



L'ECOLE DES GRANDS PROJETS

**Ecole Spéciale des Travaux Publics**  
57, bd. Saint-Germain – 75240 – Paris

**Conseiller Pédagogique :**  
Michel MOYSE



**Fulton**  
39, avenue George V – 75009 – Paris

**Tuteur :**  
Sabrina ANCEL (Direct. de programmes)  
[sabrina.ancel@fulton.fr](mailto:sabrina.ancel@fulton.fr)

Luís Pedro TORGAL FONSECA

Code Etudiant n° 4294R

TP3 – option C2P

## Mémoire du TFE

Création d'une méthodologie de  
mise au point d'un projet  
d'Unité de Méthanisation

**Lieu du stage :** 39, Av George V – 75008 – Paris

**Dates :** 4 mars – 5 juillet 2013



## Résumé

*Méthanisation ; process ; cogénération ; stockage ; intrant.*

J'ai réalisé mon stage TFE à Fulton, un bureau de promotion immobilière, sur des projets d'Unités de Méthanisation. L'entreprise n'avais jamais en construit une, ce qui me donnais une parfaite opportunité pour développer mon TFE.

Mon thème étant la création d'une méthodologie de mise au point d'un projet d'Unité de Méthanisation, j'ai, dans un premier temps, créé un historique de l'évolution des projets, pour ensuite, choisir les problématiques à étudier plus à fond sur les chapitres suivants.

J'ai traité chaque problématique en séparé, en isolant les causes des problèmes et ensuite en proposant des solutions.

Il a été très gratifiant de vérifier que quelques outils que j'ai créés ont été utilisés pour réaliser des choix très importants pour les projets.

## Summary

*Anaerobic digestion ; process ; cogeneration ; storage ; input.*

I did my "TFE" internship at Fulton, a real estate office, working at Anaerobic Digestion Plant projects. The company had never before worked on this kind of the project, which gave me the perfect opportunity to develop my "TFE".

My "TFE" theme being the creation of a method to optimize an Anaerobic Digestion project, firstly I created a project evolving history to afterwards choose the subjects to study deeply in the next chapters.

I treated each subject separately, isolating the causes of the problems and then proposing solutions.

It was very rewarding to verify some of the tools I created being used to take important decisions for the projects.

# Sommaire

1. Introduction .....	i
1.1. L'entreprise : Fulton.....	ii
1.1.1. Projets.....	ii
1.1.2. Fonds de développement.....	iii
1.1.2.1. Fulton 1 .....	iii
1.1.2.2. Fulton 2 .....	iv
1.1.2.3. Fulton 3 .....	iv
1.1.3. Partenaires.....	iv
1.1.3.1. Bleecker .....	iv
1.1.3.2. Revcap .....	v
1.1.3.3. Pramerica .....	v
1.1.3.4. Heliophile.....	v
1.2. Les projets : Unités Territoriales de Méthanisation .....	vi
1.2.1. Unités de Méthanisation.....	vi
1.2.1.1. Particularités des projets de Fulton.....	vi
1.2.2. Territoriale.....	viii
1.2.3. Environnement politique réglementaire .....	ix
1.2.4. Ambition .....	x
1.2.5. Les projets .....	x
1.2.5.1. La Ferté Saint Aubin .....	xiv
1.2.5.2. Lieusaint (Sénart) .....	18
1.3. Présentation mon TFE.....	19
1.3.1. Mon rôle sur les projets .....	19
1.3.2. Sujet du TFE .....	20
2. Développement .....	23
2.1. Description d'une Unité de Méthanisation.....	23
2.1.1. Principes .....	23
2.1.2. Procédés.....	26
2.2. Analyse du déroulement des projets.....	27
2.2.1. Identification des événements significatifs.....	28
2.2.2. Suivi du planning .....	34
2.2.3. Choix des thèmes à étudier .....	38

2.3. Etude des thèmes choisis.....	39
2.3.1. Production de méthane .....	40
2.3.1.1. Contexte .....	40
2.3.1.2. Définition de la problématique et proposition des solutions .....	41
2.3.2. Stockages .....	47
2.3.2.1. Contexte .....	47
2.3.2.2. Définition de la problématique et proposition des solutions .....	49
2.3.3. Choix de la cogénération.....	51
2.3.3.1. Contexte .....	51
2.3.3.2. Définition de la problématique et proposition des solutions .....	52
3. Conclusion .....	58
4. Bibliographie .....	59

# Table de Figures

Figure 1 - Répartition des opérations (en surface) .....	ii
Figure 2 - Répartition des opérations selon leurs états d'avancement .....	iii
Figure 3 - Comparaison entre digesteurs de technologies infiniment mélangé (à gauche) et voie sèche (à droite) .....	vi
Figure 4 - Répartition d'intrants en Phase 2 (en tonnes/jour) .....	xi
Figure 5 - Business plan simplifié d'un projet type .....	xii
Figure 6 - Plan des terrains identifiés pour la construction des projets .....	xiii
Figure 7 - Vue maquette 3D du projet type .....	xiii
Figure 8 - Intrants pour La Ferté dans les deux phases.....	xiv
Figure 9 - Sortants pour La Ferté dans les deux phases .....	xv
Figure 10 - Intervenants sur La Ferté .....	xv
Figure 11 - Plan projet détaillé de La Ferté .....	16
Figure 12 - Plan réseau d'assainissement de Sénart.....	17
Figure 13 - Intrants pour Sénart dans les deux phases.....	18
Figure 14 - Sortants pour Sénart dans les deux phases .....	18
Figure 15 - Une Unité de Méthanisation est la reproduction à l'échelle industrielle des processus qui se développent dans la panse d'un ruminant.....	23
Figure 16 - Comparaison production de méthane selon contrat (à gauche) et note technique process du 24 mars (à droite).....	40
Figure 17 - Recette du contrat en phase 1.....	42
Figure 18 - Paramètres de la digestion du contrat en phase 1.....	43
Figure 19 - Vérification consistance des données (contrat, phase 1) .....	44
Figure 20 - Bibliothèque des caractéristiques des intrants avec prix unitaire .....	45
Figure 21 - Tableau pour identification des modifications des paramètres (note technique du 25 mars, phase 1) - intention de l'utiliser dans le futur pour choix des intrants avec valorisation financière.....	45
Figure 22 - Capacités de stockage de La Ferté .....	48
Figure 23 - Demande faite à SBN d'ajouter une aire de stockage.....	48
Figure 24 – Outil d'assistance au choix des surfaces de stockage des intrants et des sortants .....	50
Figure 25 - Analyse cogénération - 1ère partie .....	53
Figure 26 - Analyse cogénération - 2ème partie .....	54
Figure 27 - Analyse cogénération - 3ème partie .....	55
Figure 28 - Tableau résumé cogénération - 1ère partie .....	56
Figure 29 - Tableau résumé cogénération - 2ème partie .....	57
<b>Table 1 – Classement ICPE des Unités de Méthanisation .....</b>	<b>vii</b>
<b>Table 2 – Répartition des Unités de Méthanisation en service et en construction en France .....</b>	<b>viii</b>
Table 3 - Extrait du tableau des tâches à réaliser .....	28
Table 4 - Planning initial .....	35
Table 5 - Planning intermédiaire .....	36
Table 6 - Planning final.....	37

## 1. Introduction

Je suis stagiaire dans l'entreprise Fulton, une société immobilière. Ils sont maintenant promoteurs de plusieurs Unités de Méthanisation, sur lesquelles je travaille. Ce sont donc ces projets qui serviront de base pour mon Travail de Fin d'Etudes.

Dans la suite du texte, je définirai de façon de plus en plus précise l'environnement où je fais mon TFE, pour bien le situer. Je traiterai avant tout l'entreprise, pour expliquer quelle est la fonction qu'elle exerce, le genre des opérations qu'elle réalise et les caractéristiques majeures de Fulton. De plus, je décrirai brièvement ses partenaires les plus importants.

Je présenterai ensuite les Unités de Méthanisation que la société envisage construire, en montrant comme ces projets se trouvent bien dans le cadre de ses opérations. J'indiquerai aussi les particularités les plus importantes des projets des Unités de Méthanisation de façon à situer mon stage TFE plus concrètement.

Vu l'entreprise et le projet, je décrirai mes activités quotidiennes sur les projets. Ainsi je pourrai dans la suite du texte :

- Justifier le choix du thème de mon TFE ;
- Montrer l'extension de ma vision sur la totalité des projets et, par conséquence, les limites de mon TFE et mes conclusions.

Avec l'environnement où je travaille bien défini, je présenterai en détail le sujet de mon TFE, soit la création d'une méthodologie de mise au point d'un projet d'Unité de Méthanisation. J'indiquerai la problématique à étudier : comment utiliser au mieux, sur les prochaines opérations similaires de l'entreprise, le savoir-faire acquis dans les projets sur lesquels je participe.

Je présenterai l'approche utilisée pour résoudre cette problématique qui est de produire un guide pour la construction des Unités de Méthanisation en utilisant l'expérience acquise et l'étude fait pendant mon stage.

Pour arriver à cet objectif, un plan d'activités et de réflexions a été envisagé. Je le présenterai, en expliquant la logique existante derrière. Le détail de ces activités et réflexions constituera le corps du présent Mémoire.

Tel que mon stage TFE est prévu, j'indiquerai en préalable les limites de mon étude, en tenant compte notamment mon travail quotidien et le temps réduit du stage. Ces limites seront repris à la conclusion de ce Mémoire, suite au constaté pendant la réalisation effective de mon TFE.

## 1.1. L'entreprise : Fulton

Fulton est un groupe privé français qui exerce au travers de fonds d'investissements les métiers d'aménageur et de développeur depuis 2001. L'entreprise joue donc le rôle de Maître d'Ouvrage dans ces projets.

L'ensemble de ces fonds sont gérés par la société de service – AURIUS – mobilisant une équipe de plus de 30 professionnels qualifiés qui sont en charge de l'Asset Management et de la Maîtrise d'Ouvrage Déléguee des différents projets.

### 1.1.1. Projets

Fulton s'est porté initialement sur les marchés des bureaux, locaux d'activité et plateforme logistiques. L'entreprise possède, à ce jour, plus de 30 immeubles en Europe.

Les plus de 50 projets en cours sont répartis sur des typologies variées et notamment :

- Réhabilitation d'immeubles de bureaux dans Paris ;
- Développement d'immeubles de bureaux neufs ;
- Restructuration urbaine ;
- Développement d'un concept de parcs d'activités ;
- Développement de plateformes logistiques ;
- Développement retail ;
- Développement résidentiel ;
- Loisirs ;
- Fermes photovoltaïques ;
- Unités de méthanisation.

Ces opérations totalisent une surface de 600000 m<sup>2</sup> dont 43% en bureaux (neufs/restructuration), 19% en résidentiel, 15% en commerces et 15% en activités/logistique.

La promotion de bâtiments originaux est devenue une habitude de Fulton. Tout simplement parce que la société cherche toujours à diversifier ses opérations, qui sont choisies tout simplement par le potentiel lucratif identifié par les investisseurs propriétaires de l'entreprise.

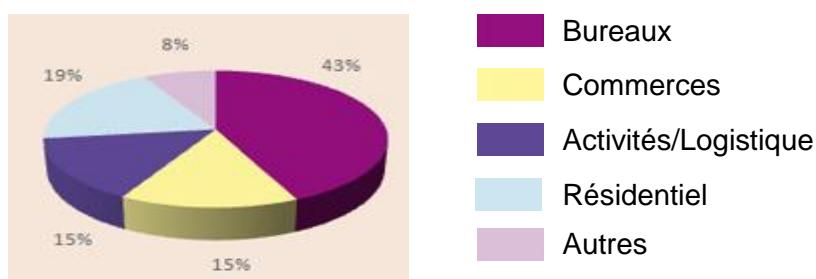
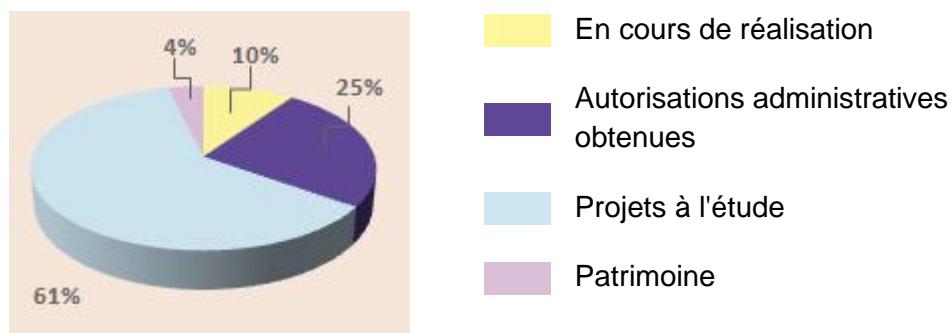


Figure 1 - Répartition des opérations (en surface)

Fulton est en plus une société en pleine expansion, avec les opérations en cours de réalisation représentant 2,5 son patrimoine.



**Figure 2 - Répartition des opérations selon leurs états d'avancement**

### 1.1.2. Fonds de développement

Fulton regroupe 3 fonds de développement avec des partenaires prestigieux :

- Fulton 1 avec Bleecker ;
- Fulton 2 avec l'investisseur Britannique REVCAP ;
- Fulton 3 avec la compagnie d'assurance américaine PRUDENTIAL FINANCIAL Inc (Pramerica).
- Fulton 4

Ces fonds de développement comprennent la totalité des opérations représentant un chiffre d'affaires de 1,2 milliard d'Euros et 250 millions d'Euros de fonds propres engagés.

#### 1.1.2.1. Fulton 1

50 M€ de fonds propres sont actuellement investis par Fulton 1 dans des projets représentant un CA prévisionnel de 600 M€ se décomposant comme suit :

- 50% de développements lancés ;
- 50% de développements potentiels.

Ce fond est dédié à :

- Porter des fonciers stratégiques ;
- Mener des études préliminaires ;
- Financer les développements ;
- Lancer des opérations en blanc.

Les développements potentiels sont des projets dans lesquels la maîtrise foncière est assurée. Ils sont en cours d'étude ou en phase d'instruction par les administrations compétentes. Ils seront entièrement développés dans les 5 prochaines années.

Fulton 1 a cédé ses projets à des investisseurs institutionnels : Bleecker (son partenaire historique), Gécina, GE Real Estate (General Electric), Caisse des Dépôts, UFG. Les fonds propres proviennent d'investisseurs privés français.

### 1.1.2.2. Fulton 2

- 100 M€ de fonds propres à investir (50% FULTON 1 et 50% REVCA) dédiés à des projets de toutes classes d'actifs (bureaux, parcs d'activités, logistique, logements, commerces).
- Individuellement, chaque projet ne dépasse pas 6 M€ de fonds propres.
- Durée du fonds : 7 ans (incluant 4 ans d'engagement).
- Le fonds a pour objectif un TRI annuel de 20%.

### 1.1.2.3. Fulton 3

- 100 M€ de fonds propres (50% FULTON 1 et 50% PRUDENTIAL - PRAMERICA) dédiés à des investissements dans des développements bureaux, activité, et logistique.
- Chaque projet nécessite un minimum de 8 M€ de fonds propres.
- Levier limité à 85% par projet et 75% globalement.
- Durée du fonds : 7 ans (incluant 3 ans de période d'engagement).
- Ces fonds sont dédiés à porter des terrains stratégiques, restructurer des immeubles de bureaux et développer des projets neufs de bureaux ou d'activité.
- Le fonds a pour objectif un TRI annuel de 20%.

## 1.1.3. Partenaires

### 1.1.3.1. Bleecker

Partenaire historique de Fulton, Bleecker est un groupe spécialisé dans l'immobilier d'entreprise qui s'est développé sur le marché des locaux d'activités, bureaux et plateformes logistiques.

Au 1er janvier 2007, Bleecker possède un patrimoine d'une valeur de 234 millions d'euros. La valorisation, le développement et la gestion du patrimoine sont assurés par différents pôles du groupe en s'appuyant sur une équipe pluridisciplinaire.

Bleecker exerce une activité d'animation, de coordination, d'administration et de gestion de ses filiales et sous-filiales. Bleecker est un acteur majeur dans le secteur de l'immobilier d'entreprise et bénéficie du statut SIIC.

### 1.1.3.2. Revcap

Real Estate Venture Capital, créé en 2004, est un fonds exclusivement dédié à l'immobilier. Il est doté de 300 M€ de fonds propres provenant d'institutions et de « family offices » britanniques.

En décembre 2006, plus de 70 investissements ont été engagés au Royaume Uni, en Allemagne, en France, en Suède et en Norvège pour plus de 800 000 m<sup>2</sup>.

### 1.1.3.3. Pramerica

Les unités opérationnelles de Pramerica Real Estate Investors offrent une large gamme d'opportunités d'investissements et de services Investments et Management aux Etats-Unis, en Europe, en Asie et en Amérique Latine. Au 30 septembre 2006, Pramerica Real Estate Investors gérait plus de 32,9 milliards \$ d'actifs brut (23,7 milliards \$ net) pour le compte de plus de 300 clients et était classé parmi les plus importants investisseurs immobiliers.

Pramerica Financial est une marque utilisée par Prudential Financial, Inc., une société incorporée aux Etats-Unis où elle réalise la plupart de ses opérations. Prudential Financial, Inc. (NYSE : PRU) est le leader des services financiers avec environ 586 milliards \$ gérés au 30 septembre 2006 et présent aux Etats-Unis, en Asie, en Europe et en Amérique Latine. Tirant profit de son héritage de compagnie d'assurance et de son expérience en asset management, Prudential Financial cherche prioritairement à accompagner des actionnaires privés et des institutions financières dans leurs stratégies de développement et leurs gestions d'actifs.

### 1.1.3.4. Heliophile

Heliophile est une société formé par une équipe de trois personnes au niveau global :

- Tristan Cotté ;
- Phillippe Perrette ;
- Frantz Roesch ;

Heliophile a déjà réalisé, associé à Fulton, d'autres structures de production d'énergie à partie des sources renouvelables. En occasion, des fermes photovoltaïques pour la filière bovine d'Aubrac, en Aveyron, évalués en 15 millions d'euros

Aujourd'hui, Heliophile exerce, associé à Fulton pour une nouvelle fois, les métiers de développeur, investisseur et exploitant d'Unités de Méthanisation.

## 1.2. Les projets : Unités Territoriales de Méthanisation

### 1.2.1. Unités de Méthanisation

Une Unité de Méthanisation c'est une installation comportant un processus industriel par lequel on peut obtenir, à partir de matière organique, plusieurs produits et sous-produits (biogaz, énergies électrique et thermique et amendements organiques). L'ingénierie nécessaire à sa construction est donc plus vaste, plus robuste que celle nécessaire à la construction d'un bâtiment usuel, en raison de l'ingénierie nécessaire aux processus.

Une description plus approfondie du fonctionnement des Unités de Méthanisation sera faite lors du chapitre 2.1. Pour le moment je me contenterai en présenter les principes généraux, notamment des Unités de Méthanisation que Fulton envisage de construire.

#### 1.2.1.1. Particularités des projets de Fulton

Concernant le process, la particularité la plus importante des projets prévus est le choix de construire des Unités de Méthanisation à voie sèche. Tandis qu'en France on rencontre plusieurs exemples d'Unités de Méthanisation basées sur la technologie infiniment mélangé, il y a peu des projets qui utilisent la méthode voie sèche.

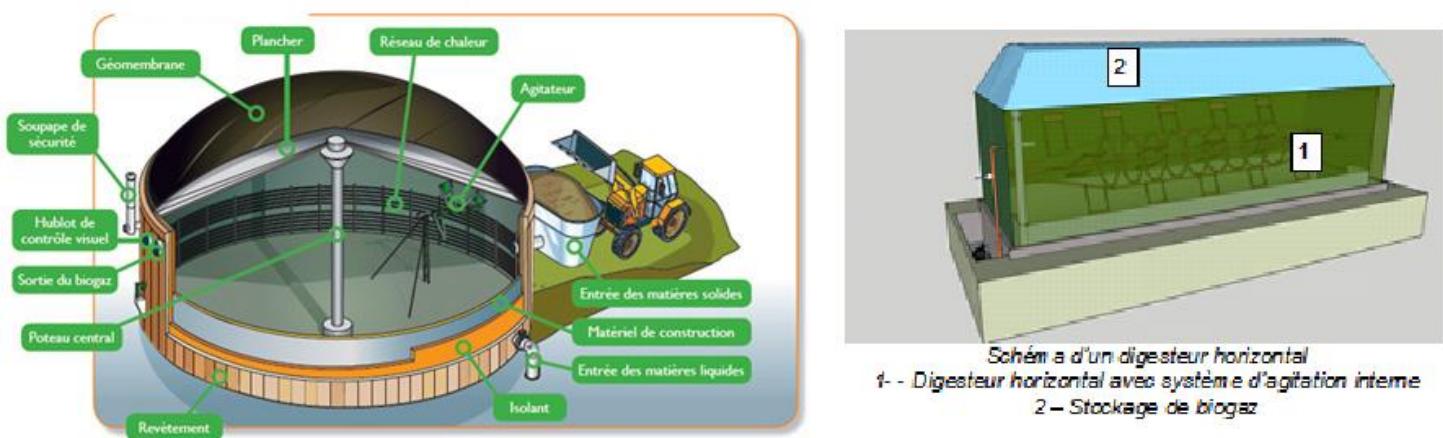


Figure 3 - Comparaison entre digesteurs de technologies infiniment mélangé (à gauche) et voie sèche (à droite)

Une des lignes directives des projets se réfère au choix des intrants. Fulton a décidé de privilégier les intrants considérés nobles. On préfère donc les effluents d'élevage, semenciers et déchets verts par rapport, par exemple, aux sous-produits de l'assainissement urbain, comme des boues des stations d'épuration.

La valorisation des digestats, un des produits du processus de méthanisation, est aussi une des décisions stratégiques prises par l'entreprise. Pour quelques installations les digestats sont traités comme un déchet et donc sa destination finale engendre un coût. En opposition, Fulton sur ses projets cherche à traiter les digestats et obtenir les autorisations nécessaires pour les commercialiser et, ainsi, profiter d'une source de revenu supplémentaire.

La dernière particularité importante de ces projets est une décision du groupe concernant l'opération des Unités de Méthanisation, explicable principalement par l'environnement imposé par la législation française.

Pour être exploitée, une Unité de Méthanisation doit respecter un ensemble de prescriptions des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), une réglementation particulière à laquelle cette construction est soumise. Cette réglementation classe les Unités de Méthanisation selon leurs consommations d'intrants dans trois régimes différentes et les exigences faites par la loi dépendent de ces régimes, en étant plus strictes pour des quantités d'intrants plus importantes. De plus, la durée nécessaire pour obtenir cette permission d'exploiter varie selon les régimes.

**Table 1 – Classement ICPE des Unités de Méthanisation**

<b>1. Méthanisation de matière végétale brute, effluents d'élevage, matières stercoraires, lactosérum et déchets végétaux d'industries agroalimentaires :</b>	
a) La quantité de matières traitées étant supérieure ou égale à 50 t/j	<b>Autorisation</b>
b) La quantité de matières traitées étant supérieure ou égale à 30 t/j et inférieure à 50 t/j	<b>Enregistrement</b>
c) La quantité de matières traitées étant inférieure à 30 t/j	<b>Déclaration</b>
<b>2. Méthanisation d'autres déchets non dangereux</b>	<b>Autorisation</b>

En raison de cet environnement réglementaire, il a été décidé par le groupe de diviser l'opération des Unités de Méthanisation dans différentes phases qui correspondent aux différents régimes. La construction des Unités suivra aussi cette logique. Lorsqu'un équipement n'est nécessaire qu'en dans une deuxième phase de l'opération, dans la mesure du raisonnable, on ne l'installera pas au tout début du projet.

Pour l'entreprise cela veut dire qu'on décale dans la mesure du possible les investissements. Cette procédure a un double intérêt pour la sécurité des opérations, puisque les banques en font le même avec le financement et puisqu'on construit juste ce qu'on pourra exploiter plus tard.

## 1.2.2. Territoriale

Fulton a décidé d'investir dans des Unités Territoriales de Méthanisation. Le caractère territorial que l'entreprise veut donner à ces projets est une importante décision stratégique.

Usuellement on classifie les Unités de Méthanisation dans 4 typologies :

- A la ferme

Un agriculteur ou groupe d'agriculteurs exploite l'installation ;

- Territoriale

De taille plus conséquente que les projets à la ferme, ces Unités sont exploitées par des sociétés traitant les déchets de plusieurs structures agricoles, souvent conjointement à des effluents provenant d'autres secteurs (coproduits agro-industriels, déchets de grandes surfaces ou collectivités, boues de stations d'épuration...) ;

- Industrie

Premier à développer la méthanisation pour le traitement des effluents. On regroupe sous cette typologie les industries agroalimentaires, chimiques, de production de biocarburants, pharmaceutiques, papeteries et cartonneries ;

- Stations d'épuration

Ces stations traitent en grande majorité des effluents urbains, mais également pour certaines une faible proportion d'effluents industriels.

De ces groupes, l'Unité de Méthanisation Territoriale est celle qui permet à Fulton d'être le plus indépendant possible et laisse ouverte la possibilité à vendre les installations si jamais il se trouve nécessaire. De plus, les secteurs de la méthanisation à la ferme et territoriale sont ceux où la croissance la plus forte est attendue dans les 5 prochaines années.

Table 2 – Répartition des Unités de Méthanisation en service et en construction en France

Source ATEE Biogaz	A la Ferme	Territoriale	Industrie	Stations d'épuration
Installations en service	41	7	80	60
En construction	26	9	4	5

Les Unités de Méthanisation Territoriales se caractérisent notamment par :

- La collecte de biomasse sans retour aux producteurs (par opposition à la biomasse agricole) ;

- 
- A partir d'un gisement issu d'un territoire d'environ 30 kilomètres de rayon;
  - Avec un débouché pour le digestat/fertilisant à proximité du site.

### 1.2.3. Environnement politique réglementaire

L'environnement politique actuel est très favorable à la construction des Unités de Méthanisation. Il a une forte volonté de les mettre en place à niveau national suite aux engagements pris par la France, tels que l'Agenda 21, ou à Grenelle et à Kyoto.

Pour atteindre ces objectifs, on vérifie donc dans la sphère nationale des mesures de plus en plus conséquentes, comme par exemple :

- Obligation d'achat par EDF de l'électricité produite (72% du CA) sur 15 ans selon décret de mai 2011 à un prix garanti et indexé annuellement ;
- Annonce en mars 2013 par les ministres de l'agriculture et de l'environnement d'un plan Energie Méthanisation et Autonomie Azote, l'objectif étant de développer en France, à l'horizon 2020, 1000 méthaniseurs, entre les typologies à la ferme et territoriales ;
- Arrêté du 27 février 2013 qui rend possible la double valorisation énergétique des Unités de Méthanisation, c'est-à-dire, l'injection de biogaz dans le réseau de gaz naturel et l'injection d'énergie électrique dans le réseau ;
- Note d'information du 4 mars 2013 qui assoupli les règles concernant la valorisation des digestats.

Il faut remarquer que ces décisions du gouvernement français ne sont pas vraiment risquées, puisque ce n'est pas de la création de technologie. La technique est déjà très bien maîtrisée dans d'autres pays, même en Europe. Tandis que en France il y a un peu moins de 200 Unités de Méthanisation, en Allemagne il y en a environ 8000.

La France se réveille graduellement pour les problématiques de production énergétique et le besoin d'en trouver des sources renouvelables. Cette problématique, notamment concernant les Unités de Méthanisations comme une des solutions, est déjà étudiée et appliquée plus intensivement depuis une trentaine d'années en Allemagne, Hollande, Belgique, entre autres.

La volonté de rattraper cette différence face à ses voisins en Europe fait que l'environnement national soit très intéressant pour le développement de projets.

Au-delà des mouvements gouvernementaux, on vérifie cet intérêt croissant dans la méthanisation en France par exemple dans l'évolution en ampleur et quantité des congrès sur les thèmes, dans les relations plus facilitées avec les banques et dans les relations avec les différents fournisseurs extérieures qui désirent entrer dans le marché français.

### 1.2.4. Ambition

La promotion des Unités de Méthanisation a été identifiée comme une bonne opportunité, dans le cadre des valeurs privilégiées par Fulton, c'est-à-dire, le potentiel lucratif et la diversification d'opérations.

.Le fait de ne jamais avoir construit une Unité de Méthanisation n'est pas donc un empêchement, bien au contraire, c'est une motivation supplémentaire, puisque cela permettra de augmenter le portfolio de l'entreprise.

Dans cette logique et tenant compte de l'environnement politique et réglementaire favorable, Fulton ambitionne :

- Mettre en service en trois années 10 unités de méthanisation territoriales pour l'Île de France ;
- Participer significativement à l'autonomie énergétique du territoire avec 15 MWe installés ;
- Prendre une position forte sur le secteur stratégique « énergie, déchets, réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre et agriculture durable » ;
- Participer à la création d'un secteur en forte croissance où aucun acteur référent n'existe encore en France ;
- Mutualisation des risques sur plusieurs sites en production.

### 1.2.5. Les projets

Sur la base des lignes directives décrites sur le chapitre 1.2.1.1, le projet type des Unités de Méthanisation aurait les caractéristiques techniques suivantes :

- Terrain : 1 à 2 ha ;
- Bâtiment (réception d'intrants et séchage des digestats) : 3000 m<sup>2</sup> ;
- Collecte sur un rayon de 30km ;
- 1 semaine de stockage d'intrants ;
- 3 mois de stockage de digestat solide ;
- 6 mois de stockage de digestat liquide ;
- Dans la première phase d'opération (Phase 1) :
  - o 30 tonnes de déchets traitées par jour (limite déclaration ICPE) ;
  - o 700kW de puissance électrique installée ;
  - o 19,2 tonnes par jour de digestat solide à vendre ;
  - o 12,7 tonnes par jour de digestat liquide à évacuer en plan d'épandage.
- Dans la deuxième phase d'opération (Phase 2) :
  - o 50 tonnes de déchets traitées par jour (limite déclaration ICPE) ;
  - o 1000kW de puissance électrique installée ;
  - o 17,3 tonnes par jour de digestat solide à vendre ;
  - o 20,7 tonnes par jour de digestat liquide à évacuer en plan d'épandage.

Même si on prévoit une recette approximative d'intrants, ceux-ci seront très dépendants des disponibilités locales de produits. Conséquemment, les productions énergétiques en varieront aussi. Sur la figure ci-après, la recette simplifiée approximative en phase 2 :

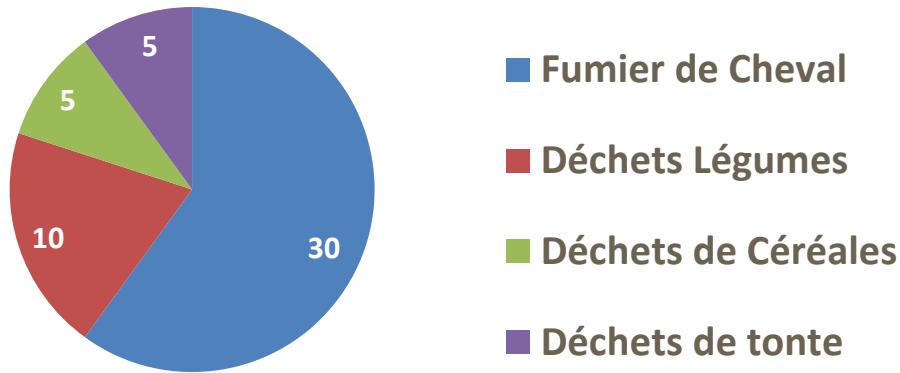


Figure 4 - Répartition d'intrants en Phase 2 (en tonnes/jour)

Dans cette configuration, une Unité de Méthanisation proportionnera les bénéfices environnementaux suivants :

- Réduction de l'équivalent de 4.000 tonnes de CO<sub>2</sub> chaque année ;
- Valorisation locale de déchets locaux ;
- Economie pour la collectivité en matière de coût de chauffage ;
- Réduction des dépenses d'évacuation et de traitement des déchets verts ;
- Production d'énergie électrique d'origine renouvelable correspondant à la consommation de 6000 habitants ;

En ce qui concerne l'investissement nécessaire, l'entreprise utilisera trois sources :

- Financement externe  
Les banques apporteront la partie plus substantielle de l'investissement nécessaire, soit 5,4 millions d'euros, correspondant à 77,1% du total. Ce financement sera payé dans 13 ans.
- Fonds propres  
Les associés apporteront 1,3 millions d'euros, soit 18,6% du total de l'investissement. Le remboursement de ces fonds est envisagé dans 7 ans.
- Subventions  
Les aides gouvernementales s'élèveront à 0,3 millions d'euros, une somme qui n'est pas négligeable représentant 4,2% du total de l'investissement.

Le chiffre d'affaires des opérations se décompose en trois sources :

- Électricité

Correspondant à 72% du chiffre d'affaires, cette source est bien sécurisée vu le décret de mai 2011 qui assure l'achat de la totalité de la production à tarif à un prix garanti et indexé annuellement ;

- Fertilisants

Estimé à 22% du chiffre d'affaires, c'est sur cette source qu'on a plus de marge de manœuvre, vu que les prix de vente dépendent des négociations avec les particuliers intéressés et de la qualité du produit.

- Chaleur

En soit, la vente de la chaleur représente 6% du chiffre d'affaires, ce qui est déjà une valeur significative. Pourtant, la valorisation de la chaleur par l'installation est encore plus importante au niveau financier parce que le prix de vente de l'électricité est influencé par le concept d'efficacité énergétique défini sur l'arrêté du 19 mai 2011.

(MM€)	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6	N+7	N+8	N+9	N+10	N+11	N+12	N+13	N+14	N+15
Investissement	-7															
Chiffre d'affaires		1.1	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0
Charges		-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.0
Cash-Flow Projet	-7	+0.4	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0
Charge Financière		-0.6	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	+0.3	
Dette		+5.4		-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	
Subvention		+0.3														
Fonds Propres		-1.3	-0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	0.9	1.0

TRI Investisseurs: 18% Pré-taxes

**Figure 5 - Business plan simplifié d'un projet type**

Sur le *business plan* simplifié ci-avant, on vérifie notamment la répartition de l'investissement selon les différentes sources et l'EBITDA annuel représentant 13% de l'investissement total.

Aujourd'hui, Fulton a identifié cinq terrains pour la construction des Unités de Méthanisation, tous constructibles au titre du PLU :

- La Ferté Saint Aubin ;
- Lieusaint ;
- Moussey-le-Neuf ;
- Ecuelles ;
- Chanteloup-en-Brie.



Figure 6 - Plan des terrains identifiés pour la construction des projets

A l'exception du projet à La Ferté Saint Aubin, situé à la proximité d'Orléans, tous les autres se trouvent aux alentours de Paris. Néanmoins, Fulton étudie la réalisation de projets dans d'autres localités, comme par exemple à Plouvorn en Bretagne.

Actuellement la société travaille principalement sur la première de ces Unités de Méthanisation qui, dans ce caractère de première expérience, servira justement pour mettre au point la technique, les méthodes, etc.



Figure 7 - Vue maquette 3D du projet type

Pour une question de simplicité et en visant une économie d'échelle, Fulton cherchera à reproduire le plus possible les caractéristiques de ce projet sur les suivants. De plus, l'entreprise a comme objectif d'exécuter les projets de manière consécutives.

Cela rend possible, par exemple, la fidélisation des intervenants impliqués dans la conception et l'exécution. Des relations longues dans le temps avec les bureaux d'étude ingénierie civile et de process et les entreprises de réalisation sur des dossiers similaires peuvent être très bénéfiques pour tous et source d'un travail plus performant. Les méthodes de travail et les divisions des tâches des intervenants seraient déjà connues de tous et occasionneraient moins de disputes, donc de perte de temps. D'ailleurs, même les coûts des prestations de ces intervenants pourront être mieux négociés en raison du nombre des projets.

Un autre avantage serait de pouvoir facilement faire des associations entre les différents projets, faisant que l'expérience acquise soit facilement applicable. Cette caractéristique est spécialement importante si on ne considère que l'ingénierie de process, notamment les processus spécifiques aux Unités de Méthanisation, n'étaient pas connus auparavant des employés de Fulton.

Dans les sous-chapitres suivants, je décrirai brièvement les projets sur lesquels j'ai travaillé, soit La Ferté Saint Aubin et Lieusaint.

### 1.2.5.1. La Ferté Saint Aubin

La Ferté Saint Aubin (ci-après La Ferté ou LFSA) est une commune située 20 km au sud d'Orléans. La région est essentiellement rurale, bien éloigné des aménagements urbains. Cela aide à ce que la commune et ses institutions soient bien réceptives à ce type de construction.

Comme exemple, je peux citer le retour obtenu à l'envoi du dossier de déclaration ICPE. Comme déjà indiqué sur le chapitre 1.2.1.1, l'approbation de cette procédure est condition *sine qua non* pour le démarrage des opérations sur site. D'ailleurs, même pour le dépôt du Permis de Construire il est nécessaire de présenter la justificative de dépôt du dossier ICPE.

Pour le dossier ICPE de La Ferté, Fulton a reçu une réponse favorable sans aucune demande complémentaire alors que, pour un dossier similaire envoyé à Lieusaint (le deuxième projet en cours), l'entreprise a reçu plusieurs remarques, lesquelles ont dû être étudiées et répondues.

Intrant (tonnes)	Phase 1	Phase 2
Fumier équin pailleux	9000	0
Fumier équin lourd	0	8500
Déchets de légumes	2000	3500
Paille	0	650
Menues paille	0	1200
Foin	0	600
Herbe	0	3500
Marc de raisin	0	250
<b>Total</b>	<b>11000</b>	<b>18200</b>

**Figure 8 - Intrants pour La Ferté dans les deux phases**

Sortant	Unité	Phase 1	Phase 2
Digestat solide après reflux	t	7026	6314
Digestat liquide après reflux	t	4635	7548
Production de méthane	Nm3/an	1405977	1878072
Production de biogaz	Nm3/an	2784113	3611672

Figure 9 - Sortants pour La Ferté dans les deux phases

Les destinations des sortants de La Ferté sont présentées ci-après :

- Le biogaz produit sera valorisé dans une cogénération, produisant donc :
  - o De l'électricité qui sera injecté dans le réseau public ;
  - o De l'énergie thermique qui aura trois fonctions :
    - Autoconsommation thermique ;
    - Fourniture de chaleur du centre aquatique du Cosson, via un réseau de chaleur ;
    - Séchage des digestats.
- Le digestat solide sera séché jusqu'à atteindre une certaine teneur en matière sèche pour être ensuite vendu à un industriel de l'engrais présent sur le territoire ;
- Le digestat liquide sera en partie séché avec le digestat solide. Le restant sera envoyé en plan d'épandage.

Pour le projet de La Ferté, l'organisation des différents intervenants est présentée ci-après (Fulton participe avec 51% du capital de Helioprod Méthanisation) :

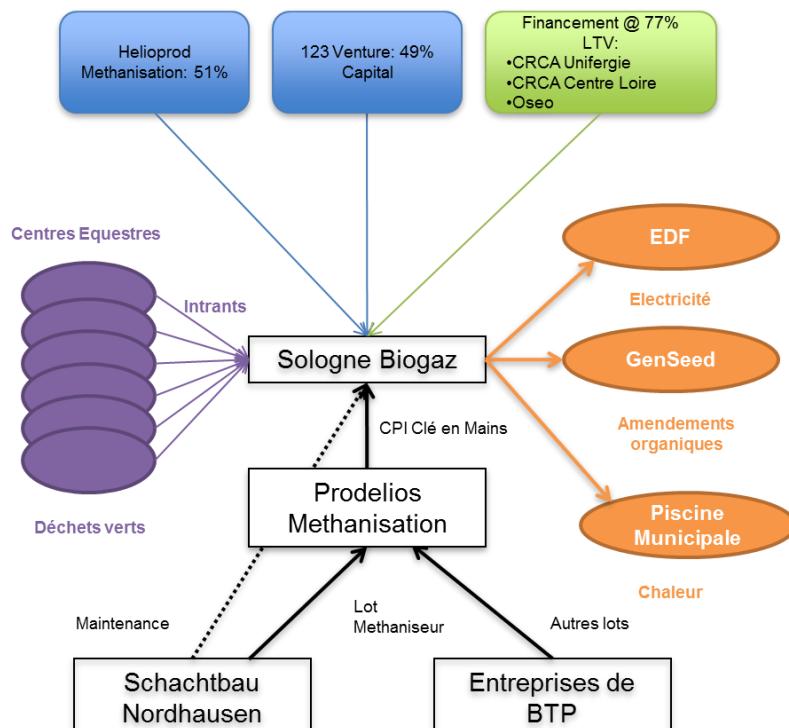
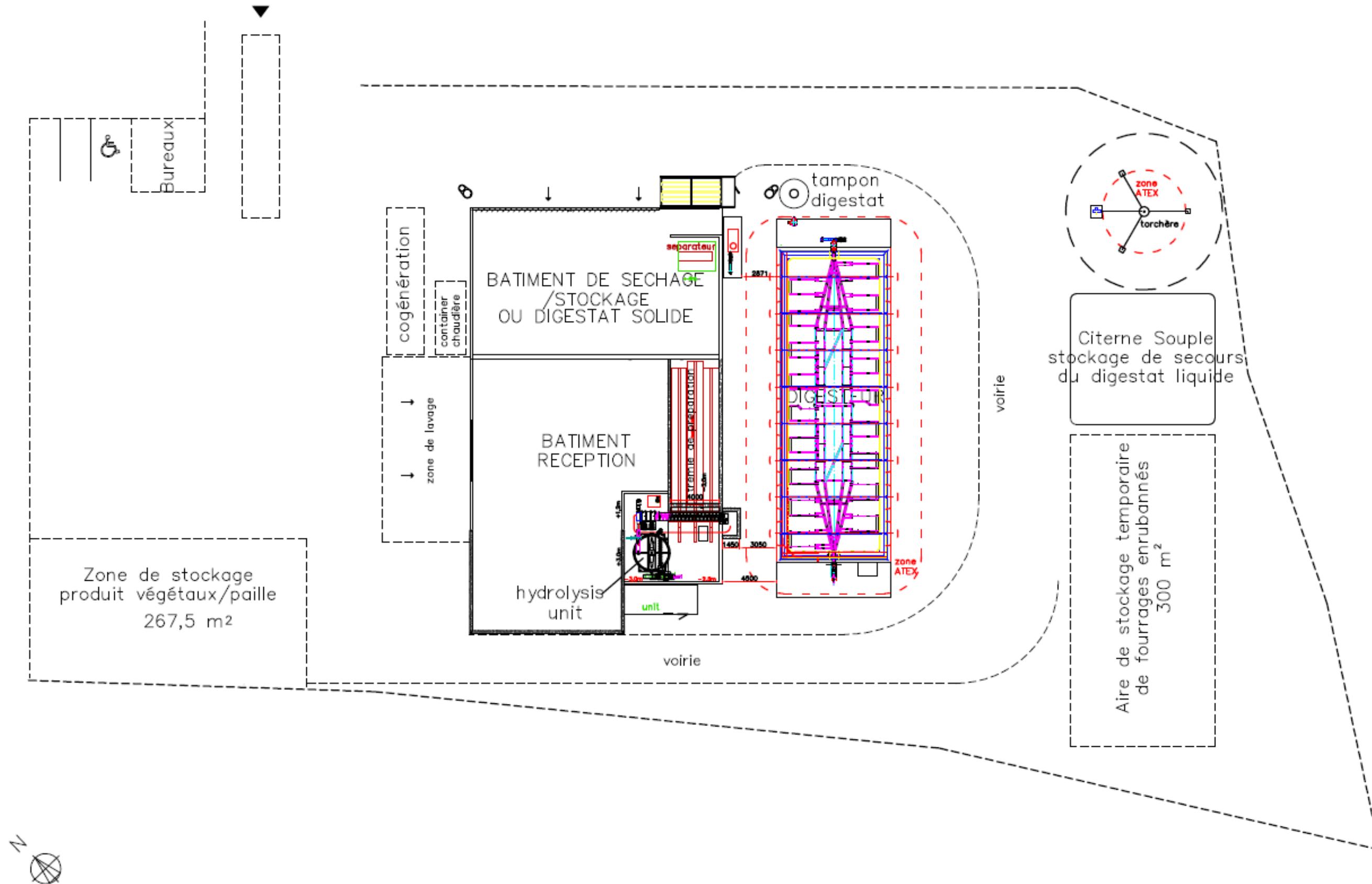
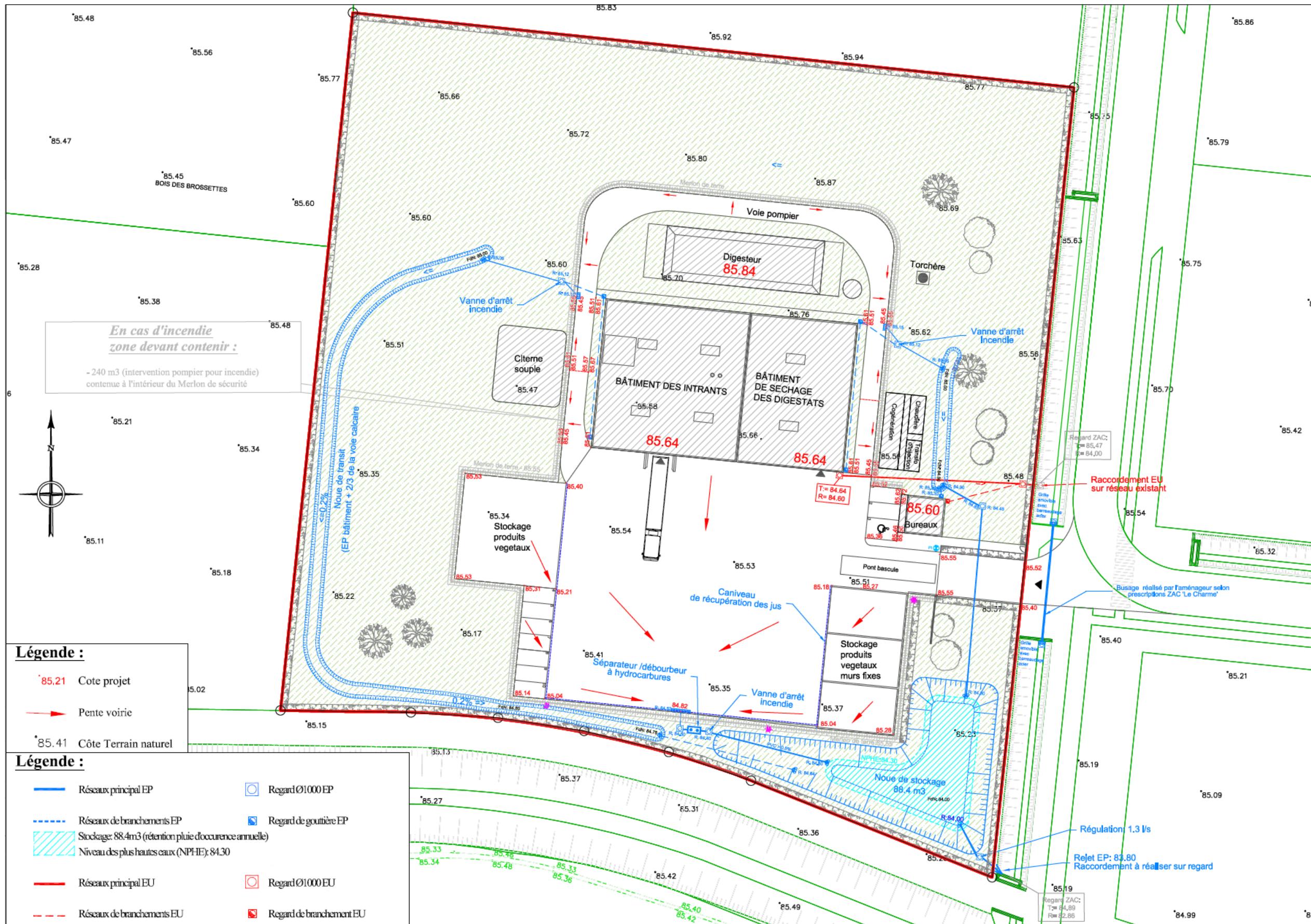


Figure 10 - Intervenants sur La Ferté



**Figure 11 - Plan projet détaillé de La Ferté**



**Figure 12 - Plan réseau d'assainissement de Sénart**

### 1.2.5.2. Lieusaint (Sénart)

Lieusaint est une commune à la proximité de Paris (36 km au sud-est), avec une gare du RER D (Lieuxaint –Moissy) la desservant. Le terrain où sera construite l'Unité de Méthanisation fait partie de l'EPA Sénart, raison pour laquelle on appelle ce projet de Sénart.

Même si on n'est pas dans un environnement complètement rural, ce projet a été très bien reçu par l'EPA Sénart, avec qui Fulton a des très bonnes relations. L'EPA Sénart souhaite construire une installation « verte », et l'Unité de Méthanisation, produisant de l'énergie à partir des sources renouvelables, est donc une solution naturelle. Il existe donc une volonté politique de faire avancer le projet à Sénart.

Intrant (tonnes)	Phase 1	Phase 2
Fumier équin pailleux	9000	9000
Fumier équin lourd	0	5000
Semences déclassées	1000	1200
Issues de silos	1000	1000
Menues paille	0	1000
Déchets verts	0	1000
<b>Total</b>	<b>11000</b>	<b>18200</b>

**Figure 13 - Intrants pour Sénart dans les deux phases**

Sortant	Unité	Phase 1	Phase 2
Digestat solide après reflux	t	5463	7600
Digestat liquide après reflux	t	7313	10503
Production de méthane	Nm3/an	1805331	2629652
Production de biogaz	Nm3/an	3272660	4738649

**Figure 14 - Sortants pour Sénart dans les deux phases**

Les destinations des sortants de La Ferté sont présentées ci-après :

- Le biogaz produit sera valorisé dans une cogénération, produisant donc :
  - o De l'électricité qui sera injecté dans le réseau public ;
  - o De l'énergie thermique qui aura deux fonctions :
    - Autoconsommation thermique ;
    - Séchage des digestats.
- Le digestat solide sera séché jusqu'à atteindre une certaine teneur en matière sèche pour être ensuite vendu à un industriel de l'engrais présent sur le territoire ;
- Le digestat liquide sera en partie séché avec le digestat solide. Le restant sera envoyé en plan d'épandage.

## 1.3. Présentation mon TFE

Avant de présenter en détail le sujet de mon TFE et les étapes prévues pour le travail, je décrirai dans la suite du texte les activités auxquels j'ai participé pendant mon stage. Cela aidera à justifier le choix du thème, bien comme à comprendre l'extension de ma vision sur les projets et les limites de mon étude.

### 1.3.1. Mon rôle sur les projets

Je travaille pour Sabrina Anel, la directrice de programme chargé des affaires des Unités de Méthanisation qui est aussi ma tutrice. Comme elle suit les projets dans leur intégralité, j'ai réalisé une bonne variété d'activités. Cependant je me suis concentré principalement sur :

- Relation avec l'entreprise qui gère l'ingénierie de process (SBN) sur le projet de La Ferté

Puisque Fulton n'a jamais construit une Unité de Méthanisation, l'entreprise souhaite être vigilante pour que le process soit le mieux pour le projet comme un tout. Ainsi, j'ai réalisé des activités comme :

- Appréciation de la note technique des flux process – cohérence, variations dans la production (notamment biogaz), hypothèses prises en compte ;
- Discussion plan projet – placement des équipements et bâtiments, passage des réseaux, interfaces ;
- Demande d'observation des prestations contractuelles – plans, productions, documents, prix ;

- Préparation des dossiers pour obtenir, auprès des communes, des certifications/ autorisations pour construire et opérer les Unités de Méthanisation

Pour chaque projet il faut déposer un Permis de Construire et un dossier ICPE, au-delà de réaliser d'autres procédures administratives, comme par exemple la demande de raccordement au réseau électrique. Pour ces raisons j'ai travaillé sur :

- Relation avec l'Architecte pour préparation du Permis de Construire de Sénart. Il a été nécessaire d'ajuster les plans de façon à respecter toutes les contraintes imposées par le process et par les PLU locaux.
- Préparation du dossier ICPE de Sénart avec l'expert dans des contraintes environnementales de Fulton, un bureau externe spécialisé dans des dossiers similaires (Impact Environnement) et l'Architecte ;
- Préparation des DICT pour le réseau de chaleur et l'Unité de Méthanisation proprement dite du projet à La Ferté ;
- Étude des contraintes ICPE régime enregistrement de La Ferté.

---

- Gestion d'interface entre les ingénieries de process et civile

Comme Fulton veut que toute la conception passe par elle, les bureaux d'étude qui font le projet génie civil ne sont pas en contact avec SBN sans avoir la participation de Fulton ;

- o Jugement des meilleures décisions à prendre quand il y a des conflits entre l'ingénierie de process et civile sur le projet de La Ferté ;
- o Triage et transmission des informations entre SBN et les bureaux d'étude génie civil, notamment à La Ferté ;
- o Demande des données nécessaires pour prendre des décisions dépendantes du process sur l'ensemble des projets – choix cogénération, permis de construire, dossier ICPE, raccordement réseau électrique (consommation et injection) ;
- o Travail sur les limites de prestations pour éviter des zones « grises » entre le process et le génie civil sur le dossier de La Ferté.

- Montage de projets

Une partie importante du travail de promotion des Unités de Méthanisation est réalisée en interne. Entre autres, la réception et étude des propositions des tiers, la recherche des bonnes opportunités indépendamment, la recherche des intrants avec de bonnes caractéristiques pour la méthanisation, la prospection d'éventuels investisseurs et le contact avec des différentes sociétés pour la définition de meilleure solution de valorisation des digestats. Dans cet environnement, j'ai contribué sur les activités suivantes :

- o Analyse technique préliminaire des propositions d'investissement apportées par des tiers ;
- o Support technique aux discussions commerciales, avec évaluation/production des données. Cette activité, réalisé notamment pour le projet à La Ferté est très importante vu le souhait de établir des relations à reproduire sur les projets suivants ;
- o Évaluation des contrats en cours de préparation d'un point de vue technique pour comprendre les impacts possibles sur les projets et fomenter les discussions pertinentes ;
- o Signalisation des sujets techniques critiques pour lesquels des décisions stratégiques sont nécessaires.

### 1.3.2. Sujet du TFE

Vu que Fulton envisage de construire plusieurs Unités de Méthanisations, ses fonctionnaires, ma tutrice incluse, ont très clair dans leurs esprits qu'il faut apprendre le maximum sur les premiers projets qu'on réalise. Il est essentiel de bien identifier les erreurs commis pour les éviter sur les prochains projets et obtenir un résultat

---

global favorable. Le but est donc d'optimiser la construction des Unités de Méthanisation au sein de Fulton.

Néanmoins, je ne veux pas que les optimisations faites soient limitées aux projets sur lesquels je travaillerai, mais qu'elles s'étendent aux futurs projets. Je souhaite que le retour d'expérience qu'on aura dans ces premiers projets soit intégré de façon concrète au savoir-faire de l'entreprise. C'est-à-dire, je veux que, indépendamment de ma présence, les bons aspects des premiers projets soient reproduits sur les suivants et les mauvais, corrigés.

Pour le faire, je créerai une méthodologie pour mettre au point l'activité de promotion des Unités de Méthanisation. En la laissant accessible à l'ensemble de l'entreprise, cette méthodologie pourra être améliorée au fur et à la mesure de façon à que cette nouvelle activité de Fulton soit dans peu de temps maîtrisé.

De ce fait, les principaux objectifs de mon TFE sont :

- Créer un planning optimal des principales activités associées à la promotion d'une Unité de Méthanisation ;
- Identifier et expliquer en détail les événements qui ont eu un impact mauvais et significatif dans la promotion des Unités de Méthanisation. Proposer des solutions très concrètes pour corriger les erreurs lors des prochains projets.

Pour atteindre mes objectifs, j'ai envisagé de réaliser une série d'activités, listés ci-après :

- Recherche et formation sur le processus de la méthanisation, bien comme sur la construction des unités en elles-mêmes ;
- Analyse pendant toute la durée de mon TFE du déroulement des projets des Unités de Méthanisation. Cela comprend :
  - o L'identification des événements (décisions, résultats des études, retours des mairies...) significatifs positifs et négatifs pour le projet ;
  - o La comparaison entre le planning et le réalisé.
- Analyse des événements significatifs négatifs, en étudiant ses causes, sur la base de l'analyse faite des déroulements des projets. Proposition d'actions afin d'éviter ces erreurs sur les prochaines unités ;

Avec cette structure pour mon mémoire TFE, j'ai eu le temps de me former dans la méthanisation et ensuite commencer à travailler et identifier les sujets qui étaient les plus importants pour les projets. En accompagnant l'évolution du projet, j'ai pu identifier les modifications dans le planning et ses raisons primaires.

La recherche des solutions pour les soucis identifiés a été faite pendant une longue période du stage TFE. A la fin, la compilation des résultats les plus importants a été réalisée, ce qui a donné origine à un des chapitres de ce mémoire.

Vers la fin de mon stage, avec l'expérience acquise, j'ai pu préparer un planning optimisé pour l'activité de promotion d'une Unité de Méthanisation.

---

Il faut toutefois remarquer que mon expérience se résume à quelques phases de la construction. Je n'ai pas pu vivre ni la phase chantier, ni la mise en route, ni l'exploitation des Unités de Méthanisation. De ce fait, mes conclusions ne dégagent peut-être pas une vision de l'ensemble des étapes de la vie d'une unité de Méthanisation). De plus, les quatre mois de stage représentent un temps très court pour comprendre une installation tellement complexe.

Même en connaissant ces limitations, je reste très content du travail fait et j'espère que les conclusions tirées, bien comme les outils créés puissent être utiles pour la suite des projets que Fulton envisage de construire.

## 2. Développement

Dans un premier temps, je décrirai brièvement une Unité de Méthanisation. Ensuite, je commence mon TFE, proprement dit. D'abord, je listerai un grand numéro d'événements d'intérêt. Suite à une analyse, je choisirai quelques thèmes, qui seront alors étudiés en détail. Je finirai avec une proposition de planning optimisé.

### 2.1. Description d'une Unité de Méthanisation

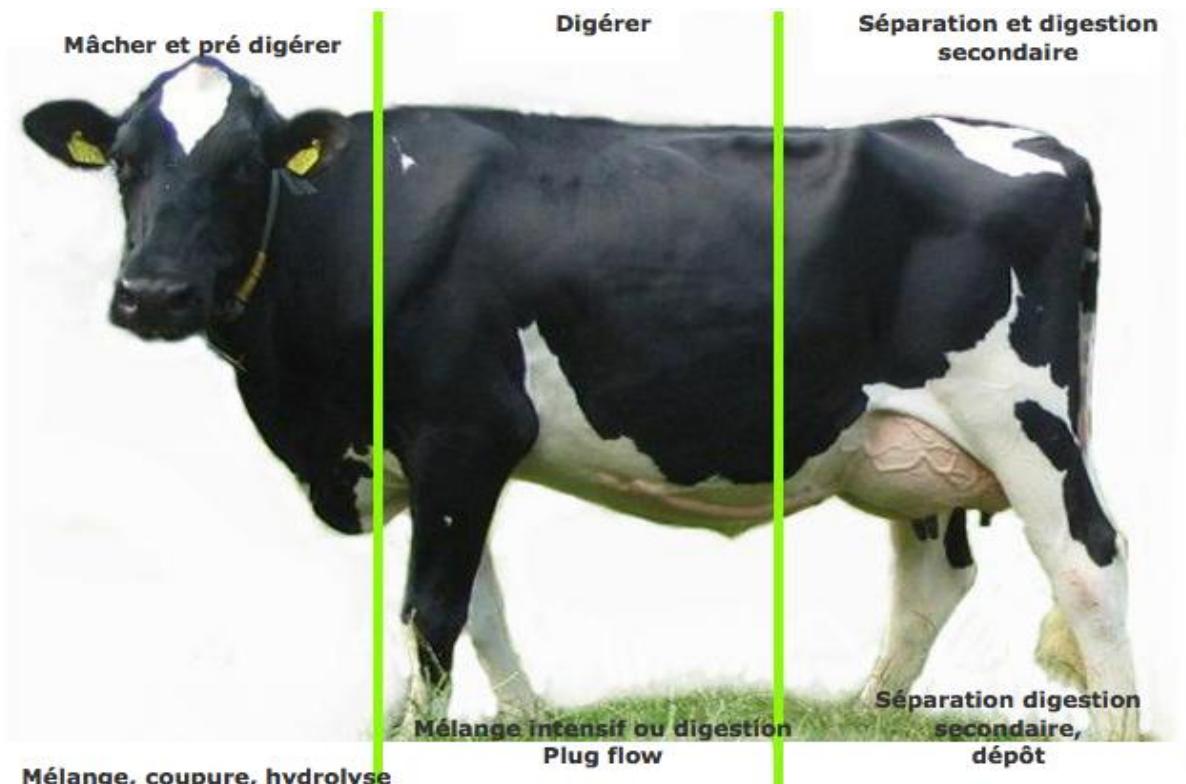


Figure 15 - Une Unité de Méthanisation est la reproduction à l'échelle industrielle des processus qui se développent dans la panse d'un ruminant

#### 2.1.1. Principes

La méthanisation est une technologie basée sur la dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène (milieu anaérobiose).

Toute la matière organique est susceptible d'être décomposée par la méthanisation et de produire du biogaz. Le potentiel méthanogène est toutefois très variable.

La méthanisation convient particulièrement aux substrats riches en eau, contenant de la matière organique facilement dégradable, et facilement pompables pour permettre un fonctionnement en continu. Les déchets méthanisés peuvent être d'origine :

- agro-industrielle : abattoirs, caves vinicoles, laiteries, fromageries, ou autres industries agro-alimentaires, industries chimiques et pharmaceutiques, etc.
- agricole : déjections animales, résidus de récolte (pailles, spathes de maïs ...), eaux de salle de traite, etc.
- municipale : tontes de gazon, fraction fermentescible des ordures ménagères, boues et graisses de station d'épuration, matières de vidange, etc.

La co-digestion d'un mélange de déchets organiques est à préconiser pour permettre des économies d'échelle et optimiser la production de biogaz.

La méthanisation produit :

- Biogaz
- Digestat

Le biogaz est un mélange gazeux saturé en eau à la sortie du digesteur et composé d'environ 50% à 70% de méthane ( $\text{CH}_4$ ), de 20% à 50% de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) et de quelques gaz traces ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ). Le méthane, la fraction du biogaz pouvant subir une combustion, a un Pouvoir Calorifique Inférieur de 10 kWh/Nm<sup>3</sup>. Cette énergie renouvelable peut être utilisée sous différentes formes :

- Production de chaleur

L'efficacité énergétique est intéressante si le besoin en chaleur des débouchés est assez important pour permettre de valoriser le maximum de l'énergie disponible. Cela nécessite également des débouchés à proximité pour limiter le transport coûteux de la chaleur ou du biogaz.

- Production d'électricité

L'efficacité énergétique est plus faible (- 37 %) du fait du rendement énergétique de l'électricité se limitant, pour des moteurs, au environ de 33%.

- Production combinée d'électricité et chaleur (cogénération)

La chaleur des gaz chauds issu de la production d'électricité peut être récupérée pour produire de la chaleur. L'efficacité énergétique est intéressante car cette valorisation permet de valoriser l'excédent d'énergie éventuel mais, nécessite pour la chaleur un débouché à proximité. Ce cas est encouragé par une prime à l'efficacité énergétique présente dans le tarif d'achat d'électricité.

- Carburant Véhicule

Pour être utilisé en tant que carburant Véhicule, le biogaz suit une série d'étapes d'épuration/compression. Elle peut être envisagée dans le cadre d'une flotte captive de véhicule (bus, bennes déchets, ...).

- Injection du biogaz épuré dans le réseau de gaz naturel

Le biométhane est injecté dans les réseaux de gaz de ville.

Le digestat est un produit humide riche en matière organique partiellement stabilisée. En ce qui concerne la valorisation du digestat, après une phase de maturation par compostage, les caractéristiques agronomiques et les paramètres d'innocuité du digestat sont généralement proches de celles d'un compost (ayant suivi uniquement un compostage aérobie). La qualité du digestat conditionnant sa valorisation agronomique dépend de plusieurs facteurs :

- La nature des déchets traités, notamment lorsqu'il s'agit de déchets ménagers ;
- L'efficacité des collectes sélectives : soit pour sélectionner les déchets fermentescibles, soit celle visant à écarter les « indésirables » pour la méthanisation : emballages à destiner au recyclage, et déchets spéciaux à un traitement dédié.

De plus il existe la possibilité d'homologuer les digestats et les utiliser en état, sans besoin de faire du compostage.

Les principaux avantages de la méthanisation sont :

- Une double valorisation de la matière organique et de l'énergie ;
- une diminution de la quantité de déchets organiques à traiter ;
- une diminution des émissions de gaz à effet de serre par substitution à l'usage d'énergies fossiles ou d'engrais chimiques ;
- un traitement possible des déchets organiques graisseux ou très humides, non compostables en l'état,
- une limitation des émissions d'odeurs a priori du fait de digesteur hermétique et de bâtiment clos équipé de traitement d'air performant.

Le choix de la méthanisation nécessite de prendre soin des points suivants lors de la conception du projet :

- Complémentarité avec l'incinération et/ou avec le stockage en centres de stockages de déchets non dangereux pour les fractions de déchets non organiques, ne pouvant pas être méthanisées.
- Association avec une phase de compostage pour traiter les déchets ligneux plus difficilement dégradables et pour finaliser la maturation de la matière organique.
- Mise en place d'un traitement des excédents hydriques du process.
- Intégration dans le montage du projet d'une recherche de débouchés pour écouler au mieux aussi bien le produit organique que l'énergie.
- Selon la valorisation choisie pour le biogaz, la mise en place de traitements adaptés des biogaz (déshumidification, ...) ...

## 2.1.2. Procédés

La méthanisation est un processus endothermique qui se déroule en enceinte fermée (digesteur) généralement calorifugée afin d'y maintenir une température constante.

On estime que près d'1/3 de l'énergie primaire produite par le biogaz est utilisée pour réchauffer et maintenir en température le digesteur (à température mésophile ou thermophile).

Les procédés se distinguent principalement :

- Selon la teneur en matière sèche :
  - o Les procédés à voie humide (% Matière Sèche < 15%) : on retrouve ces types de procédé pour les effluents dits liquides (boues, lisiers, ...). Ils peuvent être utilisés pour les déchets solides nécessitant alors une dilution des déchets solides.
  - o Les procédés à voie sèche (% Matière Sèche entre 15% et 40%). Les procédés en voie sèche ont surtout été développés pour traiter les déchets solides. Ces procédés nécessitent un volume moindre (substrat concentré) mais une bonne maîtrise de la circulation de la matière (pompage et brassage).
- Selon la température de réaction :
  - o La digestion anaérobiose mésophile (température moyenne = 35°C ; temps de séjour moyen = 3 semaines).
  - o La digestion anaérobiose thermophile (température moyenne 55 à 60°C ; temps de séjour moyen réduit = 10 à 15 jours).
- Selon les modes d'alimentation et d'extraction des déchets :
  - o Les procédés continus : l'alimentation et la vidange du digesteur se font en permanence avec une quantité entrante équivalente à celle sortante. Ils sont bien adaptés au traitement des déchets liquides. Ce sont les plus fréquents car ce sont aussi les moins exigeants en maintenance.
  - o Les procédés discontinus, dits « batch » : les digesteurs sont remplis puis vidés séquentiellement lorsque la production de biogaz chute ou devient nulle.
  - o Les procédés semi-continus : le digesteur est progressivement rempli par des charges successives convenablement réparties dans le temps. La vidange est réalisée lorsque le volume utile du digesteur est atteint et que la production de biogaz n'est plus suffisante.

Les principaux équipements présents dans une Unité de Méthanisation sont :

- Des équipements de séparation des impuretés en tête d'unité selon les matières traitées ;

- Le mélangeur/malaxeur permettant l'introduction homogène de la matière organique dans le digesteur ;
- Le digesteur, qualifié d'homogène ou d'hétérogène selon le degré du mélange, partiel ou total, de son contenu ;
- Un système de brassage mécanique (simple ou multiple), pneumatique par injection de biogaz, hydraulique par recirculation des matières ;
- Les systèmes d'extraction et de pressage (et éventuellement de pasteurisation) du digestat ;
- Le système de traitement, stockage et valorisation du biogaz : déshumidification, production d'électricité, etc.
- Eventuellement, un lagunage ou traitement d'épuration des excédents hydriques ;
- Eventuellement, des équipements de maturation par compostage et des équipements d'affinage du digestat.

## 2.2. Analyse du déroulement des projets

Dans les chapitres suivants de ce mémoire, je procéderai à une analyse de quelques thèmes précis pour aboutir dans une méthodologie permettant de faire la promotion des Unités de Méthanisation de façon optimisée. Pour bien choisir ces thèmes c'est-à-dire, pour choisir les plus importants d'entre eux, il faut d'abord avoir une vision globale de l'activité de promotion de ces immeubles et ensuite procéder au choix.

Dans cet esprit, j'ai choisi de réaliser une analyse en continu du déroulement des projets. Celle-ci aura comme résultat final un historique fidèle de l'évolution du travail et me permettra plus tard, donc avec un peu de recul, d'apercevoir les projets dans leurs ensembles et comprendre mieux les tendances suivies.

Avec cette vision de la totalité, il est plus facile de vérifier les actions qui ont mené à des bons résultats et celles qui pourraient être mieux réalisées. D'ailleurs, seule l'appréciation de l'ensemble permet de comprendre les impacts d'un événement sur d'autres et dans le temps. Donc, la vraie valeur d'une action.

Encore sur cette logique, j'ai envisagé l'analyse des événements significatifs pour les projets sous deux aspects : importance intrinsèque et importance au niveau du planning. L'intérêt est de segmenter l'analyse pour traiter un aspect à la fois. Ainsi, avec l'évaluation de l'événement en soi et son impact sur les autres, je pourrai mieux choisir les thèmes à analyser dans le cadre de mon TFE.

De plus, vérifier en continu l'évolution des projets me permettra de comprendre comme le planning initial a été graduellement ajusté.

## 2.2.1. Identification des événements significatifs

Comme déjà décrit, je souhaite avoir un historique de l'avancement des projets, une espèce de journal. En réfléchissant, j'ai conclu qu'une idée intéressante était de prendre note des actions qu'on avait à réaliser jurement, vu que ce sur quoi on travaille est le plus important pour le développement du projet ou, au moins, devrait l'être.

Ainsi j'ai créé une liste de tâches à réaliser, majoritairement par moi-même. Sur cette liste je notais les différentes activités en les classant par thème ou contexte et degré d'importance. De plus, pour chaque activité je marquais les dates cibles et de réalisation effective.

Cette pratique me permettait donc de, à la fois, contrôler mon travail, celui des personnes dont je dépendais et avoir un brouillon d'une liste des événements significatifs. A partir de ce brouillon, un traitement des données a été fait pour produire la liste des événements significatifs.

**Table 3 - Extrait du tableau des tâches à réaliser**

Import.	Date à faire	Tâche	Réponse/ résultat	Date faite
2		<b>ICPE Enregistrement LFSA</b>		
	14-mai	Vérifier état des docs SBN		
2		<b>ICPE Déclaration Sénart</b>		
	4-juin	Demander plans BA		
	4-juin	Demander LV analyse texte et plans		
	11-juin	Vérifier si on parle de chaudière – il faut!		
2		<b>Digestat liquide</b>		
	7-juin	Préparer document pour discussion interne stockages		
	11-juin	Déclencher procédure plan d'épandage digestat liquide		

Dans ce chapitre spécifique les événements significatifs ont été évalués avec un regard d'importance intrinsèque. Ainsi, j'ai essayé au plus de ne pas les classer d'après l'impact qu'il peut en avoir sur le planning, mais d'évaluer l'impact d'un événement aux niveaux technique, économique et contractuel. La partie planning sera traitée en détail sur les chapitres suivants.

Les événements significatifs, tel comme je les ai définis, sont des événements importants pour les projets. Donc, une décision sur les intrants à utiliser, un résultat de la conception du process, un retour d'une mairie sur un document déposé ou alors la constatation que la capacité de stockage d'une Unité de Méthanisation n'est pas suffisante seraient des événements significatifs.

J'ai classé les événements significatifs selon différents types, qui représentent la description de l'événement. Leurs limites sont ténues et un événement peut

englober différents types. Néanmoins, j'ai trouvé important de donner cette classification, pour, dans un mot, avoir une idée claire du sujet. Voici les types d'événements :

- Action ;
- Retour ;
- Décision ;
- Constatation ;
- Information ;
- Demande.

Sur la liste des événements significatifs, à part la division selon le type, je les ai aussi classés selon leur :

- Valeur : positif ou négatif.

Il faut remarquer qu'un événement est classé en positif ou négatif en fonction de son impact pour le projet.

Cette valorisation est dans la majorité des cas est très facile. Néanmoins, pour d'autres il est moins simple d'interpréter la situation.

Par exemple, quand on constate que le stockage de digestat liquide a une capacité réduite pour les besoins. Le fait de l'avoir constaté est positif. Pourtant, la situation en soi, ne pas avoir suffisamment de stockage de digestat liquide, est négative.

Dans ce et dans d'autres cas similaires, je classerai les événements comme négatives. Tout simplement parce que la proposition de ce mémoire est d'étudier des manières de reproduire les bonnes pratiques et corriger les mauvaises. Comme je souhaite éviter le type de situation mentionnée, donc le corriger, le classement comme négative est justifié.

Toutefois, il ne faut pas oublier qu'on souhaite continuer à constater les erreurs qu'on commet, ce qui est le premier pas pour devenir mieux.

- Importance : 1 (très important), 2 (important) ou 3 (légèrement important)

L'échelle avec uniquement trois possibilités ne cherche pas à classer toutes les activités dans une liste séquentielle. L'intention est de donner un ordre d'idée de l'importance de l'événement selon les principes suivants :

- o 1 – événements d'importance majeure pour le succès du projet, à traiter en priorité ;
- o 2 – événements importants pour le projet et donc à traiter ;
- o 3 – événements secondaires, à traiter si possible.

La liste fournira en plus, par événement, un bref contexte et le jour d'occurrence, uniquement pour les ordonner dans le temps.

Pour ne pas confondre les divers projets, même si plusieurs décisions stratégiques les impactent tous, j'ai préparé une liste d'événements significatifs pour les projets de La Ferté et de Sénart, ceux sur lesquels j'ai travaillé le plus :

## La Ferté :

#	Type	Événement	Contexte	Classification	Importance	Jour
1	Retour	Déclaration ICPE obtenu	Avant que j'arrive	Positif	1	Antérieur
2	Retour	PC purgé de tout recours	Avant que j'arrive	Positif	1	Antérieur
3	Constatation	Efficacité énergétique pas prise en compte pour chaleur séchage digestats	Définition besoins Unité de Métha pour SBN	Négatif	2	Antérieur
4	Constatation	Inspection visuelle des fuites de gaz par l'exploitant	Analyse précontrat de maintenance	Négatif	2	06/03/13
5	Constatation	Différence entre définition pièce critique et utilisé par SBN	Analyse précontrat de maintenance	Négatif	3	11/03/13
6	Information	Digestat liquide sera vendu	Information Helioprod	Positif	1	12/03/13
7	Information	Digestat solide sera vendu facilement	Information Helioprod	Positif	1	12/03/13
8	Information	EREP: reflux solide semble très étrange	Suite analyse note flux process	Négatif	2	12/03/13
9	Information	EREP: teneur en azote très élevée	Suite analyse note flux process	Négatif	2	12/03/13
10	Constatation	Pas besoin de changer BP à cause de double valorisation	Arrêté double valorisation	Positif	3	13/03/13
11	Retour	EREP: inspection visuelle des fuites de gaz est pratique habituelle	Analyse précontrat de maintenance	Positif	2	13/03/13
12	Retour	EREP: risque d'inhibition par ammoniac en phase 1	Analyse note technique contrat	Négatif	2	13/03/13
13	Information	Inspection visuelle facile à faire	Information SBN	Positif	2	15/03/13
14	Constatation	Incohérence tableaux/ valeurs SBN	Analyse note technique contrat	Négatif	1	15/03/13
15	Constatation	SBN ne s'engage pas sur la production de biogaz	Signature contrat SBN	Négatif	1	15/03/13
16	Constatation	Qq tâches maintenance ont besoin de plus d'une personne - pas prévu	Analyse contrat de maintenance	Négatif	2	18/03/13
17	Constatation	Besoin énergétique de la piscine défini sur le contrat	Besoin de chaleur piscine inconnu	Positif	3	20/03/13
18	Information	SBN affirme que digestat liquide arrosera le digestat solide et sera séché	Appel téléphonique	Positif	1	20/03/13
19	Constatation	Autonomie citerne souple digestat liquide d'environ 5 jours	Analyse stockages	Négatif	2	22/03/13
20	Demande	Liste des réponses pour ICPE enregistrement	Réunion SBN	Positif	2	25/03/13
21	Retour	SBN: il n'y a pas de risque d'inhibition par ammoniac	Réunion SBN	Positif	2	25/03/13
22	Information	SBN: besoin d'équipement supplémentaire pour broyer les intrants	Réunion SBN suite analyse fumier	Négatif	2	25/03/13
23	Information	SBN: cogénération n'est pas incluse dans le container de la cogénération	Réunion SBN	Négatif	2	25/03/13
24	Décision	Créer réseau et pompe pour recycler les eaux pluviales vers le digesteur	Réunion SBN	Négatif	3	25/03/13
25	Constatation	Production de méthane a changée -phase 1 diminuée, phase 2 augmentée	Analyse note technique 24 Mars	Négatif	1	26/03/13
26	Action	Envoie documentation nécessaire pour intervention non-process	Réunion non-process	Positif	2	02/04/13

#	Type	Événement	Contexte	Classification	Importance	Jour
27	Constatation	Incompréhension des zones ATEX, zones de respect de 10 m, etc	Réunion Génie Civil Sénart	Négatif	2	04/04/13
28	Action	Lancement du projet en phase DCE avec les intervenants non-process	Réunion non-process	Positif	2	04/04/13
29	Décision	Pas de renvoie des eaux pluviales à l'intérieur du digesteur	Suite décision réunion SBN	Positif	3	04/04/13
30	Décision	Rehausser trémie de préparation pour diminuer coûts relatifs à l'eau	Réunion non-process	Positif	1	04/04/13
31	Demande	A SBN: résistance du sol pour le digesteur	Suite réunion non-process	Positif	2	05/04/13
32	Demande	A SBN: position branchement d'eau à l'intérieur bâtiment Réception	Suite réunion non-process	Positif	3	05/04/13
33	Demande	A EREP: quels éléments prendre en compte pour analyse cogénération?	Choix cogénération	Positif	2	09/04/13
34	Retour	EREP: liste d'éléments à prendre en compte pour analyse cogénération	Choix cogénération	Positif	2	12/04/13
35	Constatation	CCTP réseau de chaleur spécifique pour un type de tuyau (EPOCAL)	Analyse CCTP	Négatif	2	15/04/13
36	Demande	Offre pour réseau de chaleur avec tuyau acier	Suite analyse CCTP	Positif	2	15/04/13
37	Demande	Etudier solution de moteur phase 1 et ensuite complément phase 2	Préparation réunion SBN	Positif	2	16/04/13
38	Constatation	Conception SBN très en retard	Réunion SBN	Négatif	2	18/04/13
39	Décision	Eviter structure lourde pour Unité de Traitement d'Air	Réunion SBN	Positif	2	18/04/13
40	Décision	Retirer l'Unité de Contrôle du bâtiment Réception (stockage de fumier)	Réunion SBN	Positif	2	18/04/13
41	Retour	Tensions dans le sol causées par le digesteur	Réunion SBN	Positif	2	18/04/13
42	Action	Insistance avec SBN pour avoir des données pour choisir le moteur	Réunion SBN	Positif	2	18/04/13
43	Constatation	Non optimisation des besoins chaleur piscine	Réunion sur chantier LFSA	Négatif	2	19/04/13
44	Constatation	Pompe pour le réseau de chaleur n'était pas prévu en aucun marché	Réunion sur chantier LFSA	Négatif	2	19/04/13
45	Demande	Mise en accordancce des offres du réseau de chaleur	Suite réunion sur chantier LFSA	Positif	2	20/04/13
46	Constatation	Indéfinition sur qui prend la pompe en charge	Suite réunion sur chantier LFSA	Négatif	2	20/04/13
47	Retour	Bonnes réponses des concessionnaires sur travaux du réseau de chaleur	DICT réseau de chaleur	Positif	2	20/04/13
48	Constatation	Bureau de sols en difficulté d'interprétation de note de calcul de tensions	Suite retour SBN sur tensions dans le sol	Négatif	3	22/04/13
49	Information	Teneur en matière sèche des digestats doit être entre 50 et 60 %	Discussion avec distributeur digestats	Négatif	1	25/04/13
50	Information	Stockage du digestat solide de 3 mois	Discussion avec distributeur digestats	Négatif	1	25/04/13
51	Constatation	Besoin de plan d'épandage du digestat liquide	Suite échanges distributeurs digestats	Négatif	1	25/04/13
52	Retour	Réception totalité des offres du réseau de chaleur	Réseau de chaleur	Positif	2	26/04/13
53	Action	Etude capacité de stockage des intrants et sortants	Analyse plans	Positif	1	29/04/13

#	Type	Événement	Contexte	Classification	Importance	Jour
54	Action	Etude besoin stockage digestat liquide	Capacités de stockage	Positif	2	29/04/13
55	Retour	Réponses concernant l'ICPE Enregistrement	Suite demande des précisions ICPE enregistr.	Positif	1	30/04/13
56	Décision	Capacité de stockage d'intrants d'une semaine (pas basé sur l'exploitation)	Suite étude capacités de stockage	Négatif	2	02/05/13
57	Décision	Choix de l'entreprise qui réalisera le réseau de chaleur	Suite analyse des offres réseau de chaleur	Positif	1	02/05/13
58	Demande	Adéquation de l'entreprise réseau de chaleur à certaines conditions	Réseau de chaleur	Positif	2	02/05/13
59	Demande	Ajout d'une aire de stockage de fumier à l'intérieur du bâtiment réception	Suite décision sur capacités de stockage	Positif	1	03/05/13
60	Constatation	Division tâches maintenance bien faite	Analyse précontrat de maintenance	Positif	3	06/05/13
61	Constatation	Production électrique contrat pas atteignable (temps opération cogé)	Analyse BP et contrat	Négatif	1	12/05/13
62	Constatation	SBN a vendu l'Unité de Métha comme si la cogé récupérait tout le biogaz	Analyse BP et contrat	Négatif	1	12/05/13
63	Demande	A SBN: consommation d'électricité process	Demande de raccordement au réseau	Positif	2	13/05/13
64	Constatation	Peu de détails concernant les charges et supports sur les plans de SBN	Analyse documents offre détaillée SBN	Négatif	2	15/05/13
65	Constatation	Pas de détail sur les formes des caniveaux d'air	Analyse documents offre détaillée SBN	Négatif	2	15/05/13
66	Action	Préparation de tableau pour analyse des moteurs basé sur données	Choix cogénération	Positif	1	15/05/13
67	Information	Chaudière est mixte gaz de ville et biogaz	Réunion SBN	Positif	2	17/05/13
68	Information	SBN: pas de compteur de calorie dans l'échangeur de chaleur	Suite à discussion valorisation énergétique	Négatif	2	18/05/13
69	Demande	A SBN: étudier nouvelle position pour torchère - éviter longues tranchées	Réunion SBN	Positif	2	24/05/13
70	Constatation	Indéfinition sur nécessité de préparateur d'intrants	Echange avec SBN	Négatif	2	28/05/13
71	Constatation	Calcul incorrect de capacité maximale de biogaz pour les cogénérations	Echange SBN	Négatif	2	30/05/13
72	Constatation	SBN facture 15% sur les tâches de maintenance sans rien faire	Echange avec investisseurs	Négatif	1	30/05/13
73	Demande	A la mairie: accord sur les plans du cheminement du réseau de chaleur	Finalisation conception réseau de chaleur	Positif	2	07/06/13
74	Demande	Etudier positionner l'Unité de Contrôle à côté du bureau	Réunion SBN	Positif	2	10/06/13
75	Information	Moteur de l'offre initiale ne respecte pas limites d'émissions polluantes	Réunion SBN	Négatif	1	10/06/13
76	Information	Unité de traitement d'air coûte 80 k€ en plus	Réunion SBN	Négatif	1	10/06/13
77	Décision	Acceptation coût supplémentaire fondations (30k€) sans explication	Réunion SBN	Négatif	1	10/06/13
78	Décision	Acceptation mise d'une torchère seulement pour phase 1	Réunion SBN	Négatif	2	10/06/13

## Sénart :

#	Type	Événement	Contexte	Classification	Importance	Jour
1	Action	PC dépose	Avant que j'arrive	Positif	1	Antérieur
2	Action	Déclaration ICPE dépose sur autre commune	Avant que j'arrive	Positif	1	Antérieur
3	Décision	Changement de commune sur autre commune	Avant que j'arrive	Négatif	1	Antérieur
4	Décision	Modification de technologie => cogé au lieu d'injection	Avant que j'arrive	Positif	1	Antérieur
5	Décision	Retirer références à chaudière du dossier ICPE	Demande premiers jours	Négatif	3	11/03/13
6	Demande	Plan - ajuster surface de séchage et voirie	Demande premiers jours	Positif	3	14/03/13
7	Retour	Modifications sur les plans faites	Suite demande faite (cogé, voirie, etc)	Positif	2	04/04/13
8	Demande	Nouvelle modifi sur plan - bouger cogé et transfo, ajuster surface bâtiments	Point interne	Négatif	3	09/04/13
9	Décision	Augmentation surface enrobe	Réunion avec l'Archi	Négatif	2	09/04/13
10	Action	Travail de mise à jour du dossier ICPE selon modifis et commentaires	Travail en interne	Positif	2	10/04/13
11	Demande	Vérification dossier ICPE par Impact et Environnement	Finalisation dossier ICPE	Positif	2	10/04/13
12	Information	Logiciel ne vérifie pas les manœuvres en marche en arrière	Demande vérification manœuvres	Négatif	2	15/04/13
13	Constatation	Surface de voirie a augmenté	Analyse nouveau plan	Négatif	2	29/04/13
14	Retour	Plans finalisés par l'Archi	Préparation PC	Positif	2	29/04/13
15	Action	Révision des documents pour dépôt PC	Préparation PC	Positif	3	29/04/13
16	Action	Envoie des plans PC pour commentaires préliminaires de l'EPA Sénart	Préparation PC	Positif	1	30/04/13
17	Retour	Plusieurs commentaires de l'EPA Sénart sur les plans	Préparation PC	Négatif	2	07/05/13
18	Demande	Création de nouveaux plans pour dossier ICPE	Finalisation dossier ICPE	Positif	2	15/05/13
19	Action	Finalisation du dossier ICPE avec Impact et Environnement	Finalisation dossier ICPE	Positif	2	16/05/13
20	Action	Mise à jour des plans du PC	Préparation PC	Positif	2	22/05/13
21	Action	Présentation des plans et projet à la mairie de Lieusaint	Préparation PC	Positif	2	23/05/13
22	Retour	Nouveaux commentaires à prendre en compte sur les plans	Préparation PC	Négatif	2	23/05/13
23	Constatation	On n'a pas les 1250 m3 de rétention d'eau	Préparation PC	Négatif	2	04/06/13
24	Action	Dépôt PC sur nouvelle parcelle	Dépôt PC	Positif	1	06/06/13
25	Action	Dépôt dossier ICPE	Dépôt dossier ICPE	Positif	1	13/06/13

## 2.2.2. Suivi du planning

A partir du planning prévisionnel des projets et, en utilisant la liste des tâches à réaliser, le suivi de l'effectivement réalisé, j'ai pu faire une double analyse :

- Vérification de comme quelques événements qui se sont passés dans un instant déterminé impactent l'ensemble. Cette analyse des événements comme partie d'un planning permettra de comprendre les tâches qui sont sur le chemin critique d'un projet, impactant donc leur durée total. L'appréciation des événements quant à leur importance pour le planning vient compléter l'analyse de leur importance intrinsèque. En prenant en compte ces deux aspects, dans la suite du texte, je pourrai bien choisir les événements les plus importants et donc les thèmes à étudier.
- Comprendre les enjeux des projets en ce qui concerne leurs plannings. Sur la base du planifié et du vécu, j'aurai une bonne base pour préparer un planning mieux ajusté à l'activité de promotion des Unités de Méthanisation.

En pratique, le suivi du planning de La Ferté a été réalisé toutes les deux semaines de mon stage TFE. Sur la base du planning précédent (en commençant par le planning tel qu'il était quand j'ai commencé mon stage TFE) je mettais à jour le planning suite aux événements qui s'étaient passé dans les deux semaines d'intervalle. Quand je modifiais le planning, je notais la raison du changement.

Sur Sénart, je n'ai pas réalisé cette activité de suivi du planning, principalement parce que les procédures administratives sont bien avancées par rapport aux dates envisagés pour commencement de travaux.

Sur les prochaines pages, je présenterai trois plannings, avec principales explications justifiant les modifications :

- Le planning initial ;
- Le planning mis à jour le 26 Avril 2013 ;
- Le planning correspondant à la dernière mise à jour.

Table 4 - Planning initial

Planning Initial																	
Tâches	Mar-13	Apr-13	May-13	Jun-13	Jul-13	Aug-13	Sep-13	Oct-13	Nov-13	Dec-13	Jan-14	Feb-14	Mar-14	Apr-14	May-14	Jun-14	Jul-14
Acquisition terrain																	
PC et ICPE obtenu	★																
Signature Contrat CPI		★															
Etudes DCE				Etudes DCE													
Déclaration Ouverture Chantier					★												
Installations de Chantier						Installations											
Plateforme et terrassement							Plateforme/Terrassement										
Gros œuvre et Réseaux enterrés								Gros œuvre et réseaux									
Superstructure bâtiments											Construction bâtiments						
Début Construction Digesteur								★									
Digesteur béton										Construction Digesteur							
Installation des équipements techniques											Installations équipements techniques						
Livraison Moteur												★					
Raccordements électriques													Raccordement Elect.				
Fin travaux VRD et Espaces Verts													Vrd et Espaces verts				
Réseau de chaleur									Construction réseau chaleur								
Fourniture de chaleur au centre aqualudique															Fourniture Chaleur au centre aqualudique		
Réception de travaux et Livraison technique													★				
Montée en puissance														Montée en puissance et Validation UMPFO			
Livraison définitive																★	
Levée des réserves														Levée des réserves			
Fin levée des réserves															★		

Table 5 - Planning intermédiaire

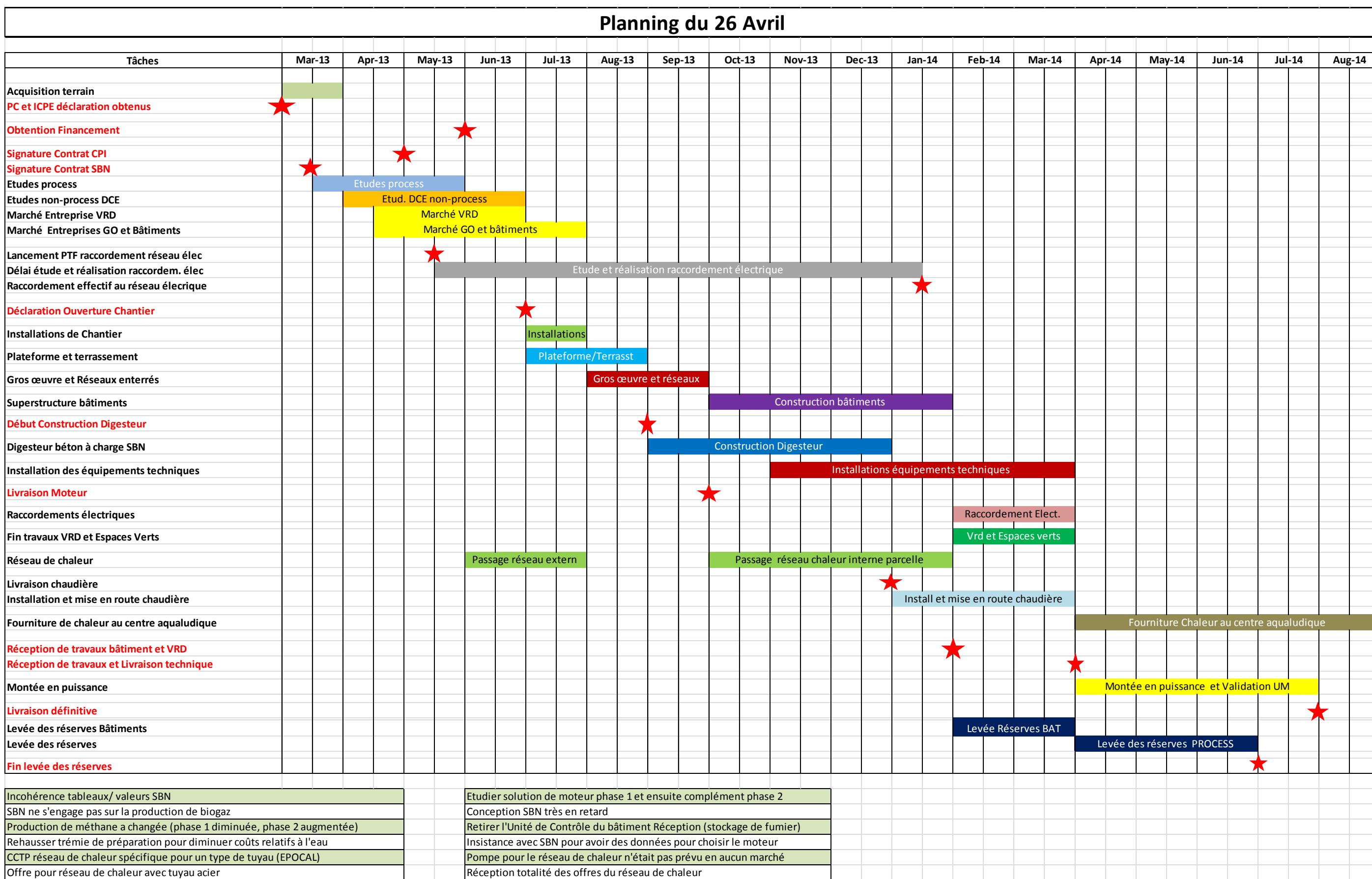


Table 6 - Planning final

Planning Final																										
Tâches	Mar-13	Apr-13	May-13	Jun-13	Jul-13	Aug-13	Sep-13	Oct-13	Nov-13	Dec-13	Jan-14	Feb-14	Mar-14	Apr-14	May-14	Jun-14	Jul-14	Aug-14	Sep-14							
Acquisition terrain																										
PC et ICPE déclaration obtenus	★																									
Obtention Financement					★																					
Signature Contrat CPI			★																							
Signature Contrat SBN																										
Etudes process																										
Etudes non-process DCE																										
Marché Entreprise VRD																										
Marché Entreprises GO et Bâtiments																										
Lancement PTF raccordement réseau élec					★																					
Délai étude et réalisation raccordem. élec																										
Raccordement effectif au réseau électrique																			★							
Déclaration Ouverture Chantier																										
Installations de Chantier																										
Plateforme et terrassement																										
Gros œuvre et Réseaux enterrés																										
Superstructure bâtiments																										
Début Construction Digesteur																										
Digesteur béton à charge SBN																										
Installation des équipements techniques																										
Livraison Moteur																										
Raccordements électriques																										
Fin travaux VRD et Espaces Verts																										
Réseau de chaleur																										
Livraison chaudière																										
Installation et mise en route chaudière																										
Fourniture de chaleur au centre aqua ludique																										
Réception de travaux bâtiment et VRD																										
Réception de travaux et Livraison technique																										
Montée en puissance																										
Livraison définitive																										
Levée des réserves Bâtiments																										
Levée des réserves																										
Fin levée des réserves																										
Ajout d'une aire de stockage de fumier à l'intérieur du bâtiment réception																										
Production électrique contrat pas atteignable (temps opération cogé)																										
SBN a vendu l'Unité de Métha comme si la cogé récupérait tout le biogaz																										
Chaudière est mixte gaz de ville et biogaz																										
A la mairie: accordance sur les plans du cheminement du réseau de chaleur																										
Moteur de l'offre initiale ne respecte pas limites d'émissions polluants																										

### 2.2.3. Choix des thèmes à étudier

Comme indiqué, je choisirai les thèmes à étudier dans la suite de ce mémoire sur la base des événements significatifs analysés ci-avant. Ceux-ci ont été examinés selon deux critères principaux : importance intrinsèque et importance selon influence dans le planning.

De plus, il faut préciser que j'élégirai les événements sur lesquels j'ai travaillé directement et j'avais une complète connaissance des activités de l'entreprise. Même si d'autres événements étaient plus importants pour l'évolution des projets, je préférerai rester sur ce que j'ai expérimenté pour bien fonder mes réflexions. Ainsi, je pourrai rechercher les racines des événements négatifs avec une vision plus complète de la solution et donc plus efficace. Cela se concrétisant, mes propositions de solutions seront plus pertinentes.

Ci-après la liste des thèmes que j'analyserai en détail dans la suite du mémoire :

- Production méthane ;
- Stockages ;
- Choix cogénération.

Lors du traitement de chaque un de ces trois thèmes, je justifierai comme ils rentraient dans le cadre que je me suis proposé pour faire le choix : importance intrinsèque, par rapport au planning et connaissance personnelle.

J'aurais pu traiter d'autres thèmes, de très haut intérêt pour les projets, notamment la valorisation des digestats, l'obtention de financement et le choix des intrants. Néanmoins, dans le cadre proposé, d'avoir une connaissance très claire sur ce que l'entreprise fait sur le thème, ils n'étaient pas des bons choix. Voici les raisons pour chaque un des thèmes :

- Valorisation des digestats

Ce thème a une très haute importance intrinsèque vu que les digestats sont normalement considérés comme déchets. Néanmoins grâce à un assouplissement que se vérifie dans la législation française, d'après deux des investisseurs, il sera possible de les homologuer et les vendre.

La fraction solide est, dans une certaine mesure, facilement commercialisable. Toutefois, la fraction liquide en est beaucoup moins. Sa destination finale est donc une des importantes questions à résoudre pour assurer le succès du projet.

On a déjà dit que le digestat liquide servirait dans sa totalité pour arroser le digestat solide et serait ensuite séché (ce qui était prévu sur le contrat avec SBN). Ou alors que le digestat liquide serait vendu tout simplement à des distributeurs. Le but était d'éviter le plan d'épandage, procédure engendrant un coût selon laquelle on épand le digestat liquide sur les terres d'agriculteurs.

Néanmoins, vu qu'on n'a pas d'énergie suffisante pour sécher la quantité de digestat liquide qu'on produit et que les distributeurs ne sont intéressés sur cette fraction du digestat, on est maintenant sur un scénario qui me semble plus vraisemblable : on valorise en séchant autant qu'on peut et le restant on stocke pour ensuite réaliser le plan d'épandage.

Même si je souhaiterais traiter ce thème dans plus de détail, vu que j'ai très peu travaillé sur les conditions pour l'homologation envisagée et sur les contacts avec les distributeurs, je n'ai pas donc une vision complète des enjeux. De ce fait, je crois que des réflexions plus approfondies pour suggérer des possibles solutions seraient infructueuses.

- Obtention du financement

Même si le thème du financement est essentiel pour la vie du projet et, dans le cas de La Ferté, a causé des retards importants dans le commencement des travaux, je n'ai pas vécu les relations avec la banque. Certes, des moyens doivent être mis en place sur les prochains projets pour accélérer et sécuriser ce processus. Néanmoins, je ne suis pas en position de proposer ces optimisations.

- Choix des intrants

Le bon choix des intrants est essentiel pour profiter au maximum des installations et produire un maximum de biogaz et, donc, un maximum d'électricité et de chaleur. De plus, la qualité des digestats en dépend.

De ce fait, il serait extrêmement intéressant de créer une méthodologie pour l'évaluation des intrants en fonction de leur potentiel méthanogène, prix, volume de stockage nécessaire, entre autres paramètres. Cet outil se montrerait de grande valeur lors des négociations d'achat d'intrants et des arbitrages entre différents possibilités.

Pourtant, l'entreprise a commencé à penser au sujet il y a peu de temps, ce qui ne m'a pas permis d'étudier des solutions.

On voit bien que les projets des Unités de Méthanisation m'ont offert une variété de possibles bons thèmes possibles pour analyser dans le cadre du sujet de mon TFE. Il a fallu donc faire un arbitrage pour rester sur des thèmes concrets pour lesquels je pouvais apporter quelque chose d'utile.

## 2.3. Etude des thèmes choisis

Sur le présent chapitre je traiterai les trois thèmes choisis pour être étudiés, à savoir, production de méthane, stockages et choix de la cogénération.

Pour chaque thème, je commencerai par justifier les raisons de l'avoir choisi, en contextualisant le thème dans les projets d'Unités de Méthanisation et montrant son importance. De même, j'indiquerai les événements négatifs identifiés par rapport à chaque thème sur les projets auxquels j'ai participés.

Ensuite je recenserai les causes possibles derrière les événements mentionnés et je définirai au mieux la problématique à traiter. Sur ces bases, je suggérerai une ou plusieurs solutions capables de régler les dysfonctions vérifiées, au regard des prochains projets.

### 2.3.1. Production de méthane

#### 2.3.1.1. Contexte

Le méthane est le gaz de base de l'Unité de Méthanisation. Comme déjà indiqué, le brûlage de ce gaz est le processus qui dégage de l'énergie. Quand brûlé par une cogénération, le méthane fini par produire de l'énergie thermique et de l'énergie électrique.

Donc, la puissance électrique produite est, de façon approximée, directement proportionnelle au débit de méthane du digesteur. Sachant que, comme vu, la vente d'électricité seule répond par 72% du Chiffre d'Affaires (CA), il est très important d'optimiser au plus cette partie du système.

De plus, même la vente des digestats en est affectée, puisque la chaleur produite par la cogénération sert en partie à sécher les digestats, les rendant plus intéressants d'un point de vue commercial.

Toutefois, à La Ferté, les événements suivants se sont passés concernant ce sujet clé du projet :

- Constatation de que la production de méthane en phase 1 a diminuée ;  
10 jours après la signature du contrat, Fulton a reçu des nouveaux tableaux techniques du process. La production de méthane en phase 1 avait diminuée considérablement. En conséquence, comme indiqué, les puissances électrique et thermique produites baisseront, bien comme la quantité de digestat séché.

Paramètre énergétiques	Valeurs	Unités	Process aspects energy solid line
Production de méthane	1 539 665	Nm3/an	Bio gas 2.784.113 m <sup>3</sup>
Production de biogaz	2 957 110	Nm3/an	methane 50.5% 1.405.977 m <sup>3</sup>
Concentration en méthane	52,07%	%	
Énergie brute	15 304 269	kWh	kw h br 13.919 MW/y
Production électrique	5 693 183	kWh	kWh e 5.289 MW/y
Autoconsommation électrique	4,62%	%	kWh heat 7.656 MW/y
Puissance élec disponible	699	kW	Cogenerator 653 kW <sub>e</sub> /8100h
Production thermique	6 427 787	kWh	Efficien 38,0% 55,0%
Autoconsommation thermique	18,44%	%	
Puissance therm disponible	643	kW	

Figure 16 - Comparaison production de méthane selon contrat (à gauche) et note technique process du 24 mars (à droite)

- Constatation de que SBN ne s'engage pas sur la production de méthane : Nulle part sur les contrats EPC et de maintenance signés par SBN, il y a une garantie de production de méthane.  
SBN a une obligation de disponibilité horaire de l'Unité de Méthanisation (extrait contrat maintenance : « Le PRESTATAIRE a accepté de garantir au CLIENT une disponibilité technique annuelle du Système au moins égale à 8 100 heures »). Cette disponibilité horaire est objet de pénalités et primes.  
De plus, ils ont une obligation des moyens sur le fonctionnement de l'usine. C'est-à-dire, SBN doit mettre en œuvre tout le nécessaire pour atteindre performances du contrat (extrait contrat maintenance : « Le PRESTATAIRE met en œuvre les moyens en personnel et en matériels qu'il estime nécessaires à la réalisation des prestations »).  
Néanmoins, c'est très important de noter que SBN n'a pas une obligation de résultat. Donc, si l'usine tourne au moins 8100 heures, même si les productions de méthane sont très baisses pour des raisons quelconques, Fulton a peu de moyens de protection.
- Constatation de que SBN a vendu la cogénération comme si celle-ci reprenait tout le biogaz produit par le digesteur.  
La cogénération peut être opérée pendant environ 8000 heures par an (donc 91,3% du temps). Cette valeur est la garantie que la plus part des fournisseurs offre pour ces moteurs. Le restant du temps les moteurs sont en maintenance.  
D'autre part, le digesteur doit fonctionner en continu pendant toute l'année, soit 8760 heures. Le biogaz, produit à l'intérieur du digesteur est donc obtenu tout au long de l'année.  
Alors, comme la capacité de stockage de biogaz est d'environ 5 heures, si les périodes de maintenance excèdent cette limite, on va forcément brûler du biogaz (soit dans la chaudière, soit dans la torchère). Cette partie n'étant pas valorisée en cogénération, on ne produira pas de l'électricité.  
D'après SBN, les périodes de maintenance dite courte (moins que 5 heures) correspondent à environ 300 heures dans l'année. Il resterait donc environ 460 heures pendant lesquels le biogaz ne serait pas utilisé dans la cogénération. Ce gaspillage représente bien 5,3 % du total.  
Cela ne serait pas un problème si Fulton le savait dès le départ. Toutefois, SBN a présenté l'Unité de Méthanisation comme si tout le biogaz produit était valorisé par la cogénération. De ce fait, Fulton a utilisé cette mauvaise information sur toutes ses analyses financières.

### 2.3.1.2. Définition de la problématique et proposition des solutions

Cette problématique est due au fait que Fulton n'a pas pour le moment suffisamment d'expérience sur la méthanisation.

Puisque le contrat avec SBN a été le premier fait par Fulton pour une Unité de Méthanisation, l'entreprise n'a pas insisté sur un engagement de performance de la part de SBN.

De plus, on avait au début du projet une capacité très réduite d'évaluation critique des recettes des intrants et des productions de biogaz. Ainsi, on acceptait les données de SBN sans questionnement.

Pour modifier l'état actuel des choses, je propose deux solutions, lesquelles je détaillerai ci-après :

- Utilisation des tableaux d'analyse des recettes et productions annoncées par SBN

J'ai préparé des tableaux Excel pour :

- o Vérifier la consistance des données de SBN selon des analyses très simples ;
- o identifier les modifications faites entre les différentes recettes (ou versions de la même recette).

Ci-après un tableau typique fourni par SBN (plus spécifiquement un des tableaux du contrat), lequel j'ai utilisé comme base pour mon premier tableau d'analyse (vérification de consistance de données) :

Substrats	Masse (kg)	MS (kg)	MO (kg)	NKj (kg)	N-org (kg)	N-NH4 (kg)	P2O5 (kg)	K2O (kg)	H2O	Méthane (Nm3)
Déchets de légumes	2.000.000	340.000	306.000	10.200	9.180	1.020	12.410	15.300	1.660.000	119.126
Fumier équin pailleux	9.000.000	5.850.000	4.680.000	105.300	84.240	21.060	75.465	175.500	3.150.000	1.218.672
Eau	2.000.000	0	0	0	0	0	0	0	2.000.000	0
reflux liquide	8.000.000	1.480.000	701.520	105.524	13.535	91.989	56.832	185.000	6.520.000	37.882
reflux solide	6.000.000	1.860.000	881.640	74.958	14.536	60.422	71.424	117.552	4.140.000	163.985
Input sans eau ni reflux	11.000.000	6.190.000	4.986.000	115.500	93.420	22.080	87.875	190.800	4.810.000	1.337.798
Total input	27.000.000	9.530.000	6.569.160	295.982	121.492	174.490	216.131	493.352	17.470.000	1.539.665
Total output	23.012.332	5.628.860	2.668.020	295.982	48.677	247.305	216.131	493.352	17.383.472	
Digestat solide après reflux	7.550.959	1.798.759	852.573	97.413	17.104	80.309	69.061	163.194	5.752.200	
Digestat liquide après reflux	1.461.373	197.701	139.162	7.967	987	6.980	7.592	12.495	1.264.617	

Figure 17 - Recette du contrat en phase 1

Le premier ensemble de lignes (correspondant à « Déchets de légumes » et « Fumier équin pailleux ») sont les intrants du process, matières végétales avec potentiel méthanogène pour être digérés à l'intérieur du digesteur.

Le deuxième ensemble de lignes (« Eau », « Reflux liquide » et « Reflux solide ») correspond les autres matières qui seront ajoutées au processus. Les reflux liquide et solide sont les digestats après séparation de phase.

Le troisième ensemble de lignes (« Input sans eau ni reflux », « Total input » et « Total output ») représentent les matières à l'entrée et en sortie du digesteur. C'est sur cette phase qu'on peut vérifier le volume total de méthane produit.

Le dernier ensemble de lignes (« Digestat solide après reflux » et « Digestat liquide après reflux ») représentent le deux phases du digestat brut après le passage par le séparateur.

Pour vérifier la consistance des données de SBN, on peut procéder à des diverses vérifications comme par exemple :

- Comparer « Input sans eau ni reflux » avec la somme de tous les intrants (premier ensemble des lignes). Ces valeurs doivent être égaux ;
- Comparer « Total input » avec la somme de tous les intrants (premier ensemble des lignes) et tous les autres matières qui entreront dans le digesteur (deuxième ensemble des lignes). Ces valeur doivent être égaux ;
- Comparer « Total output » avec la somme des « digestat liquide après reflux », « digestat solide après reflux » (dernier ensemble des lignes), « reflux solide » et « reflux liquide » (partie du deuxième ensemble des lignes) ;
- Calculer les quantités par poids unitaire de Matière Sèche (MS), Matière Organique (MO) et ainsi de suite (c'est-à-dire, les ratios MS/M, MO/M, etc.) pour tous les flux ;
- Comparer les ratios MS/M, MO/M et ainsi de suite entre le « digestat liquide après reflux » et « reflux liquide ». Ces ratios doivent être égaux ;
- Idem digestat solide.

SBN fourni d'autres tableaux concernant les caractéristiques des matières à l'intérieur du digesteur, les caractéristiques des substrats et des productions énergétiques. Ce genre de vérification de consistance des données peut donc se faire entre les différents tableaux.

Paramètres du procédé	Valeurs	Unités
MS input	35,10%	%
MS output	24,46%	%
Charge organique	14,40	kg(MO)/m <sup>3</sup> de réacteur/jour
Charge organique digestible	7,39	kg(MOD)/m <sup>3</sup> de réacteur/jour
Concentration ammoniacale	6,46	g/L
Temps de séjour thermophile	16,90	jours
MS digestat solide	27,00%	%
Facteur de séparation	65,00%	%

Figure 18 - Paramètres de la digestion du contrat en phase 1

Même s'il peut sembler une perte de temps de vérifier les calculs des experts dans le process de méthanisation, on y trouve des graves erreurs. Ces erreurs deviennent problématiques lorsque les résultats réels sont moins intéressants que les annoncés auparavant et que les mauvaises valeurs ont été prises pour les analyses financières.

Sur la page suivante vous trouverez l'analyse expliquée ci-avant pour les tableaux du contrat en phase 1 :

Table III - Bilan matière prévisionnel

Substrats	Masse kg	MS kg	MO kg	NKj kg	N-org kg	N-NH4 kg	P2O5 kg	K2O kg	H2O kg	Méthane Nm3
Déchets de légumes	2 000 000	340 000	306 000	10 200	9 180	1 020	12 410	15 300	1 660 000	119 126
Fumier équin pailleux	9 000 000	5 850 000	4 680 000	105 300	84 240	21 060	75 465	175 500	3 150 000	1 218 672
Eau	2 000 000	0	0	0	0	0	0	0	2 000 000	0
Reflux liquide	8 000 000	1 480 000	701 520	105 524	13 535	91 989	56 832	185 000	6 520 000	37 882
Reflux solide	6 000 000	1 860 000	881 640	74 958	14 536	60 422	71 424	117 552	4 140 000	163 985
Input sans eau ni reflux	11 000 000	6 190 000	4 986 000	115 500	93 420	22 080	87 875	190 800	4 810 000	1 337 798
Total input	27 000 000	9 530 000	6 569 160	295 982	121 492	174 490	216 131	493 352	17 470 000	1 539 665
Total output	23 012 332	5 628 860	2 668 020	295 982	48 677	247 305	216 131	493 352	17 383 472	
Digestat solide après reflux	7 550 959	1 798 759	852 573	97 413	17 104	80 309	69 061	163 194	5 752 200	
Digestat liquide après reflux	1 461 373	197 701	139 162	7 967	987	6 980	7 592	12 495	1 264 617	
Reflux liquide / Masse	1,000	0,185	0,088	0,013	0,002	0,011	0,007	0,023	0,815	0,005
Digestat liquide / Masse	1,000	0,135	0,095	0,005	0,001	0,005	0,005	0,009	0,865	0,000
Différence	0,000	0,050	-0,008	0,008	0,001	0,007	0,002	0,015	-0,050	0,005
Reflux solide / Masse	1,000	0,310	0,147	0,012	0,002	0,010	0,012	0,020	0,690	0,027
Digestat solide / Masse	1,000	0,238	0,113	0,013	0,002	0,011	0,009	0,022	0,762	0,000
Différence	0,000	0,072	0,034	0,000	0,000	-0,001	0,003	-0,002	-0,072	0,027
Somme intrants	11 000 000	6 190 000	4 986 000	115 500	93 420	22 080	87 875	190 800	4 810 000	1 337 798
Input sans eau ni reflux	11 000 000	6 190 000	4 986 000	115 500	93 420	22 080	87 875	190 800	4 810 000	1 337 798
Différence	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Somme total input	27 000 000	9 530 000	6 569 160	295 982	121 491	174 491	216 131	493 352	17 470 000	1 539 665
Total input	27 000 000	9 530 000	6 569 160	295 982	121 492	174 490	216 131	493 352	17 470 000	1 539 665
Différence	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
Somme total output	23 012 332	5 336 460	2 574 895	285 862	46 162	239 700	204 909	478 241	17 676 817	201 867
Total input	23 012 332	5 628 860	2 668 020	295 982	48 677	247 305	216 131	493 352	17 383 472	0
Différence	0	-292 400	-93 125	-10 120	-2 515	-7 605	-11 222	-15 111	293 345	201 867

Table V - Param. du syst. de digestion

Paramètres du procédé	Valeurs	Unités
MS input	35,10 %	
MS output	24,46 %	
Charge organique	14,40 kg(MO)/m3/ jour	
Charge organique digestible	7,39 kg(MOD)/m3/ jour	
Concentration ammoniacale	6,46 g/l	
Temps de séjour thermophile	16,90 jours	
MS digestat solide	27,00 %	
Facteur de séparation	65,00 %	

Table VII - Bilan én. prévisionnel

Paramètres énergétiques	Valeurs	Unités
Production de méthane	1 539 665 Nm3/an	
Production de biogaz	2 957 110 Nm3/an	
Concentration en méthane	52,07 %	
Energie brute	15 304 269 kWh	
Production électrique	5 693 183 kWh	
Autoconsommation électrique	4,62 %	
Puissance élec disponible	699 kW	
Production thermique	6 427 787 kWh	
Autoconsommation thermique	18,44 %	
Puissance therm disponible	643 kW	
Méthane (bilan matière)	1 539 665 Nm3/an	
Méthane (bilan énerg)	1 539 665 Nm3/an	
Différence	0,00	
Potentiel energ meth	9,94 kWh/Nm3	
Rendement électrique	37,2 %	
Heures de fonction. cogé	8150 h/an	
Volume digesteur	1250 m3	
Ch. organique (bilan matière)	14,40 kg(MO)/m3/ jour	
Ch. organique (par digest)	14,40 kg(MO)/m3/ jour	
Différence	0,00 kg(MO)/m3/ jour	
Autocono électrique	263 025 kWh/an	
Rendement thermique	42,0 %	
Puis. therm totale	789 kW	
Puis. therm dispo (calculée)	643 kW	
Puis. therm dispo (bilan en)	643 kW	
Différence	0	
Autocono thermique	1 185 284 kWh/an	

Figure 19 - Vérification consistance des données (contrat, phase 1)

Veuillez noter que :

- Les caractéristiques du « reflux solide » ne correspondent pas à celles du « digestat solide après reflux » ;
- Idem pour « reflux liquide » et « digestat liquide après reflux » ;
- Donc la somme des digestats liquide et solide avec les reflux liquide et solide ne correspond pas au « Total output » ;
- Les teneurs en matière sèche ne sont pas cohérentes entre les différents tableaux ;
- Suite à l'analyse, on vérifie que SBN a pris l'hypothèse de que la cogénération fonctionne 8150 heures, sachant qu'ils nous ont annoncé 8100 heures.

Substrats	M/M	MS/M	MO/M	NKj/M	N-org/M	N-NH4/M	P2O5/M	K2O/M	H2O/M	Méthane Nm3/kg		Coût unit €/t
Fumier équin pailleux (ancien)	1,000	0,650	0,520	1,17E-02	9,36E-03	2,34E-03	8,39E-03	1,95E-02	0,350	0,135		18,00 €
Fumier équin pailleux (nouveau)	1,000	0,550	0,496	7,10E-03	6,39E-03	7,03E-04	1,27E-03	1,58E-02	0,450	0,129		18,00 €
Fumier équin lourd (ancien)	1,000	0,450	0,360	8,10E-03	6,48E-03	1,62E-03	5,81E-03	1,35E-02	0,550	0,098		8,50 €
Fumier équin lourd (nouveau)	1,000	0,350	0,315	4,52E-03	4,07E-03	4,47E-04	8,05E-04	1,01E-02	0,650	0,082		8,50 €
Déchets de légumes	1,000	0,170	0,153	5,10E-03	4,59E-03	5,10E-04	6,21E-03	7,65E-03	0,830	0,060		0,00 €
Semences déclassées	1,000	0,850	0,799	8,50E-03	7,99E-03	5,10E-04	4,25E-03	1,19E-02	0,150	0,314		0,00 €
Issues de silos	1,000	0,850	0,799	8,50E-03	7,99E-03	5,10E-04	4,25E-03	1,19E-02	0,150	0,314		30,00 €
Déchets verts	1,000	0,170	0,153	4,76E-03	4,28E-03	4,76E-04	1,56E-03	6,72E-03	0,830	0,051		0,00 €
Paille	1,000	0,850	0,765	6,04E-03	5,43E-03	6,03E-04	9,35E-04	1,49E-02	0,150	0,207		45,00 €
Menues paille	1,000	0,850	0,779	6,63E-03	6,08E-03	5,50E-04	1,62E-03	1,84E-02	0,150	0,299		35,00 €
Foin	1,000	0,750	0,675	2,10E-02	1,89E-02	2,10E-03	6,87E-03	2,96E-02	0,250	0,223		15,00 €
Herbe	1,000	0,150	0,135	4,20E-03	3,78E-03	4,20E-04	1,37E-03	5,93E-03	0,850	0,045		0,00 €
Marc de raisin	1,000	0,419	0,354	7,00E-03	5,91E-03	1,08E-03	1,22E-03	3,98E-03	0,581	0,057		8,50 €

Figure 20 - Bibliothèque des caractéristiques des intrants avec prix unitaire

Données à rentrer

Table III - Bilan matière prévisionnel

Substrats	Masse kg	MS kg	MO kg	NKj kg	N-org kg	N-NH4 kg	P2O5 kg	K2O kg	H2O kg	Méthane Nm3	Coût unit €/t	Coût total €
Fumier équin pailleux (ancien)	9 000 000	5 850 000	4 680 000	105 300	84 240	21 060	75 465	175 500	3 150 000	1 218 672	18,00 €	162 000,00 €
Fumier équin pailleux (nouveau)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18,00 €	0,00 €
Fumier équin lourd (ancien)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,50 €	0,00 €
Fumier équin lourd (nouveau)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,50 €	0,00 €
Déchets de légumes	2 000 000	340 000	306 000	10 200	9 180	1 020	12 410	15 300	1 660 000	119 126	0,00 €	0,00 €
Semences déclassées	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00 €	0,00 €
Issues de silos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30,00 €	0,00 €
Déchets verts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00 €	0,00 €
Paille	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45,00 €	0,00 €
Menues paille	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35,00 €	0,00 €
Foin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,00 €	0,00 €
Herbe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00 €	0,00 €
Marc de raisin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,50 €	0,00 €
Eau	4 000 000	40 000	32 000	800	656	144	400	800	3 960 000	15 200	Total	162 000,00 €
Reflux liquide	5 000 000	844 707	490 546	45 982	18 393	27 589	25 795	90 782	4 155 293	52 979		
Input sans eau ni reflux	11 000 000	6 190 000	4 986 000	115 500	93 420	22 080	87 875	190 800	4 810 000	1 337 798		
Total input	20 000 000	7 074 707	5 508 546	162 282	112 469	49 813	114 070	282 382	12 925 293	1 405 977		
Total output	11 660 741	2 890 736	1 678 737	116 300	46 520	69 780	88 275	191 600	8 770 005			
Digestat solide après reflux	7 025 521	2 107 656	1 223 979	73 673	36 626	37 047	64 362	107 442	4 917 865			
Digestat liquide après reflux	4 635 220	783 080	454 758	42 627	9 894	32 733	23 913	84 158	3 852 140			

Figure 21 - Tableau pour identification des modifications des paramètres (note technique du 25 mars, phase 1) - intention de l'utiliser dans le futur pour choix des intrants avec valorisation financière

Encore sur les tableaux d'analyse, j'en ai préparé un avec la fonction d'identifier les éventuelles modifications des paramètres entre les différentes recettes (cf. page ci-avant).

Il s'est déjà passé que, entre deux recettes, SBN ait changé des paramètres de base pour un même intrant, notamment le potentiel méthanogène. Afin de se rendre compte de ce type de modification et pouvoir réagir pour bien comprendre les enjeux, j'ai préparé un tableau pour, avec comme données d'entrées les quantités d'intrants, définir tous les autres paramètres avant le processus de digestion, lequel je ne maîtrise pas. Cela sera fait en utilisant une bibliothèque avec les caractéristiques des intrants.

De plus, ce tableau devient encore plus intéressant s'on veut travailler sur le choix des intrants. Avec des améliorations que j'ai commencé à implémenter sur ces tableaux, on veut pouvoir jouer avec différentes quantités d'intrants et chercher l'optimisation de la recette.

Cela changerait d'une part les relations avec SBN concernant les recettes, vu que Fulton pourrait donner son avis et proposer des modifications sur des bases concrètes et mesurables, et, d'autre part, la dynamique de compréhension des projets, vu qu'on ne serait pas contraint à une recette spécifique, mais on chercherait en continu des optimisations.

Même si l'intention initiale était de vérifier tout simplement les productions de méthane, la simplicité de l'analyse a fait que j'aie voulu l'utiliser pour d'autres paramètres. C'est aussi grâce à ce travail que les principes d'une analyse pour choix des intrants sont déjà prêts.

- Moyen contractuel pour stimuler l'optimisation de la production de méthane

Ce qu'on observe sur le dossier de La Ferté concernant l'absence d'obligation contractuelle de production énergétique de la part de SBN est très risqué pour Fulton.

Je crois d'ailleurs que cette faille dans le contrat est une principales raisons derrière le peu d'activité montré par SBN quand confronté au fait que les productions de méthane ne sont pas en accordance avec le vendu dans le contrat.

Prévoir de pénalités importantes en cas de mauvaise performance énergétique est la solution plus évidente. Néanmoins, encore plus intéressant serait un système similaire au de la disponibilité horaire de fonctionnement de l'installation, avec des pénalités quand nécessaire, mais aussi avec des primes quand la performance est plus importante que celle prévu.

La logique de donner des primes conséquentes en fonction de la production électrique peut engendrer un vrai intérêt, vu que SBN aurait un stimule supplémentaire pour optimiser l'installation.

## 2.3.2. Stockages

### 2.3.2.1. Contexte

Les surfaces, bien comme les caractéristiques requises pour les zones de stockage d'intrants et de sortants sont une des premières questions à répondre pour pouvoir disposer les bâtiments dans le terrain d'une Unité de Méthanisation.

Ces zones de stockage peuvent engendrer des contraintes très importantes pour l'exploitation du site, à savoir : les types d'intrants qu'on peut recevoir, les coûts d'achat d'intrants, les prix de vente des digestats, des éventuels coûts supplémentaires pour évacuation des digestats si on est ne peut pas le garder, etc.

D'ailleurs, vu que l'exploitation d'une Unité de Méthanisation se fait journellement sur plusieurs années, Fulton a tout intérêt à bien réfléchir sur la question de façon à simplifier l'opération et la maintenance de l'usine, puisque sa productivité et son résultat financiers y dépendent.

Toutefois, les coûts initiaux des zones de stockage sont des chiffres importants et il n'existe pas d'intérêt en stocker des quantités monstrueuses sans besoin réel.

Dans une certaine mesure, ces coûts initiaux peuvent être remplacés par des contrats mieux négociés pour que les livraisons/ récupérations soient les plus fréquentes possibles, par une gestion d'intrants optimisée et même par une recette pensée sur cette logique. Il faut néanmoins éviter la tentation d'affirmer qu'on fonctionnera en parfait flux tendu et donc qu'on n'aura pas besoin de stockage.

Le thème des stockages exige donc beaucoup de réflexion pour minimiser les coûts initiaux, tout en permettant une bonne gestion des intrants et des sortants. C'est donc une question de trouver le juste milieu qui donne le résultat le plus intéressant.

Lors de mon travail sur les Unités de Méthanisation, j'ai vécu les situations décrites ci-après :

- Etude de la capacité de stockage des intrants et sortants pour les dossiers de La Ferté et Sénart

J'ai eu l'initiative d'étudier les capacités de stockage de l'Unité de Méthanisation de La Ferté parce que le terrain a une surface très réduite et, vue d'œil, on ne prévoyait pas des capacités élevées. De plus, je n'avais retrouvé nulle part une note de calcul justifiant les capacités de stockage prévues.

J'ai donc préparé un tableau pour estimer les temps de stockage qu'on avait sur notre installation. Le voici :

	densité t/m <sup>3</sup>	Phase 1				Phase 2			
		Poids annuel t	Volume annuel m <sup>3</sup>	Capacité stockage m <sup>3</sup>	Temps stockage jours	Poids annuel t	Volume annuel m <sup>3</sup>	Capacité stockage m <sup>3</sup>	Temps stockage jours
Fumier équin pailleux	0,70	9 000	12 857	750	20	8 500	12 143	750	21
Déchets de légumes	0,55	2 000	3 636	0	0	3 500	6 364	0	0
Foin	0,13					600	4 615	150	11
Paille	0,13					650	5 000	160	11
Menue paille	0,13					1 200	9 231	290	11
Marc de raisin	0,64					250	391	0	0
Herbe	0,60					3 500	5 833	0	0
Digestat solide	0,7	7 026	10 036	525	18	6 314	9 020	525	20
Digestat liquide	1	4 635	4 635	150	11	7 548	7 548	150	7

Figure 22 - Capacités de stockage de La Ferté

Tel que c'était prévu, on n'avait pas de stockage prévu pour quelques intrants et, pour d'autres cas, des capacités de stockage très basses. Spécifiquement pour le digestat liquide, vus son statut de déchet et la difficulté de trouver une destination pour lui, le temps de stockage de 7 jours en phase 2 était très préoccupant.

- Ajout d'une aire de stockage de fumier de cheval à l'intérieur du bâtiment Réception à La Ferté

En traitant la problématique des stockages et suite à une visite à une Unité de Méthanisation en opération, on a décidé de ne pas stocker le fumier de cheval à l'air libre, spécialement à cause des odeurs qui pourraient gêner les voisins.

La solution envisagée a été de créer une zone de stockage à l'intérieur du bâtiment de Réception, ce qui aurait comme résultat positif supplémentaire le fait de réduire la distance entre la trémie et le principal intrant du process.

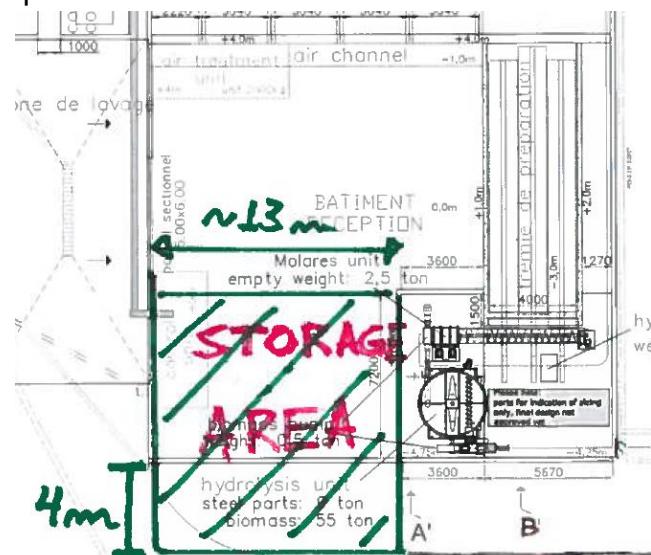


Figure 23 - Demande faite à SBN d'ajouter une aire de stockage

- Demande de la part du distributeur du digestat solide de prévoir une capacité de stockage de trois mois

Lors d'une réunion avec le distributeur de digestat solide, celui-ci a demandé qu'on prévoie une capacité de stockage équivalente à trois mois, ce qui est très contraignant.

Encore d'après lui, le prix d'achat du digestat solide est variable selon les différents mois de l'année, étant d'une certaine valeur pendant les trois mois d'été et égal à environ 80% de cette valeur pendant le restant de l'année.

Cette information semble être contradictoire par rapport au besoin de stockage mentionné. Si l'intérêt est de vendre toujours au prix le plus élevé, donc pendant les trois mois de l'été, on aurait besoin de neuf mois de stockage.

On est face à une situation dans laquelle les besoins de stockage par rapport aux conditions de vente possible ne sont pas clairs, ce qui fait qu'on n'est pas en mesure de prendre une décision sécurisante.

### 2.3.2.2. Définition de la problématique et proposition des solutions

La première cause des soucis impliquant les zones de stockage est que Fulton n'avait pas pris le temps pour étudier le sujet plus à fond. Sans une étude montrant clairement les besoins face aux possibilités de stockage de chaque terrain, il est difficile de négocier efficacement les contrats.

Deuxièmement, l'entreprise a cru pendant longtemps qu'on pourrait exploiter l'usine pratiquement à flux tendu. Pour rendre possible cette manière de fonctionnement, on a cherché des contrats avec des fournisseurs d'intrants et des récupérateurs de sortants permettant d'implémenter cette façon de travailler. Toutefois il s'est avéré impossible de mettre en place telle stratégie, pour de diverses raisons, la moindre d'entre elles n'étant pas qu'on est dans un milieu agricole, donc, parfois très peu professionnalisé. D'ailleurs, comme quelques intrants sont obtenus lors de périodes de récoltes, donc une fois par an, il est peu plausible d'imaginer que ces intrants spécifiques arriveront « au fil de l'eau », sauf si les contrats avec les fournisseurs nous sont très favorables.

Pour solutionner ces questions, je propose la création et l'utilisation d'un outil très simple permettant de calculer les quantités de stockage nécessaires. Cet outil, dans la forme d'un tableau Excel, aiderait à négocier les différents intrants avec une vision plus globale des besoins et possibilités de chaque terrain, c'est-à-dire, entre autres, la surface maximale disponible dans le terrain.

caisses à rentrer	densité	Phase 1					Phase 2				
		Poids annuel	Temps stockage	Besoin stockage	Hauteur stockage	Surface stockage	Poids annuel	Temps stockage	Besoin stockage	Hauteur stockage	Surface stockage
		t/m3	t	jours	m3	m	t	jours	m3	m	m2
Fumier équin pailleux (ancien)	0.70	9000	7	247	3.0	82	0	7	0	3.0	0
Fumier équin pailleux (nouveau)	0.70	0	7	0	3.0	0	0	7	0	3.0	0
Fumier équin lourd (ancien)	0.70	0	7	0	3.0	0	8500	7	233	3.0	78
Fumier équin lourd (nouveau)	0.70	0	7	0	3.0	0	0	7	0	3.0	0
Déchets de légumes	0.55	2000	60	598	3.0	199	3500	60	1046	3.0	349
Semences déclassées	0.70	0	90	0	3.0	0	0	90	0	3.0	0
Issues de silos	0.25	0	180	0	3.0	0	0	180	0	3.0	0
Déchets verts	0.13	0	180	0	3.0	0	0	180	0	3.0	0
Paille	0.13	0	180	0	3.0	0	650	180	2466	3.0	822
Menues paille	0.13	0	180	0	3.0	0	1200	180	4552	3.0	1517
Foin	0.13	0	180	0	3.0	0	600	180	2276	3.0	759
Herbe	0.60	0	15	0	3.0	0	3500	15	240	3.0	80
Marc de raisin	0.64	0	60	0	3.0	0	250	60	64	3.0	21
Digestat solide	0.7	7026	90	2475	2.5	990	6314	90	2224	2.5	890
Digestat liquide	1	4635	180	2286	2.0	1143	7548	180	3722	2.0	1861
		Phase 1	Phase 2								
Total besoin surface stockage	m2	2414	6376								
Surface totale du terrain	m2	20000	20000								
Surface process et voiries	m2	11000	11000								
Surface restante pour stockage	m2	9000	9000								
Différence (besoin-possible)	m2	6586	2624								

Figure 24 – Outil d'assistance au choix des surfaces de stockage des intrants et des sortants

Une amélioration possible et même très souhaitable pour cet outil d'assistance au choix de surfaces de stockage serait de budgéter à peu près les différentes zones, selon les types de constructions nécessaires (dalle couverte, bâtiment fermé, simple traitement du sol, etc.).

Comme déjà discuté, si on ajoute à cela l'analyse pour choix des intrants on aurait un outil très complet pour chercher des optimisations dans l'exploitation de l'usine.

### 2.3.3. Choix de la cogénération

#### 2.3.3.1. Contexte

La cogénération est l'équipement responsable pour la transformation du méthane produit par le digesteur en énergie électrique et thermique. De plus, la cogénération est un équipement dont le coût est très conséquent, représentant environ 10% de l'investissement total, et qui nécessite beaucoup de maintenance. Tous ces points font que le choix de la cogénération soit un des sujets les plus sensibles du projet.

Pendant qu'on a travaillé sur ce choix, divers événements se sont passés :

- Demande d'étudier la possibilité de mettre un moteur pour la production en phase 1 et, ultérieurement, un moteur qui complémente le besoin de la phase 2

L'intérêt serait d'éviter un investissement initial très lourd en mettant un moteur moins puissant, uniquement pour la première phase. Quand on passerait en phase 2, on installerait un deuxième moteur qui viendrait ajouter la différence entre phase 1 et phase 2.

Cette demande, faite par Fulton à SBN, a décalé de façon importante le délai du choix du moteur, à cause de la consultation supplémentaire nécessaire.

- Insistance auprès de SBN pour avoir accès aux données nécessaires pour le choix de la cogénération

Fulton voulait prendre la main sur le choix de la cogénération, ce qui, apparemment n'était pas prévu du côté de SBN. Ils ont donc résisté à nous donner les informations nécessaires pour préparer une analyse des cogénérations.

Cela aussi a causé des retards dans le choix de la cogénération.

- Constatation de que l'offre initiale ne respecte pas les limites d'émissions polluantes

Le moteur de cogénération de l'offre basique de SBN ne respectait pas les émissions polluantes. De ce fait, si Fulton veut rester sur le même moteur, il faut ajouter un équipement pour traiter le biogaz coûtant une belle somme supplémentaire.

### 2.3.3.2. Définition de la problématique et proposition des solutions

Plusieurs questionnements concernant l'unité de cogénération ont été vérifiés, vu la sensibilité du thème. Le choix de l'unité de cogénération est donc fait avec beaucoup de soin, ce qui retarde la prise de décision.

De plus, comme c'est la première fois que Fulton choisi le moteur, les réflexes pour bien analyser l'ensemble de ses caractéristiques n'existent pas.

Ma proposition de solution a été de préparer un outil d'analyse entre les différentes options en mettant en avance les paramètres les plus importants.

Sous un optique développement durable d'évaluation de divers paramètres financiers et environnementaux, on avait besoin de connaître plusieurs données pour chaque une des offres :

- Rendement électrique – ce paramètre est le plus important pour l'analyse de la puissance électrique que le moteur dégagera ;
- Rendement thermique – ce paramètre joue sur la disponibilité de chaleur qu'on aura pour le séchage des digestats ; Il est à noter que des rendements plus importants signifient que moins d'énergie est gaspillée ;
- Emissions polluantes limites – ce paramètre expresse les limites d'émissions polluantes de la cogénération ;
- Consommation de biogaz maximale – les moteurs étant construits pour des productions énergétiques maximales, ils ne peuvent pas recevoir au-delà de leurs limites de consommations.

Sur la base de ces données, j'ai vérifié les offres selon une variété de critères, notamment :

- Puissance électrique produite ;
- Puissance thermique produite ;
- Quantité de digestat séché selon trois scénarios différents :
  - o Consommation piscine et autoconsommation thermiques maximales – ce scénario permet de juger si, dans le pire des cas, on arrive toujours à respecter notre engagement contractuel vis-à-vis de la piscine ;
  - o Consommation piscine et autoconsommation thermiques minimales ;
  - o Consommation piscine et autoconsommation thermiques moyennes.
- Valorisation financière des critères ci-avant ;
- Emissions polluantes ;

Sur les pages suivantes vous trouverez le tableau d'analyse pour La Ferté et, à la fin, un tableau reprenant les critères les plus importants.

Phase 1												
Taille du projet		11,000 tonnes										
Production Biogaz annuelle	Nm3/an	2,784,113										
Production Méthane annuelle	Nm3/an	1,405,977										
Potentiel énergétique unitaire	MWh/Nm3	9.90E-03										
Potentiel énergétique total annuel	MWh/an	13,919										
Autoconsommation électrique annuelle	MWh/an	0										
Autoconso thermique MINI annuelle	MWh/an	1,402										
Autoconso thermique MAXI annuelle	MWh/an	2,015										
<b>Offre</b>	<b>Guascor 957kW</b>	<b>Guascor 957kW gas treat</b>	<b>Guascor 1200kW</b>	<b>Guascor 1200kW gas treat</b>	<b>Schnell 2x460kW gas treat</b>	<b>2G / MWM 1200kW gas treat</b>	<b>Seva / MWM 1200kW gas treat</b>	<b>Schnell/ Scania/ Mitsubishi 300 + 700 kW</b>	<b>2G / MAN/ MWM 220 + 800 kW</b>	<b>2G / MAN/ MWM 220 + 800 kW</b>	<b>Seva / MWM 220 + 800 kW</b>	<b>Seva / MWM 220 + 800 kW</b>
	Guascor / 957kW w	Guascor / 957kW with gas treatment	Guascor / 1200kW w	Guascor / 1200kW with gas treatment	Schnell / 2 x 460kW with gas treatment	2G / MWM 1200kW with gas treatment	Seva / MWM 1200kW with gas treatment	Schnell / Scania 300kW w	Schnell / Mitsubishi 700kW with gas treatment for both	2G / MAN 220kW w	2G / MWM 800kW with gas treatment for both	Seva / MAN 220kW w
Ratio CH4 / Biogaz	%	50.5										
Heures dans une année	h	8,760										
Heures de fonctionnement	h	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Rendement (100% charge)	%	39.4	39.4	40.5	40.5	44.5	41.5	41.5	44.0	41.8	41.7	40.2
Rendement électrique	%	38.2	38.2	37.6	37.6	36.0	42.8	42.8	39.0	41.7	43.3	43.3
Rendement (75% charge)	%	38.0	38.0	39.7	39.7	42.0	40.7	40.7	41.5	40.6	43.8	40.5
Rendement thermique	%	46.1	46.1	42.1	42.1	34.0	43.6	43.6	34.0	43.8	42.4	42.4
Rendement (50% charge)	%	35.1	35.1	37.9	37.9	34.0	38.6	38.6	33.5	38.2	47.1	38.2
Rendement électrique	%	48.0	48.0	42.8	42.8	27.5	45.3	45.3	27.5	47.1	47.1	47.3
Rendement thermique	%	48.0	48.0	42.8	42.8	27.5	45.3	45.3	27.5	47.1	47.1	47.3
Conso biogaz horaire maxi (motoriste)	Nm3/h	405	405	520	520	318	583	478	140	320	109	385
Chaleur combustion biogaz supposée	kWh/Nm3	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.0	5.0	5.0	6.0
Teneur en méthane supposée	%	60	60	60	60	60	50	60	50	50	50	60
Conso biogaz horaire maxi	Nm3/h	481	481	618	618	378	577	568	139	317	108	381
Consommat. Biogaz horaire théorique	Nm3/h	318										
Charge théorique (prod / capac)	%	66.0	66.0	51.4	51.4	84.1	55.1	56.0	100.3	83.4	83.4	82.6
Charge théorique <= 100 % ?	-	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	NO	YES	YES	YES
Charge réelle	%	66.0	66.0	51.4	51.4	84.1	55.1	56.0	100.0	83.4	83.4	82.6
Consommat. Biogaz horaire réelle	Nm3/h	318	318	318	318	318	318	318	317	318	318	318
Consommat. Methane horaire réelle	Nm3/h	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Rendement électrique	%	37.0	37.0	38.0	38.0	42.9	39.0	39.1	44.0	41.0	41.0	40.4
Puiss. élec produite théorique / moteur	kW	587	587	604	604	728	620	621	697	651	651	642
Puissance électrique vendable	kW	587	587	604	604	728	620	621	697	651	651	642
<b>Energ élec vendable annuelle</b>	<b>MWh/an</b>	<b>4,700</b>	<b>4,700</b>	<b>4,832</b>	<b>4,832</b>	<b>5,823</b>	<b>4,962</b>	<b>4,972</b>	<b>5,576</b>	<b>5,206</b>	<b>5,133</b>	
Rendement thermique	%	46.7	46.7	42.7	42.7	34.7	44.9	44.9	39.0	43.1	43.1	42.7
Puiss. thermique produite	kW	743	743	679	679	552	714	713	618	685	685	678
Autoconso thermique MINI	kW	583	583	519	519	392	554	553	160			
Puissa. thermique dispo MAXI	kW	230										
Autoconso thermique MAXI	kW	513	513	449	449	322	484	483	388	455	455	448
Puissa. thermique dispo MINI	kW	195										
Autoconso thermique MOYENNE	kW	548	548	484	484	357	519	518	423	490	490	483
Puissa. thermique dispo moyenne	kW	4,154										
<b>En thermique dispo annuelle</b>	<b>MWh/an</b>	<b>4,660</b>	<b>4,660</b>	<b>4,154</b>	<b>4,154</b>	<b>3,135</b>	<b>4,430</b>	<b>4,422</b>	<b>3,662</b>	<b>4,201</b>	<b>4,143</b>	

Figure 25 - Analyse cogénération - 1ère partie

Offre	Moteur	Guascor 957kW	Guascor 957kW gas treat	Guascor 1200kW	Guascor 1200kW gas treat	Schnell 2x460k W gas treat	2G / MWM 1200kW gas treat	Seva / MWM 1200kW gas treat	Schnell/ Scania/ Mitsubishi 300 + 700 kW	2G / MAN / MWM 220 + 800 kW	Seva / MAN / MWM 220 + 800 kW	
		Guascor / 957kW w	Guascor / 957kW with gas treatment	Guascor / 1200kW w	Guascor / 1200kW with gas treatment	Schnell / 2 x 460kW with gas treatment	2G / MWM 1200kW with gas treatment	Seva / MWM 1200kW with gas treatment	Schnell / Scania 300kW w	Schnell / Mitsubishi 700kW with gas treatment for both	2G / MAN 220kW w	2G / MWM 800kW with gas treatment for both
Tarif électrique de base	<b>Ifonseca:</b> On va assurer Eff>=70,0%	cts€/kWh	12.09	12.09	12.08	12.08	11.95	12.06	12.06	11.98	12.03	12.04
Efficacité énergétique MOYENNE	%	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
Prime à l'efficacité énergétique	cts€/kWh	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Prime maximale	cts€/kWh	1.26	1.26	1.21	1.21	0.83	1.16	1.16	0.93	1.07	1.10	
Ratio effluents d'élevage	%						82					
Prime aux effluents d'élevage	cts€/kWh	1.26	1.26	1.21	1.21	0.83	1.16	1.16	0.93	1.07	1.10	
Tarif électrique	cts€/kWh	17.35	17.35	17.29	17.29	16.78	17.22	17.22	16.91	17.10	17.13	
Coefficient K	-						1.03					
Tarif électr. après pondération	cts€/kWh	17.86	17.86	17.79	17.79	17.28	17.73	17.72	17.41	17.60	17.64	
<b>CA électrique annuel</b>	<b>€</b>	<b>839,560</b>	<b>839,560</b>	<b>859,749</b>	<b>859,749</b>	<b>1,005,997</b>	<b>879,581</b>	<b>881,039</b>	<b>970,500</b>	<b>916,248</b>	<b>905,270</b>	
CA électrique annuel prévu	€						990,468					
Chaleur piscine MINI	kW						195					
Chaleur piscine MAXI	kW						500					
Chaleur piscine MOYENNE	kW						250					
Poids total digestat solide (an)	ton/an						7,026					
Poids total digestat solide (mois)	ton/mois						577					
Poids matière sèche dig solide (an)	ton/an						2,108					
Poids matière sèche dig solide (mois)	ton/mois						173					
Poids eau dig solide (an)	ton/an						4,918					
Poids eau dig solide (mois)	ton/mois						404					
Teneur en matière sèche	%						30.0					
Poids total digestat liquide (an)	ton/an						4,635					
Poids total digestat liquide (mois)	ton/mois						381					
Poids matière sèche dig liquide (an)	ton/an						783					
Poids matière sèche dig liquide (mois)	ton/mois						64					
Poids eau dig liquide (an)	ton/an						3,852					
Poids eau dig liquide (mois)	ton/mois						317					
Teneur en matière sèche	%						16.9					
Poids d'eau évaporable par chaleur unit	ton/MWh						1.0					
Chal. dispo séch dig MINI théorique	kW	13	13	-51	-51	-178	-16	-17	-112	-45	-52	
Chal. dispo séch dig >= 500kW?	-	YES	YES	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Energie dispo séchage dig MINI (mois)	MWh/mois	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Poids d'eau évaporable (mois)	ton/mois	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Teneur en matière sèche objectif	%						30.0					
Possible d'évaporer toute l'eau?	-	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	
MS digestat liquide atteinte	%	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Digestat liquide séché (mois)	ton/mois	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Digestat liquide non séché (mois)	ton/mois	360	360	381	381	381	381	381	381	381	381	381
Efficacité énergétique	%	71.4	71.4	68.3	68.3	68.1	71.6	71.6	70.6	71.8	70.7	
Teneur en matière sèche objectif	%						50.0					
Possible d'évaporer toute l'eau?	-	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
MS digestat liquide atteinte	%	30.5	30.5	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Digestat liquide séché (mois)	ton/mois	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Digestat liquide non séché (mois)	ton/mois	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381
Efficacité énergétique	%	71.4	71.4	68.3	68.3	68.1	71.6	71.6	70.6	71.8	70.7	

Figure 26 - Analyse cogénération - 2ème partie

Offre	Guascor 957kW	Guascor 957kW gas treat	Guascor 1200kW	Guascor 1200kW gas treat	Schnell 2x460k W gas treat	2G / MWM 1200kW gas treat	Seva / MWM 1200kW gas treat	Schnell / Scania/ Mitsubishi 300 + 700 kW	2G / MAN / MWM 220 + 800 kW	Seva / MAN / MWM 220 + 800 kW		
	Guascor / 957kW W	Guascor / 957kW with gas treatment	Guascor / 1200kW W	Guascor / 1200kW with gas treatment	Schnell / 2 x 460kW with gas treatment	2G / MWM 1200kW with gas treatment	Seva / MWM 1200kW with gas treatment	Schnell / Scania 300kW W	2G / MAN 220kW W	2G / MWM 800kW with gas treatment for both	Seva / MAN 220kW W	Seva / MWM 800kW with gas treatment for both
Moteur												
Chaleur dispo séchage dig MAXI	kW	388	388	324	324	197	359	358	263	330	323	
Energie dispo séchage dig MAXI (mois)	MWh/mois	279	279	233	233	142	258	258	189	238	232	
Poids d'eau évaporable (mois)	ton/mois	279	279	233	233	142	258	258	189	238	232	
Teneur en matière sèche objectif	%							30.0				
Possible d'évaporer toute l'eau?	-	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	
MS digestat liquide atteinte	%	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	
Digestat liquide séché (mois)	ton/mois	215	215	215	215	183	215	215	215	215	215	
Digestat liquide non séché (mois)	ton/mois	0	0	0	0	57	0	0	0	0	0	
Efficacité énergétique	%	65.8	65.8	66.8	66.8	72.6	67.9	68.0	73.1	69.9	69.3	
Teneur en matière sèche objectif	%							50.0				
Possible d'évaporer toute l'eau?	-	YES	YES	YES	YES	NO	YES	YES	NO	YES	YES	
MS digestat liquide atteinte	%	50.0	50.0	50.0	50.0	39.8	50.0	50.0	44.6	50.0	50.0	
Digestat liquide séché (mois)	ton/mois	25	25	1	1	0	14	14	0	3	1	
Digestat liquide non séché (mois)	ton/mois	308	308	377	377	381	340	341	381	371	379	
Efficacité énergétique	%	75.9	75.9	72.9	72.9	72.6	76.2	76.2	75.2	76.3	75.2	
Chaleur dispo séchage dig moyen	kW	298	298	234	234	107	269	268	173	240	233	
Energie dispo séchage dig moyen (mois)	MWh/mois	214	214	169	169	77	194	193	124	173	168	
Poids d'eau évaporable (mois)	ton/mois	214	214	169	169	77	194	193	124	173	168	
Teneur en matière sèche objectif	%							30.0				
Possible d'évaporer toute l'eau?	-	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	
MS digestat liquide atteinte	%	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	
Digestat liquide séché (mois)	ton/mois	215	215	215	215	99	215	215	160	215	215	
Digestat liquide non séché (mois)	ton/mois	0	0	0	0	205	0	0	96	0	0	
Efficacité énergétique	%	69.3	69.3	70.4	70.4	70.4	71.5	71.5	72.9	73.4	72.8	
Teneur en matière sèche objectif	%							50.0				
Possible d'évaporer toute l'eau?	-	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
MS digestat liquide atteinte	%	47.7	47.7	42.4	42.4	34.6	45.1	45.0	38.2	42.8	42.3	
Digestat liquide séché (mois)	ton/mois	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Digestat liquide non séché (mois)	ton/mois	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	
Efficacité énergétique	%	73.6	73.6	70.6	70.6	70.4	73.9	73.9	72.9	74.0	73.0	
Prix de vente du digestat à MS=30%	€							30.0				
CA vente de digestat à MS=30%	€	289,074	289,074	289,074	289,074	246,957	289,074	289,074	269,290	289,074	289,074	
<b>Coût initial</b>	€	<b>640,000</b>	<b>720,000</b>	<b>805,000</b>	<b>910,000</b>	<b>995,000</b>	<b>855,000</b>	<b>735,000</b>	<b>700,000</b>	<b>665,000</b>	<b>710,000</b>	
Coût maintenance unitaire	€/kWhé kWé h	0.018	0.016	0.030	0.029	0.045	0.023	0.027	0.025	0.020	0.021	
Heures de fonctionnement								699				
Heures en opération considérées								8,000				
Coût maintenance moteur annuel	€/an	98,735	88,434	168,482	162,168	252,480	129,600	152,736	140,918	111,840	117,432	
<b>Coût mainten. offre annuel</b>	€/an	<b>98,735</b>	<b>88,434</b>	<b>168,482</b>	<b>162,168</b>	<b>252,480</b>	<b>129,600</b>	<b>152,736</b>	<b>140,918</b>	<b>111,840</b>	<b>117,432</b>	
<b>CA électrique annuel</b>	€	<b>839,560</b>	<b>839,560</b>	<b>859,749</b>	<b>859,749</b>	<b>1,005,997</b>	<b>879,581</b>	<b>881,039</b>	<b>970,500</b>	<b>916,248</b>	<b>905,270</b>	
Marge annuelle (CAéI - maint)	€	740,825	751,126	691,267	697,581	753,517	749,981	728,303	829,582	804,408	787,838	

Figure 27 - Analyse cogénération - 3ème partie

			Offre		Guascor 957kW	Guascor 957kW gas treat	Guascor 1200kW	Guascor 1200kW gas treat	Schnell 2x460kW gas treat	2G / MWM 1200kW gas treat	Seva / MWM 1200kW gas treat	Schnell/ Scania/ Mitsubishi 300 + 700 kW	2G / MAN/ MWM 220 + 800 kW	Seva / MAN/ MWM 220 + 800 kW	
Phase 1	MS souhaitée 50.0 %	Ch. dispo MINI	Garantie chaleur pour la piscine?	-	YES	YES	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
			Différence kW	13	13	-51	-51	-178	-16	-17	-112	-45	-45	-52	
			Dig solide - MS atteinte %	30.5	30.5	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	
		Ch. dispo MAXI	Dig liquide - poids séché ton/mois	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			Dig liquide - poids NON-séché ton/mois	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	
			Dig solide - MS atteinte %	50.0	50.0	50.0	50.0	39.8	50.0	50.0	44.6	50.0	50.0	50.0	
		Ch. dispo MOYENNE	Dig liquide - poids séché ton/mois	25	25	1	1	0	14	14	0	3	1	1	
			Dig liquide - poids NON-séché ton/mois	308	308	377	377	381	340	341	381	371	371	379	
			Dig solide - MS atteinte %	47.7	47.7	42.4	42.4	34.6	45.1	45.0	38.2	42.8	42.3	42.3	
			Dig liquide - poids séché ton/mois	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			Dig liquide - poids NON-séché ton/mois	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	
Technique	Phase 2	Ch. dispo MINI	Garantie chaleur pour la piscine?	-	YES	YES	YES	YES	NO	YES	YES	YES	YES	YES	
			Différence kW	157	157	166	166	-50	195	193	77	172	172	190	
			Dig solide - MS atteinte %	38.4	38.4	39.0	39.0	30.0	41.1	41.0	33.6	39.4	40.7	40.7	
		Ch. dispo MAXI	Dig liquide - poids séché ton/mois	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			Dig liquide - poids NON-séché ton/mois	620	620	620	620	620	620	620	620	620	620	620	
			Dig solide - MS atteinte %	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	
		Ch. dispo MOYENNE	Dig liquide - poids séché ton/mois	50	50	52	52	8	58	58	34	53	57	57	
			Dig liquide - poids NON-séché ton/mois	394	394	386	386	586	360	362	469	381	381	364	
			Dig solide - MS atteinte %	50.0	50.0	50.0	50.0	44.5	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	
			Dig liquide - poids séché ton/mois	32	32	34	34	0	39	39	15	35	39	39	
			Dig liquide - poids NON-séché ton/mois	478	478	469	469	620	443	445	552	464	464	447	
Dimensions	Nombre de containers			unités	1	2	1	2	4	2	2	2	2	2	
	Longueur			m	13.1	13.1	14.8	14.8	12.2	12.0	12.0	9.5	12.2	9.0	
	Largeur			m	3.0	3.0	3.0	3.0	11.8	3.0	3.0	3.2	3.2	3.0	
	Longueur traitement de gaz (si pas inclus)			m		6.0		6.0		5.5		5.5		5.5	
	Largeur traitement de gaz (si pas inclus)			m		1.8		1.8		3.0		3.0		3.0	
	Surface			m <sup>2</sup>	39.4	50.2	44.3	55.1	144.3	52.5	52.5	85.9	79.5	72.0	
	Délai de livraison			jours	100 - 120	100 - 120	100 - 120	100 - 120	90 - 180	200.0	170 - 185	90 - 180	200	150-170	
												not before Q1/2014			

Figure 28 - Tableau résumé cogénération - 1ère partie

			Offre		Guascor 957kW	Guascor 957kW gas treat	Guascor 1200kW	Guascor 1200kW gas treat	Schnell 2x460kW	2G / MWM 1200kW	Seva / MWM 1200kW	Schnell / Scania/ Mitsubishi 300 + 700 kW	2G / MAN/ MWM 220 + 800 kW	Seva / MAN/ MWM 220 + 800 kW	
			Durée phase	ans							1				
		Phase 1	Coût initial phase 1	€	640,000	720,000	805,000	910,000	995,000	855,000	735,000	700,000	665,000	710,000	
			CA électrique annuel	€/an	839,560	839,560	859,749	859,749	1,005,997	879,581	881,039	970,500	916,248	905,270	
			Coût maintenance annuel	€/an	98,735	88,434	168,482	162,168	252,480	129,600	152,736	140,918	111,840	117,432	
			Marge opération annuelle (CA-maint)	€/an	740,825	751,126	691,267	697,581	753,517	749,981	728,303	829,582	804,408	787,838	
			Durée phase	ans							14				
		Phase 2	Coût initial phase 2	€	0	0	0	0	0	0	0	300,000	290,000	220,000	
			CA électrique annuel	€/an	1,099,268	1,099,268	1,110,909	1,110,909	1,169,922	1,142,926	1,145,309	1,195,777	1,156,975	1,121,669	
			Coût maintenance annuel	€/an	98,735	88,434	168,482	168,482	252,480	129,600	152,736	205,670	158,720	161,280	
			Marge exploitation annuelle (CA-maint)	€/an	1,000,533	1,010,834	942,427	942,427	917,442	1,013,326	992,573	990,107	998,255	960,389	
			Coût initial total	€	640,000	720,000	805,000	910,000	995,000	855,000	735,000	1,000,000	955,000	930,000	
			Marge exploitation totale	€	14,748,286	14,902,798	13,885,244	13,891,558	13,597,707	14,936,542	14,624,331	14,691,080	14,779,972	14,233,283	
			<b>Marge totale</b>	€	<b>14,108,286</b>	<b>14,182,798</b>	<b>13,080,244</b>	<b>12,981,558</b>	<b>12,602,707</b>	<b>14,081,542</b>	<b>13,889,331</b>	<b>13,691,080</b>	<b>13,824,972</b>	<b>13,303,283</b>	
		Total	Marge totale sur investissement	-	22.0	19.7	16.2	14.3	12.7	16.5	18.9	13.7	14.5	14.3	
			(Marge totale) / (marge totale maxi)	-	99.5%	100.0%	92.2%	91.5%	88.9%	99.3%	97.9%	96.5%	97.5%	93.8%	
			Durée phase	ans								0			
		Phase 1	Coût initial phase 1	€	640,000	720,000	805,000	910,000	995,000	855,000	735,000	700,000	665,000	710,000	
			CA électrique annuel	€/an	839,560	839,560	859,749	859,749	1,005,997	879,581	881,039	970,500	916,248	905,270	
			CA vente digestat à MS=30%	€/an	289,074	289,074	289,074	289,074	246,957	289,074	289,074	269,290	289,074	289,074	
			Coût maintenance annuel	€/an	98,735	88,434	168,482	162,168	252,480	129,600	152,736	140,918	111,840	117,432	
			Coût achat biomasse	€/an								162,000			
			Marge opération annuelle	€/an	867,899	878,200	818,340	824,655	838,474	877,055	855,376	936,872	931,481	914,912	
			Durée phase	ans								14			
		Phase 2	Coût initial phase 2	€	0	0	0	0	0	0	0	300,000	290,000	220,000	
			CA électrique annuel	€/an	1,099,268	1,099,268	1,110,909	1,110,909	1,169,922	1,142,926	1,145,309	1,195,777	1,156,975	1,121,669	
			CA vente digestat à MS=30%	€/an	258,005	258,005	259,390	259,390	225,864	263,770	263,500	245,568	260,287	263,086	
			Coût maintenance annuel	€/an	98,735	88,434	168,482	168,482	252,480	129,600	152,736	205,670	158,720	161,280	
			Coût achat biomasse	€/an								154,625			
			Marge exploitation annuelle	€/an	1,103,913	1,114,213	1,047,192	1,047,192	988,681	1,122,471	1,101,449	1,081,050	1,103,916	1,068,850	
			Coût initial total	€	640,000	720,000	805,000	910,000	995,000	855,000	735,000	1,000,000	955,000	930,000	
			Marge exploitation totale	€	16,322,676	16,477,188	15,479,026	15,485,340	14,680,005	16,591,648	16,275,661	16,071,577	16,386,311	15,878,805	
			<b>Marge totale</b>	€	<b>15,682,676</b>	<b>15,757,188</b>	<b>14,674,026</b>	<b>14,575,340</b>	<b>13,685,005</b>	<b>15,736,648</b>	<b>15,540,661</b>	<b>15,071,577</b>	<b>15,431,311</b>	<b>14,948,805</b>	
		Total	Marge totale sur investissement	-	24.5	21.9	18.2	16.0	13.8	18.4	21.1	15.1	16.2	16.1	
			(Marge totale) / (marge totale maxi)	-	99.5%	100.0%	93.1%	92.5%	86.8%	99.9%	98.6%	95.6%	97.9%	94.9%	

Figure 29 - Tableau résumé cogénération - 2ème partie

### 3. Conclusion

Les données utilisées pour analyse dans mon TFE ont été reprises de ma liste de tâches à réaliser. C'était en effet le chemin le plus facile pour reprendre l'historique des projets pendant le temps que j'y ai travaillé dessus. En réfléchissant, me baser sur ce document a constraint mon travail, vu qu'il contient une majorité des tâches quotidiennes. Cela fait que les informations réellement importantes soient comme que « noyées » dans une mer d'événements sans beaucoup d'intérêt. Cette grande quantité des données a compliqué et même peut-être baissé la qualité mon analyse.

En opposition, il a été intéressant de reprendre ces données pour modifier le planning en fonction des événements. En regardant les différents plannings que j'ai préparés dans leur ordre, on a l'impression de voir un planning vivant, qui se modifie en fonction des événements.

En ce qui concerne le choix des thèmes à analyser, même si j'aie voulu utiliser une procédure bien définie, en traitant importance intrinsèque et importance au niveau du planning en séparé, j'ai fini par choisir les thèmes qui me semblaient plus importants dès le début. Je crois être difficile d'oublier mes jugements préalables et faire une analyse simplement basé sur des données.

Il a été très intéressant étudier des thèmes qui devraient être développés plus à fond dans les projets des Unités de Méthanisation dans le cadre de mon TFE. J'ai eu l'opportunité de faire un travail de réflexion sur des vrais problèmes rencontrés dans les projets visant découvrir leurs motivations et proposer des solutions pratiques pour les résoudre.

Il a été encore plus gratifiant vérifier que quelques des outils que j'ai créé ont bien servi à leurs propos, notamment celui d'analyse de la cogénération. Avoir dit un mot important dans les décisions concernant l'équipement le plus important de l'usine est à la fois excitant, vu poids de la responsabilité, et réconfortant, grâce à la certitude du travail bien fait.

## 4. Bibliographie

- Code de l'Environnement - Livre V, Titre I, art. L 511-1 ;
- <http://www.actu-environnement.com> ;
- <http://www.biogaz-europe.com/> ;
- Arrêté du 19 mai 2011 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations qui valorisent le biogaz.
- <http://www2.ademe.fr/>