

Prévision du dégagement quotidien de grisou en traçage

Christian Tauziède, Jean-Pierre Josien, Pierre Schroeter

► **To cite this version:**

Christian Tauziède, Jean-Pierre Josien, Pierre Schroeter. Prévision du dégagement quotidien de grisou en traçage. 24. Conférence Internationale des Instituts de Recherches sur la Sécurité dans les Mines, Sep 1991, Donetsk, Ukraine. pp.163-177. ineris-00971828

HAL Id: ineris-00971828

<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00971828>

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.

PREVISION DU DEGAGEMENT QUOTIDIEN DE GRISOU EN TRACAGE

C. TAUZIEDE, J-P. JOSIEN
INERIS, Verneuil-en-Halatte, FRANCE

P. SCHROETER
HOUILLERES DU BASSIN DE LORRAINE, Merlebach, FRANCE

1. INTRODUCTION

L'approfondissement de l'exploitation et la mécanisation des chantiers sont deux facteurs principaux de l'accroissement des dégagements de grisou unitaires. En effet, à des fins de rentabilité de l'exploitation, une meilleure sélection du gisement à exploiter entraîne souvent la prise de panneaux dans des zones vierges, non influencées par des exploitations antérieures. L'approfondissement aidant, il n'est pas rare d'exploiter des veines ayant des concentrations en grisou de $10 \text{ m}^3/\text{t}$, des ouvertures de l'ordre de 3 à 4 mètres et situées dans des faisceaux denses.

Par ailleurs, les chantiers de creusement en veine sont maintenant tous équipés de machines à attaque ponctuelle qui permettent des avancements quotidiens de l'ordre de 10 mètres. Ainsi, il n'est pas rare de constater des dégagements de l'ordre de $10\ 000 \text{ m}^3$ de méthane pur par jour dans des chantiers situés dans de telles conditions.

Bien que les équipements de ventilation secondaire de ces chantiers aient progressé au point de permettre des débits de l'ordre de $15 \text{ m}^3/\text{s}$ (1,3 million de m^3/jour !), le frein majeur de ces chantiers reste le grisou.

Il est donc important de pouvoir prévoir, dès le stade de la planification d'un chantier, le dégagement de grisou dans les conditions géologiques et d'exploitation dans lesquelles il se situe, ceci dans un double but :

- de productivité : par une meilleure choix de l'équipement en matériel (dimensionnement de l'installation de ventilation) et en hommes (répartition des postes de production dans le temps),
- de sécurité : par une diminution du nombre et de la durée des dépassements des teneurs limites réglementaires.

La méthode présentée ici est une tentative de prévision du dégagement quotidien de grisou pour un chantier de creusement par un modèle physique calé sur des résultats expérimentaux.

2. DESCRIPTION DE LA METHODE DE PREVISION

2.1. Généralités

Des travaux antérieurs effectués au Cerchar avaient permis la mise au point d'une méthode de prévision du dégagement moyen valable en dehors de la période de démarrage du chantier (et donc de montée en régime du dégagement grisouteux). Compte tenu des rythmes d'avancement actuels des chantiers, cette période occupe une place

importante dans la vie d'un traçage (parfois la moitié ou les deux tiers), et donc rend la méthode de prévision peu utilisable.

Une recherche effectuée en Grande-Bretagne [British Coal, 1989] a permis de développer une méthode empirique de prévision du dégagement au jour le jour et de jeter les bases d'un modèle de prévision basé sur la théorie d'Airey. En Allemagne également, des travaux [Janas & al., 1987] ont abouti à un modèle de prévision de dégagement de grisou en creusement. Ces deux dernières méthodes représentent la variation dans le temps du dégagement de grisou d'un tronçon unitaire de parement par une loi exponentielle. Les paramètres de cette loi ont été fixés à la suite d'études sur de nombreux chantiers.

Nous avons souhaité, en ce qui nous concerne, tout en nous inspirant de ces travaux et en appliquant les mêmes principes, faire dépendre les paramètres de la loi exponentielle des conditions locales du panneau de veine considéré. Pour cela, il est nécessaire de disposer de mesures du dégagement de grisou faites sur un chantier de référence afin de déterminer les dits paramètres et les utiliser ensuite pour la prévision proprement dite pour d'autres traçages situés dans les mêmes conditions de gisement et d'exploitation.

Le modèle [CERCHAR, 1990] prend en compte le dégagement de grisou en provenance :

- des parements de la veine découpée,
- des terrains encaissants (roches et veines satellites) dans la zone d'influence de la galerie,
- des produits abattus et transportés pendant leur séjour dans le chantier.

Dans un état actuel, il ne prend pas en considération le grisou venant de la zone située en avant du front de creusement.

2.2. Expression mathématique du dégagement de grisou

2.2.1. Grisou provenant de la veine découpée et des terrains encaissants

Le creusement d'une galerie entraîne une détente des terrains avoisinants et une fissuration de ces derniers. Celle-ci est propice au dégagement du méthane contenu sous forme de gaz libre dans les roches et surtout de gaz adsorbé dans le charbon.

Le dégagement est :

- créé par la différence de pression du méthane entre le charbon dans son état original (pression qui peut être couramment de l'ordre de 5 à 15 bars) et la galerie (pression partielle de méthane de l'ordre de 0 bar),
- permis par le réseau de fissures qui se développe au moment et après le creusement.

La zone de fissuration atteint au bout de quelques temps une limite qui peut être considérée comme finie et de la forme d'un cylindre axé autour de la galerie. Le rayon de ce cylindre

d'influence est de l'ordre de 6 à 8 fois le rayon équivalent de la galerie.

Ainsi, au bout d'un temps de l'ordre de quelques mois, les terrains encaissants ont dégagé vers la galerie la totalité du méthane mobilisable. L'intensité de ce dégazage décroît avec la distance au parement de la galerie selon une courbe représentée à la figure 1.

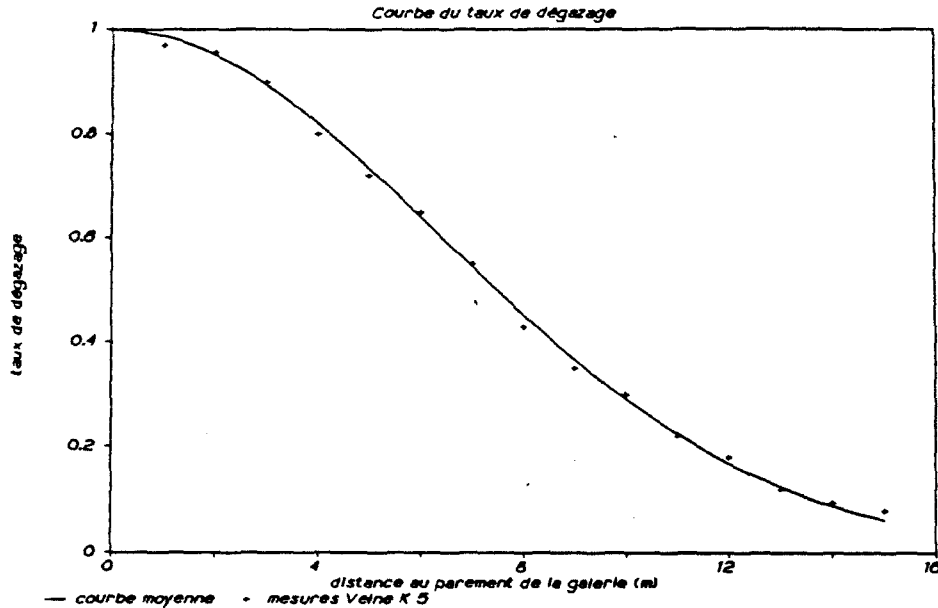


Figure 1

On observe ainsi que le dégagement de méthane des terrains vers un tronçon élémentaire de galerie varie en fonction du temps selon les courbes représentées à la figure 2.

La présente méthode consiste à représenter mathématiquement la variation dans le temps du dégagement cumulé de méthane vers un tronçon élémentaire de galerie par la fonction :

$$Q(t) = Q_{\infty} \left[1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^{\alpha}} \right] \quad (1)$$

où : . Q_{∞} est le volume total de méthane susceptible de se dégager au bout d'un temps infini, conformément aux considérations précédentes,

. t est le temps, c'est-à-dire l'âge du tronçon en question,

. α et t_0 sont des paramètres : $\alpha < 1$ et est sans dimension et t_0 a la dimension d'un temps.

Ainsi, si l'on considère que le traçage est à un moment donné la juxtaposition de tronçons quotidiens, le volume total de méthane qui se dégagera le N ième jour à partir des parements de l'ensemble du traçage sera :

$$G_p(N) = \sum_{i=1}^N q(i) \quad (2)$$

où $q(i)$, volume dégagé dans le tronçon i , d'âge $N-i$, est d'après (1) :

$$q(i) = Q(N-i+1) - Q(N-i) \quad (3)$$

(ce raisonnement suppose l'existence de tronçons fictifs de longueur nulle les jours d'arrêt du creusement).

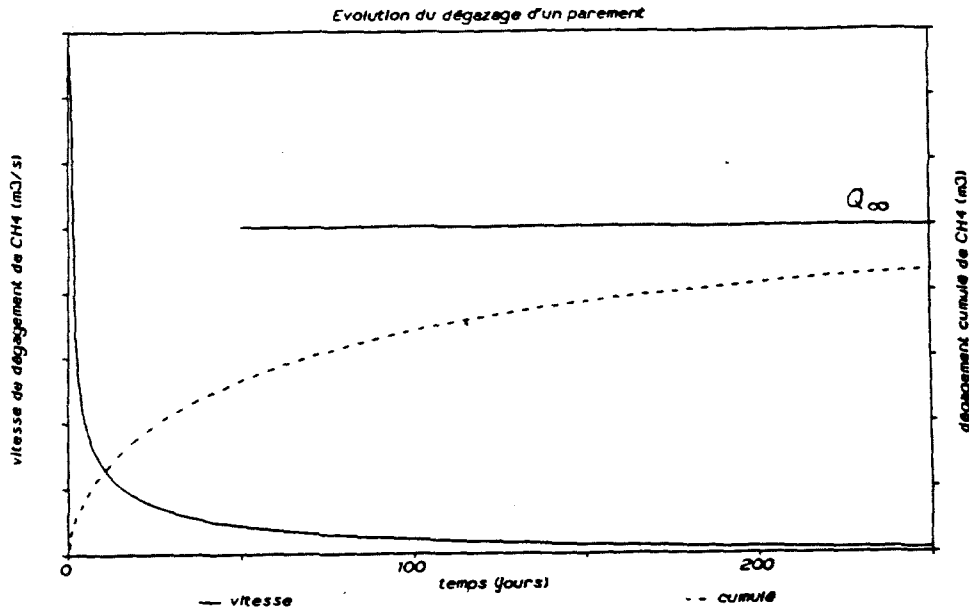


Figure 2

On a donc, d'après (1), (2) et (3) :

$$G_p(N) = \sum_{i=1}^N Q_{\infty}(i) \left[e^{-\left(\frac{N-i}{t_0}\right)^{\alpha}} - e^{-\left(\frac{N-i+1}{t_0}\right)^{\alpha}} \right] \quad (4)$$

Le calcul de $Q_{\infty}(i)$ se fait par sommation des volumes élémentaires de méthane provenant de chacun des bancs de roches ou veines de charbon se trouvant dans le volume d'influence défini précédemment. Chaque portion de banc de roche ou de veine contribue à $Q_{\infty}(i)$ en fonction de son taux de dégazage qui varie en fonction de sa distance au parement de la galerie comme évoqué précédemment et représenté à la figure 1. Cette variation a été représentée mathématiquement dans le modèle par la fonction :

$$\tau(r) = e^{-\left(\frac{r}{r_0}\right)^{\beta}} \quad (5)$$

. pour $r = 0$, $\tau(r) = 1$

- . pour $r = R_{\max}$ (rayon d'influence), $\tau(r)$ est considéré comme nul car inférieur à 0,01 par exemple,
- . r_0 et β sont des paramètres ($\beta > 1$ est sans dimension et r_0 a la dimension d'une distance et est proportionnel à R_{\max}).

Ces paramètres sont déterminés expérimentalement par mesure des concentrations résiduelles en méthane d'échantillons de charbon prélevés à différentes profondeurs dans un parement suffisamment ancien. De nombreuses mesures anciennes avaient permis de construire la courbe des concentrations résiduelles limites. Cette courbe est facilement assimilable à la fonction :

$$C(r) = C_1 + (C_{\infty} - C_1) \left[1 - e^{-\left(\frac{r}{r_0}\right)^{\beta}} \right] \quad (6)$$

de laquelle on déduit (5).

. C_1 est la concentration résiduelle en bordure du parement et est voisine (tout en étant inférieure) de la concentration du charbon sous 1 bar de pression.

. C_{∞} est la concentration résiduelle du charbon à une distance infinie (ou supérieure à R_{\max}), c'est-à-dire la concentration du charbon avant le creusement.

. Expérimentalement, nous avons obtenu des valeurs des paramètres suivantes :

$$\begin{aligned} \beta & - 2 \\ r_0 & - 9 \text{ m} \end{aligned}$$

Dans la présente méthode de calcul, nous avons fixé β à 2 et laissé r_0 paramétré car nous pensons qu'il peut varier d'un chantier à l'autre en fonction notamment de la profondeur du chantier et de la nature des strates.

Ainsi donc, $Q_{\infty}(i)$ en m^3 est la somme :

- du méthane provenant des veines de charbon :

$$(Q_{\infty})_C(i) = L(i) \iiint_V [C_{\infty}(i) - C(i,r)] \chi \, dV \quad (7)$$

- du méthane provenant des roches :

$$(Q_{\infty})_R(i) = L(i) \iiint_V [p_{\infty}(i) - p(i,r)] \frac{\omega(r)}{100} \, dV \quad (8)$$

où :

- V est le volume d'influence (volume de la galerie déduit)

- C est exprimée par l'équation (6), en m³/t,
 - p_∞(i) et p(i,r) sont (pour le tronçon i) la pression de gaz dans la roche respectivement à une distance infinie (pression initiale) et à une distance r du bord du parement. La pression p est liée à la concentration C par l'équation de Langmuir (isotherme du charbon) :

$$C = C_0 \frac{p}{p_0 + p} \quad (9)$$

où C₀ et p₀ sont des constantes propres au charbon considéré.

- . γ est la masse volumique du charbon, en t/m³
- . ω(r) est la porosité de la roche à la distance r, en %,
- . L(i) est la longueur du tronçon i.

$$\text{Finalement, } Q_{\infty}(i) = (Q_{\infty})_C(i) + (Q_{\infty})_R(i) \quad (10)$$

2.2.2. Grisou provenant du charbon abattu et transporté

De nombreux travaux ont été réalisés sur le dégazage de morceaux de charbon, en particulier au CERCHAR [Gunther, 1965] où l'on a déterminé les courbes représentant la cinétique de désorption pour différentes granulométries. Il a notamment été montré qu'au début du phénomène la cinétique de désorption d'un grain sphérique peut s'exprimer de manière approchée par :

$$f(t) = \frac{v(t)}{v_{\infty}} = \frac{12}{d} \sqrt{\frac{Dt}{\pi}} \quad (11)$$

où :

- . v(t) est le volume de méthane désorbé au bout du temps t, en m³,
- . v_∞ est le volume de méthane désorbé au bout d'un temps infini, en m³,
- . d est le diamètre du grain, en cm,
- . D, coefficient de diffusion, vaut 10⁻¹⁰ cm²/s à la température ambiante,
- . t est le temps en s.

Le charbon abattu dans un traçage présente des granulométries très variables, de quelques microns à quelques centimètres, voire décimètres.

Il n'est pas possible de calculer avec l'équation (11) la part de méthane provenant de chacune des tranches granulométriques et de les additionner, car :

- pour les grains de très petit diamètre, l'approximation n'est possible que pendant un laps de temps très faible (par exemple moins d'une minute pour un grain de 25 microns, moins de 15 minutes pour un grain de 0,1 mm).
- les gros morceaux de charbon ne se comportent pas comme un gain de matière homogène, du fait de la fissuration importante qui accélère la désorption.

Quoi qu'il en soit, des expérimentations réalisées en laboratoire nous ont permis d'assimiler la cinétique de désorption de charbon tout-venant à une loi en \sqrt{t} , dans les premiers moments.

Ainsi, le volume total de méthane provenant du charbon abattu et transporté le jour N est :

$$G_A(N) = C_{\infty}(N) \cdot T(N) \cdot \frac{12}{d_e} \sqrt{\frac{D t_s(N)}{\pi}} \quad (12)$$

avec :

- . $C_{\infty}(N)$, concentration initiale du charbon abattu le jour N, en m^3/t ,
- . $T(N)$, tonnage abattu, le jour N, en t,
- . d_e , diamètre de grain équivalent, égal à 0,278 cm
- . $t_s(N)$, temps de séjour du charbon abattu dans le creusement le jour N, en s.

Ce temps dépend de l'élongation du creusement le jour N et de la vitesse des engins de transport. Dans la pratique une partie du charbon est stockée à chaque cycle pendant la durée de l'abattage. Il suffit, pour tenir compte de ce fait, de partager le tonnage abattu en des fractions ayant des temps de séjour différents.

2.3. Principe du calcul. Recherche des paramètres.

Le volume total dégagé le jour N par l'ensemble du traçage s'exprime donc par :

$$G(N) = G_p(N) + G_A(N) \quad (13)$$

$G_p(N)$ et $G_A(N)$ provenant respectivement des formules (4) et (12).

Si l'on dispose, pour un chantier de référence, de mesures permettant de connaître le dégagement réel jour par jour de méthane dans ce traçage, $G_{mes}(N)$, pour $N = 1$ à Z (durée totale du chantier en jours calendaires), on recherche les valeurs des paramètres qui minimisent les écarts entre des volumes mesurés et les volumes calculés selon la formule (13).

On utilise la méthode des moindres carrés. On a, en effet, vérifié que les écarts étaient distribués selon une loi normale, ce qui en justifie l'usage.

La méthode consiste donc à chercher le minimum de la fonction :

$$e(\alpha, t_0, r_0) = \sum_{N=1}^Z [G_{mes}(N) - G(N)]^2 \cdot b(N) \quad (14)$$

où $b(N)$ vaut 1 si $G_{mes}(N)$ est connu et 0 si $G_{mes}(N)$ est inconnu (les volumes de méthane dégagé pendant les premiers jours du traçage ne peuvent, en général, pas être mesurés).

Cette fonction e dépend des trois paramètres :
 . r_0 qui représente (à un facteur multiplicatif près) l'étendue du dégazage créé par le creusement autour de lui,
 . α et t_0 , les deux paramètres de la fonction exponentielle (1) qui expriment la façon dont la limite finale du dégazage est atteinte dans le temps.

Les calculs sont réalisés sur ordinateur de la façon suivante :
 - pour r_0 fixé à 9 m (Cf 2.2.1.) on recherche le couple (α, t_0) qui minimise la fonction e de la formule (14),
 - ensuite on vérifie que :

$$\sum_{N=1}^Z G_{mes}(N) b(N) = \sum_{N=1}^Z G(N) b(N) \quad (15)$$

Si tel n'est pas le cas, on ajuste r_0 jusqu'à ce que l'on trouve un couple (α, t_0) qui satisfait l'équation (15).

Lorsque l'on a déterminé ces trois paramètres, il est possible d'effectuer toutes les simulations souhaitées pour un chantier futur avec des hypothèses d'avancement différentes.

On obtient, par l'expression (13), l'évolution prévisible du débit total susceptible de se dégager jour par jour dans le chantier pendant toute sa durée de vie.

3. APPLICATION A DES CAS CONCRETS

3.1. Recherche des paramètres

Trois chantiers ont été étudiés et leurs paramètres α , t_0 et r_0 recherchés :

- U.E. Forbach, veine K, panneau 5, voie de base à 1150,
- U.E. Forbach, veine Henri, panneau 1, voie de tête à 850,
- U.E. Reumaux, veine Irma, panneau 1 Nord, voie de base à 1140.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 1.

	α	t_0	r_0
Veine K	0,64	123 jours	9,0 m
Veine Henri	0,71	10 jours	10,8 m
Veine Irma	0,56	42 jours	9,0 m

Tableau 1

Le meilleur ajustement a été obtenu avec Henri pour lequel la figure 3 présente en regard de l'avancement journalier, les courbes des dégagements quotidiens de méthane mesuré et calculé.

Henri 1 Voie de Tête à 850

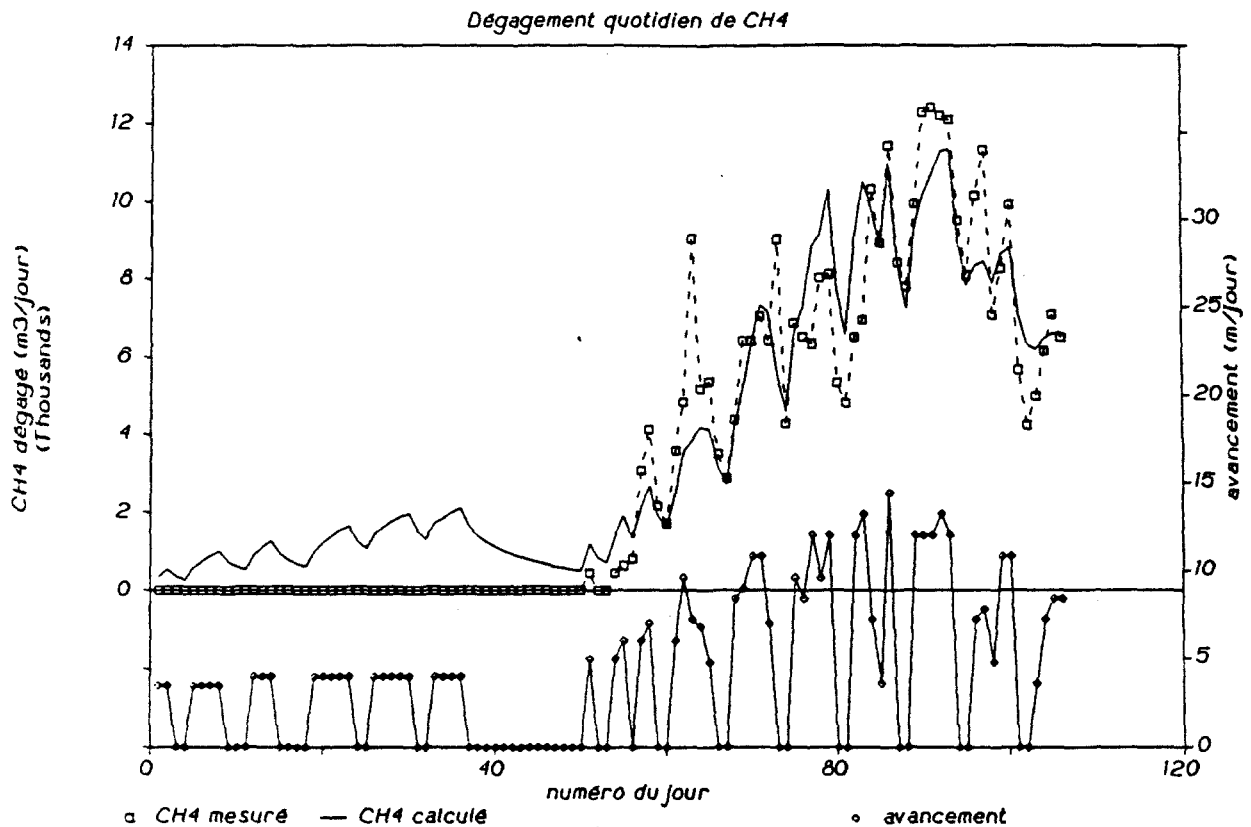


Figure 3

3.2. Prévision de dégagement

Une fois les paramètres obtenus, de nombreuses variantes de prévision ont été réalisées (pour chaque veine, avec des avancements différents...). Nous présentons à la figure 4 un exemple de comparaison des dégagements de méthane prévisibles pour chacune des trois veines étudiées avec un avancement identique de 10 m/jour à raison de 5 jours par semaine.

4. DISCUSSION

4.1. Qualité des résultats obtenus

On a constaté, avec les trois exemples traités, que l'ajustement des paramètres était meilleur avec le chantier de la veine Henri que celui du chantier de la veine Irma, qui lui-même est meilleur que celui du chantier de la veine K. Il est clair qu'une méthode empirique d'ajustement de paramètres a l'inconvénient de faire entrer, dans les dits paramètres, un certain nombre de phénomènes et notamment des erreurs sur les variables introduites. En particulier, l'erreur commise sur les volumes de grisou dégagé quotidiennement a une importance sur les résultats. Cette erreur peut être grande si l'on ne prend pas de précaution particulière pour réaliser les

Comparaison Henri-Irma-K

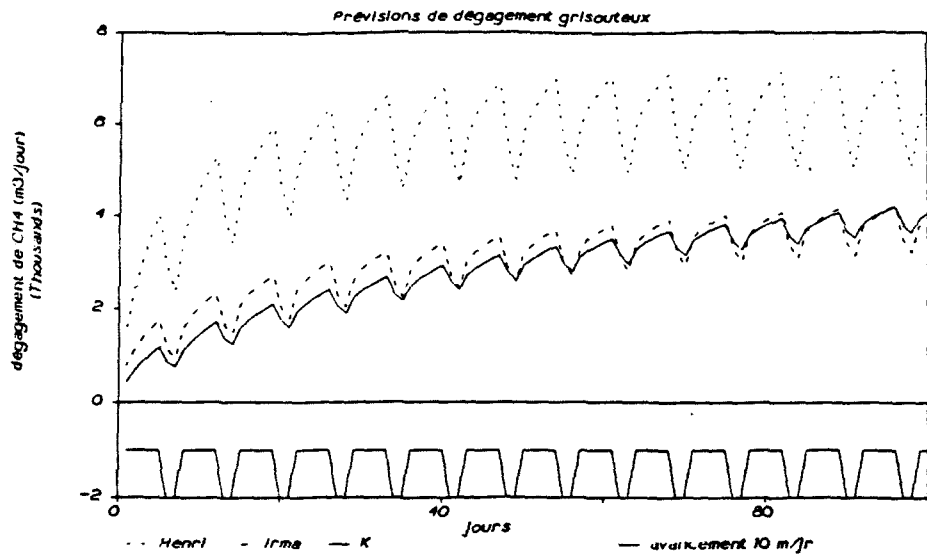


Figure 4

mesures. En effet, ces valeurs sont obtenues par la formule suivante :

$$G_{mes} = 864 A (x_s - x_e) \quad (16)$$

où :

- G_{mes} est le volume de méthane dégagé par jour, en m^3 ,
- A , le débit d'air dans le traçage, en m^3/s ,
- x_s et x_e , les teneurs en méthane à la sortie et à l'entrée du traçage, en %

Les erreurs de mesure sont typiquement :

- pour les mesures de teneurs, de l'ordre de 0,05 % CH_4 (erreur absolue, Δx),
- pour le débit d'air, de l'ordre de 10 à 20 % (erreur relative $(\frac{\Delta A}{A})$).

Dans l'hypothèse où :

$$\begin{aligned} A &= 10 \text{ m}^3/s \\ x_s &= 1 \% \\ x_e &= 0,1 \% \end{aligned}$$

on a une erreur relative :

$$\frac{\Delta G_{mes}}{G_{mes}} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta(x_s - x_e)}{x_s - x_e} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{2\Delta x}{x_s - x_e} = 0,37$$

Dans des cas extrêmes, l'erreur peut être plus grande encore. Mais elle peut être réduite dans des cas favorables, par exemple :

- si l'on soigne particulièrement les mesures d'aéragé et si on les répète régulièrement,

- si la teneur en entrée d'air est mesurée en continu ou mieux encore si elle est nulle,
- si les grisoumètres sont bien positionnés pour être représentatifs de la teneur moyenne de l'ensemble de la section de mesure,
- si les grisoumètres sont étalonnés régulièrement.

Il semble que ces erreurs expliquent, au moins en partie, le moins bon résultat obtenu pour la veine K où l'on observe des "sauts" très importants dans l'ordre de grandeur des volumes de méthane mesurés.

Les discordances entre prévision et observation peuvent également provenir de l'insuffisance de données relatives au gisement de grisou : variations locales de la concentration non prise en compte par les mesures de concentration réalisées, existence de soufflards...

Enfin, il ne faut pas perdre de vue que cette méthode de prévision ne permet de calculer que le dégagement journalier. Il ne prévoit pas les pointes pouvant provenir de la concentration de la production sur quelques heures dans la journée.

4.2. Limites

Rappelons également que le calcul ne prend pas en compte le dégagement de méthane en provenance du front (plus généralement du demi-espace en avant du front). Ceci n'introduit pas d'erreur majeure quant aux volumes de méthane obtenus en période d'avancement régulier. Ce dégagement est en fait faible comparé au dégagement des parements mis à nu chaque jour, compte tenu des avancements quotidiens élevés des chantiers. Enfin, le dégagement est tout de même comptabilisé, avec un décalage d'un jour (en une journée la profondeur de pénétration de la fissuration, donc du volume de ce dégazage, est habituellement inférieure à l'avancement).

De ce fait, pour les périodes d'arrêt, le calcul sous-estime légèrement le dégagement alors qu'il surestime, de la même quantité, le dégagement du jour (des jours) de reprise de l'avancement.

5. CONCLUSIONS

La méthode proposée permet d'effectuer une prévision du dégagement journalier de grisou dans un traçage rapide en gisement grisouteux. Elle est basée sur un modèle physique calé sur des résultats expérimentaux et tient compte des conditions naturelles dans lesquelles se situe le chantier (stratigraphie, gisement de grisou et sa variation dans l'espace) et des conditions d'exploitation (rythme d'avancement du chantier).

Elle a donné de bons résultats dans les chantiers testés, dans la mesure où :

- le chantier de référence pour la simulation est bien représentatif des conditions du panneau,
- la période pour la simulation est bien choisie, en particulier pour éviter l'influence néfaste d'événements parasites tels que dégagements soudains ou soufflards,
- la qualité des mesures introduites dans le modèle est correcte.

Cette méthode doit encore être perfectionnée, notamment par la prise en compte du dégagement de grisou en provenance du front de creusement.

6. REMERCIEMENTS

Nous remercions le personnel des Houillères du bassin de Lorraine qui ont contribué activement à ce travail en nous fournissant l'ensemble des données nécessaires, en particulier les géomètres des Unités d'Exploitation, ainsi que M. J. Hermal du Département Géologie-Sondages-Topographie. Nos remerciements vont également à MM. C. Marion, J. Havard et A. Jodart pour leur collaboration efficace.

7. BIBLIOGRAPHIE

BRITISH COAL CORPORATION (1989)- Short-term forecasting of methane emission levels using continuously monitored data - CEC Research Project 7220-AC/832 - EUR 12326 EN

CERCHAR (1990) - Irrégularités du dégagement de grisou en traçage - Projet de Recherche CCE 7220-AC/318

GUNTHER J. (1965) - Etude de la liaison gaz-charbon - Revue de l'Industrie Minérale, vol. 47, n°10

JANAS H. & STAMER R. (1987) - Beeinflussung der Grundaussgasung - Glückauf-Forschungshefte 48 Nr 4