

# La méthanisation psychrophile OU Production de biogaz à basse température : caractérisation technique et microbiologique



*Patrick Dabert, IRSTEA de Rennes*

*UR GERE*



# Méthanisation et température

**La méthanisation est possible entre 0 et 97 °C**

**MAIS ...**

**utilisée en procédés principalement  
en mésophilie (32-38°C) et thermophilie (50-55°C)**

**POURQUOI ?**





# Méthanisation et température



**Lorsque la température diminue :**

- les cinétiques microbiennes diminuent
- la solubilité des gaz augmente
- la viscosité des liquides augmente
- la diffusion des composés solubles diminue



**Conduisant à la réduction :**

- des rendements de dégradation de la matière
- de la production de biogaz
- du % de CH<sub>4</sub> dans le biogaz

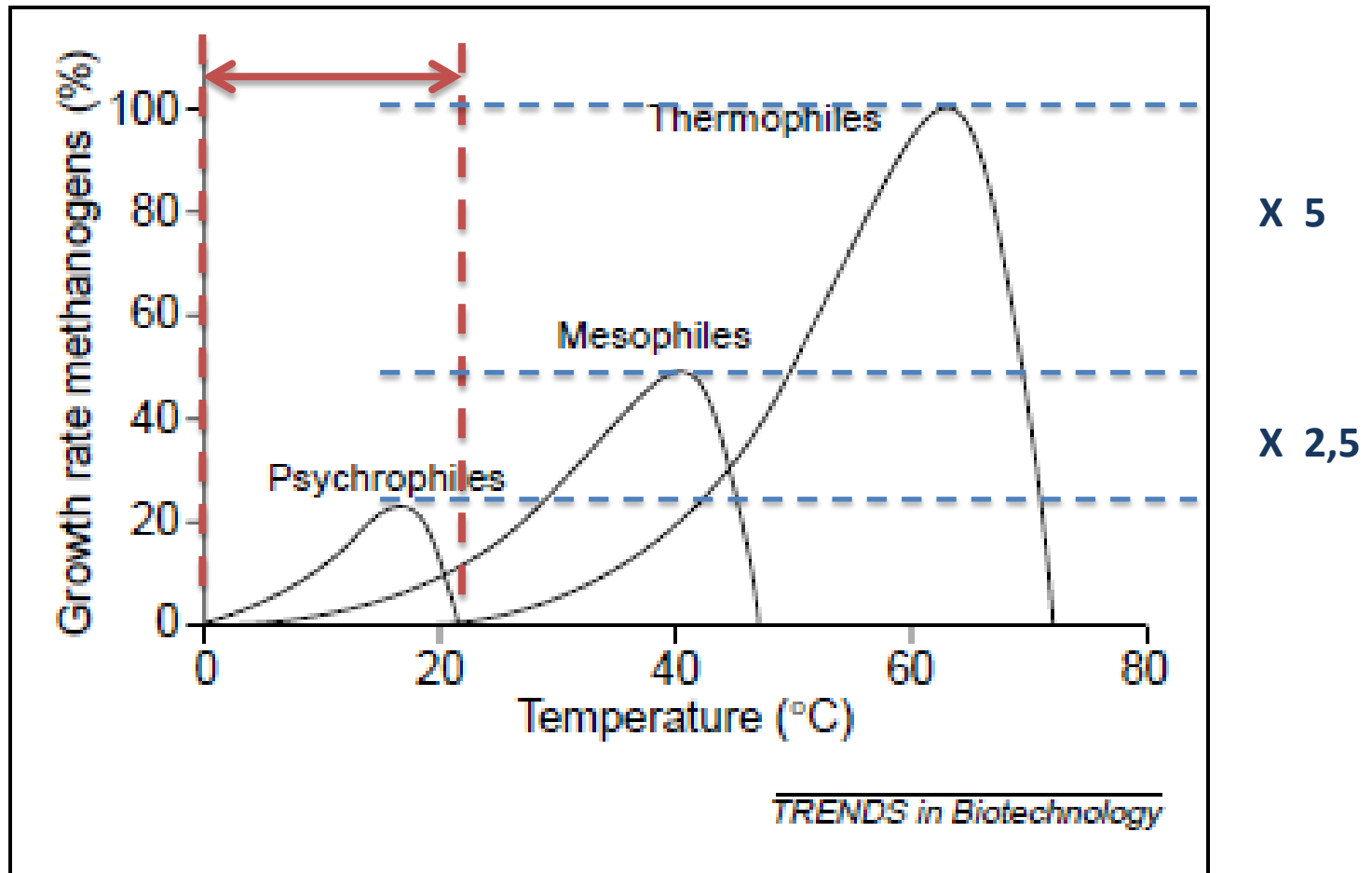


**Pourtant des procédés ont été développés !**

**Quelles informations en tirer ?!**



# Qu'est ce que la méthanisation psychrophile ?





# Les procédés de méthanisation psychrophile

Les applications majeures / proposées :

- Effluents d'élevage (lagunes USA, ISPAD)
- Effluents d'IAA dilués (UASB, EGSB, ... )
- Eaux usées (UASB, EGSB, ... )
- Méthanisation domestique des Pays en développement (non traité ici)



# Les émissions de méthane au stockage des effluents d'élevage



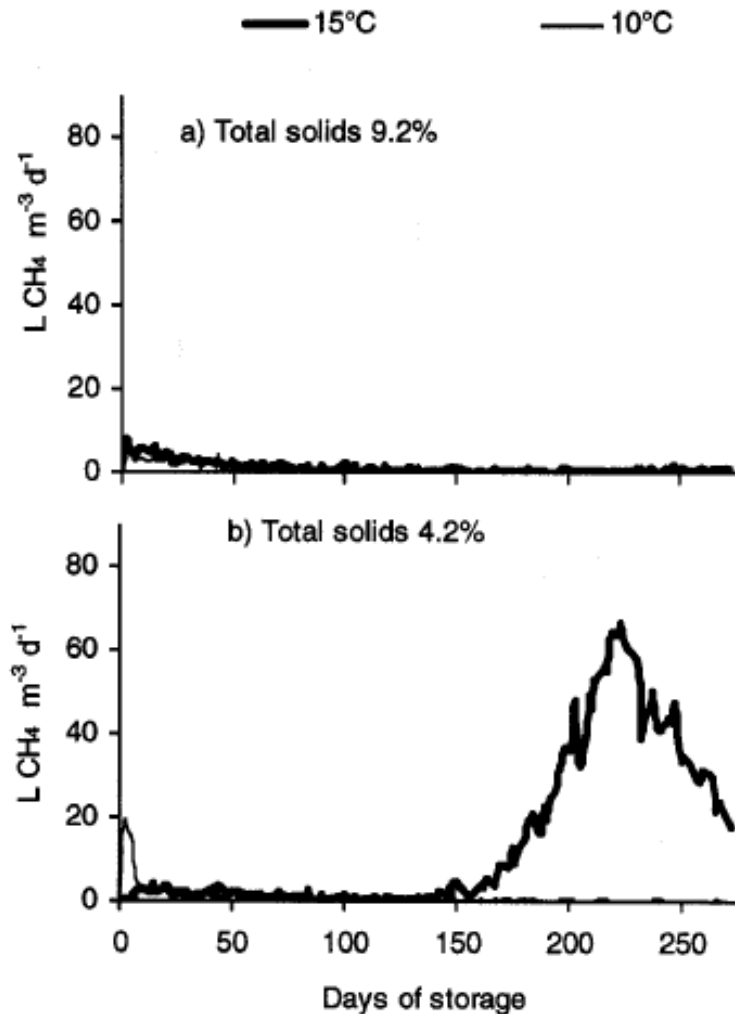
Origine des déjections	Emissions de méthane à 272 Jours de stockage			
	TS (%)	Temp (°C)	m <sup>3</sup> /kg VS	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> /j
<b>Vaches laitières</b>	4.2	15	0,113	0,014
	-	10	0,008	0,001
	9.2	15	0,004	0,001
	-	10	0,003	0,001
<b>Porcs</b>	4.9	15	0,205	0,027
	-	10	0,037	0,005
	11.3	15	0,089	0,028
	-	10	0,046	0,014

Impacts de la température, de la charge, du type de déjections

Massé D.I. et al. (2003) Canadian biosystems engineering. 45:6,1-6,6



# Les émissions de méthane au stockage des effluents d'élevage



- Lisier chargé à TS 9,2 % ne démarre pas
- Lisier chargé à TS 4,2 % : Temps de latence jusqu'à 180 jours



# Les lagunes couvertes



**Concerne principalement :**

- **les effluents d'élevage (vaches laitières et porcs)**
- **USA / Canada / Suisse**
- **beaucoup d'études dans les années 1970-90**
- **Objectif : réduction des émissions de méthane**

Safley Jr, L. M. & Westerman, P. W. ; Cullimore et al., Wellinger



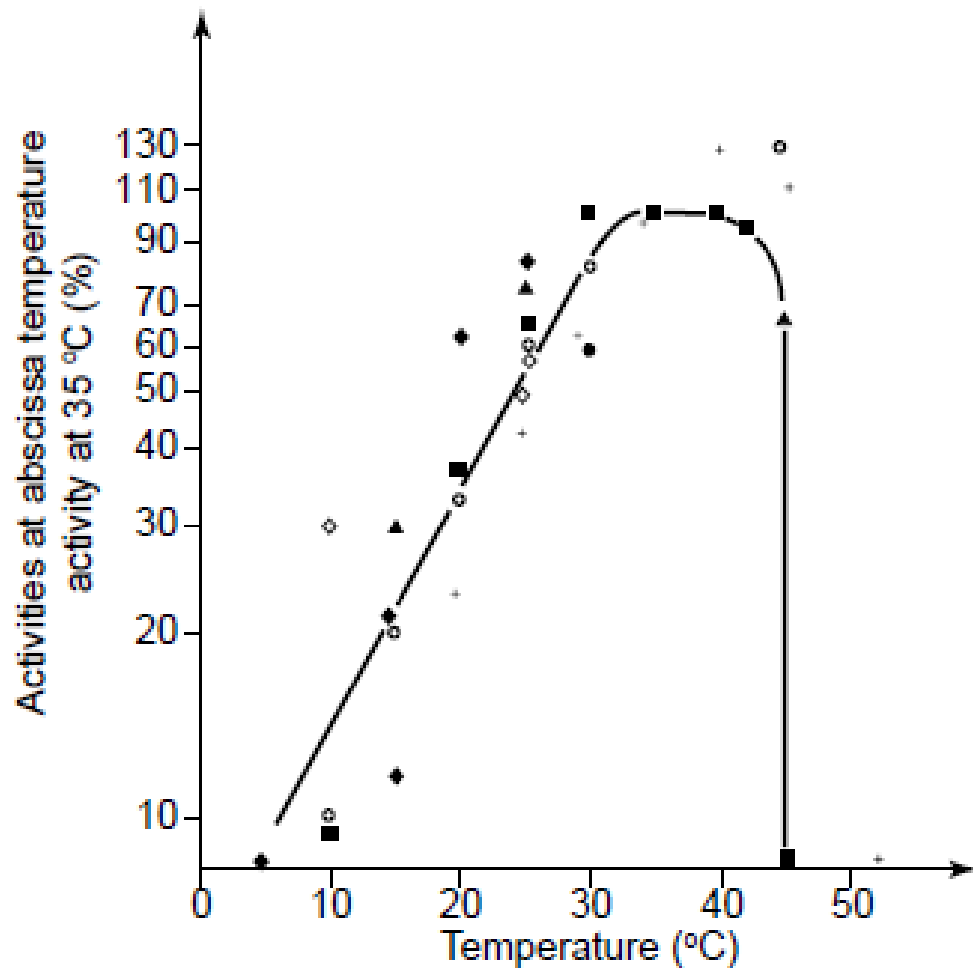
# Production de biogaz des lagunes couvertes



Digestion type	Charge kg VS/m <sup>3</sup> /J	Temp (°C)	Production de biogaz m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> /j	Production de biogaz m <sup>3</sup> /kg VS	% CH <sub>4</sub>
Digesteurs mésophiles (6)	1,6-3,4	30-35	0,8-1,0	0,3-0,6	54-64
Lagunes couvertes (7)	0,02-0,05	17-33	0,03-0,23	0,8-11	77-95
Lagunes forte charges (3)	0,11-0,36	?	0,11-0,22	0,3-1,4	65-85

- Charge appliquées faibles : recommandée entre 0,06 – 0,08 kg VS /m<sup>3</sup> /J
- Temps de séjour non mentionnés mais plusieurs mois
- Production de biogaz :
  - faible en volume / forte en spécifique / fort % CH<sub>4</sub>
  - augmente avec le temps et l'adaptation des microorganismes
  - diminue avec la température

# Impact de la température sur les lagunes couvertes



**Diminution de la vitesse de production de méthane en fonction de la température**

*Henzen, M. and Harremoes, P. (1983)  
Water Sci. Technol. 15, 1–102*



## Les digesteurs et ISPAD



**Digesteurs non chauffés et couvertures de fosses (In storage psychrophilic anaerobic digestion)**

- **Lisiers de porcs**
- **Suisse, Canada**
- **Années 1980-90 & 2004** (Wellinger et al. ; S. Barrington et al.)

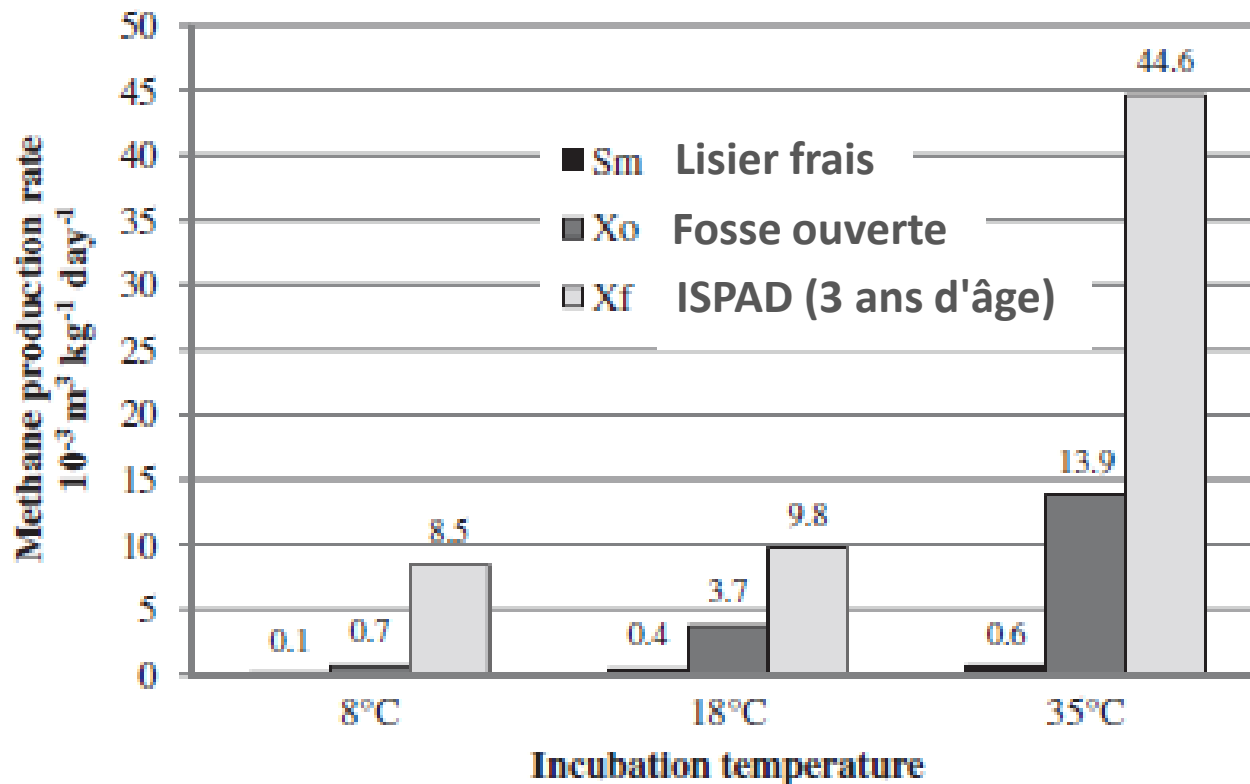
# Production de biogaz d'un ISPAD en fonction de la température

Tests BMP avec inoculum : lisier frais, fosse ouverte, ISPAD  
Substrat = lisier frais

3 températures d'incubation : 8, 18 et 35 °C



Production de CH<sub>4</sub> L/m<sup>3</sup>/kg VS/J



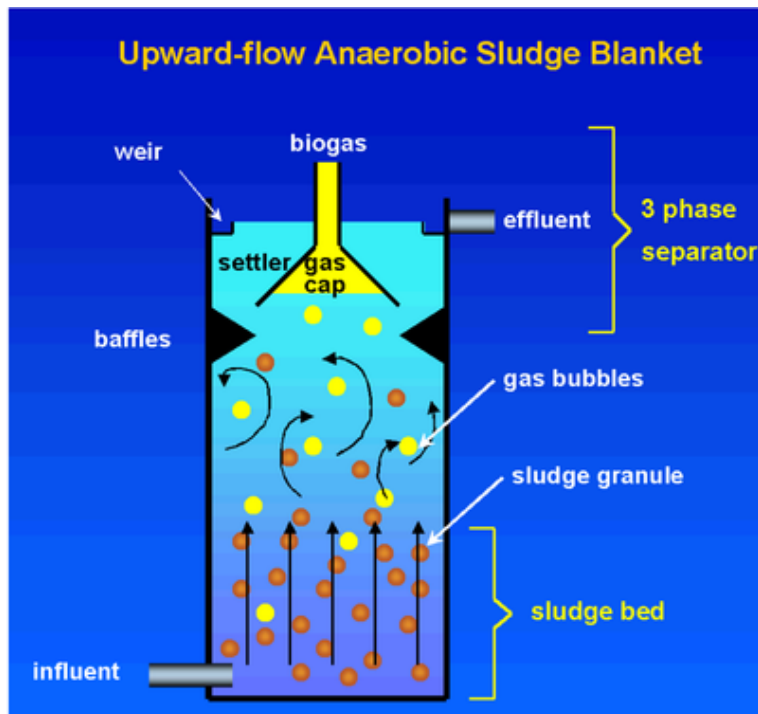
- La communauté microbienne de l'ISPAD s'est adaptée aux basses températures
- Mais reste très active à 35°C

King, S. M., et al. (2011).  
Biomass & Bioenergy  
35(8): 3719-3726

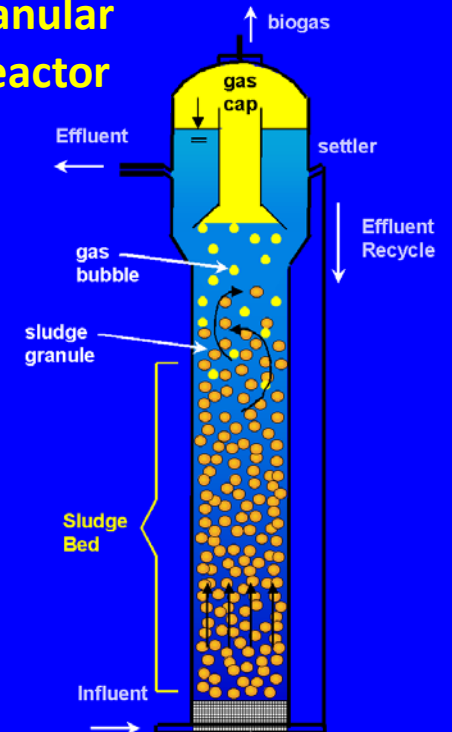
# Le traitement des effluents d'IAA dilués et des eaux usées (UASB, EGSB, ... )

Objectif : traiter à température ambiante ou basse des effluents très dilués, acidifiés, pharmaceutiques, etc... en jouant sur le procédé type UASB, EGSB

- Permet de traiter de gros volumes de liquide
- Permet de garder la biomasse dans le réacteur sous la forme de granules
- Favorise le mélange



## Expanded granular sludge bed reactor

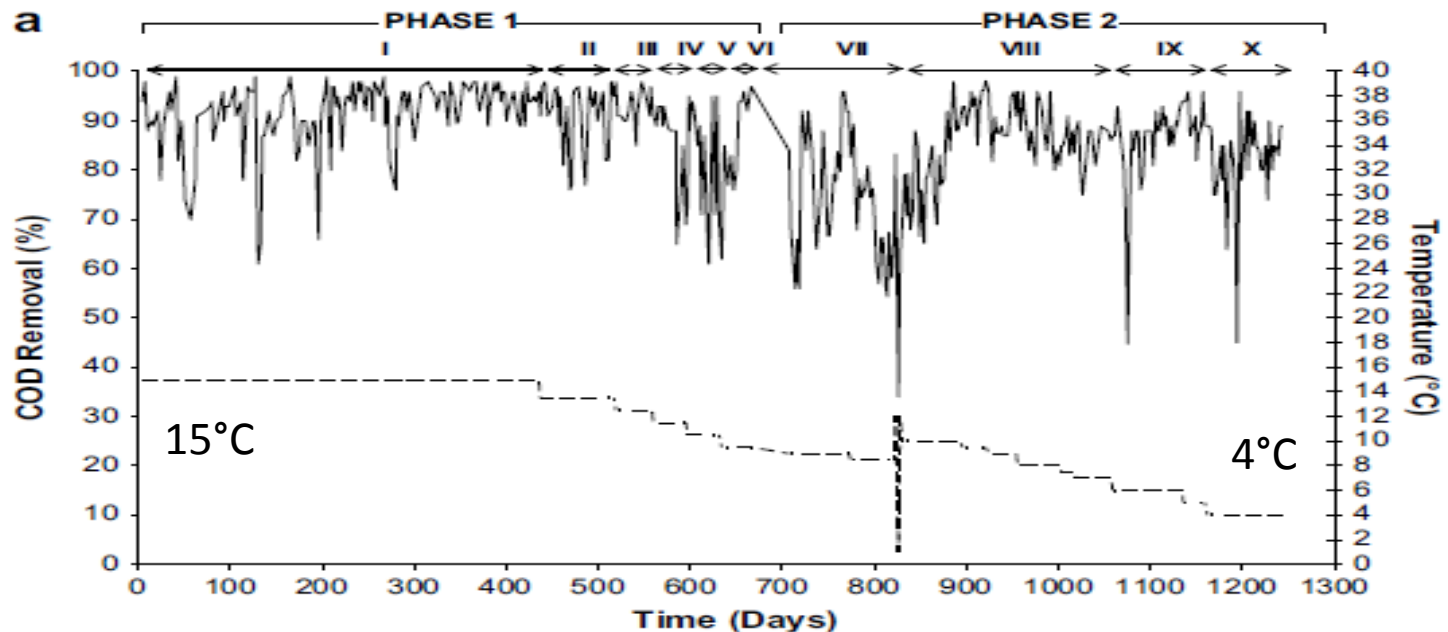


Lettinga et al.  
O'Flaherty et al.

# Fonctionnement sur le long terme d'un EGSB entre 15°C et 4°C

McKeown, R. M., et al. (2009). Water Research 43(6): 1611-1620.

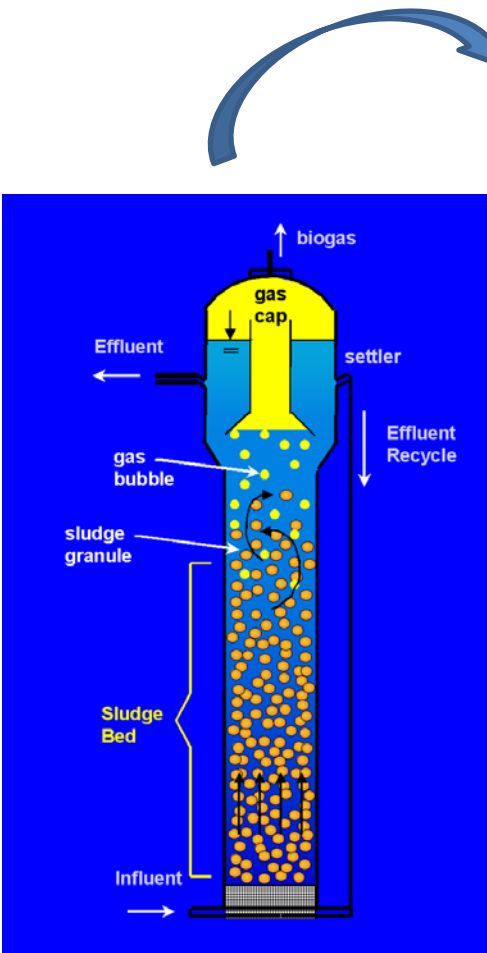
- EGSB pilote de laboratoire
- Effluent synthétique (éthanol + AGV à ratio de DCO 1:1:1:1 + oligoéléments)
- Charge 10 à 3,75 kg de DCO / m<sup>3</sup> depuis 15 à 4°C
- Démarrage en 10 à 20 jours avec des granules mésophiles (37°C)
- Suivi sur 3,5 ans
- Rendement d'abattement de la DCO > 85% en moyenne et CH<sub>4</sub> > 70%





# Fonctionnement sur le long terme d'un EGSB entre 15°C et 4°C

McKeown, R. M., et al. (2009). Water Research 43(6): 1611-1620.

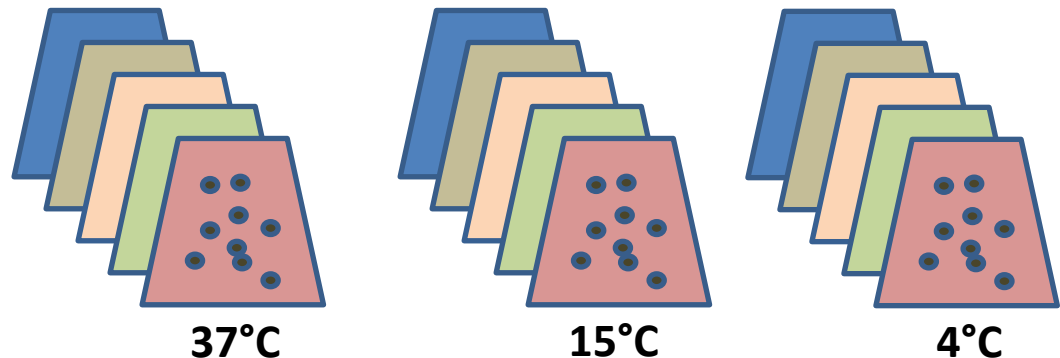


Prélèvements de granules inoculum / 673 J / 1345 J

Production de méthane à différentes températures avec :

- éthanol
- AGV
- $\text{H}_2\text{CO}_2$

Microbiologie





# Fonctionnement sur le long terme d'un EGSB entre 15°C et 4°C

Production de CH<sub>4</sub> L/kg VS /J

Jours	T (°C)	Ethanol	Acétate	Propionate	Butyrate	H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	<i>archaea</i>
inoculum	37	56	78	23	36	51	<i>Methanosaeta</i> (acetate)
	15	24	31	15	17	23	



# Fonctionnement sur le long terme d'un EGSB entre 15°C et 4°C

Production de CH<sub>4</sub> L/kg VS /J

Jours	T (°C)	Ethanol	Acétate	Propionate	Butyrate	H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	<i>archaea</i>
inoculum	37	56	78	23	36	51	<i>Methanosaeta</i> (acetate)
	15	24	31	15	17	23	
673	37	183	69	57	124	52	dégranulation
	15	36	17	30	40	76	



# Fonctionnement sur le long terme d'un EGSB entre 15°C et 4°C

Production de CH<sub>4</sub> L/kg VS /J

Jours	T (°C)	Ethanol	Acétate	Propionate	Butyrate	H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	archaea
inoculum	37	56	78	23	36	51	<i>Methanosaeta</i> (acetate)
	15	24	31	15	17	23	
673	37	183	69	57	124	52	
	15	36	17	30	40	76	dégranulation
1243	37	669	370	51	237	297	<i>Methanocorpusculum</i> (H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> )
	15	156	83	80	100	400	
	10	81	36	46	60	214	
	4	50	20	25	32	70	

## Adaptation des granules

- Passage de méthanisation acétotrophe à hydrogénotrophe
- Dégranulation entre 15 et 13,5 °C, perte de 50 % biomass et de *Methanosaeta*
- Reste actif à température supérieure

Forte baisse de production entre 10 et 4 °C



## Rendement des procédés (UASB, EGSB, ... )

Effluent	Réacteur	T (°C)	Recirc. m/h	HRT (h)	Charge Kg DCO/m <sup>3</sup> /J	Durée (Jours)	Rendt (%DCO)
Brewery	EGSB <sup>j</sup> -AF <sup>k</sup>	15	2.5–5	18–48	1.62–4.47	194	85–93
VFA <sup>g</sup> /phenol	EGSB-AF	9.5–15	5	12–24	5–10 (1–2 kg phenol m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> )	673	36–98 (PRE <sup>s</sup> , 65–99)
VFA/toluene	EGSB-AF	15	5–10	12–48	2.8–5.7 (5–104 g toluene m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> )	630	70–90 (TRE <sup>t</sup> , 55–99)
Glucose	UASB <sup>l</sup>	15	n.a.	24–168	0.05–7.2	210	70–95
Sucrose/VFA	EGSB	5–15	5	3–6	3–6	400	44–80
Municipal	HUSB <sup>m</sup> /UASB	14–21	n.a.	9.3–16.9	0.5–3.2	130	49–65
Carbohydrate	FBASBR <sup>n</sup>	15–30	7	6	3–6	210	79–86
Solvent	EGSB-AF	9–14	5–10	24–48	1.2–3.6	341	20–99
VFA	EGSB-AF	4–15	5	12–24	3.75–10	1,243	30–99
Glucose	EGSB	15	0.17–2.0	12	2.9–5.8	194	20–88
OFMSW <sup>h</sup> leachate	SAMBR <sup>o</sup>	10–20	n.a.	26	11.8	110–120	>90%
VFA	EGSB-AF	15	4.45	24–36	3.32–5	361	85–93
Synthetic municipal	AnMBR <sup>p</sup>	15	n.a.	12	1.0	112	85
Municipal	SAMBR	20	n.a.	19.2	0.5–0.9	100	85
Municipal	UASB/DHS <sup>q</sup>	7–23	2	12–14	0.51–0.69	900	84–88
Sewage	UAFB <sup>r</sup>	15–20	n.a.	3.4	2.5–2.6	220	40.9–46.4
TCE <sup>i</sup> -VFA	EGSB-AF	15	2.5	24	3 (20–60 g TCE m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> )	343	64–84
TCE-VFA	EGSB-AF	7	2.5	24	0.75–3 (10–30 g TCE m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> )	609	55–83 (TCRE <sup>u</sup> 19–86)



## Conclusion intermédiaire

### Procédés rustiques

- Effluents d'élevage
- Sans agitation
- Sans chauffage
- Sans consommation d'énergie

### Procédés sophistiqués

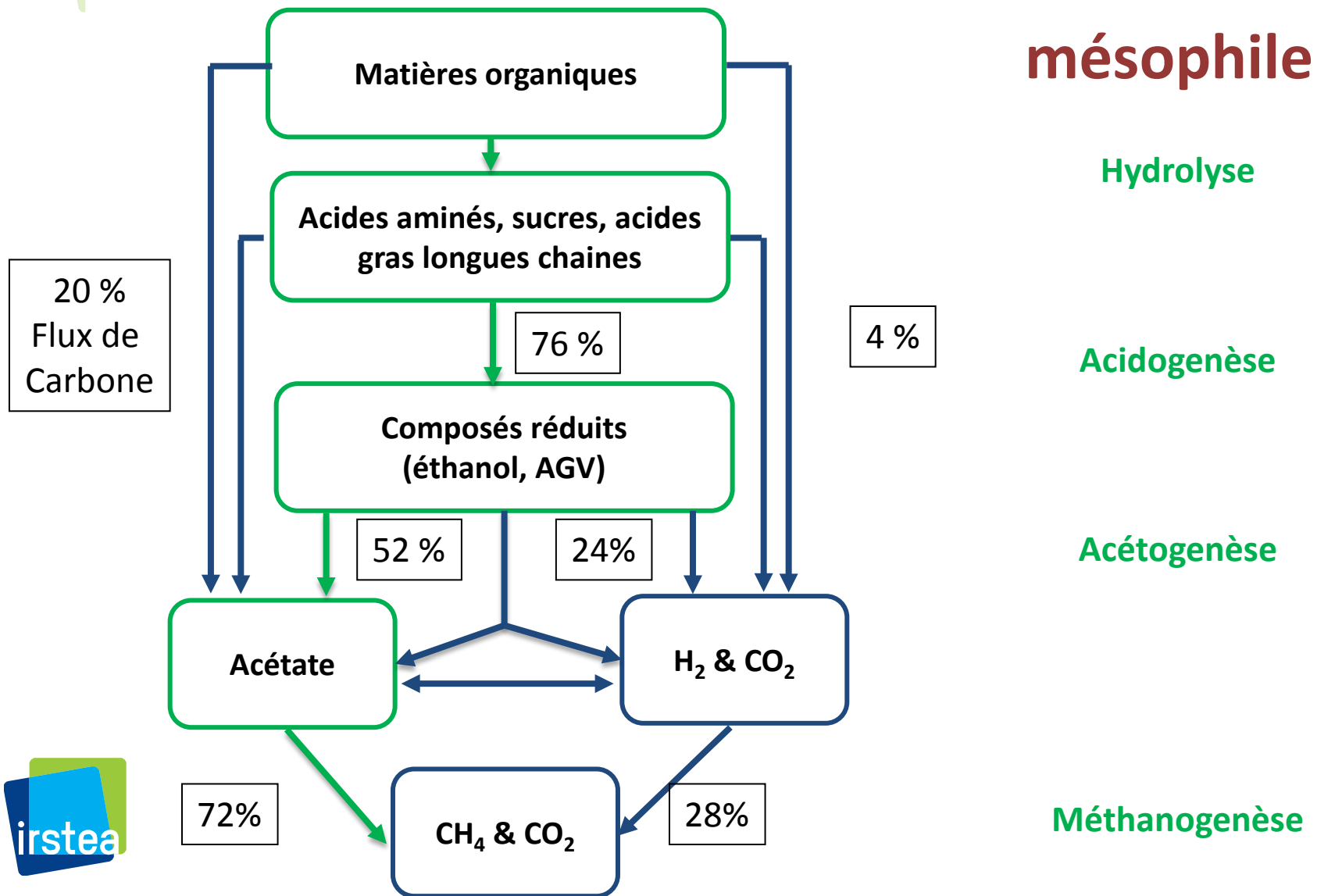
- Substrats très biodégradables
- Forte agitation
- Sans chauffage
- Consommation d'énergie (faible)

### Production de méthane joue sur

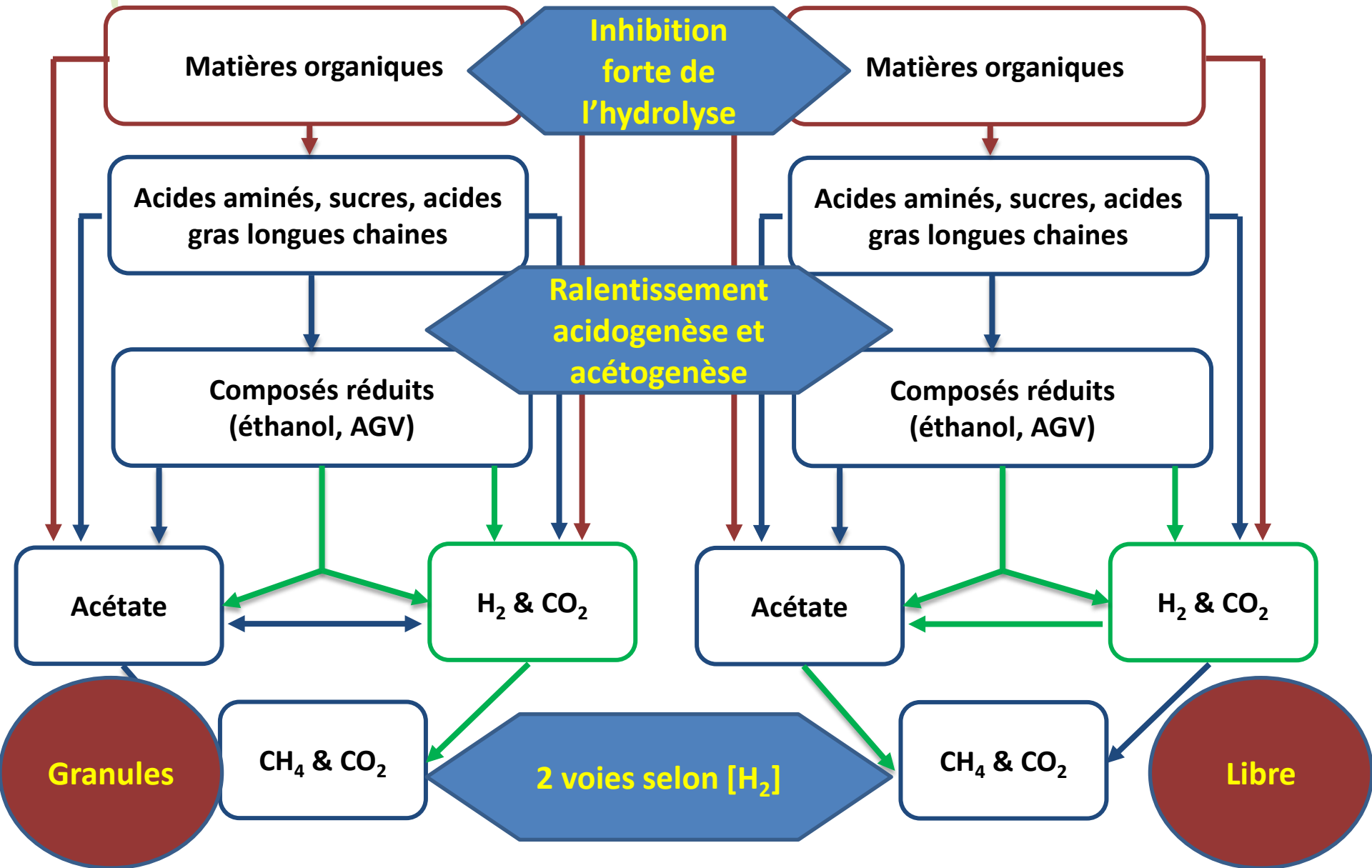
- Temps de séjours plus long (2 fois le TSH) ou mélange
- Adaptation des microorganismes
- Ensemencement des procédés (1/10 à 1)
- Reste des écosystèmes mésophiles adaptés



# Les voies métaboliques de la méthanogénèse



# Les voies de méthanogenèse psychrophile



# Conclusions

**Il existe des procédés aujourd'hui qui permettent de produire du biogaz à basse température**

**Les volumes produits sont souvent 10 fois plus faibles (ou pire) qu'en mésophilie mais :**

- le % en CH<sub>4</sub> est généralement bon
- la production augmente avec l'adaptation des biomasses à la température
- les activités spécifiques des biomasses sont plus élevées
- les activités des biomasses supportent des élévations de température

**Les mécanismes d'adaptation des biomasses ne sont pas bien connus**

**Projet Promethis : méthanisation à température ambiante des lisiers de porcs**

**Essais pilotes – Microbiologie - Démonstrateur taille réelle**

