

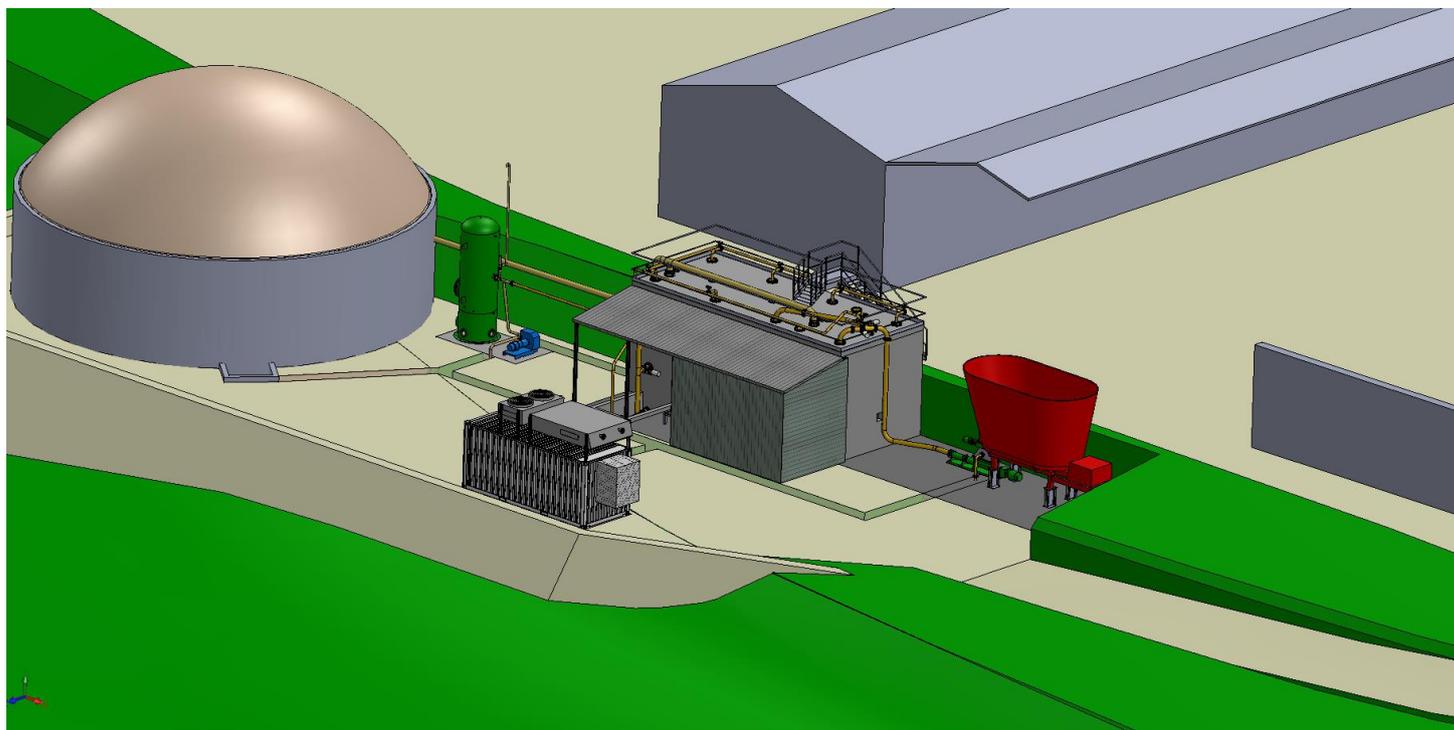


PRESENTATION DE LA NOUVELLE TECHNOLOGIE FRANÇAISE

arkoMéthana

*Méthanisation de matière épaisse, en continu, à forte production  
de biogaz et conservatrice de l'azote*

INNOV'SPACE 2013



## PRINCIPES GENERAUX ET ETAT DE L’ART DE LA METHANISATION

### Principe

La méthanisation est un procédé biologique de dégradation par des bactéries de la matière organique qui, en l’absence d’oxygène, va principalement se transformer en deux molécules carbonées : le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et le méthane (CH<sub>4</sub>).

Le biogaz peut être momentanément stocké puis valorisé de 5 manières différentes :

- la production de chaleur seule,
- la production d’électricité seule,
- la cogénération (production conjointe de chaleur et d’électricité),
- la transformation en biométhane carburant pour des flottes de véhicules,
- et l’injection en réseau de gaz naturel.

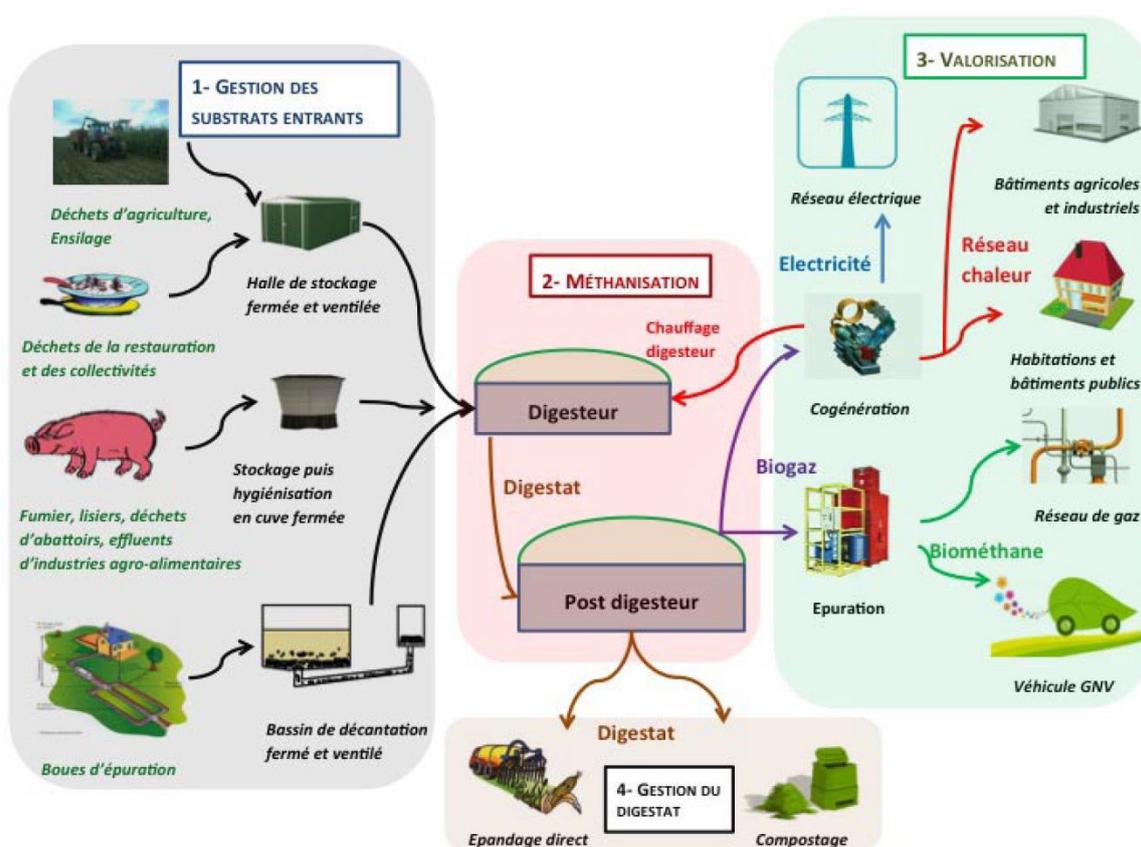


Figure 1 : Schéma de principe d'une unité de méthanisation – Source : Club Biogaz 2011

### Intérêt de la méthanisation pour l'agriculture et l'élevage

La méthanisation des effluents agricoles permet une diversification de revenu agricole, par les revenus de la vente d'énergie et / ou les économies et l'autonomie permises par sa substitution aux énergies fossiles. En outre, la substitution aux énergies fossiles réduit les émissions de gaz à effet de serre.

Le digestat étant un fertilisant plus intéressant que les effluents agricoles bruts, son utilisation permet une réduction de l'utilisation d'engrais minéraux. En effet, la méthanisation permet la minéralisation de l'azote et donc une meilleure disponibilité pour les plantes de cet élément fertilisant.

En plus des effluents d'élevage, l'agriculture produit des déchets, sous-produits de cultures, (résidus de cultures, menue paille, fonds de silos...) ou encore des CIVEs pouvant être valorisés en énergie par la méthanisation.

### Méthanisation en voie sèche discontinue et voie liquide continue

Les différentes technologies de méthanisation agricole peuvent être réparties en deux grandes familles :

#### 1. Méthanisation en voie sèche discontinue

La méthanisation en voie sèche permet de prendre en charge un mélange de matières dont la teneur en matière sèche<sup>1</sup> est supérieure à 30%. Dans ce cas le mélange de matières n'est pas pompable, le digesteur est rempli à l'aide d'un engin de ferme (tracteur avec chargeur frontal).



Figure 2 : Cellules de méthanisation par voie sèche, photo Bioferm Viessmann

Contrairement à un procédé en voie continue où le fermenteur est continuellement alimenté, dans une installation de méthanisation en voie sèche discontinue le fermenteur est rempli puis fermé. Il le reste environ 60 jours, jusqu'à dégradation complète de la matière. Cette dernière est alors ressortie pour un épandage ultérieur.

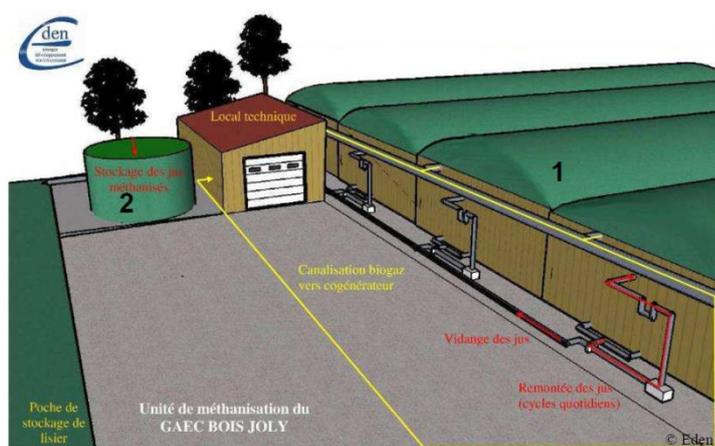


Figure 3 : Unité de méthanisation du GAEC BOIS JOLY

La production de biogaz de ce type d'installation n'est pas linéaire. Pour y remédier, il est possible d'installer plusieurs fermenteurs en parallèle. On chargea/déchargea les fermenteurs en décalé de manière à obtenir une production de biogaz plus régulière.

<sup>1</sup> La matière sèche (MS) est ce qui reste lorsqu'on retire l'eau des effluents. La teneur en matière sèche est le rapport entre la masse de matière sèche et la masse totale de l'effluent. Lisier ≈ 7% de MS ; Résidu de paille ≈ 80% de MS ; Fumier ≈ 25% de MS

## 2. Méthanisation en voie humide continue

La méthanisation en voie liquide permet de prendre en charge un mélange de matières dont la teneur en matière sèche<sup>2</sup> (MS) n’excède pas 14%. Du lisier liquide est généralement mélangé avec d’autres produits plus solides et ayant un potentiel méthanogène plus important.

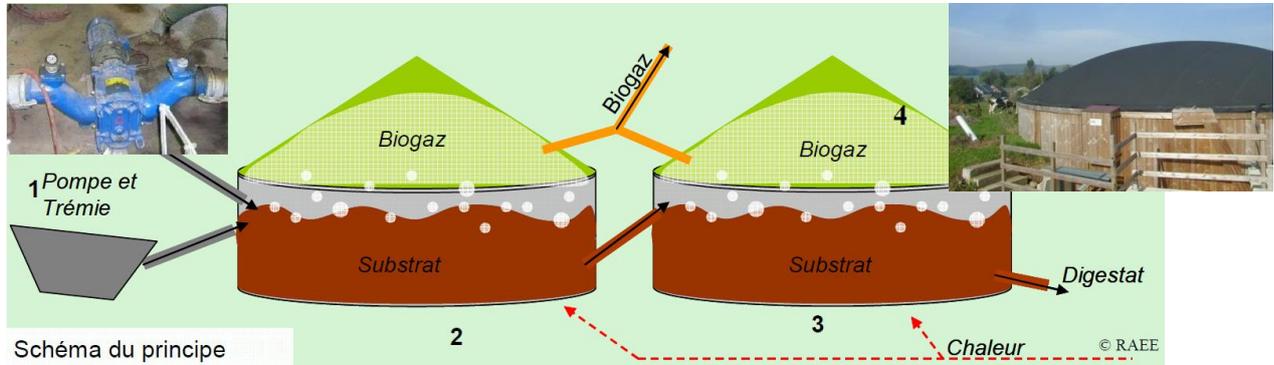


Figure 4 : Schéma de principe général de la méthanisation en voie sèche continue  
+ Photo de l'un des digesteurs en voie humide du GAEC Oudet

Dans ce type de procédé l'introduction des matières dans le digesteur se fait par une pompe ou bac d'alimentation (trémie) en fonction de leur nature. De cette manière, la production de Biogaz est continue.

Une fois dans le digesteur, la matière est mélangée par le biais d'agitateurs mécaniques tels des hélices pour accélérer la production de biogaz et empêcher la décantation. Le mélange passe ensuite dans un post-digesteur où il finit sa digestion.

Le temps de séjour<sup>3</sup> pour ce type de procédé est de 40 à 60 jours.

Le digestat, c'est à dire la matière restante en sortie de digesteur, est séparée de manière à isoler la partie solide, qui pourra être épandue comme un fumier alors que la phase liquide pourra être en partie réutilisée pour venir diluer la matière en entrée de digesteur et le reste sera épandue comme un lisier.



Ce type d'installations est le plus répandu. En Allemagne, il est recensé plus de 4000 unités.

La famille des installations en voie humide continue peut être divisée en deux sous-familles :

- Les installations monophasée appelée également infiniment mélangée
- Les installations bi-phases

### Les installations monophasées et bi-phases en voie humide

Afin de différencier une installation monophasée d'une installation bi-phases, il est nécessaire de décrire succinctement les réactions intervenant au sein d'un digesteur.

Le processus de méthanisation se divise en trois grandes phases qui sollicitent différentes bactéries :

1. L'hydrolyse de la matière permettant la réduction des molécules qui deviennent ainsi plus facilement assimilables lors des étapes postérieures.
2. L'acétogénèse conduisant à l'acide acétique, à l'H<sub>2</sub> et au CO<sub>2</sub>.
3. La méthanogénèse, où les bactéries méthanogènes utilisent les précurseurs formés lors des étapes précédentes pour produire du méthane.

Dans un digesteur monophasée, l'ensemble du contenu de la matière est homogénéisé par brassage mécanique (cf.méthanisation en voie humide continue). Les différentes réactions

<sup>3</sup> Le temps de séjour correspond à la durée entre l'incorporation de la matière dans le digesteur et sa sortie.

biologiques se déroulent ainsi simultanément dans les mêmes conditions (température, acidité, etc.)

Or, les bactéries associées aux différentes étapes n'ont pas toutes les mêmes besoins (température, acidité, etc.) pour fonctionner de manière optimum.

De ce constat est né la méthanisation en voie humide bi-phases. Le principe consiste à isoler physiquement la phase d'hydrolyse des phases d'acétogénèse et de méthanogénèse (cf. figure ci-dessous) :

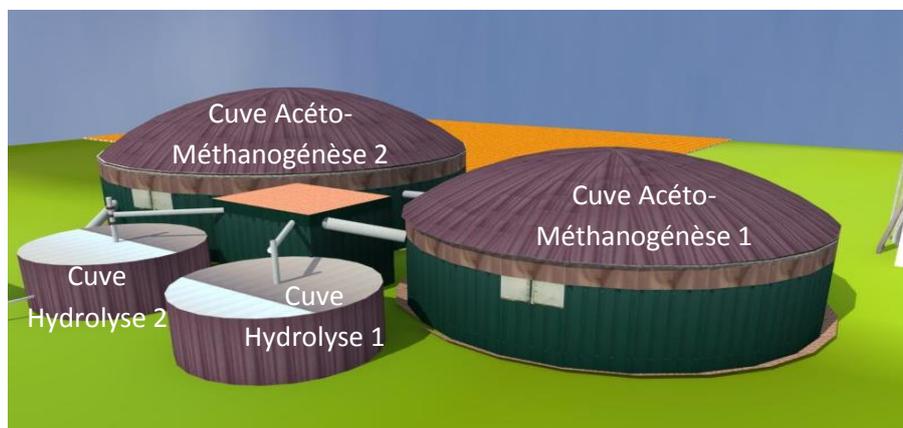


Figure 5 : Schéma d'une installation bi-phases du procédé NOVIS

Cette technique permet de maintenir des conditions optimums dans la phase d'hydrolyse afin d'optimiser la réaction. Ainsi on sera en condition thermophile<sup>4</sup> avec un pH acide dans la phase d'hydrolyse et mésophile<sup>5</sup> en pH neutre par la suite.

Les avantages de la **technologie** bi-phase par rapport à la monophasé sont synthétisés ci-dessous :

	Mono Phase	Bi Phase
Démarrage la stabilité bactérienne (en moyenne)	100 jours	30 jours
Digestion des matières avec lignocellulose <sup>6</sup> possible ?	NON	OUI
Changement des substrats ?	Difficile	Facile
Capacité de chargement (en moyenne)	3 kg/m <sup>3</sup> /j	7 kg/m <sup>3</sup> /j
Rendement du biogaz (jusqu'à)	100%	130% <sup>7</sup>

De plus, la technologie bi-phases apporte une sécurité au procédé. En effet, les bactéries agissant durant la réaction d'hydrolyse sont plus robustes et résistent plus facilement aux pollutions possibles lors de l'introduction de la matière contrairement au procédé monophasé où toutes les bactéries sont dans la même cuve et exposées aux pollutions lors de l'introduction. Sachant que le délai pour obtenir une stabilité bactérienne

<sup>4</sup> Milieu dont la température est comprise en 45 et 65° C

<sup>5</sup> Milieu dont la température est comprise en 30 et 40° C

<sup>6</sup> Exemple : paille

<sup>7</sup> Grâce à l'énergie de la cellulose rendue disponible par l'hydrolyse thermophile

est de 30 à 100 jours, il est impératif de protéger les bactéries méthanogènes plus fragiles pour ne pas avoir à réamorcer le procédé.

### Limites des technologies existantes

Bien que la technologie de méthanisation ait un historique important, il subsiste de nombreuses problématiques :

#### 1. Dans la méthanisation discontinue en voie sèche :

Des temps de séjour important du fait de la disparition des bactéries à chaque déchargement de conteneur.

Un taux de manutention élevé pour pouvoir apporter la matière et la mélanger mécaniquement.

Des insuffisances de brassage liées au fait qu'il n'y a pas de système automatisé.

Une faible productivité due à une mauvaise mobilité des bactéries dans la matière.

#### 2. Dans la méthanisation continue en voie humide bi-phases:

Des besoins en génie civil et une consommation électrique importants du fait des gros volumes de cuverie dus à la dilution de la matière et à son agitation mécanique.

La dilution de la matière, cherchant à résoudre les problématiques de brassage, qui entraîne :

- Des pertes importantes en cas de contamination
- Un mauvais rapport entrants / production de gaz ;
- Le non-respect des différentes flores bactériennes ;
- Une mauvaise gestion des temps de circulation entre les différentes phases ;
- Un manque de support bactérien qui engendre une réduction de la production de méthane.
- Des passages préférentiels (temps de séjours disparates)

## PRESENTATION DU PROCEDE ARKOMETHA

### Les origines

**Le procédé ArkoMéthà est une technologie française développée par Arkolia en partenariat avec Michel Bonhomme, fondateur du groupe Valorga et inventeur du procédé du même nom.**

Cette technologie résulte de l'évolution d'une technologie brevetée pour de très grosses exploitations : le procédé à forte concentration de matière sèche avec agitation par réinjection de biogaz dans les digesteurs, dite Valorga. Elle a été inventée par Gilbert Ducelier et Michel Bonhomme dans les années 80 à travers la société qu'ils avaient créée et qui existe toujours, Valorga. Plus d'une trentaine d'unités de méthanisation fonctionnent de par le monde, dont deux gérées en France par le groupe Idex, partenaire initial de Valorga. Le procédé Valorga dûment breveté et éprouvé, n'a connu cependant que peu d'évolution depuis plus de 20 ans.

### Références



2013 : Arkolia Energie reçoit le trophée de l'innovation ExpoBiogaz du salon ENR



2012 : Arkolia reçoit des subventions de la part de la région Midi Pyrénées pour son projet pilote de 75Kwe sur la commune de Parisot (81)



2012 : Partenariat avec l'INSA de Lyon visant à optimiser le procédé



2012 : Le procédé ArkoMéthà est retenu par appel d'offre des projets innovant de l'ADEME



2012 : Dépôt de brevet du procédé ArkoMéthà

## Composantes de la technologie ArkoMéthà

Le procédé ArkoMéthà est une optimisation conséquente d'un procédé existant qui cumule technologies de pointe et innovations.

Ainsi, nous avons opté pour un procédé bi-phases qui permet une séparation de l'étape d'hydrolyse et des étapes suivantes pour un meilleur rendement.

Pour optimiser ce procédé, la structure et le fonctionnement des digesteurs ont été repensés. Ainsi, la conception du fermenteur ArkoMéthà s'appuie sur 3 éléments :

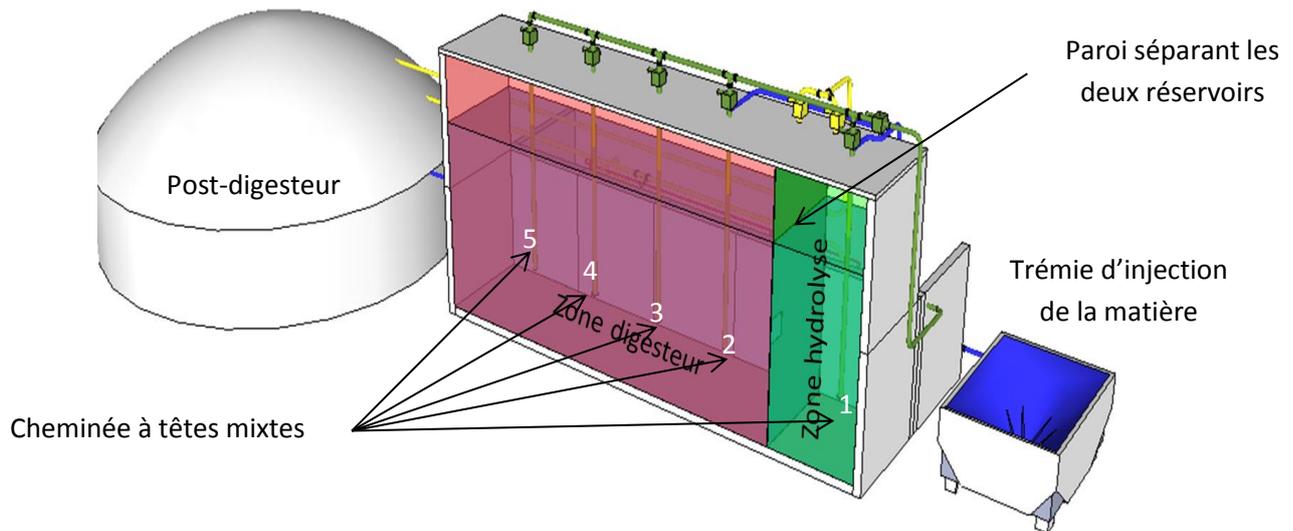


Figure 6 : Schéma de principe de l'ArkoMéthà

- Un système de brassage par cheminées à têtes mixtes d'injection (gaz et matière) réparti sur l'ensemble du fermenteur et partant de son toit pour atteindre le fond. Ces cheminées utilisent une partie du biogaz produit pour le réinjecter localement en fond de digesteur afin de brasser la matière. De plus, elles peuvent également injecter localement de la matière.
- Une seule cuve intégrant deux réservoirs permettant la séparation de la phase d'hydrolyse des phases postérieures, et d'appliquer des conditions de température et de pH différentes. L'ArkoMéthà est donc une technologie bi-phases qui n'utilise qu'un seul digesteur.
- Un système de pilotage automatisé via de nombreux capteurs tout au long du processus afin d'analyser les différents milieux au sein du digesteur et d'ajuster les différents équilibres (acidité, température, etc.) grâce aux cheminées.
- Une avancée de la matière par effet piston respectueuse des flores bactériennes, c'est le biogaz injecté de manière séquentielle par chaque cheminée qui crée l'effet piston. La matière épaisse avance ainsi progressivement de la zone 1 à 5. Chaque zone autour des cheminées comporte des populations bactériennes spécifiques aux niveaux de dégradation de la matière.

## Les avantages de la technologie ArkoMéthà

Pour la conception de son procédé de méthanisation, Arkolia a adopté une vision globale du processus de méthanisation. Ainsi, chacune des composantes de sa technologie a été développée en concomitance pour obtenir :

### 3. Une souplesse de fonctionnement

Sur les fermenteurs classiques les paramètres sur l'état de l'activité biologique ne sont mesurés qu'en entrée et en sortie du digesteur. Pour déduire les réactions à l'intérieur du digesteur il faut raisonner par extrapolation. Contrairement aux technologies usuelles, l'ArkoMéthà permet, via ses cheminées, une analyse en continu des ciels gazeux et de la matière en différents points du fermenteur. Associé à la possibilité d'introduction et de recirculation de la matière en n'importe quel point du fermenteur par le biais de ces mêmes cheminées, le système permet :

- D'adapter les temps de séjour en fonction des caractéristiques de la matière entrantes par l'introduction dans des zones localisées du fermenteur selon la vitesse de réduction et d'acidification des substrats.
- De faire recirculer à volonté, aussi bien une matière fermentée acide qu'une matière fermentée plus basique, avec des populations bactériennes plus adaptées pour renforcer la concentration bactérienne, tamponner un milieu ou fluidifier la matière.

Cette flexibilité permet de réduire le volume de cuverie et d'augmenter le niveau de production du biogaz. Cela permet de réduire les coûts de génie civil tout en augmentant le rendement du procédé.

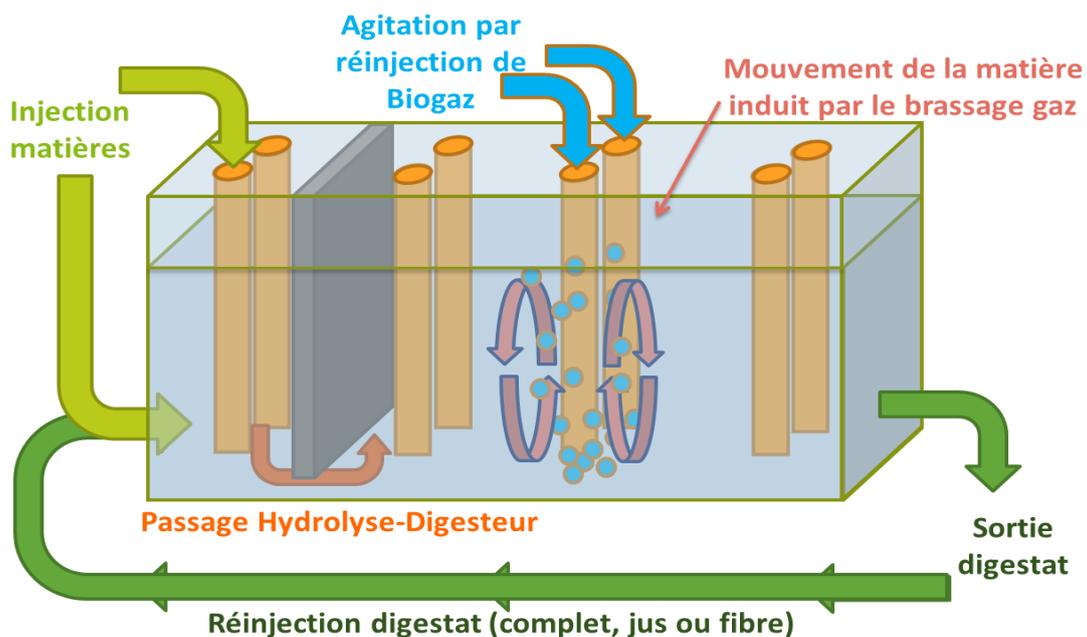


Figure 7 : Schéma des flux de matières et de gaz au sein de l'ArkoMéthà

#### 4. Une diminution de la manutention

Le pilotage de l'installation (opérations de transfert, de recirculation ou de chauffage) est entièrement automatisé. L'exploitant ne fait que saisir la quantité du produit qu'il dépose dans la trémie. En cas de dysfonctionnement, l'exploitant est prévenu sur son téléphone et Arkolia a la possibilité d'intervenir à distance sur le pilotage. Si besoin, un expert intervient directement sur site.

#### 5. Une sécurité opérationnelle

Comme expliqué précédemment, un défaut de processus sur un réservoir de méthanisation en système monophasé est une catastrophe. Elle entraîne une perte d'activité de plusieurs semaines à plusieurs mois le temps de retrouver un équilibre bactérien.

Compartimenter l'hydrolyse augmente la sécurité opérationnelle de l'installation de biogaz en jouant un rôle tampon. On profite de la robustesse des bactéries de la phase d'hydrolyse pour corriger d'éventuels problèmes en amont des phases où interviennent les bactéries plus fragiles. En effet, ces bactéries possèdent une rapidité de multiplication permettant de retrouver un bon niveau de production sous trois jours. Aussi, en cas de substrat très nocif, une écluse externe pourra être introduite afin de séparer temporairement les deux compartiments.

Les risques pour l'exploitant de voir sa production interrompue pendant plusieurs semaines sont donc supprimés.

#### 6. Un rendement élevé

Si les cheminées utilisées par le procédé ArkoMétha offrent la possibilité de faire circuler la matière, leur fonction première reste le brassage de la matière. Avec une section suffisamment large pour le brassage au gaz sous pression, elles offrent un fonctionnement avec un taux élevé de matière sèche (18% à 30% de MS selon le produit) contrairement aux hélices permettant le brassage mécanique de matière plus liquide. Le fait d'utiliser une matière épaisse permet le brassage localisé de la matière et de préserver les flores bactériennes correspondantes. Dans l'ArkoMétha la flore bactérienne agissant sur un secteur (exemple zone 2) n'empiète pas sur le secteur limitrophe (exemple zone 3).

Le brassage séquentiel localisé de la matière permet la création de l'effet piston. Entre chaque brassage, la matière est laissée au repos quelques heures (car la stratification de la matière épaisse est beaucoup plus lente) : les bactéries ne sont donc pas perturbées et se reproduisent mieux. La dégradation de la matière est ainsi rationalisée, chaque flore bactérienne va intervenir successivement dans chaque zone permettant une dégradation maximum de la matière.

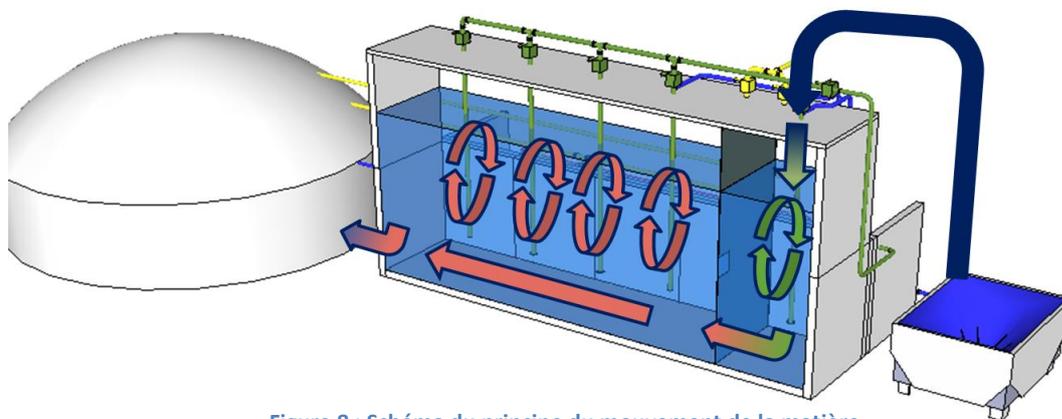


Figure 8 : Schéma du principe du mouvement de la matière

## INTERET ECONOMIQUE DU PROJET

Voici la présentation économique annuelle d'un projet type de 250 Kwe amortie sur 15 ans et produisant 2 050 MWh / an (soit un revenu de 414 387€/an):

Charges	
Charges d'exploitations	115 258
Taxes	11 636
Intérêt de l'emprunt	46158
Amortissement	90499
<b>Total Charges</b>	<b>263 551</b>
Imposition	50 274
<b>Résultat net comptable</b>	<b>100 562</b>

Soit un temps de retour sur investissement de 5,4 ans

Simulation basée sur les hypothèses suivantes :

- 15 % de subventions
- 70% ou plus d'effluents d'élevage
- Valorisation de la chaleur suffisante pour atteindre une efficacité énergétique (V) de 70%.

La rentabilité annoncée dépend de la taille de l'installation. Sur ce secteur où les économies d'échelles sont importantes, Arkolia vise à démocratiser la méthanisation pour la rendre viable sur de plus petites installations.

## COMPARAISON DE L'ARKOMETHA PAR RAPPORT AUX TECHNOLOGIES EXISTANTES

L'ArkoMéthà est un procédé qui allie les avantages de la méthanisation discontinue voie sèche à ceux de la méthanisation continue infiniment mélangé :

	<b>Méthanisation discontinue en voie sèche</b>	<b>Méthanisation continue en voie épaisse Arkométha</b>	<b>Méthanisation continue en infiniment mélangée</b>
<b>Taille des installations</b>	10 à 15000 tonnes/an de déchets agricoles.	A partir de 2000 t/an de déchets agricoles (cf Valorga pour les plus grandes).	A partir de 5000 t/an de déchets organiques
<b>Type de matière entrante</b>	Solide (18%<MS<40%).	Solide ou liquide tant que le mélange est supérieur à 18% de MS.	Liquides ou Solide à condition de diluer (MS<15%).
<b>Consommation en eau</b>	-	Faible à nulle (dépend du taux de MS des intrants).	Plus ou moins importante selon le taux de MS des intrants et les possibilités de recirculation de digestat liquide.
<b>Temps de séjour</b>	> 60 jours.	Une vingtaine de jours.	>40 jours.
<b>Stabilité du processus</b>	Une ration non équilibrée dans un conteneur conduit à un défaut de production qui peut être rapidement pris en charge sans compromettre le fonctionnement de l'ensemble de l'installation (fonctionnement en parallèle de différent digesteur, matière active disponible).	Une ration non équilibrée ne risque pas de provoquer un déséquilibre dans le digesteur du fait de l'avancée progressive de la matière (pas de mélange de toute la matière dans le digesteur). De plus, la présence d'un compartiment accueillant l'hydrolyse (et ses bactéries plus robustes) va permettre de préparer la matière. En cas de problème persistant on peut alors exclusivement le premier compartiment et réduire considérablement le temps de redémarrage.	Une ration « non équilibrée » peut provoquer des problèmes d'acidose et entraîner l'arrêt de l'installation. Dans ce cas, c'est l'ensemble de l'installation qui est mise à l'arrêt. Le temps de vidange et de redémarrage peut prendre 2 à 3 mois.

<p><b>Volumes et surfaces nécessaires</b></p>	<p>Volumes réduits par rapport à de l'infiniment mélangé du fait du taux de MS plus élevé.</p>	<p>Volumes réduits par rapport à de l'infiniment mélangé et la voie sèche discontinue de fait du taux de MS plus élevé et du temps de séjour plus court.</p>	<p>La nécessité de limiter à 12% la teneur en matière sèche dans le digesteur ce qui oblige à augmenter les volumes de digesteurs et de stockage.</p>
<p><b>Coût de transport</b></p>	<p>Le coût de transport est inférieur par tonne de MS véhiculée. Le coût de transport est donc réduit en rapport avec la quantité de biogaz produite par tonne de matière entrante.</p>	<p>Le coût de transport est inférieur par tonne de MS véhiculée. Le coût de transport est donc réduit en rapport avec la quantité de biogaz produite par tonne de matière entrante.</p>	
<p><b>Besoins en chaleur et en électricité</b></p>	<p>En méthanisation en voie sèche, la teneur en eau dans la matière fraîche étant moindre, cela limite la consommation de chaleur pour chauffer une masse improductive (l'eau). C'est ce qui explique un besoin en chaleur par tonne de matière fraîche moindre.</p>	<p>En méthanisation en voie épaisse, la teneur en eau dans la matière fraîche étant moindre, cela limite la consommation de chaleur pour chauffer une masse improductive (l'eau). C'est ce qui explique un besoin en chaleur par tonne de matière fraîche moindre.</p>	<p>Les besoins en chaleur pour chauffer sont supérieurs en raison :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· du volume important à chauffer (dont 88% d'eau);</li> <li>· de la taille des digesteurs qui implique plus de surface de déperdition.</li> </ul>