



**HAL**  
open science

## Impacts des émissions d'eau et de gaz : modélisation des grands réservoirs de grisou

Jean-Christophe Couillet

► **To cite this version:**

Jean-Christophe Couillet. Impacts des émissions d'eau et de gaz : modélisation des grands réservoirs de grisou. Journée technique CdF, Jun 1998, Hombourg-Haut, France. ineris-00972154

**HAL Id: ineris-00972154**

**<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00972154>**

Submitted on 3 Apr 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

*Journée Technique des Charbonnages de France,  
Hombourg-Haut, le 3 Juin 1998*

**IMPACTS DES EMISSIONS D'EAU ET DE GAZ :  
MODELISATION DES GRANDS RESERVOIRS DE GRISOU**

Jean-Christophe COUILLET,

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS),  
B.P. 2, 60550 Verneuil-en-Halatte, France.

**1 INTRODUCTION**

---

Avec la fermeture successive des exploitations minières en France, des installations de captage sur d'anciens quartiers ou puits voient le jour en réponse à des objectifs :

- de sécurité : les anciennes exploitations continuent à dégager du grisou et représentent de ce fait une source de risque non négligeable ;
- de respect de l'environnement : la réglementation incite à ne plus rejeter le méthane dans l'atmosphère ;
- de valorisation énergétique : les coûts croissants de l'énergie encouragent la commercialisation de telles ressources.

Mais, face à la gestion rigoureuse qu'exige commercialisation d'une source d'énergie, l'appréciation et le comportement de ces gisements ne sont pas encore totalement dominés par les exploitants.

Ainsi, dans l'objectif de déterminer correctement les réservoirs économiquement viables et d'en rentabiliser au mieux l'exploitation, il convient :

- d'évaluer convenablement l'aptitude du réservoir à fournir un apport de gaz pendant une période donnée ;
- de caractériser les conditions de fonctionnement garantissant une production optimale tout en assurant la pérennité de l'extraction du gaz.

Un modèle mathématique simplifié du comportement de ces réservoirs a dans ce but été développé et mis en oeuvre sur la base des données de fonctionnement de réservoirs actuellement exploités en France.

**2 GENERALITES SUR LE FONCTIONNEMENT D'UN RESERVOIR DE GRISOU**

---

**2.1 DEFINITION**

Un réservoir de grisou est l'ensemble du volume déstabilisé par une ancienne exploitation minière (un quartier, un étage, ou toute une mine), rendu étanche vis-à-vis de l'extérieur et dont le volume des vides s'est enrichi en méthane.

Il s'agit souvent d'un gisement de grandes dimensions, dont le volume brut peut atteindre plusieurs dizaines de millions de mètres cubes.

Contrairement à un réservoir classique, le volume n'est pas matérialisé par des parois ou épontes extérieures bien définies. Le volume utile correspond alors au volume des espaces dus à la fissuration et à la porosité du charbon ainsi qu'aux volumes résiduels des galeries et des ouvrages souterrains. Ce volume ne représente nullement la réserve de gaz disponible puisque le méthane est à la fois stocké sous forme libre dans les pores et fissurés du massif, et surtout sous forme adsorbée par le charbon. En cas de communication avec une nappe aquifère, le volume du réservoir diminue au fur et à mesure de la montée des eaux.

## 2.2 PRINCIPE D'UNE INSTALLATION DE CAPTAGE

L'installation de captage de méthane de type industriel se compose de trois parties qui sont respectivement :

- une installation de surface dite d'extraction. Celle-ci comporte des extracteurs et des compresseurs. Les extracteurs servent à aspirer le gaz de mine, les compresseurs le refoulent sous une certaine pression en fonction des besoins du client ;
- une communication entre la surface et le gîte, directement raccordée en surface à l'installation d'extraction ;
- un réseau de distribution du gaz capté aux consommateurs.

La communication entre le gîte et la surface correspond généralement à l'une des trois configurations suivantes :

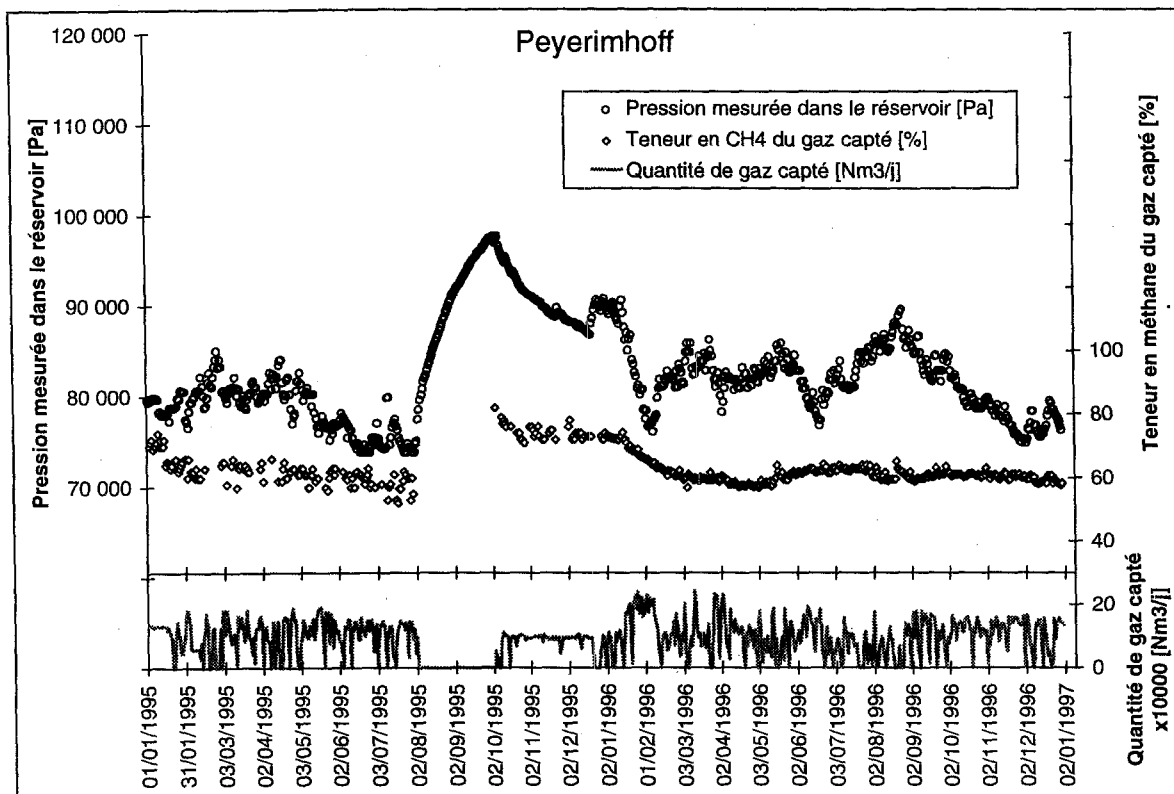
- la foration à partir de la surface des sondages permettant d'atteindre des galeries d'anciens travaux [Brossard, 1995] ;
- l'utilisation des tuyauteries datant de la fermeture des puits et faisant la liaison fond/jour [Vandeloise, 1972] ;
- l'emploi des anciennes communications fond/jour (puits, descenderies...) avec un serrement en béton, traversé par des conduites de captage du gaz de mine [Coetmeur et al., 1995].

Une fois la communication réalisée entre la surface et le fond, les équipements d'extraction et de compression sont mis en place et la station de captage est reliée aux utilisateurs du gaz.

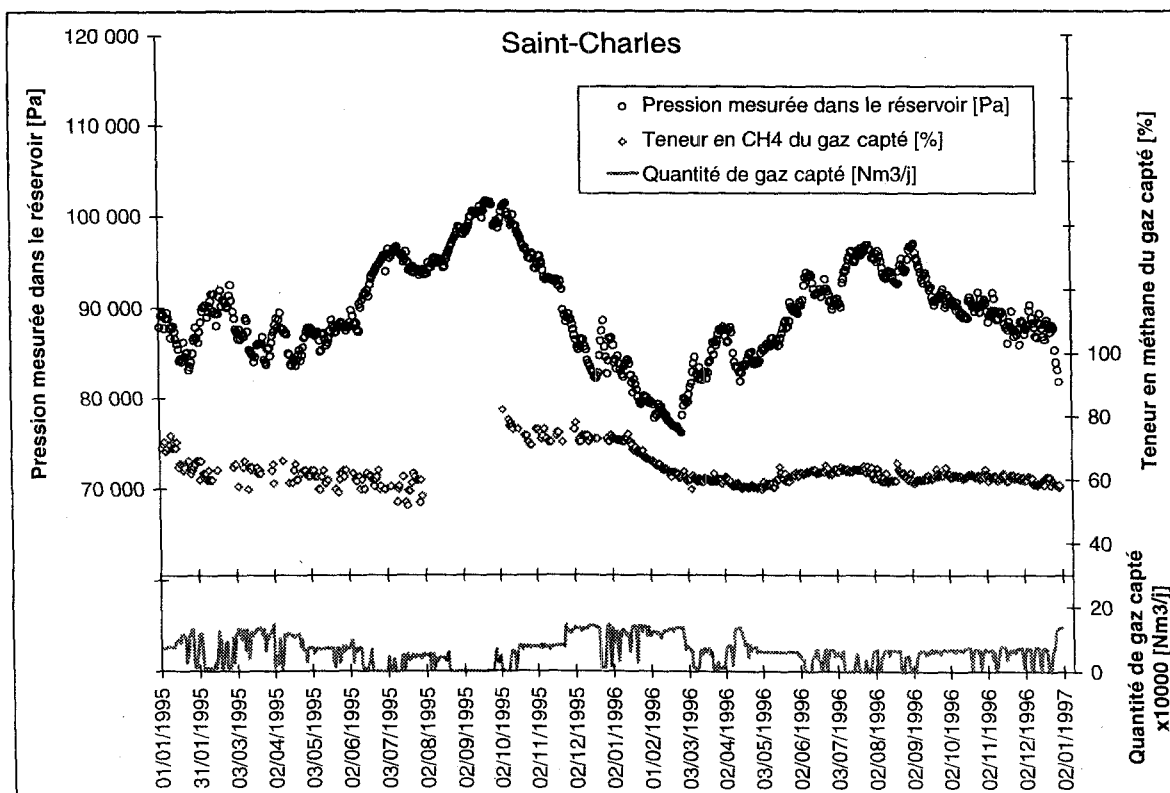
## 2.3 COMPORTEMENT GENERAL DU RESERVOIR

En régime de captage, le débit de gaz extrait est généralement supérieur au débit de gaz réalimentant le réservoir. La pression dans le gisement diminue alors, ce qui favorise des entrées d'air parasites dans le réservoir. Le captage du méthane peut ainsi être poursuivi jusqu'à une certaine pression absolue du site : à partir d'un niveau de pression, les entrées d'air entraînent en général une diminution trop importante de la richesse du gaz extrait. La teneur en méthane du gaz capté doit être d'environ 50% à 65% au minimum. Dans certains cas, des périodes de repos du réservoir, pendant lesquelles l'extraction est arrêtée, doivent donc être programmées afin de permettre au réservoir de se recharger en méthane.

La pression absolue du réservoir et la teneur en méthane du gaz capté apparaissent comme les deux principaux paramètres permettant d'appréhender le comportement du gisement vis-à-vis des volumes de gaz capté. A titre d'illustration, les figures 1 et 2 représentent, pour deux sites réels, l'évolution de la pression au sein des réservoirs et la teneur en méthane du gaz capté vis-à-vis des quantités de gaz extrait.



**Figure 1 : Evolution de la pression au sein du réservoir Peyerimhoff et de la teneur en méthane du gaz capté vis-à-vis des quantités de gaz extrait.**



**Figure 2 : Evolution de la pression au sein du réservoir Saint-Charles et de la teneur en méthane du gaz capté vis-à-vis des quantités de gaz extrait.**

### 3 MISE EN EQUATION DES PARAMETRES CARACTERISTIQUES

---

#### 3.1 DEBIT MOYEN DE GAZ PRODUIT ET VOLUME DU RESERVOIR

Le réservoir a été assimilé à un volume global dont la pression varie au rythme des débits de gaz capté et des débits de gaz produit, dus à la désorption du grisou et aux entrées d'air.

La loi des gaz parfaits a été retenue pour relier la quantité de gaz contenue dans le réservoir et la pression de celui-ci. Pour des régimes de fonctionnement relativement stables, il est alors possible de calculer le débit moyen de gaz produit (débit du gaz désorbé et des entrées d'air) et le volume du réservoir.

#### 3.2 DEBIT D'ENTREES D'AIR

Pour des réservoirs situés à des profondeurs élevées (quelques centaines de mètres), les entrées d'air sont essentiellement localisées au droit des anciennes communications fond/jour. Le débit d'air entrant dans le réservoir noté  $Q_A$  et la dépression de celui-ci par rapport à l'atmosphère notée  $\Delta P$ , peuvent être reliés par une loi de la forme :

$$\Delta P = R Q_A^\chi \quad (1)$$

avec :

- $\Delta P$ , dépression du réservoir par rapport à l'atmosphère ;
- $R$ , résistance aéraulique ;
- $\chi$ , coefficient.

Si le coefficient  $\chi$  vaut 2 pour les écoulements libres (turbulents) en galerie, il tend vers 1 pour des résistances élevées (écoulement de type Darcy). Ceci semble être le cas des grands réservoirs de grisou, compte-tenu des efforts faits pour isoler toutes les anciennes communications entre le jour et le fond. L'équation (1) devient donc :

$$\Delta P = R Q_A \quad (2)$$

Au final, le débit d'air peut être considéré comme directement proportionnel à la dépression du réservoir par rapport à l'atmosphère. En introduisant le paramètre  $\gamma$ , il est alors possible d'écrire :

$$Q_A = \gamma \Delta P \quad (3)$$

#### 3.3 DEBIT DE GAZ DESORBE

Dans un gisement de charbon, le grisou est contenu sous forme de gaz libre et de gaz adsorbé. A un instant donné, le gaz libre et le gaz adsorbé se trouvent dans une certaine proportion dont le principal facteur est la pression qui règne dans le réservoir.

La quantité de gaz libre n'est qu'une petite fraction du gaz présent dans le charbon (généralement moins de 10%). Elle dépend du volume de fissures, de la pression du gaz et de la température du massif.

La quantité de gaz adsorbée est une fonction non linéaire et croissante de la pression. La courbe exprimant cette relation est appelée « isotherme » [Gunther, 1964].

Dans le modèle, le débit de désorption est considéré comme une fonction linéaire décroissante en fonction de la pression dans le réservoir. Du fait de la faible amplitude des variations de pression dans le réservoir (environ 500 hPa), ceci est une simplification mineure vis-à-vis de la pression potentielle du gaz dans le gisement (plus de  $5 \cdot 10^5$ , voire jusqu'à  $40 \cdot 10^5$  Pa).

En introduisant les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$ , le débit de désorption, noté  $Q_D$ , peut alors s'écrire selon :

$$Q_D = \alpha \Delta P + \beta \quad (4)$$

### 3.4 DEBIT DE GAZ PRODUIT EN FONCTION DE LA DEPRESSION DU RESERVOIR PAR RAPPORT A L'ATMOSPHERE

En reliant les équations 3 et 4, le débit de gaz produit (entrées d'air et gaz désorbé) peut être exprimé en fonction de la dépression du réservoir par rapport à l'atmosphère et de deux paramètres a et b :

$$Q_P = Q_A + Q_D = a \Delta P + b \quad (5)$$

où :

$$\begin{cases} a = \alpha + \gamma & (5a) \\ b = \beta & (5b) \end{cases}$$

Compte tenu des différences entre la cinétique des entrées d'air et celle de la désorption de grisou, on a  $\alpha < \gamma$ .

## 4 MODELISATION

---

### 4.1 PRESSION AU SEIN DU RESERVOIR

A partir des équations précédentes, le bilan des quantités de gaz produit (entrées d'air et gaz désorbé) et capté permet le calcul des variations de pression dans le réservoir. Ce bilan réitéré à un pas de temps donné permet la modélisation dynamique de l'évolution de la pression dans le réservoir.

Le pas de temps doit être choisi de façon à ce que l'effet des quantités de gaz produit et extrait soit suffisamment significatif pour engendrer une évolution de la pression. Par ailleurs, il faut prendre en compte l'inertie du système : devant le volume important du réservoir, l'influence des quantités de gaz produit et capté se répercute avec un certain temps de retard sur la pression du réservoir.

### 4.2 TENEUR EN METHANE DU GAZ CAPTE

La modélisation de l'évolution des teneurs en méthane du gaz capté repose sur la même démarche. Elle consiste à faire le bilan des quantités de méthane désorbé dans le réservoir et des quantités de méthane capté.

## 5 CALAGE ET VALIDATION SUR LES CAS DE PEYERIMHOFF ET DE SAINT-CHARLES

### 5.1 PRINCIPE ET PRESENTATION DES CAS ETUDIES

La modélisation proposée a été mise en oeuvre sur les données de fonctionnement de deux réservoirs situés dans le bassin de Lorraine (voir les figures 1 et 2).

Le site de Peyerimhoff est le plus important avec un total de 50 millions de tonnes de charbon exploitées dans le passé, ce qui porte l'estimation des vides résiduels entre 10 et 15 millions de mètres cubes. L'obturation du site est intervenue en juin 1992 avec principalement la fermeture étanche de deux puits (Peyerimhoff et Sainte-Fontaine). Les capacités d'extraction-compression sont aujourd'hui de 9000 m<sup>3</sup>/h bruts.

Le site de Saint-Charles a vu l'exploitation de 46 millions de tonnes de charbon, ce qui porte l'estimation des vides résiduels à environ 10 millions de mètres cubes. L'obturation du site est intervenue en juin 1991 avec principalement la fermeture étanche de deux puits (Saint-Charles 1 et 3). Les capacités actuelles d'extraction-compression sont de 5500 m<sup>3</sup>/h bruts.

Les deux sites sont en liaison directe avec des travaux voisins en exploitation.

### 5.2 RESULTATS

#### 5.2.1 Paramètres caractéristiques

Le calage des paramètres a été initialement effectué à partir des données d'exploitation de 1995, puis sur les données de 1996.

Les valeurs des différents paramètres déduites du calage sur les données de 1995 et 1996 sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Equation	paramètres		Peyerimhoff 1995 - 1996		S <sup>t</sup> -Charles 1995 - 1996	
		V <sub>R</sub>	[m <sup>3</sup> ]	17 10 <sup>6</sup>		12 10 <sup>6</sup>
	Q <sub>P</sub>	[Nm <sup>3</sup> /j]	(1995) 95100 ± 26500	(1996) 97100 ± 23400	(1995) 69400 ± 33200	(1996) 62200 ± 27300
(3)	γ	[Nm <sup>3</sup> /j/Pa]	1,88		1,88	
(4)	α	[Nm <sup>3</sup> /j/Pa]	0,75		0,75	
	β	[Nm <sup>3</sup> /j]	45000		30000	
(5)	a	[Nm <sup>3</sup> /j/Pa]	2,63		2,63	
	b	[Nm <sup>3</sup> /j]	45000		30000	

Les valeurs des volumes du réservoir  $V_R$  calculées à partir des données du captage, de respectivement 17 et 12 millions de mètres cubes pour les réservoirs Peyerimhoff et Saint-Charles, sont bien cohérentes avec les estimations issues des tonnages exploités dans le passé. Dans la même logique, le potentiel de désorption est plus important pour le réservoir Peyerimhoff que pour le réservoir Saint-Charles. Le paramètre relatif aux entrées d'air dans le réservoir est le même pour les deux sites traduisant une étanchéification globalement équivalente des réservoirs. Enfin, sur chacune des deux périodes de calage, les paramètres restent identiques. Il ne semble donc pas y avoir eu de remontée significative et appréciable des eaux ou tout autre changement dans les caractéristiques des réservoirs, au cours de ces deux années.

### 5.2.2 Modélisation de la pression dans le réservoir

Les figures 3 et 4 présentent les résultats de modélisation de la pression au sein des réservoirs Peyerimhoff et Saint-Charles. Ceux-ci sont satisfaisants puisque a posteriori l'écart moyen absolu entre la pression mesurée et la pression prévue est inférieur à 5%.

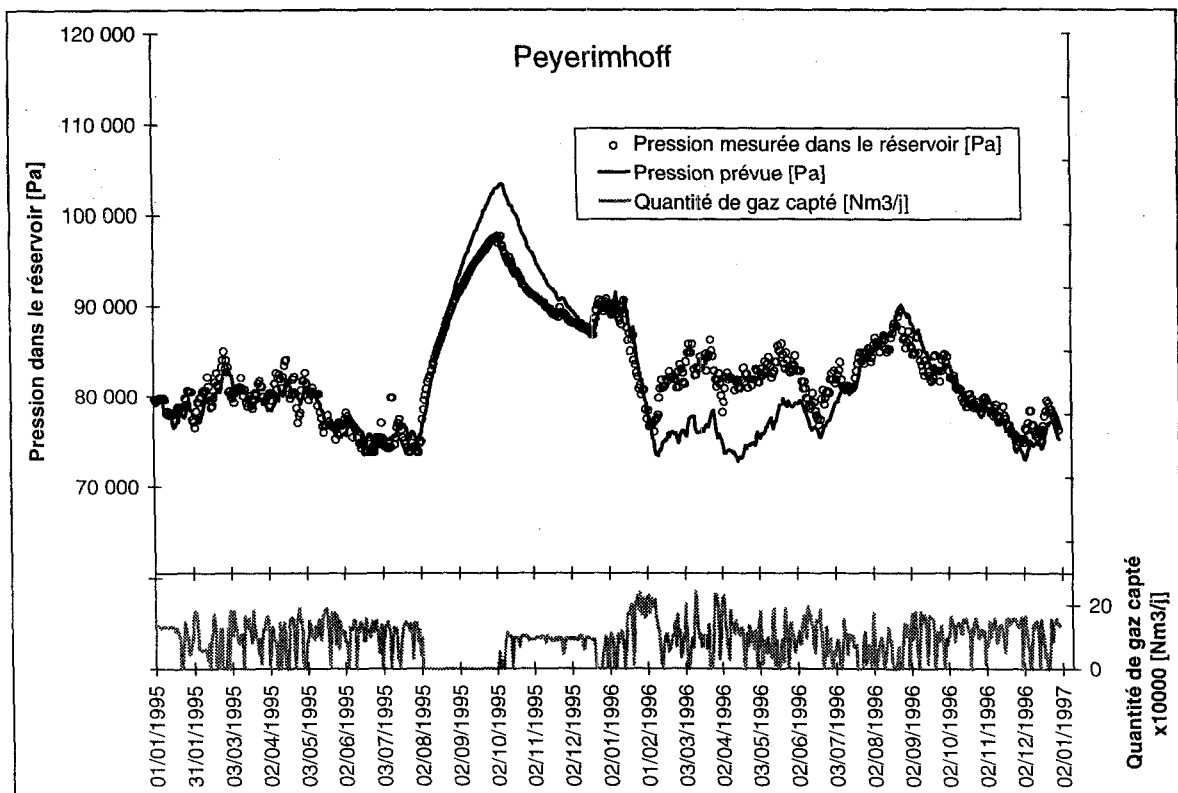
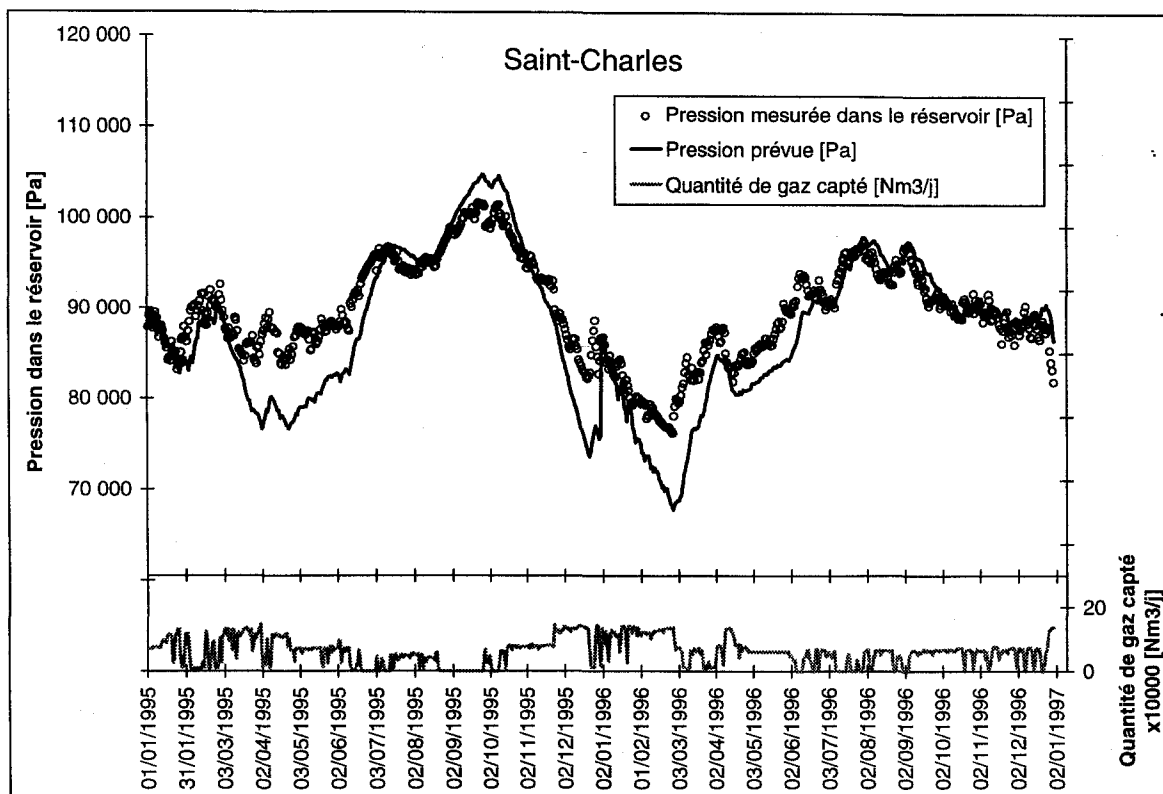


Figure 3 : Modélisation de la pression au sein du réservoir Peyerimhoff vis-à-vis des quantités de gaz extrait en 1995 et 1996





**Figure 4 : Modélisation de la pression au sein du réservoir Saint-Charles vis-à-vis des quantités de gaz extrait en 1995 et 1996**

Pour chacun des deux réservoirs, quelques décrochages entre les valeurs de pression prévues et les valeurs mesurées peuvent par ailleurs être observés. Ces perturbations semblent dues à une variation temporaire du volume du réservoir (remontée des eaux) ou à l'influence momentanée d'exploitations voisines. Pendant l'arrêt de l'extraction, l'absence de dynamique dans la circulation des gaz rend par ailleurs la mesure beaucoup moins représentative de la pression moyenne dans le réservoir, ce qui peut aussi générer cet écart.

Dans tous les cas, les valeurs prévues retrouvent par la suite le niveau attendu sans qu'aucun réajustement ne soit effectué.

### 5.2.3 Modélisation de la teneur en méthane et en azote des gaz captés

Les figures 5 et 6 présentent les résultats de la modélisation de la teneur en méthane des gaz captés dans les réservoirs Peyerimhoff et Saint-Charles.

L'écart moyen absolu entre les teneurs en méthane prévues et calculées reste inférieur à 7% pour 1995 et 1996, ce qui compte tenu de la représentativité des mesures, valide pleinement le modèle.

Bien que la localisation précise des sources de gaz reste difficile, l'on peut en effet aisément admettre que le captage du gaz, les entrées d'air et la désorption peuvent avoir lieu tous trois en des points distincts du réservoir. L'ensemble des mesures de teneurs des gaz captés se fait au niveau de la surface, sur la station de captage ou sur d'anciens puits. Etant donnée l'étendue du volume d'un réservoir, la représentativité des mesures reste relative.

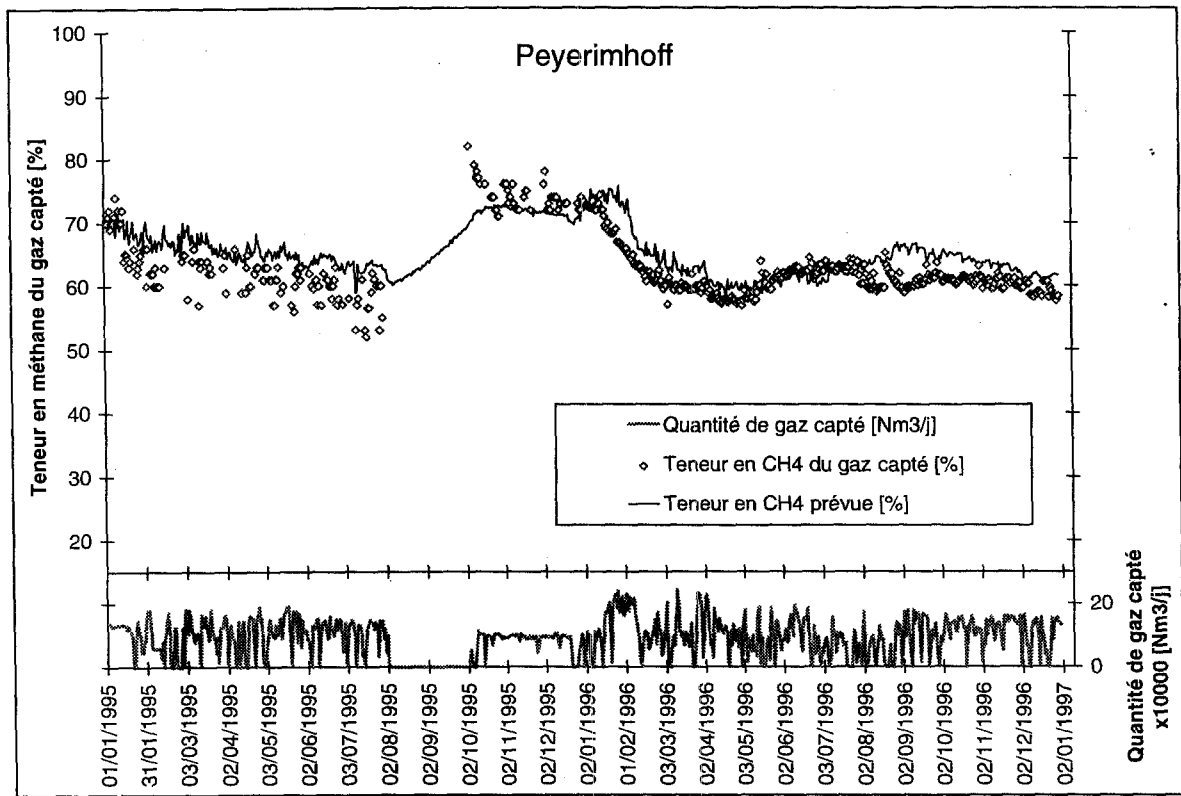


Figure 5 : Modélisation de la teneur en méthane du gaz capté du réservoir Peyerimhoff vis-à-vis des quantités de gaz extrait en 1995 et 1996

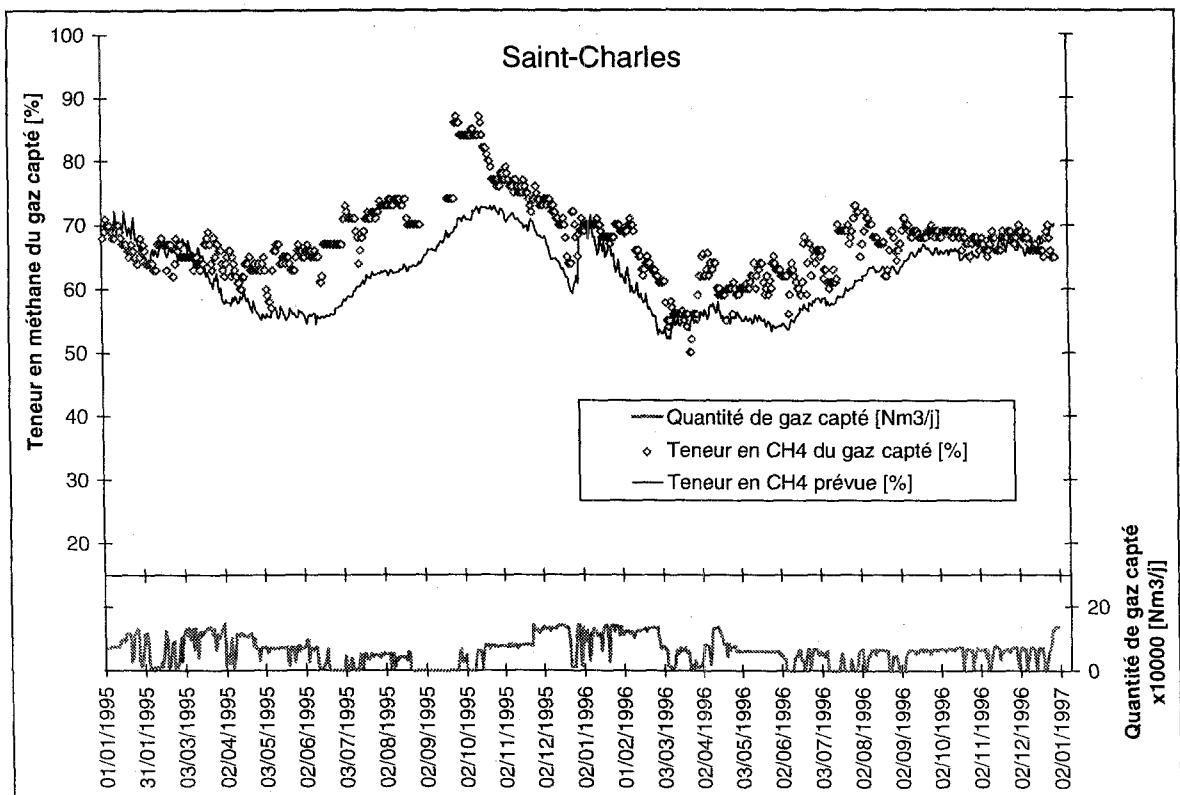


Figure 6 : Modélisation de la teneur en méthane du gaz capté du réservoir Saint-Charles vis-à-vis des quantités de gaz extrait en 1995 et 1996

## 6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

---

La pression du réservoir et la teneur en méthane du gaz extrait apparaissent comme les deux principaux paramètres permettant d'appréhender le comportement du gisement vis-à-vis des volumes de gaz capté.

La démarche a consisté à assimiler le réservoir à un volume global dont la pression varie au rythme des débits de gaz capté et des débits de gaz produit, dus à la désorption du grisou et aux entrées d'air.

La mise en équation est basée sur quatre paramètres traduisant l'hypothèse d'une proportionnalité entre la dépression du réservoir par rapport à l'atmosphère et les débits de désorption et d'entrées d'air. La modélisation a ainsi pu être développée de façon à suivre l'évolution de la pression au sein du réservoir et de la teneur en méthane des gaz captés.

Cette approche a été testée sur les données de deux années de fonctionnement de deux réservoirs du bassin de Lorraine. La fiabilité de la modélisation a été appréciée sur les résultats de prévisions a posteriori par comparaison des valeurs mesurées aux valeurs calculées. Les résultats s'avèrent très satisfaisants avec, pour les variables modélisées (pression et teneur en méthane), un écart moyen absolu entre les valeurs mesurées et prévues inférieur à 10%.

Le calcul périodique des paramètres du modèle avec les données récentes d'exploitation va permettre un suivi concret des caractéristiques du site en termes de volume du réservoir et de potentiel en gaz désorbable. Enfin, la modélisation doit aussi être employée à l'optimisation des phases de fonctionnement telles les alternances entre l'arrêt du captage et l'extraction, ou à la détermination du niveau de débit de captage adéquat.

Le modèle ainsi développé et validé sur deux cas réels pourra être utilisé par la suite sur d'autres sites, tels par exemple les grands réservoirs situés dans le Nord Pas-de-Calais et peut constituer un véritable outil d'optimisation et de gestion industrielle d'un réservoir de grisou.

Enfin, la technique des réseaux de neurones ayant fait ses preuves dans l'industrie pour la prévision de séries temporelles, et d'autre part montré son potentiel de prévision des dégagements grisouteux en taille, quelques essais de faisabilité utilisant cette approche ont été entrepris. Les résultats sont prometteurs et incitent fortement à poursuivre la modélisation dans cette direction.

## 7 REFERENCES

---

- BROSSARD A., 1995 - « Captage de grisou sur mines fermées dans le bassin houiller du Nord-Pas-de-Calais » - Journées techniques de CdF, Hombourg-Haut.
- COETMEUR B., STEENBRUGGE H. 1995 - « Valorisation du gaz de mines de charbon par injection dans un réseau de transport de gaz naturel » - Journées techniques de CdF, Hombourg-Haut.
- GUNTHER J., 1964 - « Etude de la liaison gaz-charbon » - Publication CERCHAR n°1572, Revue Ind. Min. Vol. 47, n°10, pp.693-708.
- VANDELOISE, 1972 - « Gisement et dégagement du grisou » - Rapport de synthèse des études INIEX (1969-1972), CECA recueil n°56.