

TEMPERATURE AND MINERALOGY AFFECT COMPETITIONS BETWEEN H₂-CONSUMING MICROORGANISMS : IMPLICATIONS FOR GEOLOGICAL H₂ STORAGE

GDR HYDROGEMM

15/11/2023

SIMON POIRIER*, ELODIE MULLER, AMBRE TAFIT *et al*

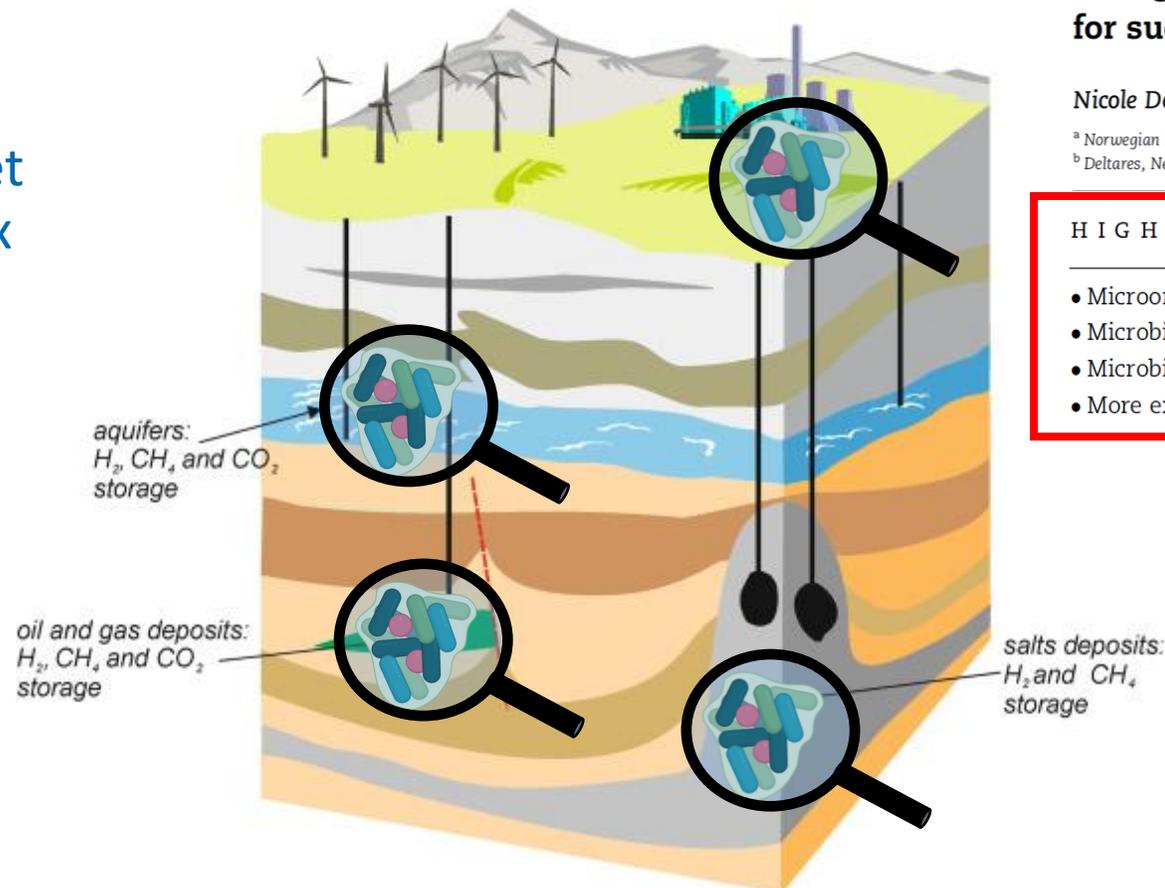
RISQUES MICROBIENS ASSOCIÉS AU STOCKAGE DE GAZ



Enjeux sanitaires et
environnementaux

Biocorrosion,
dégradation des
installations

Altération du
gaz stocké et du
milieu poreux



Microbial side effects of underground hydrogen storage – Knowledge gaps, risks and opportunities for successful implementation



Nicole Dopffel ^{a,*}, Stefan Jansen ^b, Jan Gerritse ^b

^a Norwegian Research Center – NORCE, Norway

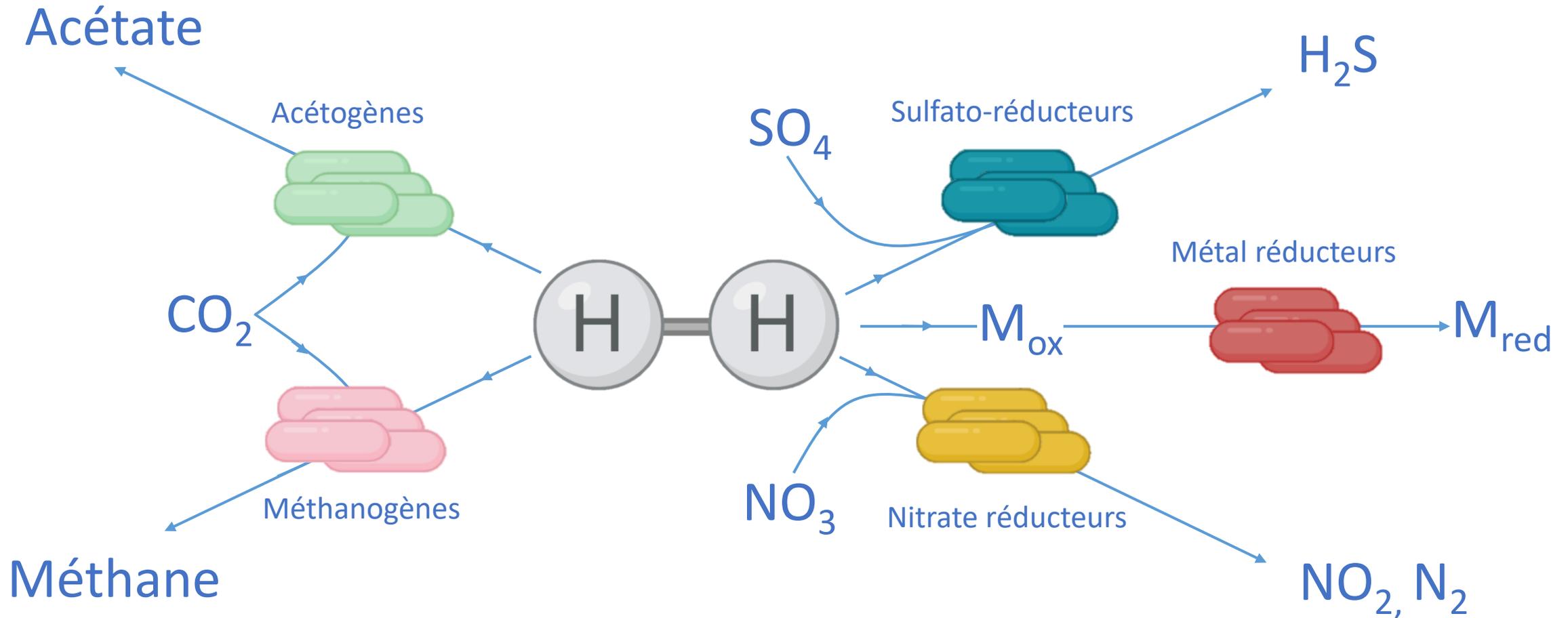
^b Deltares, Netherlands

HIGHLIGHTS

- Microorganisms can be present in all locations intended for H₂ underground storage.
- Microbial-associated risks include H₂ loss, souring, corrosion and clogging.
- Microbial activity is field specific and should be assessed prior to implementation.
- More experience from field-specific tests is needed to predict microbial influence.

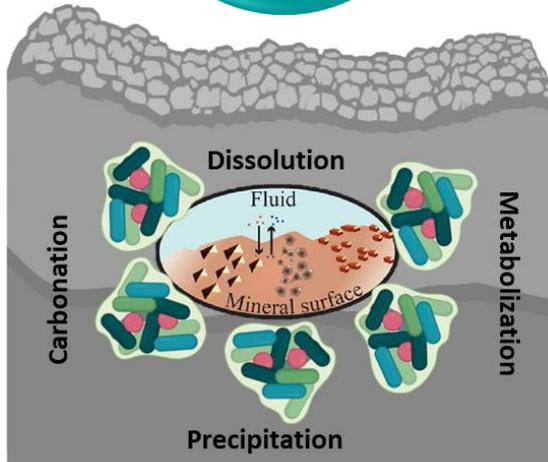
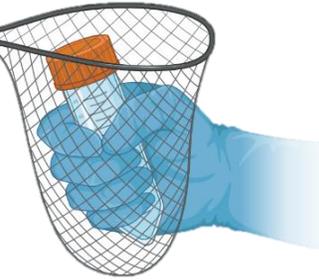
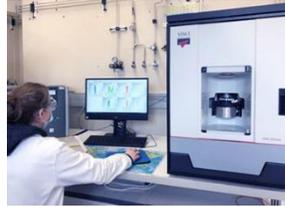
Dopffel *et al.*, 2021, 2023
Heinemann *et al.*, 2021
Dorhmann, 2023
Hemm *et al.*, 2017

VOIES MICROBIENNES D'UTILISATION DE L'H₂ EN ANAÉROBIE



Caractériser les réactions et les acteurs microbiens

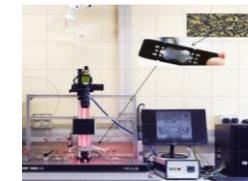
Explorer



Cycles biogéochimiques *in situ*



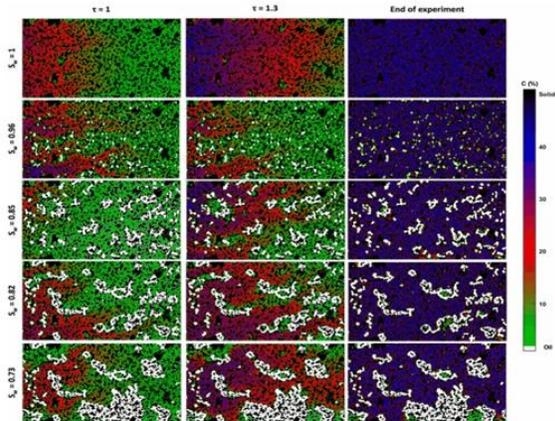
Comprendre



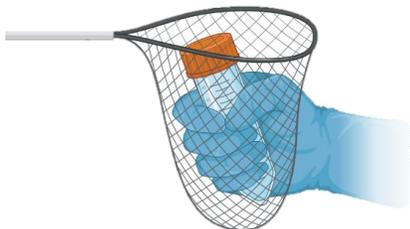
Reproduire et tester la réactivité en conditions représentatives

Modéliser

Prédire pour piloter/orienter



Matériel biologique



Souche pure

Echantillon
environnemental

Dispositifs expérimentaux

Statique

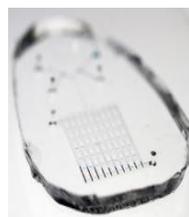


Fiole



Réacteur HP

Ecoulement



Micro-modèle



Core Flood

Arsenal analytique

Extraction/séquençage ADN/ARN



Multi-omics

Cytomètre



Thermocycleur



Quantif
cellulaire

HPLC/ICS



GCC-IRMS



Réactivité
géochimie

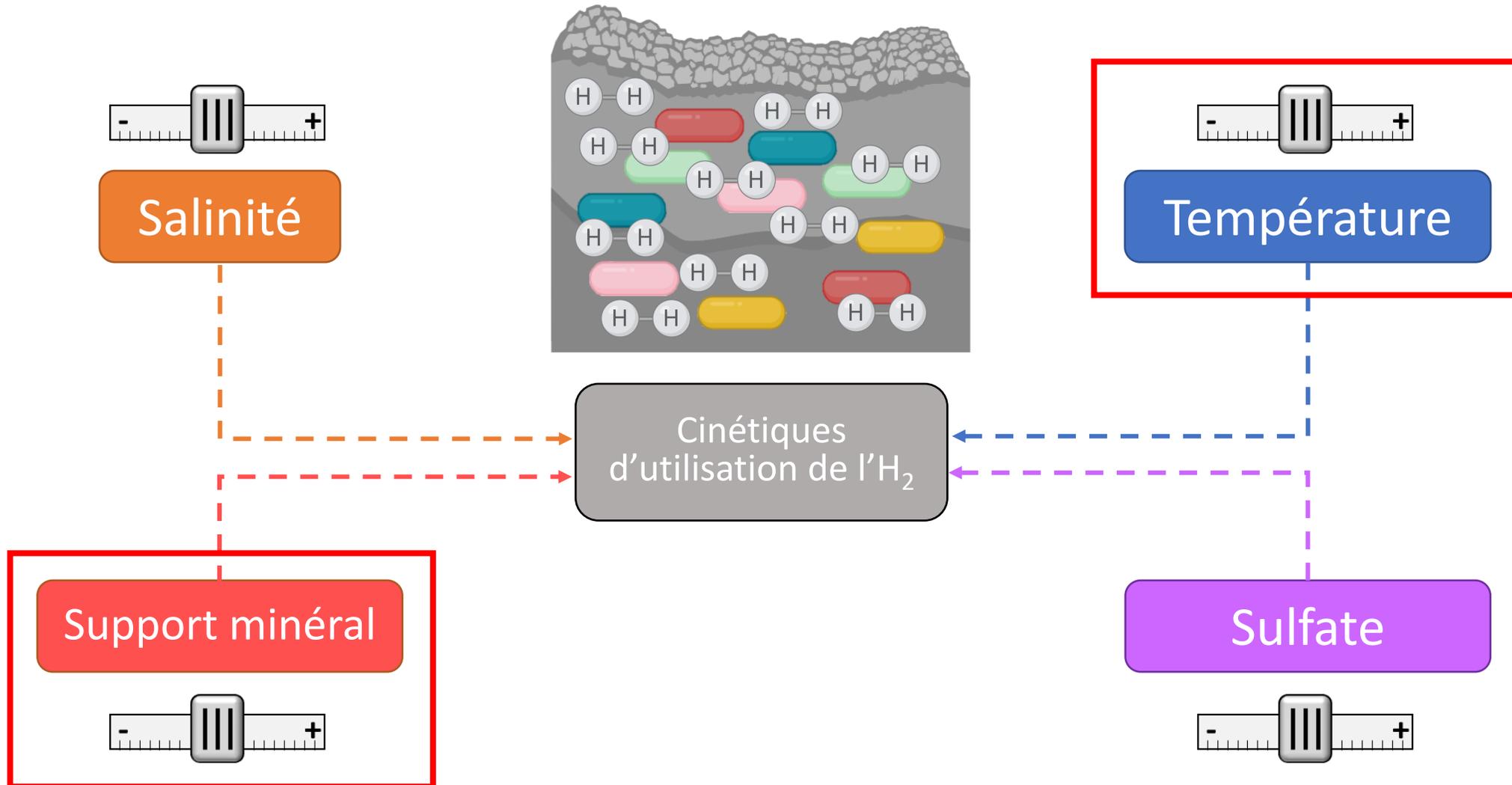
Analyses RX



MEB



Altération
du substrat



MATÉRIELS ET MÉTHODES

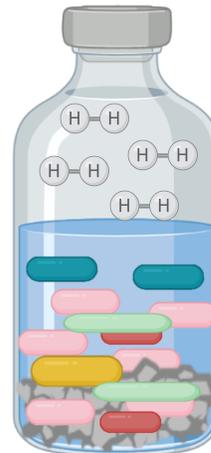
Experimental setup

Incubation

- Fiole 150 mL
- Agitation 150 rpm
- Milieu de culture DSM sans substrat organique

Matériel biologique

- Consortium environnemental
- Digesteur anaérobie
- Spécialisé sous H₂/CO₂



MATÉRIELS ET MÉTHODES

Experimental setup

Incubation

- Fiole 150 mL
- Agitation 150 rpm
- Milieu de culture DSM sans substrat organique

Matériel biologique

- Consortium environnemental
- Digesteur anaérobie
- Spécialisé sous H₂/CO₂



MATÉRIELS ET MÉTHODES

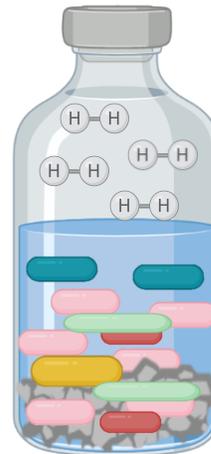
Experimental design

Incubation

- Fiole 150 mL
- Agitation 150 rpm
- Milieu de culture DSM sans substrat organique

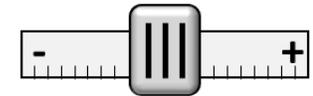
Matériel biologique

- Consortium environnemental
- Digesteur anaérobie
- Spécialisé sous H₂/CO₂



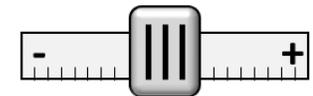
Paramètres environnementaux

Support minéral



Gypse, carbonate, basalte, grès, Ø
(1 g de poudre tamisée entre 100 et 200 µm)

Température



25°C - 34°C - 40°C

MATÉRIELS ET MÉTHODES

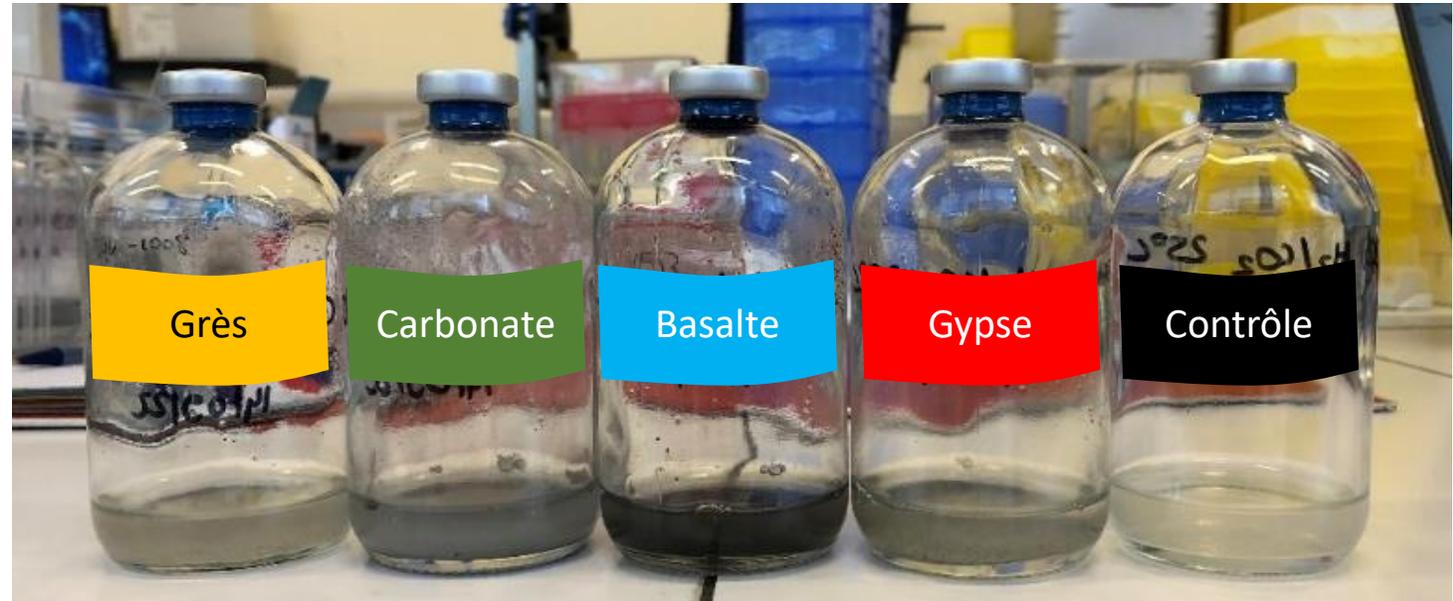
Experimental design

Incubation

- Fiole 150 mL
- Agitation 150 rpm
- Milieu de culture DSM sans substrat organique

Matériel biologique

- Consortium environnemental
- Digesteur anaérobie
- Spécialisé sous H₂/CO₂



MATÉRIELS ET MÉTHODES

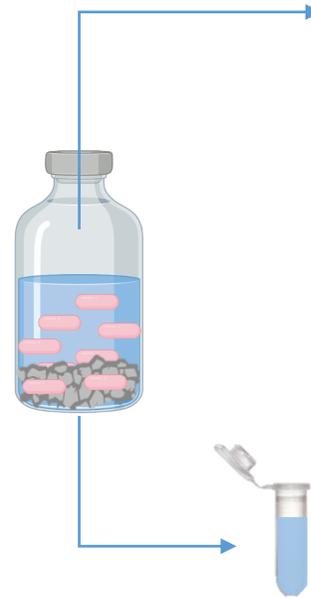
Approche analytique

Incubation

- Fiole 150 mL
- Agitation 150 rpm
- Milieu de culture DSM sans substrat organique

Matériel biologique

- Consortium environnemental
- Digesteur anaérobie
- Spécialisé sous H₂/CO₂



Analytique

Suivi de la composition du ciel gazeux



Activité métabolique



Spectro UV-visible

HPLC, ICS

Ecologie moléculaire



Séquençage ADN

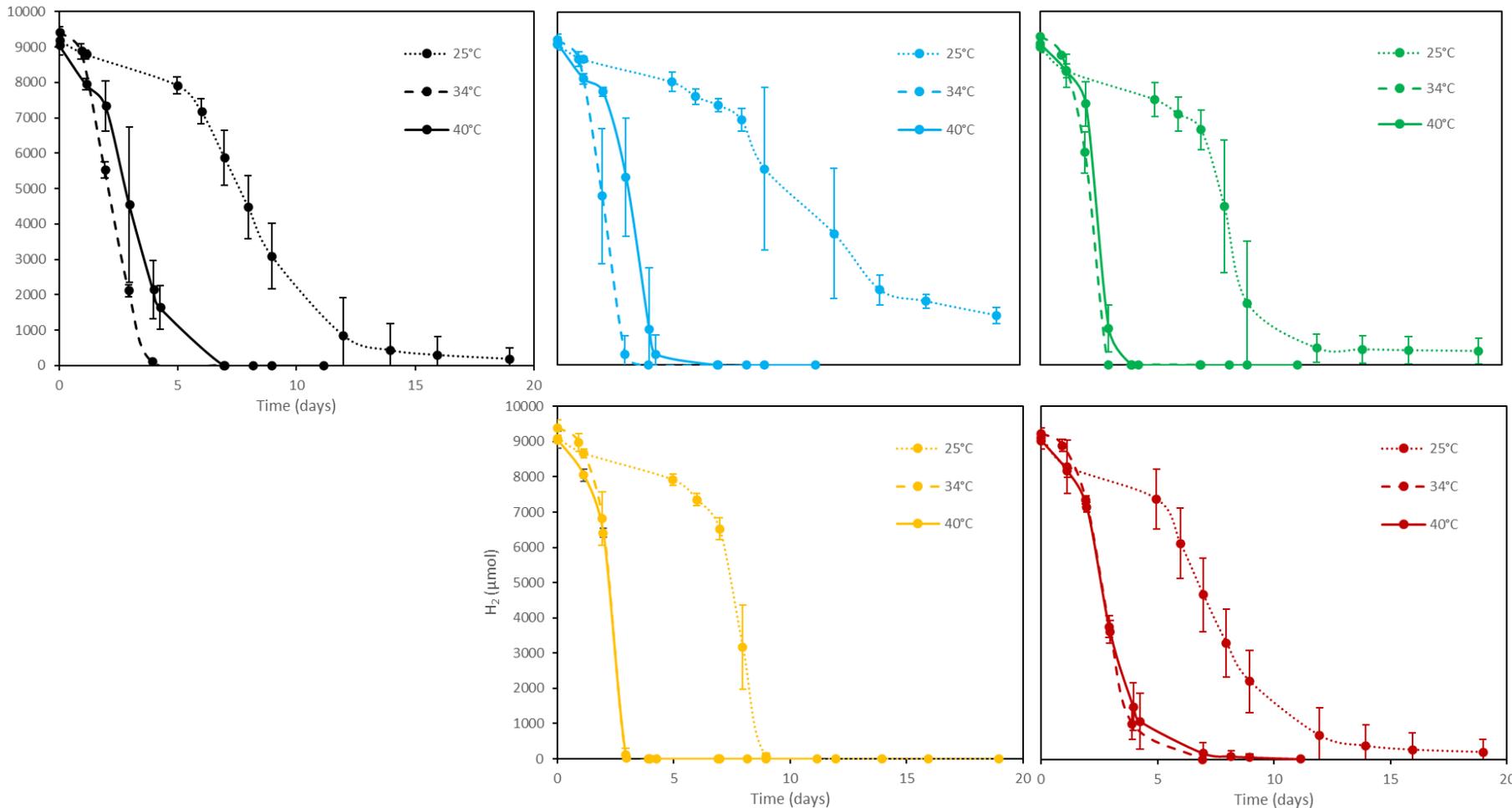


Thermocycleur (qPCR)

Renewable energies

RÉSULTATS

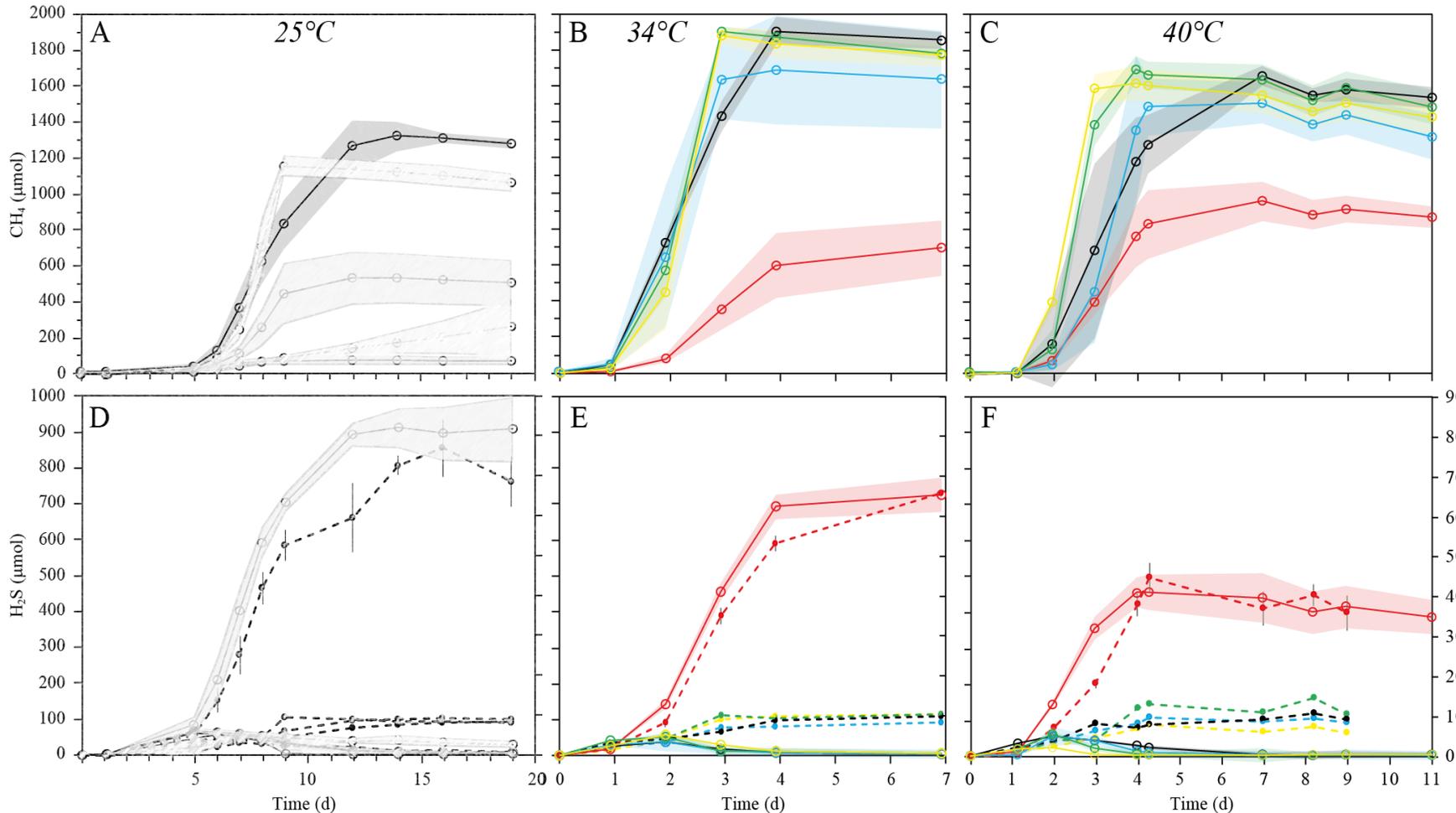
Influence de la température sur les cinétiques de consommation de l'H₂



- A 25°C la consommation d'H₂ est systématiquement ralentie
- Effet accélérateur de tous les supports minéraux à 34°C
- Effet accélérateur marqué à 40°C pour le carbonate, basalte, grès et gypse

RÉSULTATS

Influence du type de support minéral sur les voies de conversion de l'H₂



- Conversion répétable vers la production de CH₄ (**méthanogenèse**) en présence de **carbonate**, **basalte**, **grès**, et témoin (∅)

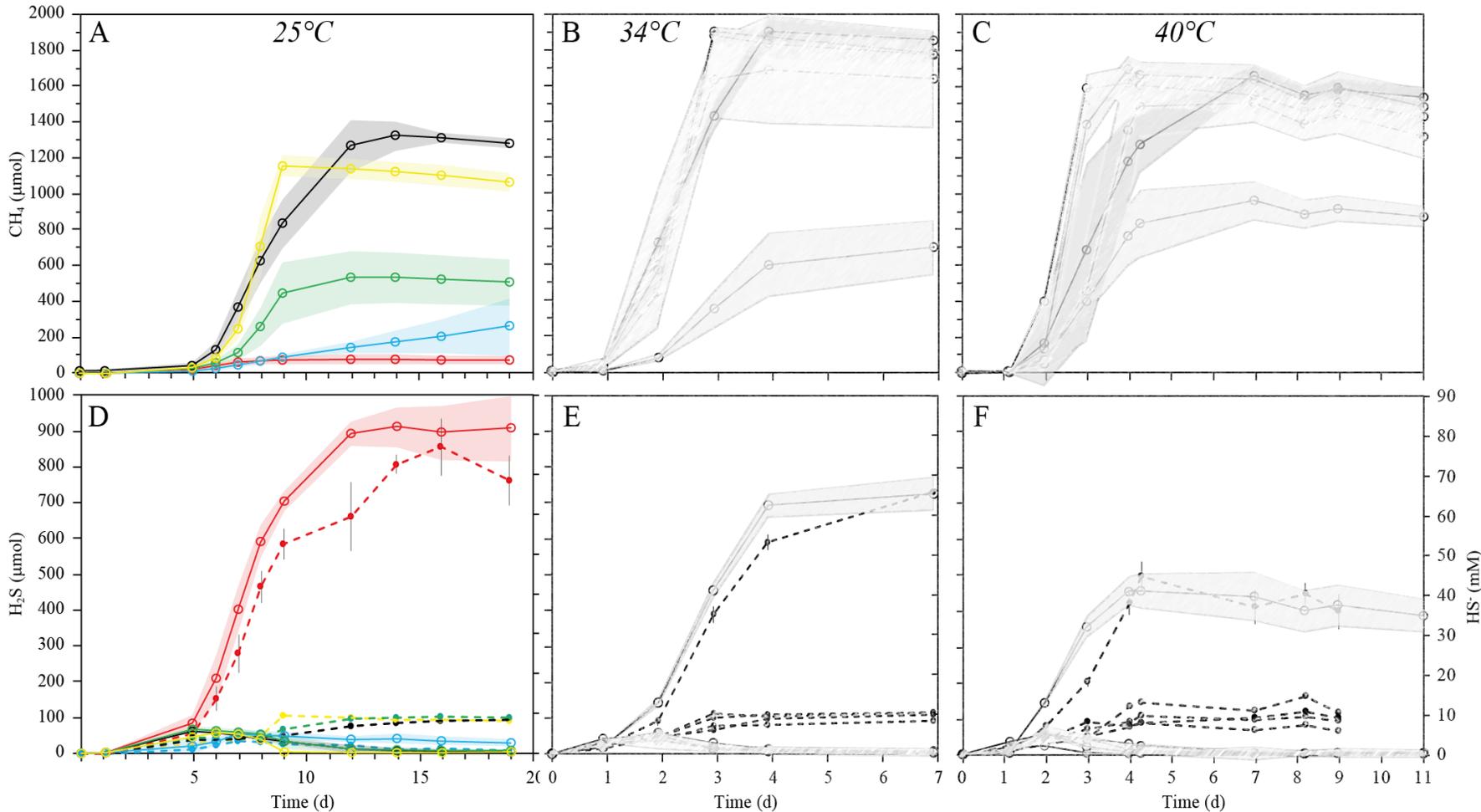


- Réorientation d'une partie du flux d'H₂ pour la **sulfato-réduction** et la production d'H₂S en présence de **gypse**



RÉSULTATS

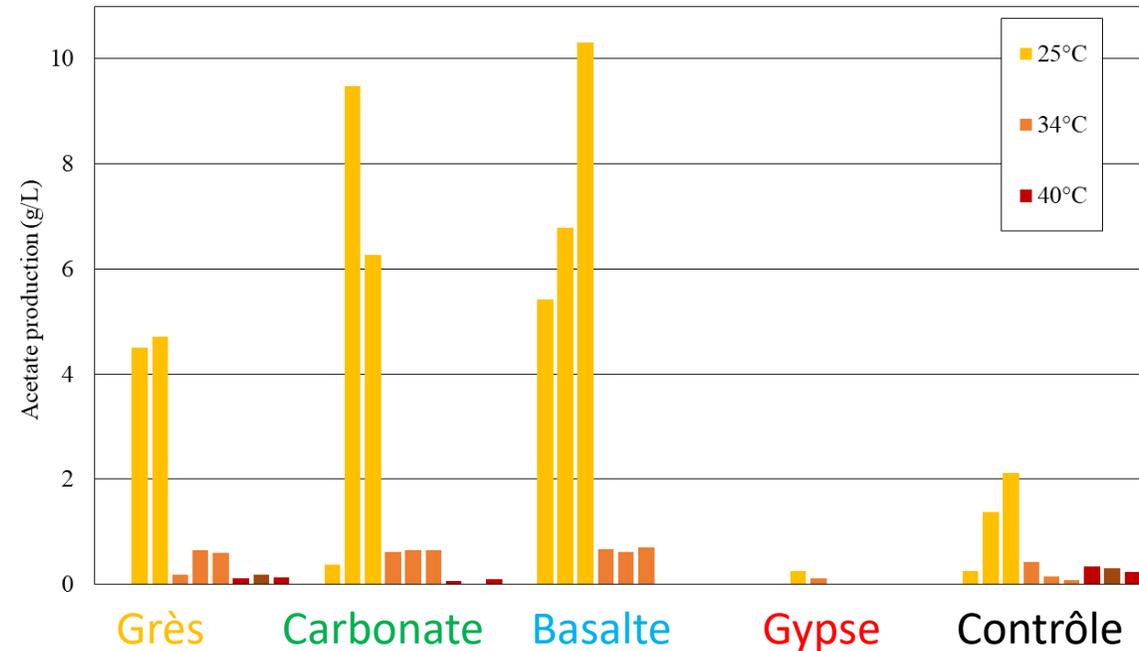
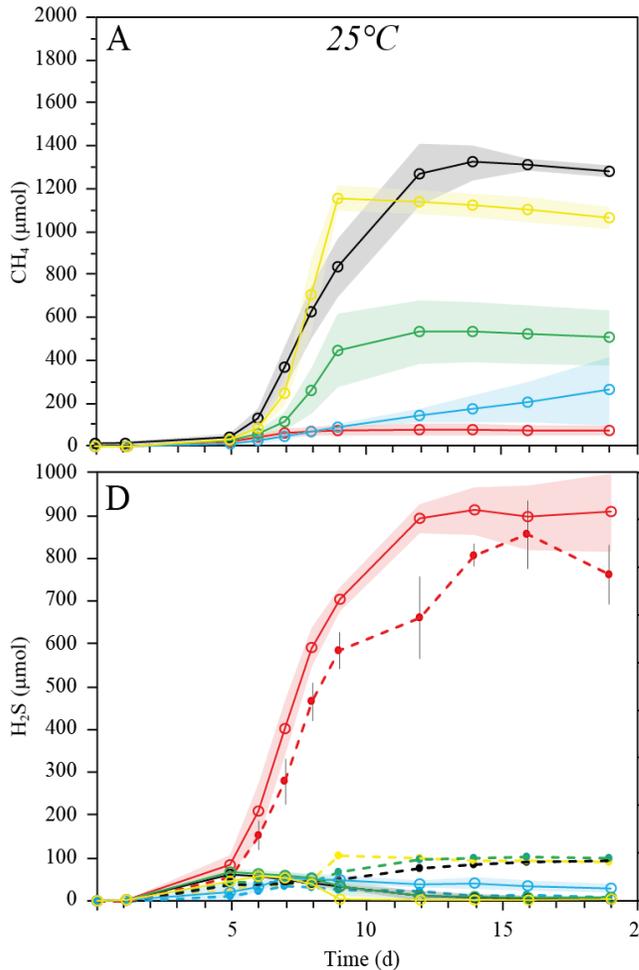
Influence du type de support minéral sur les voies de conversion de l'H₂



- Conversion réduite et variable du flux d'H₂ vers la **méthanogenèse** en présence de carbonate, basalte, grès, et témoin (Ø)
- Réorientation d'une partie du flux d'H₂ pour la **sulfato-réduction** et la production d'H₂S en présence de gypse

RÉSULTATS

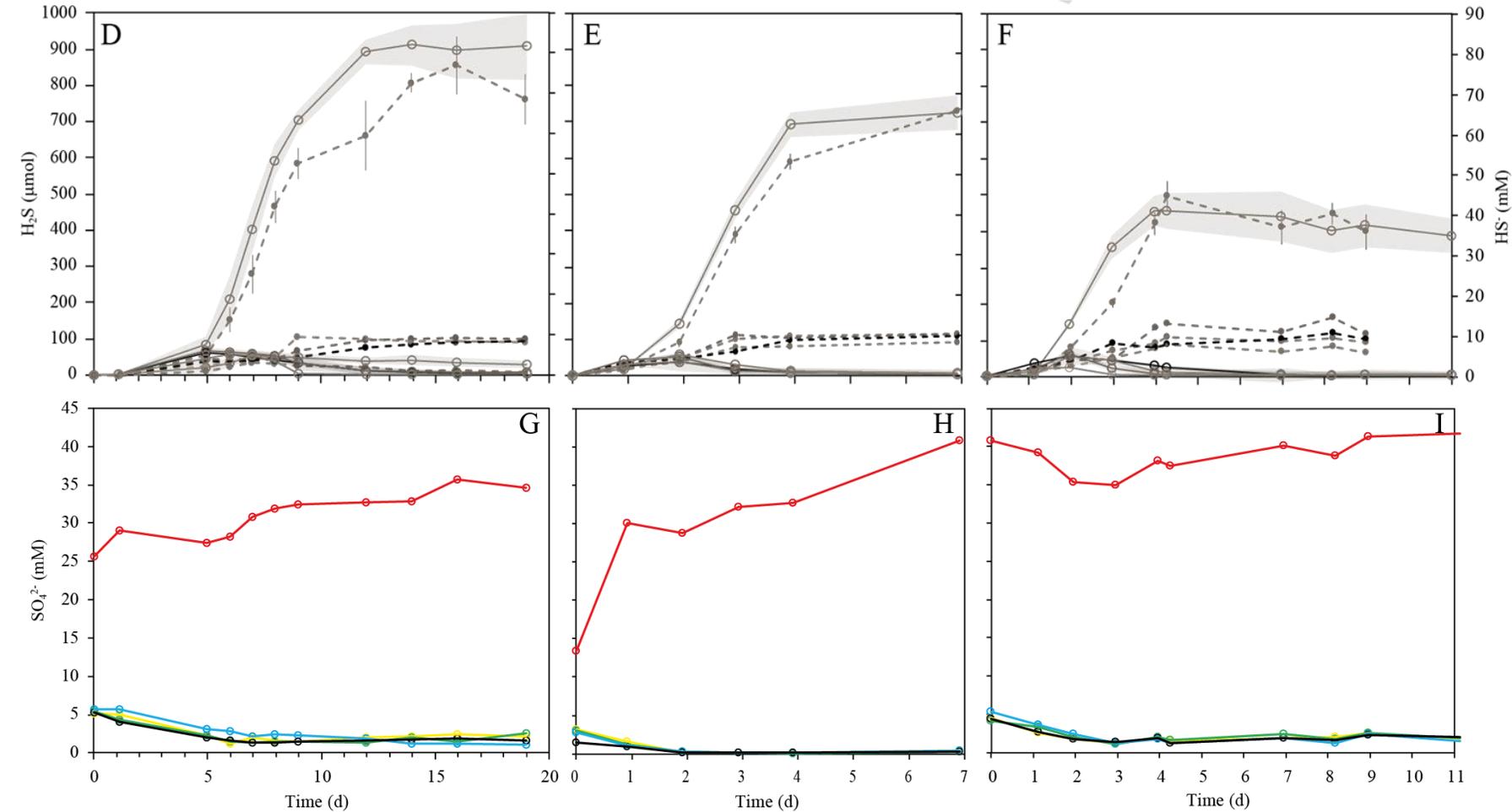
Influence du type de support minéral sur les voies de conversion de l'H₂



- Réorientation variable du flux d'H₂ vers l'**homo-acétogénèse** (production d'acétate) à 25°C en présence de **carbonate**, **basalte**, **grès**, et dans une moindre mesure dans les fioles témoin (∅)
- Absence d'homoacétogénèse en présence de **gypse**

RÉSULTATS

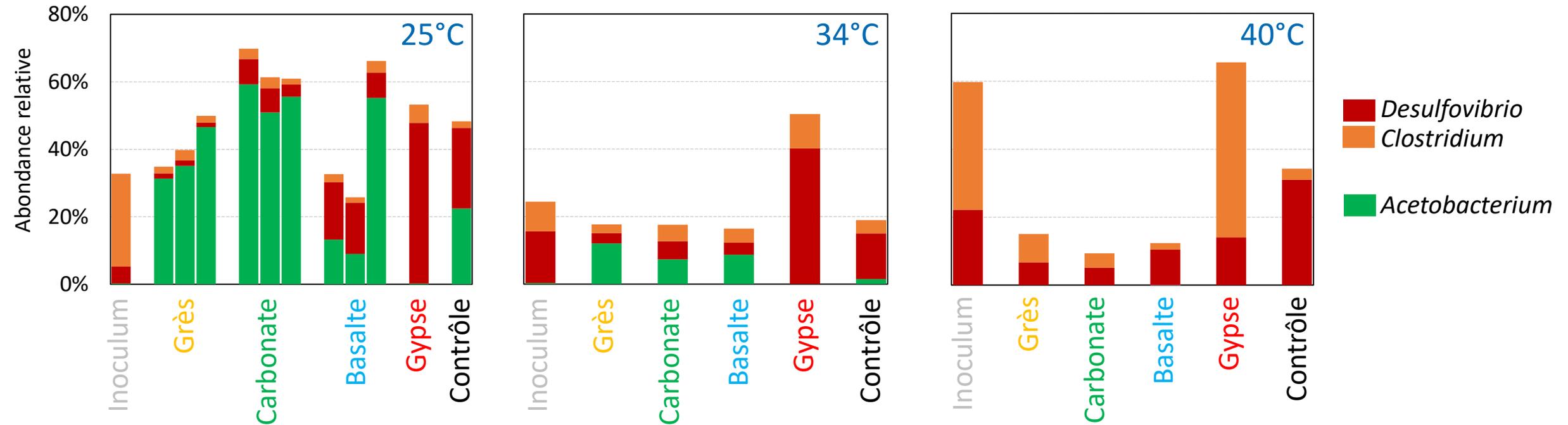
Influence du type de support minéral sur les voies de conversion de l'H₂



- La **dissolution abiotique des sulfates** contenus dans le **gypse** a donné un avantage compétitif aux populations sulfato-réductrices
- Cet avantage tend à se réduire à 40°C

RÉSULTATS

Suivi de la composition du consortium en micro-organismes hydrogénotrophes

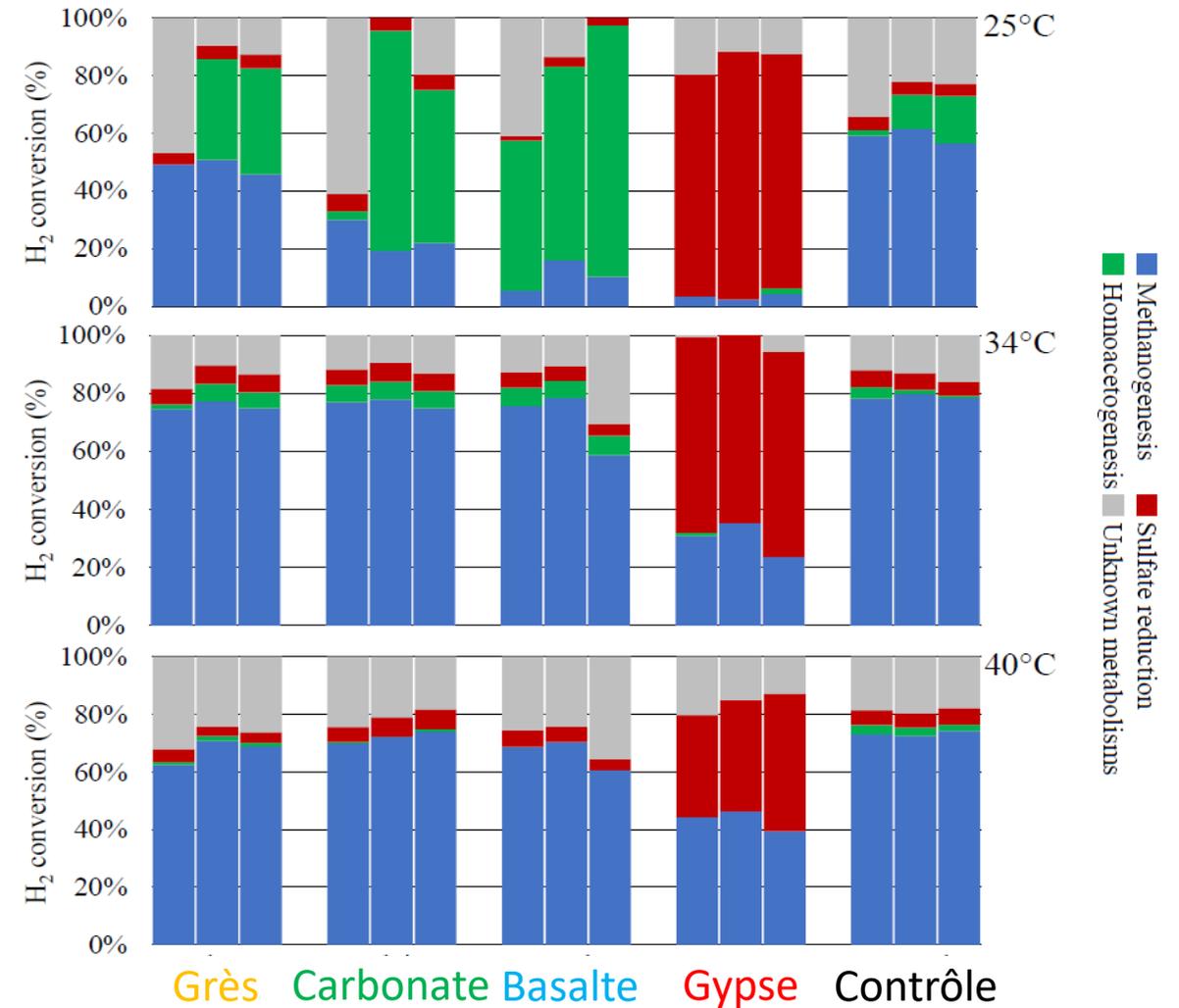


- Confirmation de la réponse écologique des populations microbiennes aux variations des conditions opératoires
- **Homoacétogénèse** assurée principalement par le genre *Acetobacterium*
- **Sulfato-réduction** assurée par un *Desulfovibrio* à 25°C et 34°C puis plutôt par un *Clostridium* à 40°C

CONCLUSIONS

Renewable
energies

- Forte **plasticité fonctionnelle** (versatilité) du consortium (acétogénèse, méthanogénèse et sulfato-réduction)
- **La température et la minéralogie sont des facteurs clés** qui influencent les paramètres cinétiques ainsi que les voies d'utilisation de l'H₂ par les micro-organismes
- Adhésion préférentielle de certaines communautés sur les supports minéraux?



PERSPECTIVES

Développement du biofilm

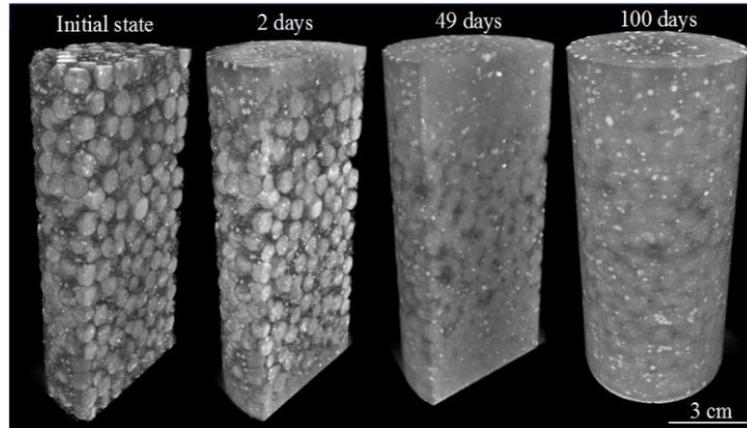
+

Evolution de l'isotopie du gaz

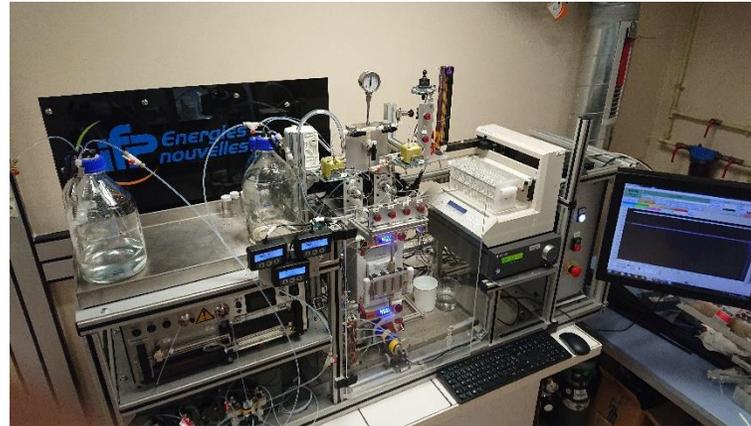
+

Réactivité minéral-fluide-biofilm

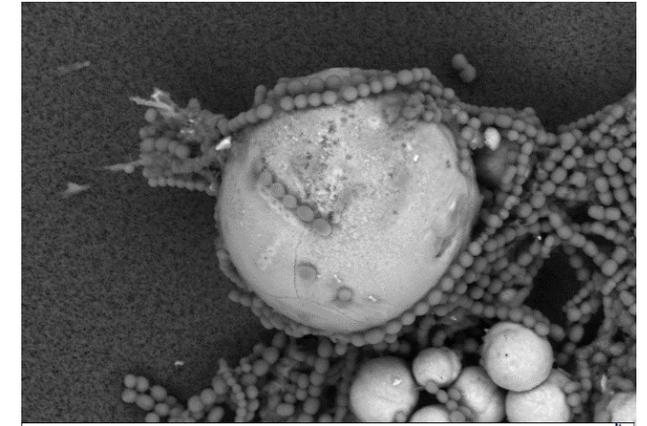
Microtomographie, RMN



Ecoulements avec QU4DRIS



MEB + DRX/FTIR



- La microbiologie environnementale couplée à la modélisation permet de prédire et dérisquer les phénomènes indésirables dans les stockages



- Une meilleure compréhension des processus biogéochimiques passe par l'accès aux échantillons réels et par des partenariats



Merci pour votre attention

Innovater les énergies



<https://www.carnot-ifpen-re.fr/fr/plateformes/microbiologie-environnementale>