³ de lisier par an, dont 12 500 m³ provenant de son exploitation.



Figure a - Échanges autour du traitement aérobie/anaérobie de lisiers

Le process commence par une séparation de phases. La partie solide est compostée puis vendue. La partie liquide est envoyée dans un complexe de deux bassins. L'un est brassé avec de l'air, où des bactéries en aérobie transforment l'ammoniac en nitrates. L'autre bassin est laissé stagnant, où des bactéries en anaérobie transforment les nitrates en diazote gazeux (N₂). Ce gaz est alors relâché dans l'atmosphère, elle-même constituée de 79 % de N₂. Le process a lieu en continu, un ordinateur

pilote l'installation. Des analyses ont lieu à chaque étape du process pour ajuster la quantité d'air à apporter.

La phase liquide finale est inactivée et envoyée vers une station d'épuration, l'agriculteur doit payer pour ce traitement. A l'avenir, il envisage une électrodialyse afin d'extraire le potassium et le sodium. Il ne resterait alors dans la phase liquide quasiment aucun élément : l'azote est relâché dans l'atmosphère et le phosphore reste dans la partie solide. Bennie pourrait alors reverser le reliquat directement dans la rivière, en théorie.

Cette ferme est à l'image de l'agriculture du sud des Pays-Bas : un concentré d'intensivité. L'opinion publique n'est cependant pas défavorable à ce genre d'exploitation. Le traitement des effluents est au contraire une activité appréciée par les riverains.

B. Canada

1) Ontario : Des céréaliers heureux

Comme évoqué dans mon rapport, j'ai débuté mon voyage en Ontario chez plusieurs céréaliers en agriculture de conservation des sols.

Blake VINCE pratique l'agriculture de conservation (AC) depuis qu'il est enfant. Ce mode de production est assez déconcertant par sa simplicité et par le fait qu'il bouscule tous les acquis "conventionnels" du travail du sol. Le secret de l'agriculture de conservation réside dans la capacité à couvrir sans cesse le sol, par des couverts végétaux allant jusqu'à 18 espèces différentes chez Blake (tournesol, navette, chou, seigle, ...). Les sols de son exploitation sont pourtant très lourds, argileux, mais conduits sans aucun labour ou travail superficiel. Nous ferons un tour de plaine pour me montrer les différences flagrantes entre ses champs et ceux des voisins. Un coup de pelle violent sur le sol entraîne un bruit assourdissant : les nombreux vers de terre font du bruit en s'enfuyant ! Blake est très investi dans l'AC et passe parfois pour un fou auprès de ses voisins. Son prochain projet est de remettre des bovins sur ses terres (en pleine zone céréalière), faire pâturer ses couverts et profiter du retour bénéfique des effluents.

Chez **Dan CORNWELL**, je suis frappé par la dimension des outils agricoles, bien que les exploitations ne soient pas démesurées par rapport à la France (300-400 ha). Après avoir consacré une grande partie de leurs vies à travailler énormément pour pas "grand chose", Dan et ses frères ont décidé il y a quinze ans de vendre le troupeau laitier et construire un bâtiment d'engraissement de dindes. Il a désormais beaucoup de temps libre et l'élevage de dindes est très rentable. Une visite des environs me permet d'observer pour la première fois un feedlot. Le site n'est pas particulièrement propre. A cette période de l'année, le terrain est boueux et les animaux très sales... ce qui n'empêche pas cette ferme de faire de la vente directe, comme indiqué sur le panneau à l'entrée.

Jim CLARKS s'est lancé dans la patate douce suite à son étude Nuffield en XXXX : un succès. En l'absence de repreneur, il n'a pas hésité à revendre tout le matériel spécifique à la production de patate douce lorsque l'occasion s'est présentée. Il cultive aujourd'hui du blé, soja, maïs, haricot blanc et se réserve beaucoup de temps pour sa passion : retaper de vieux utilitaires de ferme des années 40 et 50. Proche de la retraite, Jim sait se dégager du temps libre, en témoigne une discussion passionnante sur les concours de citrouille géante auxquels il participe. Décidément, les céréaliers de l'Ontario semblent être des agriculteurs heureux et tranquilles !

Jack RIGBY est un céréalier retraité. Durant sa carrière, il a repris plusieurs fermes voisines et il garde aujourd'hui un œil sur les activités de l'exploitation familiale. Nous avons des discussions intéressantes sur la filière bois : ses parcelles sont gérées de manière à avoir une régénération optimale. Deux éoliennes ont été placées sur leur parcellaire et rapportent l'équivalent d'un smic annuel. Jack m'éclairera sur l'importance de la transmission des exploitations, qu'il considère comme un réel héritage familial.

Ron McCoy est un agriculteur en passe de déménager sa ferme en Colombie Britannique, car le contexte y est plus favorable pour le lait bio. Il a pu vendre ses quotas à très bon prix il y a deux ans et ne cultive que des céréales depuis. Il me fera visiter ses bâtiments atypiques, sans cornadis ou barrière, mais avec des simples fils de fer non électrifiés ! Le bâtiment est ce qu'il y a de plus économique au Canada : une structure aluminium recouverte d'une bâche solide et remplaçable en cas de casse.

Les conditions sont particulières dans cette zone de l'Ontario : la récolte n'est pas séchée puisque le gel empêche toute dégradation de la qualité. Il m'explique qu'il a récolté du maïs fin mars, car il n'avait pas eu le temps avant l'hiver. Il a dû attendre que la neige fonde et qu'une nouvelle période de gel lui permette d'entrer dans les parcelles. La qualité de la récolte est acceptable !

Ron déplore le fait que les éleveurs laitiers de l'Ontario soient représentés par des businessmen et non par des agriculteurs. Il admire le Québec, où une structure d'une soixantaine de vaches laitières est viable économiquement, avec des marchés de niche. Il adore ce que font les français avec les appellations locales, les marchés de niche, le système coopératif, etc. Il m'expliquera que la vie rurale est morte en Ontario, puisque tous les services sont concentrés dans les villes. Il a assisté dans son village à la disparition des petites fermes, des petits commerces, d'écoles, d'hôpitaux...

2) Saskatchewan : des fermes gigantesques !

Sinclair Harrison, boursier Nuffield 1983, m'ouvre les portes de la Saskatchewan et me fera visiter deux feedlots voisins à Moosomin. Après en avoir entendu parler négativement en France, c'est la première fois que je visite des feedlots.

Au **Feedlot Dobson**, 4 000 à 5 000 têtes de bétail sont engraisés chaque année. Huit heures par jour, un camion distribue la ration à base d'ensilage de maïs et de farine de protéagineux. Des rambardes en bois de 3 m de haut permettent de couper le vent, qui est le principal souci climatique, abaissant la température ressentie parfois à -50°C. De la paille est apportée par temps humide. Lorsque les animaux arrivent à un poids de 500 livres environ, ils sont engraisés durant 120 jours environ jusqu'à 800 livres. Concernant la gestion des effluents, les fumiers sont regroupés et épandus dans les parcelles. Les jus issus des parcs rejoignent une lagune qui déborde périodiquement lors des grandes pluies...

La concentration ne m'émeut pas plus que ça. Les bovins ont beau être plus nombreux que dans le système d'engraissement français, ils disposent de plus grands espaces dans les parcs. Les animaux ne sont pas excessivement sales : de la paille est apportée par temps humide. Les sols sont bien portants et il n'a pas plu depuis quelques temps, ce qui explique probablement la bonne impression que me fera ce feedlot. Trois membres de la famille des Dobson et trois salariés gèrent cette ferme.

Le matériel est gigantesque (semoir permettant un débit de chantier de 250 ha/jour, mais à la mesure de l'exploitation : 2 500 ha de cultures).

J'ai pu assister à un tri de deux lots : les animaux sont réallotés à l'œil en trois groupes selon leur taille. Les plus gros sont alors pesés par échantillonnage (5 groupes de 10 bovins pour avoir une moyenne de l'ensemble). Ils partent dans la foulée pour le Nebraska, après vérification de l'état sanitaire par un vétérinaire. Un implant d'hormones est également fixé à la demande du client. Les mentalités évoluent cependant, certaines chaînes de fast-food commencent à communiquer sur leur viande exempte d'hormones. Au total, 213 bovins ont été isolés, préparés (vermifuge, marquage au fer rouge) et expédiés en une matinée de travail.

Les Dobson ne finissent pas l'engraissement des animaux car les grands abattoirs les plus accessibles sont en Ontario ou au Québec, soit 24 h de transport ! Leur principal atout est le faible nombre de feedlots dans la région céréalière, l'alimentation est donc bon marché.

Le **Feedlot WOODS** est plus grand que le précédent, avec une capacité de 8000 animaux. Ils disposent également d'un troupeau de 2000 mères sur les terres non cultivables. Le matériel, les bâtiments... tout est à nouveau gigantesque. Pourtant, des chevaux sont encore utilisés pour la surveillance des animaux : ils n'affolent pas les bêtes contrairement aux véhicules motorisés.

J'ai pu assister au curage d'un parc. Les animaux sont changés de parcs temporairement. Le ramassage et le chargement du fumier dans des camions se fait avec une pelleteuse. Une zone surélevée au centre est laissée, elle constitue l'aire de couchage.

Je reste marqué de la visite de ces feedlots. De mon point de vue, ces usines à viande ne sont pas si différentes de nos ateliers d'engraissement en France et beaucoup plus compétitives. Je déplore cependant le transport excessif des animaux, entre les bassins naisseurs, les feedlots intermédiaires, les finisseurs et les abattoirs, distants de plusieurs heures de transport.

3) Manitoba : des alternatives aux fermes géantes

Clayton ROBINS, boursier Nuffield 2013, est agriculteur et chercheur sur la production de fourrages riches en sucres pour finir l'engraissement des bovins. Le Manitoba aurait le meilleur climat pour cela : soleil, eau, saison chaude. Son objectif est de pouvoir finir lui-même ses bovins au pâturage.

Dans cette région de landes, certaines parcelles comportaient une mince couche de 5 cm de sol riche à son arrivée. Une bonne gestion du pâturage lui a permis de multiplier cette épaisseur par 5.

Disposant d'une structure modeste en comparaison des élevages vus précédemment, Clayton s'interroge sur la nécessité de conserver son élevage allaitant suite à l'élection américaine et les menaces de réarrangement des échanges frontaliers. Il est pourtant la 3ème génération d'exploitants agricoles depuis les colons, comme en témoigne la plaque à son honneur affichée dans son entrée. Un des enseignements qu'il a tiré de son voyage Nuffield est que tous les agriculteurs du monde ont trois principaux problèmes : manque d'argent, trop de restrictions par les gouvernements, manque de compréhension du public. Les deux premiers sont d'ordre économique, mais le dernier est le plus important : l'image que l'agriculteur renvoie vers le public.

Steven HICKS, boursier Nuffield 2000, a repris la ferme de ses parents en céréales et fraises, en refusant la course à l'agrandissement. Bien qu'il possède un parc matériel imposant à mes yeux, il ménage son matériel afin de le conserver le plus longtemps possible, en témoigne son semoir de 20 ans. Nous irons à la rencontre d'un de ses amis qui vient d'ouvrir un restaurant. Le village ne compte que 2 000 habitants, mais le lieu est branché et moderne. Des étagères font la promotion des produits locaux. Pour Steven, il est primordial de retenir l'activité dans les campagnes.

Comme Clayton, Steven s'inquiète des élections américaines et françaises (Marine Le Pen était alors en tête dans les sondages).

4) Alberta : l'élevage naisseur extensif

J'ai pu découvrir l'élevage naisseur canadien chez **Tim Smith, boursier Nuffield 2016**. Tim conduit 800 vaches Angus sur 2500 ha de prairies natives, céréales et maïs pâturé. Oui vous avez bien lu : le maïs est habituellement pâturé en fin d'hiver (le gel conserve la plante). Les animaux mangent les épis et les fanes, il y a beaucoup de MS/ha donc les vaches peuvent rester longtemps dans la parcelle. Autre curiosité locale : les céréales sont coupées, andainées et passent l'hiver sous la neige jusqu'à ce que les animaux soient mis au pâturage. Les vaches doivent parfois chercher cette nourriture sous la neige. La conservation est de bonne qualité, il n'y a aucun frais de ramassage et de stockage pour l'éleveur !

C'est la saison des vêlages chez Tim : chaque matin, il parcourt une parcelle de 200 ha à la recherche des 20 à 30 veaux nés dans la nuit et la matinée. Les vaches ou génisses à vêlages difficiles sont aussitôt chargées en bétailière à l'arrière du 4x4 et amenés dans le parc de contention sur le siège de l'exploitation. Les vieilles vaches à mamelles douteuses sont privées de leur veau pour pouvoir engraisser un minimum avant abattage. Le veau sera mis à l'adoption avec une génisse ou une autre vache ayant perdu son veau.

Les vêlages se passent bien dans plus de 90% des cas. Les veaux sont bouclés avec le même numéro que leur mère et vaccinés. Le fils de Tim est un vrai cowboy et utilise un cheval pour trier les vaches vêlées des gestantes. Ils resteront 6 mois avec leur mère en élevage extensif avant de partir pour un feedlot voisin. La traçabilité est assurée à l'échelle de l'exploitation par un carnet qui recense tous les vêlages. A la vente, les boucles seront remplacées par des boucles électroniques, afin d'avoir une traçabilité individuelle lors de l'engraissement et l'abattage.

De retour dans le Centre-Sud de l'Alberta, je suis accueilli par **Matt Hamill**, boursier Nuffield 2017. Matt a développé récemment, en partenariat avec la ferme céréalière familiale, une malterie destinée au marché des micro-brasseries. Une partie de l'orge récoltée est ainsi mise à germer, puis séchée et grillée. Le marché des micro-brasseries est très développé au Canada, mais la plupart s'approvisionnent chez les malteurs industriels traditionnels. Il est intéressant de voir comment Matt a su créer son activité et capter une valeur ajoutée sur son produit.

Un plan du parcellaire est affiché dans le bureau de l'exploitation, et permet de bien se rendre compte de l'organisation du paysage. Sur la figure 33 de ce rapport, page 38, les carrés verts représentent les champs exploités par la famille Hamill. Approximativement 15 quarts de section, soit 975 ha !