

Représentation adaptée des réservoirs pour l'analyse des incertitudes et le monitoring dans le stockage de CO₂

proposition de thèse 2009
D. Busby (IHP Paris 16/12/08)



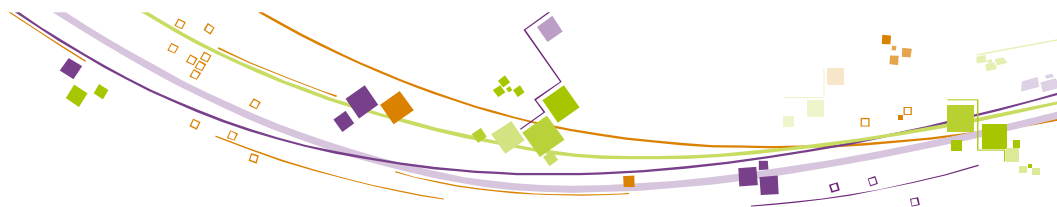


Plan

- **Contexte: le stockage souterrain du CO₂**
 - l'analyse de risques
 - exemple: un projet de stockage en Norvège
- **Problématique**
 - méthodologie existante
 - limitations
- **Objectifs de la thèse**
 - caractérisation géologique adaptée
 - Analyse d'incertitudes: surfaces de réponse et plans d'expérience
 - analyse d'évènements rares
- **Bibliographie**

Contexte

Motivation



- **La limitation des émissions de CO2 est un problème écologique fondamental de notre siècle pour éviter le réchauffement climatique**
- **Le captage et le stockage du CO2 est une solution qui pourrait à court terme être de support à la transition énergétique**
- **L'analyse de risques du stockage de CO2 joue un rôle fondamental dans la mise en oeuvre de cette nouvelle technologie**



Contexte

L'analyse de risques dans le stockage de CO2

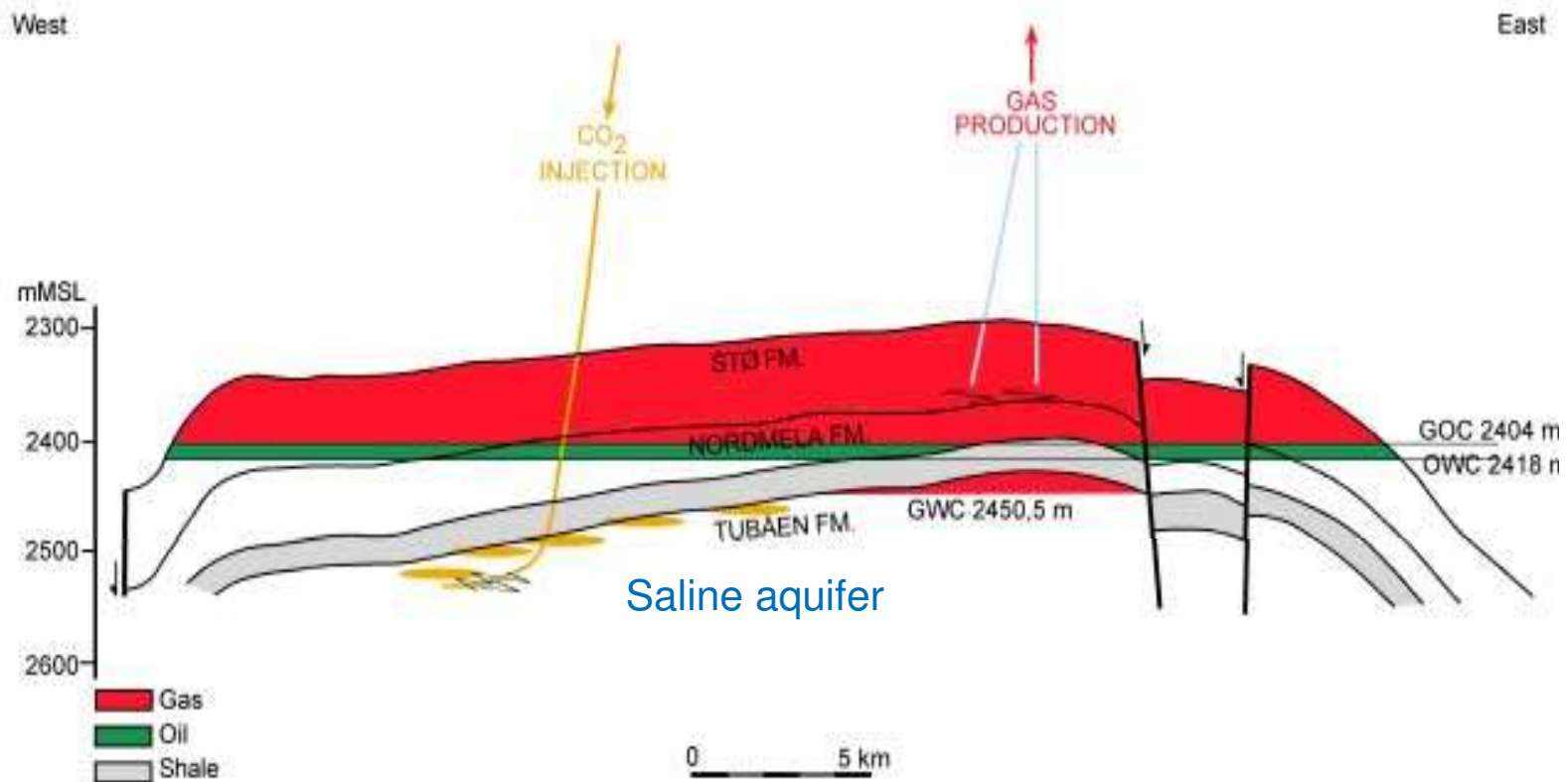
■ Démarche:

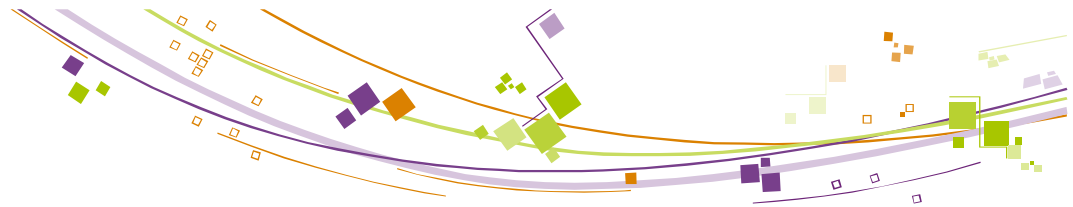
- construction du base case
- liste des scénarios de risques (analyse d'experts)
- analyse quantitative des scénarios
 - simulations numériques
 - analyse des incertitudes
 - choix des paramètres opérationnels (débit d'injection...)
- plan de monitoring
- mesures de prévention
- plan de remédiation

■ Exemple...

Exemple: Gas project with CO₂ reinjection plan

700 000 tons/year (up to 23 million tons over 30 years)





Analyse d'Incertitudes

- **prise en compte de tous types d'incertitudes:**
 - **paramètres continus/discrets**
 - perméabilités relatives
 - transmissibilités
 - modèle géologiques,...
 - **paramètres stochastiques**
 - champs de perméabilité/porosité
 - modélisation continue des failles
 - géomécanique (modèle de couverture)
 - ...



Analyse d'Incertitudes: méthodologie existante

- **paramètres continus/discrets: utilisation de plans d'expériences et surfaces de réponses (krigeage, polynômes de chaos, ondelettes)**
- **paramètres stochastiques:**
 - **méthodologie Joint Modelling: très coûteuse en terme de simulations, ne permet pas d'explorer suffisamment l'espace des paramètres stochastiques**
 - **déformation graduelle: méthode adapté au calage historique mais permettant difficilement de couvrir l'espace des réalisations possibles**
 - **méthode de Karhunen-Loève: permet potentiellement de bien échantillonner l'espace mais avec plusieurs limitations:**
 - **limitée aux champs gaussiens**
 - **choix du nombre de composantes délicat (effets de lissage)**
 - **problèmes numériques quand dimension du champ élevée**



Limites des approches existantes

- la prise en compte des incertitudes est souvent trop restrictive
- les simulations sont coûteuses
- l'utilisation des méthodes Monte Carlo pour calculer des probabilités très basses nécessite un très grand nombre de simulations
- l'incertitude à priori est souvent mal connue



Objectifs de la thèse

1 Caractérisation géologique adaptée

- **Objectif: prendre en compte correctement les variables stochastiques en réduisant la dimension du problème**
- **Décomposition de Karhunen-Loeve, méthode Kernel PCA (Principal Component Analysis) utilisé en reconnaissance d'images ou décomposition du champ par ondelettes**
 - pas de limitations numériques
 - possibilité d'utiliser n'importe quel modèle géologique (par exemple issue d'un modèle géostatistique multipoints)
- **Le choix des réalisations à simuler peut être effectué sans faire de simulations coûteuses en définissant une distance parmi les réalisations**

Objectifs de la thèse

2 Analyse d'incertitudes

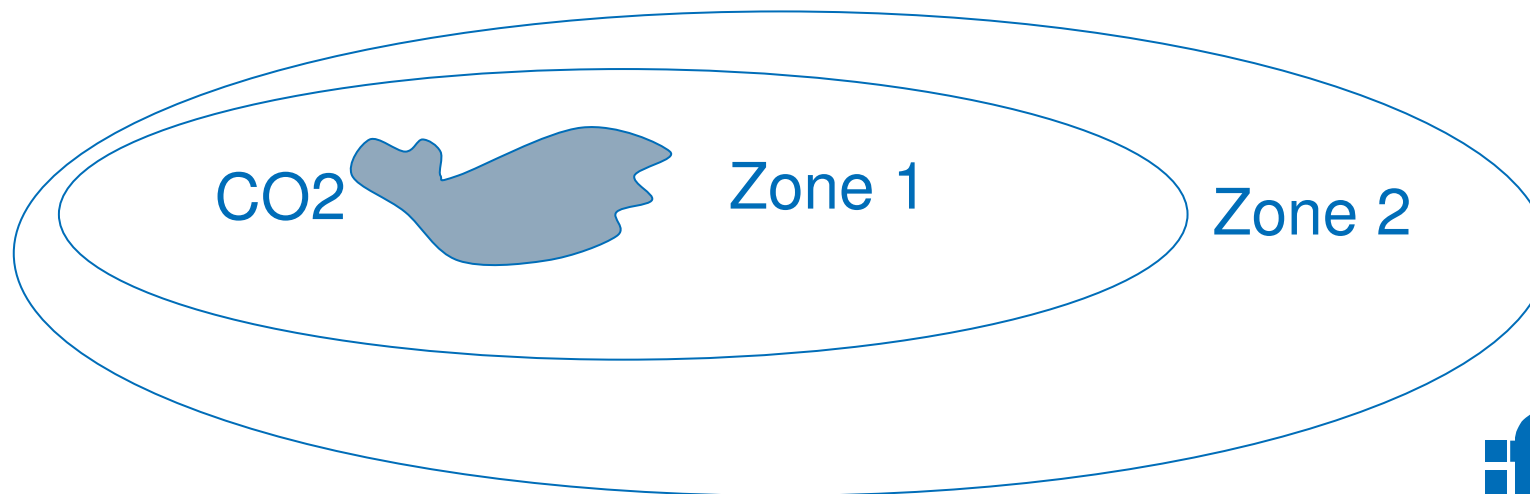


- **Interpolation en grande dimension et plans d'expériences adaptés**
 - Amélioration des méthodes existantes (krigeage) pour le traitement d'un grand nombre de variables
 - investigation d'autres méthodes: polynômes de chaos, méthodes de collocation
- **Amélioration du Joint Modeling pour le couplage entre différent types d'incertitudes (continues/stochastiques)**

Objectifs de la thèse

3 Analyse d'évènements rares

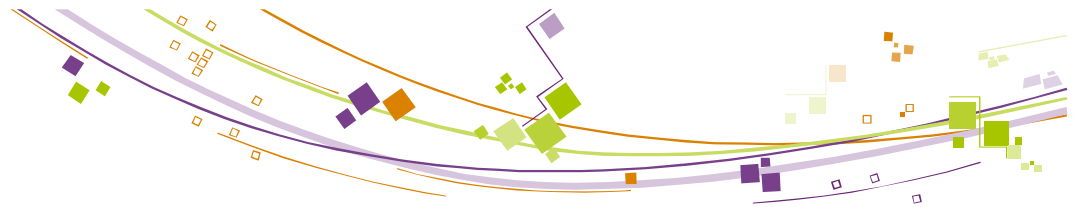
- **Spécificité CO2:**
 - probabilité de dépassement de seuil
 - modèle a priori mal connu grand nombre de paramètres incertains
- **Méthodes à investiguer**
 - méthodes de Monte Carlo par filtrage de particules
 - surfaces de réponse avec plans adaptatifs





Conclusions

- **thématique fondamentale pour le stockage de CO2**
 - le sujet s'inscrirait dans les thèmes de recherche d'un projet européen lancé pour 2009 sur l'analyse de risque CO2
- **techniques développées vont alimenter la technologie future des logiciels industriels Cougar/Condor pour la propagation des incertitudes et le calage historique**
- **possibilité d'applications diverses dans d'autres domaines**
- **lancement d'un stage préalable à la thèse en 2009**



Bibliographie

- D Busby, M Feraille, *MCMC method and Adaptive design of experiments for dynamic data assimilation* proceedings ECMORXI (2008)
- D Busby, *Hierarchical Adaptive Experimental Design for Gaussian Process Emulators* Reliability Engineering and System Safety (2008)
- Zhang, D., Li, H., Chang, H., Yan, G.: *Non-Intrusive Stochastic Approaches for Efficient Quantification of Uncertainty Associated with Reservoir Simulations* proceedings of ECMORXI conference Bergen (2008).
- Sarma, P., Durlofsky L. J., Aziz, K., Chen, W., H. : *A New Approach to Automatic History Matching Using Kernel PCA* SPE-106176. In Reservoir Simulation Symposium, The Woodlands, Texas (2007).
- Scheidt, C. and Caers, J., 2008, Representing Spatial Uncertainty Using Distances and Kernels, Mathematical Geosciences
- P. del Moral with P. Lezaud.: *Branching and interacting particle interpretation of rare event probabilities* Stochastic Hybrid Systems : Theory and Safety Critical Applications, eds. H. Blom and J. Lygeros. Springer (2006).
- Oakley, J. (2004). Estimating percentiles of computer code outputs. *Applied Statistics*, 53, 83-93