



HAL
open science

Stratégies d'orientation de consortia microbiens pour la production de CH₄ ou de biomolécules à partir de CO₂

Claire Dumas, Léa Laguillaumie, Yan Rafrafi, Etienne Paul, Beatriz Gonzalez, Xavier Lefebvre, Mathieu Sperandio, Mansour Bounouba, Delphine Delagnes, Simon Dubos, et al.

► To cite this version:

Claire Dumas, Léa Laguillaumie, Yan Rafrafi, Etienne Paul, Beatriz Gonzalez, et al.. Stratégies d'orientation de consortia microbiens pour la production de CH₄ ou de biomolécules à partir de CO₂. Webinaire, Sep 2020, Toulouse, France. hal-02967402

HAL Id: hal-02967402

<https://hal.inrae.fr/hal-02967402>

Submitted on 14 Oct 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Stratégies d'orientation de consortia microbiens pour la production de CH₄ ou de biomolécules à partir de CO₂.

Claire Dumas, Léa Laguillaumie, Yan Rafrafi, Etienne Paul

Beatriz Gonzalez, Xavier Lefebvre, Mathieu Sperandio

Mansour Bounouba, Delphine Delagnes, Simon Dubos, Evrard Mengelle



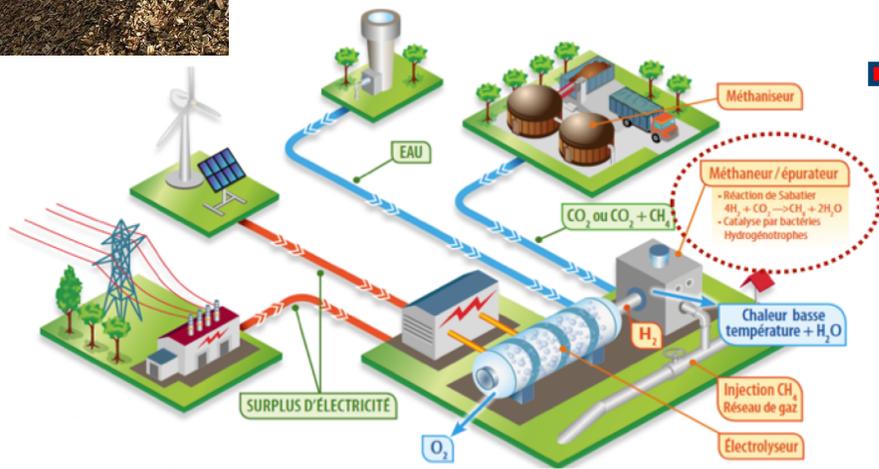
Toulouse Biotechnology Institute
Bio & Chemical Engineering

www.toulouse-biotechnology-institute.fr

Contexte



- Capture du CO_2
- Enrichissement du biogaz en CH_4
- Gazéification de la biomasse => syngaz



Et/ou



Molécules
d'intérêt

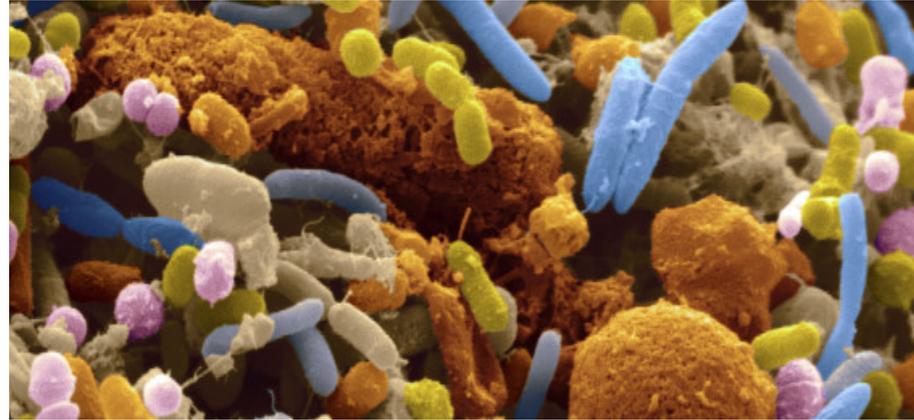


Valorisation énergie excédentaire
Electrolyse

Consortia microbiens (culture mixte) : avantages et inconvénients

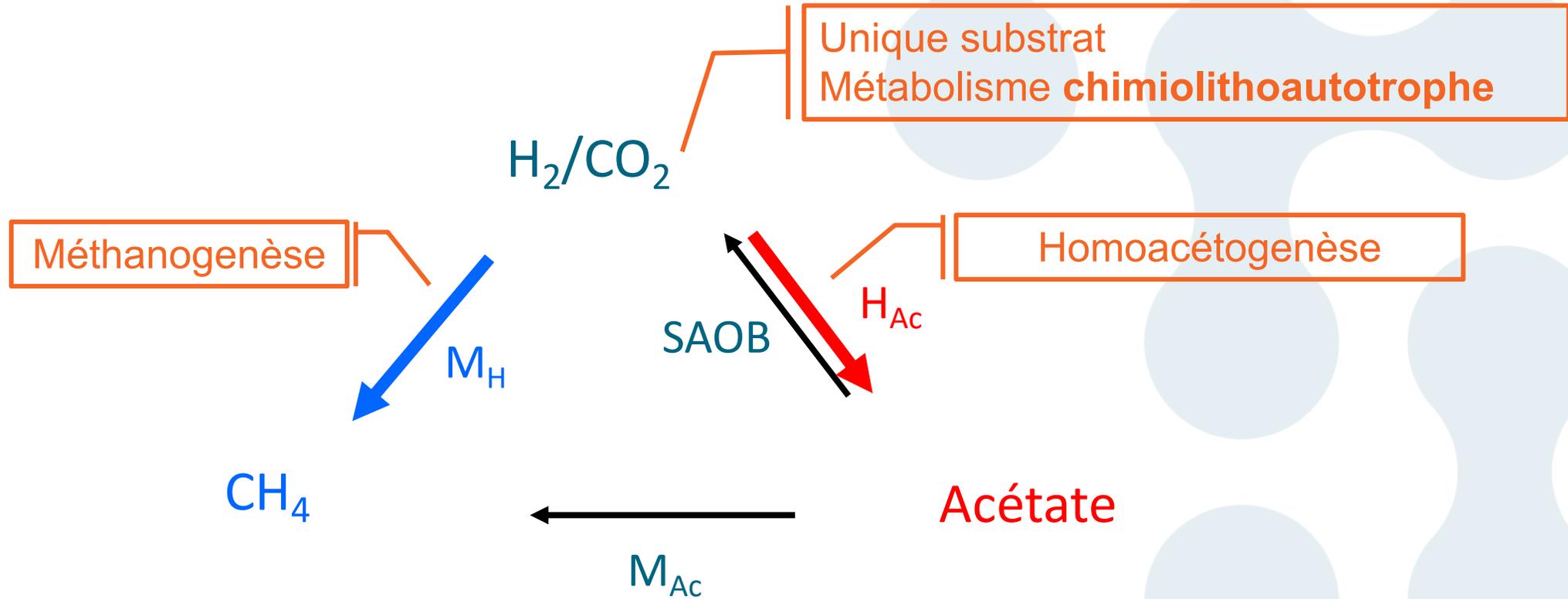


- **Résilience**
 - aux impuretés
 - aux modifications de paramètres de procédés
- **Faibles taux de décès** des micro-organismes
- **Flexibilité** : vis à vis des cycles de marche-arrêt
- **Absence de prétraitement** du gaz (épuration) en entrée du réacteur de méthanation pour éliminer les polluants



- **Catalyseur en voie liquide**
- **Compétition microbienne**
- **Productivité**

Compétition microbienne en culture mixte sur H₂ et CO₂



M_{ac}: méthanogènes acétotrophes

SAOB: syntrophic acetate oxydizing bacteria

M_H: méthanogènes hydrogénéophiles

H_{ac}: acétogènes hydrogénéophiles

Consommation d'acétate

Consommation d'H₂

Fermentation H₂ et CO₂ : paramètres cinétiques

Population	μ _{max} (d ⁻¹)	K _s (mgCOD/L)	ATP yield (ATP/reaction)	ΔrG0' (kJ/mol)	Stoichiometric reaction
Hydrogenotrophic methanogens	0.02-2.6 (33-35 °C)	<i>H₂</i> 4.8x10 ⁻⁵ - 0.6	0.5	- 131	4H₂ + CO₂ → CH₄ + 2H₂O
	8-12 (55-60 °C)				
Homoacetogens (<i>C. ljungdahlii</i> on CO/CO ₂ /H ₂ at 37 °C)	1.20-4.68	<i>H₂</i> 1.9-2.5	0.33	- 95	4H₂ + 2CO₂ → Acétate⁻ + H⁺ + 2H₂O
Acetotrophic methanogens (mixed culture on acetate at 35 °C)	0.08-0.36	<i>Acetate</i> 165-185	0.5	- 36	Acétate⁻ + H⁺ → CO₂ + CH₄
Syntrophic acetate oxidizing bacteria (<i>Thermacetogenium phaeum</i> 58 °C co-cultured with <i>Methanothermobacter thermoautotrophicus</i>)	0.73	0.15-0.3	0.33	+ 95	Acétate⁻ + H⁺ + 2H₂O → 4H₂ + 2CO₂

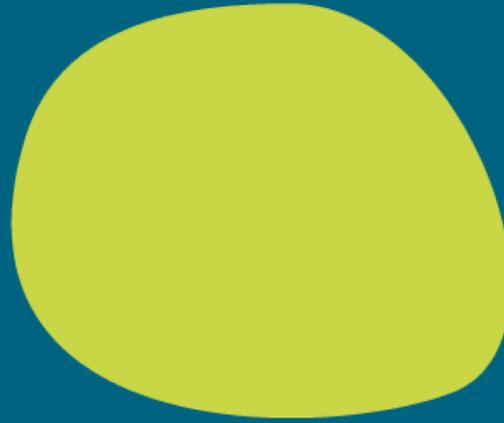
• Batstone, et al. IWA Water Sci. Technol. 45, 65–73 (2002).

• Pavlostathis, S.G., Giraldo-Gomez, E.: Crit. Rev. Environ. Control. 21, 411–490 (1991)

• Koster, I.W., Koomen, E.. Appl. Microbiol. Biotechnol. 28, 500–505 (1988). <https://doi.org/10.1007/BF00268222>

• Younesi, H., et al. Biochem. Eng. J. 27, 110–119 (2005). <https://doi.org/10.1016/j.bej.2005.08.015>

• Mohammadi, et al., <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/910590/abs/>



Exemple de comportement de populations microbiennes lors de la fermentation d'H₂ et CO₂, en batch

*D'après les résultats
Grimalt-Alemany et al. 2019
Wang et al. 2018*

Appl Microbiol Biotechnol (2017) 101:2619–2627
DOI 10.1007/s00253-017-8124-9



BIOENERGY AND BIOFUELS

Enhancement of acetate productivity in a thermophilic (55 °C) hollow-fiber membrane biofilm reactor with mixed culture syngas (H₂/CO₂) fermentation

Yun-Qi Wang¹ · Shi-Jin Yu² · Fang Zhang³ · Xiu-Yang Xia¹ · Raymond J. Zeng¹

Waste and Biomass Valorization
<https://doi.org/10.1007/s12649-019-00595-z>

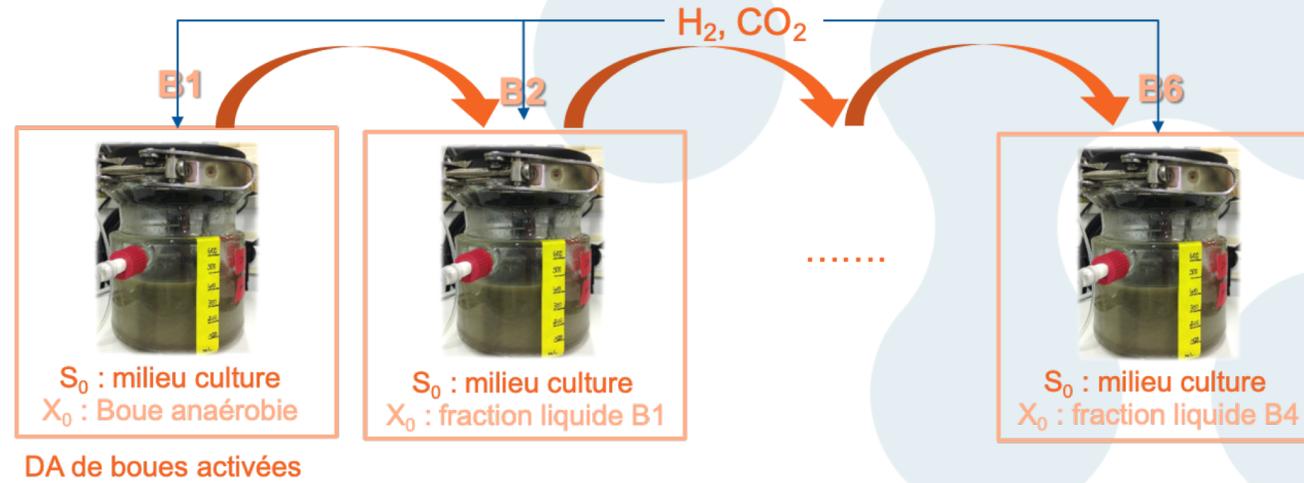
ORIGINAL PAPER



Enrichment of Mesophilic and Thermophilic Mixed Microbial Consortia for Syngas Biomethanation: The Role of Kinetic and Thermodynamic Competition

Antonio Grimalt-Alemany¹ · Mateusz Łężyk² · David M. Kennes-Veiga¹ · Ioannis V. Skiadas¹ · Hariklia N. Gavala¹

Expérimentation: enrichissement et test d'activité



- ❑ Duplicats, 100/330mL; pH=7; Milieu de base pour anaérobie (avec vitamines et éléments trace)

Test d'activité en batch en triplicats

- ❑ **Inoculation**: boue anaérobie 20%(v/v) soit 24 mgVSS/l pour expériences en mésophilie (37°C) et 10mg/l en thermophilie (60°C)
- ❑ **Témoin** sans ajout de donneur d'électron (uniquement N_2 et CO_2 pour effet dégradation inoculum)
- ❑ $7 < pH < 7,5$ tamponné (0,2 P_{CO_2} et 31 mM de $NaHCO_3$)

→ Analyses

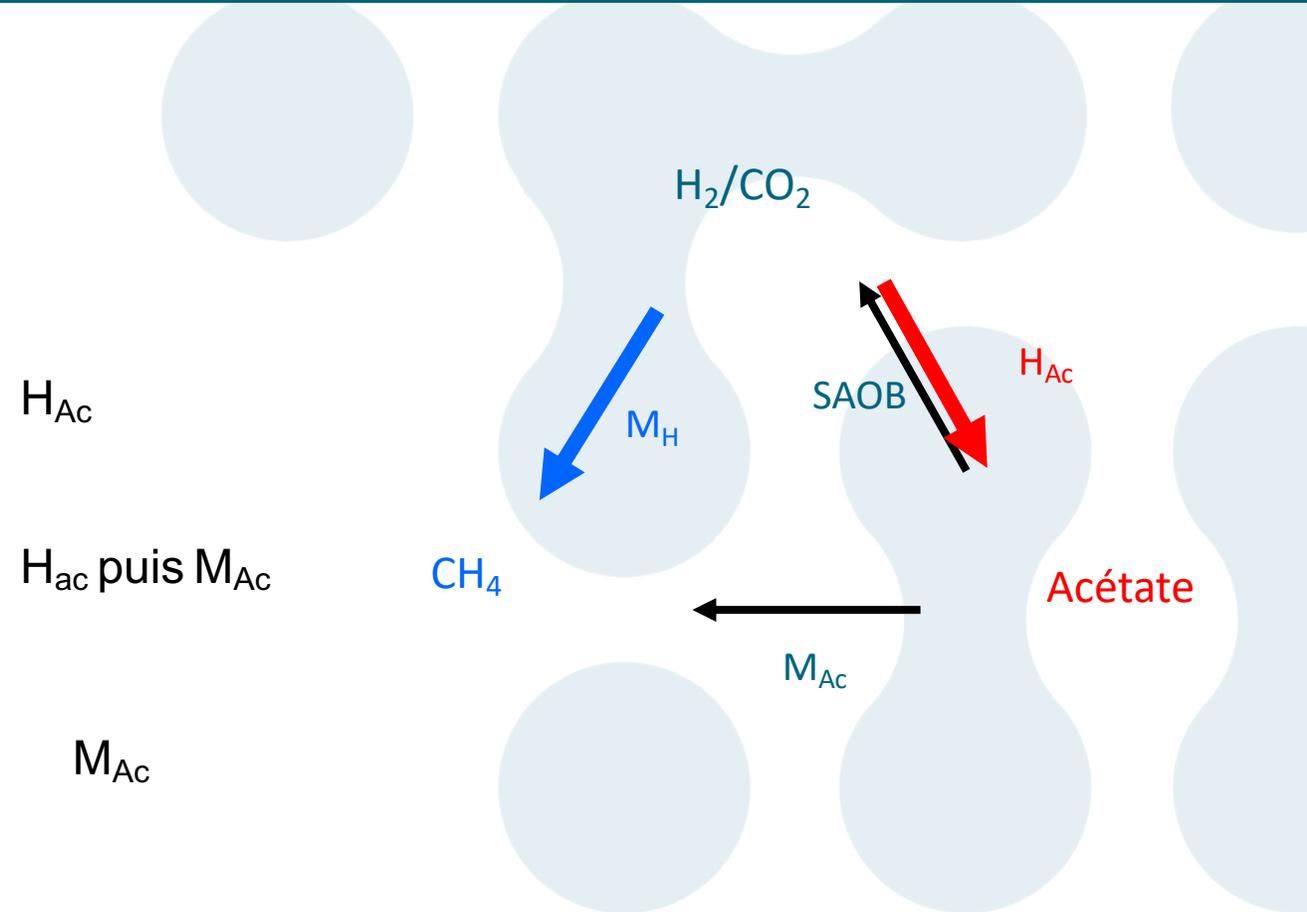
- composition du ciel gazeux quotidienne
- composés solubles par CPG

Quelle sélection selon les substrats et la température?

Substrats	Mésophile Ou Thermophile Concentrations (mol/mol donneur d'e ⁻)
H ₂ /CO ₂ + BES	Quelles activités sur H ₂ /CO ₂ sans méthanogénèse?
H ₂ /CO ₂	Quelles activités sur H ₂ /CO ₂ ?
Acetate	Qui consomme l'acétate?

Quelle sélection selon les substrats et la température?

Substrats	Mésophile Concentrations (mol/mol donneur d'e ⁻)
H ₂ /CO ₂ + BES	Acétate (0,21)
H ₂ /CO ₂	Acétate puis CH ₄ (0,23)
Acétate	CH ₄ (0,82)



Quelle sélection selon les substrats et la température

Substrats	Thermophile Concentrations (mol/mol donneur d'e ⁻)
H ₂ /CO ₂ + BES	/
H ₂ /CO ₂	CH ₄ (0,23)
Acétate	/

H_{Ac}

M_H seules

Uniquement Méthanogènes hydrogénotrophes

CH₄

H₂/CO₂

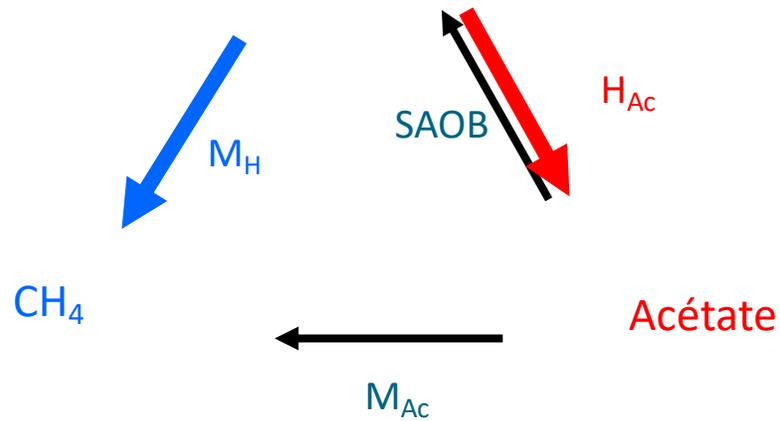
M_H

Rendement de récupération produits entre 80 et 90%
Pas d'AGVs en intermédiaire de la transformation

Comparaison des transformations selon la température

Mésophilie

H₂/CO₂

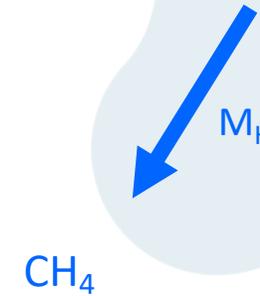


- Consortium sélectionné plus complexe que en condition thermophile = Plus grande diversité alpha
- Dominant Acetobacterium et Methanospirillum
- Formation d'acides : Acétate, Butyrate

1.83 ± 0.27 mmol CH₄/g VSS/h

Thermophilie

H₂/CO₂



- Consortium sélectionné moins complexe que en condition mésophile
- Thermincola 47,9% & Methanothermobacter 14,8%
- Conversion plus directe et plus rapide H₂ + CO₂ en CH₄
- Pas de formation d'acides

33.48 ± 0.90 mmol CH₄/g VSS/h

Mode batch + P_{gaz} élevée + réactions fournissent une énergie = $\Delta G^{\circ} \ll 0$
Sélection gouvernée par la cinétique

Comparaison des transformations selon temps de séjour

Appl Microbiol Biotechnol (2017) 101:2619–2627
DOI 10.1007/s00253-017-8124-9



BIOENERGY AND BIOFUELS

Enhancement of acetate productivity in a thermophilic (55 °C) hollow-fiber membrane biofilm reactor with mixed culture syngas (H₂/CO₂) fermentation

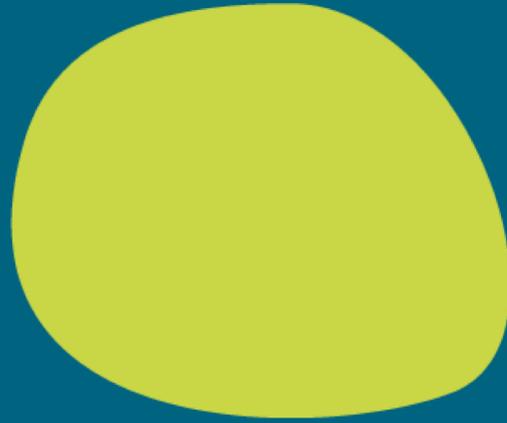
Yun-Qi Wang¹ · Shi-Jin Yu² · Fang Zhang³ · Xiu-Yang Xia¹ · Raymond J. Zeng¹

Wang et al. 2018

	Ts (j)	T (°C)	pH	CH ₄ (% ciel)	Acétate (mmolC/L/j)
Batch	Inf.	55	6	/	68
Continu	0,5	55	6	/	285
	1	55	6		356
	2,5	55	6		261

Présence de butyrate

Augmentation de la productivité en Acétate (et spécificité)
Ts optimal



Exemple de la production de CH_4 à
partir de CO_2 et d' H_2



Toulouse Biotechnology Institute
Bio & Chemical Engineering

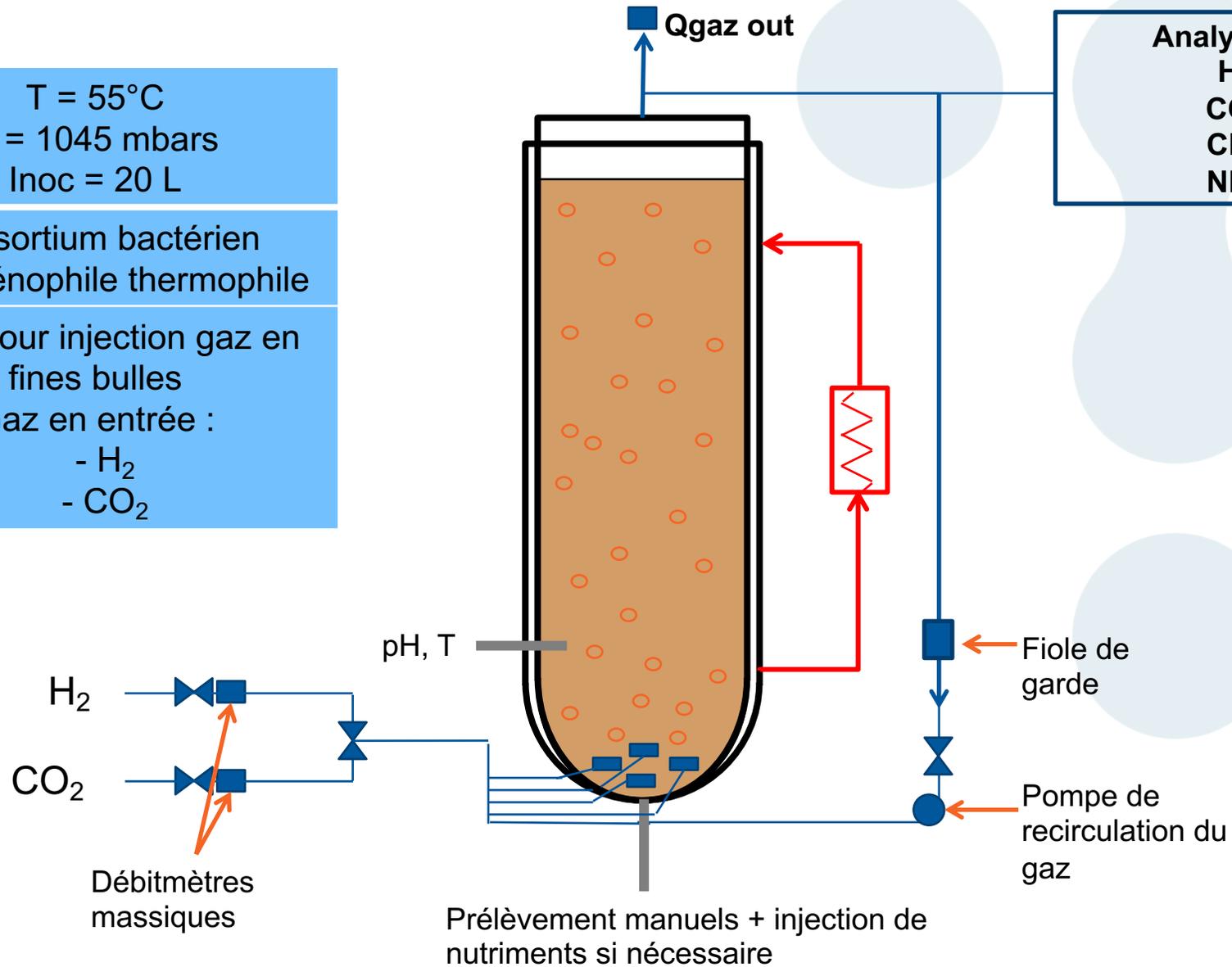
Production continue de CH₄ par méthanation

T = 55°C
P = 1045 mbars
Inoc = 20 L

Consortium bactérien
hydrogénophile thermophile

Fritté pour injection gaz en
fines bulles

Gaz en entrée :
- H₂
- CO₂

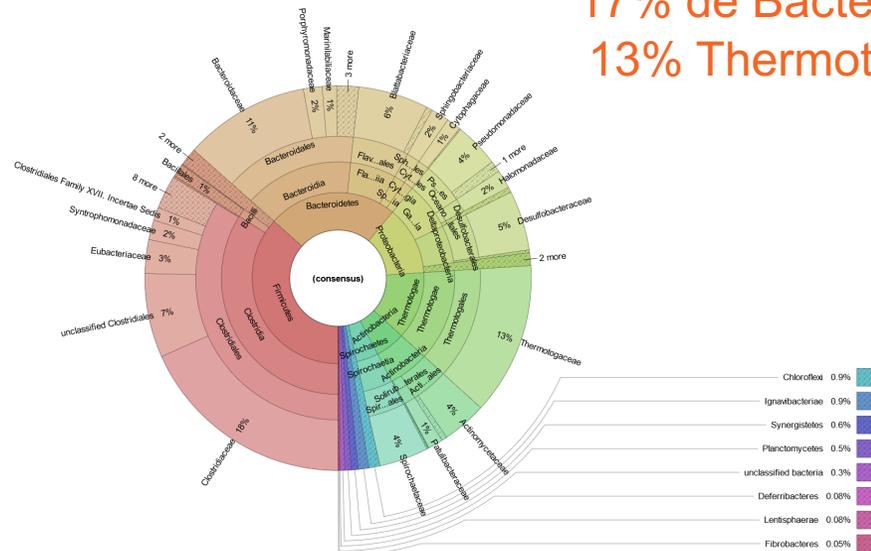


La production de méthane et sélection microbienne

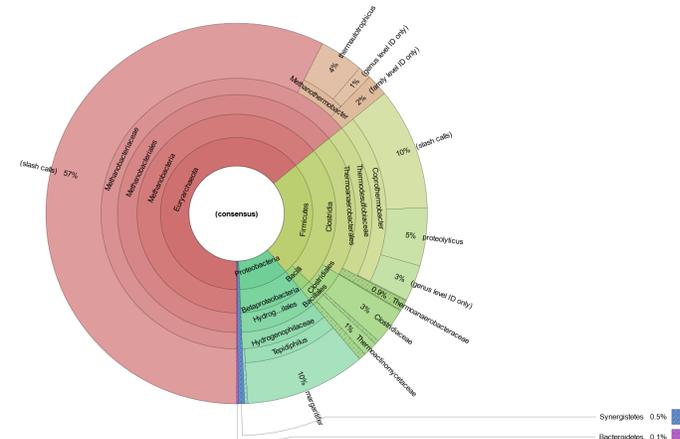
2 ans d'expérience en réacteur continu

- Rendements pour H₂ consommé / CH₄ produit proche 100%
- $H_{2_conso} / CH_{4_produit} = 3.9$; $H_{2_conso} / CO_{2_conso} = 3.7$;
- Croissance de microorganismes hydrogénophiles

POINT INITIAL
Bactéries majoritaires
39% de Clostridia
17% de Bacteroidia
13% Thermotagae



POINT FINAL
Archées majoritaires
57% de Methanobacteria
23% de Clostridia



Production d'acides organiques

Méthanation biologique *Ex situ*

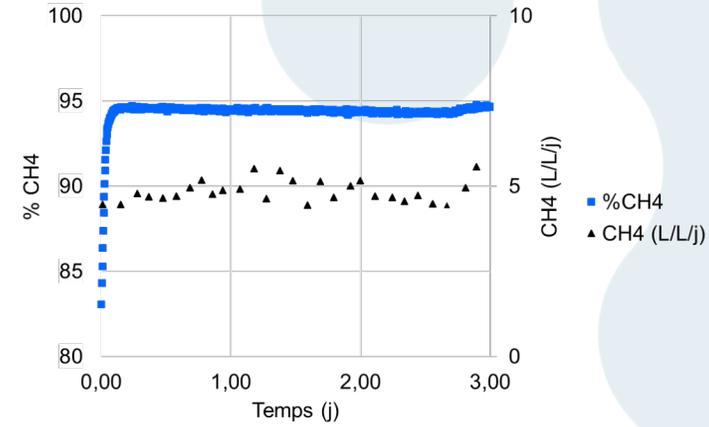
Equipe de travail sur le pilote de méthanation
Y. Rafrafi, E. Mengelle, S. Dubos, M. Bounouba, X. Lefebvre
C. Dumas



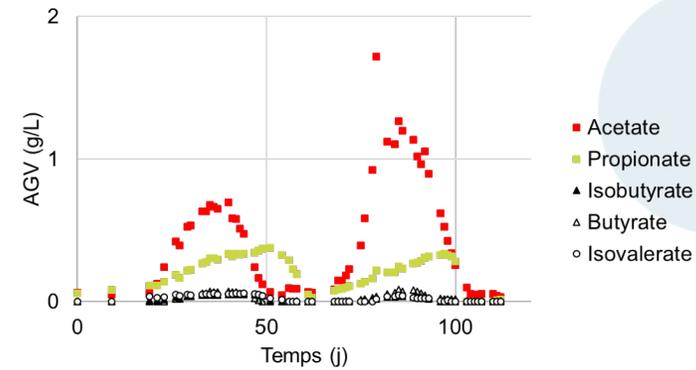
99%
De la DCO_{H2} consommée

1%
De la DCO_{H2} consommée

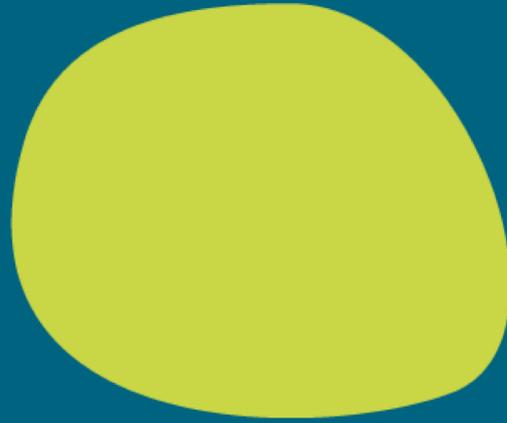
Production de méthane



Accumulations et consommations d'AGV



Homoacétogénèse transitoire quand la P_{H_2} augmente



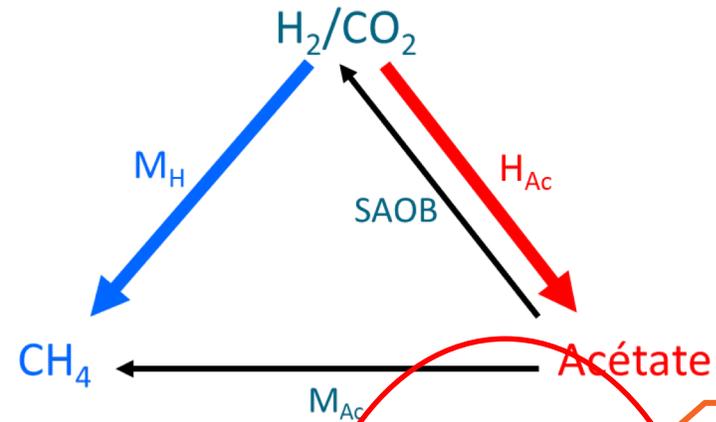
Exemple de la production d'acétate à
partir de CO_2 et d' H_2



Toulouse Biotechnology Institute
Bio & Chemical Engineering

Comment orienter le procédé ?

Comment sélectionner une fonctionnalité en culture mixte ?

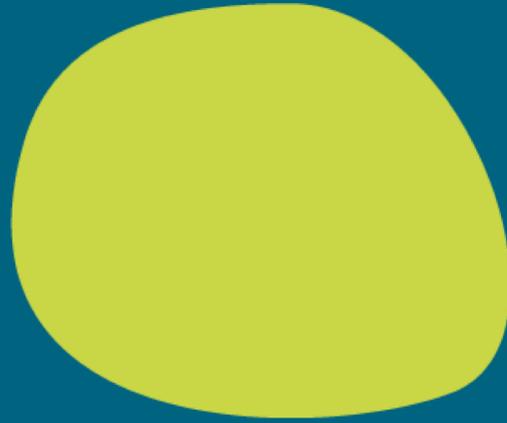


	M_H	H_{Ac}
P_{H_2} (bar)	< 0,1	> 0,2
Température (°C)	50-70	20-40
Temps de séjour de la biomasse (j)	> 10	< 5
pH	7-8	< 7 et > 8

Plan d'expérience
Procédé continu
Réacteur 2 L
Sélection microbienne



- **Possibilité de jouer sur ces conditions opératoires pour orienter vers le méthane ou vers des acides (T° , $T_{\text{séjour}}$, P_{H_2})**
 - impact sur efficacité de transformation et productivité
- **Si la barrière thermodynamique levée (ex: P_{H_2} élevée) → sélection gouvernée par la cinétique**



Merci pour votre attention



Toulouse Biotechnology Institute
Bio & Chemical Engineering