

GDF SUEZ

SAINT-GOBAIN
MATERIAUX INNOVANTS

ARMINES

cea
liten

Projet « SEARCH »

CAES adiabatique sur cavité LRC
avec stockage de chaleur enterré

Séminaire ASPROM
« Stockage d'Énergie »
3 et 4 Décembre 2013



Grandes lignes du projet « SEARCH »

GDF SUEZ

Partenaires

GDF SUEZ

(Coordinateur)

SAINT-GOBAIN
MATERIAUX INNOVANTS

ARMINES

cea
liten

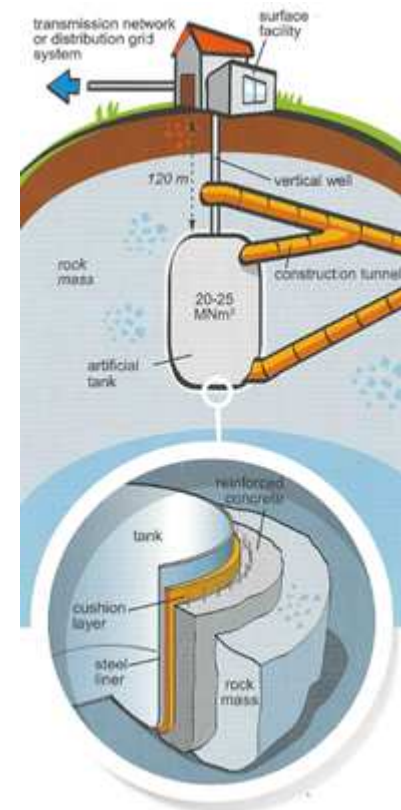


Scope

- CAES **adiabatique** sur cavité **LRC** avec stockage de chaleur **enterré**
- Taille 100-400 MW
- Validations expérimentales:
 - > Cyclage θ des céramiques (5m³)
 - > TES sous pression

Budget = 4,8M€

Planning = 2009-2013

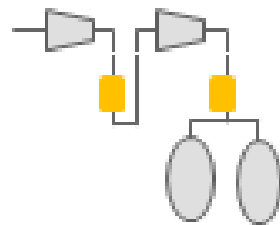


Itérations technico-économiques

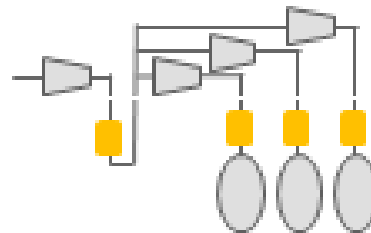
- Valorisation sur Arbitrage Peak-OffPeak
- Scénarios d'évolution Prix Base et évolution du Spread
- Fonctionnement avec décharge en 2x2h ou 2x4h

Configurations retenues

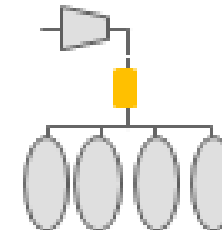
2 TES, 2LRC
(150b – 150.000 m³)



4 TES, 2 LRC
(150b – 150.000 m³)



1 TES, 4LRC
(80b – 300.000m³)

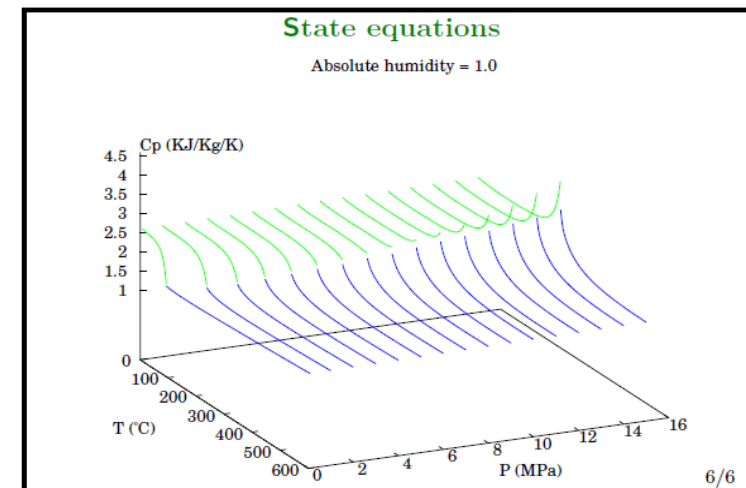
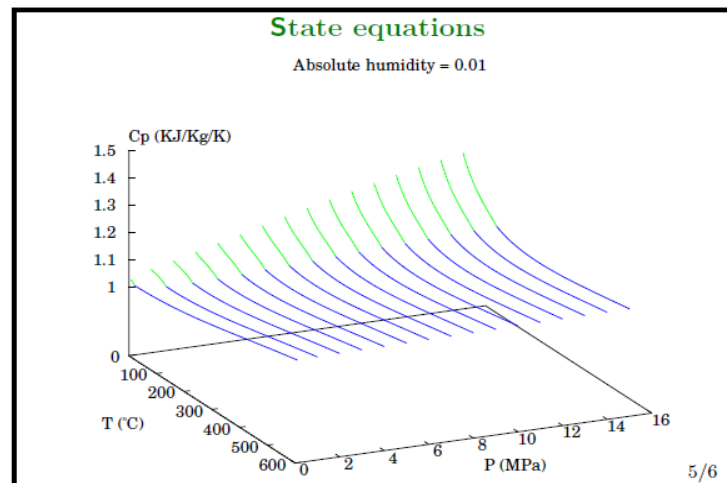


Compromis CAPEX – Constructibilité - Opérabilité - Risque industriel

- Compression: Optimum à 2 étages (≈150 bar)
- Détente: optimum à 1 étage (≈ 80 bar) mais gestion délicate de la chaleur
- Température: le plus chaud possible mais problème de constructibilité (TES et compresseurs)
- Cavité saline moins chère que LRC mais pertes de charge supérieures

Modélisation du comportement de la cavité

- Développement par Armines d'un [modèle en air humide](#) (modèles publics limités à 473K)



Résultats

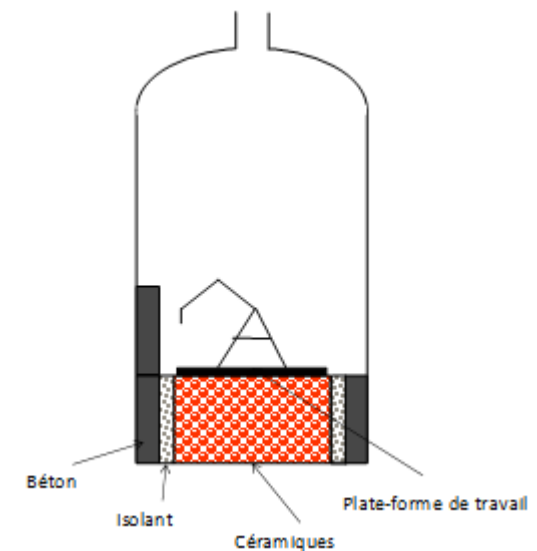
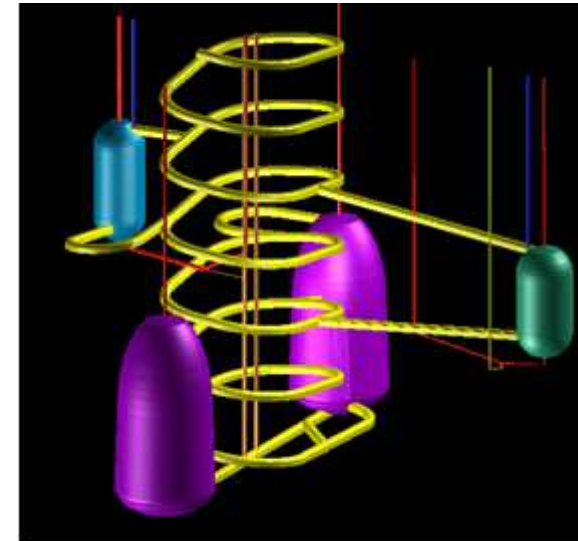
- 12 cycles = 1 semaine de calcul ! => validation des [premiers cycles](#) + calibrage des [extrapolations en gaz parfait](#)
- [Comportement satisfaisant de la cavité LRC](#) sur plusieurs années, avec débit jusqu'à 600 kg/s en charge ou décharge, cyclages quotidiens et pauses variables.

Hypothèses et technologies sélectionnées:

- Profondeur cavités = selon Pression et Diamètre
- Zone d'influence inter-cavités = 2 Diam
- Galeries pour accès engins
- Cavités créées par tranches descendantes
- Diamètres tuyaux limités à 1200mm

Résultats:

- Creusements miniers validés
(cavités jusqu'à 150.000 m³, 2700 m de galeries à 10%)
- Aléa faible sur la qualité et l'homogénéité de la roche, après identification d'un site favorable.
- Aménagement des cavités:
incertitude sur taille maximale (problème de liner)
- Ingénierie de détail = prochaine étape :
cône de distribution , raccordements tuyaux,
et supportages céramiques .

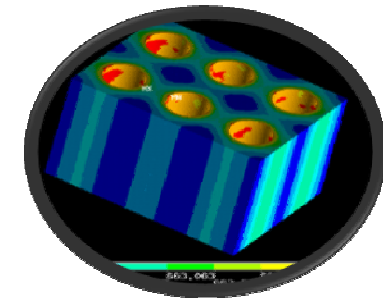
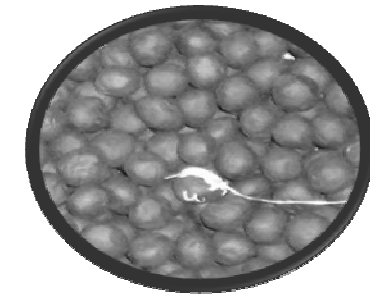


Composition

- Matériaux céramiques plutôt que naturels: capacité calorifique \uparrow + taux de vide \downarrow = gain volume TES
- Corrosion: 20 m³ de condensats à pH 3,5
- Composition : compromis prix / résistance à la corrosion

Forme et empilage

- Essais avec billes en vrac et briques structurées (plus adaptées)

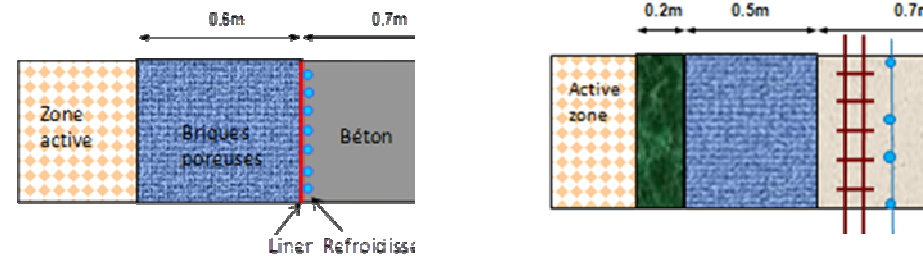


Validation expérimentale

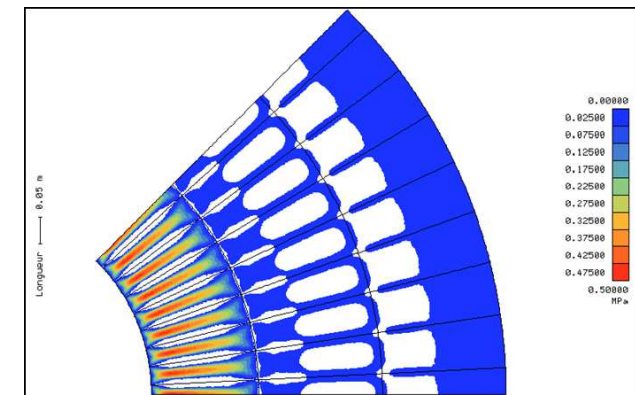
- Validation expérimentale : Boucle Claire (2 colonnes 5m de hauteur)
- Volumes de matériaux testés : 8 à 10m³
- Configuration finale = Empilage et forme matériaux optimisés selon:
 - rapport efficacité / pertes de charge
 - choc thermique,
 - exposition aux condensats,...



Conception



- Structure de paroi complexe avec un liner d'étanchéité et un système de refroidissement
- Etude des différents types de matériaux disponibles :
 - Mesures de propriétés mécaniques en température et après cyclage
 - Importance du taux d'alumine pour la tenue en température et à l'humidité
 - Importance de la porosité/perméabilité pour la tenue aux variations de pression
 - Matériaux retenus : RI30, RI26 ou MS6 produits par Savoie Réfractaires
- Isolants : **forme et taille des blocs** optimisés pour la tenue au cyclage en pression et température, y compris en **phase initiale**.
- Importance de la présence de **joints** entre les blocs pour mécanique (simulations thermo-mécaniques)



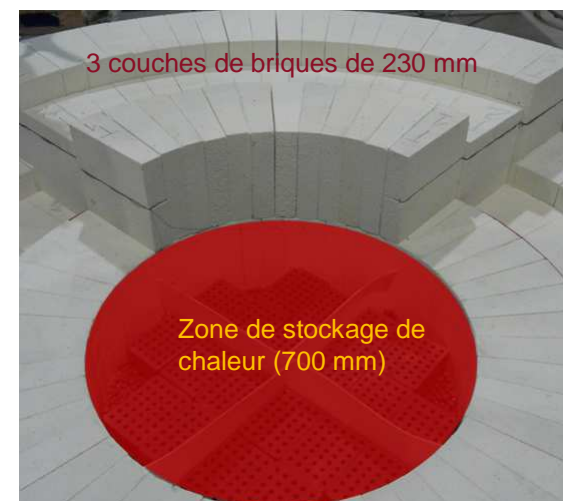
Validation expérimentale

- Enceinte 8 m³ à 600°C et 30 bar
- Difficulté réglementaire :
- (design enceinte à température < à celle du cœur)
 - Instrumentation détaillée
- Mesures de température de paroi et de zone de stockage (130 TC)
- Mesures de pression et de débit
 - Construction d'une structure de paroi en 3 couches de briques



Résultats

- Configuration enterrée : gain < inconvénients (CAPEX, constructibilité, maintenance)
- Campagne de test matériaux et assemblages en cours...



CAPEX / LCOS

- LRC plus chère qu'une cavité saline, avec un handicap croissant avec la capacité.
- Aléa géologique important
- « **Levelized Cost of Storage** » $\approx 60\text{€MWh}$ (contre 50€MWh pour le STEP), mais typologie géologique complémentaire.
- Combinaison fondamentale entre sous-sol compatible et proximité réseau RTE.



Valorisation économique

- L'Arbitrage (Peak-OffPeak) ne suffit pas à rentabiliser un CAES adiabatique.
- Le business modèle doit combiner les services au Réseau (congestions, reports d'investissements, réserves tertiaires, ...)
- La sécurisation des revenus est fondamentale: les scénarios de prix trop aléatoires sur 25 ans nécessitent un cadrage politique.
- Etude de sensibilité:
 - 1^{er} rang = Aléa CAPEX, rendement (cible 70%), durée de vie, TURPE
 - 2nd rang = mode d'exploitation (pauses, puissance glissante, OPEX)

Les verrous validés

- **Modélisation thermodynamique concluante**, pour le stockage de chaleur à haute pression (150 bar) et haute température (600°C)
- **Matériaux identifiés et testés** pour le stockage thermique et l'isolation de l'enceinte.
- Stockage de chaleur **préférable en surface** ou sub-surface.

Points techniques restant à valider

- **Compresseurs adiabatiques** non disponibles à ce jour
- **Diamètre** de l'enceinte de stockage très contraignant, avec une difficulté croissante pour les fortes puissances.

Prochaine étape

- **Démonstrateur** à taille significative pour le stockage de chaleur sous pression : **CAES hybride** (stockage sur le 1er étage de compression)
- Zone géographique adéquate : forte composante ENR centralisées (éolien offshore ?) + congestions Réseau Transport.
- **Ingénierie de détail** nécessaire pour entériner la constructibilité
- Opportunité projet européen « Framework program for R&D 2020 » dès 2014 ?