

## Le partenariat CITET - CWBI : 10 années de collaboration scientifique et transfert technologique sur la valorisation énergétique des biomasses

S. HILIGSMANN<sup>1</sup>, L. SAYAH<sup>2</sup>, D. TANGOUR<sup>2</sup>, F. MHIRI<sup>2</sup>,  
A. JRAD<sup>2</sup>, Ph. THONART<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Centre Wallon de Biologie Industrielle

<sup>2</sup>Centre International des Technologies  
de l'Environnement de Tunis



5<sup>e</sup> conf. int. sur l'environnement, CITET – 5 déc. 2012

1



Centre Wallon de Biologie Industrielle

Prof. Ph. THONART



CWBI - Unité de Liège :  
Bd du Rectorat, 29 Bât B40-P70, 4000 Sart Tilman; Tél: 04 366 2861; Fax: 04 366 2862  
e-mail p.thonart@ulg.ac.be; s.hiligsmann@ulg.ac.be; Web <http://cwbi.fsagx.ac.be>

## Le Centre Wallon de Biologie Industrielle

Centre inter-universitaire belge de recherche et développement en  
microbiologie et biochimie industrielle.

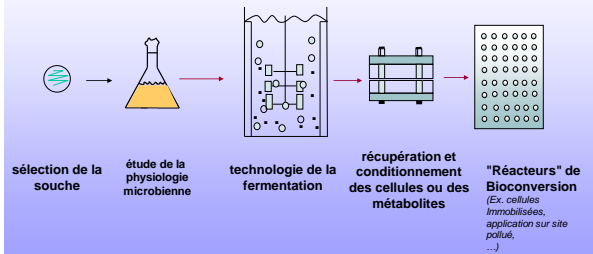
Le CWBI étudie

- la biochimie des microorganismes
- la production de biomasse
- la production de métabolites
- le conditionnement des starters ou des produits finis

pour des applications diverses dans les secteurs agro-  
alimentaire, pharmaceutique, agriculture,  
environnement

3

## De la cellule au produit fini



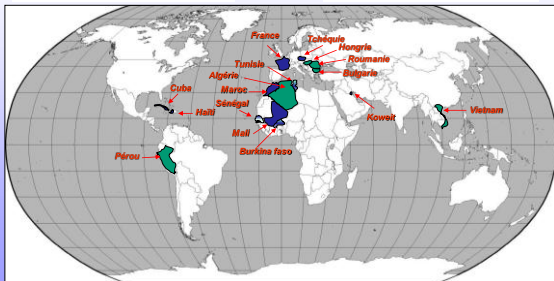
4

## Le Centre Wallon de Biologie Industrielle

Collaborations internationales → partenariats avec les pays du Sud

Projets en rapport avec l'agro-alimentaire

Projets en rapport avec l'environnement



5

## Les applications de la biotechnologie pour valoriser des biomasses

- **Énergétiques :**
  - (bio)éthanol,
  - CH<sub>4</sub>,
  - H<sub>2</sub>,
  - Électricité (microbial fuel cells)
- **Biofaçonnement (potentialité de transformation) :**  
Ex. : glycérol en matière grasse, précurseurs de  
matières plastiques biodégradables, ...

## Plan de l'exposé

1. Introduction : les processus de biodégradation
2. Technologies de biométhanisation – maîtrise des paramètres mais besoins continus d'innovations techniques
3. Innovation : digestion anaérobie en 2 étapes → H<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub>
4. Les compétences du CITET - assistance pour la biométhanisation
5. Conclusions

7

### Intérêt socio-économique

**Biomasse**  
p.ex. 3 kg de sucre

1 m<sup>3</sup> de méthane = 8570 kcal

9,7 kWh d'électricité

→ Valorisation des déchets  
→ Source d'énergie renouvelable  
→ Assurer un certain niveau d'indépendance énergétique

8

## La variabilité des biomasses valorisables

### Matière biodégradable = matière organique

- Nombreuses origines : ménages, industries, agriculture, ...
- Nature diverse :
  - solide/semi-solide : déchets, sous-produits, invendus, ...
  - déchets liquides : eaux usées, produits non conformes, ...
- Composition variable : selon l'origine, dans le temps, ...
- Production variable : selon l'origine, dans le temps, ...

9

## La variabilité des déchets organiques solides

Intérêt (rentabilité, coût, ...)

- **Déchets des ménages et collectivités :**  
mélange non maîtrisable, contaminants (emballages, verres, métaux, ...), toxiques/métaux lourds (encres, piles, couleurs, ...)
- **Invendus/déchets agroalimentaires des commerces :**  
mélange davantage maîtrisable, emballages, métaux lourds (encres)
- **Déchets des marchés :**  
mélange maîtrisable, peu de contaminants et métaux lourds (encres)
- **Déchets/sous-produits agroalimentaires :**  
composition stable, quantités parfois importantes, peu de contaminants et métaux lourds (encres)
- **Déchets agricoles/verts et productions énergétiques :**  
composition stable, peu de contaminants et métaux lourds (encres)

10

## La variabilité des déchets organiques liquides

Intérêt (rentabilité, coût, ...)

- **Eaux usées des ménages et collectivités :**  
mélange non maîtrisable, charge stable, contaminants toxiques/bio-non compatibles (produits d'entretien, pharmaceutiques, ...)
- **Eaux usées/de process des industries agroalimentaires :**  
mélange relativement maîtrisable, charge stable, contaminants (détergents, ...)
- **Produits déclassés et sous-produits agroalimentaires :**  
composition stable, charge élevée et quantités parfois importantes, contaminants potentiels (microorganismes)
- **Lisiers agricoles :**  
composition stable (azote), peu de contaminants

11

## Les possibilités de biodégradation de la matière organique

- **aérobie :** - relativement rapide (quelques heures à quelques jours),  
- conditions de mise en œuvre peu exigeantes  
- Exemples : épuration aérobie, compostage, ...

$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$$

1kg + 1,1 kg = 0,5 kWh électrique consommé dans step

- **anaérobie :** - relativement lente (plusieurs jours à dizaines de jours)  
- conditions de mise en œuvre parfois très exigeantes
  - souches particulières,
  - conditions physico-chimiques contrôlées,
  - ...
- Exemples : fermentation alcoolique, biométhanisation, ...

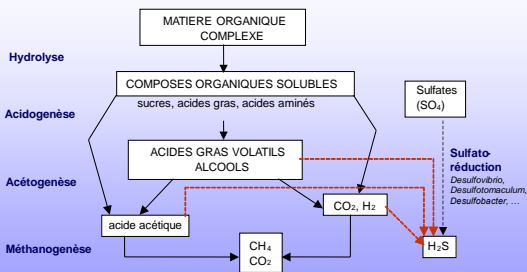
$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 3 \text{CH}_4$$

1kg → 374 374 Litres = 3,7 kWh total

Chaleur  
Electricité

12

**Les phénomènes de biodégradation de la matière organique**



13

### Plan de l'exposé

1. Introduction : les processus de biodégradation
2. Technologies de biométhanisation – maîtrise des paramètres mais besoins continuels d'innovations techniques
3. Innovation : digestion anaérobie en 2 étages → H<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub>
4. Les compétences du CITET - assistance pour la biométhanisation
5. Conclusions

14

**La méthanisation : technologie au point**

- procédés
  - en phase liquide : < 15% MS (teneur en matière sèche)
  - en phase sèche : 20 - 50 % MS
- ➔ • en bioréacteur → 10 - 10 000 m<sup>3</sup>
- en CET (centre d'enfouissement technique) → Millions m<sup>3</sup>
- procédés
  - mésophiles : 30 – 40°C
  - thermophiles : 50 – 60°C
- importance de la biomasse : 1MWh<sub>e</sub> / tonne DCO
- ➔ + cogénération 10 kWe – 2 MWe
- 250 kg – 48 t DCO/j

15

**Maîtrise des intrants en biométhanisation**

- prétraitement
  - si possible pour séparer/éliminer les contaminants
  - approprié sur le plan technologique, économique
- composition variable ➔ association de matières
  - équilibre carbone/azote (C/N)
  - teneur en eau optimale
  - apports stables dans le temps

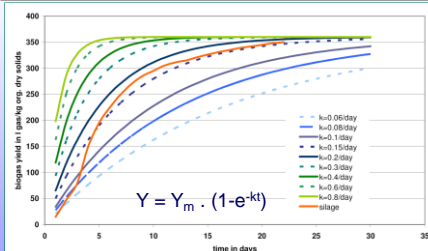
16

**Maîtrise des intrants en biométhanisation**

Matière organique	Equation de conversion chimique	Potentiel de production (L/kg DCO)			Biogaz 70% CH <sub>4</sub>
		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	Total	
Glucose	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> → 3 CH <sub>4</sub> + 3 CO <sub>2</sub>	349	349	698	498
Cellulose/amidon	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> + H <sub>2</sub> O → 3 CH <sub>4</sub> + 3 CO <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	349	349	698	498
Protéine	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ON + 2,75 H <sub>2</sub> O → 2,13 CH <sub>4</sub> + 1,88 CO <sub>2</sub>	298	263	561	426
Matière grasse	C <sub>23</sub> H <sub>38</sub> O <sub>6</sub> + 25,5 H <sub>2</sub> O → 39,25 CH <sub>4</sub> + 15,75 CO <sub>2</sub>	350	141	491	501

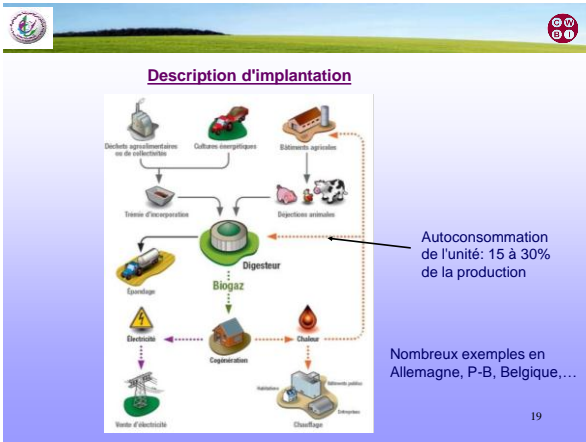
17

**Maîtrise de la cinétique de production de CH<sub>4</sub>**  
Temps de séjour défini en fonction des matières.

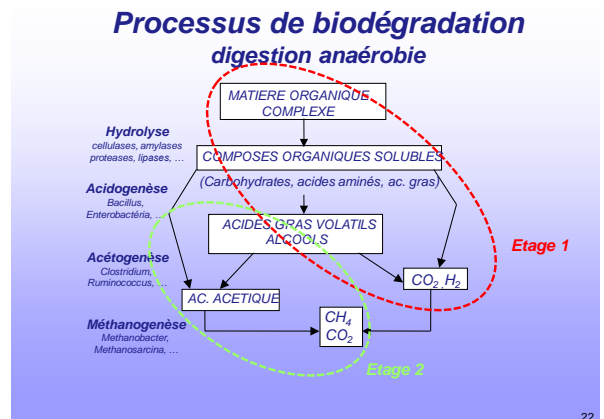


Hydrolysis (extracellular enzymes)	Kepp U. (2010). 15th Eur. Biosolids ...Conf., Leeds
Carbohydrates	K = 0.5 – 2 / day
Lipids	K = 0.1 – 0.7 / day
Proteins	K = 0.25 – 0.8 / day

18



- ### Plan de l'exposé
1. Introduction : les processus de biodégradation
  2. Technologies de biométhanisation – maîtrise des paramètres mais besoins continus d'innovations techniques
  3. Innovation : digestion anaérobie en 2 étages → H<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub>
  4. Les compétences du CITET - assistance pour la biométhanisation
  5. Conclusions
- 21



### micro-H<sub>2</sub>

#### Perspectives : Digestion anaérobie en 2 étages → H<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub>

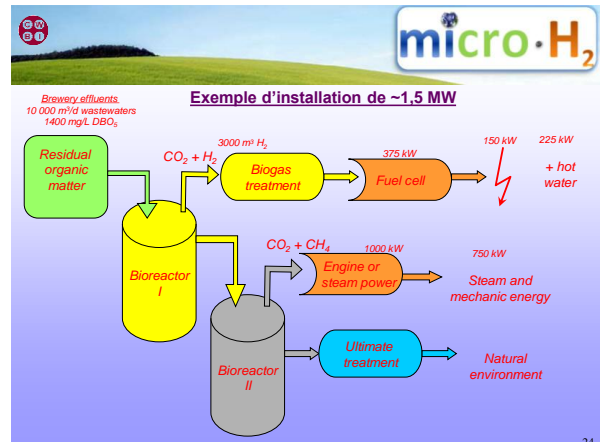
→ Amélioration du procédé / intégration dans les agro-industries

- Résistance aux chocs d'alimentation (déjà éprouvé : Pohland 1971)
- Production rapide d'un fuel (acidogenèse plus rapide que methanog.)
- Rendement énergétique accru 10-30% selon le procédé, ...

→ Diversité des fuels énergétiques – avantages de l'H<sub>2</sub>

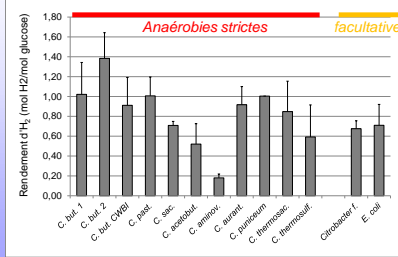
- Densité d'énergie : DE<sub>H<sub>2</sub></sub> = 33 kWh/kg H<sub>2</sub> = 2.4 DE<sub>CH<sub>4</sub></sub>
- Combustion : H<sub>2</sub> + ½ O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O CO<sub>2</sub> = Ø
- Potentialités des piles à combust. : Yields<sub>FC</sub> > Yields<sub>engine</sub>

23



## BioH<sub>2</sub> - 1.1. : screening en fioles

Comparaison des rendements de production d'H<sub>2</sub>



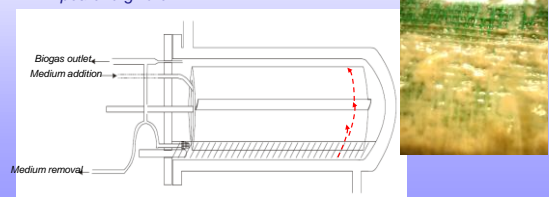
→ performances variables : - Clostridium > anaérobies facultatives  
- C. butyricum > autres Clostridium spp.  
> souches thermophiles

25

## BioH<sub>2</sub> - 3.2. : effet de P<sub>H<sub>2</sub></sub>

Etude de la production d'H<sub>2</sub> en bioréacteur à « biodisque »

- surface d'échange L/G élevée
- rétention cellulaire
- homogénéisation → conditions environnementales maîtrisables  
→ prélèvement d'échantillons représentatifs
- peu énergivore



26



### Production de biohydrogène par dark-fermentation

- mieux adapté que les autres bioprocédés pour des applications industrielles à partir de biomasse et eaux usées  
→ réduction de pollution + production d'énergie
- 70 - 250 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub> par tonne de DCO
- 3 - 12 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub> par m<sup>3</sup> bior. par jour  
(digestion anaérobie classique: 0,3 - 6 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>.j)
- substrats = résidus liquides ou solides contenant des carbohydrates (amidon, saccharose, lactose, ...)
- poursuivie par une biométhanisation efficace

27



### Plan de l'exposé

1. Introduction : les processus de biodégradation
2. Technologies de biométhanisation – maîtrise des paramètres mais besoins continuels d'innovations techniques
3. Innovation : digestion anaérobie en 2 étages → H<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub>
4. Les compétences du CITET - assistance pour la biométhanisation
5. Conclusions

28



### Les compétences du CITET – travaux réalisés en partenariat avec le CWBI

- Etude de l'activité biologique et de l'impact environnemental des décharges et CET (Tunis, Sousse, Kairouan)
- Réalisation et suivi d'essais de biométhanisation de diverses matières organiques – déchets agricoles et des industries agro-alimentaires : tests BMP et biométhaniseurs pilotes
- Etudes de faisabilité technique et économique
- Assistance technique
- Stages de formation et missions en Belgique

29



### Méthodes d'investigation

Forages

Extraction, caractérisation et analyse des déchets prélevés

30

### Campagnes de prélèvements d'échantillons liquides et gazeux

Centre national de Biologie Industrielle

**Gaz**

**HPLC**

**Lixiviats**

(c) CNBI 09/2000

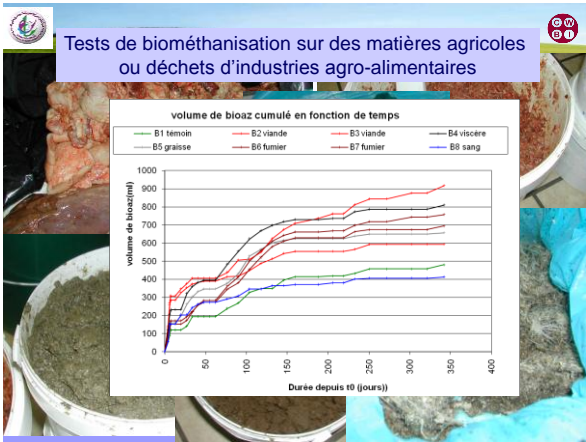


### Résultats importants de l'étude des décharges de Tunisie et Haïti (validation sur deux années, suivi à long terme en cours)

	Tunisie		Haiti
	Tunis (N)	Tunis (S)	Port-Prince (P)
Diamètre des puits de carottage (mm)	200	46	200
Echantillons solides			
Matière sèche (% pds)	>80% dans la couche sup. de 1,5 m d'épaisseur et 35-65% dans les couches inf. Jusqu'à 5	NR	36-58%
Teneur en cellulose (% MS)		NR	Jusqu'à 1
Lixiviats			
Niveau piézométrique (m par rapport à la surface de la décharge)	2-8 (lixiviats dans tous les puits)	NR mais certains puits sont pleins = les lixiviats sont expulsés par les gaz	Pas de lixiviats
pH	6.6-8	7.5-8	Peu de lixiviats
Potentiel redox (mV)	-60 à -350	-250 à -400	
Biogaz			
Température dans les puits de carottage (différence par rapport à la température ambiante en °C)	10-15	10-15	
% CH <sub>4</sub>	1-55	6-65	
H <sub>2</sub> S (ppm)	Jusqu'à 3 dans certains puits et > 80 dans un puits	> 80 si CH <sub>4</sub> > 50%	
Débit (L/min)	< 0.05	Jusqu'à 8	

MHIRI F., et al. (2003). Investigation of the Biological Activity and the Environmental Impact of Tunisian MSW Landfills. Proceedings Sardinia 03, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium. Cagliari, Italy, 6-10 October.

HILIGSMANN S., et al. (2002) Investigation of the biological activity in MSW landfills under dry climates (Tunisia and Haïti) Proceedings " ISWA 2002 World Environment Congress and Exhibition, Istanbul, Turkey, 2: 773-778



### Conclusions

- matière méthanisable = matière organique
- variabilité des matières → association des matières
- importance de la rentabilité économique
  - taille optimale (1 à 5 MWe)
  - synergies agro-industrielles → éco-zonings
  - traitement énergétique des résidus, invendus, refus, ...
  - utilisation de l'électricité (négociation directe du prix)
  - valorisation des calories (négocia\* du prix, plus de CV)
  - valorisation des digestats liquides et solides (fertilisants éventuellement concentrés, texturants du sol)
- intérêts environnementaux
- Le CITET → un interlocuteur de choix

34

Merci de votre attention

s.hiligsmann@ulg.ac.be

<http://cwbi.fsagx.ac.be>

[www.microh2.ulg.ac.be](http://www.microh2.ulg.ac.be)

Publications avec accès gratuit

Guide IEPF sur la gestion des déchets : <http://hdl.handle.net/2268/12919>

<http://orbi.ulg.ac.be/simple-search?query=hiligsmann+serge>