



# **Le cadre et l'intérêt des prétraitements de biodéchets et des FFOM**

Session animée par  
Mathieu Eberhardt  
et Philippe Spannagel



# **Le cadre et l'intérêt des prétraitements de biodéchets et des FFOM**

Session animée par  
Mathieu Eberhardt  
et Philippe Spannagel



## **Session 2 : Le cadre et l'intérêt des prétraitements de biodéchets et des FFOM**

### **Introduction : Quels briques technologiques pour le traitement des biodéchets**

Mathieu EBERHARDT  
Chargé de mission ENR  
RhônAlpénergie Environnement

# Qu'est ce qu'un biodéchet ?

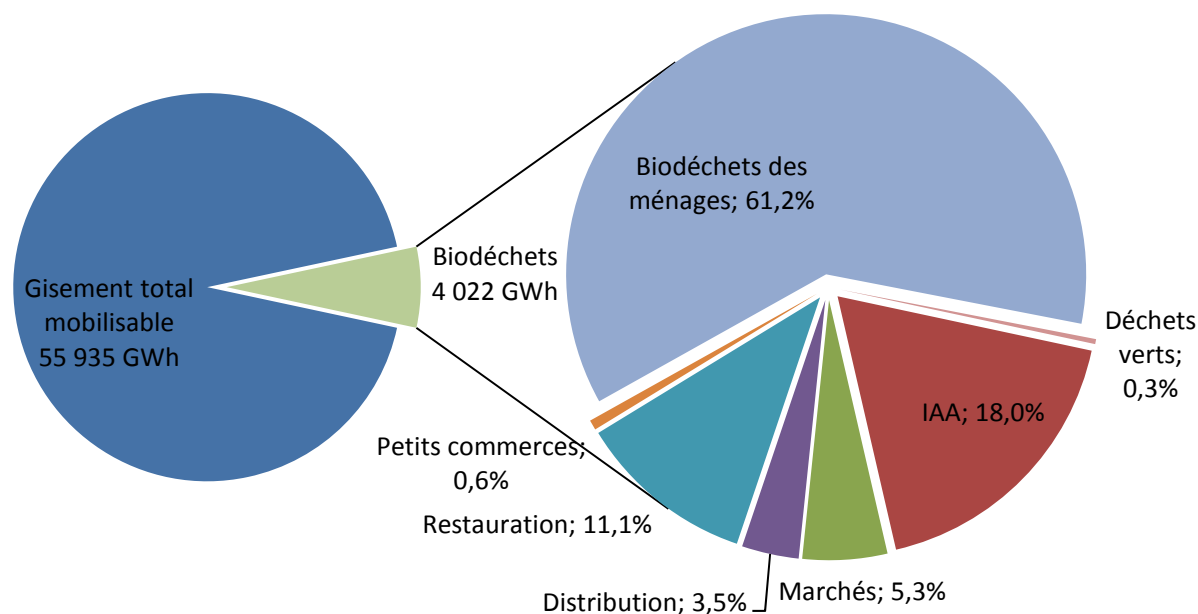
## Définition réglementaire :

*« Biodéchet : tout déchet non dangereux biodégradable de jardin ou de parc, tout déchet non dangereux alimentaire ou de cuisine issu notamment des ménages, des restaurants, des traiteurs ou des magasins de vente au détail, ainsi que tout déchet comparable provenant des établissements de production ou de transformation de denrées alimentaires. »*

*article 8 du décret n° 2011-828 du 11 juillet 2011*

# Potentiel national de biodéchets

## Répartition du gisement mobilisable en méthanisation



Source : Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation (Ademe 2013)

## 4 TWh c'est :

- 7% du gisement total méthanisable
- 46 000 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/h
- 185 MWé
- 1 % de la conso annuelle française en gaz naturel
- 0,1% de la puissance totale du parc électrique français

# Avantages et inconvénients

- Prétraitement des biodéchets = solutions techniques pour tirer avantage des inconvénients des biodéchets

😊 Avantages 😊	😞 Inconvénients 😞
Bon potentiel méthanogène	Forte instabilité dans le temps
Valorisation biologique obligatoire pour les biodéchets	Intégration dans le process de méthanisation
Filières de collecte en partie existantes	Présence d'indésirables
? Redevance de traitement ?	

# Briques technologiques

Nombreuses briques technologiques possibles :

- traitements physiques (thermique, décantation, broyage, ...)
- traitements chimiques (acide, alcalin, ...)
- traitements biologiques
- ...

Garder une cohérence par rapport à la réalité du marché et surtout par rapport au besoin :

- Contraintes réglementaires
- Gestion des indésirables
- Qualité de digestat
- Optimisation process (qualité biogaz, TRH, ...)

# Qualité et innovation

- Intégration du prétraitement essentielle dans la conception des installations et du business plan
- GT Qualité du club biogaz avec fiches, notamment sur le prétraitement
- Innovation : améliorer l'existant et trouver des nouveaux gisements
- Importance de l'équilibre économique pour développer le marché



Merci de votre attention



# La biodégradabilité des FFOM

---

*Rémy BAYARD*

*Laboratoire Déchets, Eau,  
Environnement (DEEP), INSA de Lyon*

## Vous avez dit FFOM?

**Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères (FFOM)** : Déchets ménagers putrescibles qui peuvent être traités par voie biologique et valorisée : déchets de cuisine, déchets verts domestiques (+ papiers, cartons?).

## Origine? Genèse?

**Déchets Ménagers et assimilés (DMA)**



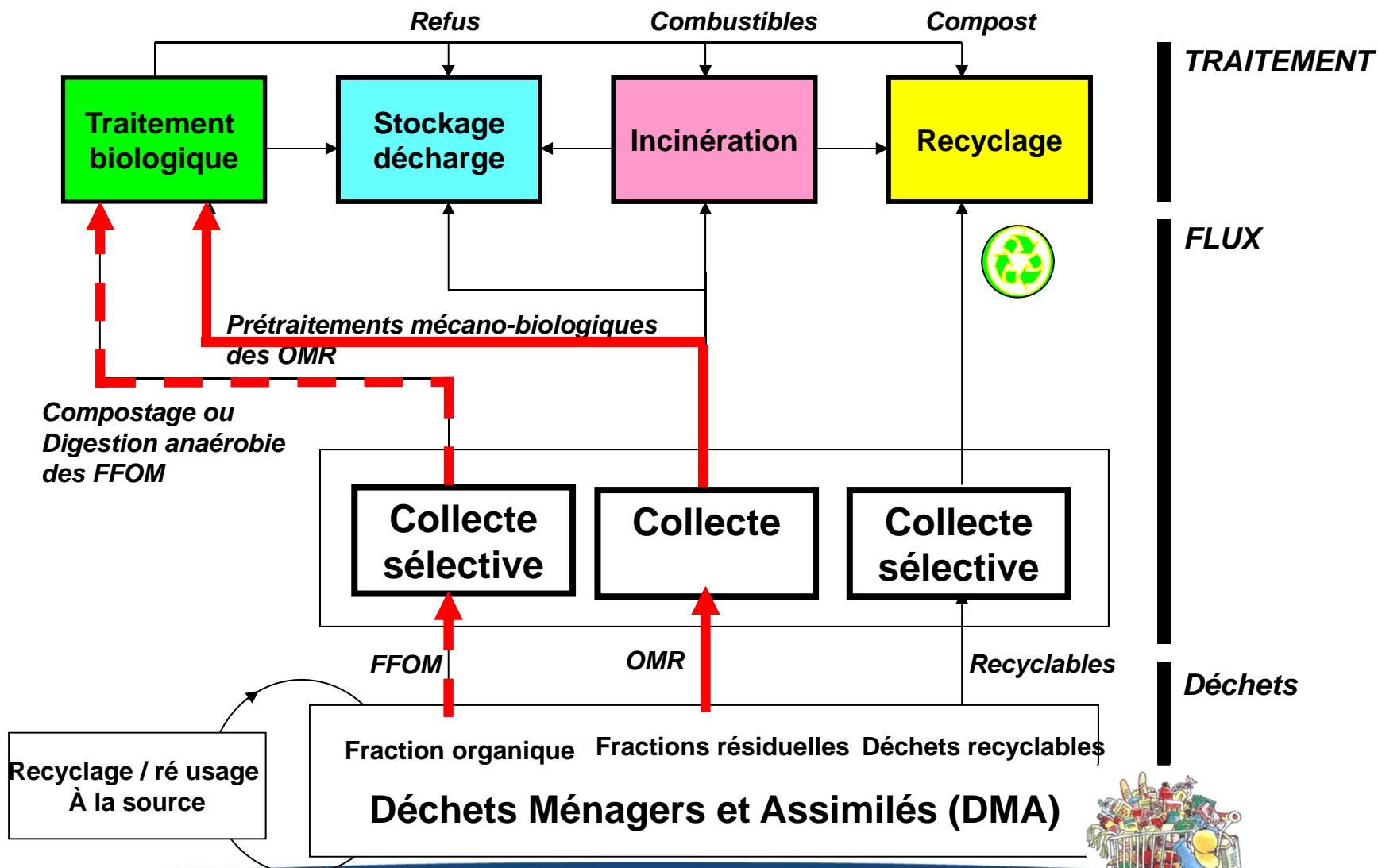
## Et que dit la loi ?

« Le service public de gestion des déchets décline localement ces objectifs pour réduire les quantités d'ordures ménagères résiduelles après valorisation. A cet effet, il progresse dans le **développement du tri à la source des déchets organiques**, jusqu'à sa généralisation pour tous les producteurs de déchets avant 2025, pour que **chaque citoyen ait à sa disposition une solution lui permettant de ne pas jeter ses biodéchets dans les ordures ménagères résiduelles**, afin que ceux-ci ne soient plus éliminés, mais valorisés. »

(Loi de transition énergétique de 2015)

Article 70 : [https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2015/8/17/DEVX1413992L/jo/article\\_70](https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2015/8/17/DEVX1413992L/jo/article_70)

# Les filières de traitement des DMA



# Questions associées à la valorisation de la MO fermentescible des DMA

*Variabilité et hétérogénéité des gisements (physiques, biochimiques et biologiques)*

- FFOM



- OMR





# Quantifier et caractériser des gisements

Echantillonnage



**Criblage et  
tris sur  
tables:**

> 100 mm  
20-100 mm  
< 20 mm (fines)

et

Identification de  
catégories



MODECOM™

# Quantifier et caractériser des gisements

Echantillonnage



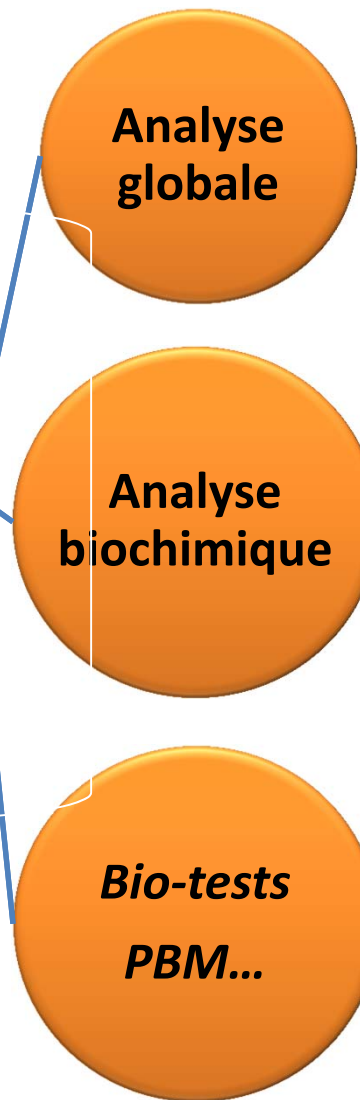
**Criblage et tris sur tables:**

- > 100 mm
- 20-100 mm
- < 20 mm (fines)

et

Identification de catégories

Fractions fermentescibles (DA et DV)	18.7%
Fines (< 20 mm)	34.9%
Papiers (papiers de bureau, magazines, journaux)	21,1%
Cartons (dont emballages)	15.5%
Textiles (coton, ...)	0.5%
Textiles sanitaires	3.0%
Combustibles non classés CNC	0.8%
Composites (Tetrabricks, emballages multicouches, ...)	5.1%
	0.5%



**Analyse globale**

**Analyse biochimique**

**Bio-tests PBM...**



# Caractériser... Méthodologie

- *Humidité, MV et autres techniques de quantification de la MO) et des indésirables*
- *Comportement à la lixiviation: pH, TAC, conductivité (G), MO soluble (test de lixiviation L/S = 10, 3h)*
- *Analyse biochimique des composés hydrocarbonés: Soluble (SL), HEM, CELL, RES ("lignin-like")*
- *PBM ou autres tests de quantification de la biodégradabilité de la MO*

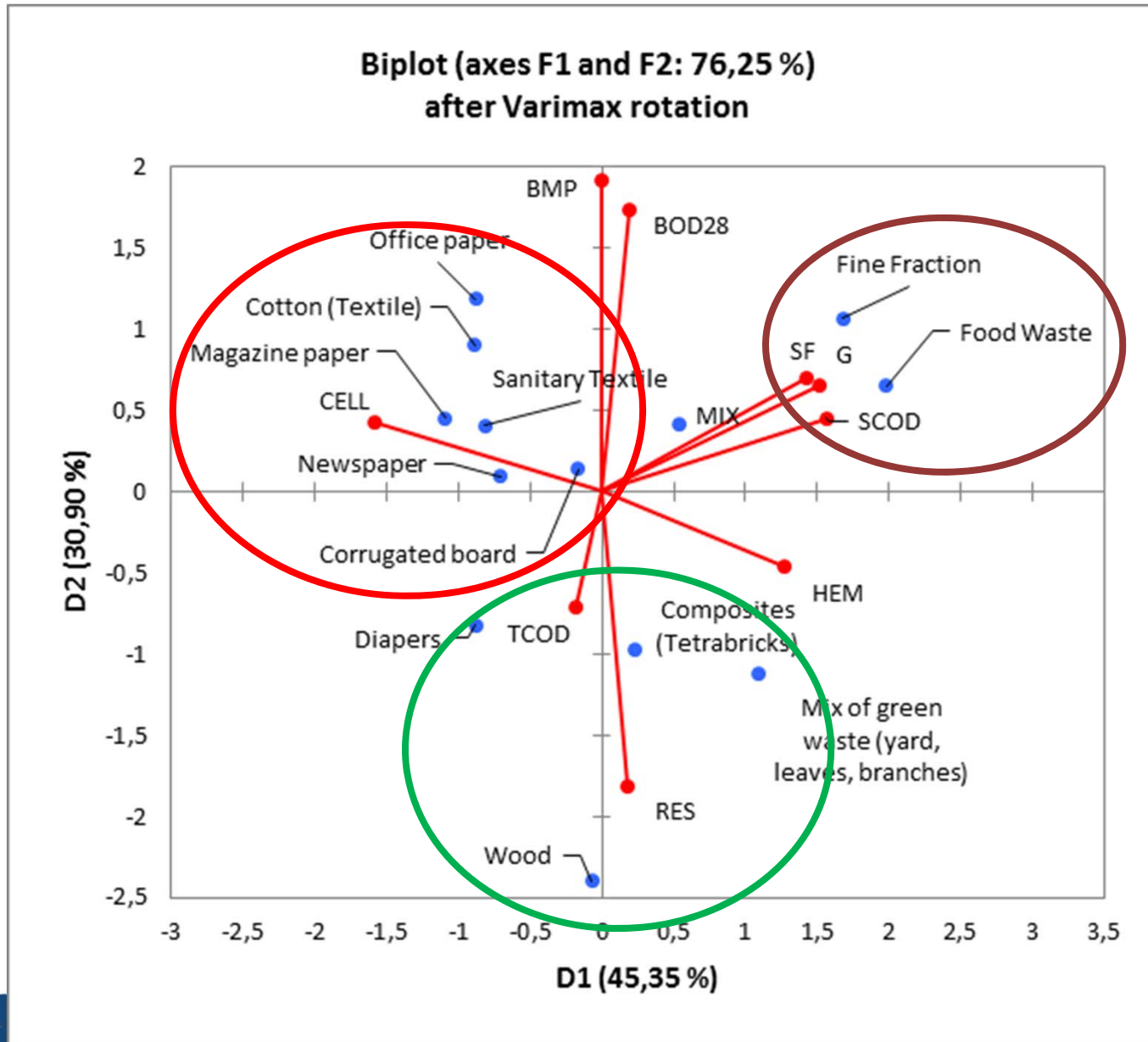
**Analyse globale**

**Analyse biochimique**

**Bio-tests  
BMP...**

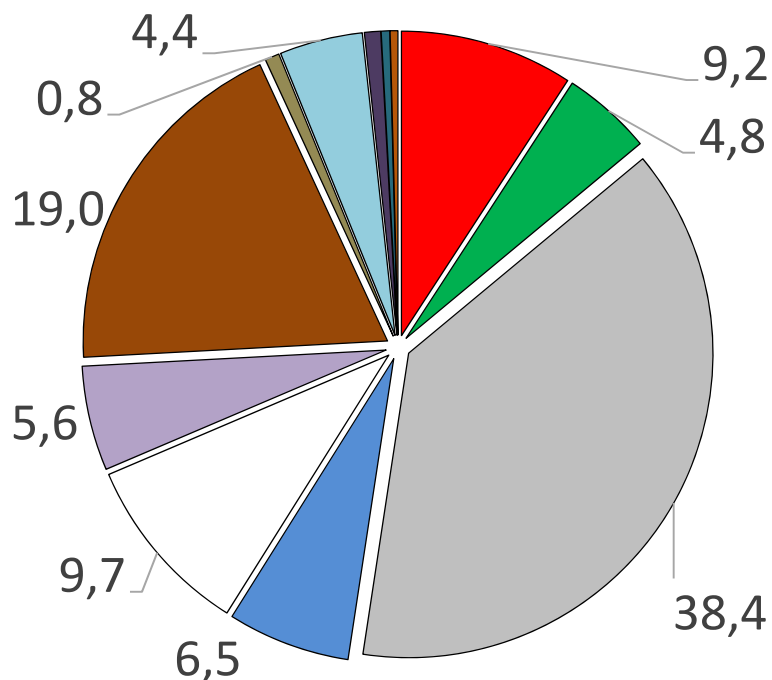














## ... hétérogénéité des fractions



## ... hétérogénéité des fractions

### Distribution du PBM par fraction dans un mix complexe type OMR



-  Déchets alimentaires
-  Déchets Verts
-  Fraction fine
-  Papiers journaux
-  Papiers bureaux
-  Papiers magazines
-  Cartons
-  Coton (Textile)
-  Textiles sanitaires
-  Couches bébés
-  Combustibles Non Classés
-  Composites

Mix OMR : détermination du PBM sur  
chaque catégorie :  $163 \text{ NL}_{\text{CH}_4} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{TS}}$

## ... les enjeux techniques pour une valorisation de la MO d'OMR en Digestion Anaérobie (DA)

- *Deux situations... Soit traiter des OMR en TMB, soit traiter des FFOM issues d'une collecte sélective*

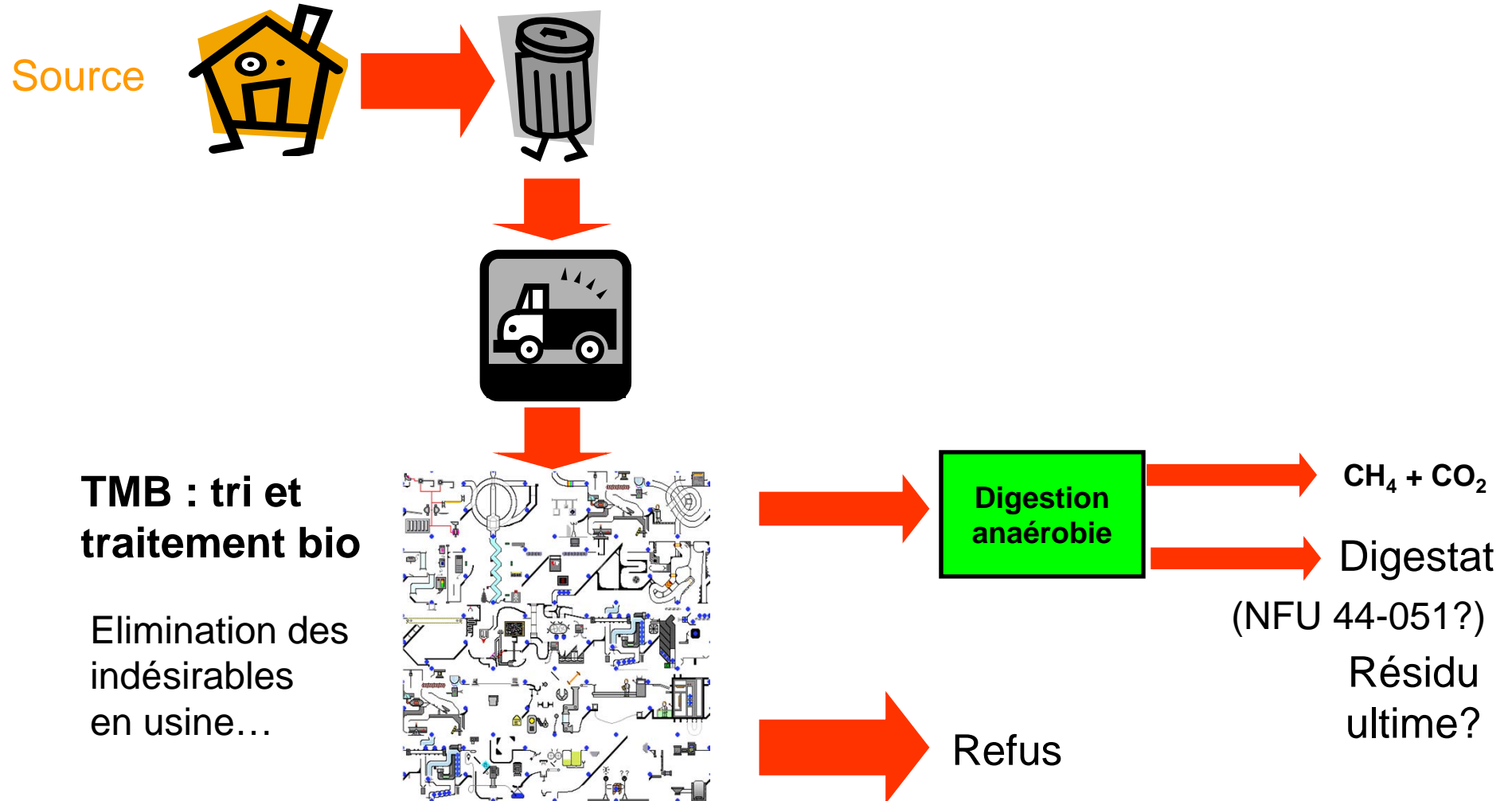
*Avec de nombreuses conséquences sur :*

- *Les conditions de collecte,*
- *La préparation de la charge : l'élimination des indésirables (inertes minéraux et organiques) ,*
- *Le stockage, et le prétraitement avant méthanisation,*
- *La filière de méthanisation – gestion territoriale ...*

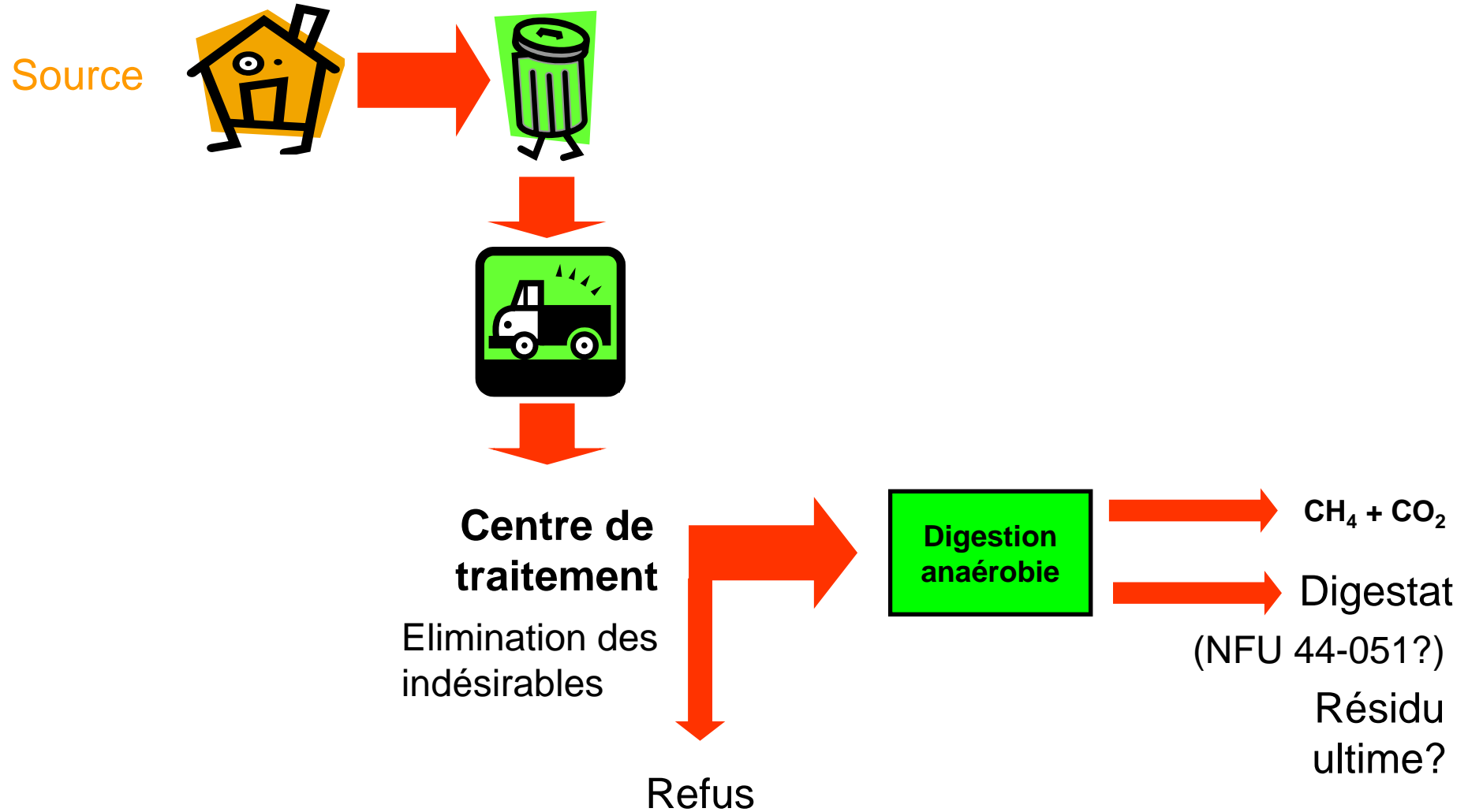
*sur le procédé :*

- *Le choix du procédé de digestion anaérobie (voie humide /sèche),*
- *Le fonctionnement du réacteur (Rendement, stabilité),*
- *La qualité des digestats.*

# OMR : collecte "non sélective" → tri en usine (PTMB)



# FFOM : collecte séparable



# Conditionnement et stockage des FFOM

- **Pourquoi? ... réduire les nuisances liées à la fermentation**
  - **Gestion des odeurs : nuisances olfactives**
  - **Gestion des risques sanitaires,**
  - **Gestion env. : émissions de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, ....**
  - **Conserver le potentiel biométhanogène : risque de pertes élevées en quelques jours**
- **Conserver le potentiel biométhanogène?**
  - **Sécher ?**
  - **Stériliser (par chauffage) ?**
  - **Acidifier?**
  - **Alcaliniser?**
  - **Compacter?**
  - **Réduire la durée de stockage ?**

# Prétraitement FFOM avant méthanisation

- **Pourquoi? ...**
  - **Séparer les éléments indésirables (plastiques, métaux, verre, ...)**
  - **Homogénéisation**
  - **Augmenter le potentiel bio-méthanogène?**
  
- **Comment?**
  - **Séparateurs solides/liquides**
  - **Broyeurs-pulpeurs**
  - **Augmenter le potentiel bio-méthanogène??? Hydrolyse chimique ou enzymatique ? oxydation ? Etc???**



## ....Nombreuses perspectives de recherche sur déchets fermentescibles

- **Conditions de stockage, pour limiter les pertes de matière et conserver le potentiel bio-méthanogène :**
  - Contrôle de l'humidité
  - Confinement (absence d'air) - ensilage (*projet SAM – ADEME en partenariat avec APESA*)
- **Prétraitement :**
  - Préparation mécanique de la charge (broyeur, pulpeur, dilacérateur) (projet PAM en cours de montage)
- **Traitement et valorisation des FFOM en milieu urbain :**
  - Orientation et traitement des BioDéchets en territoire Urbain pour une gestion optimisée
  - Micro-méthanisation

REMY BAYARD

*DEEP INSA de Lyon, France*

*remy.bayard@insa-lyon.fr*

*Tel : 04-72-43-87-53*

<http://www.insa-lyon.fr>

<http://deep.insa-lyon.fr>





# Prétraitements thermochimiques des intrants pour améliorer la production de biogaz

Hélène CARRERE

Laboratoire de biotechnologie de l'Environnement, INRA, Narbonne



[helene.carrere@supagro.inra.fr](mailto:helene.carrere@supagro.inra.fr)

<http://www6.montpellier.inra.fr/narbonne>

# Les différents intrants et leurs limitations

- Les substrats difficilement hydrolysables
  - Composés lignocellulosiques
    - Accessibilité des sucres limitée par la présence de lignine
  - Graisses
    - Insolubles, contact avec les micro-organismes
  - Boues
    - Matériel intracellulaire non accessible

→ Objectif du prétraitement:  
rendre accessible la matière biodégradable

*Carrere et al. Review of pretreatment strategies for improved feedstocks anaerobic biodegradability: from lab-scale research to full-scale application, Bioresource Technology, 199 (2016) 386-397*

# Les différents intrants et leurs limitations

- Les substrats facilement hydrolysables

- e.g. fruits, déchets de cantine...

Production importante d'AGV

Risque d'acidose

→ Objectif du prétraitement:  
Réduire les teneurs en AGV

# Les prétraitements thermo-chimiques

- Prétraitements thermiques

- Température < 100°C

- Durée faible: faible solubilisation, hygiénisation (1 h, 70°C)

- Durée élevée (1 à quelques jours): mécanismes biologiques

- Température > 100°C (150-220°C, quelques min)

- traitement hydro-thermal, explosion à la vapeur

- Solubilisation modérée

- Explosion des cellules

- Dégradation de la lignine

# Les prétraitements thermo-chimiques

- Prétraitements acides

150-200°C, ≈ 30 min, 0,5 à 5 g acide/100 g MS

HCl, (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à éviter)...

Solubilisation des sucres

- Prétraitements alcalins

20-50°C, quelques jours, 1 à 10 g base/100 g MS

NaOH (digestat), KOH, CaO, NH<sub>3</sub> (à recycler)

Saponification des graisses

Dégradation/solubilisation des protéines

Dégradation/solubilisation de la lignine

# Les prétraitements des FFOM

- De nombreuses études basées sur BMP

Large gamme d'impact: 0 à +120% d'amélioration du BMP

*Cesaro and Belgiorno, Pretreatment methods to improve anaerobic biodegradability of organic municipal solid waste fractions, Chemical Engineering Journal, 240 (2014) 24-37*

*Zhang, Su, Bayens and tan Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 38 (2014) 383-392*

## BMP

- Batch
- Milieu dilué
- Durée → conversion totale

## Méthanisation industrielle

- Continu
- Concentration en MS élevée
- TSH : 10-30 j
- Impact du PT sur rendement biogaz et cinétique



# Exemples résultats de prétraitements

	BMP	Méthanisation continue TRH=21 j
Tiges tournesol 4% NaOH, 55°C, 24 h	+43%	+26%
Sorgho fourrager 10% NaOH, 40°C, 24 h	+15%	+25%

réacteur plus stable (alcalinité)

→ Ne pas extrapoler les performances du prétraitement sur le BMP à l'échelle industrielle

*Monlau et al., Alkaline pretreatment to enhance one-stage CH<sub>4</sub> and two-stage H<sub>2</sub> /CH<sub>4</sub> production from sunflower stalks: mass, energy and economical balances, Chemical Engineering Journal, 260(2015) 377-385*  
*Sambusiti et al. Benefit of sodium hydroxide pretreatment of ensiled sorghum forage on the anaerobic reactor stability and methane production Bioresource Technology, 144 (2013) 149-155*

# Les prétraitements des FFOM

- Peu d'études en digestion continue (échelle labo)

Prétraitement aérobie (1 j) et méthanisation sèche (30%TS),  
TRH= 15 j

→ + 73% biogaz

*Fdz-Guelfo et al., Biological pretreatment applied to industrial organic fraction of municipal solid wastes (OFMSW): Effect on anaerobic digestion, Chemical Engineering Journal, 172 (2011) 321-325*

Prétraitement aérobie et méthanisation humide, batch 12 j

→ 2 j suffisent auto-échauffement ( 60°C)

→ - 28% biogaz si 6 j de prétraitement (pertes de CO<sub>2</sub>)

*Charles et al., Effect of pre-aeration and inoculum on the start-up of batch thermophilic anaerobic digestion of municipal solid waste, Bioresource Technology 100 (2009) 2329-2335*

# Les prétraitements des FFOM

- Peu d'études en réacteurs à l'échelle pilote

Compostage (auto-échauffement jusqu'à 60°C, 6-7 j)  
et méthanisation semi-sèche (16-22% TS)

- + 32% biogaz si faible charge et TRH élevé (>12 j)
- -11% biogaz si forte charge et TRH faible (6 j)

*Mata-Alvarez et al., 1993, Semidry thermophilic anaerobic digestion of fresh and pre-composted organic fraction of municipal solid-waste (MSW) - Digester performance. Water Science and Technology, 27(2), 87-96*

Extrusion et codigestion avec des boues

(10% TS, OLR = 4,3 kgVS/m<sup>3</sup> j, TRH = 20 j)

- Elimination indésirables
- 500 L CH<sub>4</sub>/ kg VS

*Novarino & Zanetti, Anaerobic digestion of extruded OFMSW, Bioresource Technology 104 (2012) 44-50*

# Les prétraitements des FFOM

- A l'échelle industrielle

## Traitement thermique/ Explosion à la vapeur:

150-170°C qqes bars, 20-30 min

procédé développé pour les boues d'épuration  
appliqué aux FFOM en codigestion (boues)

L'usine de Lillehammer (Norvège) traite uniquement les FFOM



→ réduction de la viscosité,

→ meilleure séparation des plastiques

A partir de 1000 kg FFOM, 620 kg dans méthaniseur

→ 60 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> et 150 kg digestat

Cambi™

# L'hygiénisation

## Appliquée à l'échelle industrielle

> 70°C, 1 h : déchets d'abattoirs, déchets de cantine

→ Possibilité d'optimiser pour la production de biogaz

## Ajout d'un alcalin : saponification des graisses

Déchets abattoirs : 0,04 mol NaOH/g DCO, 70°C, 60 min

→ +35 à 50% CH<sub>4</sub> en méthanisation semi-continue (TRH= 33 j)

*Affes et al., Saponification pretreatment and solids recirculation as a new anaerobic process for the treatment of slaughterhouse waste, Bioresource Technology, 131 (2013), 460-468*

Mélange boues /eaux grasses: 0,14 g KOH/g TS, 80°C, 30 min

→ +58% CH<sub>4</sub> en méthanisation semi-continue (TRH= 21 j)

*Carrere et al, Improved codigestion of waste activated sludge and fatty wastewater: Impact of thermo-alkaline pretreatment of mixed waste on batch and semi-continuous processes, Chemical Engineering Journal, 210 (2012) 404-409*

# Conclusion

- Impact des prétraitements

- 😊😊 augmentation de la production de biogaz
- 😊 augmentation des vitesses de méthanisation ( $\searrow$ TRH)
- 😞 Perte de matière biodégradable
- 😞😞 Production de composés réfractaires

- Prétraitement thermiques/thermochimiques

Favoriser l'utilisation de la chaleur issue du biogaz et récupération de chaleur

Echelle industrielle : thermique plus implanté que thermo-chimiques  
Intérêt de l'alcalin pour graisses et lignocellulose  
mais présence de sels dans le digestat



# Merci pour votre attention...

## Prétraitements thermochimiques des intrants pour améliorer la production de biogaz

Hélène CARRERE

Laboratoire de biotechnologie de l'Environnement, INRA, Narbonne



[helene.carrere@supagro.inra.fr](mailto:helene.carrere@supagro.inra.fr)

<http://www6.montpellier.inra.fr/narbonne>



# Préparation des entrants : quels enjeux pour la méthanisation

Louis Baillet,  
Responsable Développement biodéchets  
SUEZ Organique



# Sommaire

**1- Le Marché**

**2- Retour d'expériences**

**3- La chaine de valeur**

**3- Circuit de valorisation vertueux: les clés de la réussite**

# 1- Le marché des biodéchets en France

## Définition des Biodéchets

Tout déchet non dangereux biodégradable de jardin ou de parc, tout déchet non dangereux alimentaire ou de cuisine issu notamment des ménages, des restaurants, des traiteurs ou de magasins de vente au détail, ainsi que tout déchet comparable provenant des établissements de production ou de transformation de denrées alimentaires.

Source : Art 541-8 Code de l'environnement

A compter du 1er janvier 2012, les personnes qui produisent ou détiennent des quantités importantes (...) de biodéchets sont tenues de mettre en place **un tri à la source et une valorisation biologique** (...) de manière à limiter les émissions de gaz à effet de serre et à favoriser le retour au sol.



Source : 204 de la loi «Grenelle 2»

**Divers déchets alimentaires emballés**



**Déchets de fruits & légumes**  
*En vrac*



**Déchets de légumes**  
*Sur palette*



# 1- Le marché des biodéchets en France

## Seuils d'obligation du tri et valorisation biologique (méthanisation ou compostage)

Loi n° 2010-788 du 12/07/10 - article 204 - Fixation des seuils par l'arrêté du 12 juillet 2011

SEUILS DE PRODUCTION	BIO-DÉCHETS	HUILES ALIMENTAIRES
2012	120 TONNES / AN	1 500 LITRES / AN
2013	80 TONNES / AN	600 LITRES / AN
2014	40 TONNES / AN	300 LITRES / AN
2015	20 TONNES / AN	150 LITRES / AN
2016	10 TONNES / AN	60 LITRES / AN

## Le marché français du biodéchet

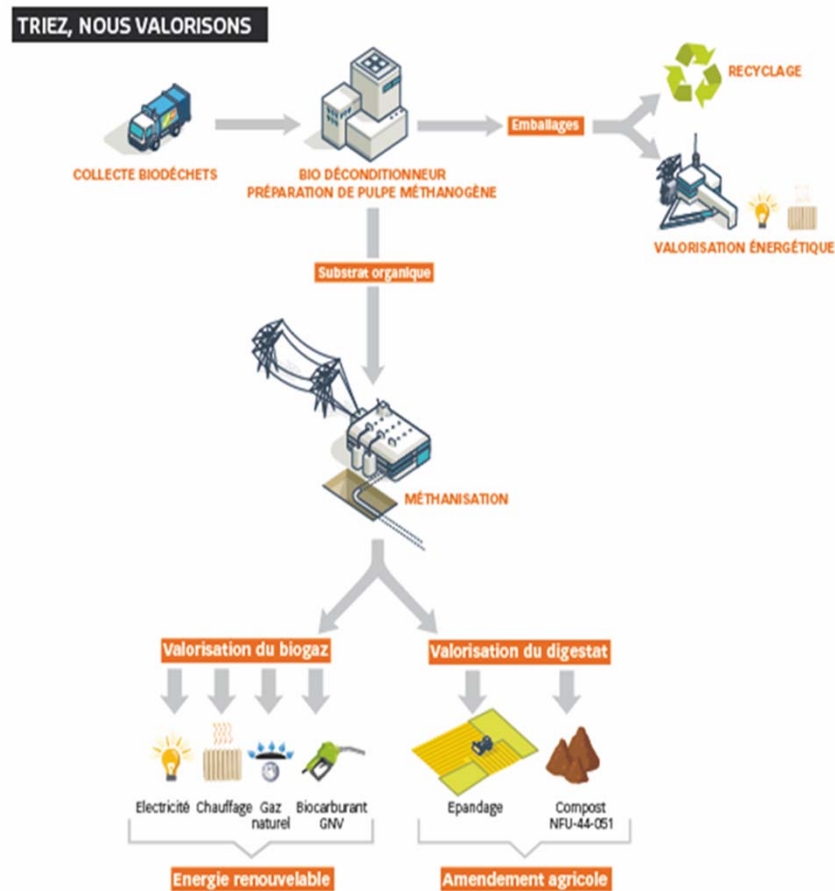
Source: étude ADEME retravaillée Suez a projection 2030

KT	IAA	Gros producteurs > 10T	Collecte Sélective	Total
Marché français	2319 KT	1219 KT	6921 KT	10 459 KT

Ouverture réglementaire  
2025

## 2- Retour d'expériences

Le circuit des biodéchets



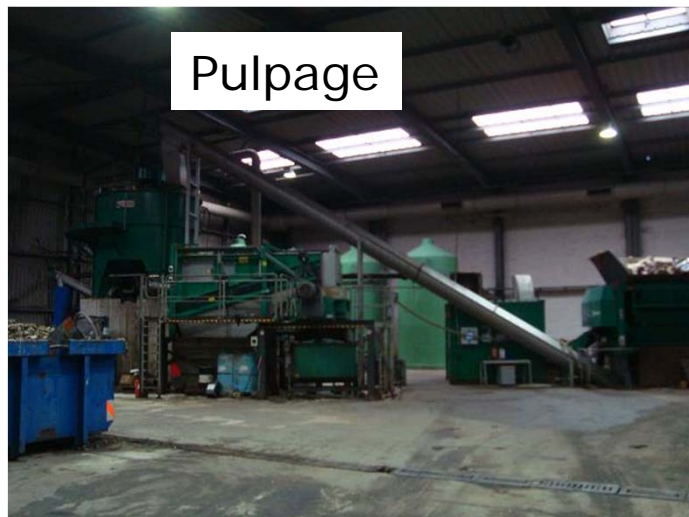
### Etat de la situation

- Prix de marché en référence au prix du DIB
- Nouveau marché ayant des contraintes très élevés et pas encore maîtrisés
- Volumes pas au rendez vous

### Perspectives et déploiement de l'offre

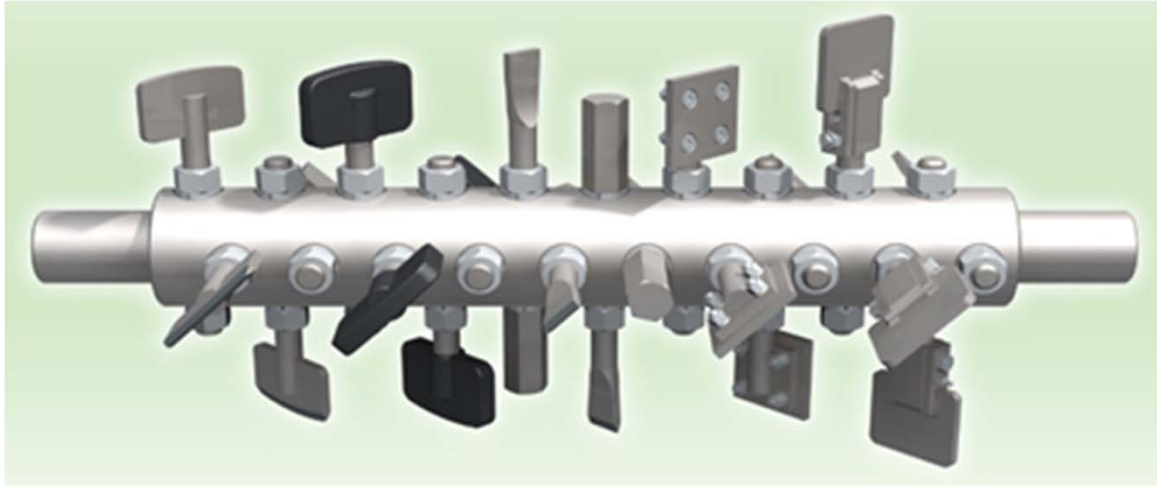
- Une culture du tri en cours d'apprentissage
- Le contexte réglementaire
- Un maillage territorial encore faible

# Différentes technologies de biodéconditionneurs

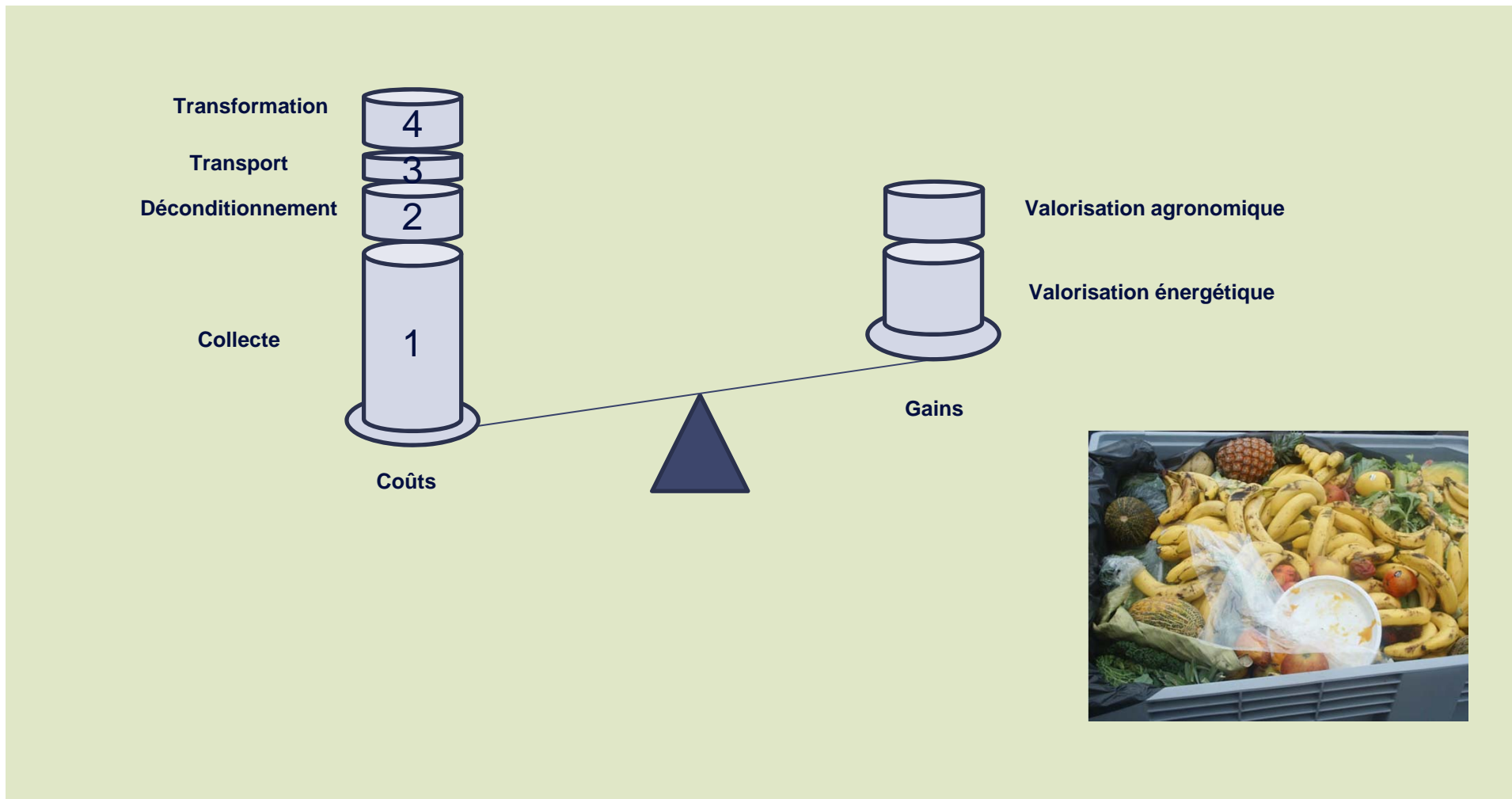




## Exemple de l'Atritor: centrifugation



# 3- La chaîne de valeur



## 1 MILLION DE TONNES DE DECHETS ORGANIQUES VALORISEES PAR SUEZ (2015)

### Biodéconditionneurs

- 6 biodéconditionneurs : Bordeaux, Besançon, Toul, Tours, Combrée, Strasbourg (et plus de 20 projets en cours)
- Séparation de la fraction organique des emballages
- Préparation d'une pulpe méthanogène de haute qualité
- 1000 clients de la restauration, de l'agro-alimentaire, de la grande distribution, des logisticiens
- 60 000 tonnes/an de biodéchets déconditionnés

### Compostage et épandage

- Exploitation de 81 unités de compostage
- Production d'amendements et engrais organiques normés (NFU 44-051, NFU 44-095)
- 5 000 clients et agriculteurs partenaires
- 350 000 tonnes/an de fertilisants commercialisés

### Méthanisation

- 2 méthaniseurs en exploitation : Combrée et Faulquemont
- Participation et commercialisation de 40 méthaniseurs
- Dégradation de la matière organique par des bactéries, en l'absence totale d'air et d'oxygène.
- Double valorisation
  - Energétique  
Valorisation du biogaz en énergie (électricité, chaleur...)
  - Agronomique  
Valorisation de l'amendement organique en épandage ou compost normé



### 3- Circuit de valorisation vertueux: les clés de la réussite

- Maitrise des process de collecte, transport, déconditionnement, valorisation
- Massification des unités de collecte, traitement et valorisation sur le terroir national
- Maitrise des gisements:  
=> implication de tous, qualité des biodéchets, circuit de captation et gestion des enlèvements.
- Optimisation des coûts et/ou recettes de valorisation (énergétique, agronomique, csr)
- R&D, innovation (collecte, traitement, valorisation) ...

#### **accompagnement / partage et retour d'expériences / veille technologique et innovations**

2025: ouverture réglementaire du marché des biodéchets des ménages: 6000 KT  
Quelles problématiques  
Quelle qualité  
Quelles solutions de préparation  
Quelles solutions de valorisation