







Avec le soutien de





Etude sur les effets biologiques, géologiques et chimiques de l'injection d'O₂ dans le cadre du stockage souterrain du biométhane dans les aquifères profonds

Perla G. HADDAD

J. Mura, F. Castéran, M. Guignard, M. Ranchou-Peyruse, P. Sénéchal, M. Larregieu, I. Svahn, P. Moonen, I. Le Hécho, G. Hoareau, P. Chiquet, G. Caumette, D. Dequidt, P. Cézac, A. Ranchou-Peyruse





Contexte

Alternatives aux combustibles fossiles pour la lutte contre le réchauffement climatique







Avec le soutien de







Une des alternatives principales : le biométhane

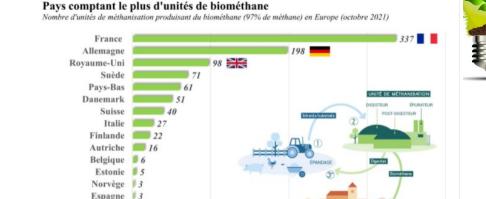
Luxembourg | 3

République Tchèque | 2

Hongrie | 2

Irlande | 2

- ✓ Principalement composé de CH₄ similaire au gaz naturel
- ✓ Production verte croissante en valorisant les déchets organiques
- ✓ Au 1^{er} août 2021, **296 sites** sont raccordés au réseau gazier français (5 259 GWH/an)
- ☐ Différence avec le gaz naturel : peut contenir jusqu'à 1 % d'O₂



100



200

SOURCE : EBA (EUROPEAN BIOGAS

ASSOCIATION) 2021

*pixers.fr



Contexte



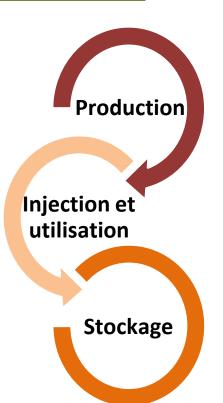




Avec le soutien de





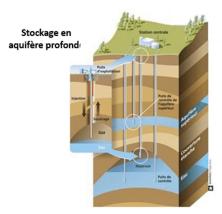


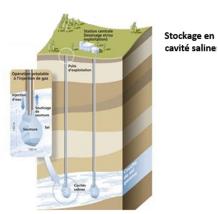


Intérêt à utiliser les installations déjà existantes



Stockages souterrains utilisés pour le stockage de gaz naturel (UGS)





*riversen.fr



Contexte

Stockage en aquifères profonds



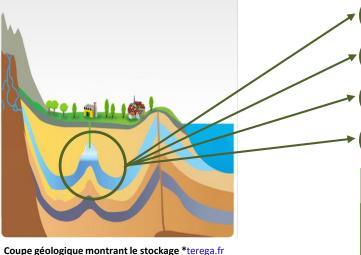




Avec le soutien de

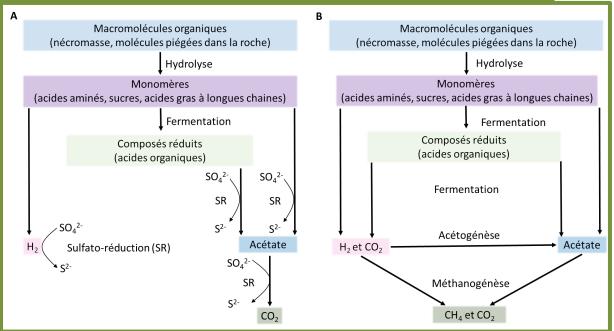






- 1) Gaz de stockage
 - **2**) Roche de réservoir
- **3** Eau de formation
- 4) Microorganismes se développant dans le système

Microorganismes les plus identifiés dans ces environnements





Projet RINGS









Avec le soutien de





Recherche sur l'Injection de Nouveaux Gaz dans les Stockages souterrains

- Projet lancé par les deux opérateurs français principaux de stockage de gaz naturel dans des aquifères, Teréga et Storengy.
- ❖ Projet pluridisciplinaire regroupant le LATEP, UMR-IPREM, UMR-LFCR et UMS-DMEX.

Acquérir les connaissances sur l'effet de l'injection de l'O₂ (dans le cadre de stockage de biométhane) et de l'H₂ dans les aquifères profonds

















Pilote expérimental utilisé







Avec le soutien de









Pilote expérimental utilisé



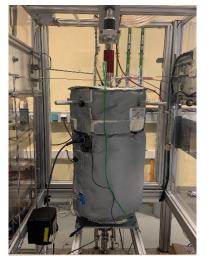


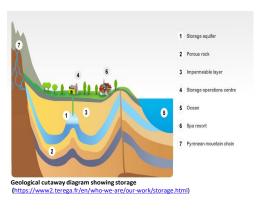


Avec le soutien de







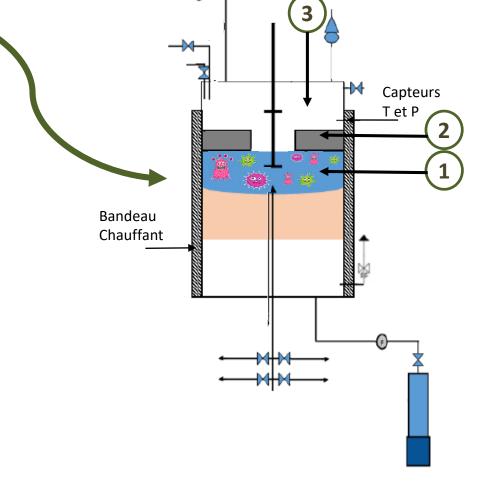


Reproduction de l'aquifère dans le réacteur avec les différentes phases :

- Phase aqueuse: Eau de formation contenant les microorganismes autochtones
- 2 Phase solide : Roche du réservoir









Phase gazeuse : Mélange gazeux à étudier



Conditions expérimentales







Avec le soutien de







Pression: 60 bar

Température: 36 °C

• Eau de formation très peu saline (< 0,8 % de la salinité de l'eau de mer)

• Roche de réservoir composé principalement de quartz

Mélange gazeux:
 CH₄ + 1 % CO₂ + x % O₂ + ppm benzène et toluène



*https://www.researchgate.net/ publication/330485577_Enjeux_ et_perspectives_des_filieres_ind ustrielles_de_la_valorisation_en ergetique du sous-sol profond

1 % d'O₂
Teneur maximale présente dans le biométhane

0.01 % d'O₂
 Teneur maximale autorisée dans les stockages de gaz naturel aujourd'hui



Système anoxique







Avec le soutien de







Lancement de l'expérience :

- Injection de la phase liquide contenant les microorganismes dans le réacteur stérile
- Injection du **mélange gazeux à 60 bar** : $CH_4 + 1 \% CO_2 + 7,95 \text{ ppm de } C_6H_6 + 3,57 \text{ ppm de}$ C_7H_8



Système anoxique O







Avec le soutien de





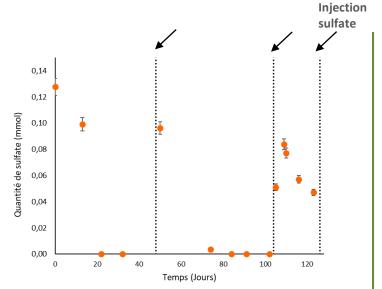
Phase liquide:

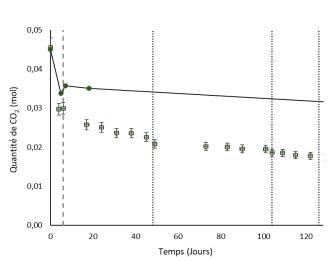
t = 0 J

Diminution de la quantité de sulfate due à la sulfatoréduction (métabolisme anérobie)

Phase gazeuse:

Diminution continue de la quantité de CO₂ due à l'activité microbienne





Variation du sulfate dans la phase aqueuse et du ${\rm CO_2}$ dans la phase gazeuse

t = 130 J







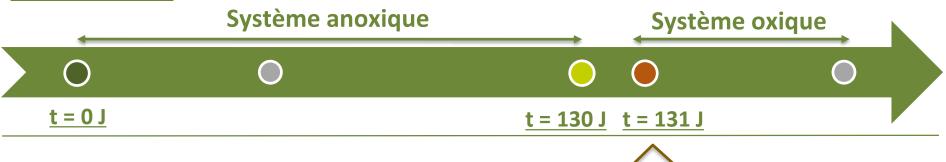




Avec le soutien de







Injection du dioxygène (1% de la phase gazeuse à 60 bar)



atee ASSOCIATION TECHNIQUE ENERGIE ENVIRONNEMENT





Avec le soutien de





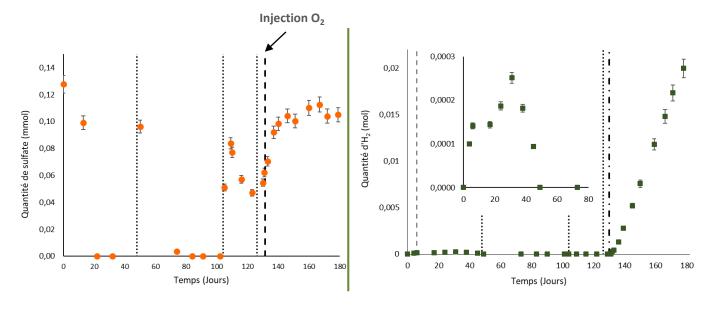


Phase liquide:

- Arrêt de la consommation de sulfate => Arrêt de la sulfato-réduction
- Faible augmentation de sulfate => Ré-oxydation des composés sulfurés produits par sulfato-réduction

Phase gazeuse:

- Production et accumulation d'H₂
- Observation d'une faible production d'H₂ en début d'expérience, activité microbienne?



Variation du sulfate dans la phase aqueuse et du H_2 dans la phase gazeuse





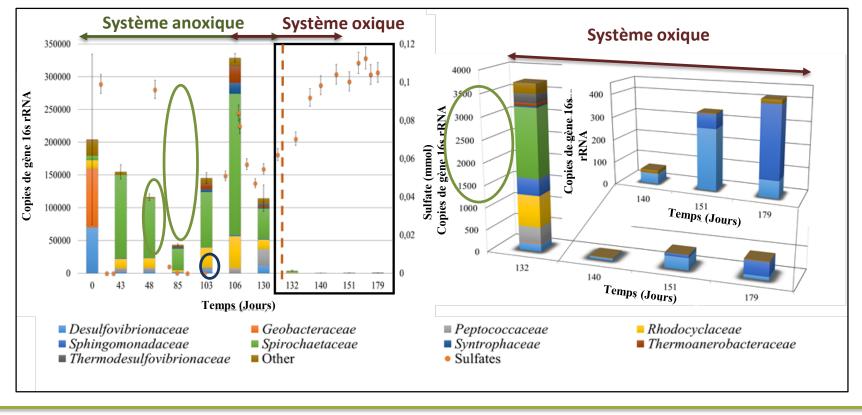




Avec le soutien de







Avant O₂:

Activités des Spirochataceae (fermentaires) et des Desulfovibrionaceae (bactéries sulfato-réductrices)

Après O₂:

- Chute drastique de la concentration microbienne dans le système
- Inactivité des bactéries sulfato-réductrices
- Détection et isolement de souches fermentaires produisant de l'H₂
- Isolement d'une souche sulfato-réductrice capable d'être hydrogénotrophe









Avec le soutien de





	5000	1	0	^)	o S)	0 0	ь
Intensity	4500		ľ	Q				q	1	
	4000	Tend top	, Ms				Ш	СС	o.	
	3500	M. M.	K MK	U	c ı	П	Ш	الْأَا	ca+4	c q
	3000	end middle		Ī	, married	М	М			/~~^
	2500	- Land		U	. 1		Ш	1 11	I I.	
	2000	end bottom		_		М	M			1
	1500	To	1.1		Р				1 1	
	1000	\		~	مسسه		Ĭ		Lugar	much
	500	· Comment	1	U			M		l 14.	1
	0				-	<u></u>	ال	الماليا	السماالم	السمال
		5 15	25		35			45	55	65
	Degree 20 (Cu Ka)									

<u>Diagrammes de diffractions à rayons-X des échantillons</u> <u>prélevés avant et après l'expérience à trois profondeur</u> (haut, milieu et C:calcitebas du panier). I: illite, K:kaolinite, <u>M: maghémite, Q: quartz,, P:pyrite</u>

	Avant l'expérience	Après l'expérience
Porosité (%)	43,7 ± 2	44,4 ± 2

<u>Porosité basée sur l'analyse des capillaires scannés</u> <u>par tomographie à rayons-X maintenus dans le</u> panier tout au long de l'expérience

Pas de variation observée au niveau de la composition et de la porosité de la phase solide :

- Roche de réservoir principalement composée de quartz
- Absence d'analyse intermédiaire avant l'injection d'O₂, capillaires analysés avant et après l'expérience



Conclusions

Effets de l'injection de dioxygène à 1 % dans le mélange de gaz de stockage :



Ré oxydation probable des sulfures



Peu d'effets sur la composition du gaz stocké

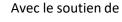


Pas d'effets remarquables sur la phase solide

Changement drastique de la communauté microbienne anoxique initiale



Effets de l'injection de dioxygène à 0.01 % dans le mélange de gaz de stockage :

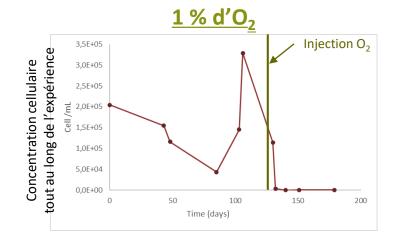


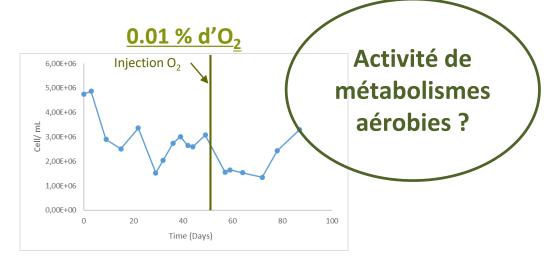
Changement dans la communauté microbienne anoxique initiale



=> Développement d'une communauté microbienne oxique ?









Perspectives









- Développement des connaissances sur l'oxydation de pyrite et l'effet sur la porosité de la roche dans le cadre de stockage incluant du dioxygène
- Identification des effets de la présence du dioxygène sur les installations de distribution de gaz

Avec le soutien de







Merci de votre attention!







Avec le soutien de







Perla HADDAD
perla.haddad@univ-pau.fr

