

L'observation et le contrôle des sites de stockage de CO₂

Laurent Jammes, Guillemette Picard
Schlumberger Carbon Services – Technique
Académie des sciences – Paris – 19 Mai 2009

Schlumberger

Schlumberger Public

Plan de la présentation

- La place des mesures de monitoring dans un projet de stockage
- Objectifs d'un plan de monitoring
 - Réglementation
 - Technologies
- Quelques remarques conclusives

La vie d'un projet de stockage



Objectifs du dispositif de monitoring

Objectif:

Optimiser la performance et contrôler les risques d'un site de stockage

- Contrôle de l'opération d'injection
- Vérification du devenir du nuage de CO₂ et des effets de l'injection; calibration des modèles prédictifs
- Contrôle de la qualité du confinement

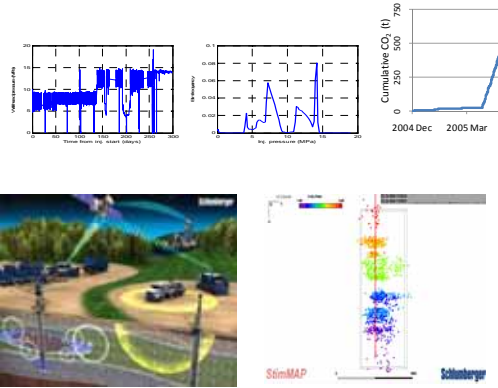
Contrôle de l'opération d'injection

Objectifs:

- Maximiser le débit de CO₂ injecté (pression d'injection) sans endommager les barrières (qualité du confinement)
- Estimer la masse de CO₂ injecté

Mesures de contrôle:

- Composition du gaz injecté
- Débit
- Pression (tête et fond de puits)
- Température
- Microsismicité induite



Schlumberger Carbon Services

5

Schlumberger

Schlumberger Public

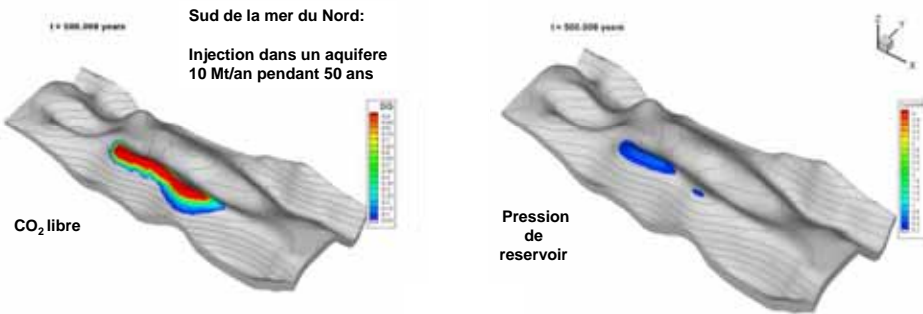
Monitoring de vérification

Etat de la réglementation



Directive CSC

Les **résultats d'observation** devront être comparés avec les **prédictions** du champ de **pression** et de **saturation en CO₂**, effectuées grâce aux outils de simulation dynamique. Si une déviation significative entre observations et prédictions est constatée, le modèle 3D devra être re-calibré pour reproduire le comportement observé.



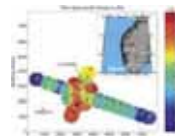
Source: British Geological Survey

Monitoring de vérification

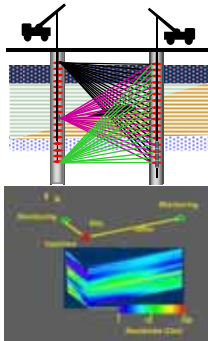
Mesures de géophysique:

- Sismique
- Gravimétrie
- Electromagnétisme
- Déformation de surface

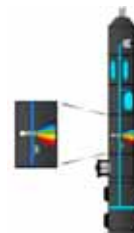
Traceurs



Sleipner: Gravimétrie variation entre 2002 et 2005
Source: Rob Arts et al. 2008



Tomographie électrique



Analyse d'échantillons de fluide

Mesures de puits:

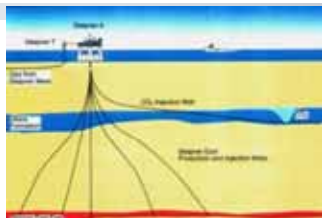
- Saturation (nucléaires, électriques...)
- Pression, Température
- Echantillonnage de fluides et analyse
- Déformation

Schlumberger Carbon Services

7

Schlumberger

Exemple - Suivi du nuage de CO₂ par la sismique



Source: STATOIL

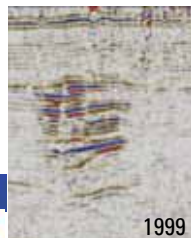
Début de l'injection de CO₂ : Sept 1996
Campagnes de sismique 4D

Ligne de base



1994

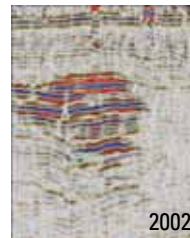
- Interprétation des patterns d'écoulement (déplacement du CO₂ et mécanismes de piégeage)
- Vérification de l'intégrité de la couverture



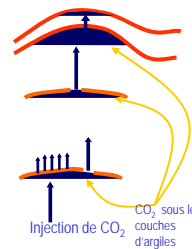
1999



2001



2002



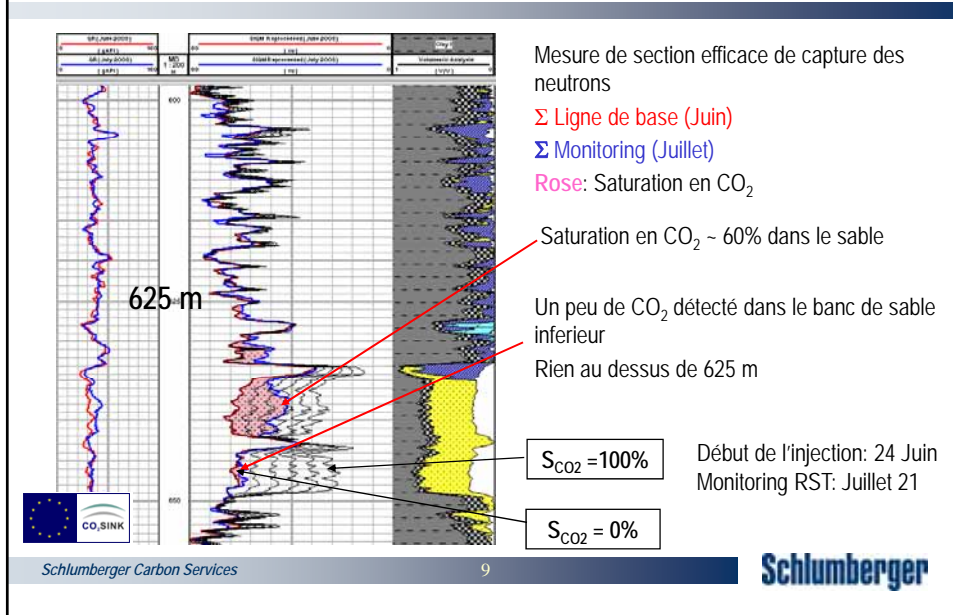
Injection de CO₂
CO₂ sous les couches d'argiles

Schlumberger Carbon Services

8

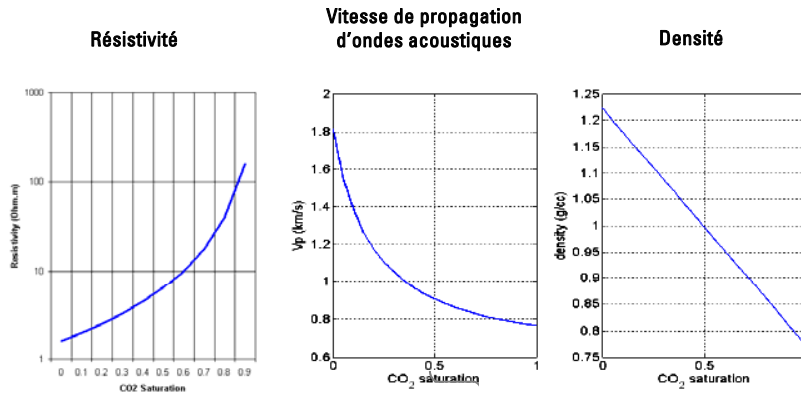
Schlumberger

Exemple – Mesure de saturation en CO₂



Complémentarité des mesures

Le programme de monitoring doit exploiter la complémentarité des mesures en terme de résolution et de sensibilité



Contrôle du confinement

Etat de la réglementation



- Directive CSC – Objectif: Implémentation et sécurité des sites de stockages
 - Obligation de détecter les irrégularités et les fuites hors du complexe de stockage
 - La demande de permis de stockage devra inclure un plan de monitoring qui permet de détecter tout effet indésirable sur l'environnement, les populations ou l'utilisation de la biosphère



- « EPA Guideline » - focalisée sur le contrôle de l'intégrité des puits dans l'« area of review »
 - Mesures correctives avant injection
 - Mesures continues de la pression d'injection, du débit et du volume injecté, de la pression dans les annulaires...
 - Contrôle de l'intégrité mécanique du puits d'injection, au moins une fois par an
 - Le plan de monitoring doit être conçu pour détecter les changements dans la qualité de l'eau des aquifères d'eau potable

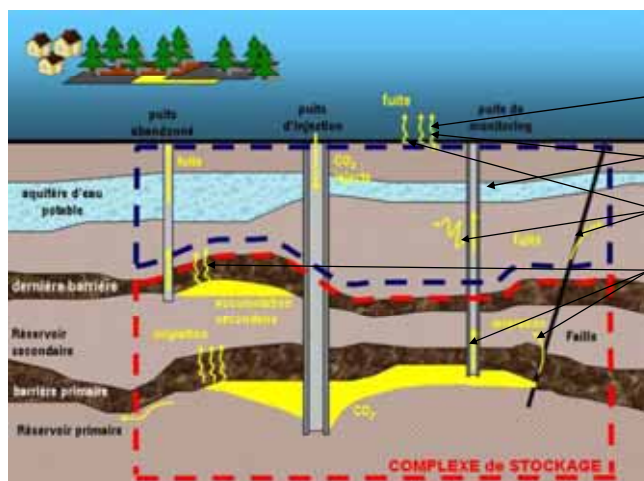
Schlumberger Carbon Services

11

Schlumberger

Contrôle du confinement

Quatre tâches fondamentales:



4 - Quantification des fuites

3 - Détection et évaluation de l'impact d'une fuite

2 - Détection des fuites

1 - Contrôle de l'intégrité des barrières

Schlumberger Carbon Services

12

Schlumberger

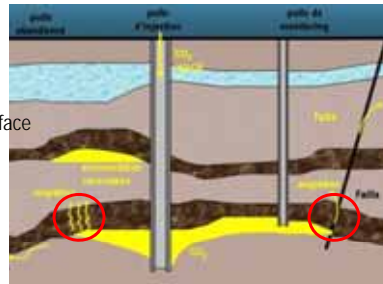
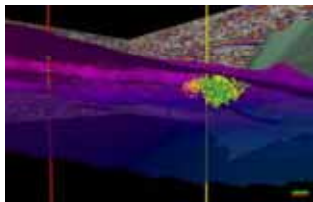
1- Contrôle de l'intégrité des barrières - Géologie

Détection des risques de

- fracturation de la couverture
- réouverture de réseaux de fractures existants
- réactivation de failles

Mesures

- Microsismicité induite
 - A partir de l'injecteur
 - A partir de puits peu profonds ou de la surface
- Déformation (surface ou puits)



- Mesures d'interférence (pression)
- Traceurs

1- Contrôle de l'intégrité des barrières - puits

Evaluation de

- la qualité de la cimentation

Est-ce qu'une bonne isolation hydraulique a été obtenue?

Est-elle maintenue durant l'opération d'injection?

- l'intégrité du cuvelage

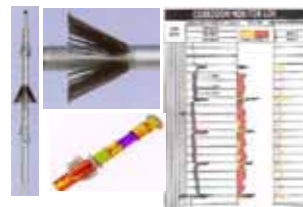
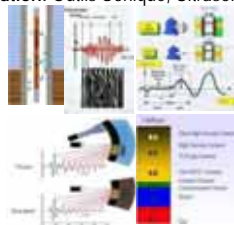
Resistance à la corrosion dans un environnement acide

- Outils de monitoring permanent – capteurs de pression dans les annulaires

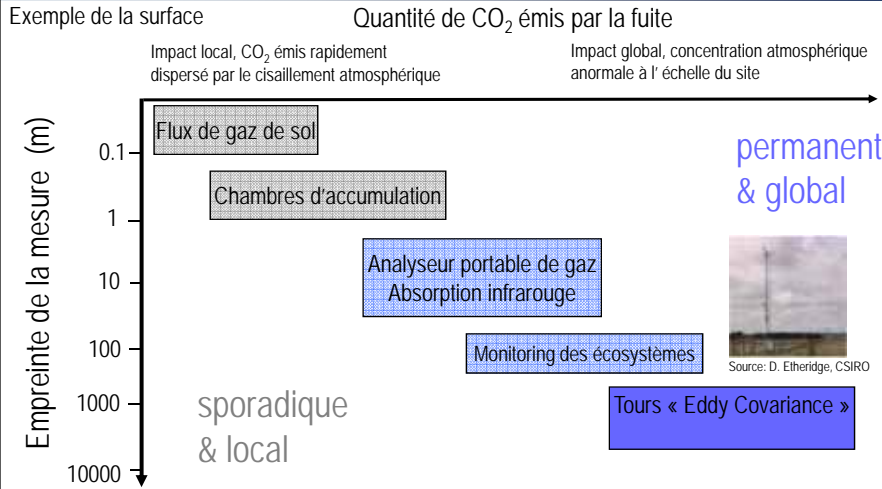
- Outils d'inspection ponctuelle (Diagraphies d'intégrité)

Cimentation: Outils Sonique, Ultrasonique

Corrosion: Diamètres, Outils ultrasonique, EM



2- Détection des fuites





Schlumberger Carbon Services

15

Schlumberger

Schlumberger Public

3 – Détection et évaluation de l'impact d'une fuite

	Impact	Monitoring
Aquifères d'eau potable 	<ul style="list-style-type: none"> Acidification de l'eau, Dissolution de métaux lourds Intrusion d'eau salée 	<ul style="list-style-type: none"> Capteurs permanents: pression, température, conductivité Echantillonnage régulier et analyse
Air 	<p>Concentration normale de CO₂: 0.04% , effets irréversibles a partir de 5% -</p> <p>Cependant, la dispersion dans l'atmosphère est efficace en plein air</p>	<ul style="list-style-type: none"> Milieu confinés: capteurs permanents (infrarouge) Extérieur: détection d'accumulations: Capteurs de mesure de concentration atmosphérique
Sols	<ul style="list-style-type: none"> Acidification des sols, Perturbation des écosystèmes 	<ul style="list-style-type: none"> Mesures de gaz de sol Echantillonnage des sols et analyse Caractérisation des écosystèmes et monitoring: <ul style="list-style-type: none"> Inspection visuelle et échantillonnage Imagerie hyper spectrale

Schlumberger Carbon Services

16

Schlumberger

4- Quantification du CO₂ stocké

Etat de la réglementation



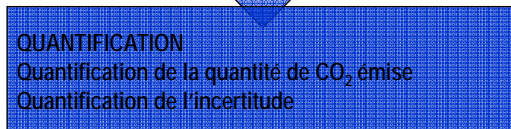
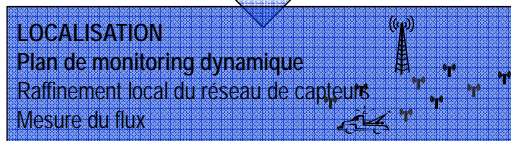
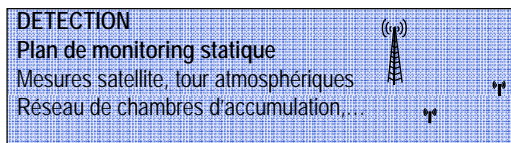
▪ Directive CSC

- Définit la notion de fuite (CO₂ s'échappant du complexe de stockage)
- Obligation de restaurer l'intégrité du stockage

▪ Directive ETS

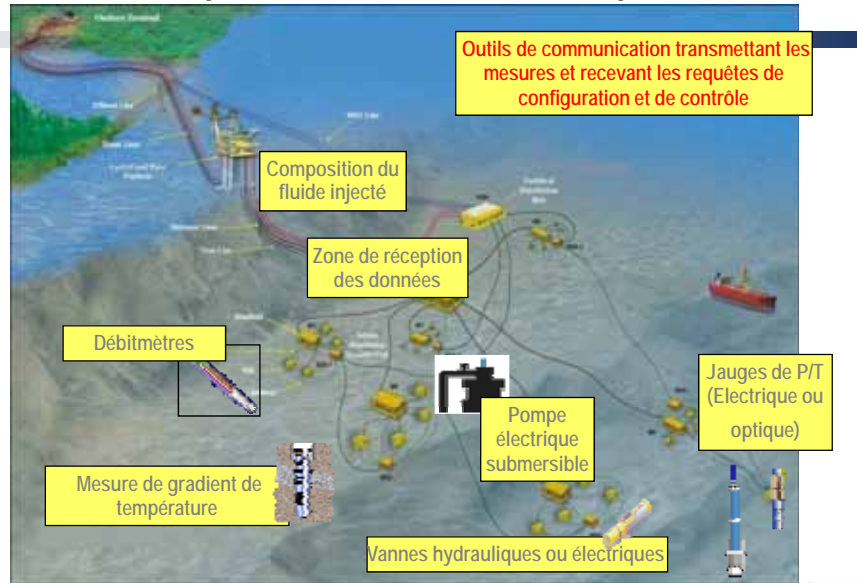
- Impose la quantification du CO₂ ayant fui à la surface (et de l'incertitude associée) et de rendre à l'autorité compétente des Allocations d'Unité d'Emission
- Standards de « Monitoring and Reporting » (MRGs) en cours de développement

4- Quantification du CO₂ stocké



- Ligne de base afin de caractériser le bruit de fond naturel et ses variations
- Méthodologie proposée et implémentée par l'opérateur, et vérifiée par une "commission de conseillers scientifiques"
- Faisabilité
 - Protocole de mesure pour détecter et quantifier les fuites?
 - Procédure de validation?

Contrôle temps réel - Des outils ou capteurs....



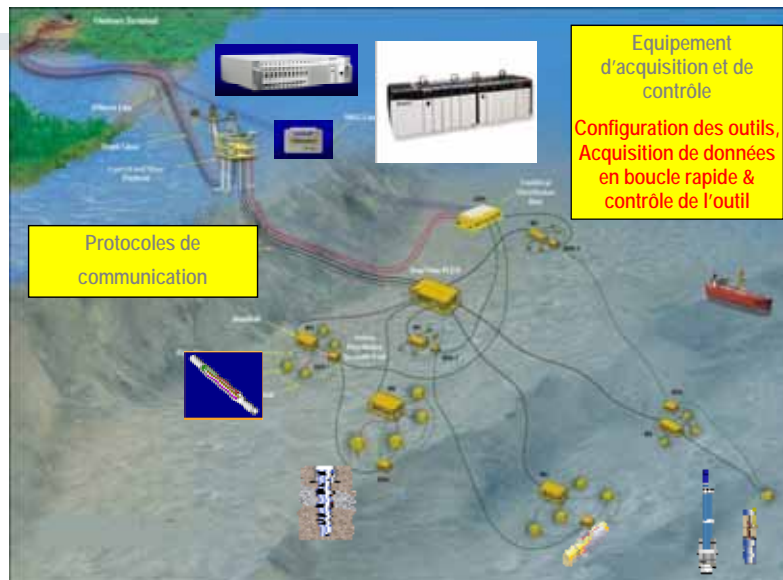
Schlumberger Carbon Services

19

Schlumberger

Schlumberger Public

... a des terminaux locaux



Schlumberger Carbon Services

20

Schlumberger

... au centre de supervision et au système d'acquisition



Schlumberger Carbon Services

21

Schlumberger

Schlumberger Public

... au centre de support des opérations



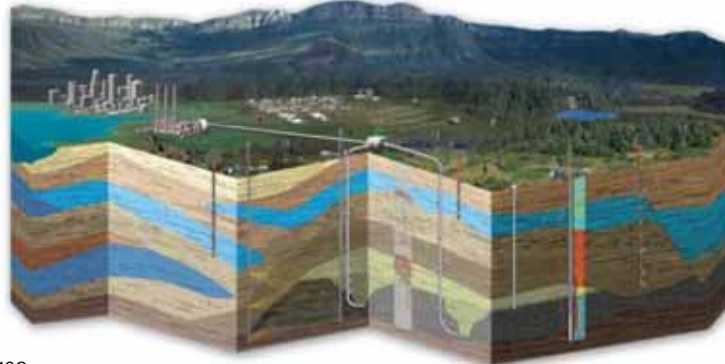
Schlumberger Carbon Services

22

Schlumberger

Conclusion

Le système de monitoring d'un site de stockage de CO₂



Challenges

- Approche holistique - Placement des capteurs, faisabilité des mesures pour remplir les objectifs de monitoring susmentionnés
- Intégration de mesures basées sur des différents principes physiques, de différentes résolutions spatiales, dans le cadre d'un modèle d'interprétation unique
- Détection et quantification des fuites pour le contrôle de la sécurité du site et la comptabilité du CO₂ stocké
- Contrôle temps réel des opérations

Schlumberger Carbon Services

23

Schlumberger

Schlumberger Public

Schlumberger Carbon Services

Schlumberger Carbon Services joue un rôle très actifs dans la recherche de solutions au problème des émissions atmosphériques de gaz à effet de serre.

Nous participons à de nombreux groupes de travail internationaux comme le CSLF (Carbon Leadership Forum), le programme sur les gaz à effet de serre de l'Agence Internationale de L'Energie (IEA-GHG), et la plateforme européenne ZEP (Zero Emission Fossil Fuel Power Plant).

Nous sommes également très engagés dans des programmes de recherche ou de démonstration, nationaux ou internationaux, comme les "Partenariats Régionaux" aux Etats-Unis et le projet "Otway" dirigé par le CO2CRC en Australie. En Europe, nous développons notre savoir faire et notre expérience en participant à la plupart des opérations de stockage en cours.

Schlumberger Carbon Services

24

Schlumberger