

# L'observation et le contrôle des sites de stockage de CO<sub>2</sub>

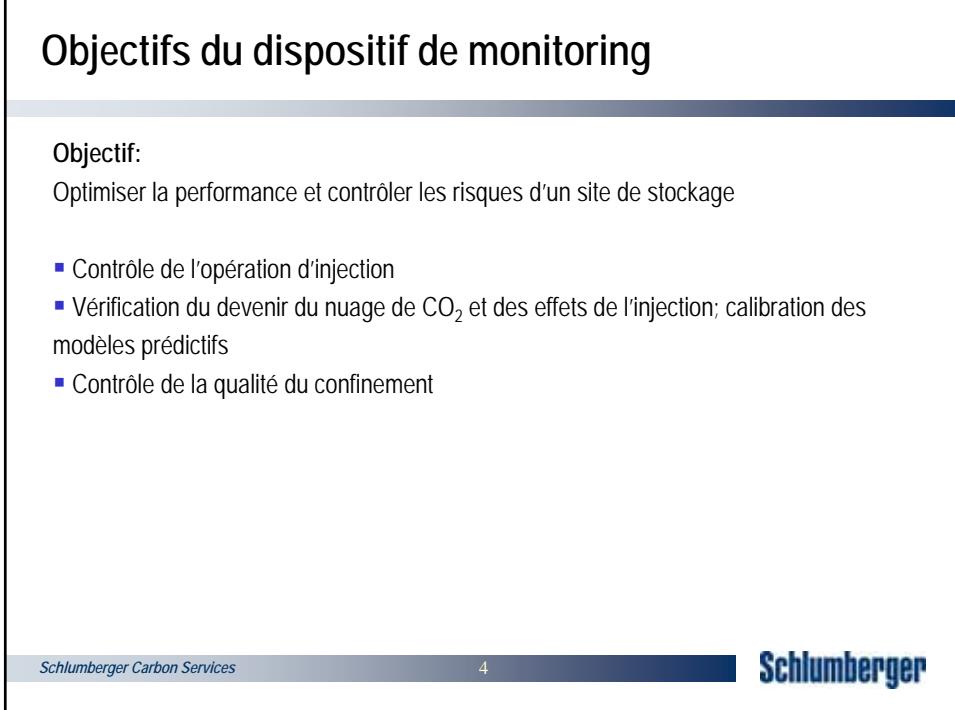
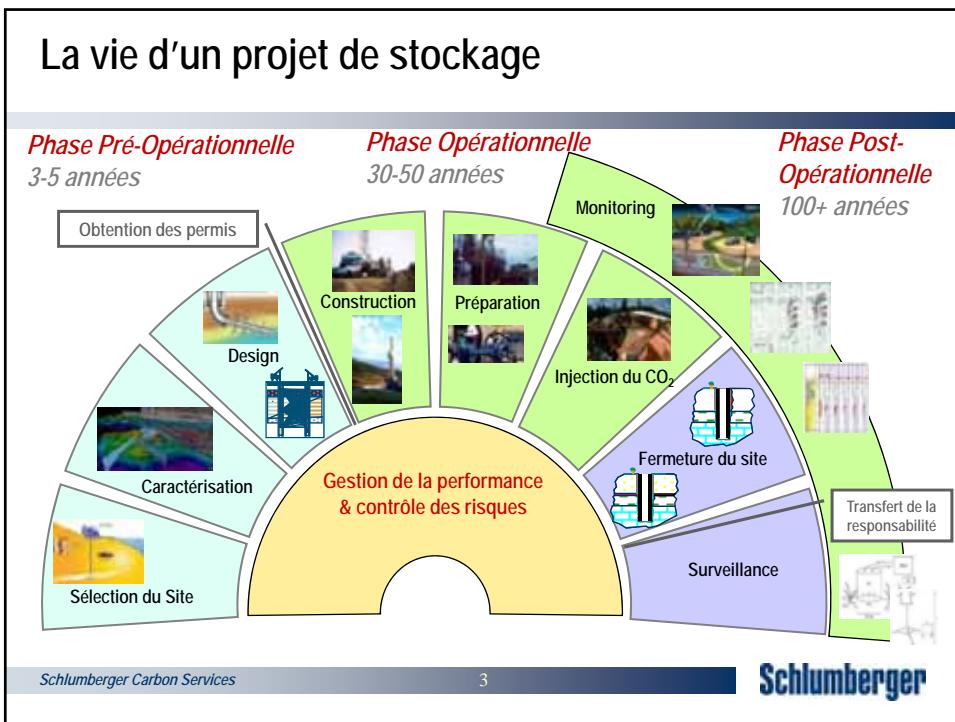
Laurent Jammes, Guillemette Picard  
Schlumberger Carbon Services – Technique  
Académie des sciences – Paris – 19 Mai 2009

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



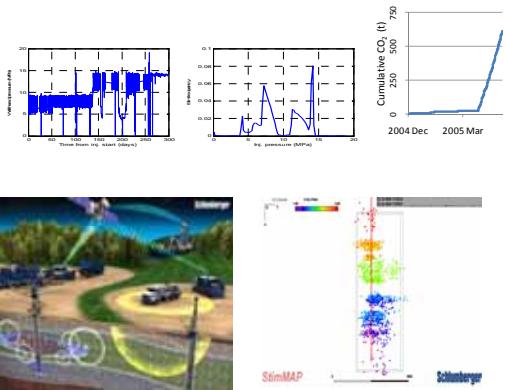
## Contrôle de l'opération d'injection

### Objectifs:

- Maximiser le débit de CO<sub>2</sub> injecté (pression d'injection) sans endommager les barrières (qualité du confinement)
- Estimer la masse de CO<sub>2</sub> injecté

### Mesures de contrôle:

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



Schlumberger Carbon Services

5

Schlumberger

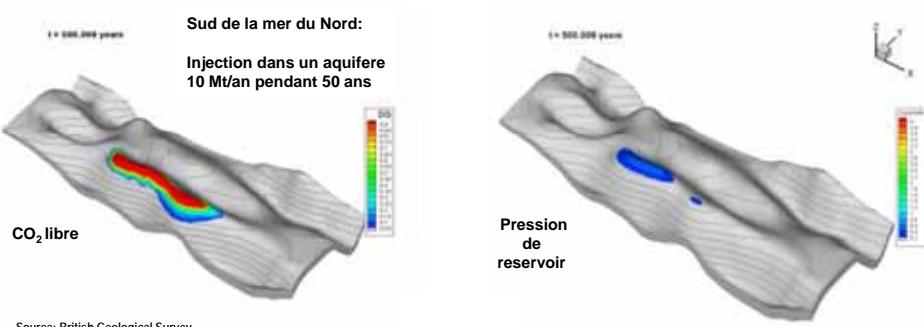
## Monitoring de vérification

### Etat de la réglementation



Directive CSC

Les résultats d'observation devront être comparés avec les prédictions du champ de **pression** et de **saturation en CO<sub>2</sub>**, 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

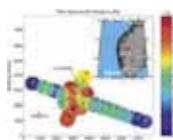


## Monitoring de vérification

### Mesures de géophysique:

- Sismique
- Gravimétrie
- Electromagnétisme
- Déformation de surface

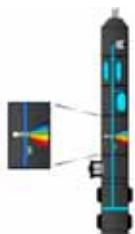
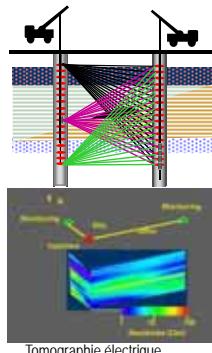
### Traceurs



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

### Mesures de puits:

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

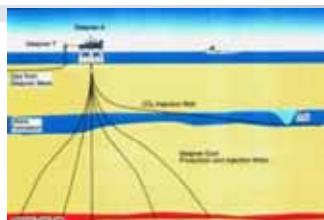


Schlumberger Carbon Services

7

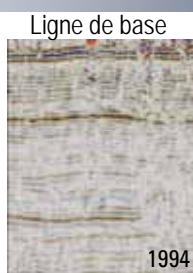
**Schlumberger**

## Exemple - Suivi du nuage de CO<sub>2</sub> par la sismique

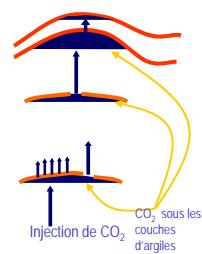
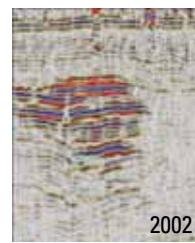
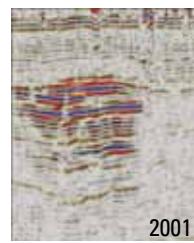
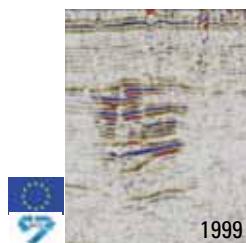


Source: STATOIL

Début de l'injection de CO<sub>2</sub> : Sept 1996  
Campagnes de sismique 4D



- Interprétation des patterns d'écoulement (déplacement du CO<sub>2</sub> et mécanismes de piégeage)
- Vérification de l'intégrité de la couverture

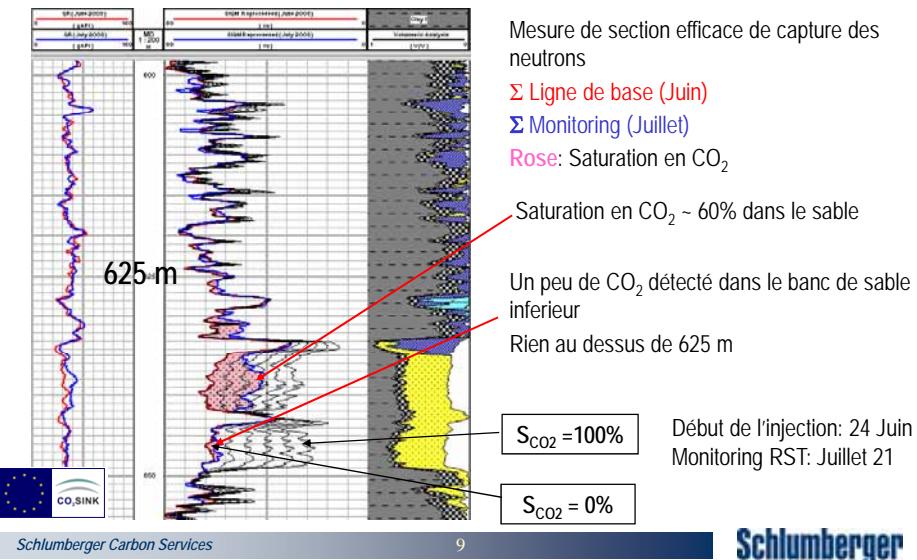


Schlumberger Carbon Services

8

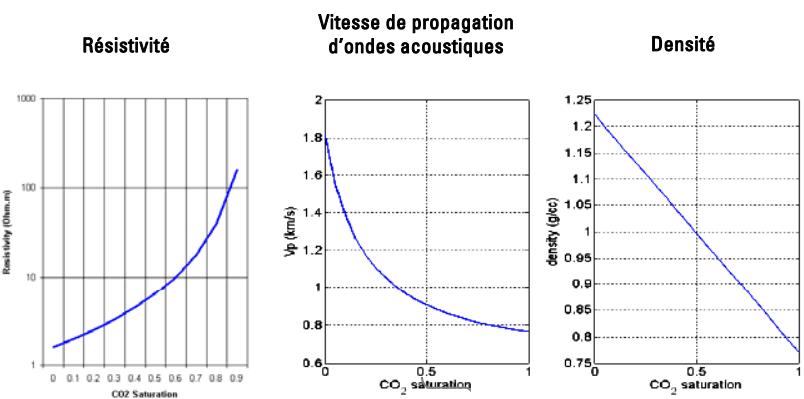
**Schlumberger**

## Exemple - Mesure de saturation en CO<sub>2</sub>



## 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



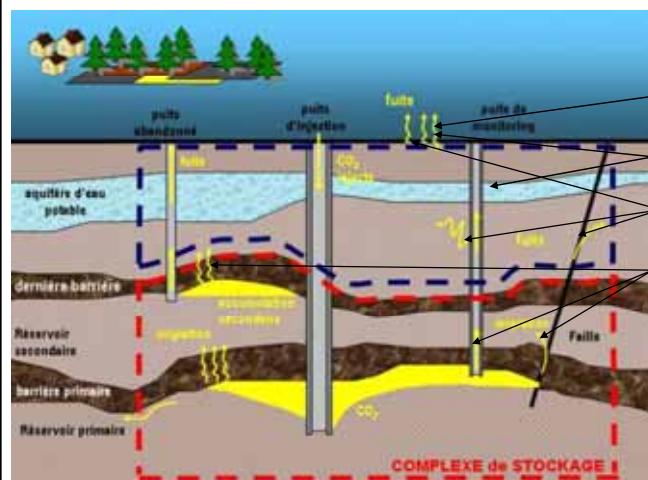
- Directive CSC – Objectif: Implémentation et sécurité des sites de stockages
  - Obligation de détecter les irrégularités et les fuites hors du complexe de stockage
  - La demande de permis de stockage devra inclure un plan de monitoring qui permet de détecter tout effet indésirable sur l'environnement,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

## Contrôle du confinement

### Quatre tâches fondamentales:



- 1 - Contrôle de l'intégrité des barrières
- 2 - Détection des fuites
- 3 - Détection et évaluation de l'impact d'une fuite
- 4 - Quantification des fuites

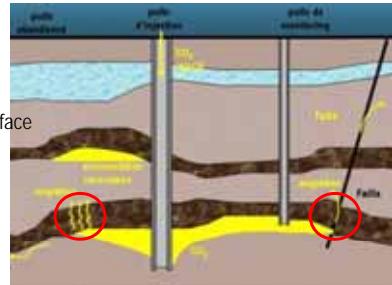
## 1- Contrôle de l'intégrité des barrières - Géologie

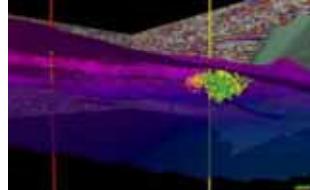
**Détection des risques de**

- 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

*Schlumberger Carbon Services* 13 **Schlumberger**

## 1- Contrôle de l'intégrité des barrières - puits

**Evaluation de**

- la qualité de la cimentation

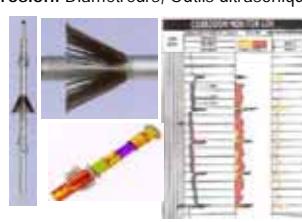
Est-ce qu'une bonne isolation hydraulique a été obtenue?  
Est-elle maintenue durant l'opération d'injection?

- l'intégrité du cuvelage

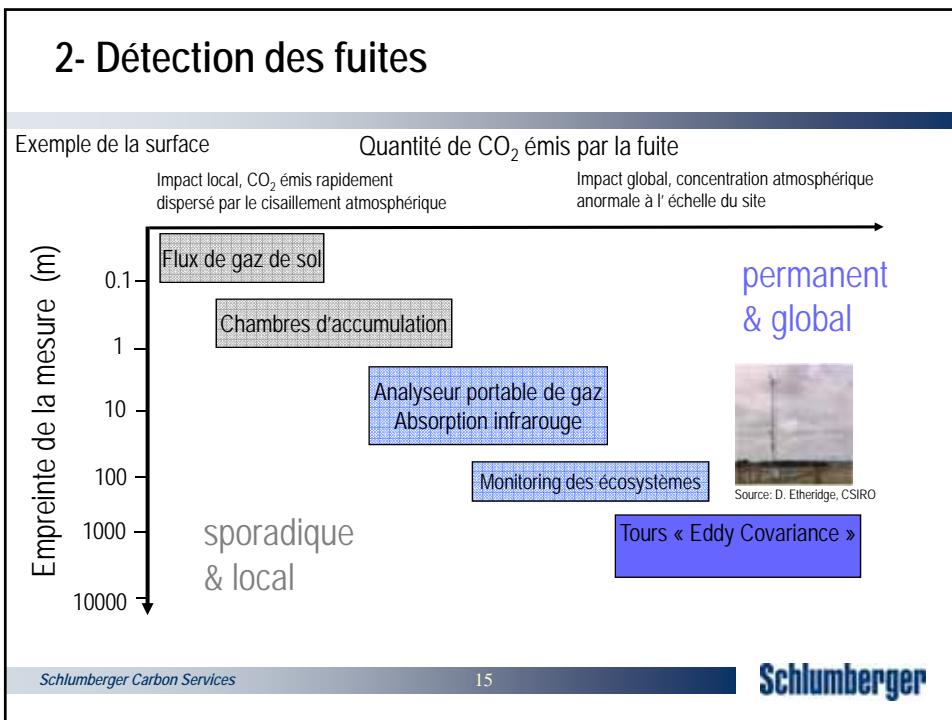
Resistance à la corrosion dans un environnement acide

- Outils de monitoring permanent – capteurs de pression dans les annulaires
- Outils d'inspection ponctuelle (Diagraphies d'intégrité)

Cimentation: Outils Sonique, Ultrasonique      Corrosion: Diamètreurs, Outils ultrasonique, EM

*Schlumberger Carbon Services* 14 **Schlumberger**



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

	Impact	Monitoring
Aquifères d'eau potable	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acidification de l'eau,</li> <li>Dissolution de métaux lourds</li> <li>Intrusion d'eau salée</li> <li>....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capteurs permanents: pression, température, conductivité</li> <li>Echantillonnage régulier et analyse</li> </ul>
Air	<p>Concentration normale de CO<sub>2</sub>: 0.04%, effets irréversibles à partir de 5% -</p> <p>Cependant, la dispersion dans l'atmosphère est efficace en plein air</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Milieu confinés: capteurs permanents (infrarouge)</li> <li>Extérieur: détection d'accumulations: Capteurs de mesure de concentration atmosphérique</li> </ul>
Sols	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acidification des sols,</li> <li>Perturbation des écosystèmes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesures de gaz de sol</li> <li>Echantillonnage des sols et analyse</li> <li>Caractérisation des écosystèmes et monitoring: <ul style="list-style-type: none"> <li>Inspection visuelle et échantillonnage</li> <li>Imagerie hyper spectrale</li> </ul> </li> </ul>

Schlumberger Carbon Services

16

Schlumberger

## 4- Quantification du CO<sub>2</sub> stocké

### Etat de la réglementation



#### ■ Directive CSC

- Définit la notion de fuite (CO<sub>2</sub> s'échappant du complexe de stockage)
- Obligation de restaurer l'intégrité du stockage

#### ■ Directive ETS

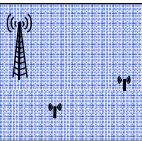
- Impose la quantification du CO<sub>2</sub> ayant fui à la surface (et de l'incertitude associée) et de rendre à l'autorité compétente des Allocations d'Unité d'Emission
- Standards de « Monitoring and Reporting » (MRGs) en cours de développement

## 4- Quantification du CO<sub>2</sub> stocké

### DETECTION

#### Plan de monitoring statique

Mesures satellite, tour atmosphériques  
Réseau de chambres d'accumulation,...

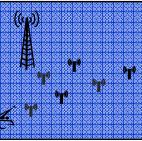


- Ligne de base afin de caractériser le bruit de fond naturel et ses variations

### LOCALISATION

#### Plan de monitoring dynamique

Raffinement local du réseau de capteurs  
Mesure du flux



- Méthodologie proposée et implémentée par l'opérateur, et vérifiée par une "commission de conseillers scientifiques"

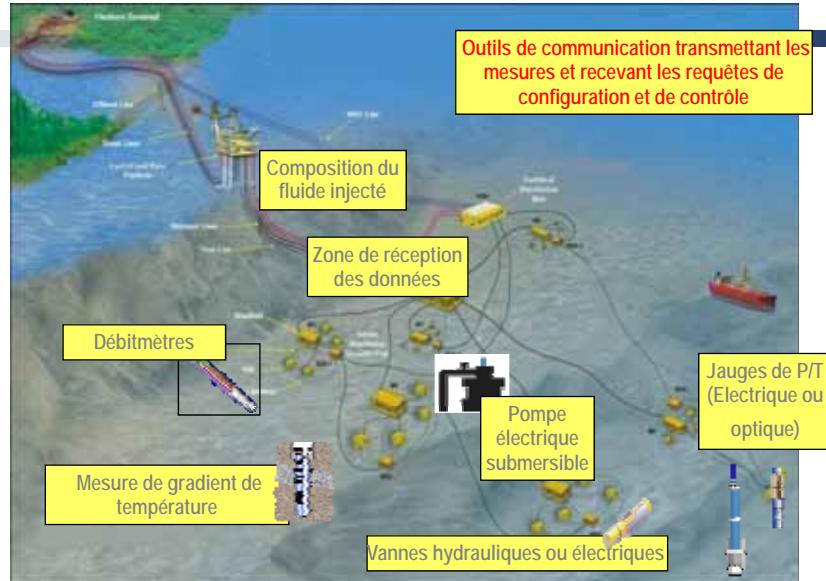
### QUANTIFICATION

#### Quantification de la quantité de CO<sub>2</sub> émise

Quantification de l'incertitude

- Faisabilité
  - Protocole de mesure pour détecter et quantifier les fuites?
  - Procédure de validation?

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

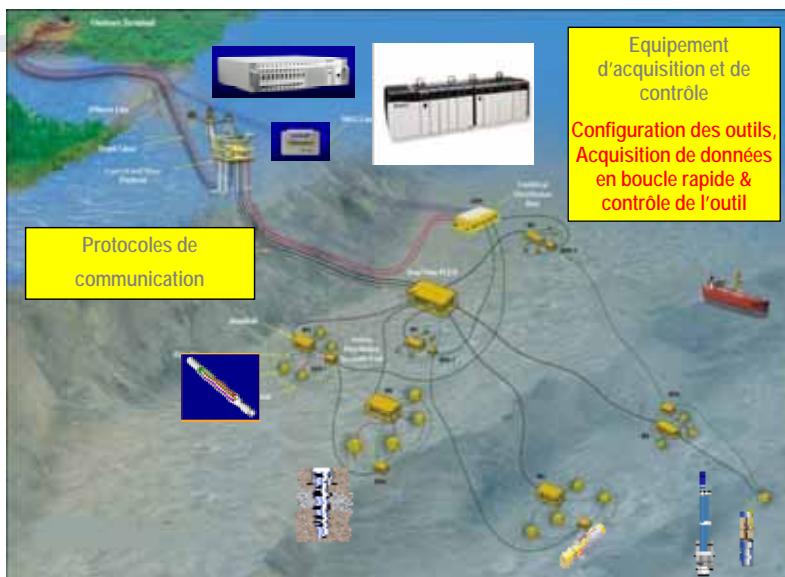


Schlumberger Carbon Services

19

Schlumberger

## ... a des terminaux locaux



Schlumberger Carbon Services

20

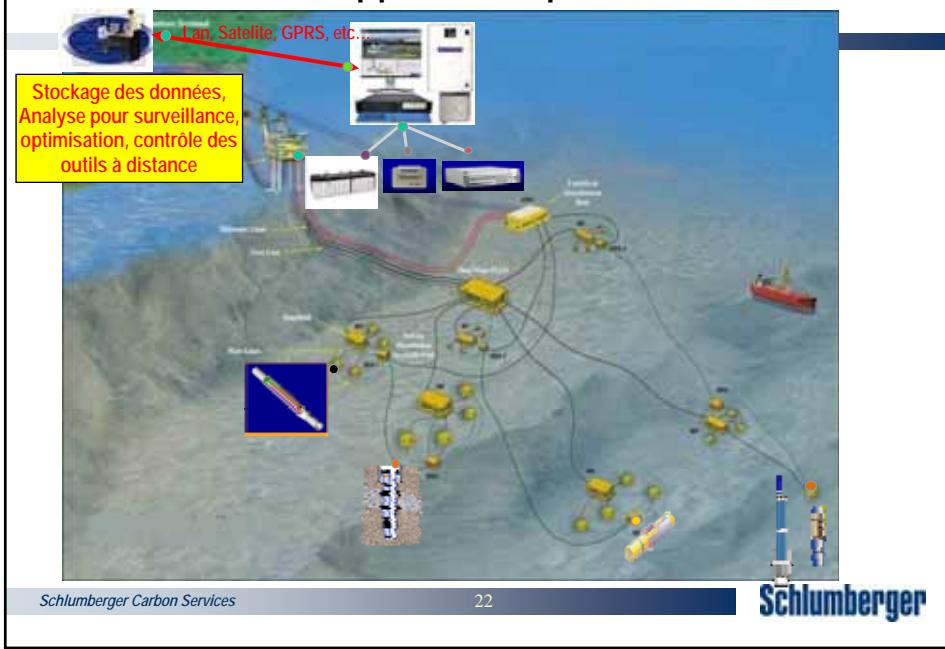
Schlumberger

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



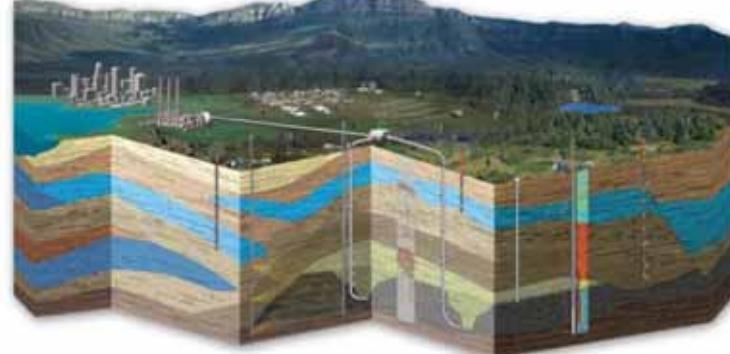
Schlumberger Public

## ... au centre de support des opérations



## Conclusion

Le système de monitoring d'un site de stockage de CO<sub>2</sub>



### 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 CO<sub>2</sub> stocké
- Contrôle temps réel des opérations

*Schlumberger Carbon Services*

23

**Schlumberger**

## 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**