



# La méthanisation agricole

## Quelles analyses ? Comment les utiliser ?

**Marie-Laure Guillotin**

Resp. technique du Pôle Valorisation organique et Environnement



## La méthanisation agricole

Pourquoi ? Pourquoi ?

Traitement local des déchets organiques +  
production de fertilisant

**Economie circulaire**

Réduction des odeurs et des émissions de  
gaz à effet de serre + énergie renouvelable

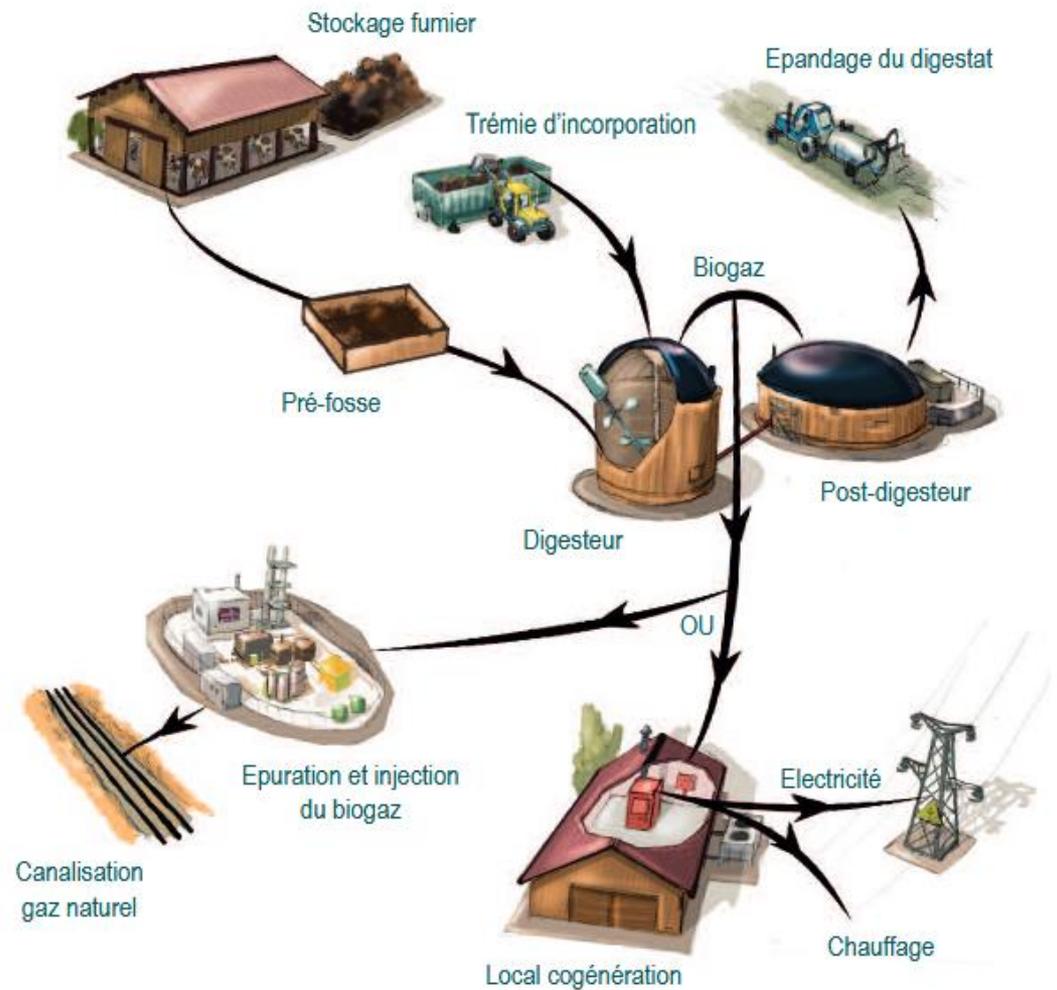
**Enjeu environnemental**

Valorisation énergétique de la matière  
organique

**Intérêt économique**

Soutien à la filière + politique publique  
favorable

**Contexte favorable**



## Un contexte favorable à un nouveau départ de la méthanisation agricole

Un peu d'histoire...

**Fin 18<sup>e</sup> – 19<sup>e</sup> s. :**

**Découverte et compréhension de la production naturelle de méthane**

- 1778 / A VOLTA (It) observe la libération de gaz de vase d'un lac
- 1808 / Sir H DAVY (GB) : expérimente la fermentation du fumier, produit du biogaz et identifie le méthane
- 1887 / A LAVOISIER (Fr) : donne le nom de « gaz hydrogène carbon ».
- 1892 : apparition du terme METHANE
- 19<sup>e</sup>me : PASTEUR montre que l'origine de ce gaz est une fermentation



**20<sup>e</sup>me siècle :**

**Premières générations de digesteurs**

- Plus anciens digesteurs connus : ville d'Exeter en 1895 (GB) et léproserie de Mantunga près de Bombay en 1897.
- 1907 : découverte du procédé « Imhoff » (All). Eclairage public à partir de biogaz issu de digestion d'eaux usées
- A partir de la fin des années 1930 en France : premiers digesteurs de fumier en Algérie sous l'impulsion de deux enseignants de l'Ecole nationale d'agriculture d'Alger, ISMAN et DUCELLIÉ. Sur la base de leur brevet, de nombreuses exploitations agricoles vont s'équiper de digesteurs de gaz de fumier.



**1970 à 1990 :**

**Un développement en lien avec le prix du pétrole**

- Années 1970, chocs pétroliers : plus d'une centaine d'installations de méthanisation voient le jour en France
- Années 1990, le contre-choc pétrolier entraîne la baisse du prix de l'énergie. En France, les installations de méthanisation agricoles vont disparaître (défaut de maîtrise technique, poids des investissements financiers)
- Seules les unités de dépollution des effluents (IAA, boues de station d'épuration...) ont perduré.



**Période actuelle :**

**Poids des politiques publiques et de l'enjeu environnemental**

- Nombreuses installations en Allemagne, Danemark, Suisse (politique volontariste)
- En France, à l'heure actuelle, les nombreux avantages pour l'environnement de la méthanisation donnent un nouvel essor notamment en agriculture (loi sur la transition énergétique en 2010). Les aides et l'augmentation du prix du rachat favorisent l'émergence des projets et améliore leur rentabilité

## Les chiffres de la méthanisation agricole

Source : base ADEME Sinoe (<http://www.sinoe.org/thematiques/consul/ss-theme/29>)

En 2017 : 514 installations de méthanisation en France, dont :

- 291 à la ferme (+ 70 / an)
- 88 stations d'épuration urbaines
- 80 installations en industrie
- 17 sur ordures ménagères
- 38 installations centralisées
- 2500 GWh environ d'énergie primaire totale produite

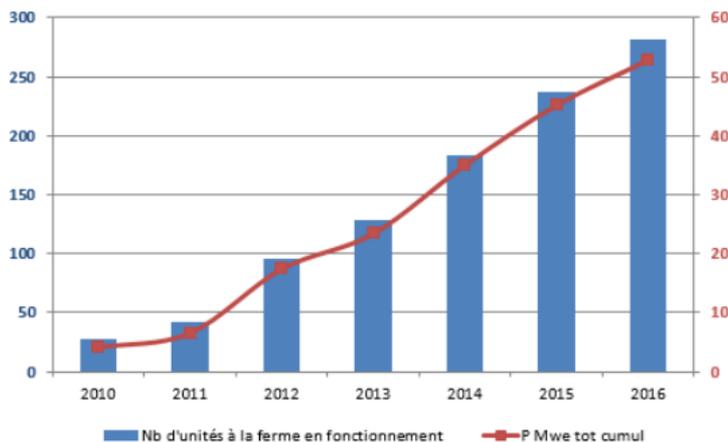


Carte des installations de méthanisation à la ferme en 2017  
(Source : Sinoe)



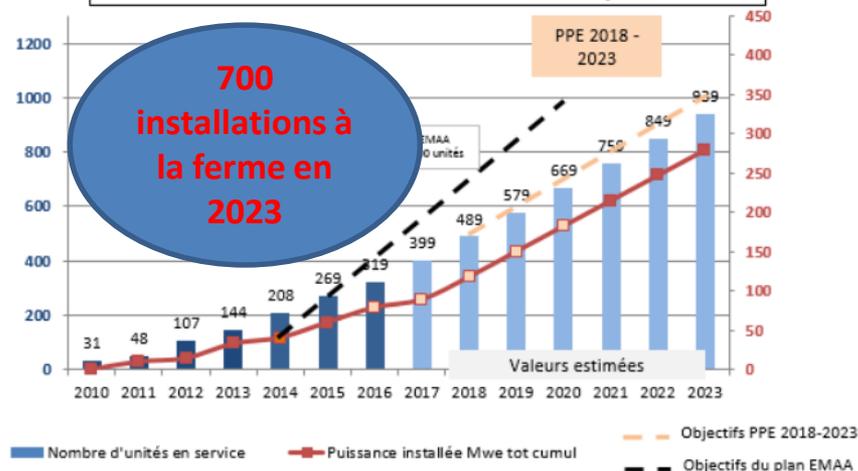
### Evolution du parc d'unités de méthanisation à la ferme

En nombre d'unités construites et en MWe installés, ADEME Janvier 2017



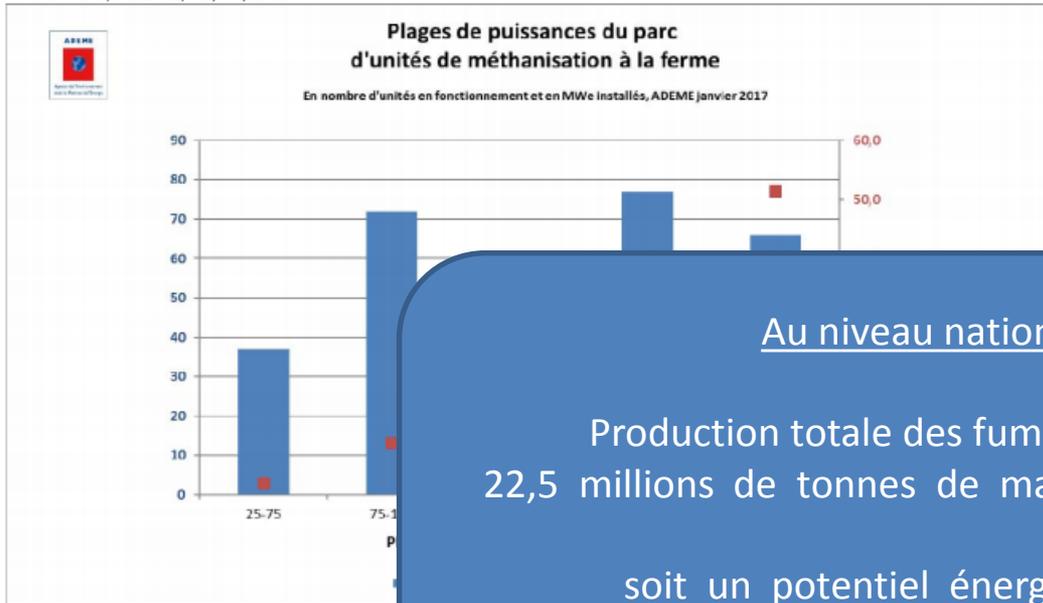
### Evolution et perspectives de dynamique du parc d'unités de méthanisation à la ferme et centralisées

En nombre d'unités construites et en MWe installés, ADEME janvier 2017



## Le parc français d'installations de méthanisation agricole

Source : Chiffres clés du parc d'unités de méthanisation à la ferme et centralisées en service au 1<sup>er</sup> janvier 2017.  
J THUAL, ADEME, 01/03/2017



Au niveau national

Production totale des fumiers et lisiers  
22,5 millions de tonnes de matières organiques  
soit un potentiel énergétique de  
60 environ TWh  
(11% de la production française d'énergie)

Les principales matières traitées sur les unités à la ferme (nombre d'unités) :

<http://www.sinoe.org:thematiques/consul/ss-theme/29>

- Lisiers et fumiers (85)
- Déchets verts (36)
- Résidus de la transformation des produits végétaux (30)
- Déchets végétaux (16)
- Déchets de matière végétale de cuisine (16)
- Résidus de la transformation des produits animaux ou végétaux (7)
- Résidus de la transformation des produits animaux (7)
- Résidus alimentaires (4)
- Eaux usées (2)
- Résidus de cultures intermédiaires à destination animale (2)

**Etat des lieux du parc d'unités de méthanisation agricole**  
ADEME, Janvier 2017

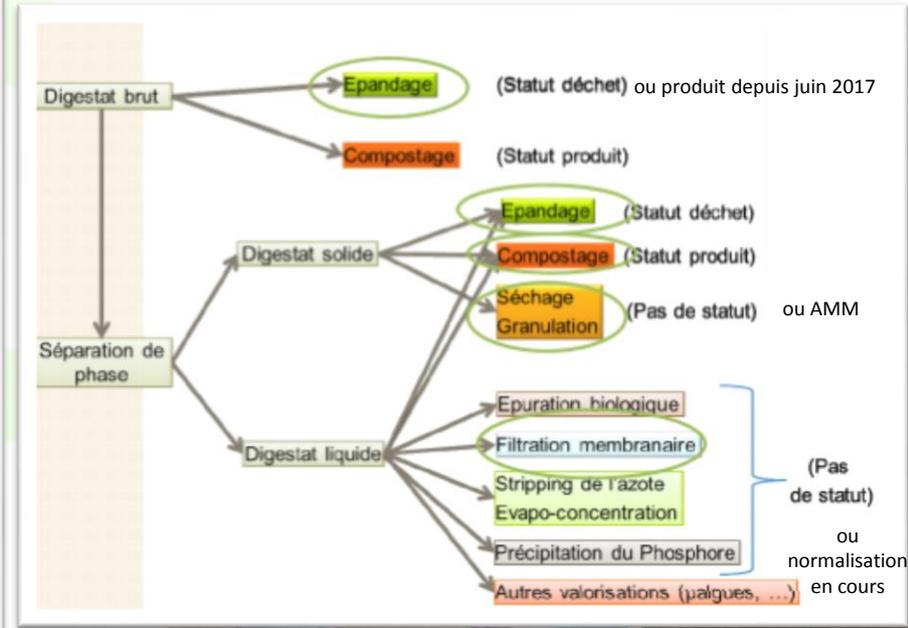
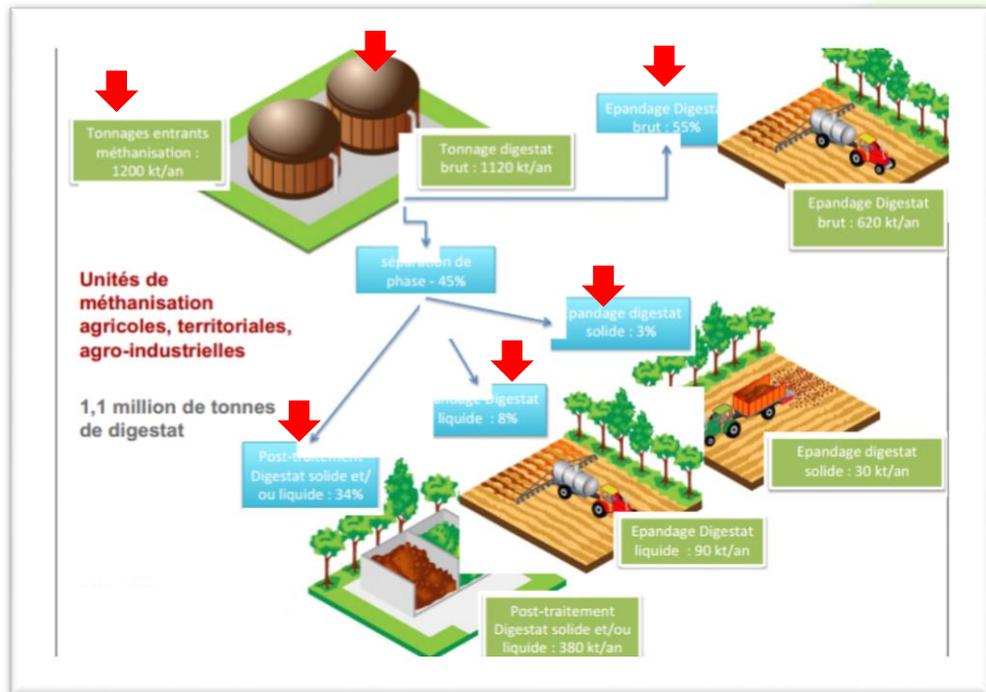
	Nombre d'unités	Puissance installée moyenne (kWe)	Puissance installée totale (MWe)	Capacité totale injection biométhane (Nm <sup>3</sup> /h)
A la ferme	281	200	53	1270
Centralisée	38	1141	36	1201
<b>Total</b>	<b>319</b>	<b>/</b>	<b>89</b>	<b>2 471</b>

Type de valorisation	En nombre d'unités	Capacité totale
Chaudière	5	230 kWth
Injection de biométhane	18	2471 Nm <sup>3</sup> /h/injecté
Cogénération	296	89 Mwe

## Les grandes catégories d'analyses liées à la méthanisation

### Quand réaliser des analyses ?

Des déchets et matières entrantes en amont, en passant par les digestats en cours de process , jusqu'aux produits sortie digesteurs voire « post-traitement », à chaque étape son analyse .



Source des illustrations : présentation du projet DIVA par SOLAGRO aux JRI 2016 (Limoges)



## Les grandes catégories d'analyses liées à la méthanisation

### Quand réaliser des analyses ?

Des déchets et matières entrantes en amont, en passant par les digestats en cours de process , jusqu'aux produits sortie digesteurs voire « post-traitement », à chaque étape son analyse .

Quoi	Pourquoi	Analyse
Déchets bruts (reçus en amont du digesteur)	Leur qualité impacte : <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'efficacité et le rendement de la digestion</li> <li>• la qualité du digestat</li> </ul>	Analyse du pouvoir méthanogène (IR, incubation) Analyses de caractérisation agronomique Inhibiteurs de la méthanisation Micro-polluants Micro-organismes
Digestats liquides ou pâteux en cours de digestion	Suivi du fonctionnement du digesteur	Acides gras volatiles totaux (AGV) ou FOS TAC (pouvoir tampon) et FOS/TAC Inhibiteurs (NH <sub>4</sub> , conductivité, ...) Profil des AGV
Digestats post-digesteur et post-traitement (compostés, séchés...)	Valeur agronomique Mise sur le marché Innocuité	Valeur agronomique Métaux lourds, composés traces organiques (HAP, PCB) Analyses microbiologiques Inertes et impuretés Test de minéralisation C et N ; ISMO



## Analyse des matières entrantes

### Quelles analyses ? Comment les utiliser ?

Préparation par lyophilisation ou à l'étuve

Menus adaptés aux matières entrantes :

- Menu « charge organique » PAWK : MS, MV
- Menu « simple » PAWL : MS, MV, N total
- Menu « analyses de base » PAWM : MS, MV, N total, N ammoniacal, COT, pH, P, K, Na, S

Analyses complémentaires possibles :

- Micropolluants métalliques totaux (Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Hg, Zn, Se, As..) et organiques (16 HAP, 7 PCB)
- Teneur en sucres (méthode Anthrone) ou en graisses (substances extraites à l'hexane)
- Analyses granulométriques (refus sur tamis de 8 - 10 - 12 mm)
- Analyse des inertes (plastique, verres et métaux)
- Analyse des matières organiques non synthétiques
- Demande chimique en oxygène (DCO) sur liquides
- Analyse des fibres (méthode Van Soest)
- Test de potentiel méthanogène :
  - Approche biochimique (IR, chimique) : évaluation statistique à partir d'une base de donnée
  - Approche biologique : volume de biogaz libéré en conditions mésophiles . Information sur le %CH<sub>4</sub> / MS et %CH<sub>4</sub> / MV.
- ...

## Focus sur l'utilisation des résultats

- **Etablir ou vérifier l'équilibre de la « ration » du digesteur :**
  - Humidité et charge organique (*exemple : 1 à 3 kg de MO / m<sup>3</sup>/jour en réacteur infiniment mélangé*)
  - Rapport C/N . *Optimal entre 10 et 30*
- **Evaluer l'intérêt d'un déchet en méthanisation par le potentiel méthanogène**

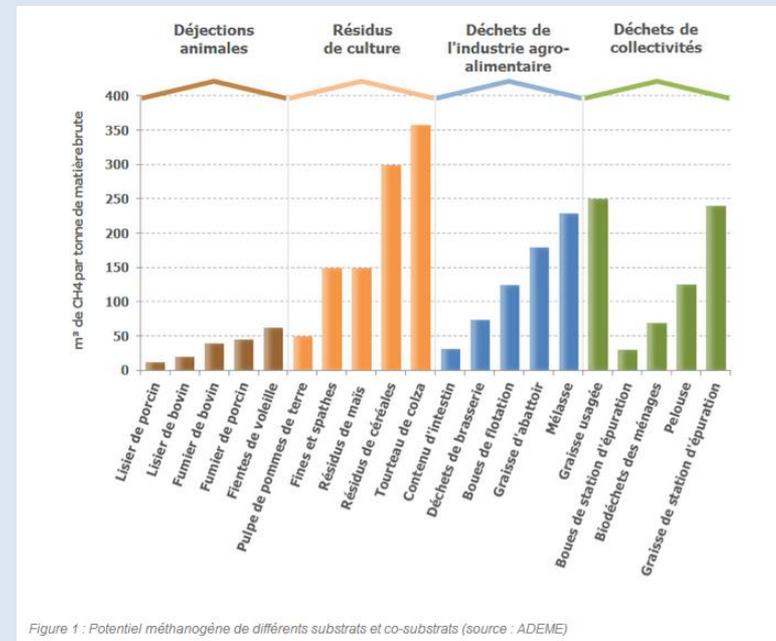


Figure 1 : Potentiel méthanogène de différents substrats et co-substrats (source : ADEME)

- **Substances inhibitrices : cuivre, zinc, sulfures, NH<sub>4</sub> ... sont inhibiteurs à faible concentration**

## Analyse des matières entrantes

Valeurs moyennes de potentiels méthanogènes de fumiers et lisiers (bibliographie)

Sous-catégorie	%MS/MB	%MO/MS	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t MB	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t MS
Fumier Vaches laitières	17 %	80 %	29	168
Fumier Vaches allaitantes	17 %	80 %	29	168
Fumier Autres bovins	17 %	80 %	29	168
Fumier Ovins	30 %	80 %	58	192
Fumier Caprins	45 %	80 %	83	184
Fumier Porcins	30 %	80 %	58	192
Fumier Lapins	36 %	80 %	78	216
Fumier Volailles	60 %	80 %	144	240
Fumier Equins	45 %	80 %	119	264
Lisier Vaches laitières	10 %	80 %	16	160
Lisier Vaches allaitantes	10 %	80 %	16	160
Lisier Autres bovins	10 %	80 %	16	160
Lisier Porcins	5 %	80 %	12	232
Lisier Lapins	22 %	80 %	44	200
Lisier Volailles	15 %	80 %	36	240

## Analyse des matières entrantes

Quelles analyses ? Comment les utiliser ?

### Focus sur l'utilisation des résultats

- Evaluer l'intérêt d'un déchet en méthanisation par le potentiel méthanogène

Etablir ou vérifier l'équilibre de la « ration » du digesteur :  
Humidité et charge organique (*exemple : 1 à 3 kg de MO / m<sup>3</sup>/jour en réacteur infiniment mélangé*)  
Rapport C/N . *Optimal entre 10 et 30*

**Substances inhibitrices : cuivre, zinc, sulfures, NH<sub>4</sub> ... sont inhibiteurs à faible concentration**

Concentration de quelques substances qui sont :

Substance	Concentration de quelques substances qui sont :	
	Modérément inhibitrices (mg.l <sup>-1</sup> )	Fortement inhibitrices (mg.l <sup>-1</sup> )
Sodium	3500-5500	8000
Potassium	2500-4500	12,000
Calcium	2500-4500	8000
Magnésium	1000-1500	3000
N - ammoniacal	1500-3000	3000
Sulfure	200	200
Cuivre		0,5 soluble 50 -70 total
Chrome(VI)		3,0 soluble 200-600 total
Chrome (III)		180-420 total
Nickel		2,0 soluble 30 total
Zinc		1,0 soluble

Tableau 7 Concentrations de molécules minérales pouvant être inhibitrices sur les micro-organismes de la digestion anaérobie.

Document d'information générale de R Moletta, 2002



## Analyse en cours de process

### Quelles analyses ? Comment les utiliser ?

En parallèle des analyses sur site, ou « en ligne »

#### Menus adaptés au suivi de digesteur :

- Menu « de base de pilotage » PAWN : MS, MV, pH, indice FOS/TAC (Nordmann), Acides Gras Volatils par CPG (AVG totaux eq. acétate et eq.DCO (calcul), acétate, butyrate, isobutyrate, isovalérate, propionate, valérate)
- Menu « simple de pilotage » PAWO : Idem + conductivité + N ammoniacal

#### Analyses complémentaires possibles :

- Micro-polluants métalliques totaux (Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Hg, Zn, Se, As..) et organiques (16 HAP, 7 PCB)
- Chlorures ...

rapport FOS/TAC	Etat du processus	Mesure à prendre
>0.6	Entrée très excessive de biomasse	stopper l'addition de biomasse
0.5-0.6	entrée excessive de biomasse	ajouter biomasse sans excès
0.4-0.5	le fermenteur est fortement chargé	surveiller plus étroitement l'unité
0.3-0.4	production de méthane au maximum	garder l'addition de biomasse constante
0.2-0.3	entrée de biomasse trop basse	augmentation lente de l'entrée de biomasse
< 0.2	entrée de biomasse beaucoup trop basse	augmentation rapide de l'entrée de biomasse

Source : Documentation Hach Lange, 2013

## Focus sur l'utilisation des résultats

- **pH, paramètre nécessaire mais non suffisant** : *optimum entre 6,8 et 7,5*. La baisse du pH est un signe d'acidose évident. Elle s'accompagne de la chute de production et de qualité du biogaz. Toutefois ces indicateurs ne font que révéler le dysfonctionnement, et ne permettent pas de le repérer précocement.
- **Détecter les signes précoces d'acidose** :
  - AGV totaux :
    - *AGV totaux < 2 g/L : OK*
    - *AGV totaux < 5 g/L : acceptable*
    - *Il existe des variations entre les digesteurs*
  - Profil des AGV : La modification de la proportion des AGV dans le milieu, en particulier l'augmentation des proportions d'acides propioniques, butyriques et valériques par rapport à l'acide acétique, doit alerter car elle est le signe d'un début d'acidose.
    - *rapport « acide acétique / acide propionique » > 3 : OK*
- **Gérer les apports de biomasse** :
  - FOS/TAC :
    - *FOS/TAC entre 0,3 et 0,4 : OK*
  - AGV/TAC : la valeur du *rapport AGV/TAC peut être utilisée par comparaison avec les valeurs précédentes*, en suivi de la digestion.

## Statuts réglementaires des digestats

### Epandage réglementé

- Le digestat, épandu en l'état, garde le statut de déchet. En fonction des matières premières, il sera soumis à un plan d'épandage (effluents d'élevage, boues d'épuration).
- La réglementation de l'épandage du digestat varie en fonction des départements, du règlement sanitaire départemental, des arrêtés préfectoraux en vigueur, des décrets d'application départementaux de la directive nitrate.

### Produit normalisé NFU engrais ou amendement organique

- Si le produit répond aux critères définis dans les normes, il devient un produit organique épandable hors plan d'épandage.
- Norme « amendement organique » NFU 44051 ou norme « composts de boues » NFU 44095, après traitement ultérieur (compostage)
- Norme « engrais organiques » NFU42001/A12, après séparation de phase, dans la catégorie « Engrais NP issu de lisier méthanisé composté », depuis le 11/12/2015

### Produit conforme au Cahier des charges « DigAgri 1 »

- Approuvé par le Ministère de l'agriculture par l'Arrêté du 13/06/2017
- Autorisation de mise sur le marché et d'utilisation de digestats de méthanisation agricole (au moins 60% de matières d'origine agricole et au moins 33% d'effluents d'élevage) en tant que matières fertilisantes
- Permet de mettre sur le marché sur l'ensemble du territoire national des digestats agricoles produits dans les conditions fixées par l'arrêté, pour un usage en grandes cultures et sur prairies

## Analyse du digestat brut

### Quelles analyses ? Comment les utiliser ?

*En parallèle, des analyses de terre sont parfois nécessaires*

- **Valeur agronomique** : nécessaire ou recommandé dans tous les cas
  - Menu « suivi agronomique » PAWJ : MS, MO, pH, N total, N ammoniacal, N organique (calcul), rapport C/N (calcul), P2O5, K2O, CaO, MgO, sodium, soufre
- **Analyse des micropolluants métalliques** : obligatoire pour les plans d'épandage et le CDC DigAgri1  
Le nombre d'analyse dépend de la quantité de MS épandue (plan d'épandage) ou du nombre annuel de lots (CDC Dig Agri1)

Valeur maximale (mg/kg MS)	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Se
<b>Plan d'épandage</b> Arrêté boues du 08/01/1998	-	10	1000	1000	10	200	800	3000	-
<b>CDC DigAgri 1</b> Arrêté du 13/06/2017	18	3	120	600	2	60	180	1500	12

- **Analyse des micropolluants organiques** :  
3 HAP et 7 PCB obligatoires dans certains plans d'épandage
- **Analyse microbiologique** :
  - Plan d'épandage : selon l'arrêté d'autorisation de l'ICPE
  - CDC DigAgri1 :
    - 5 analyses / lot
    - selon la réglementation sur les sous-produits animaux (UE n°142/2011)

	Taille de la prise d'échantillon représentatif du produit	n	m	M	c
Echantillons représentatifs du produit					
Escherichia coli ou Enterococcaceae	1 g	5	1000	5000	1
Salmonella	25 g	5	0	0	0

## Analyse du digestat brut

### Quelles analyses ? Comment les utiliser ?

*En parallèle, des analyses de terre sont parfois nécessaires*

### Focus sur l'utilisation des résultats

- **Intérêt agronomique des digestats :**
  - Apports totaux d'éléments fertilisants et de MO
  - Marquage obligatoire des produits du CDC DigAgri1
  - Détermination des doses agronomique d'apport
  - Quantités disponibles d'éléments fertilisants
    - Azote : 40 à 70% d'efficacité. L'efficacité est essentiellement apportée par la part d'azote ammoniacal. Attention , la volatilisation peut être importante (30 à 80 % selon les matières et les procédés)
    - P2O5 : supposé disponible à 75 % comparé au super phosphate
    - K2O : 100% disponible
- **Vérification de la conformité réglementaire : respect des valeurs limites en éléments traces (ETM) et des critères microbiologiques**
- **Calcul des doses maximales épandables par an et sur 10 ans sur la base des flux d'ETM en g/ha**
- **Rapport C/N et calendrier d'épandage du programme d'action en ZV.**

## Analyse du digestat transformé normalisé

### Quelles analyses ? Comment les utiliser ?

*Les analyses sont imposées par les spécifications des normes*

Paramètre	NFU 44-051 type 3 Fumier et/ou lisiers et/ou fientes compostés	NFU 44-051 type 10 Compost de matières végétales et animales	NFU 42-001 type 6b Engrais NP issu de lisier méthanisé composté
MS (% brut)	≥ 30		≥ 40
MO (% brut)	≥ 20		-
N total (% brut)	< 3		≥ 1,5 dont ≥ 1 N orga
P2O5 total (% brut)	< 3		≥ 3
K2O total (% brut)	< 3		À analyser
N + P2O5 + K2O (% brut)	< 7		≥ 6
ETM (mg / kg MS): • Cr • Cu • Ni • Zn • Hg • Cd • Pb • As • Se	Analyse obligatoire < 120 < 300 (ou 600 / MO) < 60 < 600 (ou 1200 / MO) < 2 < 3 < 180 < 18 < 12		À analyser  Valeurs maximales et fréquences d'analyses en projet (NFU 42001-2)
HAP (mg / kg MS) : • Fluoranthène • Benzo(b) fluoranthène • Benzo(a)pyrène	Analyse facultative mais conformité requise < 4 < 2,5 < 1,5		-

## Analyse du digestat transformé normalisé

Quelles analyses ? Comment les utiliser ?

Paramètre	NFU 44-051 type 3 Fumier et/ou lisiers et/ou fientes compostés	NFU 44-051 type 10 Compost de matières végétales et animales	NFU 42-001 type 6b Engrais NP issu de lisier méthanisé composté
Inertes et indésirables (% MS): • Films et PSE > 5 mm • Autres plastiques > 5 mm • Verres et métaux > 2 mm	Analyse facultative < 0,3 < 0,8 < 2,0	Analyse obligatoire < 0,3 < 0,8 < 2,0	-
Cinétique C et N	À faire	À faire	-
ISMO	À faire	À faire	-
Analyses microbiologiques : • Salmonelles • Œufs d'helminthes viables  Facultatif : • Escherichia coli • Entérocoques	Analyse obligatoire • Salm. : Absence dans 1 ou 25 g MF selon la culture • Helminthes : Absence dans 1,5 g MF  Facultatif (valeurs de référence) • E coli : 100 / g MF • Entérocoques : 10 000 / g MF		À analyser  Valeurs maximales et fréquences d'analyses en projet (NFU 42001-2)
En cas d'agrément Sous- produits animaux (SPA) : • Escherichia coli • Entérocoques • Salmonelles	Analyse obligatoire sur 5 prélèvements  • E. Coli : m = 1000 / g MF ; M = 5000 / g MF ; c = 1 • Entérocoques : m = 1000 / g MF ; M = 5000 / g MF ; c = 1 • Salmonelles : m = 1000 / g MF ; M = 5000 / g MF ; c = 1		

### Fréquences d'analyses :

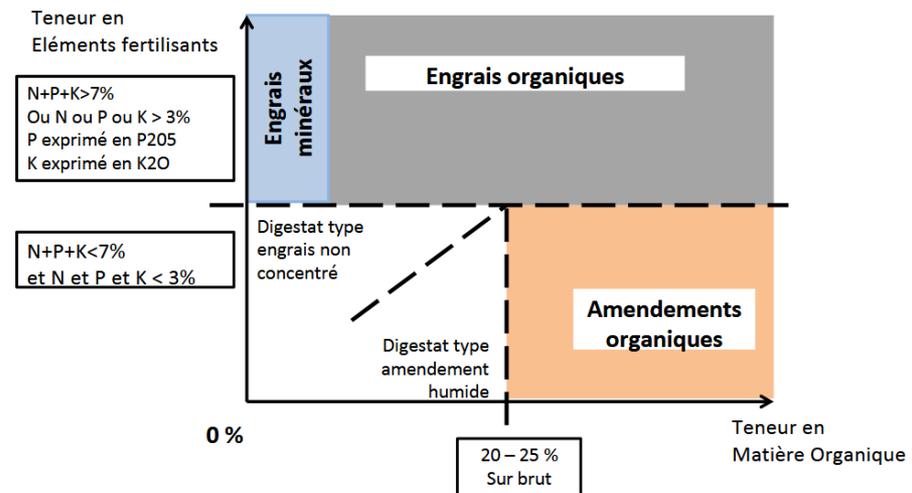
- **Amendements organiques NFU 44-051** : selon les tonnages produits annuellement
- **Engrais organiques NFU 42-001** : pas d'indication dans la norme actuelle. La révision de la norme pourrait conditionner la fréquence au tonnage produit annuellement.

## Analyse du digestat transformé normalisé

Quelles analyses ? Comment les utiliser ?

### Focus sur l'utilisation des résultats

- **Vérification des spécifications de la norme NFU**
- **Intérêt agronomique :**
  - Apports totaux d'éléments fertilisants et de MO
  - Marquage obligatoire des produits selon NFU
  - Marquage facultatif selon NFU
  - Calcul des doses agronomiques d'apport
- **Vérification de la conformité réglementaire : respect des valeurs limites en éléments traces (ETM, CTO) et des critères microbiologiques.**
  - *Des non-conformités répétées peuvent traduire un problème de qualité des matières entrantes, ou de maîtrise du compostage (microbio)*
- **Calcul des doses maximales épanchables par an et sur 10 ans sur la base des flux d'ETM en g/ha**
- **Argumentation et conseil d'utilisation sur la base des analyses de caractérisation poussée : ISMO, cinétiques C et N**
  - *ISMO < 30% MO : effet principalement nutritif & effet sur l'activité biologique du sol*
  - *ISMO entre 30 et 60% MO : effet mixte engrais/amendement*
  - *ISMO > 60% MO : effet principalement amendant organique*
  - *Cinétiques C et N : éléments chiffrés pour le bilan humique et les fournitures d'azote*



5 février 2015 – Journées Recherche et Industrie



JE PEUX  
VOUS AIDER !





**MERCI DE VOTRE ATTENTION**