



Stockage souterrain cryogénique d'hydrocarbures

SOUS-TITRE

Mehdi Karimi, Nicolas Gatelier, CFMR, 20 octobre 2016

Sommaire



- Introduction
- Concepts du stockage cryogénique
- Projet pilote de Schelle
- Projet pilote de Daejeon
- Conclusion

Introduction

Stockage cryogénique:

- hydrocarbures gazeux sous forme liquide
- à basse température (GPL(Propane) à -42°C et GNL à -162°C)
- à pression atmosphérique

Produit	Méthane	Ethane	Propane	Isobutane	Butane-n
Température d'ébullition ($^{\circ}\text{C}$)	-162	-89	-42	-12	-1

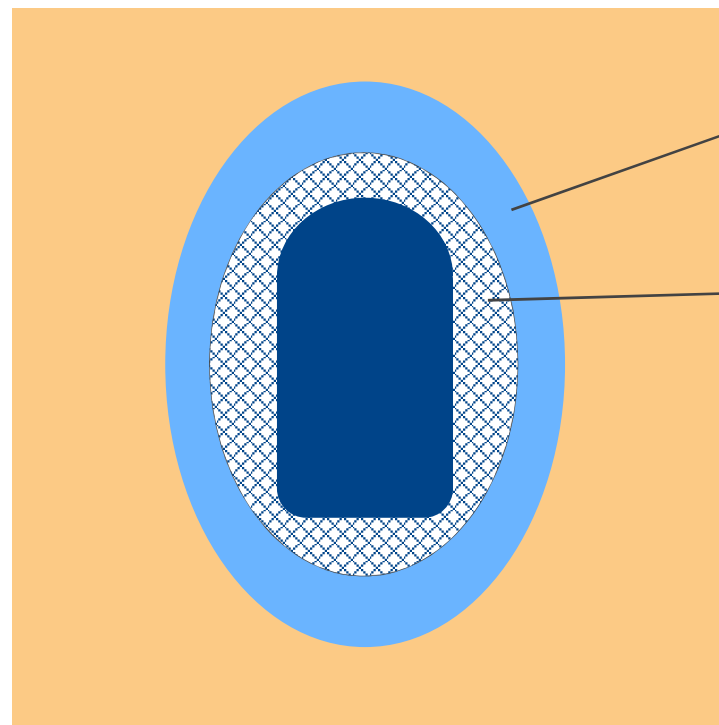
Avantage / Inconvénient



- Avantage de la cryogénie: augmenter la capacité énergétique du stockage par un facteur entre 250 (pour GPL) et 600 (pour GNL)
- Taux de boil-off: taux journalier d'évaporation d'hydrocarbure (de 0,05 à 0,1% dans des bacs en surface)
- Problème thermo-mécanique dans le rocher (traction, ouverture de discontinuités pré-existantes, formation de glace en cavités)

Concepts du stockage cryogénique

- Stockage non revêtu
- Stockage revêtu
- Zone de gel : barrière d'étanchéité si suffisamment épaisse → mise en froid longue et progressive
- Zone en traction (fortement fracturée) : perte d'étanchéité et fort échange thermique (boil-off ↑)



Zone de gel (température < 0)

Zone en traction (contrainte > 0)

Etat de l'art (stockage non revêtu)

- Stockage de GNL au rocher sans barrière d'étanchéité et sans isolation thermique:
 - Arzew, Algérie : mise en service 1965 et abandonné en 2004 (Belhadj & Berrahou, 2007)
 - Hopkinton, Massachussetts, Etats-Unis: mise en service 1967 (Glamheden & Lindblom, 2002)

- Stockage d'éthylène à -100°C à Stenungsund, Suède : mise en service 1967 (Jacobsson, 1977)

- Stockage de GPL à -40°C à Stenungsund, Suède (Lindblom, 1997)

- Stockage d'ammoniaque à -33°C en Norvège (Goodall & Utheim, 1989)

Problèmes stockage cryogénique non revêtu

Stockage GPL (-42°C):

Contrainte de traction de l'ordre de 10 MPa ➡ Ouverture des joints existants
(augmentation du taux de boil-off)

Stockage GNL (-162°C):

Contrainte de traction de l'ordre de 50 MPa ➡ Création des nouvelles fractures
(Perte significative d'étanchéité)

Durée de mise en froid entre 3 et 6 mois.

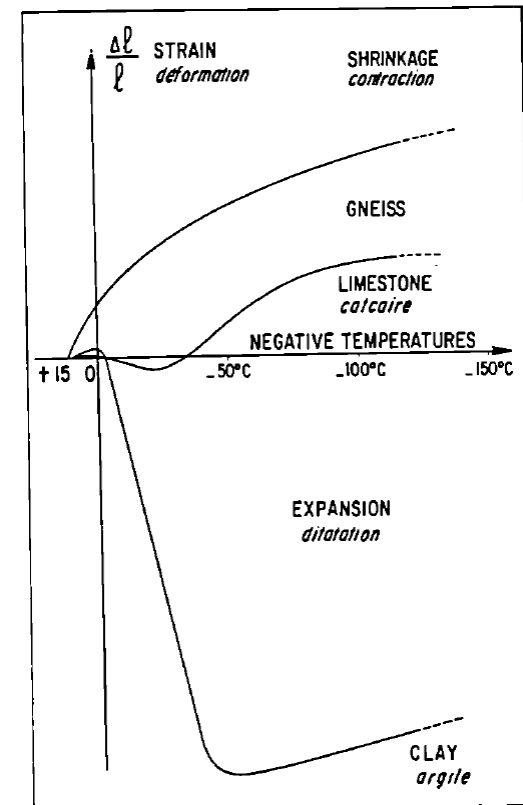
Si l'épaisseur de la zone de gel est faible ➡ Venue d'eau dans la cavité et création de glace

Retour d'expérience (roche dure, peu profonde)

- Apparition de nouvelles fractures dans un massif déjà fissuré à partir d'environ -50°C
- Massif rocheux peut tenir jusqu'à -80°C s'il y a suffisamment de boulon
- Stockage cryogénique non revêtu de GPL sans désordre majeur est possible.
- Mise en froid longue avec drainage d'eau souterraine permet de créer une barrière d'étanchéité (zone de gel).
- Pour limiter le taux de boil-off, le revêtement est indispensable.

Projet pilote de Schelle (Belgique) – stockage non revêtu

- Partenariat entre GEOSTOCK et DISTRIGAZ en 1980s
- Galerie de 3 m de diamètre et 30 m de longueur à 23 m de profondeur
- Argile de Boom avec des propriétés thermomécaniques intéressantes:
 - Augmentation de volume suite au refroidissement
 - Augmentation de la résistance à la compression avec le refroidissement



Projet Schelle

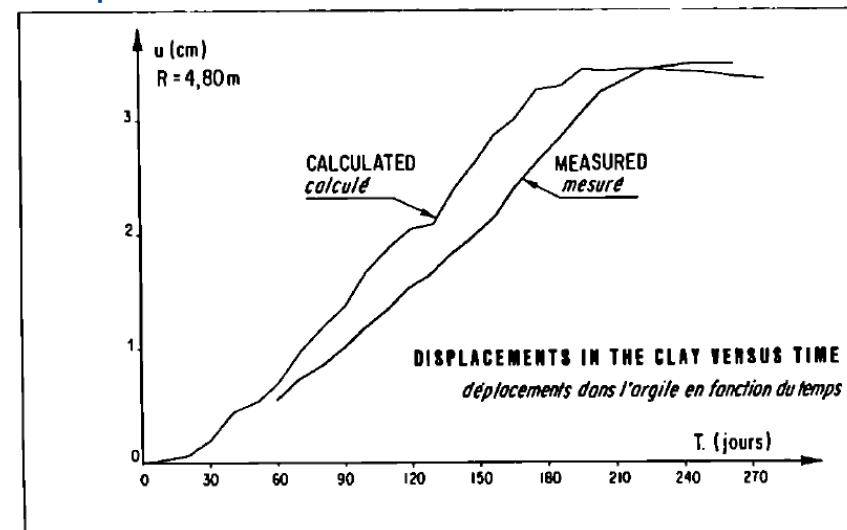
Mise en froid lente et progressive en 8 mois jusqu'à -196°C (injection d'azote liquide)

Stockage étanche avec un anneau de gel de 6 m d'épaisseur

Absence de fissure

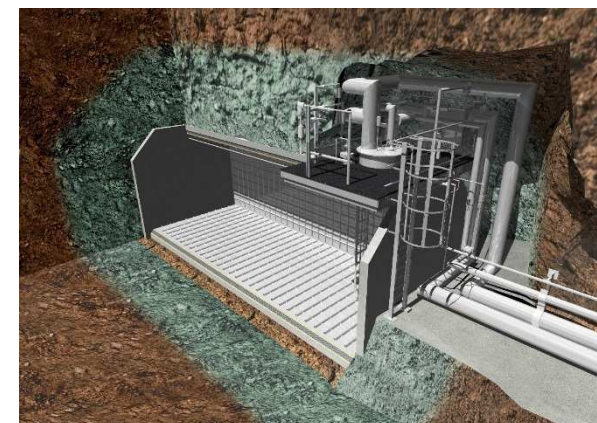
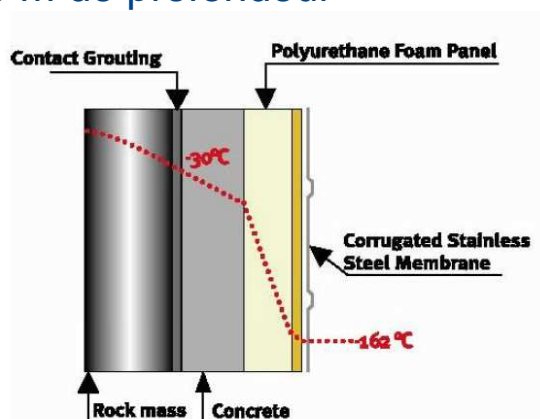
Taux de boil-off : 0,5% (diminue avec le temps)

Déplacement centimétrique autour de la cavité



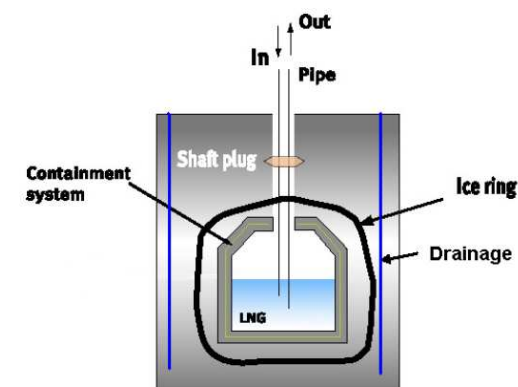
Projet pilote de Daejeon (Corée du sud) – stockage revêtu

- Partenariat entre Geostock, SN Technigaz (Saipem) et SK Engineering & Construction
- Brevet déposé par GK et SNT dans les années 90s: stockage cryogénique dans une cavité minée revêtue (membrane acier d'inox + panneaux mousse polyuréthane + revêtement béton)
- Réalisation pilote en 2003
- Cavité dans le granit à 20 m de profondeur



Programme de test (drainage et mise en froid)

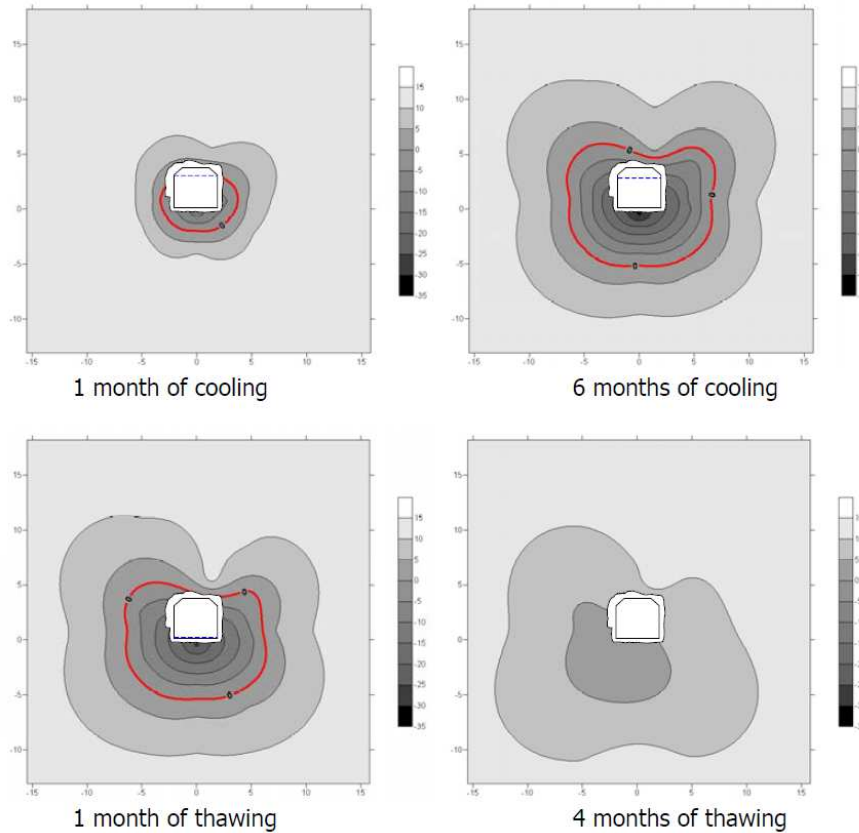
- 5 mois de mise en froid avec drainage à plein débit
- 1 mois de mise en froid avec drainage à débit moitié
- 3 semaines d'arrêt (sans injection N2 et sans drainage)
- Redémarrage du drainage à débit moitié pour 5 mois



Température dans le massif

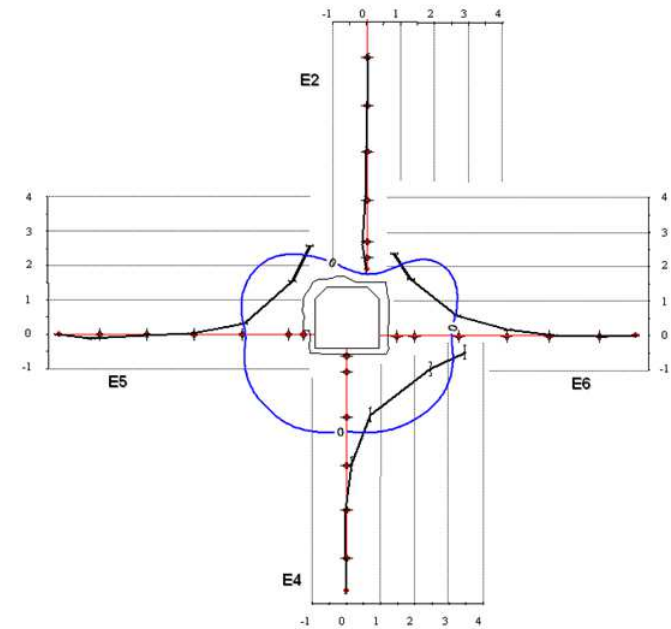
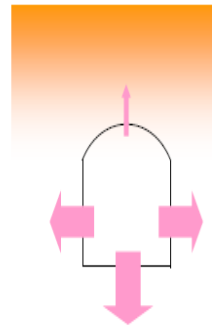
L'épaisseur de la zone de gel au radier atteint 5 m.

Taux de boil-off : 4,5 %
(10 cm d'épaisseur d'isolant thermique)



Déplacement à la paroi

- Déplacement limité à 5 mm au radier
- Faible traction dans les boulons



Conclusion

- L'expérience issue des projets pilotes a montré que le stockage cryogénique de GNL dans les roches dures et dans l'argile est techniquement faisable.
- Les effets thermomécaniques de la mise en froid du massif se sont révélés acceptables sans aucun événement indésirable.
- Néanmoins, l'extrapolation des résultats de ces expérimentations à l'échelle industrielle nécessite des études complémentaires notamment pour évaluer les effets à long terme.