



HAL
open science

Rôle de la pression et de la température dans les échanges gazeux entre les mines souterraines abandonnées et la surface

Candice Lagny, Zbigniew Pokryszka, Arnaud Charmoille

► **To cite this version:**

Candice Lagny, Zbigniew Pokryszka, Arnaud Charmoille. Rôle de la pression et de la température dans les échanges gazeux entre les mines souterraines abandonnées et la surface. Mines et carrières (Paris), 2013, 199, pp.22-28. ineris-00961797

HAL Id: ineris-00961797

<https://ineris.hal.science/ineris-00961797v1>

Submitted on 20 Mar 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.

Rôle de la pression et de la température dans les échanges gazeux entre les mines souterraines abandonnées et la surface

C. Lagny, Z. Pokryszka et A. Charmoille (INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques)

1. INTRODUCTION

Les facteurs principaux régissant les écoulements gazeux depuis les anciens travaux miniers vers la surface peuvent différer d'un site à l'autre. Ainsi, les études réalisées entre 1999 et 2004 sur le bassin ferrifère lorrain ont montré que les échanges gazeux entre les vides miniers non ennoyés et l'atmosphère sont gouvernés par la température extérieure (Pokryszka, 1999 et 2001). Inversement, Hall et al. (2006) précisent que les mines de charbon abandonnées sont influencées par la pression atmosphérique : les gaz viciés s'accumulent dans les vieux travaux et, lorsque la pression barométrique chute, ils peuvent être émis à la surface (Burrell et Whitworth [2000], Strakos [2001] et Senosky et Trucenek [2001]). Le rôle de la pression barométrique sur l'émission de gaz dans les mines grisouteuses est par ailleurs étudié depuis longtemps (Lagrange [1924], Harries [1926], Carter and Durst [1955]).

Pour améliorer les connaissances en la matière, trois bassins miniers français abandonnés ont été étudiés : le bassin ferrifère lorrain, le bassin houiller lorrain et celui du Nord et du Pas-de-Calais. Des ouvrages caractéristiques ont été instrumentés au moyen de stations de mesures qui ont permis de suivre, entre autres, la température extérieure et la pression barométrique et d'évaluer leur influence respective sur l'émission de gaz en surface.

2. PRESENTATION DES DIFFERENTS SITES D'ETUDES

2.1 BASSIN FERRIFERE LORRAIN (BFL)

2.1.1 CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Les anciennes exploitations minières du BFL occupent une bande de 10 à 30 km de largeur entre la frontière franco-luxembourgeoise et Nancy. Elles concernent les départements de la Moselle, la Meurthe-et-Moselle et la Meuse.

Le bassin est divisé en deux : au sud, le bassin de Nancy d'une superficie de 380 km² et, au nord, celui de Briey-Longwy-Thionville d'environ 1 300 km².

Ce dernier est lui-même subdivisé en bassins (sud, centre et nord) séparés par des failles et indépendants sur le plan hydraulique. L'ennoyage des bassins a été échelonné dans le temps, par abandon progressif des zones d'extractions du minerai : en 1993/1994 pour le centre, en 1995/1996 pour le sud, et fin 2005 pour le nord (Lagny, 2007), sur lequel l'étude s'est focalisée.

2.1.2 DESCRIPTION TOPOGRAPHIQUE DU BASSIN ET DES OUVRAGES DEBOUCHANT AU JOUR (ODJ)

Le paysage est marqué par des dénivellations importantes avec des plateaux à l'altitude élevée (355 à 440 m NGF) entrecoupés de vallées (210 à 330 m NGF). L'exploitation du minerai de fer s'est opérée à ciel ouvert dans les vallées, à partir des couches affleurantes ou peu profondes et en souterrain.

Les principaux ODJ sont des puits verticaux et des galeries. Les puits réalisés pour assurer l'aération et le transport sont souvent situés sur les plateaux tandis que les galeries réalisées pour atteindre les couches subaffleurantes, se localisent principalement sur les flancs de collines. Après l'arrêt de l'exploitation, la majorité des ODJ a été obturée par remblayage et/ou par des bouchons.

Pour des raisons techniques (accessibilité, captage d'eau, etc.), certains ODJ ont été conservés non obturés : ils ont été sécurisés par la pose de grilles (Figure 1). Ils ne présentent pas de résistance aéraulique significative à la migration du gaz, contrairement à un ouvrage remblayé et/ou fermé et permettent des échanges gazeux entre les vides miniers non ennoyés et l'atmosphère extérieure. Le réservoir constitué par les vieux travaux non ennoyés peut alors être qualifié de système ouvert.



Figure 1 : Photos du puits François (g.) et de la galerie G6 d'Algrange (d.)

2.1.3 OUVRAGES DEBOUCHANT AU JOUR INSTRUMENTES

L'ennoyage des bassins sud et centre a conduit à des évolutions notables de l'atmosphère minière avec une désoxygénation partielle et des productions importantes de CO₂ (Pokryszka et Grabowski, 2004). De ce fait, il a été jugé opportun de surveiller les émissions gazeuses pouvant être générées au cours de l'ennoyage du bassin Nord.

Une étude visant à modéliser l'importance des circulations dans ce bassin (Pokryszka, 2005) a permis de sélectionner quatre points (cf. Figure 2) à instrumenter (cf. Tableau 1) : la galerie G6 d'Algrange sur la commune d'Algrange, point bas situé au plus près du front d'ennoyage, la descenderie en 8 sur la commune d'Ottange, qui restera en communication avec les vides du réservoir souterrain non ennoyés, le puits François sur la commune d'Aumetz qui apparaît comme essentiel dans la gestion des écoulements de l'ensemble du réseau, la descenderie St Michel sur la commune d'Audun-Le-Tiche pour compléter le dispositif déjà mis en place.

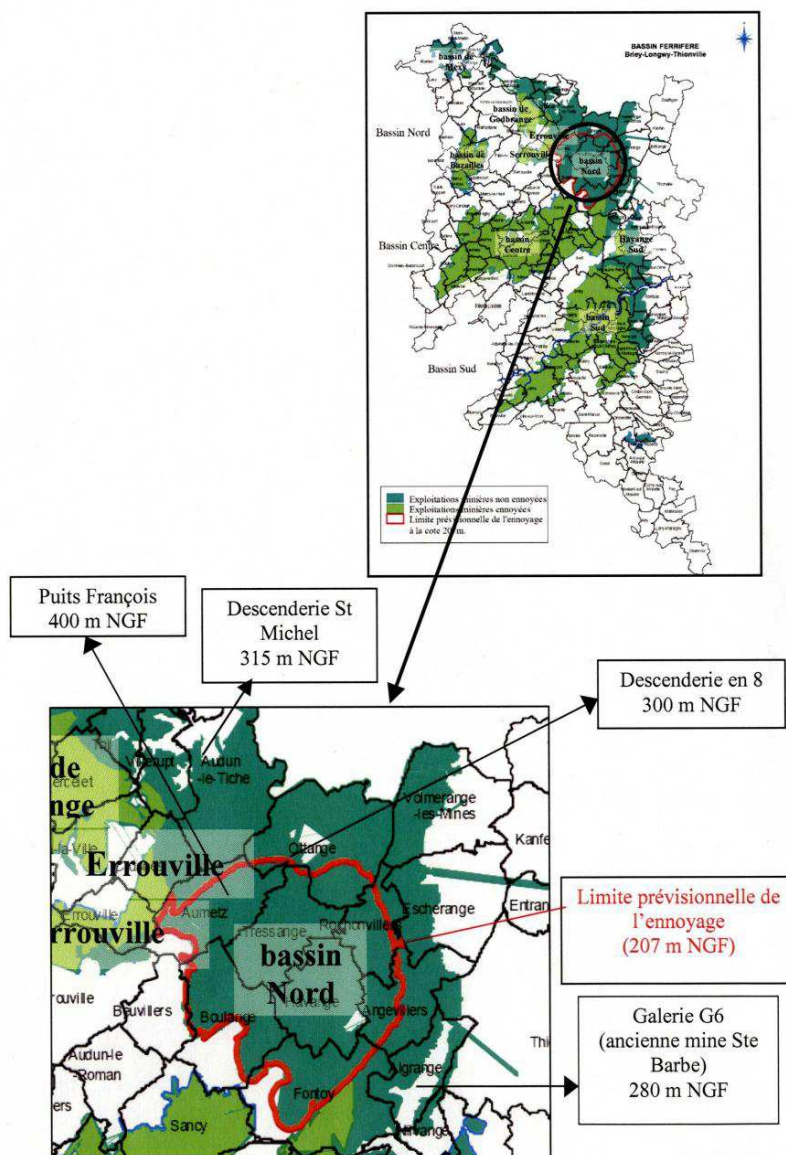


Figure 2 : Situation géographique du BFL et des ouvrages instrumentés

2.2 BASSIN HOILLER LORRAIN (HBL : HOILLERES DU BASSIN DE LORRAINE)

Ce bassin s'étend sur 140 km de long et 70 à 80 km de large pour une superficie totale de plus de 10 000 km². Il constitue le prolongement du vaste bassin houiller de la Sarre (Allemagne). Les mines des HBL ont toutes été exploitées en souterrain et sont connues comme ayant été particulièrement grisouteuses. L'exploitation de charbon s'est arrêtée en 2004.

L'étude a porté sur le secteur de l'exploitation de la Houve, situé à l'ouest du bassin, au nord-est de la commune de Creutzwald en Moselle et qui n'est pas sous l'influence d'un captage de gaz. Les exhaures minières ont été arrêtées en 2006. L'ennoyage a concerné un volume de vides résiduels estimé à 29 millions de m³ (ANTEA, 2003).

Le rechargement en gaz des vides miniers à partir des veines non exploitées et la remontée de la nappe ont forcé le gaz à migrer : il peut alors potentiellement arriver en surface via les terrains fracturés ou les anciens puits de mine. Pour contrôler les zones les plus sensibles, des sondages de contrôle et de décompression¹ ont été mis en place par l'exploitant (cf. Figure 5). Certains puits ont aussi été équipés d'un évent (cf. puits Barrois, Figure 5) et remplissent le rôle d'un sondage.

2.2.1 OUVRAGES DEBOUCHANT AU JOUR

L'exploitation du charbon a toujours été réalisée à partir de puits, du fait de la profondeur (supérieure à 120 m) des veines exploitables. On retrouve aussi cette configuration dans le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais.

Après l'arrêt de l'exploitation, tous les ODJ ont été obturés par remblayage et installation d'une dalle de béton ou par mise en place d'un bouchon de béton. A l'exception des événements et des sondages, qui permettent des échanges gazeux très limités, tous les ODJ sont fermés de manière relativement étanche et présentent donc une résistance aéraulique significative à la migration du gaz vers la surface

Les vieux travaux miniers de ce bassin, contrairement au BFL, peuvent être qualifiés de système fermé.

2.2.2 OUVRAGES INSTRUMENTES

Les sites instrumentés devaient permettre de suivre les effets de l'ennoyage dans son ensemble. Deux ouvrages présents sur le secteur étudié ont été choisis : le sondage SDEC OUEST 1, situé à l'ouest, sur la commune de Creutzwald et les puits Barrois, situé à l'est.

La localisation respective des ouvrages est présentée sur la Figure 3.

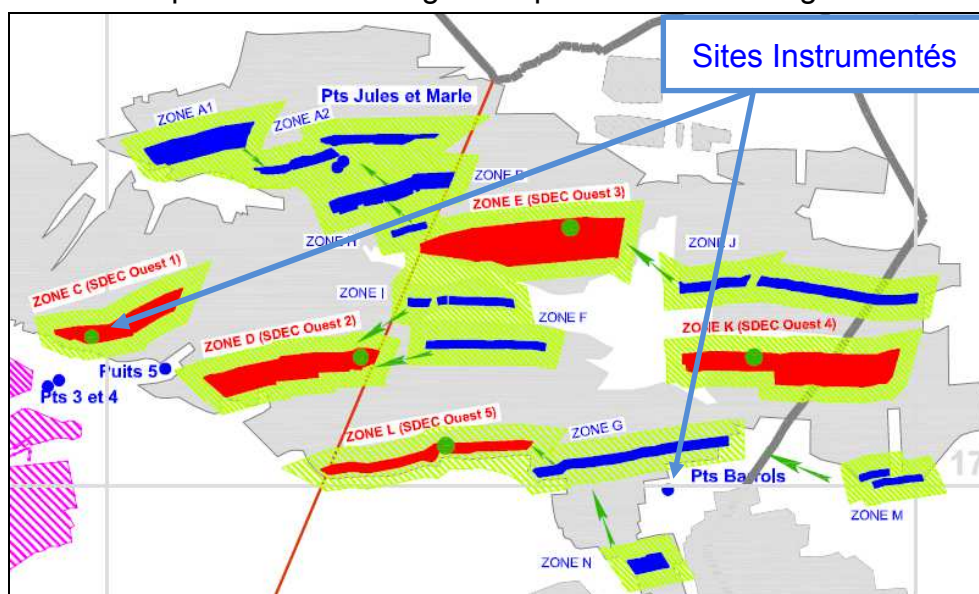


Figure 3 : Position des puits et sondages de décompression dans la partie étudiée des exploitations de la Houve (source : Charbonnages de France)

(en vert, les sondages à réaliser pour traiter les zones à risque ; en bleu, les puits existants)

¹ Sondage qui recoupe les vieux travaux miniers et permet l'évacuation du gaz de mine en cas de suppression. Il est habituellement équipé d'un arête-flamme et d'un clapet anti-retour en tête de la conduite, laquelle peut avoir des diamètres et des hauteurs différents selon les sites.

2.3 BASSIN HOUILLER DU NORD ET DU PAS-DE-CALAIS (BNPC)

Ce bassin (Figure 4) est une partie de la grande formation houillère qui s'étend depuis le bassin de la Ruhr (Westphalie) en passant par la Belgique jusqu'au nord de la France. Il a une extension transversale de 15 km au maximum et s'étend sur 100 km environ. Les faisceaux houillers s'approfondissent de l'Est vers l'Ouest. Le bassin est en cours d'envoyage mais, compte tenu du faible débit d'alimentation, la remontée du niveau d'eau est très lente. Une grande partie du bassin est sous l'influence des captages de gaz de mine (en orange sur la Figure 4), sauf la zone la plus occidentale.

2.3.1 OUVRAGES DEBOUCHANT AU JOUR

L'exploitation du gisement a été réalisée à partir de plus de 600 puits, aujourd'hui remblayés. Le système peut être qualifié de système fermé car les ODJ présentent tous une résistance aéraulique significative à la migration de gaz vers la surface.

2.3.2 POINTS DE MESURE

L'instrumentation a été mise en place dans la partie Est du bassin (pour s'affranchir des captages) et a concerné essentiellement des sondages (en bleu sur la Figure 4).

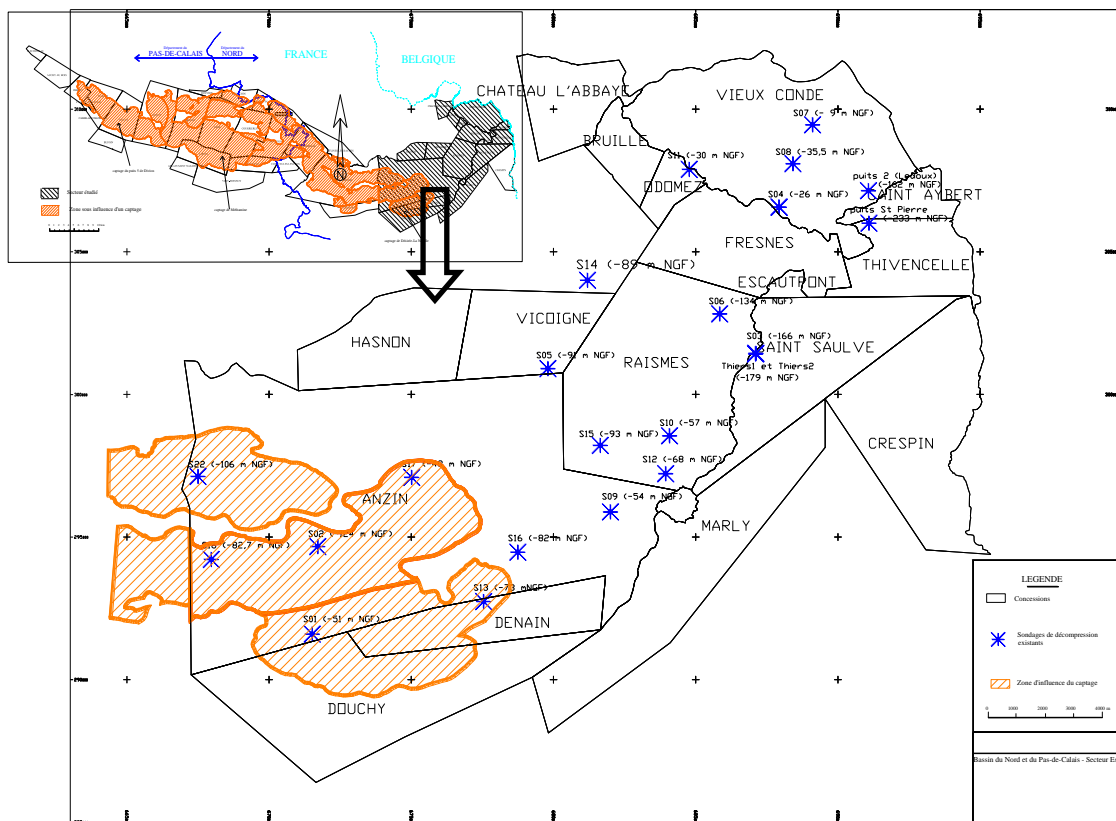


Figure 4 : Localisation géographique du BNPC et des concessions du secteur Est (les zones oranges représentent l'influence du captage de gaz de mine)

3. MATERIELS ET METHODES

3.1 TYPES DE MESURES ET DE MATERIELS UTILISES

Afin de comprendre les mécanismes régissant les flux gazeux, plusieurs paramètres ont été mesurés sur les ouvrages (voir Tableau 1). Pour plus de détails, on se reportera aux rapports spécifiques (Lagny, 2007 et Bentivegna et al., 2009).

Nature et emplacement des mesures		Résolution	Gamme de mesure
Paramètre des gaz miniers	Oxygène (O_2)	0,1%	0 à 30% vol.
	Dioxyde de carbone (CO_2)	0,025%	0 à 20 % vol.
	Méthane (CH_4)	0,1%	0 à 100 % vol.
	Radon (Rn)	-	0 à 1 GBq.m ⁻³
	Anémomètre	0,1 m.s ⁻¹	0 à 40 m.s ⁻¹
	Température du gaz	0,1°C	- 40 à + 60 °C
Paramètres externes	Température	0,1°C	- 40 à + 60 °C
	Pression barométrique	0,1 hPa	600 à 1060 hPa
	Pression différentielle ²	5 Pa	- 7000 à + 7000 Pa

Tableau 1 : Paramètres observés et caractéristiques des capteurs mis en œuvre

3.2 EXEMPLES D'INSTALLATION DE STATIONS DE MESURES

L'instrumentation mise en place dans les HBL est illustrée sur la Figure 5 et la Figure 6.



Figure 5 : Instrumentation du sondage SDEC OUEST 1 (g.) et du puits Barrois (d.)

Les stations de mesure qui équipent les ouvrages des trois bassins étudiés sont assez similaires.

² La pression différentielle (P_{diff}) résulte de la différence entre la pression de la mine et la pression atmosphérique. Une P_{diff} positive correspond à des travaux miniers en surpression par rapport à l'extérieur (écoulement sortant) tandis que P_{diff} négative correspond à des travaux miniers en dépression (écoulement entrant).

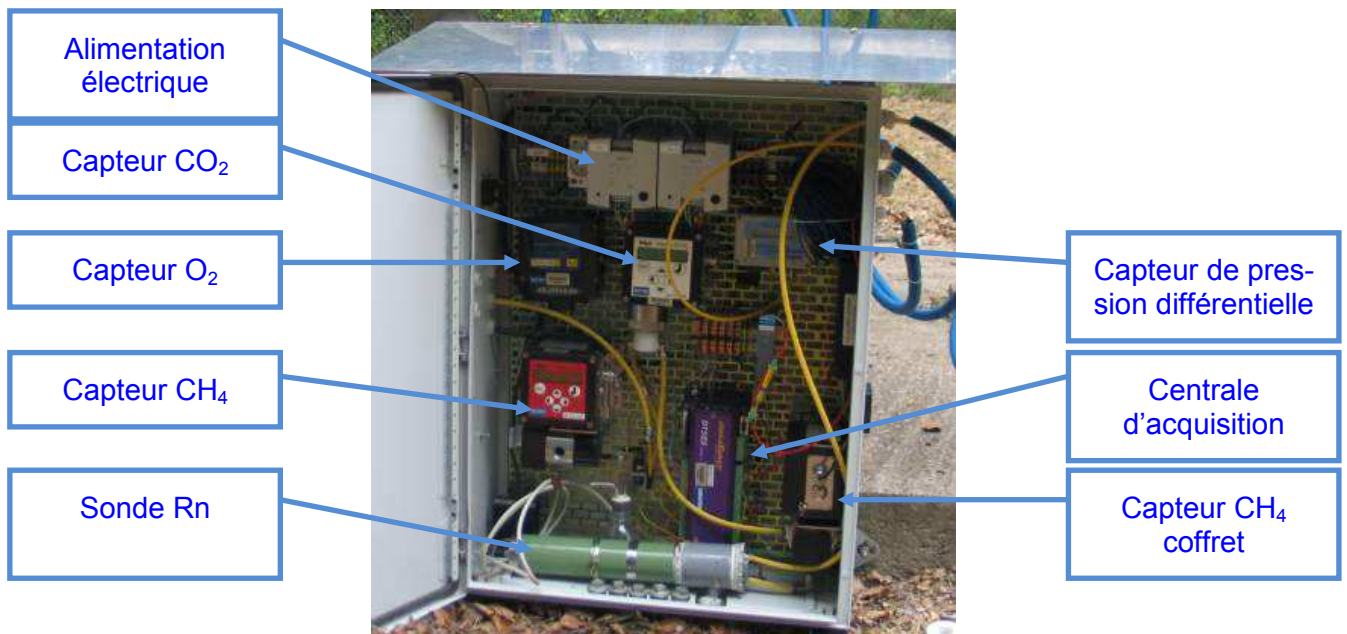


Figure 6 : Station de mesures standard

Il est à noter que les sondages de décompression et les événements dans les bassins houillers lorrain et du Nord-Pas-de-Calais sont équipés de clapets anti-retour. Ce dispositif, destiné à éviter les entrées d'air atmosphérique, reste fermé dans une situation normale. Il s'ouvre uniquement si la P_{diff} dans le sondage dépasse une valeur seuil (environ 200 Pa pour les HBL et 500 Pa pour le BNPC).

4. RESULTATS

4.1 BFL

Les figures suivantes (Figure 7, Figure 8 et Figure 9) résument les mesures effectuées sur une période de 4 ans sur la galerie G6 d'Algrange. Il est observé que :

- le sens d'écoulement présente une évolution saisonnière. L'ouvrage est majoritairement soufflant en été et aspirant en hiver ;
- la température du gaz fluctue selon les saisons. En période estivale, elle se stabilise autour de 12-13°C, température d'équilibre du gaz contenu dans les anciens vides miniers. En période hivernale (d'octobre à avril), la température du gaz prélevé est proche de celle de l'atmosphère extérieure. L'ouvrage est alors aspirant et le gaz est donc principalement de l'air atmosphérique qui pénètre dans les vides miniers ;
- il n'est pas mis en évidence de relation entre les variations de pression barométrique et le sens d'écoulement et entre le débit et la pression ou la température atmosphériques quel que soit le sens d'écoulement ;
- la teneur en CO₂ augmente avec la température extérieure. En période estivale, elle atteint 1,6%. L'activité volumique du radon présente les mêmes tendances et atteint 10 000 Bq/m³ lors des épisodes de sortie de gaz vicié ;
- la montée des eaux n'a pas modifié les modalités d'écoulement du gaz au niveau de l'exutoire : le sens d'écoulement est toujours régi par la valeur de la température extérieure et les débits restent inchangés. Par contre, la teneur en CO₂ a changé. Elle se stabilise autour de 0,5% alors qu'elle était supérieure à 1% avant la fin de l'ennoyage. L'activité volumique du radon ne présente pas d'évolution notable.

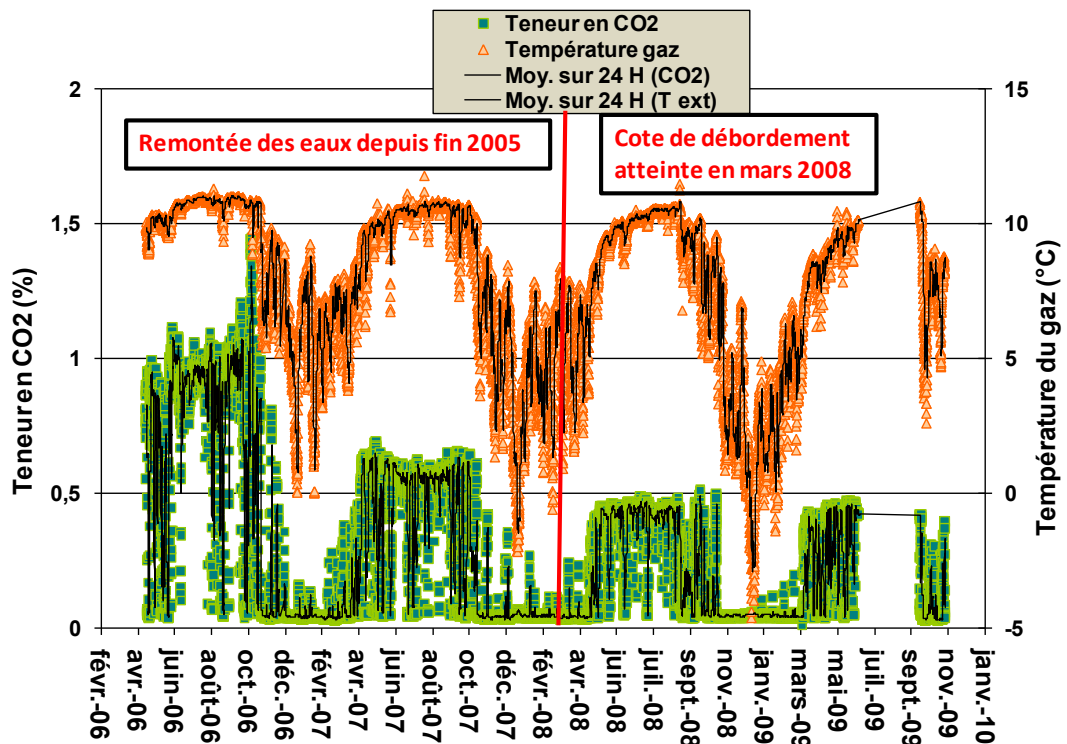


Figure 7 : Teneur en CO_2 et température du gaz pendant et après la remontée des eaux (galerie d'Algrange)

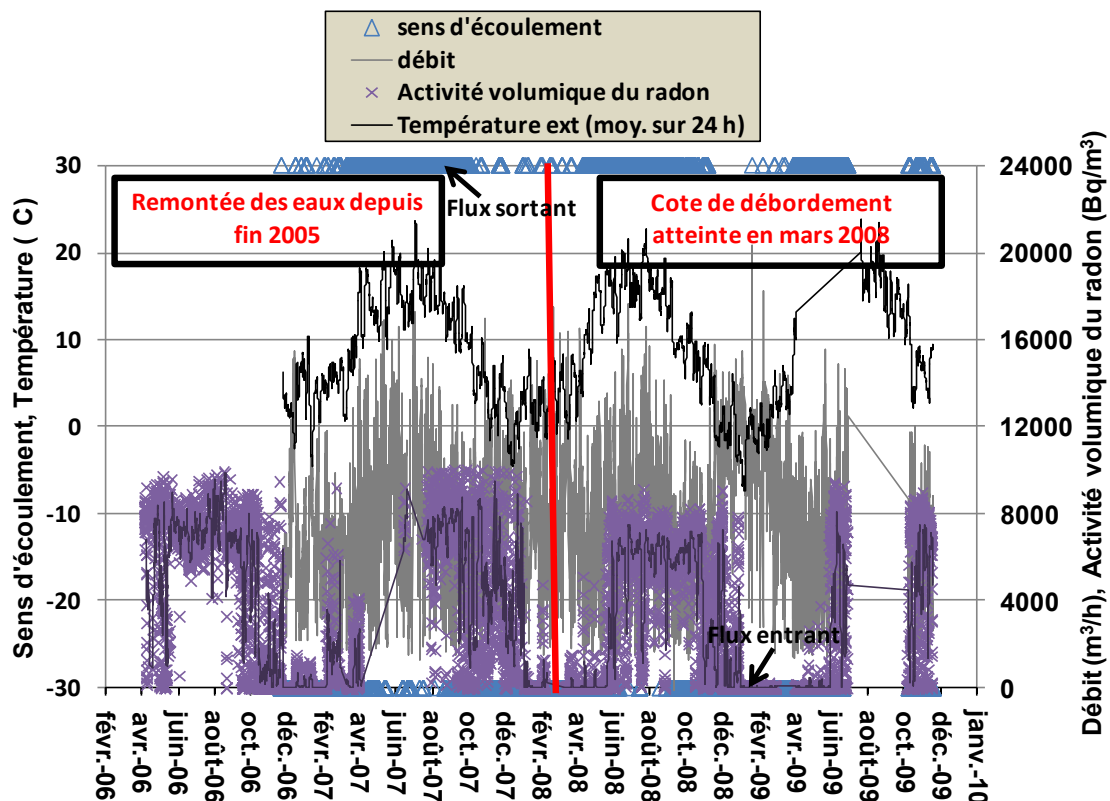


Figure 8 : Sens d'écoulement, débit de gaz, activité volumique et température extérieure pendant et après la remontée des eaux (galerie d'Algrange)

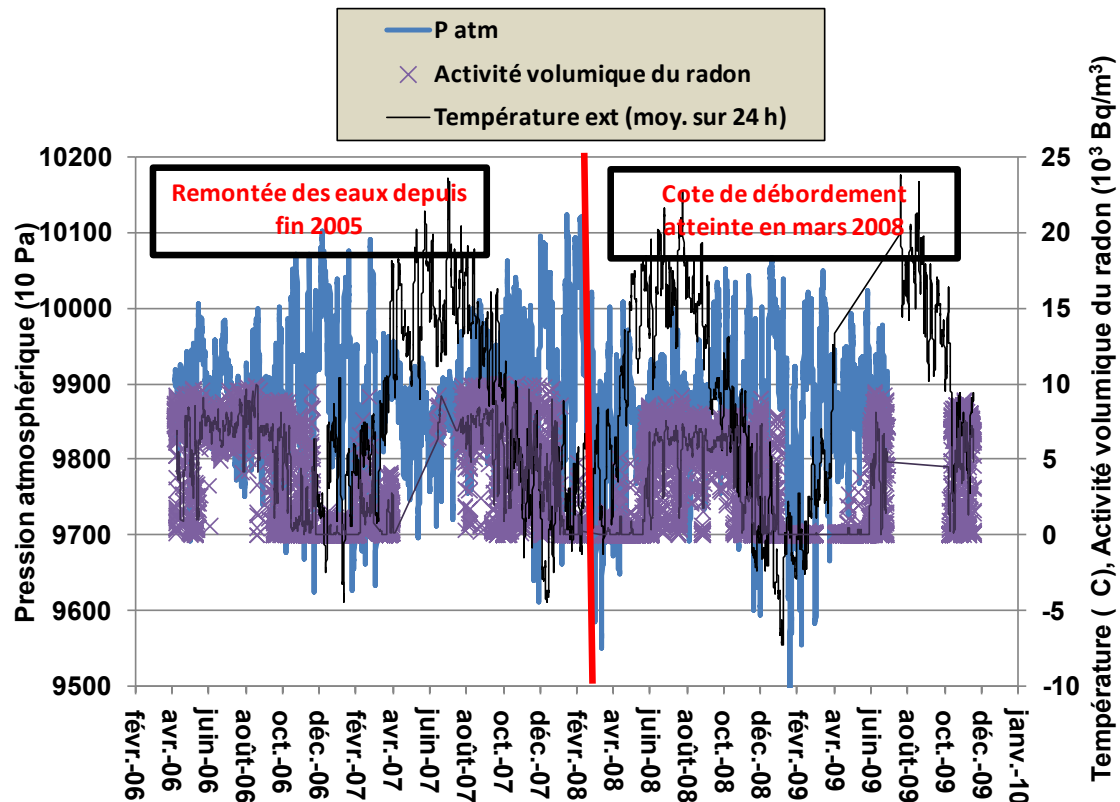


Figure 9 : Activité volumique, pression atmosphérique et température extérieure pendant et après la remontée des eaux (galerie d'Algrange)

4.2 HBL

La remontée des eaux a débuté fin 2006. En décembre 2008, le niveau d'eau atteignait 127 m NGF permettant de considérer que l'ensemble des travaux miniers des concessions de La Houve était ennoyé. Fin 2009, un pompage était mis en place au niveau du puits 1 pour maintenir la cote de l'eau à 187 m NGF.

4.2.1 AVANT ENNOYAGE DES VIEUX TRAVAUX

La Figure 10 présente un exemple caractéristique des résultats obtenus dans les HBL. Ils ont été acquis sur le puits Barrois en octobre 2007 et ont permis de faire les observations suivantes.

Le 10/10/2007, en une heure, la P_{diff} connaît un net accroissement en passant de 200 Pa à 470 Pa. Une fois la valeur seuil d'ouverture du clapet dépassée (ligne horizontale violette de la Figure 10), du gaz sort. La teneur en CH_4 atteint 100% vol. et l'activité volumique du radon dépasse 1200 Bq/m^3 . La P_{diff} décroît ensuite progressivement.

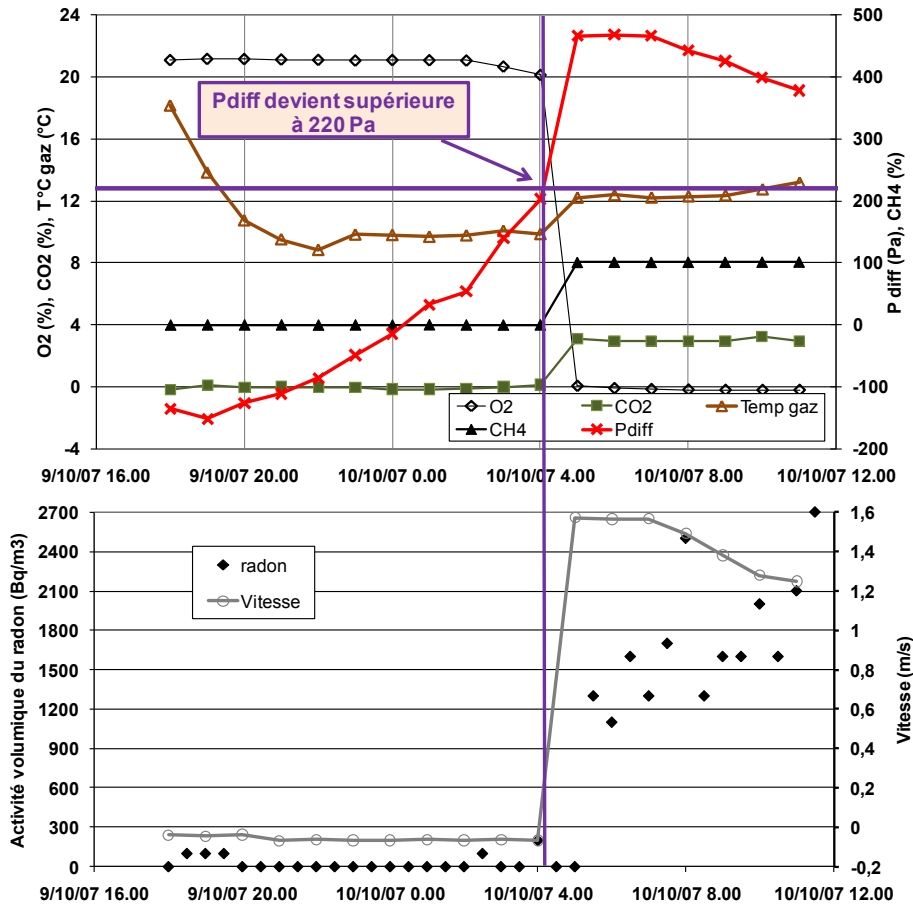


Figure 10 : Suivi des variations des teneurs en gaz et de l'activité volumique du radon au puits Barrois du 09/10/2007 au 10/10/2007

La P_{diff} , la pression barométrique et la température, tracées en fonction du temps (Figure 11), montrent clairement que les variations de P_{diff} sont opposées à celles de la pression barométrique. Au cours de cet épisode, elle varie entre -150 Pa et +450 Pa. Par contre, il n'est pas observé de relation entre la P_{diff} et la température.

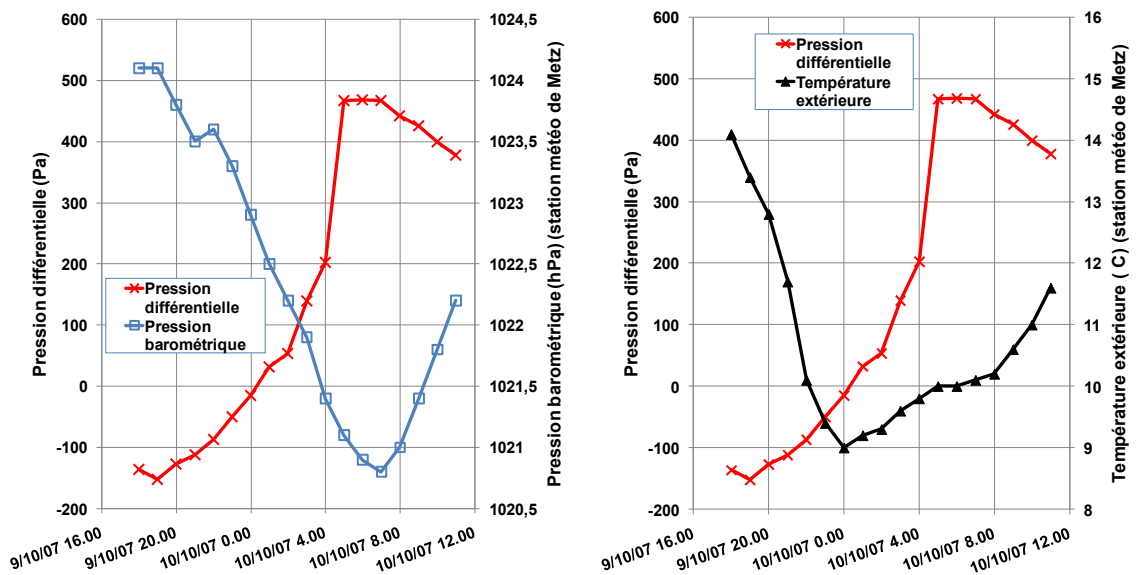


Figure 11 : Variations de la P_{diff} (mesurée sur le puits Barrois), de la pression barométrique et de la température extérieure avec le temps

Des observations similaires ont été faites sur le sondage SDEC OUEST 1.

4.2.2 APRES ENNOYAGE DES VIEUX TRAVAUX

Les graphes de la Figure 12 présentent les enregistrements obtenus lors de l'ennoyage des derniers grands vides résiduels au niveau du puits Barrois. La pression barométrique n'a plus guère d'influence sur la P_{diff} . Cette dernière ne présente plus de variations suffisantes pour permettre la sortie de gaz dont la température et la composition se rapprochent de celle de l'atmosphère. Il n'y a cependant que peu d'échanges avec l'extérieur du fait de l'action du clapet anti-retour qui reste fermé.

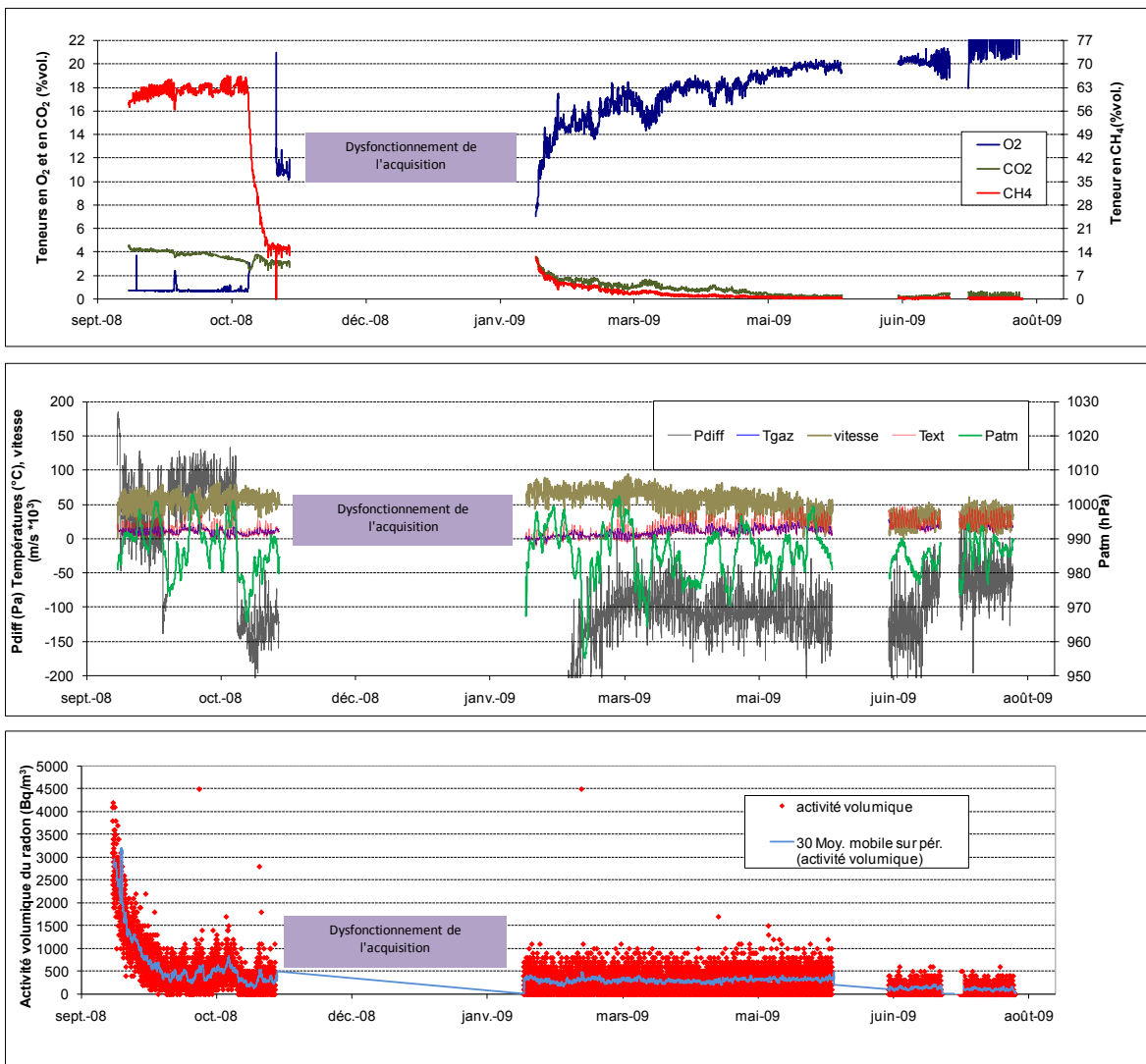


Figure 12 : Mesures sur le puits Barrois au cours de l'ennoyage des derniers vides

4.3 BNPC

Les nombreuses observations faites sur les ouvrages montrent que les variations de la P_{diff} sont opposées à celles de la pression barométrique (Lagny, 2005).

Dans le même temps, la pression des vides miniers mesurée en tête des ouvrages varie peu, ce qui s'explique par une grande inertie du réservoir souterrain lié à son volume très important (63 Mm^3) : toutefois des changements sensibles ont pu être observés lors du passage de fortes perturbations barométriques. Ce comportement peut être illustré par la Figure 13 qui présente le suivi sur une période de 10 jours de la pression barométrique et de la P_{diff} sur le sondage S11. Ce sondage débouche vers les vides post miniers de la concession de Vieux Condé, située dans l'extrémité Est du BNPC.

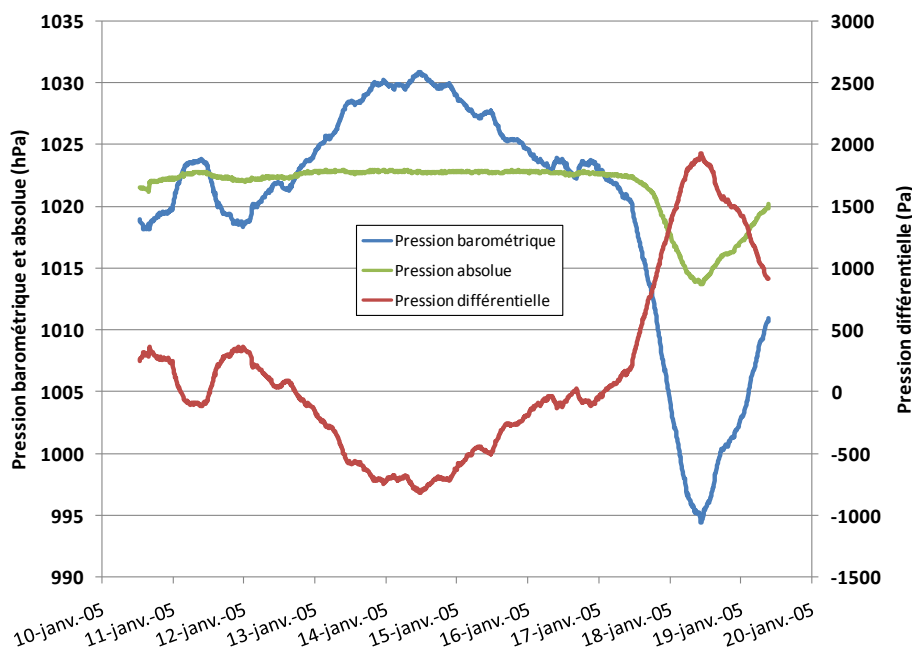


Figure 13 : Pressions barométrique, différentielle et absolue en fonction du temps au niveau du sondage S11 de la concession de Vieux Condé

Les variations de pression barométrique ont induit des fluctuations de P_{diff} comprises entre -550 et +2000 Pa. Le passage d'une forte dépression barométrique du 18 au 19 janvier a entraîné une baisse notable de la pression des vides miniers qui ne peut s'expliquer que par un rééquilibrage progressif des pressions dû à des sorties de gaz des vides souterrains vers la surface.

L'influence de la température avait été étudiée en 2004 sur un sondage de ce bassin, S15 situé sur la commune « Petite forêt » de la concession de Raismes. Les mesures ont montré (Figure 14) que les fluctuations de température atmosphérique (comprise entre 8 et 25 °C) induisent systématiquement des variations de pression dont l'amplitude maximale reste toutefois inférieure à 300 Pa.

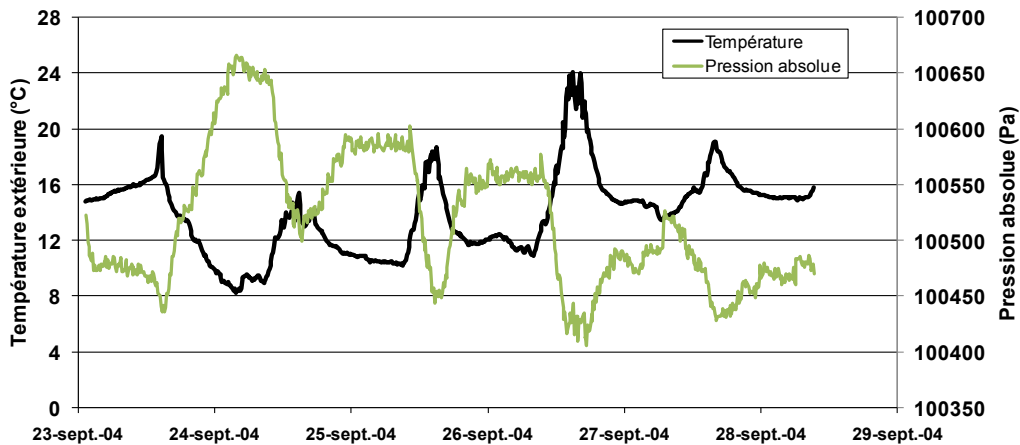


Figure 14 : Pression absolue en fonction de la température du 23 au 28 septembre 2004 (sondage S15 de la concession de Raismes)

5. INTERPRETATIONS

5.1 SYNTHÈSE DES RESULTATS CONCERNANT LE BFL

Sur les ouvrages instrumentés du bassin nord, le moteur d'écoulement principal est le tirage thermique. Le rôle de la pression barométrique n'est pas mis en évidence. La température extérieure joue un rôle majeur sur l'écoulement du gaz aussi bien pendant la remontée des eaux qu'après la stabilisation du niveau d'envoyage. La montée de l'eau n'a sans doute pas coupé les liaisons préexistantes et l'on n'observe pas de changements majeurs sur les modalités d'écoulement, de composition et de débit du gaz vicié.

Ces mesures confirment les observations réalisées sur les exploitations de Moyeuve-Grande, dans la partie centrale du BFL. Les mesures poursuivies depuis 15 ans sur les galeries G7 et G37 débouchant dans ce réservoir, montrent que les échanges gazeux n'évoluent pas de manière significative dans le temps et que le moteur d'écoulement du gaz reste le tirage thermique (Lagny, 2011). Le schéma d'échanges gazeux dans le BFL a été proposé en 1999 (Pokryszka, 1999). En période estivale, il est représenté par la Figure 15.

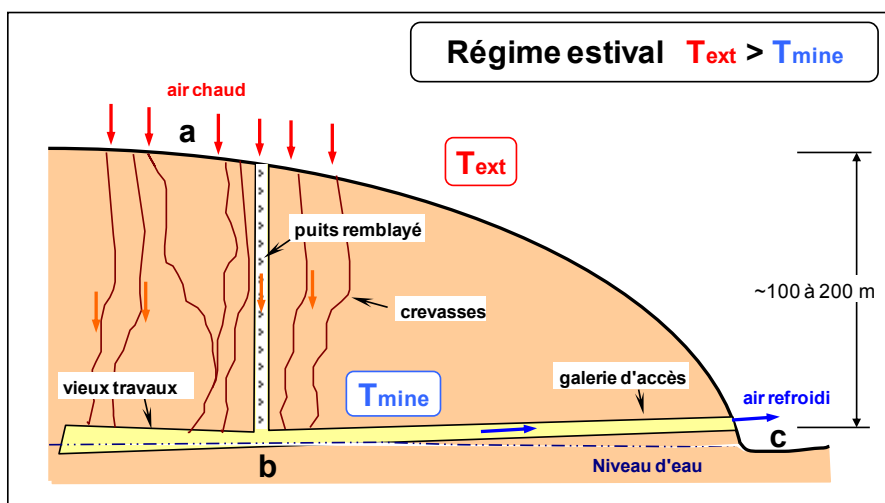


Figure 15 : Dynamique des échanges gazeux en période estivale

Tant que les principaux circuits de migration de gaz ne sont pas coupés, la composition et le mode d'écoulement du gaz vicié restent indépendants du niveau d'eau et de sa stabilisation éventuelle dans la phase d'établissement de l'équilibre hydrodynamique. Les suivis plus anciens sur les galeries G7 ou G37 situées à Moyeuvre-Grande corroborent cette observation.

5.2 SYNTHÈSE DES RESULTATS CONCERNANT LES DEUX BASSINS HOUILLERS

Les anciens vides miniers de ces deux bassins constituent un système fermé : leurs puits sont majoritairement bouchés et/ou remblayés et il n'y a pas d'ODJ franchement ouverts. Ces vides sont fortement influencés par les variations de la pression atmosphérique. Ce facteur constitue le moteur principal d'écoulement du gaz de mine vers la surface. Tant que le volume des vides est suffisamment important, les variations de pression barométrique entraînent des variations opposées de P_{diff} . De ce fait, les chutes de pression barométriques entraînent une augmentation de la P_{diff} et peuvent donc provoquer une sortie de gaz depuis les vides miniers.

Dans le BNPC, il a été possible d'observer des valeurs de P_{diff} considérables (plusieurs milliers de Pa), générées par les variations de pression barométrique. Inversement, le rôle de la température extérieure reste très faible et difficile à appréhender. Le vent pourrait également influencer la dynamique des écoulements, mais son rôle n'a pas été étudié ici.

Le remplissage des vides miniers du à la remontée des eaux atténue de manière très importante l'influence des variations de la pression barométrique sur les sorties de gaz, pouvant aller jusqu'à l'arrêt des sorties de gaz : l'expérience montre, que la présence d'une colonne d'eau au-dessus des couches de charbon non exploitées réduit la désorption de méthane (Pokryszka et al. 2005). L'exemple du réservoir de La Houve dans les HBL illustre bien cette tendance : depuis le remplissage des vides miniers par l'eau, il n'est plus observé de sortie de gaz sur aucun des deux ouvrages instrumentés.

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les deux secteurs des bassins houillers étudiés peuvent être qualifiés de système fermé contrairement à celui du BFL qui est plutôt un système ouvert.

Pour chacun des deux types de bassin, le moteur d'écoulement principal est différent. Pour le système fermé, la pression barométrique en est le facteur principal tandis que pour le système ouvert, cela devient le tirage thermique.

Ces investigations faites sur certains anciens bassins miniers mériteraient d'être étendues à d'autres vieux travaux miniers ou à des carrières souterraines pour préciser les principes d'écoulement au sein des vides souterrains selon leur contexte hydrogéologique, leur configuration topographique et leurs modalités de fermeture.

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Y. BABOT et A. TOGNETTI, 2003 : Conséquences de la fermeture des mines sur la circulation des eaux. Modélisation avec débordement minier. Rapport ANTEA n°A26885/C.

G. BENTIVEGNA, S. LAFORTUNE et M. BENNANI, 2009 : Suivi des effets de l'ennoyage du bassin ferrifère nord lorrain. Rapport INERIS DRS-09-95102-01277A du 03/04/2009.

R. BURRELL and K. WHITWORTH, 2000 : The influence of minewater recovery on surface gas and water discharges in the Yorkshire Coal Field. Proceedings of the 7th Int. Minewater Association Congress, Ustrom, Poland 2000 : p81-90.

W.H.N. CARTER and C.S. DURST, 1955 : The influence of barometric pressure changes on the emission of fire-damp. Trans. Inst. Min. Engrs., London.

H. HALL, P. YOUNGER and S. GLENDINNING, 2006 : Is minewater a source of hazardous gas ? IAEG 2006 Paper number 349.

H. HARRIES, 1926 : On the relationship between barometric pressure and gas in mines. *Geophysic. J. Int.*, 1 : p307-318.

C. LAGNY, 2005 : Modélisation de la pression du réservoir post-minier et des débits de gaz passant par les exutoires du secteur Est du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. Rapport INERIS DRS-05-45883/R05 du 29/09/2005.

C. LAGNY, 2007 : Note sur l'ennoyage du bassin ferrifère nord. Note INERIS DRS-07-86096-14928A du 10/12/2007.

C. LAGNY, 2011 : Moteurs d'écoulement et émissions de gaz de mine dans le bassin houiller lorrain et dans le bassin ferrifère lorrain en cours d'ennoyage et après ennoyage. Rapport INERIS DRS-11-111952-00760A du 30/01/2011.

E. LAGRANGE, 1924 : Les mines diamantifères de Kimberley, les dégagements gazeux et la pression barométrique. *Journal Ciel et Terre*, Volume 40, Brussels : p307-308.

Z. POKRYSZKA, 1999 : Essai d'évaluation du rôle potentiel du tirage naturel dans le phénomène des émissions gazeuses à Moyeuve-Grande. Rapport INERIS DRS-99-21476/R06 du 20/09/1999.

Z. POKRYSZKA, 2001 : Etude aéraulique des réservoirs miniers Lexy, Mexy et Godbrange (n°3b, 6 et 8b). Rapport INERIS DRS-01-27242/R01 du 7/08/2001.

Z. POKRYSZKA, 2005 : Etude préliminaire de la ventilation naturelle thermique des travaux miniers non ennoyés à terme dans la partie Nord du bassin ferrifère lorrain. Rapport INERIS DRS-05-64792/R01 du 17/02/2005.

Z. POKRYSZKA and D. GRABOWSKI, 2004 : Emissions gazeuses à partir des vides miniers dans le bassin ferrifère lorrain. *Revue Française de Géotechnique*, vol. 106-107 : p31-37, 1^{er} et 2^{ème} trimestres 2004.

Z. POKRYSZKA, C. TAUZIÈDE, C. LAGNY et Y. GUISE, 2005 : Gas Migration from Closed Coal Mines to the Surface. Risk assessment Methodology and Prevention Means, International Conference Post-Mining 2005, 16-17 November, Nancy, France.

P. SENOVSKY and T. TRUNECEK, 2001 : The use of the principles of gas flow to determine gas emissions to surface from closed mines. 10th Int. Symposium on Mine Planning and Equipment Selection. New Delhi, India, 19-21 Nov. 2001 : p829-833.

V. STRAKOS, 2001 : The problems of underground gas flowing into areas with closed coal mining activity. 10th Int. Symposium on Mine planning and equipment selection. New Dehli, India, 19-21 Nov. 2001 : p835-842.