

LES FILIÈRES DE LA DIGESTION ANAÉROBIE ET LA VALORISATION DU BIOGAZ DANS UN CONTEXTE DE BIORAFFINERIE ENVIRONNEMENTALE

Eric LATRILLE, Jean-Philippe STEYER

**Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement
(INRA-LBE Narbonne)**



Hier et aujourd'hui

**Effluents liquides
ou déchets solides
organiques**



CH₄ → Électricité et chaleur

**Produits
épurés**

**Digestat : sous produit
épandu, composté ou traité**

Qu'est-ce que la digestion anaérobie ?

- **Un processus de dégradation de la matière organique**



- Production d'un produit biologiquement stable et partiellement hygiénisé
- Valorisation agronomique possible selon la qualité du produit final

- **Une transformation de la matière organique en biogaz, à haute valeur énergétique**

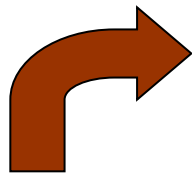
→ Conversion du biogaz en énergie électrique, thermique, carburant, ...

La méthanisation : un procédé complexe

1. Les gisements.

Caractérisation de la matière organique et biodégradabilité

prédictive



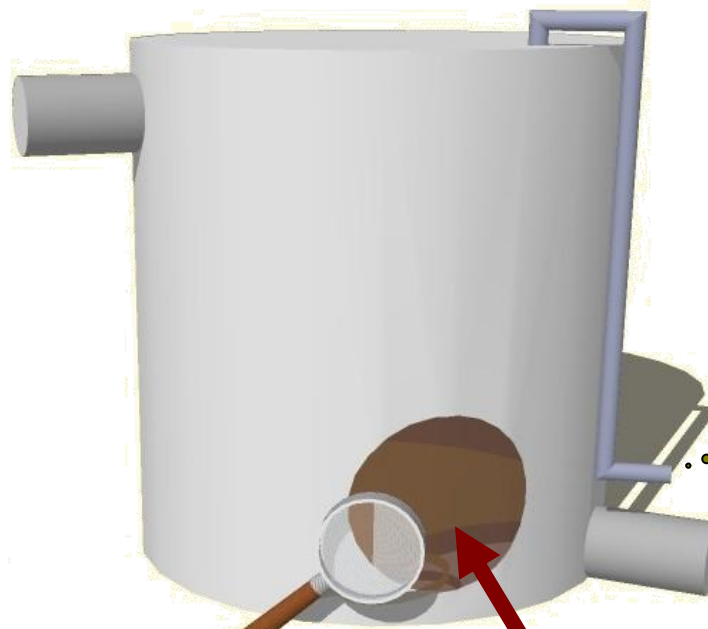
Déchet
Complexe,
hétérogène



Activité biologique non
mesurable

3. Modélisation et biodiversité
fonctionnelle

2. Hydrolyse, transfert et hydrodynamique



Conditions réactionnelles
Inhibitions

Biogaz (CH_4 , CO_2 et/ou H_2)



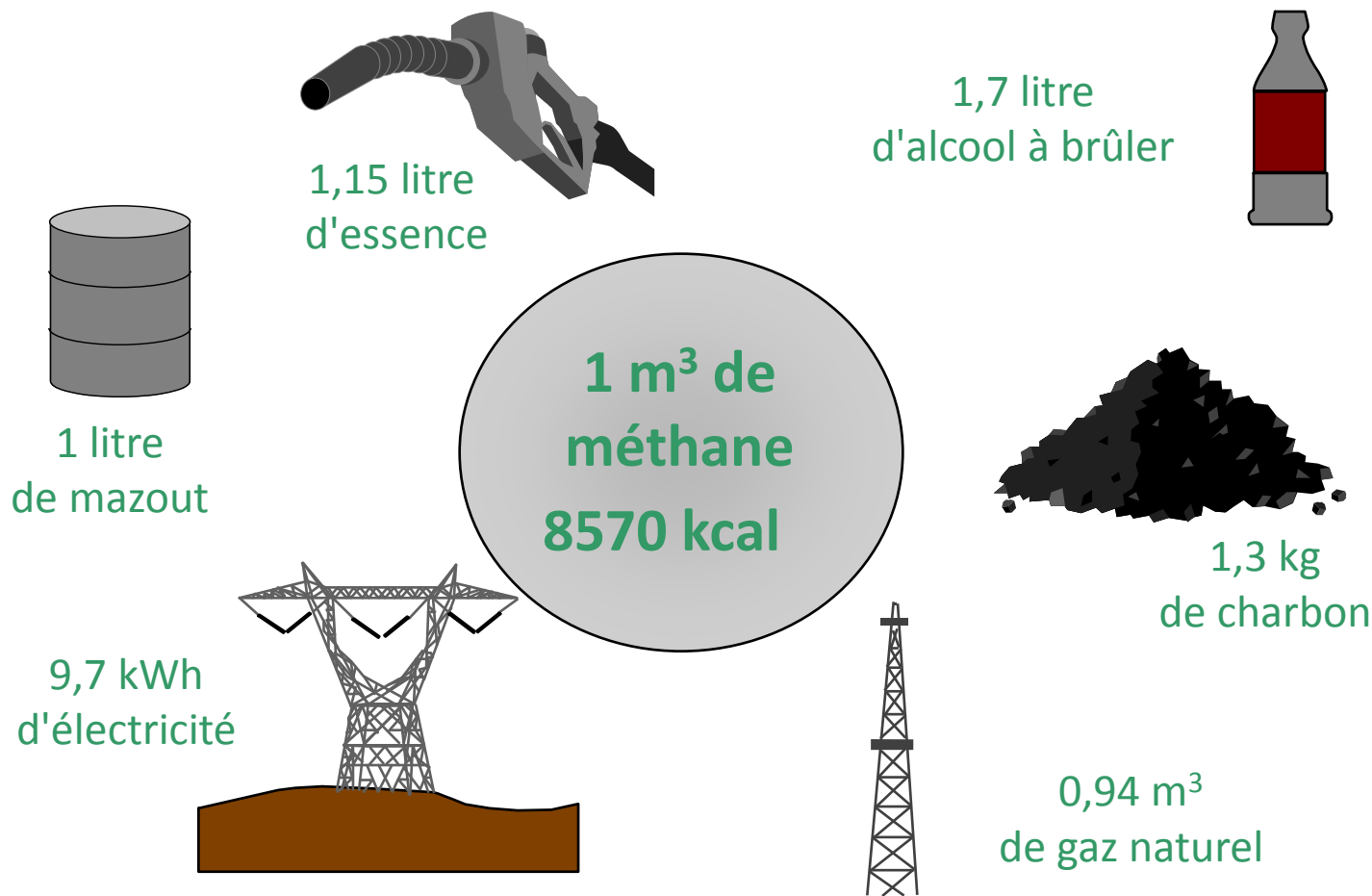
Digestat

4. Commande et optimisation des
performances

Le principe de la conservation de la DCO
(demande chimique en oxygène) :
la DCO est convertie en méthane (CH_4) et en
hydrogène (H_2).

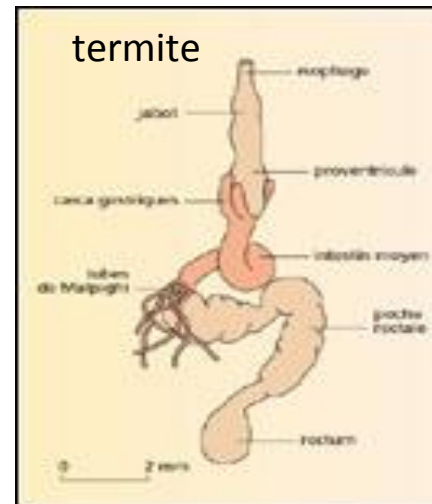
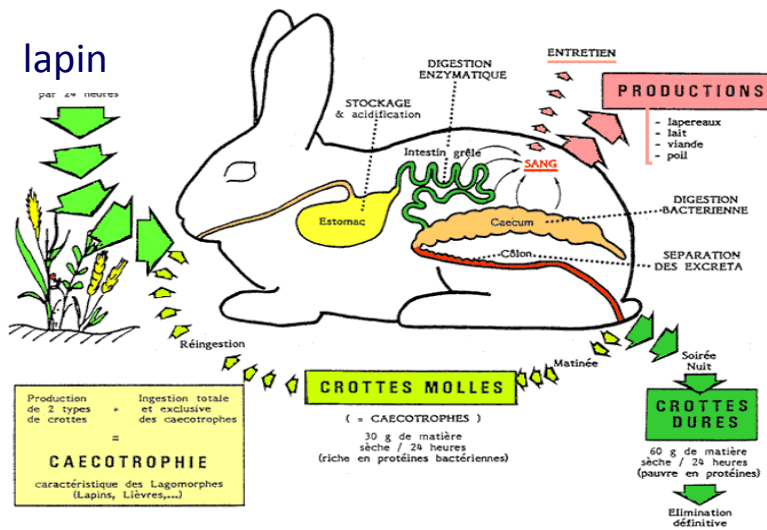
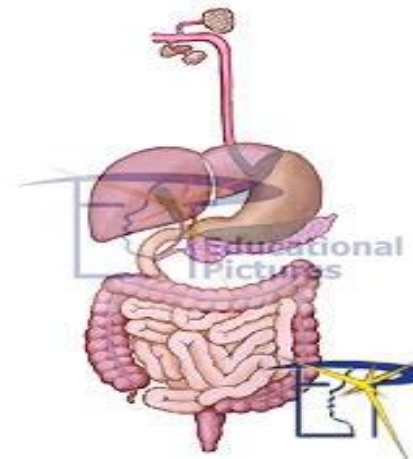
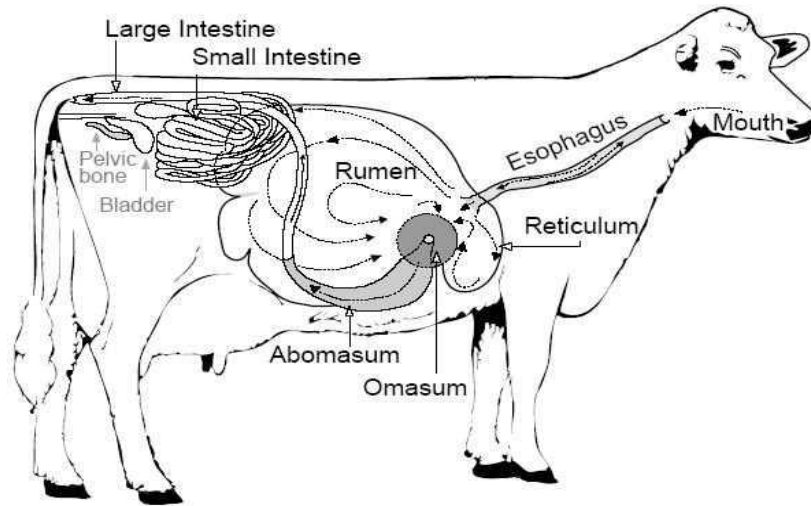
- 1 kg de sucre donne 350 litres de méthane (CH_4) si la conversion est totale.
- 1 kg de sucre donne 600 litres de biogaz : mélange de méthane (CH_4) à 70% et de CO_2 à 29% + traces de H_2S , NH_3 , H_2O .
- 1 kg de sucre donne 500 litres de biogaz : mélange d'hydrogène (H_2) à 50% et de CO_2 à 50% ... mais il reste 70% de la DCO non dégradée !

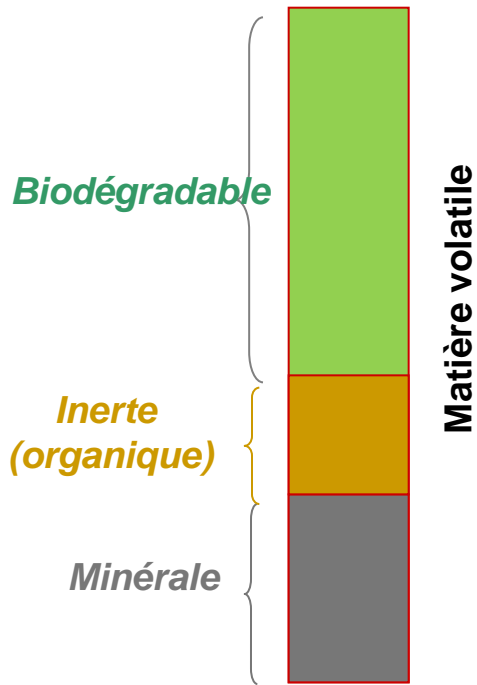
Equivalences énergétiques



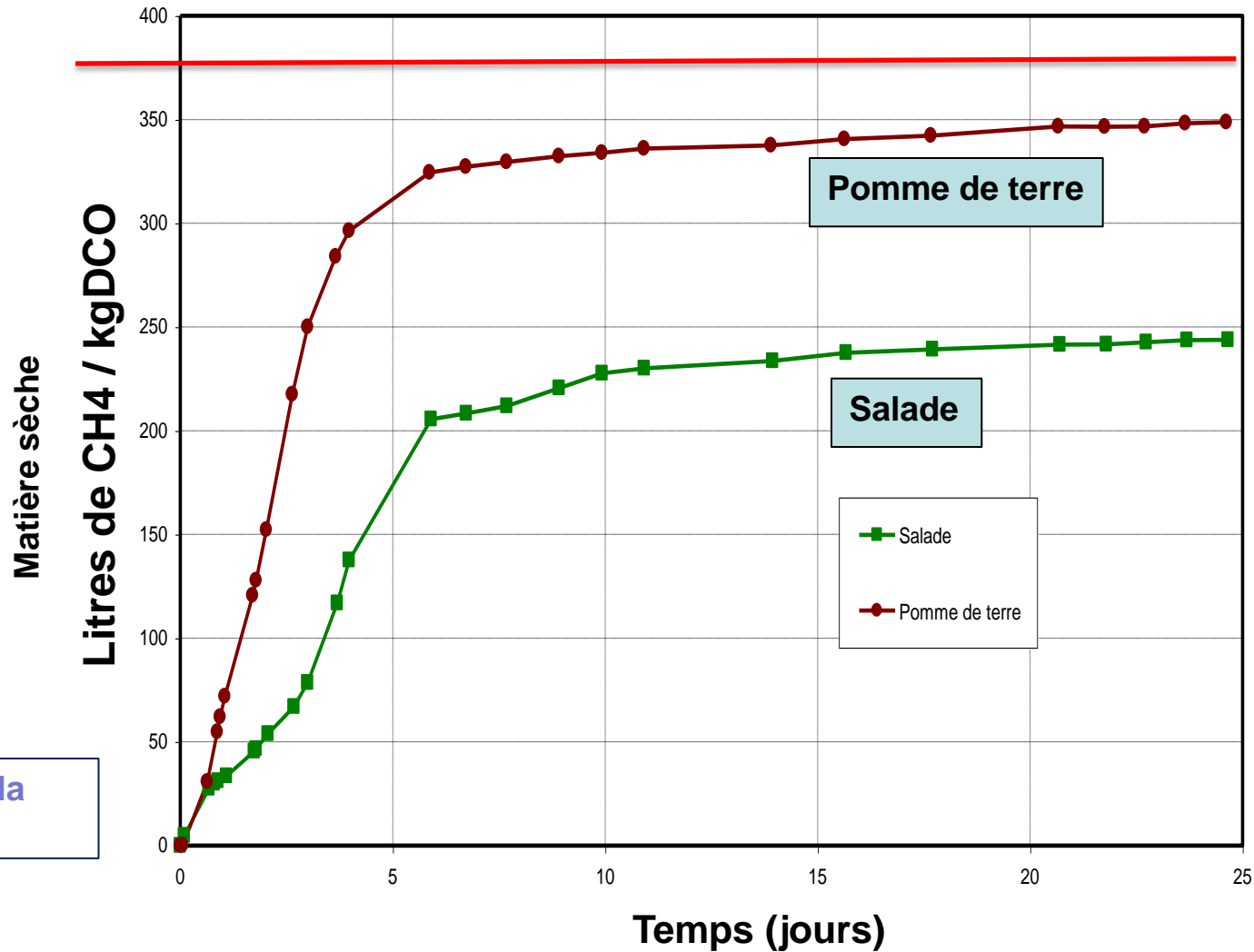
*Ne tient pas compte des efficacités et des rendements de conversion.
Enorme atout de l'injection directe dans le réseau de gaz.*

La digestion anaérobie : un écosystème naturel





+ EAU (75% à 99%) de la masse brute totale



- Etablir quelle fraction de la DCO initiale a été convertie en méthane
- Accéder à la biodégradabilité d'un composé donné
- Fractionner la matière organique en deux compartiments

Quelques grandeurs de dimensionnement

- La charge volumique appliquée : CVA (Organic Load Rate - OLR)

Flux de matière ramené à l'unité de volume du réacteur.

$$CVA = \frac{Q_{in} \times C_{in}}{V_{réacteur}} \quad \text{En kg.m}^{-3}.\text{j}^{-1}$$

Selon les installations : 5 à 10 kgMV/m³/j

- Le temps de séjour hydraulique : TSH (j)

$$TSH = \frac{V_{réacteur}}{Q_{in}}$$

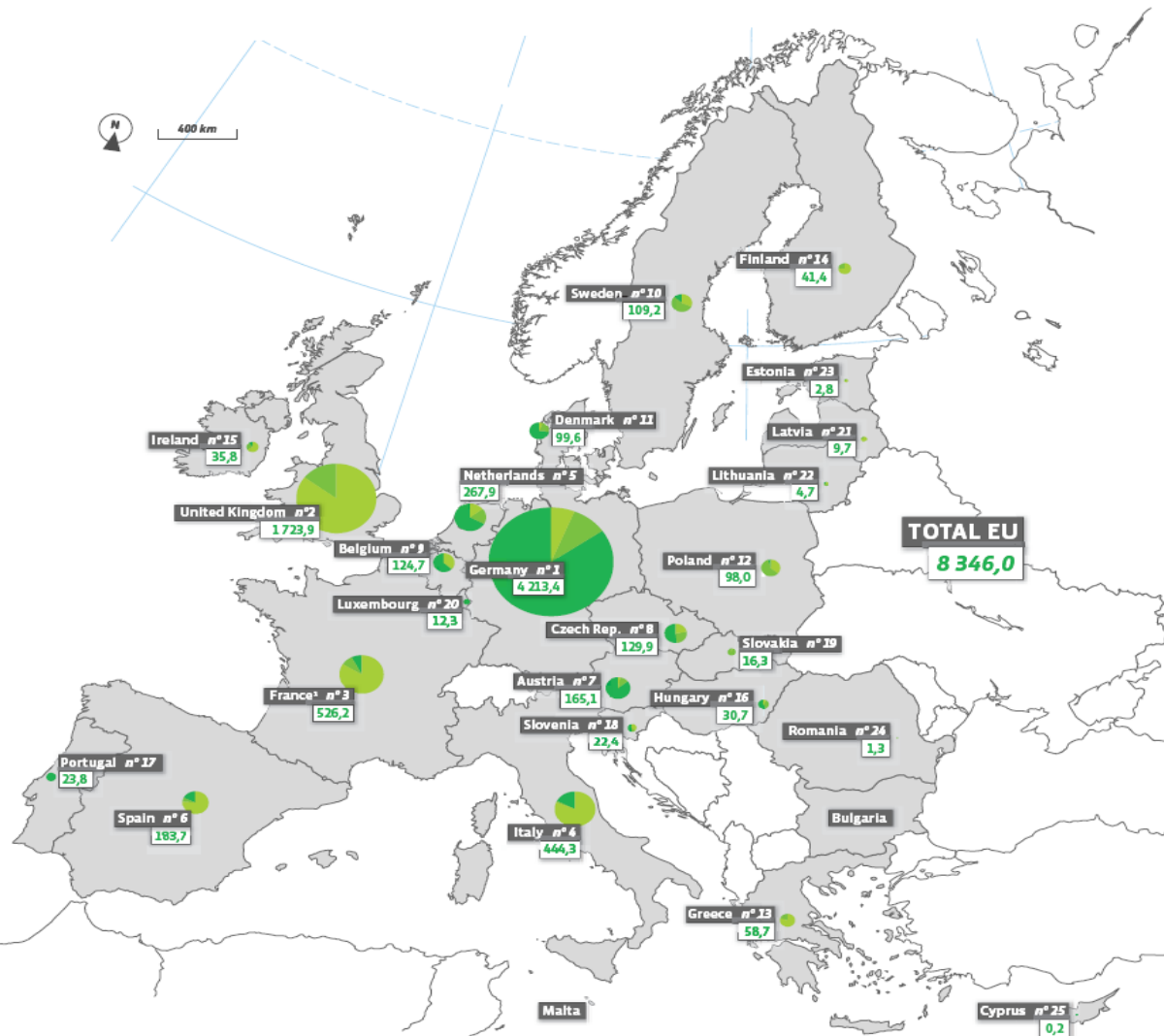
Temps « moyen » passé par les déchets dans le méthaniseur.

Varie de 15 à 30 jours selon les installations (Thermophiles < Mésophiles).

- Rendement global

$$\eta = \frac{DCO_{in} - DCO_{out}}{DCO_{in}}$$

La méthanisation en Europe – Quelques chiffres



Légende

4 213,4 Les chiffres en vert indiquent la production totale en ktpe.

- Biogaz de décharges.
- Station d'épuration urbaine et industrielle.
- Unité décentralisée de biogaz agricole, unité de méthanisation des déchets municipaux solides, unité centralisée de codigestion.

Décharges Stations d'épuration Agricole et déchets ménagers

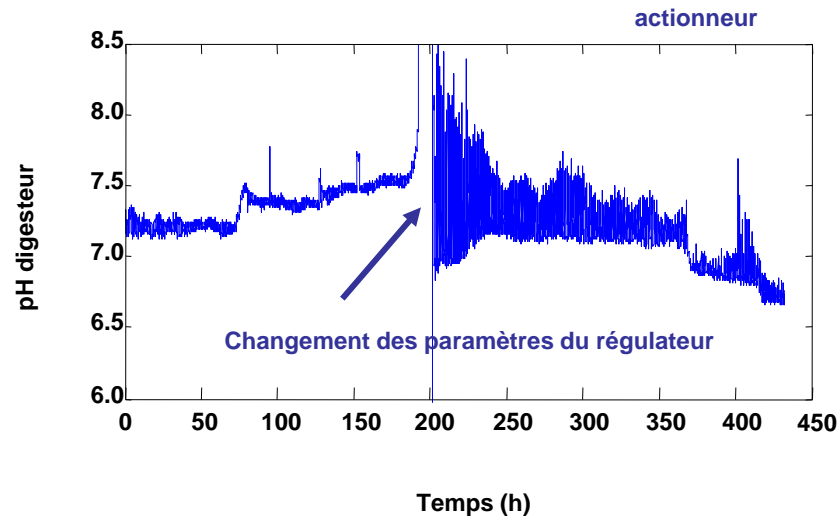
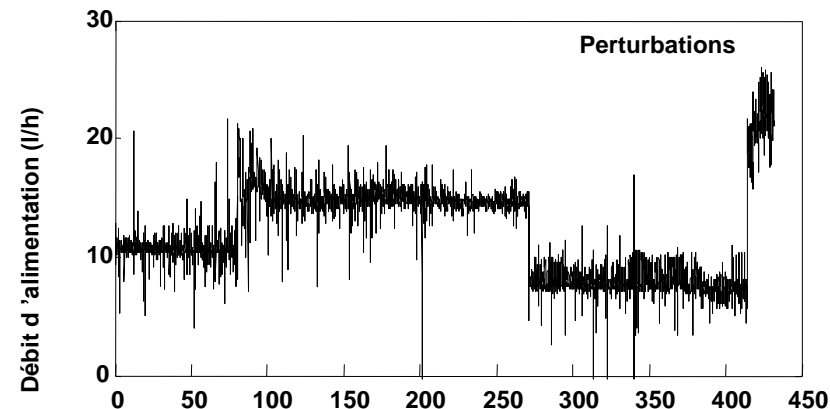
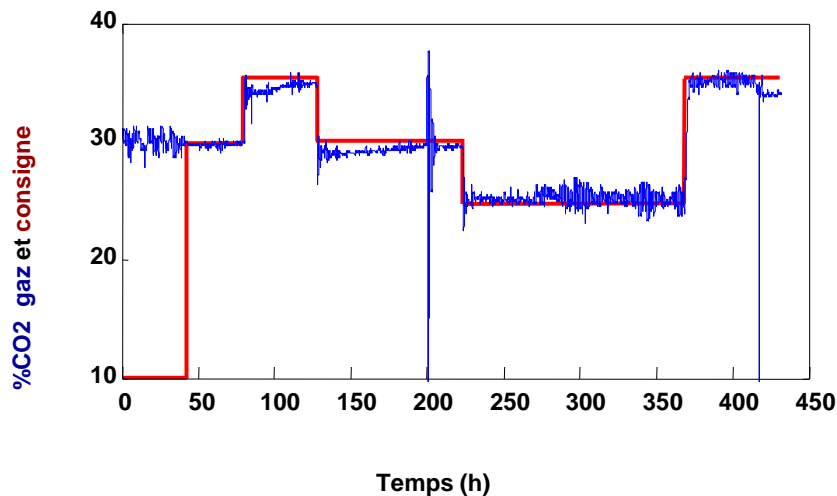
- **Energie Primaire**
 - 8 350 ktpe
 - Allemagne
 - Royaume Uni
 - France

- **Electricité**
 - 25,1 TWhel
 - Allemagne
 - Royaume Uni
 - Italie

- **Chaleur**
 - 141 ktpe
 - Allemagne
 - Dannemark
 - Finlande

Régulation du % de CO₂ à l'aide du débit d'alimentation.

Nécessite la mesure en ligne de l'alcalinité, de la concentration en acides gras volatiles et %CO₂



Un très bon comportement sur le long terme malgré des perturbations externes.

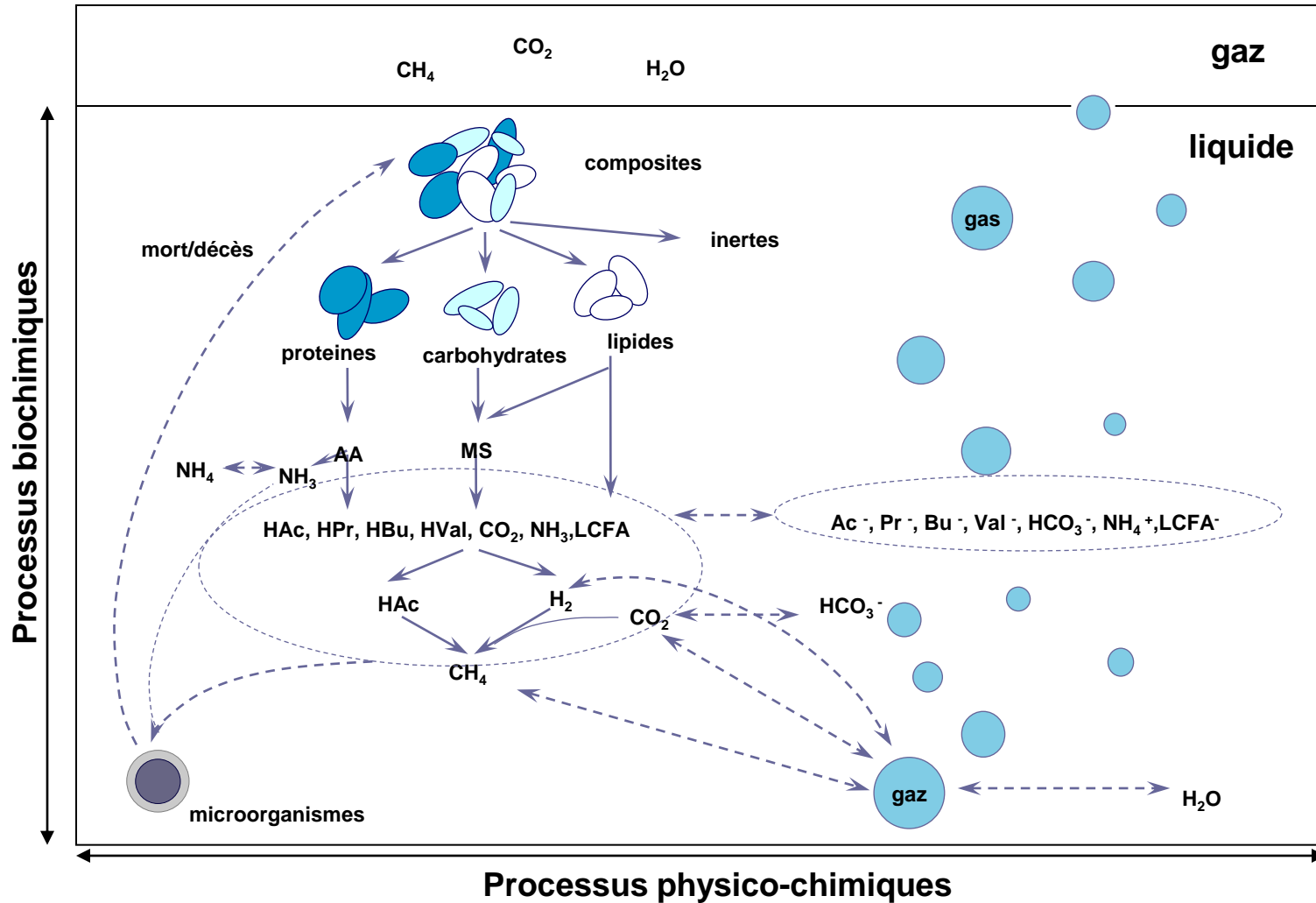
Modélisation de la digestion anaérobie

Jusqu'en 2004:

AM2 (2 biomasses, 2 réactions, 13 paramètres)

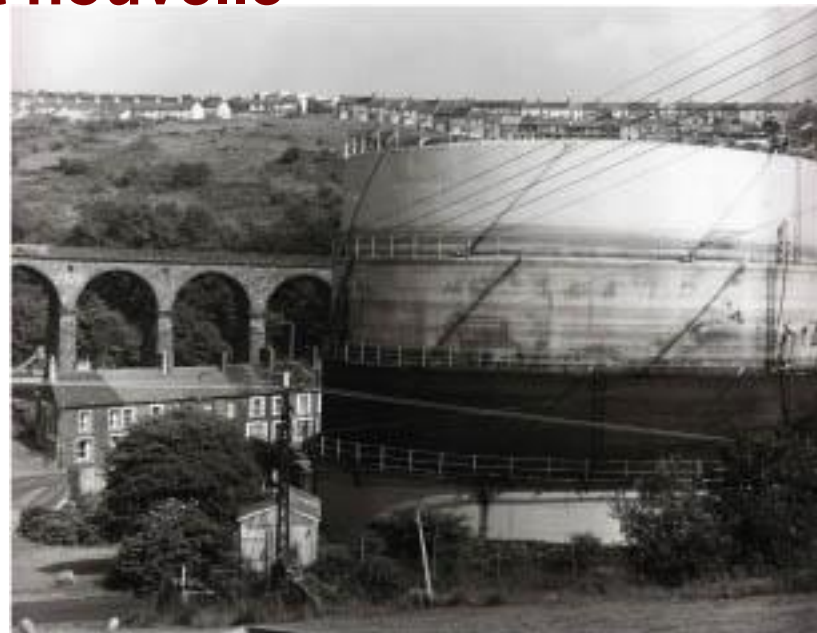
A partir de 2005:

ADM1 (7 biomasses, 19 réactions, 86 paramètres)



L'H₂, une idée pas vraiment nouvelle

A typical composition of town gas, common in UK homes until the 1970s, was about **51% hydrogen**, 15% carbon monoxide, 21% methane, 10% carbon dioxide and nitrogen, and about 3% other alkanes.



Picture from Prof. D. Hawkes, University of Glamorgan, UK

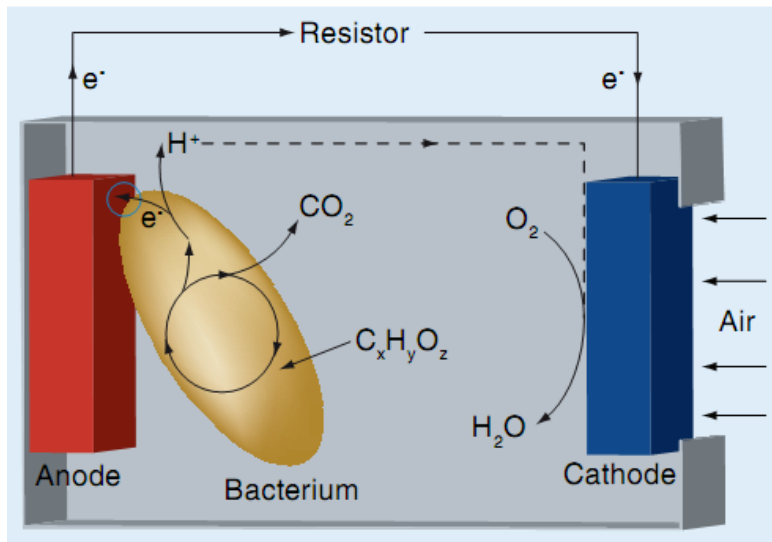
Ce qui est nouveau

L'hythane : 10-20% d'H₂, 80-90% CH₄.

Le biohythane : 5-15% d'H₂, 40-50% CH₄, 35-40% CO₂

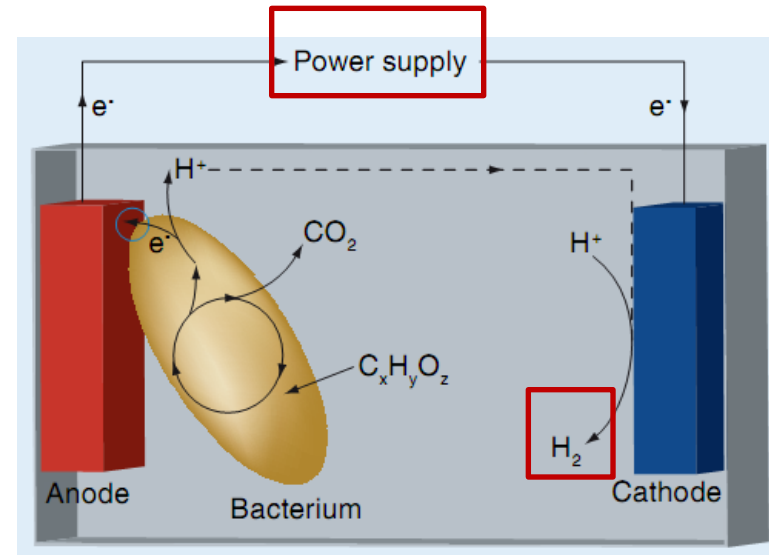
Amélioration de la combustion : température plus basse, moins de Nox, moins d'incombustés.

L'électrolyse microbienne



Microbial Fuel Cell (MFC)

Production d'électricité

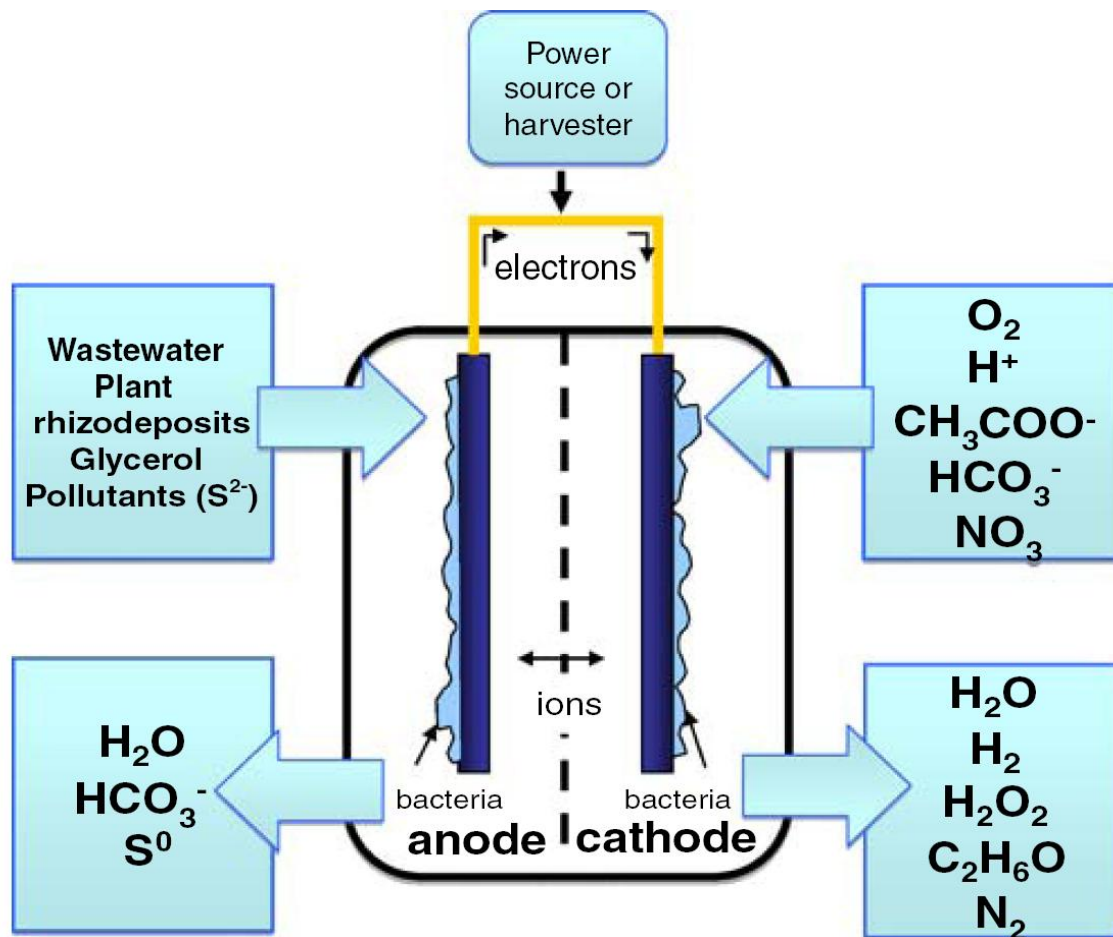


Microbial Electrolysis Cell (MEC)

Production d'hydrogène

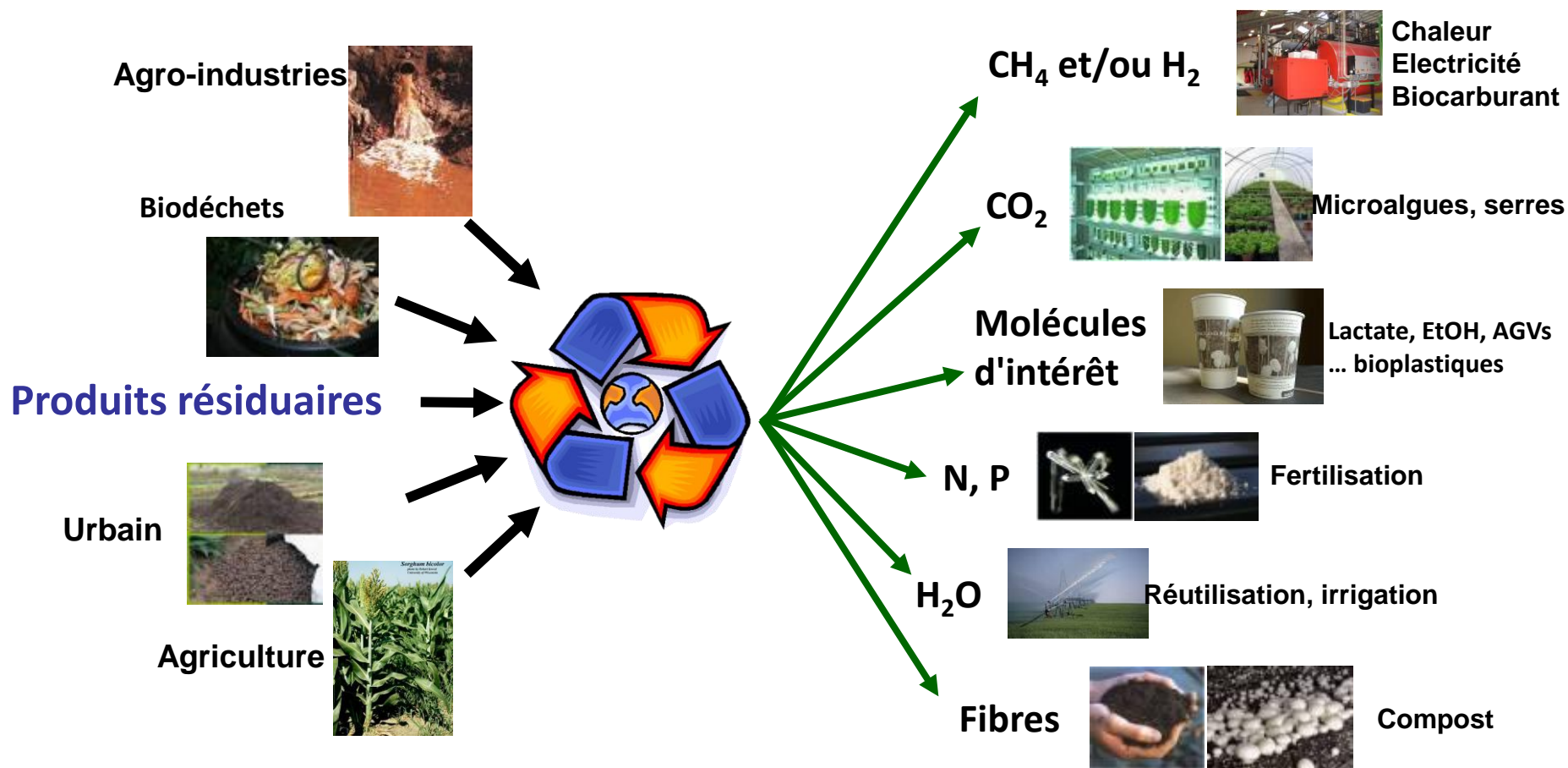
Liu et al., 2010

Projet Biorare



Hamelers et al., 2010

Le concept de bioraffinerie environnementale



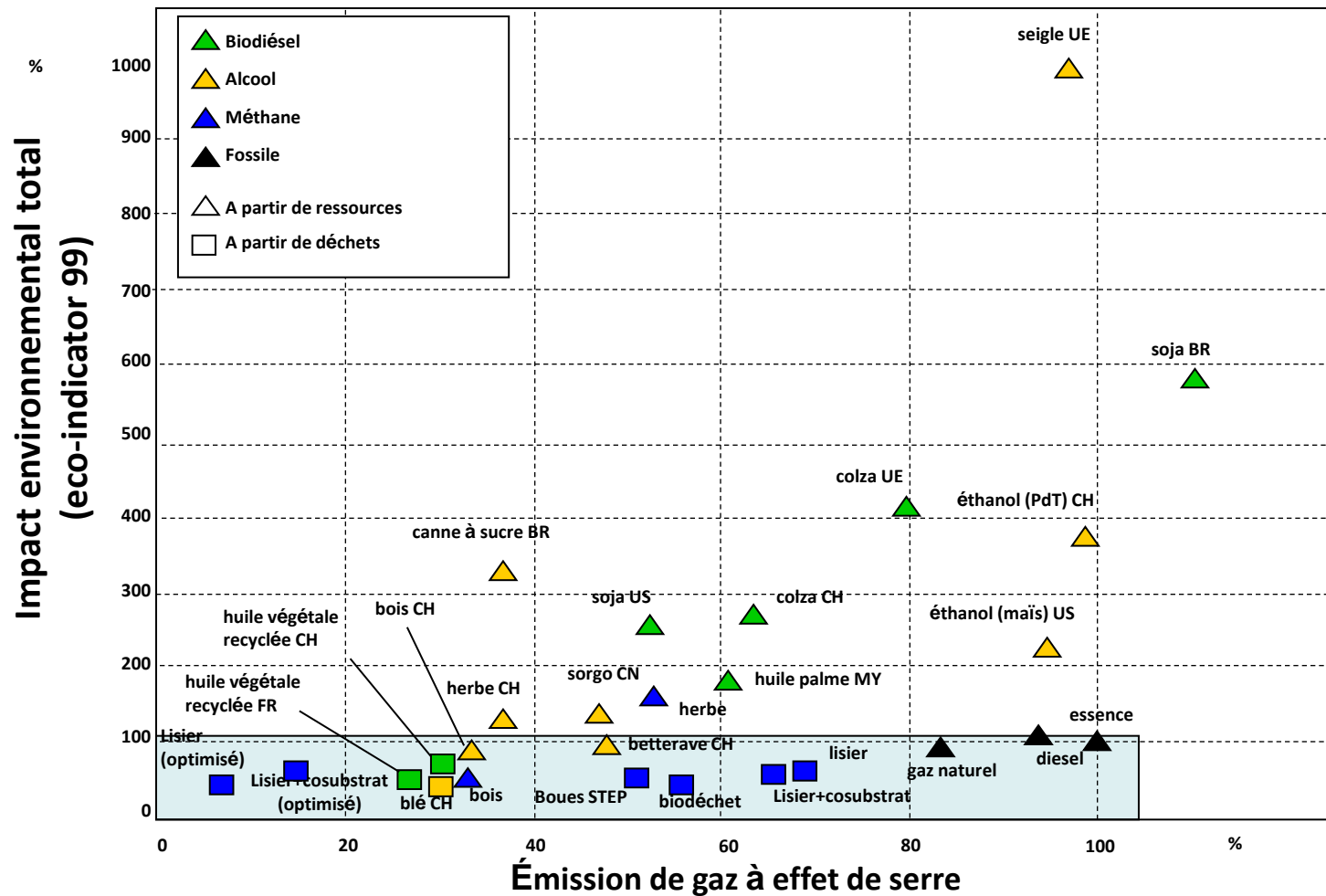
sous contraintes d'innocuité sanitaire (détergents, hormones, pathogènes...)

Analyse de cycle de vie : comparaison avec les autres bioénergies

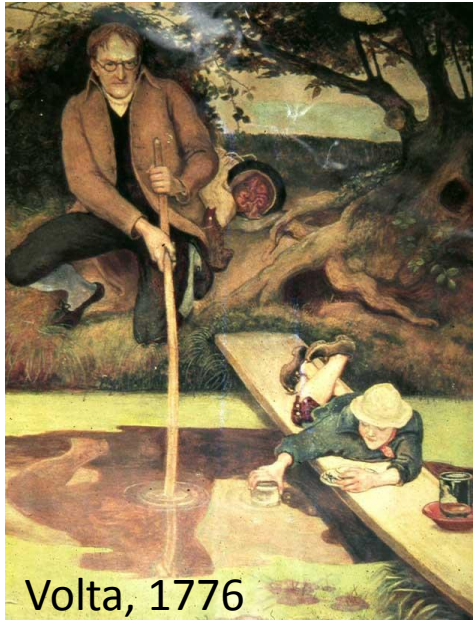
Life Cycle Assessment of energy products:

Environmental impacts assessments of biofuels (EMPA, Suisse, 2007)

UF = remplir un réservoir de voiture avec une énergie de 1 MJ à une station Suisse



Merci de votre attention



Volta, 1776

IWA Specialist Conferences

ica2013
INSTRUMENTATION, CONTROL AND AUTOMATION

First Announcement and Call for Papers

11TH IWA CONFERENCE ON
**INSTRUMENTATION
CONTROL AND
AUTOMATION**
18-20 SEPTEMBER 2013
NARBONNE, FRANCE
www1.montpellier.inra.fr/ica2013

Organizers

Lbel INRA Transfert Grand Montpellier

Nous n'héritons pas la
terre de nos ancêtres,
nous l'empruntons
à nos enfants

Antoine de Saint Exupéry



ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

La méthanisation en France – Quelques chiffres

197 installations de méthanisation :

80 dans le secteur industriel,

41 à la ferme,

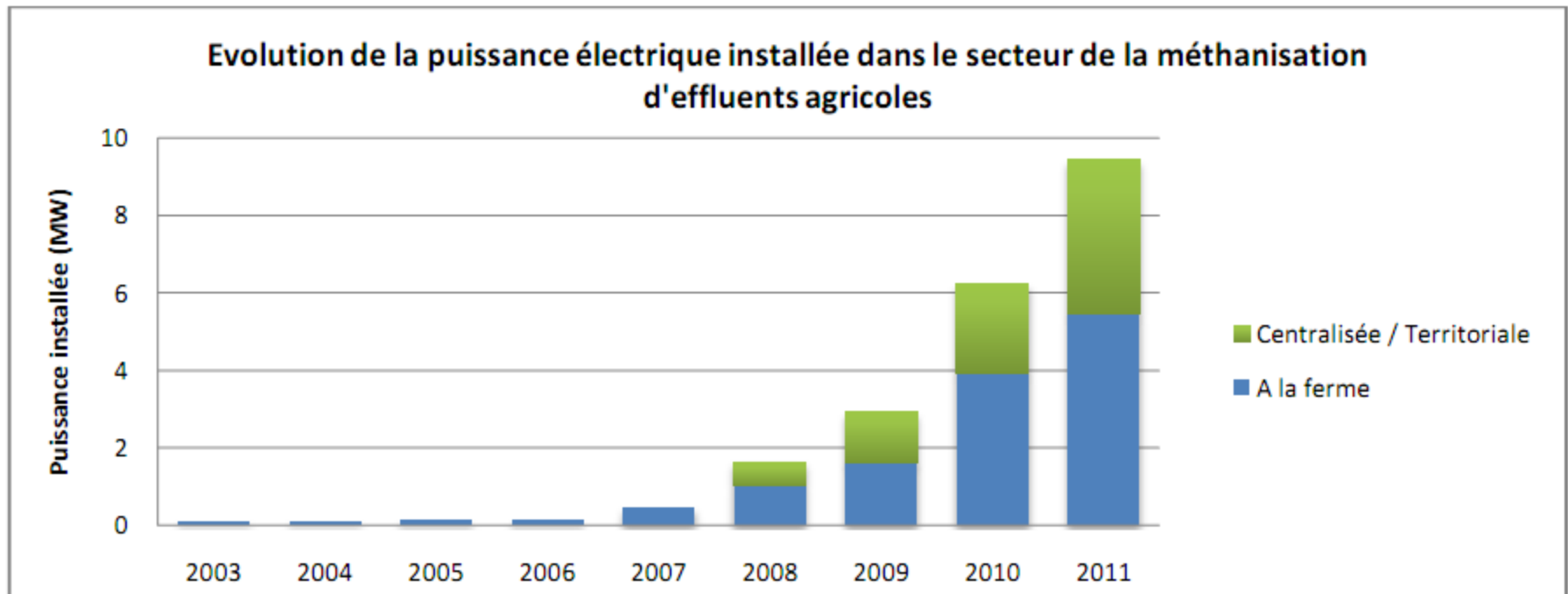
7 installations centralisées/territoriales,

60 stations d'épuration et

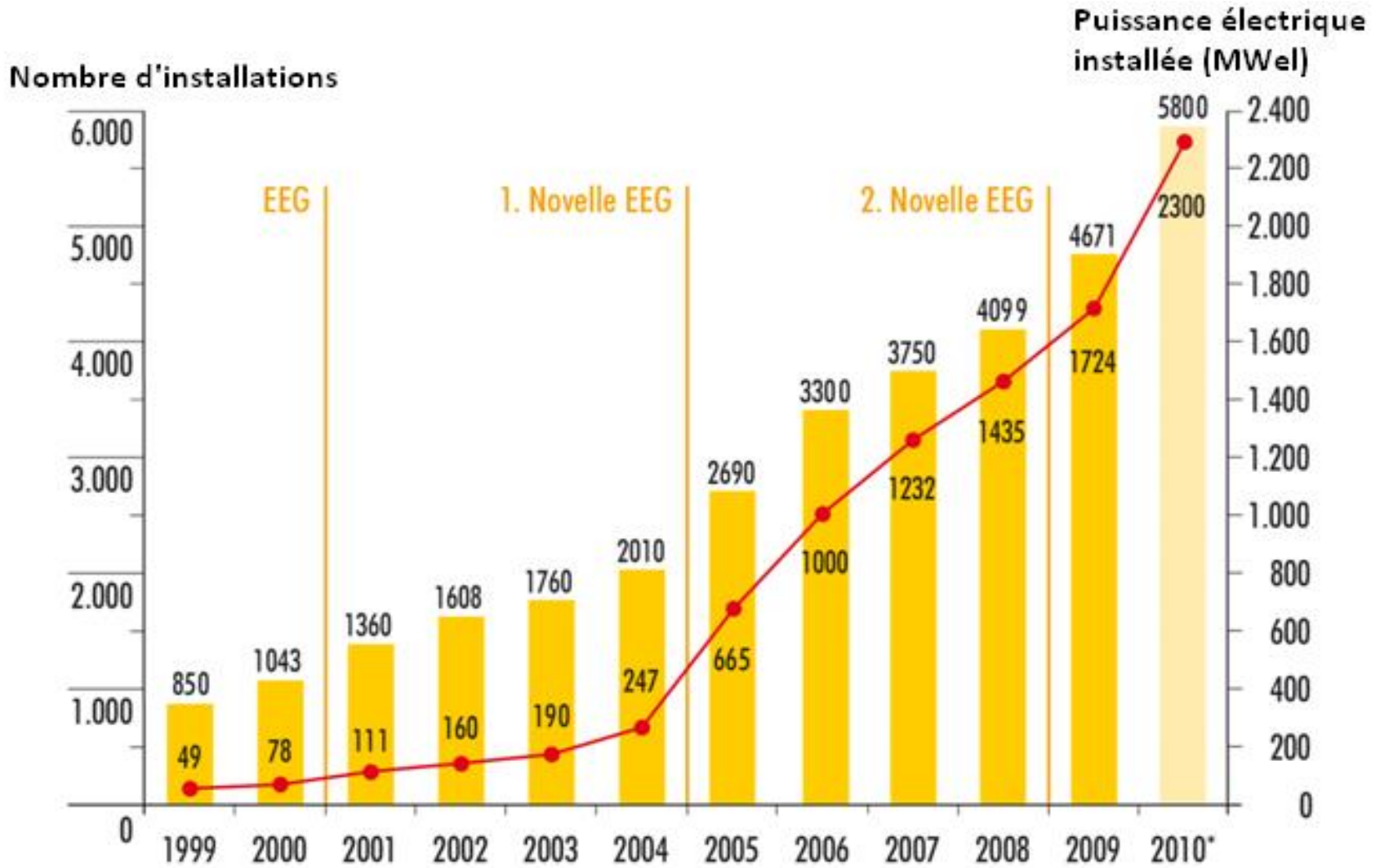
9 centres de traitement d'ordures ménagères.

46 installations sont en construction, essentiellement dans le secteur agricole.

La production théorique totale de biogaz est de 282 000 000 Nm³/an.



La méthanisation à la ferme en Allemagne – Quelques chiffres



Quellen: FNR nach DBFZ (2010), FvB (2010)

La méthanisation en France – Quelques chiffres

