

Coordinateur : IFPEN

Partenaires : IFPEN, IRCE-Lyon, RHODIA, CNAM Paris

Projet labellisé par le pôle de compétitivité AXELERA



Contexte et Objectifs

Le projet de recherche industrielle ACACIA qui a été monté dans le cadre du pôle de compétitivité AXELERA a pour but de développer de nouveaux procédés physico-chimiques en rupture pour le captage du CO₂ en postcombustion.

Dans le cadre du projet ACACIA 31, nous étudions le captage par adsorption sur trois types de solides :

- des amines immobilisées sur un solide,
- des MOFs (Metal Organic Frameworks),
- des oxydes basiques de terres rares.

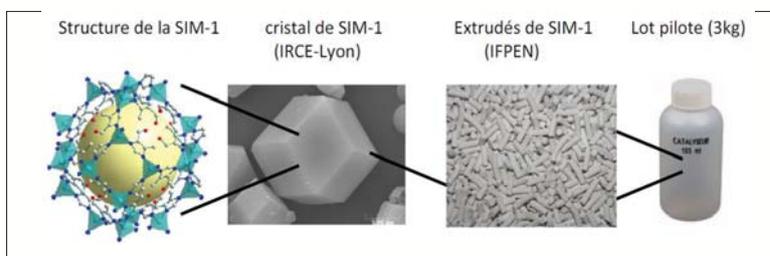


Figure 1 : MOF SIM-1 étudié dans ce projet de la structure moléculaire au cristal puis à l'objet mis en forme pour le test pilote

Méthodologie et Résultats

Pour chaque type de solide la même stratégie de développement a été suivie :

- screening de plusieurs solides à l'échelle laboratoire
- choix d'un solide sur des critères performance et faisabilité de la synthèse à moyenne échelle
- préparation d'un lot de 3 – 5 kg
- mise en forme (exemple le lot de SIM-1 préparé par IFPEN présenté à la Figure 1)
- tests sur le mini-pilote du CNAM en cycle VSA, TSA ou VTSA (Figure 2)

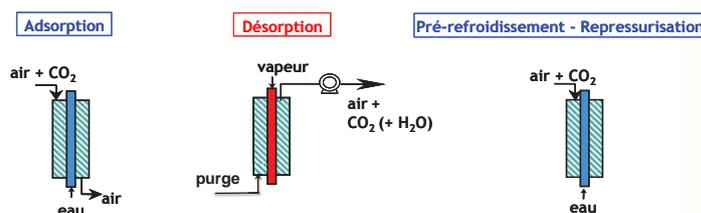


Figure 2 : Principe de fonctionnement d'un cycle VTSA avec purge

| | y _{CO2} alimentation (%) | 5 | 10 | 15 |
|-----|-----------------------------------|------|------|------|
| VSA | Pureté (%) | 76,0 | 81,1 | 86,6 |
| | Taux de captage (%) | 38,9 | 32,3 | 31,6 |

Tableau 1 : Performances obtenues avec les amines greffées IFPEN : 20 NL/min, sans purge, T_{ads} = 70 ° C

Résultats principaux amines greffées en cycle VSA

- Pureté et taux de captage limités par une désorption insuffisante
- Cycle à optimiser pour augmenter pureté et taux de captage

| | Sans purge | Purge de 0,1 NL/min | Purge N ₂ de 0,2 NL/min | |
|------|---------------------|---------------------|------------------------------------|------|
| VTSA | Pureté (%) | 98,2 | 76,3 | 64,2 |
| | Taux de captage (%) | 93,8 | 97,5 | 96,7 |

Tableau 2 : Performances obtenues avec les oxydes basiques Rhodia : 10 NL/min, y_{CO2} = 15%, T_{ads} = 30 – 150 ° C

Résultats principaux oxydes basiques en cycle VTSA

- Pureté et taux de captage conformes aux spécifications si purge limitée

Conclusions et Perspectives

Conclusion

- Premiers résultats expérimentaux encourageants
- MAIS des consolidations nécessaires pour aboutir à une solution compétitive par rapport à la MEA

Perspectives

- Tests du lot MOF SIM-1
- Optimisation des performances sur les différents solides grâce à une étude paramétrique numérique

CONTACT :

paul.broutin@ifpen.fr
david.farrusseng@ircelyon.univ-lyon1.fr
virginie.harle@eu.rhodia.com
marc.clausse@cnam.fr



Coordinateur **TREDI**
 Partenaires **LAB SA, PALL EXEKIA, IRCELYON, CEA**

Contexte et Objectifs

Les membranes céramiques peuvent être envisagées comme une solution potentielle pour la séparation CO₂/N₂ dans les fumées d'incinération. La stratégie du projet repose sur la sélection de matériaux offrant des facteurs de séparation et de perméance élevés. L'objectif est la mise en forme de matériaux céramiques de nouvelle génération couplant des propriétés de physi- et chimi-sorption et/ou de sélectivité stérique : zéolithes MFI, silice mésoporeuse structurée MCM, réseaux d'oxydes métalliques – MOF (polymères de coordination).

Membrane MOF : SIM-1

$S_{BET} = 470 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$
 $V_D = 0.19 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$

Al₂O₃ anodics

Farrusseng et al., patent pending, FR09/04489, extension PCT
 Farrusseng et al., patent pending, FR09/04488

Méthodologie et Résultats

Trois axes ont été explorés : (i) le développement de matériaux micro- et méso-poreux fonctionnalisés, leur mise sous forme membranaire (support : membrane alumine- α 0,2 μm) et leur évaluation par des tests parallèles/combinatoires, (ii) leur mise en œuvre en géométrie de haut rapport surface/volume et leur test en module membranaire en conditions réalistes, et (iii) la modélisation du transport dans les matériaux (couplage chimie-physiosorption et sélectivité stérique) et l'évaluation du procédé membranaire (mise à l'échelle, étude technico-économique).

Un banc de test innovant a été réalisé, permettant d'étudier la perméation et la séparation gazeuse des membranes élaborées, et rendant ainsi possible l'évaluation de l'impact de la vapeur d'eau sur le couple perméance/sélectivité CO₂/N₂ :

- 1/ En présence d'eau, le facteur de séparation sélective des membranes de synthèse de type MFI ZSM-5 augmente fortement, mais au détriment de leur perméance au CO₂ (phénomène de chute réversible).
- 2/ L'étude des membranes MCM a été orientée vers la synthèse d'une structure MCM-41 de type «LUS», présentant une meilleure stabilité hydrothermale. Des modifications chimiques de cette membrane hydrophobe ont été entreprises afin de greffer une fine couche de polymère aminé à l'entrée des canaux pour augmenter son affinité vis-à-vis du CO₂, mais ce greffage induit une perte de perméance.
- 3/ La mise sous forme membranaire des matériaux de type MOF a été orientée vers des structures contenant des ligands azotés pour leur stabilité chimique et thermique. Une sélection parmi les ZIFs (Zeolitic Imidazolate Frameworks) et les triazolates (TAZs) a été menée. Une membrane ZIF innovante a été brevetée au terme de ces travaux, insensible à l'eau mais de sélectivité encore faible.

Conclusions et Perspectives

Les membranes synthétisées ne sont pas suffisamment sélectives pour la séparation CO₂/N₂, mais stables avec l'eau, contrairement aux membranes zéolithiques. La modélisation du procédé membranaire a mis en évidence une limite due à la présence d'eau qui réduit fortement la perméance des membranes zéolithes, entraînant un surcoût en terme d'investissement. Des solutions sont envisageables au niveau procédé.

Le projet Mecafi a permis le dépôt de plusieurs brevets, ainsi que la publication de 4 articles dans d'importants journaux scientifiques internationaux (*AIChE J.* ; *New J. Chem.* ; *J. Mat. Chem.* ; *Chem. Eng. J.*).

CONTACT :

s.durecu@tredi.groupe-seche.com

Coordinateur: Air Liquide

Partenaires: ARMINES, CIAT, Institut P', LGC

Contexte et Objectifs

L'oxycombustion est un procédé très prometteur pour le déploiement industriel rapide du stockage du CO₂ dans les centrales électriques. Il affiche un bon compromis entre coût de captage de CO₂, efficacité énergétique et risque industriel. La combustion avec de l'oxygène d'une pureté de 95 à 99 % permet de produire des fumées composées essentiellement de vapeur d'eau et de CO₂. Après condensation de la vapeur d'eau, la concentration en CO₂ des fumées devient supérieure à 80 % en volume. Un traitement ultérieur des gaz de combustion peut être nécessaire pour éliminer les polluants atmosphériques (NO_x; SO_x) et les gaz non condensés (O₂, N₂ par exemple) avant d'acheminer le CO₂ vers la zone de stockage.

Avec les technologies usuelles, le coût de séparation de l'oxygène en amont représenterait 10 à 15% de l'énergie produite par la centrale. En réduisant de 30% l'énergie nécessaire à la production de l'oxygène, la technologie de colonne diabatique que le projet OXYBAC propose de développer rendrait l'oxycombustion très compétitive.

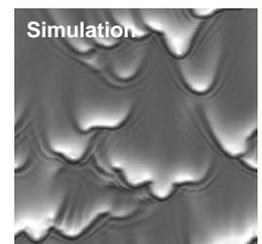
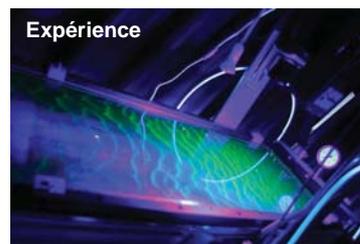
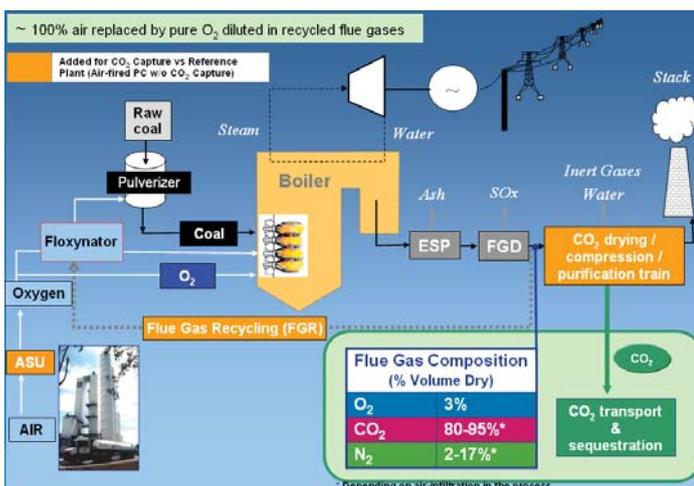
Méthodologie et Résultats

La méthodologie repose sur deux axes :

1. Etudier les phénomènes physiques et la thermodynamique du système constitué par une colonne diabatique cryogénique.
2. Jeter les bases technologiques pour le passage à l'échelle de pré-industrialisation d'une colonne diabatique cryogénique pour l'oxycombustion.

Sur le premier axe, une étude exergétique menée par ARMINES a permis d'identifier les sources d'irréversibilité du système. Par ailleurs, l'hydraulique des écoulements diphasiques, les transferts de chaleur interfaciaux et pariétaux et le transfert de matière ont été caractérisés par le biais de mesures expérimentales fines au LGC et de simulations numériques à l'Institut PPRIME, branche thermique, réalisées à partir d'un code de calcul développé spécifiquement.

Sur le deuxième axe, les méthodes de dimensionnement et d'analyse de coût ont été établies par ARMINES et CIAT et une maquette est en cours de fabrication. Celle-ci sera testée à l'échelle pilote par AIR LIQUIDE en 2012.



Conclusions et Perspectives

Ce projet a constitué une étape importante pour tracer la route vers une technologie de production d'oxygène adaptée aux enjeux de l'oxycombustion. Les bases scientifiques et technologiques ont été conjointement établies dans ce partenariat entre laboratoires et entreprises.

CONTACT :

guillaume.mougin@airliquide.com



SECOHYA

SEparation of CO₂ by HYdrate Adsorption

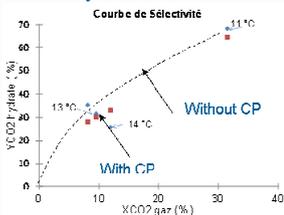
CO₂ 2007

Coordinateur : JM HERRI, ENS des Mines de St-Etienne
Partenaires : Mines ParisTech, ENSTA ParisTech, laboratoire PhLAM de l'Université de Lille, Laboratoire LFC de l'Université de Pau

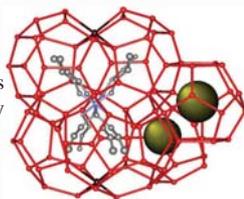
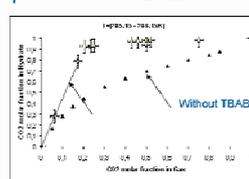
Objectives

The SECOHYA project aims at developing a rupture process to capture CO₂ on a principle of gas hydrate crystallization. It is a reversible process in which the pressurized gas and water combine to form a solid. Water forms a solid network that acts as an absorbant to separate molecules between the free gas phase and the encapsulated gas phase. The SECOHYA project is constituting a data base from thermodynamics and kinetics experimental measurements, for a wide range of gas mixtures. The SECOHYA project aims also at testing additives : thermodynamic additives to decrease the operative pressure, and kinetic additives to speed up the crystallization

Clathrate hydrate in presence of thermodynamic additives



Semi Clathrate hydrate in presence of TBAB



Hydrate = « Encapsulation » of gas molecule in cavities formed by water molecules. The selectivity is driven by pressure, temperature, gas composition, and additives.

Tasks

Task 1 concerns the thermodynamic studies. The experiments imply the measurement of equilibrium data at Mines ParisTech, structural data at University of Lille, and thermo physical data at ENSTA ParisTech. The task implies a modeling task after compilation of experimental data. It is concluded by a software packaging.

Task 2 concerns the kinetic studies: The experimental activity implies the measurement of kinetic rates of crystallization in two different geometries at School of Mines of St-Etienne (liquid dominated system) and University of Pau (porous medium). The experimental part implies also specific measurements to evaluate the interfacial properties of additives.

Task 3 concerns the rheology of hydrate slurries: It is an experimental task to evaluate the handling of slurries. It aims firstly at evaluating the intrinsic rheological properties of hydrate slurries. Secondly, it aims at managing the risk linked to hydrate agglomeration and blockage.



Water droplet in CO₂, 26 bars et 5°C. Measurement of the growth kinetics around the water droplet (5,6 ± 0,9 mm²/s), performed at LFC.

Conclusions

The SECOHYA project has succeeded in modeling the thermodynamic of clathrate hydrates (formed from water and gas) and semi clathrates (formed from water, gas and quaternary ammonium). TBAB hydrate has shown a selectivity close to 100% for CO₂ capture. The thermodynamic model has been coupled with a kinetic approach to describe the non equilibrium crystallization which reveals to be crucial because it can selectively orientate the encapsulation of gases. Also, additives have been evaluated and reveal to be very efficient on gas mixture containing methane.

The SECOHYA project has given the opportunity to federate the French research at a level that has no comparison in the rest of the world. Researches are continuing in the FUI ACACIA project, EEC iCAP project, CARNOT MINES program. The CCS by using hydrate is now programmed also at the technological development level within the INDEED platform.

CONTACT :

herri@emse.fr

Coordinateur : LRGP-Nancy (D. Roizard)

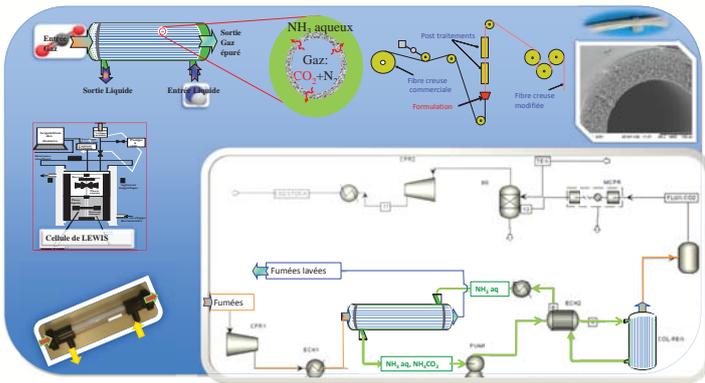
Partenaires : LGC-Toulouse (JC. Remigy), Armines CEP (C. Bouallou), Polymem (O. Lorain), EDF R&D (M. Kanniche)

Contexte et Objectifs

Contexte. Ce projet de recherche industriel de 36 mois porté par trois centres de recherche académiques et deux acteurs industriels s'inscrit dans l'optimisation de la production d'énergie électrique des futures centrales thermiques à combustible fossile qui devront intégrer les exigences sociétales sur la minimisation des rejets de CO₂ de post-combustion. Sur la base de la technologie de captage aux amines, cela signifie une perte de rendement énergétique d'environ 15 points !

Objectifs. Il s'agit de concevoir et de modéliser une centrale thermique intégrant le captage du CO₂ selon le cycle (NH₄)₂CO₃ (carbonate d'ammonium, AC) – NH₄HCO₃ (bicarbonate, ABC), bien moins énergivore que le procédé aux amines, assisté par des contacteurs membranaires qui doivent permettre :

- de limiter la fuite massive d'ammoniac en phase gaz,
- d'apporter la souplesse de fonctionnement des procédés membranaires et,
- d'intensifier le captage par rapport aux échangeurs Gaz / Liquide conventionnels de type colonne garnie.



Méthodologie et Résultats

La structuration scientifique du projet repose sur des besoins d'acquisition de connaissances fondamentales englobant les aspects matériaux et procédés relayés par

un développement technologique initial visant à qualifier la pertinence du concept de base et la faisabilité technique.

Les travaux sont réalisés selon quatre tâches couvrant l'étude du système complexe NH₃ aq. /CO₂/HNH₄CO₃ aq., **Armines CEP**, le domaine des matériaux membranaires, **LRGP et LGC**, la fabrication de contacteurs membranaires, **LGC et Polymem**, l'étude de l'efficacité du captage réactif de mini-modules et sa modélisation, **LRGP et Armines CEP**, et la simulation et l'intégration des résultats pour la conception de centrales thermiques énergétiquement optimisées, **EDF**.

Les mesures d'absorption isotherme effectuées à l'aide d'une cellule de Lewis pour différentes concentrations de NH₃ indiquent un taux de charge maximum correspondant à 0,9 mol CO₂/mol NH₃ à 15° C avec formation d'un précipité NH₄HCO₃.

Ces mesures ont permis de calculer que l'enthalpie de régénération est bien plus favorable pour NH₃ aq. que pour la MEA. La modélisation a permis de déterminer les constantes cinétiques du captage selon le mécanisme simplifié de formation majoritaire d'ABC.

Plusieurs polymères ont été sélectionnés pour leur perméabilité et pour leur stabilité à NH₃; ils ouvrent effectivement la voie aux possibilités d'absorption et de régénération du CO₂ par des solutions ammoniacales en système confiné.

Des fibres creuses composites ayant une peau sélective de l'ordre de 1 micron d'épaisseur et de bonnes propriétés mécaniques ont été préparées et assemblées en modules.

Conclusions et Perspectives

Aux forts taux de charge en CO₂ un gain d'enthalpie de 50% a été confirmé avec NH₃ aq. par rapport à la MEA. Dans la littérature ouverte, le cas du transport conjoint CO₂-NH₃ n'a fait l'objet d'aucune étude dédiée avec des membranes denses; cette lacune a été comblée et des polymères prometteurs ont été identifiés et utilisés sous forme de fibres creuses puis de petits modules membranaires. Les essais d'absorption sont en cours.

CONTACT :

denis.roizard@ensic.inpl-nancy.fr
remigy@chimie.ups-tlse.fr
chakib.bouallou@ensmp.fr
o.lorain@polymem.fr
mohamed.kanniche@edf.fr



OP Systèmes Armines - Apesa

Contexte et Objectifs

L'installation Pyroal®, existante sur le site de Lacq (64), basée sur un procédé de pyro-gazéification intégrée de déchets et de combustibles solides, en lit fluidisé dense, suivie d'une postcombustion des gaz produits, est adaptée pour en améliorer les rendements de valorisation énergétique, avec capture du CO₂.

Le principe retenu (O₂/FGR - Flue Gas Recycling) est de remplacer le ballast azote de l'air, par des fumées neutres (CO₂, H₂O) soutirées en aval de la chaudière de récupération, avec oxy-combustion. Cette solution diminue sensiblement le volume des fumées émises et augmente l'efficacité énergétique du système.



Méthodologie et Résultats

Un premier bilan énergétique établi selon la méthode des pertes séparées a permis d'identifier les axes d'améliorations techniques à apporter à l'unité pour réaliser, entre autres, le captage du CO₂ avec un minimum d'impuretés.

Nous avons ainsi procédé à la suppression des entrées d'air parasites pour une maîtrise des excès d'air dans les produits de combustion, tout en garantissant une combustion complète, produisant peu de CO et de COV.

L'adaptation de l'installation au régime de fonctionnement O₂/FGR a de la sorte été optimisée.

La mise au point de la chaîne de mesure permettant de réaliser les bilans matières et énergétiques a été faite. De même, une analyse de vitrifiats produits sous Pyroal® a montré qu'ils présentaient les caractéristiques inerte et neutre vis-à-vis de l'environnement.

La phase d'exécution des travaux s'est terminée fin novembre et le commissioning de l'unité se déroule en deux phases:

- Remise en route de l'unité en mode Pyroal® (sans recyclage des fumées).
- Mise en route et test de fonctionnement de l'unité en mode Pyrocapt.

Les résultats des bilans matières et énergétiques comparatifs sont attendus pour février 2012.

Parallèlement, une étude de débouchés potentiels en région Aquitaine pour la valorisation du CO₂ a été menée. Celle-ci montre que des filières aussi distinctes que la viticulture, l'industrie de la viande et du poisson, les brasseries, consomment ~ 8.300 t de CO₂/an. En comparaison Pyrocapt en produira 700 t/an.

Conclusions et Perspectives

Le Projet doit nous permettre de valider le modèle technico-économique de ce nouveau type de pyro-gazéification à haut rendement énergétique et d'évaluer les débouchés de valorisation de CO₂ capté.

A terme, l'Entreprise proposera sur le marché de la valorisation des déchets industriels, des unités à l'efficacité énergétique accrue avec réduction des émissions de CO₂.

CONTACT :

jc.petret@opsystemes.com



Coordinateur : LRGP-Nancy (G. Valentin)
Partenaires : ArcelorMittal-Maizières (H. Lavelaine), ENSCP-ParisTech (K. Ogle), CMCP-UPMC (C. Chanéac), Protection des Métaux (J. Halut)

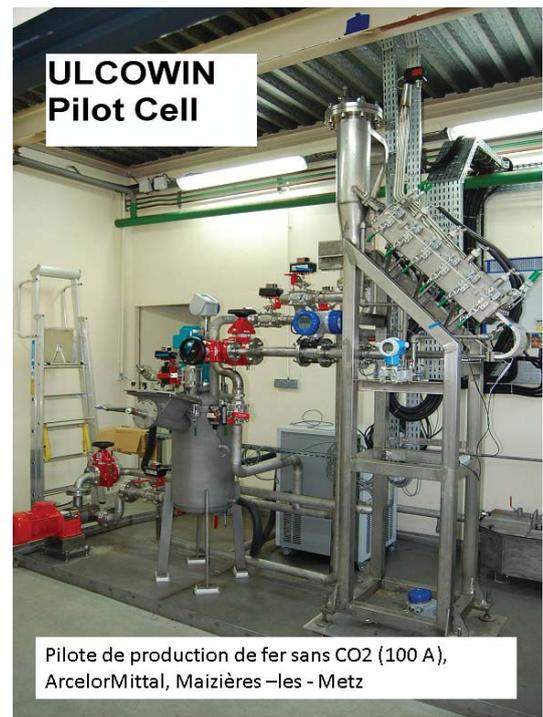
Contexte et Objectifs

Le projet ASCOPE a pour objectif d'établir les connaissances scientifiques et technologiques nécessaires au développement d'un procédé de production d'acier par réduction électrochimique de particules d'hématite (minerai de fer) en suspension dans un milieu alcalin à 110°C avec une consommation électrique globale de l'ordre de 2,6 MWh/tonne. Ce procédé, imaginé et testé à l'échelle pilote par ArcelorMittal dans le cadre du projet européen ULCOS, permet de réduire très fortement les émissions en dioxyde de carbone et de proposer un procédé alternatif fiable à l'horizon 2020.

Ce projet vise également à une diminution de la consommation énergétique de la cuve d'électrolyse, en augmentant les rendements en courant (passage de 70% à 90%) et en réduisant la tension de cellule vers 1,6 V (actuellement autour de 1,8V).

Méthodologie et Résultats

Il s'agit de mieux comprendre les phénomènes physicochimiques mis en jeu à la cathode par le biais de plusieurs études : phénomènes de transformation des oxydes de fer en fer métallique, étude de leurs réactivités, mécanisme réactionnel de la réduction qui comporte plusieurs étapes. En parallèle de ces études de chimie structurale et d'électrochimie, des aspects relatifs à l'optimisation du procédé sont également étudiés. Ils concernent d'une part la recherche de la technologie optimale de cellule permettant d'assurer le contact des particules de minerai à la surface de la cathode et de concevoir l'anode, afin de réduire au mieux les chutes ohmiques dans la cellule. La technologie de cellule retenue fera l'objet d'une validation expérimentale sur pilote.



Conclusions et Perspectives

I - Procédé alternatif de production d'acier sans CO₂ avec consommation énergétique réduite

II - Approfondissement des connaissances :

- Production de métaux par électroréduction d'oxydes solides: comportement réactionnel des différentes phases
- Phénomènes de dépôt dans des milieux de forces ioniques très élevées: caractérisation des surfaces dans ces conditions
- Procédés polyphasiques:
 - Comportement hydrodynamique de suspensions réactives
 - Ecoulement de gaz électrogénéré

CONTACT :

gerard.valentin@ensic.inpl-nancy.fr
herve.lavelaine@arcelormittal.com
Kevin-Ogle@chimie-paristech.fr
corinne.chaneac@upmc.fr
jacques.halut@protectiondesmetaux.com



Coordinateur: AIR LIQUIDE

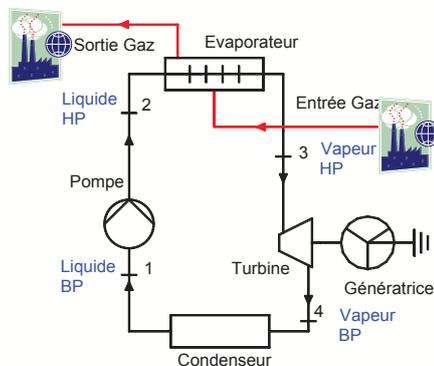
Partenaires: PROMES CNRS – ARMINES CEP – EDF R&D – CEA

Contexte et Objectifs

Sur les unités Air Liquide comme sur beaucoup d'autres sites industriels, une importante quantité de chaleur est rejetée à des températures comprises entre **100° C et 150° C** via le refroidissement de gaz.

Le consortium ENERCO_LT a été formé dans le but de valoriser cette énergie en produisant de l'électricité par un **cycle organique de Rankine (ORC)**.

La chaleur récupérée à travers un échangeur est utilisée pour vaporiser un fluide de travail qui est ensuite détendu dans une turbine pour produire de l'électricité.



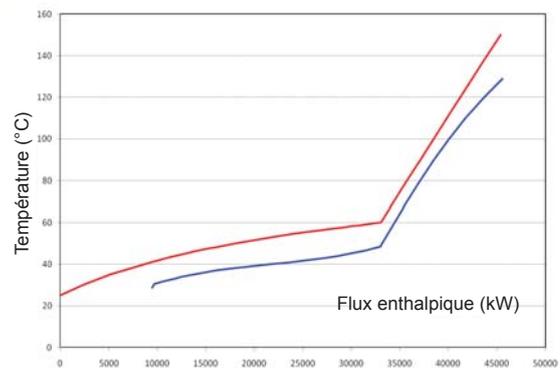
L'objectif est de concevoir des modules standards de conversion d'énergie thermique en énergie électrique à partir d'effluents gazeux basse température, pour des puissances allant de **100kWe à 2MWe**.

Méthodologie et Résultats

1. Sur le plan scientifique, une méthode d'**optimisation exergétique des cycle ORC** a été mise au point afin de sélectionner les fluides de travail et architectures de cycles présentant les meilleurs rendements.

Les paramètres suivants ont été étudiés :

- **le fluide de travail :**
 - ✓ nombreux fluides testés
- **l'architecture de cycle :**
 - ✓ cycle simple ou en cascade
 - ✓ cycle subcritique ou transcritique
 - ✓ présence ou non de régénérateur
- **le profil de la source chaude**
 - ✓ différents niveaux de température
 - ✓ gaz humides et gaz secs



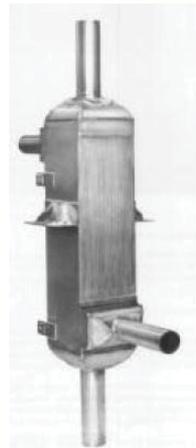
2. Sur le plan technique, le développement porte sur **l'échangeur, la turbine et la génératrice**. En particulier, le dimensionnement de l'échangeur doit intégrer les contraintes du procédé sur lequel la chaleur est récupérée (perte de charge, corrosion, débits importants, tenue mécanique).

Les technologies suivantes sont envisagées pour l'échangeur principal :

- échangeur à **plaques et ailettes soudés**
- échangeur à **tubes et ailettes**

Une étude de résistance des matériaux à la corrosion par les condensats va également être menée en 2012.

Enfin, la réalisation d'un **pilote 5kWe** est en cours et va permettre de valider les technologies identifiées, notamment l'échangeur.



Conclusions et Perspectives

Les premiers résultats laissent espérer des rendements énergétiques de l'ordre de **10%**. Une étude économique, indispensable au projet, viendra compléter le travail scientifique et technique.

A l'issue du projet, des recommandations pour l'industrialisation de modules standards ORC de récupération de chaleur sur effluents gazeux seront synthétisées et diffusées.

CONTACT :

guillaume.cardon@airliquide.com



Coordinateur : EDF SA

Partenaires : CNRS-SIMAP, INPT-LAPLACE, FIVES CELES, ATYS Consultants, ARMINES-CEP, CNRS-CRISMAT

Contexte et Objectifs

Dans l'industrie :

- 70% de l'énergie consommée dans l'industrie à des fins de chauffage.
- Chauffage par induction : une Meilleure Technique Disponible dans différents secteurs

Objectifs du projet

- Favoriser la pénétration de l'induction
- Améliorer la conversion électrothermique
- Y associer une récupération et réutilisation de l'énergie



Maquette d'une alimentation multi-bobines



Banc de récupération d'énergie sur le refroidissement de l'inducteur

Améliorer la flexibilité des installations de chauffage par induction sur large gamme de production

- Réalisation d'une alimentation électrique multi-bobines flexibles à plusieurs onduleurs
- Mise en place du contrôle-commande associé

Réduire les pertes électriques dans les inducteurs

- Conception brevetée d'une configuration de conducteurs multi-brins refroidis
- Modélisation numérique du comportement électrothermique des configurations brevetées

Récupérer et réutiliser l'énergie fatalement perdue dans l'inducteur ou les pièces une fois traitées

- Analyse des besoins et des productions de chaleur dans une usine
- Réalisation de bancs de récupération d'énergie sur le refroidissement de l'inducteur
- Approche de récupération sur les pièces chaudes traitées par thermoélectricité

Conclusions et Perspectives

Innovations technologiques

- Alimentation multi-bobines flexible avec contrôle des courants dans chaque bobine
- Récupération d'énergie de l'inducteur avec contrôle par commande prédictive (PFC)
- Nouvelle génération de conducteurs multi-brins haute performance

Retombées scientifiques

- Modèles simplifiés d'installations multi-bobines
- Modèles de conducteurs multi-brins avec technique d'homogénéisation
- Modèles de thermogénérateur et convertisseur

Appuis des acteurs influents des différents secteurs industriels sur le développement de solutions énergétiquement efficaces

Méthodologie et Résultats

Élargir les usages de l'induction dans les différents secteurs industriels

- Analyse des besoins des secteurs
- Travail collaboratif avec les centres techniques pour faire émerger les nouveaux usages (Fonderie, Papeterie, Industrie Mécanique)
- Sensibilisation des secteurs aux solutions éco-efficaces

CONTACT :

Bernard PAYA
bernard.paya@edf.fr



Coordinateur : EDF-R&D

Partenaires : JOHNSON CONTROLS, FRANCE EVAPORATION
AGROPARISTECH, CETHIL, IPB-ENSEIRB-MATMECA

Contexte et Objectifs

Sur sites industriels :

- des rejets calorifiques à hautes températures (90 °C) mal utilisés ou perdus
- des besoins à températures supérieures (130 °C) satisfaits par apport d'énergie (gaz, fuel...)

Chez les équipementiers :

- des pompes à chaleur limitées à 80 °C en condensation
- des développements de PAC haute température basés sur des fluides de synthèse (R245fa...)

Le projet PACO :

- une PAC haute température (130 °C)
- un fluide de travail respectueux de l'environnement, économique, performant... : l'eau



Le compresseur à vis et le circuit pompe à chaleur

Méthodologie et Résultats

La mise au point de nouvelles technologies :

- les circuits d'échange d'une PAC HT à eau
- des compresseurs de vapeur d'eau :
 - un compresseur à double vis (pour les forts Δt)
 - un compresseur centrifuge à paliers magnétiques (pour les forts débits)

Une analyse du fonctionnement

- une modélisation fine du circuit thermodynamique
- l'optimisation des roues du compresseur centrifuge

Une validation industrielle :

- un pilote de grande taille (150 kW_{élec}, 750 kW_{therm})
- une implantation sur site industriel après essais en laboratoire

Conclusions et Perspectives

De nouvelles technologies seront disponibles sur le marché :

- une PAC à eau
- des compresseurs de vapeur d'eau validés

Des applications de récupération énergétique nouvelles seront identifiées :

- récupération de chaleur à haute température en distillation, séchage, ou entre procédés industriels...
- pompe à chaleur fermée ou ouverte (intégrée ou semi intégrée aux procédés industriels)

De nouveaux procédés économes en énergie pourront être explorés :

- séchage en vapeur d'eau surchauffée avec CMV

CONTACT :

jean-francois.berail@edf.fr
OU
jean-louis.peureux@edf.fr



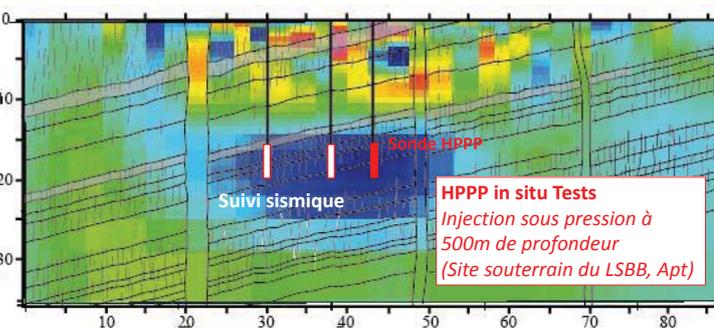
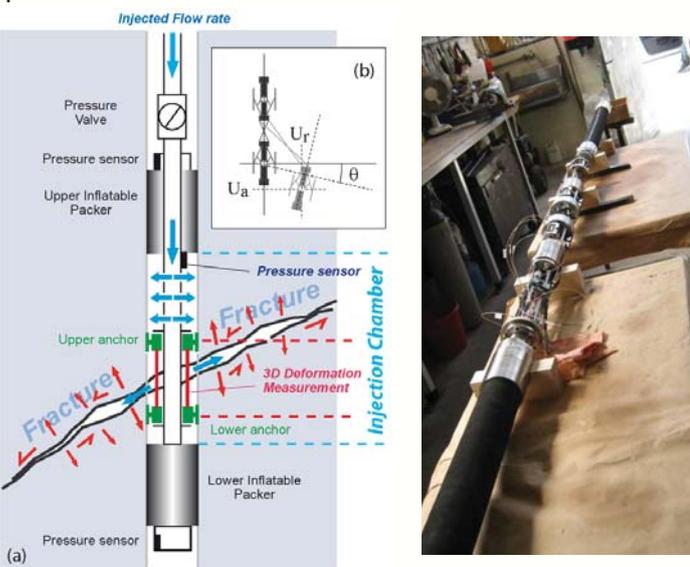
HPPP-CO₂ High Pulse Poroelasticity Protocole CO₂-2007

Coordinateur - Laboratoire GSRC (Université Aix-Marseille)

Partenaires – Geoazur (Université de Nice), Isterre (Université J.Fourrier, Grenoble), SITES S.A.S, Pétrométric, INERIS, Lawrence Berkeley National Laboratory (USA) et Stanford Rock Physics Laboratory (USA)

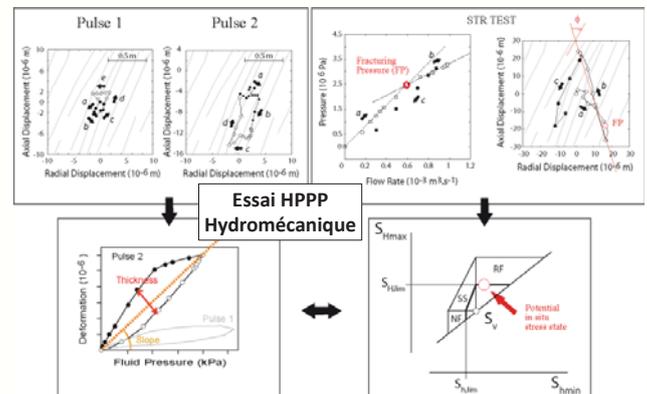
Contexte et Objectifs

- Caractériser et surveiller l'intégrité mécanique d'un système naturel réservoir-couverture soumis à une injection de CO₂
- Etudier les couplages entre perméabilité-déformations-ondes sismiques dans un milieu poreux-fracturé
- Evaluer in situ la résistance des hétérogénéités pluri-métriques aux injections de fluides haute pression



Résultats

- **Validation d'un nouvel instrument**
Sonde HPPP alpha1 de mesure de pression et de déformation de la roche en forage
- **Expériences in situ originales**
Comportement mécanique et sismique des couches réservoir sous pression d'injection de fluide
- **Un protocole de caractérisation in situ des réservoirs fracturés**
- **Estimation des propriétés mécaniques, hydrauliques, des états de contraintes et de la géométrie des champs de pressions à l'échelle décimétrique**



Perspectives

- Evolution d'une sonde prototype alpha 1 vers une sonde alpha 2 opérable à grande profondeur (Démonstration dans le cadre du projet mHPPP 2011-2013 financé par l'ADEME)
- Inversion des données hydromécaniques produites par HPPP pour imaginer les champs de pressions de fluides et localiser les hétérogénéités actives (sismiques ou asismiques) d'un milieu poreux-fracturé

CONTACT :

Yves.guglielmi@univ-provence.fr
Hervé.lancon@sites.fr
s.piot@sites.fr



STANFORD UNIVERSITY
Stanford Rock Physics & Borehole Geophysics Project



Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory

CARMEX (2009-2012)

CARbonatation Minérale EX-situ de résidus miniers - procédé innovant, mécanismes, évaluation de la filière

CO₂, édition 2008

Axe 4 « Ruptures technologiques »



Coordinateur : BRGM (EPIC)

Partenaires privés : TOTAL, BIO Intelligence Service,

Partenaires publics : LGC Toulouse (UMR 5503), IPG Paris (UMR 7154).



<http://carmex.brgm.fr/>

Contexte et Objectifs

Quelle place de la filière de carbonatation ex situ dans la réduction des émissions de CO₂ ? au travers de :

- l'évaluation croisée de ressources minières et des sites d'émissions de CO₂ (BRGM, TOTAL),
- l'optimisation des procédés de carbonatation accélérée en une étape (LGC, TOTAL, IPGP, BRGM),
- la compréhension des mécanismes, par modélisation géochimique et caractérisation fine, l'accélération microbiologique (IPGP, LGC, BRGM),
- et une analyse de cycle de vie de la filière et en comparaison à l'option stockage géologique (BIO-IS, TOTAL, LGC, BRGM).

Méthodologie et Résultats

Recherche de sites favorables au développement de la carbonatation ex-situ (SIG)

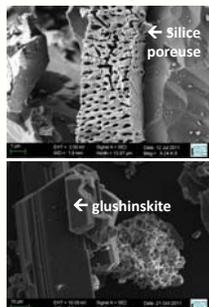
- Evaluation croisée des ressources mafiques/ ultramafiques (M/UM) et des sites d'émissions de CO₂ (résidus miniers broyés, de nature appropriée, disponibles à proximité des gisements et des centres d'émission de CO₂)
- Établissement de cartes à l'échelle mondiale à partir de critères pertinents, discussion autour de huit grands sites... : Rapport public BRGM/RP-58296-FR
- À venir SIG 'Grande' Europe (...).

Optimisation du procédé en une étape (thèse)

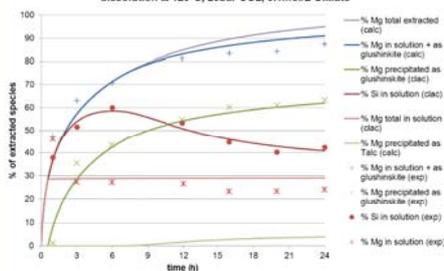
- Evaluation expérimentale et par modélisation géochimique de la voie avec liants organiques à basse P(CO₂)=20bar, influence de la T° =120-180° C, du taux de pulpe (dimension procédés) = 3 à 250g/L,
- Etude fine des mécanismes de carbonatation, en phases solide et aqueuse : mise en œuvre de techniques analytiques complémentaires : Raman, MEB-FEG, ATG... et simulation géochimique (Chess) des mécanismes de dissolution avec l'oxalate

Résultats sur olivine

→ étape de dissolution effective mais avec formation de complexes très stables du Mg en phase aqueuse et solide (glushinkite) inhibant l'étape de précipitation de carbonates MgCO₃, couche de silice non passivante (discontinue),



Experimental results and simulation of oxalate promoted forsterite dissolution at 120°C, 20bar CO₂, 0.1mol/L Oxalate

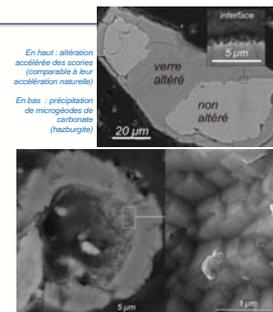


Procédés : essais en eau

- sur olivine, roches serpentinisées et scories de la pyrometallurgie (Nelle-Calédonie)

Avancement, perspectives

- Carbonatation effective (20b CO₂, 180° C) : (scories, hazburgite) >> wherlite, iherzolite mais rendements faibles,
- En cours : études cinétiques, suivis minéralogiques (FIB-MEB, MEB couplé RAMAN) et isotopiques (C, O, Ca), modélisation géochimique

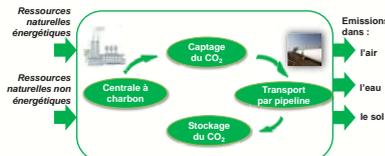


Bilan environnemental (méthodologie type ACV encadrée par les normes ISO 14040 et 14044)

- De trois scénarii de centrale au charbon : traditionnelle (sans captage), avec captage du CO₂ et stockage géologique, avec captage du CO₂ et stockage par carbonatation minérale
- Unité fonctionnelle : fournir 1 MWh d'électricité (centrale charbon)

Avancement, perspectives

- Bilan environnemental précis des étapes de captage et transport
- Bilan en cours sur le stockage
- Résultats contrastés : gains ou transferts de pollution en fonction des procédés et des indicateurs d'impact étudiés



Conclusions et Perspectives

- Nouvelles connaissances scientifiques d'intérêt : rôle des additifs organiques, compréhension des mécanismes, couplage observations microscopiques fines et modélisation géochimique, rédaction d'article(s)
- Perspectives en Nelle-Calédonie à affiner : scories de pyrometallurgie et roches plus ou moins serpentinisées
- Accélération microbiologique en cours : utilisation de bactéries photosynthétiques autotrophes, pour tester la dissolution des minéraux UM à basse T° C

Le sujet carbonatation minérale ex-situ reste exploratoire :

- Difficulté d'accès aux données minières pour connaissance fine des résidus (nature, tonnages),
- Dimension procédés (une étape) : piste des additifs organiques récusée, autre piste en cours évaluation,...
- Analyse cycle de vie : un bilan environnemental à approfondir et à préciser avec les données des procédés.

Valorisation

Articles : Comprehensive analysis of direct aqueous mineral carbonation using dissolution enhancing organic additives, Bonfils et al. soumis ; CO₂ geological storage: the environmental mineralogy perspective, CRAS, Guyot et al., GHGT-10, Energy Procedia : 1) Understanding and optimizing the chemistry of direct aqueous carbonation through geochemical modelling, Bonfils et al. ; 2) Worldwide potential for ex-situ mineral carbonation, Picot et al. ACEME 2010 : Geochemical analysis of enhancing additives and operating conditions on direct aqueous carbonation Bonfils et al.

CONTACT : f.bodenan@brgm.fr

Equipe de projet
• BRGM : F. Bodéan, T. Augé, D. Cassard, P. Gallé, P. Négrel, A. Lassin
• TOTAL : P. Chiquet, S. Lethier, A. Benguigui
• BIO-IS : C. Petiot, A. Boukari, E. Labouze
• LGC Toulouse : F. Bourgeois, B. Bonfils, C. Jucour
• IPG Paris : F. Guyot, I. Martinez



CO2FIX

In situ [bio]-mineralization in mafic and ultramafic context: A combined experimental and numerical approach

CO2 - 2008



Coordinateur: Pascale Bénézeth (Géosciences Environnement Toulouse, GET)
Partenaires: B. Ménez (IPGP), M. Godard (GEOM), D. Bernard (ICMCB)

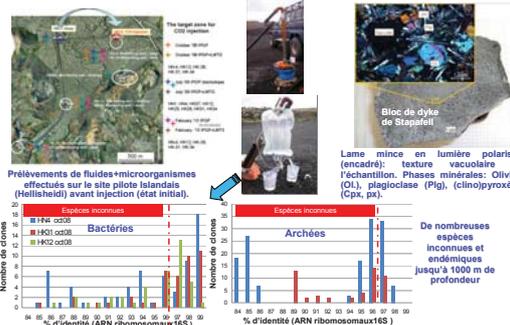
Contexte et Objectifs

La plupart des sites d'injection dans les roches sédimentaires ont une minéralogie qui est, en dehors des minéraux carbonatés, dominée par le quartz et les aluminosilicates, pauvres en quartz induisant un faible potentiel de stockage minéral. A l'inverse, les roches basiques (basaltes) et ultrabasiques (péridotites, ...) sont riches en silicates de magnésium et de calcium (olivine, Ca-plagioclase) avec un fort potentiel de piégeage minéral. Il existe cependant un certain nombre de verrous scientifiques et technologiques à lever pour développer une séquestration efficace et pérenne de CO₂ dans des roches basaltiques.

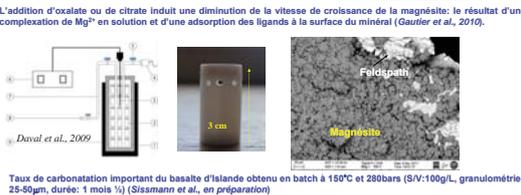
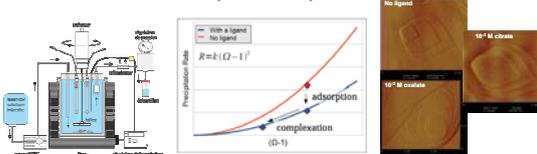
Le but de ce projet est de fournir les bases scientifiques nécessaires à la séquestration minérale in situ du CO₂ dans ces roches, en conditions biotiques et abiotiques. A cet effet, ce projet bénéficie des données qui sont obtenues sur le site pilote basaltique de Hellisheidi (Islande, CARBFIX) et pour le mener à bien, 5 tâches intégrées et complémentaires se déroulent depuis décembre 2008.

Méthodologie et Résultats

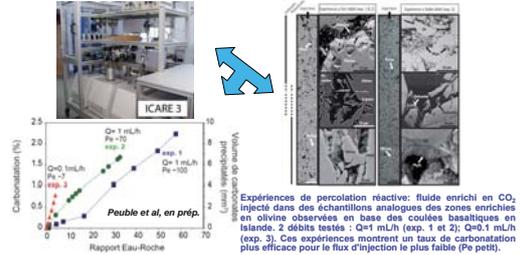
Task 1: Collection d'échantillons communs



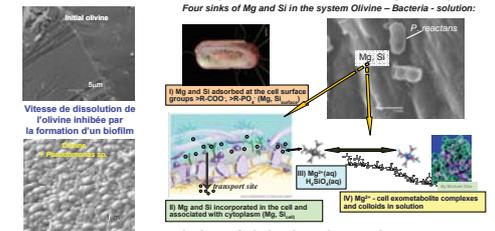
Task 2: Vitesses de dissolution des basaltes et roches ultramafiques et de précipitation des minéraux carbonatés (GET-IPGP)



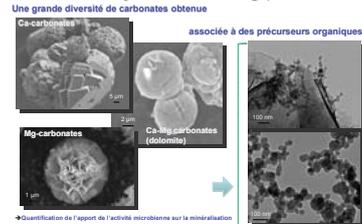
Task 3: Expériences de percolation réactive sur des roches basaltiques (GEOM)



Task 4: Effet de l'interaction microbiologique sur les processus de carbonatation des basaltes (GET-IPGP) Aspects microbiologiques des processus de la dissolution de l'olivine (Shirokova et al., sous presse)

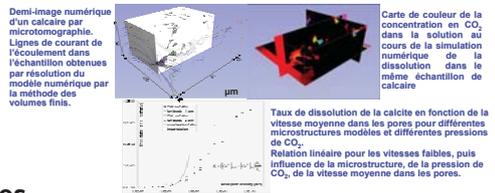


et de la précipitation des carbonates dans le système Fe-Ca-Mg (Ménez et al., en prép.)



Task 5: Modélisation géochimique (ICMCB)

Modèle couplé écoulement/transport/géochimie de simulation numérique de la dissolution de la calcite par un fluide riche en CO₂



Conclusions et Perspectives

Les résultats des mesures de laboratoire, de modélisation géochimique et les observations du site pilote d'injection de CO₂ de Hellisheidi (Islande) seront utilisés pour 1) améliorer les bases de données thermodynamiques et cinétiques des codes de transport réactif afin de prédire de manière plus précise un certain nombre de processus géochimiques et environnementaux, 2) optimiser et généraliser un protocole d'injection assurant à la fois le succès de l'étude du site pilote et la capacité de piéger le CO₂ dans d'autres réservoirs basaltiques, 3) permettre à la communauté scientifique française de participer au premier projet pilote de séquestration du CO₂ dans les roches basaltiques (site pilote islandais), en avance par rapport à d'autres projets potentiels. Les résultats obtenus ont déjà fait l'objet de nombreuses publications (>15) et communications (>30).

CONTACT: benezeth@get.obs-mip.fr



SENTINELLE

Monitoring géochimique de surface des sites de stockage de CO₂: Bilan des flux/teneurs et traçage des sources sur les compartiments Géosphère - Biosphère - Atmosphère

Programme « CO₂ » - 2007



Coordinateur : Ph. de DONATO (DR CNRS – Université de Lorraine/CNRS/IMAGES NANCY-France)
Partenaires: INPL/UdL, TOTAL, IFP, Kaiser Optical Systems, INERIS, CNRS/IPSL-LMD, INRA-EGC, BRGM)

Co-auteurs: J. HY-BILLIOT, B. GARCIA, H. LUCAS, Z. POKRYSZKA, P. FLAMANT, F. GIBERT, P. CELLIER, F. GAL, K. MICHEL, N. TAQUET, O. BARRES et J. PIRONON

Contexte et Objectifs

Le projet ANR GEOCARBONE Monitoring a mis en avant l'importance d'un suivi des gaz dans le temps et l'espace en relation avec le traçage des sources multiples du CO₂.

Le projet ANR SENTINELLE a **trois finalités essentielles** :

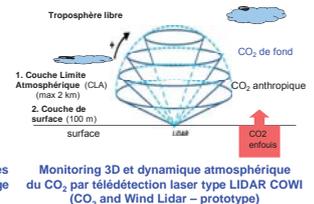
- Etablir un bilan initial des teneurs/flux en gaz d'un site de stockage avant injection en y intégrant toutes les variabilités naturelles et anthropiques
- Apprécier les évolutions pendant et après les phases d'injection
- Proposer une méthodologie de surveillance géochimique en continu de surface et de sub-surface d'un site en activité.

Il s'agit d'un programme de recherche financé par l'ANR (2007-2012) rattaché au pilote CO₂ de TOTAL (Lacq-Rousse, France)



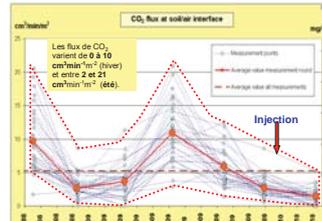
Station de mesure de la dynamique de transfert du CO₂ au niveau du couvert végétal (Rousse)

Atmosphère (10 à 5000 m) Spatialisation de la teneur des gaz atmosphériques et dynamique du CO₂

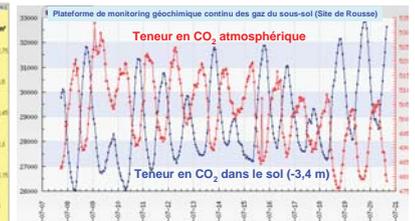


Résultats:

GÉOSPHERE



Détermination des enveloppes de variabilité des flux de CO₂ à l'interface sol/air sur plus d'un cycle saisonnier: Bilan initial



Transfert du CO₂ Géosphère/Atmosphère: Quantification des cycles de variations des teneurs en CO₂ dans le sol (-3,4 m) et dans la proche atmosphère (+1 m) en période estivale (Juillet 2010)

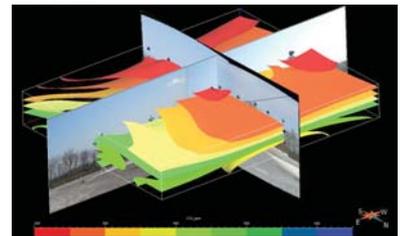
BIOSPHERE



Transfert du CO₂ au niveau du couvert végétal:

Corrélation direction des vents et teneur (Mesures continues de sept. 2009 à juin 2010)

ATMOSPHERE

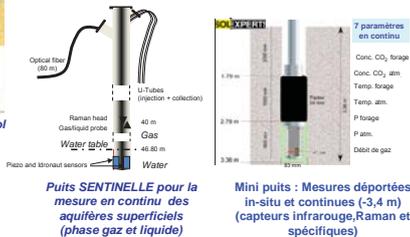


Méthodologie et Résultats

Géosphère (-80m à 0m): Gaz du sol (teneurs et flux) et aquifères superficiels. Une grille de mesures et deux puits dédiés



-Une grille de surveillance des gaz du sol: 35 points de mesures sur une aire de 4x4km. 4 campagnes par an.
A proximité des puits d'injection, deux puits de surveillance des gaz ont été creusés et instrumentés (à -85m et -3,4m). Ces puits sont dédiés à la surveillance en continu des gaz du sol et du sous-sol ainsi que des aquifères superficiels existants sur le site de Rousse.



Biosphère (0 à 10m): Flux et dynamique du CO₂ au niveau du couvert végétal sur un rayon d'1km autour des puits d'injection

Conclusions et Perspectives

La stratégie de recherche développée dans SENTINELLE et déployée sur le pilote CO₂ de TOTAL (Lacq-Rousse France) repose sur l'utilisation combinée croisée de technologies spécifiques de monitoring des gaz dans la Géosphère, la Biosphère et l'Atmosphère.

Ces études devraient permettre de comprendre et modéliser les phénomènes de transfert des gaz intra et inter compartiments avec, à moyen terme, l'idée d'un modèle global d'échange du CO₂ et du CH₄ de la Géosphère à l'Atmosphère.

PARTENAIRES



CONTACT :Ph. de DONATO

Philippe.dedonato@ensg.inpl-nancy.fr

LEM UMR 7569 CNRS
UDL-ENSG 15 av du Charmois
54501 Vandoeuvre Cedex

FINANCEMENT





Géosciences Montpellier (GM)
CEA, CSIC, FAST, IRSN, LAFARGE, TOTAL

Objectives

- COLINER aims at evaluating the long term risks of CO₂ leakage in fractured caprocks and well cements as well as the feasibility and efficiency of injecting mineral slurry for integrity enhancement. The different workpackages of the project focus on determining the processes and the parameters that control permeability changes at hydraulic discontinuities and establishing optimal slurry formulation and uses for remediation applications.

Methodology and Results

The project combines experimental and modeling works for all the identified relevant scales.

Molecular Modeling: We showed that clay particles (de)cohesion mechanisms are triggered by very strong adhesion stresses in the vicinity of clay particles contact at distances of some Angströms, while repulsion stresses coexist at larger distances between particles.

Lattice-gas modeling: A new lattice gas 2D and 3D model was developed to implement non-Newtonian flow, as well as particle transport and interaction with the rough walls. The rationale is to reproduce slurry flow at the meso-scale in order to determine macro-scale phenomenological laws, using experimental data for validation.

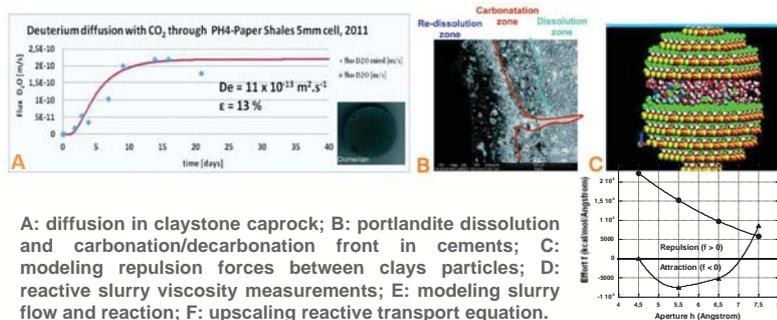
Model for upscaling reactive transport: The main development is based on the explicit assumption of spatially variable hydraulic and chemical properties. The methodology involves modeling the coupled processes at the pore scale and calibrating the model with experiments, and then upscaling them to Darcy's scale.

Diffusion experiments: New equipment and methodologies were developed for measuring the diffusion coefficient of cations and anions involved in the claystone and cement alteration reactions for large range of rock types and degrees of alteration.

Reactive percolation experiments: We developed a new equipment and performed a set of laboratory percolation experiments through rock, cement and concrete samples, reproducing *in situ* conditions, while fully characterizing mass transfer mechanisms as a

function of total pressure, temperature, partial pressure of CO₂, fluid composition, flow rate and the rock hydrodynamic and chemical properties.

Slurry rheology and hydrodynamics: We performed the rheological characterization of slurries used in the study of reactive percolation in fractured claystones, and determined the changes in their hydrodynamic characteristics during the carbonation process.



Conclusions et Perspectives

- We produced an extensive characterization of the mechanisms that control claystone caprock and cement permeability alteration due to CO₂ seepage in hydraulic discontinuities.
- We determined the rheology and the hydrodynamic properties of mineral slurries as a function of the composition, structure and concentration of the particle fraction and of the fluid speciation.
- Using these data we defined the optimal composition for the slurry. Injectivity-reactivity tests are now in progress using the newly installed flow-through equipment and results should be published before the end of the project 31/05/2011.

CONTACT :

Philippe.Gouze@um2.fr

<http://www.gm.univ-montp2.fr/CO-LINER/index.html>



BRGM – UR Navier – INPL/G2R – Schlumberger – ENSAM
 F. Wertz J.M. Pereira J. Sterpenich J. Desroches G. Radilla

Contexte et Objectifs

Le projet Interface (2009-2012) vise à améliorer la connaissance du comportement thermo-hydro-mécano-chimique de l'interface couverture-ciment annulaire au niveau du toit du réservoir. Cette action passe par une double étude de l'altération pétrochimique et de ses conséquences pomécaniques afin d'estimer les risques de son altération en fonction des conditions du site et des matériaux en présence. La question finale est donc :

Quelles sont les causes pouvant provoquer l'altération de l'interface ciment-couverture et quelles en seront les conséquences (porosité...)

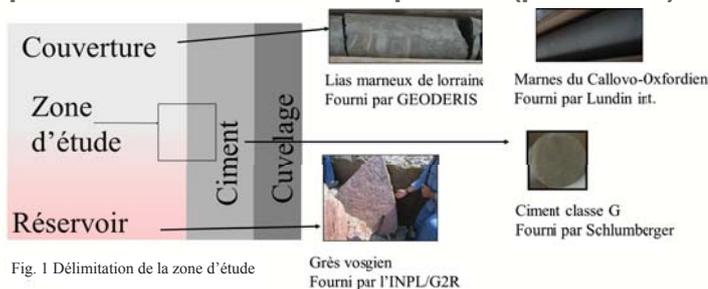


Fig. 1 Délimitation de la zone d'étude

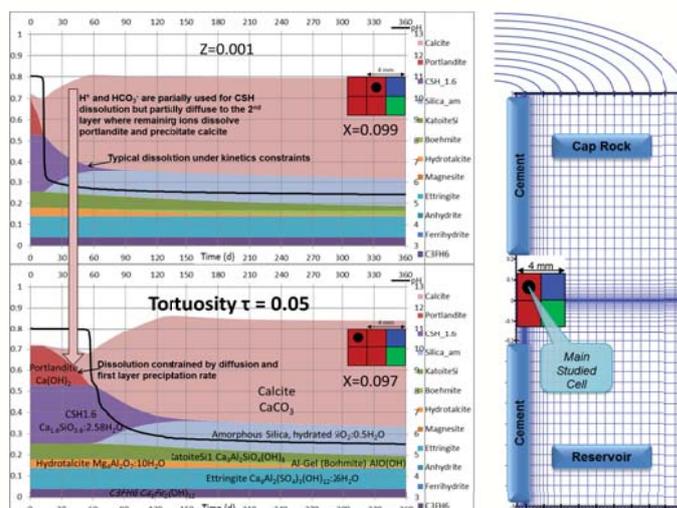


Fig. 3 Propagation de l'attaque acide et dégradation progressive des différents minéraux du ciment

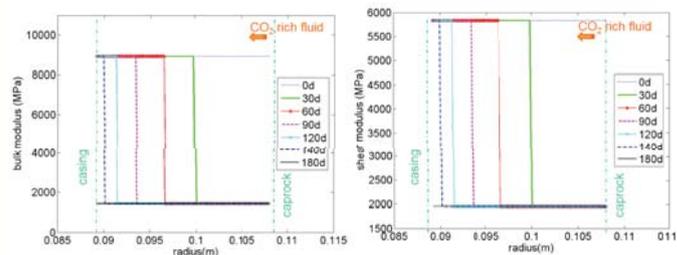


Fig. 4 Evolution des modules mécaniques du ciment (modèle micromécanique de Fen-Chong, 1998)

Méthodologie et Résultats

Une caractérisation expérimentale (batch, percolation, gradient thermique) des impacts permet d'identifier les processus physico-chimiques majeurs. Des modèles géochimique et géomécanique et leur sensibilité aux paramètres permettent ensuite d'affiner la connaissance.

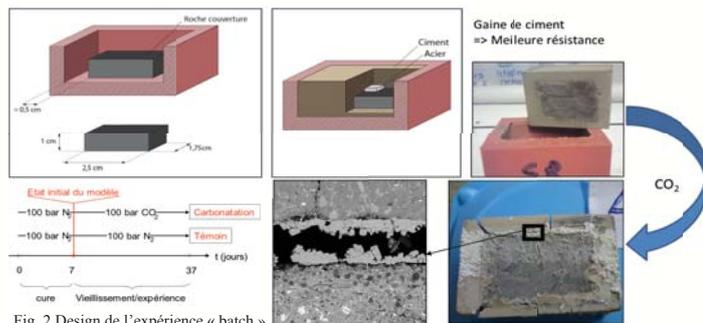


Fig. 2 Design de l'expérience « batch »

Conclusions et Perspectives

Les résultats expérimentaux montrant une fermeture de la porosité du ciment (surtout à forte température), voire son éclatement au niveau de l'interface sont assez bien reproduits par les simulations géochimiques (diminution de la porosité interne du ciment) et pomécanique (augmentation des contraintes dans le ciment). Les expériences de dégradation du ciment par le CO₂ sec montrent une vulnérabilité du ciment encore accrue. Malheureusement ce type d'interactions Gaz-Roche n'est pas encore modélisable. De plus, l'étude avec les gaz annexes a été abandonnée et devra être reconduite.

CONTACT :
 f.wertz@brgm.fr

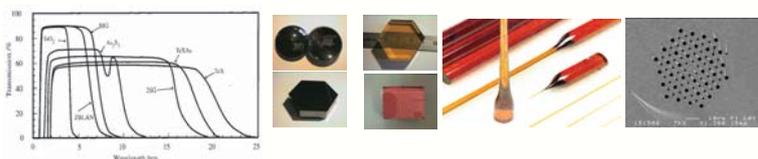


Coordinateur : équipe Verres et Céramiques (EVC)
UMR-CNRS 6226 Sciences chimiques de Rennes

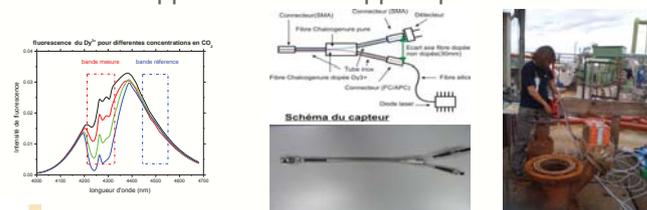
Partenaires : BRGM (Orléans), IDIL (Lannion), CIMAP (Caen), IETR (Rennes 1), Perfos (Lannion)

Contexte et Objectifs

Le projet OPTIQUE-CO₂ a pour objectif la réalisation de capteurs infrarouges déportés pour la surveillance des sites de stockage géologique du CO₂. Différentes voies de recherche ont été étudiées pour aboutir à la création de deux capteurs utilisant des fibres optiques spécialement développées à ces fins à partir de verres spéciaux, dits « de chalcogénures », transmettant la lumière dans l'infrarouge. En parallèle de la finalisation de ces deux capteurs, le projet OPTIQUE-CO₂ poursuit l'étude de la détection de CO₂ par des guides d'ondes innovants comme les guides planaires et les fibres « microstructurées », également en verres de chalcogénures. Le point de départ de toute ces réalisations réside dans la maîtrise de la synthèse, de la purification et de la mise en forme de ces verres « spéciaux » par l'équipe Verres et Céramiques (EVC)



La deuxième voie est basée sur l'utilisation de fibres optiques fluorescentes dopées par du Dy³⁺ développées par l'équipe Verres et Céramiques. Cet ion est excité par un laser de pompe à 920 nm. Ce signal est apporté au niveau de la fibre dopée grâce à une première fibre optique classique en silice. Le Dy³⁺ dans un état excité réémet alors un signal large dans l'infrarouge sur une gamme s'étalant de 4 à 4.7 µm centrée sur la longueur d'onde d'absorption du CO₂. La source secondaire ainsi créée peut être déportée sur des kilomètres, sans contrainte grâce à l'utilisation de la fibre silice de transport de l'excitation. Un prototype complet a été développé par le CIMAP et IDIL. Des tests poussés ont été réalisés dans un puits géothermique à Soultz-sous-Forêt en juillet 2011 à plus de 20m de profondeur. La dynamique est excellente (quasi instantanée) et la sensibilité s'approche des 500 ppm après calibration.



Méthodologie et Résultats

La première stratégie consiste à positionner 2 fibres optiques spéciales fabriquées par l' EVC en vis-à-vis pour détecter le CO₂ transitant dans l'espace libre. Un prototype complet a été développé et testé sur site. Les résultats sont tout à fait concluant indiquant un seuil de détection de l'ordre de 5000 ppm. A terme, les principaux verrous pour cette technologie sont liés à la fragilité des fibres optiques et aux pertes optiques sur des grandes distances.



Conclusions et Perspectives

Le programme a été l'occasion de mettre au point des guides planaires en verre de chalcogénures, réalisés à l'IETR, incluant un système de micro-fluidique. Les premiers résultats à 1,55 µm sont très encourageants.



Enfin, PERFOS et EVC ont développés des fibres optiques « microstructurées » en verre de chalcogénures pour étudier le potentiel de ces fibres à trous pour la détection d'un gaz. La faisabilité a été clairement établie, mais la mise en œuvre opérationnelle demandera des développements importants (fluidique, fiabilité, sensibilité...)

CONTACT :

bruno.bureau@univ-rennes1.fr
Virginie.nazabal@univ-rennes1.fr