

PRODUIRE, STOCKER ET UTILISER L'HYDROGÈNE

**Avec les Centres de recherche du Carnot M.I.N.E.S | Projet
HyTREND | 2 juillet 2024**

Stockage de gaz en cavités salines: aspects thermodynamiques et échanges de masse liés au stockage d'hydrogène

**ABUAISHA Murad, Centre de Géosciences,
MINES Paris PSL**

Nécessité et méthodes du stockage

Réussite de l'intégration des énergies renouvelables intermittentes

Stockage souterrain en cavités salines

La problématique

Création des cavités salines

Comprendre l'impact du cycle d'exploitation rapide sur les échanges de masse entre les phases de la cavité

Les résultats HyTREND (Géosciences et CEEP)

Thermodynamique de gaz stockés

Cinétique de dissolution de gaz dans la saumure de la cavité

Cinétique d'humidification de gaz stockés

Perméation de gaz dans la roche saline

Perspectives

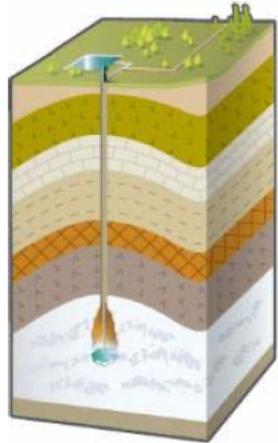
Nécessité du stockage

Stockage souterrain des vecteurs énergétiques

- Les ressources énergétiques renouvelables sont fluctuantes
- Le stockage souterrain est essentiel pour réguler les fluctuations entre l'offre et la demande et ainsi réussir l'intégration des énergies renouvelables intermittentes

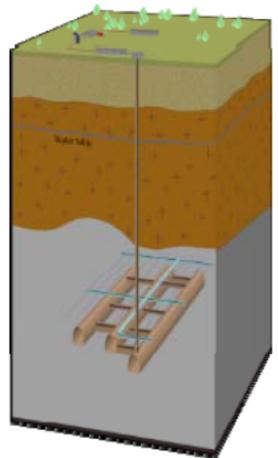
Méthodes du stockage

Intérêts des cavités salines



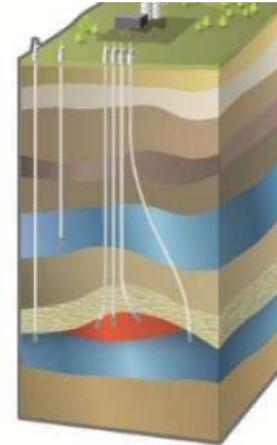
Cavités salines

- Gaz naturel
- Hydrocarbures liquides
- Hydrocarbures liquéfiés
- Air comprimé
- Hydrogène
- Effluents



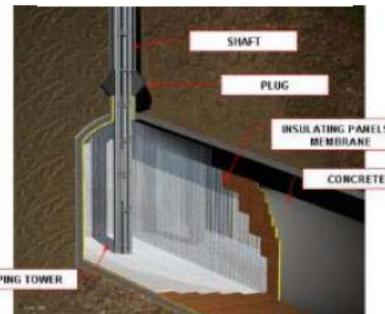
Cavités minées (non revêtues)

- Hydrocarbures liquides
- Hydrocarbures liquéfiés



Champs déplétés & Aquifères

- Gaz naturel
- CO₂
- Effluents



Cavités minées (revêtues)

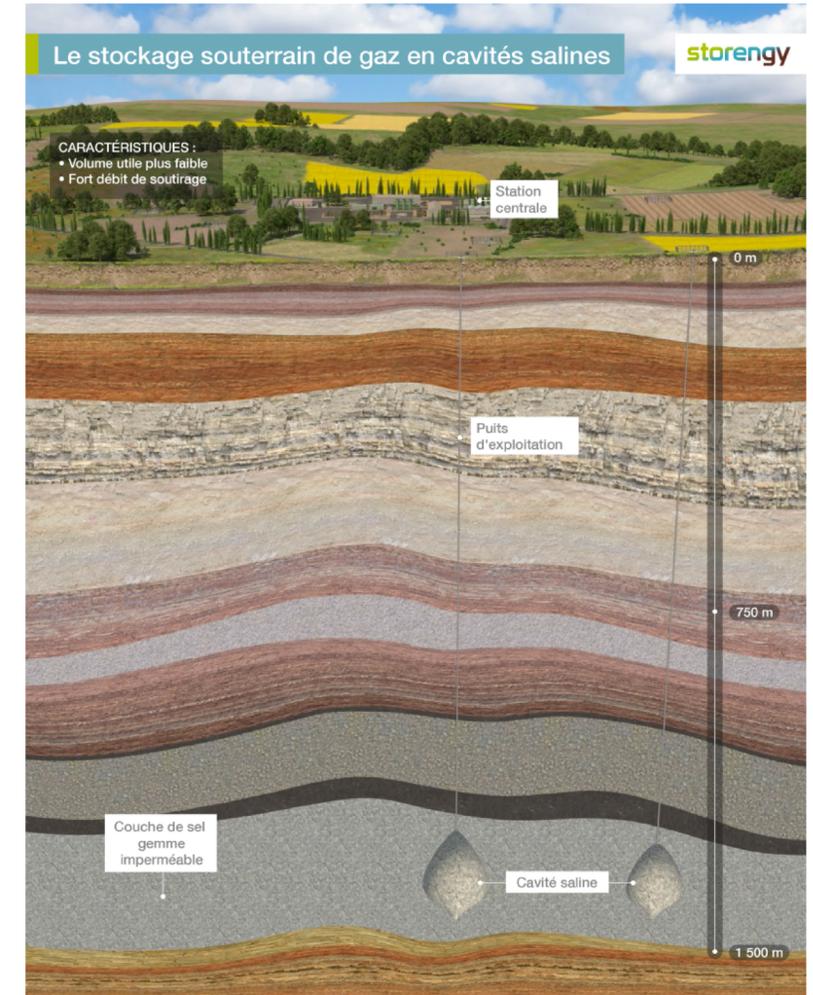
- GNL (Gaz naturel liquéfié)
- GNC (Gaz naturel comprimé)

Source **GEOSTOCK**

Méthodes du stockage

Intérêts des cavités salines

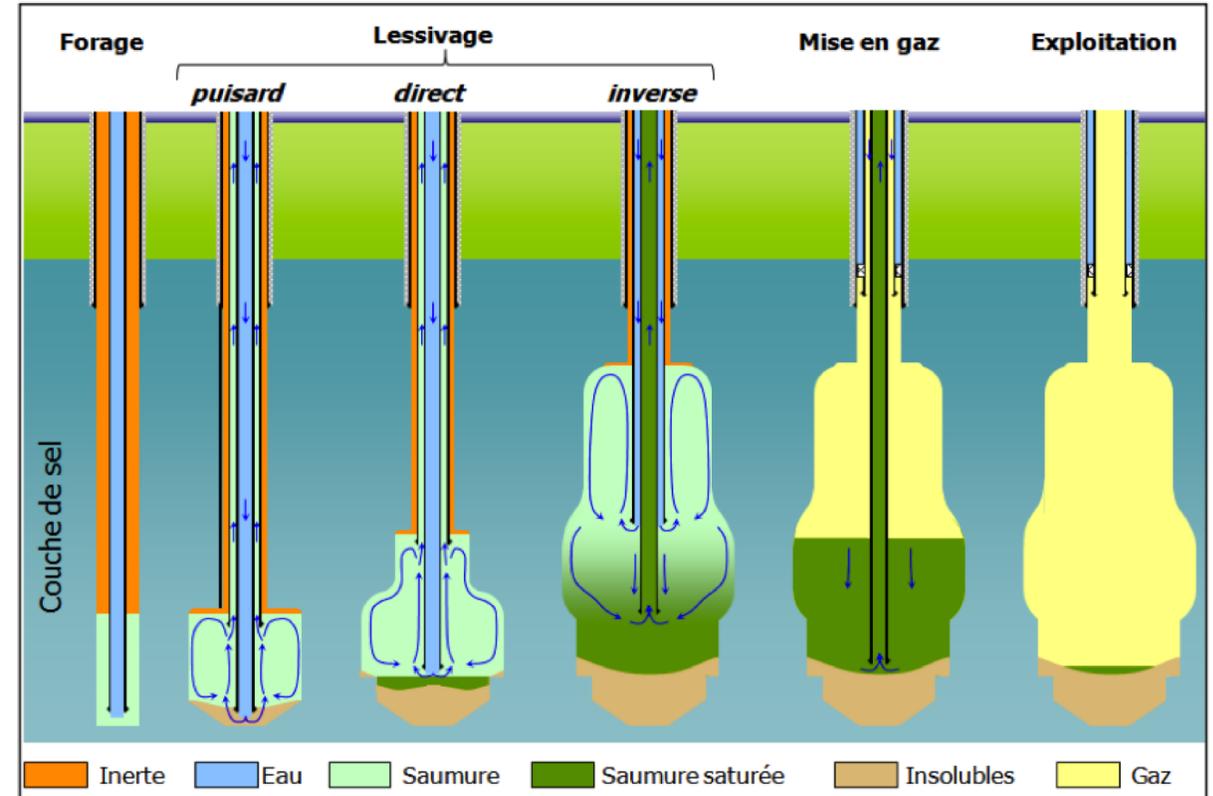
- **Sel : matériau inerte (faible réaction avec le produit stocké)**
- **Création par lessivage**
- **Profondeur variable ($200 < z < 2000$) m**
- **Volumes importants ($\sim 1\text{M m}^3$)**
- **Grande étanchéité du sel gemme**
- **Forte réactivité (débits)**
- **Grande variabilité des produits à stocker**



Création des cavités salines

Par lessivage du sel gemme

- Profondeur variable ($200 < z < 2000$) m
- Volumes importants ($\sim 1\text{M m}^3$)
- Dimensions (rayon entre 30 et 40 m et hauteur jusqu'à 300 m)

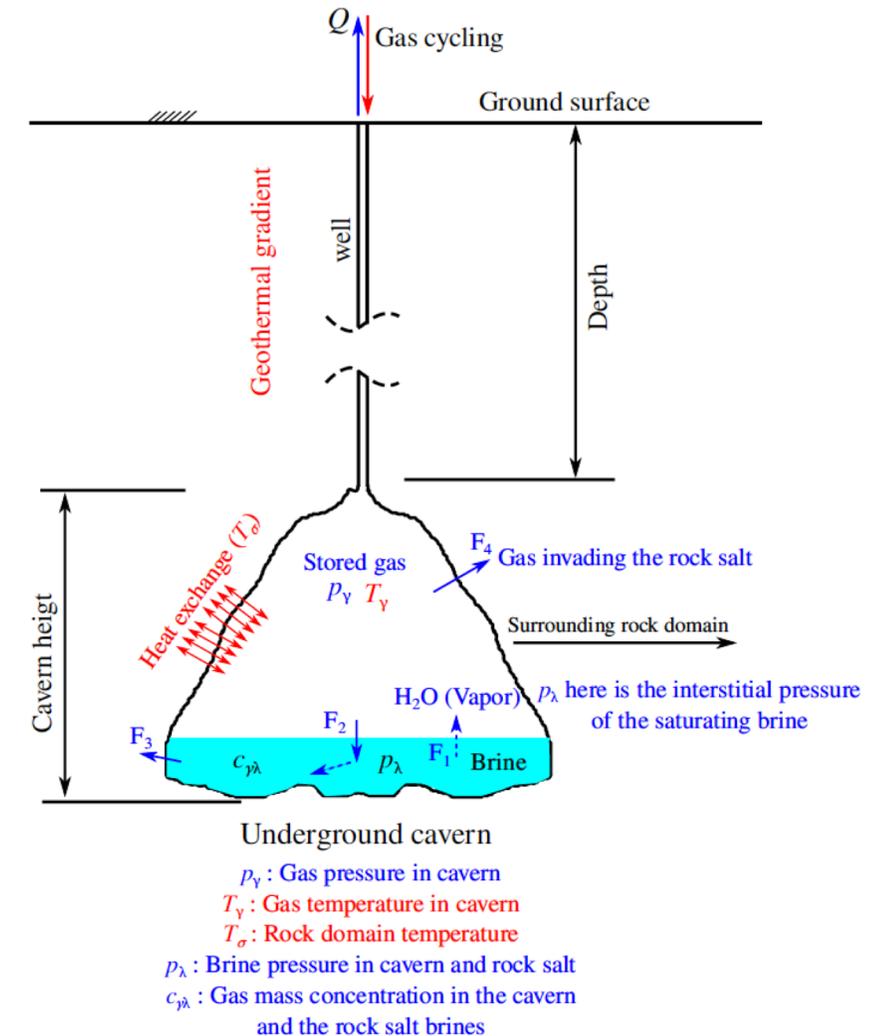


Source **STORENGY**

Sujets de recherche et enjeux

Thermodynamique et échanges de masses

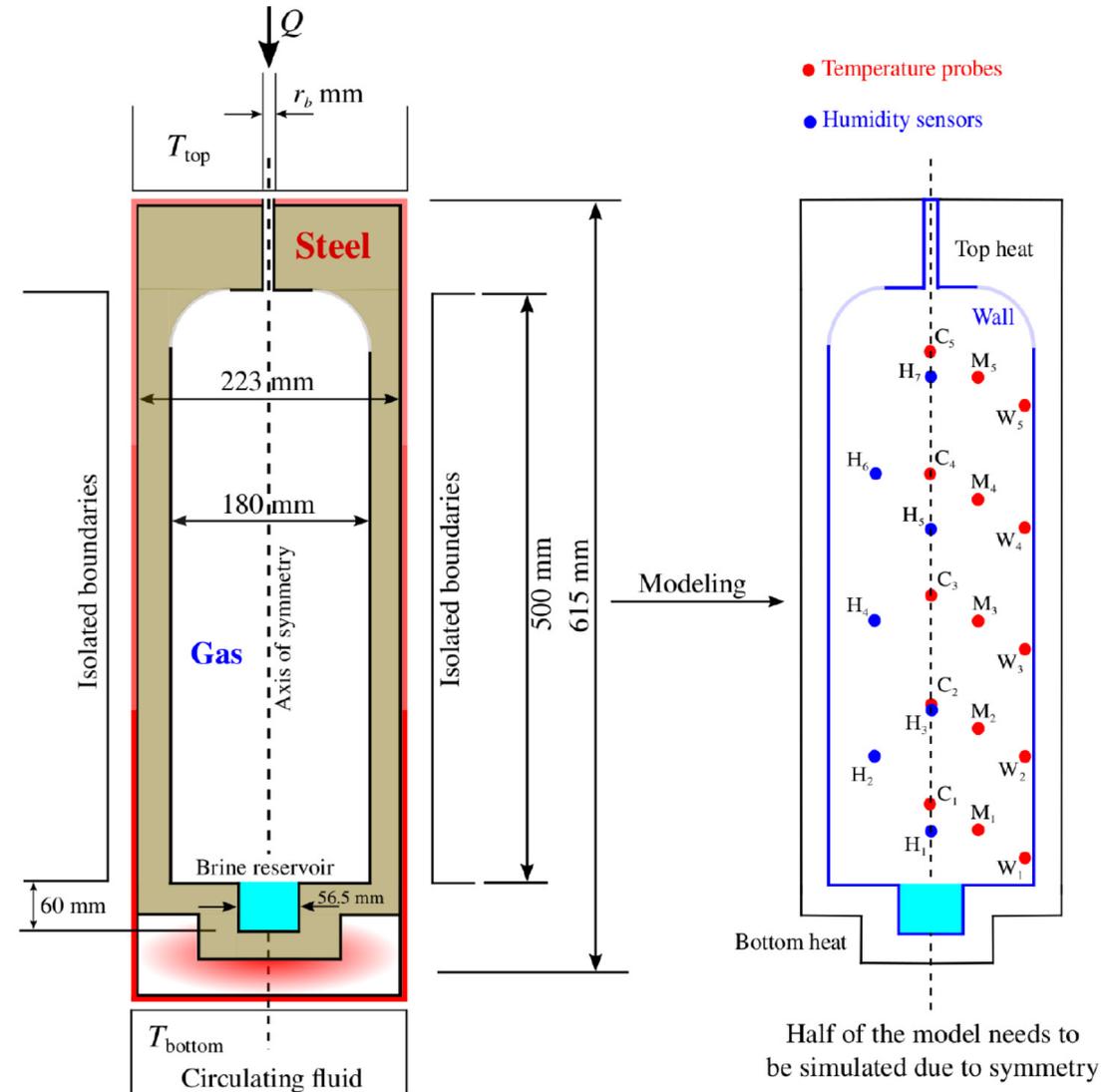
- Cyclage rapide (hebdomadaire ou journalier)
- Etudier la thermodynamique du stockage
- Maitriser les pertes
- Garder des traces précises des quantités de gaz cyclées
- Quantifier la cinétique d'humidification de gaz stocké
- Colmatage des canalisations lié à la formation d'hydrates et coûts additionnels de déshumidification



Sujets de recherche et enjeux

Thermodynamique du stockage Cinétique d'humidification

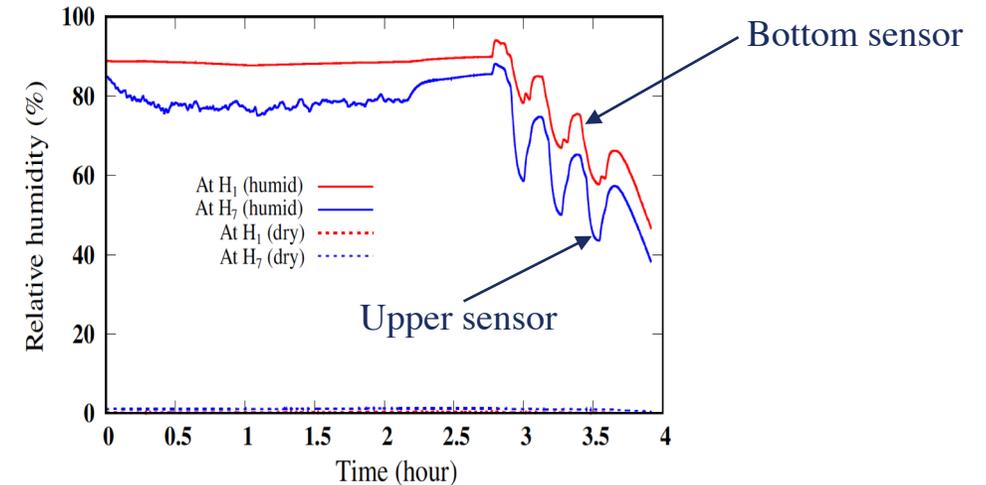
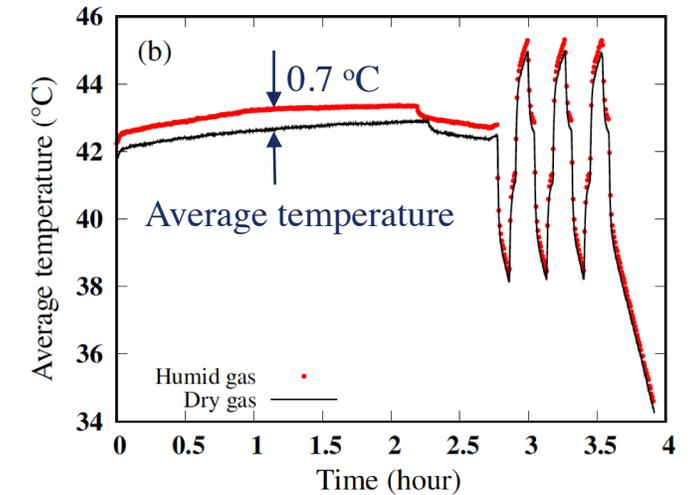
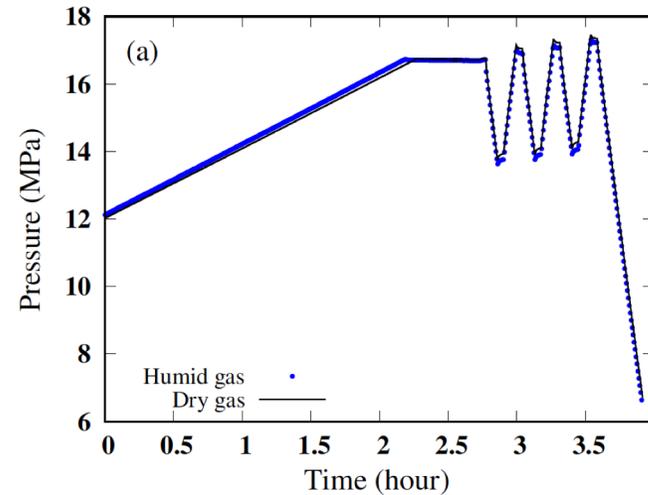
Pilote du stockage
(échelle réduite)



Sujets de recherche et enjeux

Thermodynamique du stockage Cinétique d'humidification

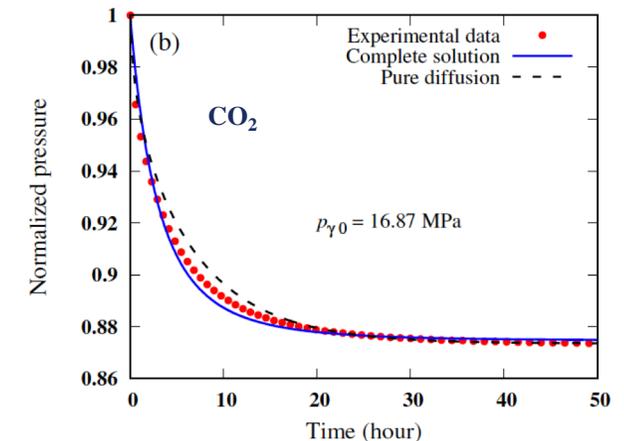
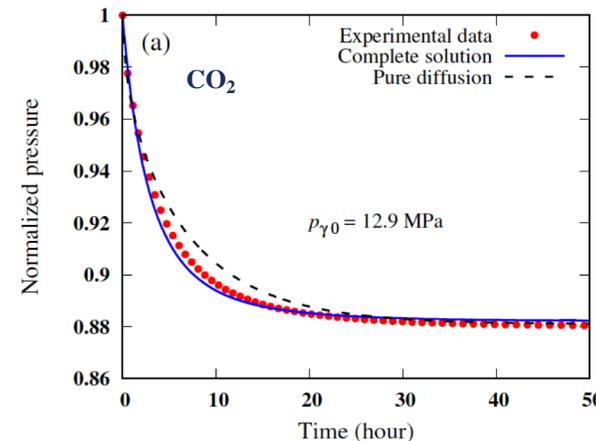
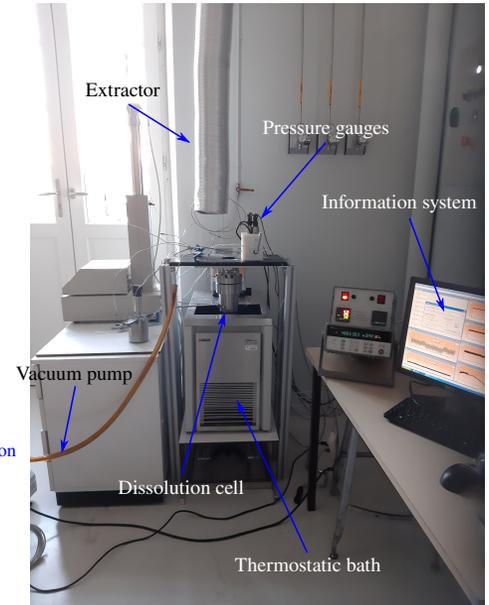
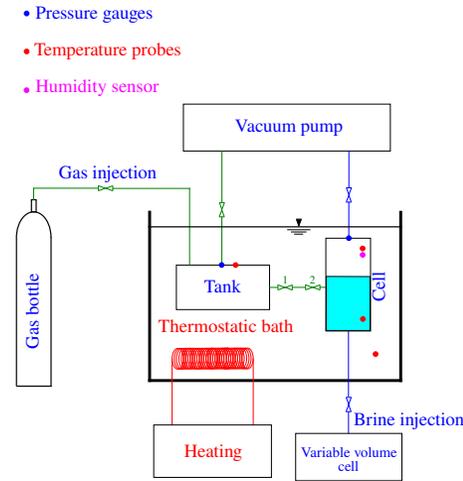
- Comparaison entre deux essais de cyclage rapide : humide et sec (avec et sans remplir le réservoir de la saumure)
- Evolutions de la température et de la pression
- Quantifier l'humidité relative lors du cyclage



Sujets de recherche et enjeux

Dissolution de gaz dans la saumure

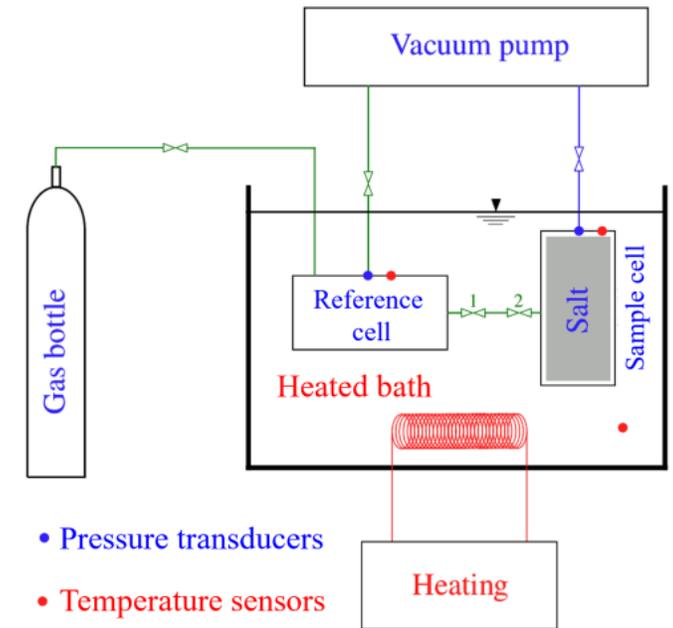
- Introduction des deux phases dans une cellule PVT submergée dans un bain thermostaté
- Etudier la cinétique de dissolution par analyser la chute de la pression
- Connaître la masse de gaz dissoute à chaque évènement du cyclage
- Etudier la cinétique de l'humidification du gaz lors de l'essai



Sujets de recherche et enjeux

Perméation de gaz dans le sel gemme

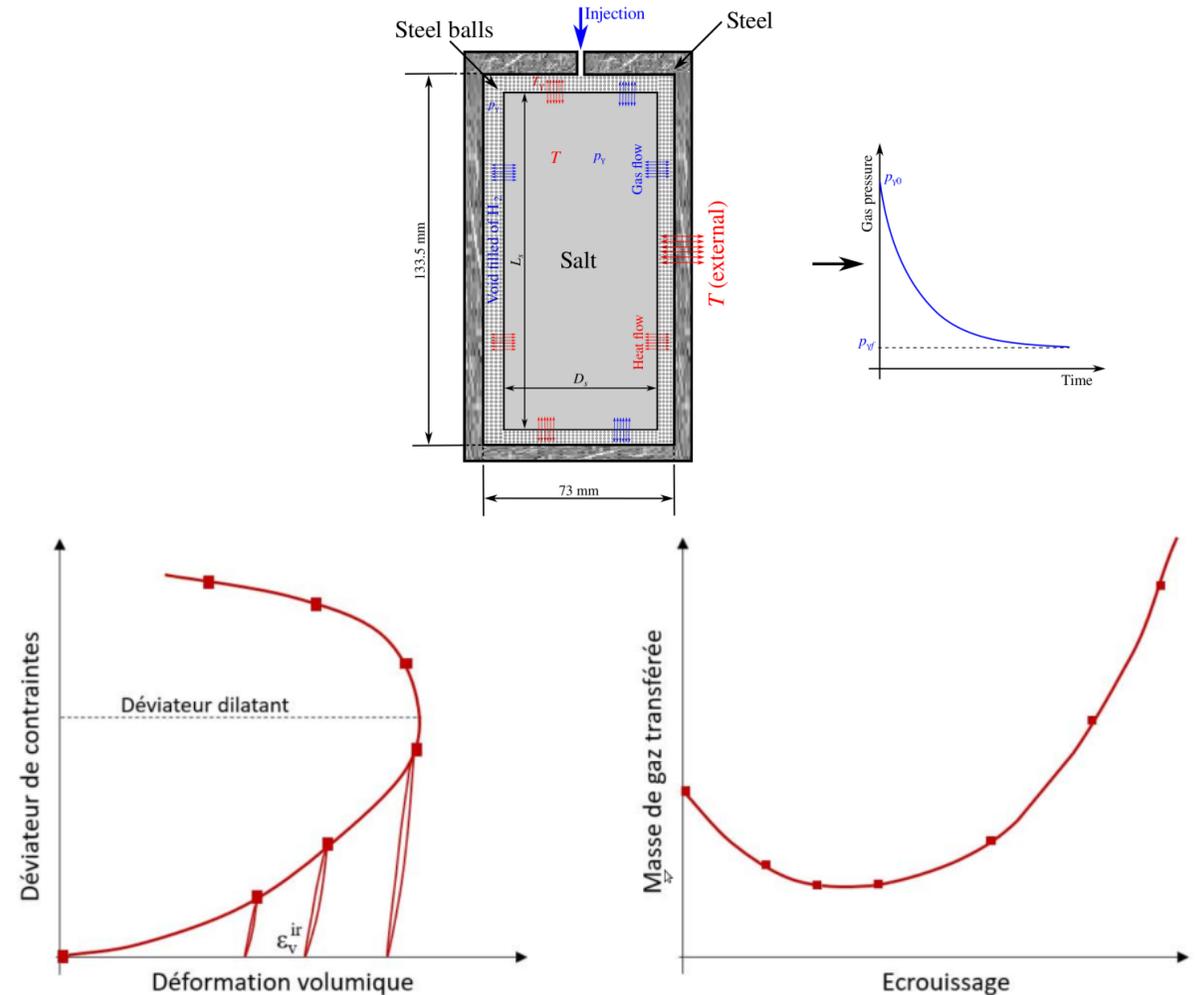
- L'éprouvette de sel est placée dans la cellule qui sera submergée dans un bain thermostaté
- Le gaz est injecté par l'ouverture de vanne connectant la cellule et la réserve de gaz
- La perméation est étudiée à travers l'analyse de la chute de la pression



Sujets de recherche et enjeux

Perméation de gaz dans le sel gemme

- Un couplage entre des essais mécaniques et des essais de perméation peut être fait
- Le transfert de masse en fonction d'endommagement sera analysé
- Alimenter des lois rhéologiques qui seront utilisées à l'échelle de la cavité



Perspectives

- Finaliser les essais de dissolution et d'humidité du gaz dans une solution aqueuse et effectuer une analyse comparative entre H₂ et d'autres gaz
- Finaliser les essais de perméation du gaz dans différents sel et de la même façon faire une analyse comparative entre H₂ et d'autres gaz, voire d'autres matériaux (argile, ciment)
- Développer les lois rhéologiques rendant compte des phénomènes étudiés en laboratoire
- Intégrer ces lois dans les codes numériques dédiés pour une application à l'échelle du stockage

Contacts



Christian.beauger@minesparis.psl.eu



Carnot M.I.N.E.S



carnot-mines.eu

