

# **Adsorption et désorption du méthane Application au contrôle du dégagement de grisou dans les travaux souterrains \***

## **Adsorptie en desorptie van het methaan Toepassing op de controle op de mijngasontwikkeling in de ondergrondse werkplaatsen**

R. VANDELOISE \*\*

### **RESUME**

*Le charbon est un milieu poreux parcouru par un réseau de fissures. Le charbon peut fixer du méthane, par adsorption, en quantité beaucoup plus importante que celle qui peut être comprimée dans les pores et les fissures. La matière homogène du charbon est très peu perméable au gaz mais grâce au réseau de fissures, même si la diffusion du gaz dans la matière homogène est très lente, celui-ci peut s'écouler à une certaine vitesse vers l'atmosphère des excavations minières.*

*Les études sur la structure et les propriétés physiques des charbons, qui ont été effectuées dans les différents centres de recherches de la Communauté, ont contribué à une meilleure compréhension du mécanisme du dégagement de grisou dans la mine.*

*Les recherches ont eu des applications directes dans :*

\* Communication présentée aux Journées d'Information : « Recherche Charbonnière — Applications à la technique minière — Base pour nouveaux produits », organisées par la Commission des Communautés Européennes, à Luxembourg, les 8 et 9 décembre 1970.

\*\* Ingénieur Principal à l'INIEX,  
Bois du Val-Benoit,  
Rue du Chéra - 4000 Liège.

### **SAMENVATTING**

*Steenkolen vormen een poreus midden dat door een netwerk van spleten doorsneden wordt. Steenkolen kunnen door adsorptie veel grotere hoeveelheden methaan opnemen dan er in de poriën en spleten kunnen gebracht worden door samendrukking. De homogene stof waaruit steenkolen zijn opgebouwd is zeer weinig doorlatend voor mijngas, maar dank zij het net van spleten kan het mijngas, ook al diffundeert het zeer traag door de homogene stof, met een zekere snelheid uitstromen naar de atmosfeer in de ondergrondse ruimten.*

*De studie van de structuur en de fysieke eigenschappen van de steenkolen, die worden doorgevoerd in de verschillende onderzoekscentrums van de Gemeenschap, hebben bijgedragen tot een beter begrip van het mechanisme van de mijngasontwikkeling in de mijnen.*

*Deze onderzoeken hebben directe toepassingen gekend in :*

(\*) Voordracht gehouden op de Informatiedagen « Mijnbouwkundig Onderzoek — Toepassingen op de mijntechniek — Basis voor nieuwe Produkten », op 8 en 9 december 1970 te Luxemburg georganiseerd door de Commissie der Europese Gemeenschappen.

(\*\*) Eerstaanwezend Ingenieur bij het NIEB,  
Bois du Val-Benoit,  
Rue du Chéra, 4000 Liège.

- 1<sup>o</sup>) l'étude du gisement du grisou : détermination de la concentration en grisou des couches;
- 2<sup>o</sup>) l'étude du dégagement du grisou : explication des phénomènes observés concernant le dégagement de gaz des couches exploitées et des couches voisines, le mode d'abattage et de contrôle du toit, etc...

Parmi les applications minières pratiques, on citera :

- 1<sup>o</sup>) la possibilité d'une meilleure prévision des dégagements grisouteux;
- 2<sup>o</sup>) le perfectionnement de moyens de lutte contre le grisou tels que le captage ou l'humidification des massifs, compte tenu, par exemple, des résultats des études de perméabilité des charbons ou de l'influence de l'eau sur la désorption du grisou;
- 3<sup>o</sup>) pour les mines à dégagements instantanés :
  - la possibilité de fixer des critères de susceptibilité des couches;
  - la possibilité de prévoir les dégagements instantanés;
  - le perfectionnement des moyens de prévention et de contrôle de la prévention des D.I.

L'étude systématique des propriétés physiques des charbons influençant le dégagement de gaz était indispensable pour améliorer la maîtrise du dégagement de grisou dans les mines et accroître ainsi leur rentabilité.

## INHALTSANGABE

Die Kohle ist eine poröse Substanz, die von einem Netz von Rissen durchzogen wird. Sie kann Methan durch Adsorbierung in weitaus grösserer Menge fixieren, als es in den Poren und Rissen komprimiert werden kann. Die homogene Substanz der Kohle ist sehr wenig gasdurchlässig, aber aufgrund des aus Rissen bestehenden Netzes kann Gas, selbst wenn seine Diffusion in der homogenen Substanz sehr langsam ist, mit einer gewissen Geschwindigkeit in die Atmosphäre der Grubenräume eindringen.

Die Untersuchungen über die Struktur und die physikalischen Eigenschaften der Kohle, die in den verschiedenen Forschungsinstituten der Gemeinschaft durchgeführt worden sind, haben zu einem besseren Verständnis des Mechanismus der Ausgasung im Bergbau beigetragen.

Die Forschungen haben eine unmittelbare Anwendung gefunden in :

- 1<sup>o</sup>) de studie van de aanwezigheid van het mijngas : bepaling van de mijngasconcentratie in de lagen;
- 2<sup>o</sup>) de studie van de mijngasontwikkeling : het verklaren van de verschijnselen die waargenomen worden tijdens het vrijkommen van het mijngas uit de ontgonnen lagen en uit de omringende lagen, de winmethode en de dakcontrole, enz...

Als praktische toepassingen in de mijnbouw kan het volgende vermeld worden :

- 1<sup>o</sup>) mogelijkheid om de mijngasuitwasemingen beter te voorzien;
- 2<sup>o</sup>) vervolmaking van de middelen tot mijngasbestrijding zoals de afzuiging of het bevochtigen van de massieven, waarbij bij voorbeeld rekening gehouden wordt met de resultaten van de studie over de doorlatendheid van de steenkolen, of de invloed van het water op de desorptie van het mijngas;
- 3<sup>o</sup>) voor de mijnen met mijngasdoorbraken :
  - de mogelijkheid om de gevoelighetscriteria van de lagen vast te stellen;
  - de mogelijkheid om de mijngasdoorbraken vooraf te bepalen;
  - het verbeteren van de middelen om een mijngasdoorbraak te voorkomen en de middelen om deze voorkoming te controleren.

Een systematische studie van de fysieke eigenschappen van de steenkolen die invloed hebben op de mijngasuitwasemingen was onmisbaar voor een betere beheersing van deze mijngasontwikkeling in de mijnen en een verhoging van de rentabiliteit ervan.

## SUMMARY

Coal is a porous medium, interlaced by a network of cracks. So it can retain methane by adsorption in much larger quantities than can be compressed in the pores and cracks. The homogeneous material of coal is relatively impermeable to gas but thanks to the network of cracks, even though the diffusion of the gas in the homogeneous material is very slow, it may flow at some speed to the atmosphere in mine workings.

Studies carried out at the various Community research centres on the structure and physical properties of coal's have contributed to a better understanding of the mechanism whereby firedamp is discharged in a mine.

This research has had direct application in:

- 1°) der Untersuchung der Schlagwetterführung : Bestimmung des Grubengasinhalts der Flözen;
- 2°) der Untersuchung der Ausgasung : Erklärung der Erscheinungen, die beim Ausgasung in abgebauten und benachbarten Flözen, beim Abbau, bei der Beherrschung des Hangenden usw. beobachtet wurden.

Unter den Anwendungsmöglichkeiten für die bergmännische Praxis wären zu nennen :

- 1°) eine bessere Ausgasungsvorausschau;
- 2°) die Verbesserung der Mittel zur Grubengasbekämpfung wie beispielsweise die Grubengasabsaugung oder die Befeuchtung des Flözes unter Berücksichtigung beispielsweise der Ergebnisse der Untersuchungen über die Durchlässigkeit der Kohle oder des Einflusses von Wasser auf die Grubengasdesorption;
- 3°) für die gasausbruchgefährliche Gruben :
- die Möglichkeit, Gefährdungskriterien für die Flöze festzusetzen;
  - die Möglichkeit, Grubengasausbrüche vorzusehen;
  - die Verbesserung der Mittel zur Verhütung und zur Überwachung der Verhütung von Grubengascusbrüchen.

Die systematische Untersuchung der physikalischen Eigenschaften der Kohle, welche das Freiwerden von Gas beeinflussen, war für eine verbesserte Grubengasbekämpfung im Bergbau und damit auch eine gesteigerte Rentabilität unerlässlich.

## SOMMAIRE

0. Introduction.
1. Structure et propriétés des charbons.
10. Généralités.
11. Structure du charbon.
12. Liaison gaz-charbon.
13. Circulation du gaz dans les charbons.
14. Influence de l'humidité.
2. Applications des recherches à l'étude du gisement et du dégagement du grisou.
20. Généralités.
21. Gisement du grisou.
22. Dégagement du grisou.
23. Dégagements instantanés de grisou.
3. Applications des recherches à la lutte contre le grisou.
30. Généralités.
31. Prévision des dégagements grisouteux.
32. Moyens de lutte contre le grisou.
33. Maîtrise des dégagements instantanés.
4. Conclusion.

## INHOUD

0. Inleiding.
1. Structuur en eigenschappen van de steenkolen.
10. Algemeenheden.
11. Structuur van de steenkolen.
12. Verbinding gas-kolen.
13. Verplaatsing van het gas in de steenkolen.
14. Invloed van de vochtigheid.
2. Toepassingen van de onderzoeken op de studie van de aanwezigheid en de ontwikkeling van het mijngas.
20. Algemeenheden.
21. Aanwezigheid van mijngas.
22. Mijngasontwikkeling.
23. Mijngasdoorbraken.
3. Toepassingen van de onderzoeken op de mijngasbestrijding.
30. Algemeenheden.
31. Het vooraf bepalen van mijngasontwikkelingen.
32. Middelen tot bestrijding van het mijngas.
33. Het beheersen van de mijngasdoorbraken.
4. Besluit.

- 1°) the study of firedamp occlusion : determination of the concentration of firedamp in the seams;

- 2°) the study of the emission of firedamp : explanation of the phenomena observed with regard to the emission of gas from seams being worked and neighbouring seams, method of stripping and roof control, etc.

Among practical mining applications, the following may be mentioned :

- 1°) the possibility of improving the forecasting of firedamp discharges;

- 2°) the improvement of firedamp control methods such as drainage or humidification of coal seams, bearing in mind for example the results obtained from studies of coal permeability or the effect of water on firedamp desorption;

- 3°) for mines liable to sudden outbursts :

- the possibility of laying down criteria relative to the susceptibility of seams;
- the possibility of forecasting sudden outbursts;
- improvement of methods of controlling and preventing sudden outbursts.

The systematic study of the physical properties of coal having an effect on the emission of gas was essential in improving firedamp emission control in mines and in thereby increasing their profitability.

## 0. INTRODUCTION

Le dégagement de grisou dans les mines crée à la fois un danger et une gêne pour l'exploitation. Le dégagement de grisou constitue, à l'heure actuelle, l'obstacle majeur à l'accroissement des vitesses d'avancement et des productions unitaires des chantiers. Il contrarie l'application de certaines méthodes d'exploitation telles que les tailles rabattantes et il empêche le développement de l'électrification par l'application nécessaire de réglementations sévères.

Pour mener à bien, le plus efficacement possible, la lutte contre le grisou, il faut connaître son mode de gisement et être renseigné sur les quantités de gaz présentes dans les couches et leurs épontes. Il faut aussi connaître le mécanisme du dégagement de grisou des charbons et les lois du dégagement dans les chantiers. A partir de là, on pourra tenter de prévoir les dégagements grisouteux et on pourra fixer les moyens de lutte qui consisteront, soit à diluer le grisou dans l'air de ventilation, soit à le capter près des sources d'émission, soit à empêcher (retarder et étaler) son dégagement.

La connaissance du gisement du grisou et du mécanisme de sa libération nécessitait des études théoriques et des essais de laboratoire, car la structure même du charbon et certaines de ses propriétés physiques influencent la fixation et la libération du grisou par les couches. Par ailleurs, des problèmes pratiques — comme la détermination de la concentration en gaz des couches, la prévision des dégagements grisouteux, le perfectionnement des moyens de lutte contre le grisou, la maîtrise du phénomène brutal constitué dans certaines mines par les dégagements instantanés (projections importantes de gaz et de charbon fin) — ne pouvaient trouver de solution que sur la base d'une meilleure connaissance des phénomènes fondamentaux de l'adsorption et de la désorption du méthane par les charbons, jointe à d'autres recherches à poursuivre dans la mine.

Dans les programmes de recherche concernant le grisou, les Instituts de Recherches de la Communauté ont donc réservé une place importante aux études théoriques et aux essais de laboratoire consacrés à la physique du dégagement du gaz.

Notre propos est de faire le point sur les résultats de l'étude de la structure et des propriétés des charbons qui influencent le dégagement de grisou. Ensuite, nous citerons les applications directes de ces recherches à l'étude du gisement et du dégagement de grisou dans la mine. Enfin,

## 0. INLEIDING

Het vrijkomen van mijngas in de mijnen betekent terzelfdertijd een gevaar en een hinder voor de ontginning. Momenteel is de mijngasontwikkeling de voornaamste hinderpaal voor de vergroting van de vooruitgang per dag en de produktie per werkplaats. Ze werkt de toepassing van bepaalde ontginningsmethoden tegen, zoals de terugwaartse ontginning, en verhindert de ontwikkeling van de elektrificatie omdat strenge reglementaire bepalingen moeten worden opgelegd.

Om het mijngas zo doeltreffend mogelijk te kunnen bestrijden moet men iets afweten van de manier waarop het aanwezig is en inlichtingen hebben over de hoeveelheden gas die opgehoopt zitten in de lagen en hun nevengeesten. Men moet ook weten volgens welk mechanisme het mijngas vrijkomt uit de steenkolen en volgens welke wetten het vrijkomt in de werkplaatsen. Op grond daarvan kan men trachten de mijngasontwikkeling vooraf te bepalen en kan men de bestrijdingsmiddelen kiezen; deze bestaan ofwel in het verdunnen van het mijngas in de ventilatielucht ofwel in het opvangen van het mijngas nabij de emissiebron, ofwel in het voorkomen (uitstellen of spreiden) van de ontwikkeling.

Voor de kennis van de aanwezigheid van het mijngas en het mechanisme volgens hetwelk het vrijkomt was een theoretische studie nodig en laboratoriumproeven, want de structuur zelf van de steenkolen en sommige van hun fysieke eigenschappen hebben een invloed op de vasthechting en het vrijkomen van mijngas in de lagen. Overigens konden praktische problemen — zoals het bepalen van de mijngasconcentratie van de lagen, het vooraf bepalen van mijngasuitwasemingen, de verbetering van de middelen tot bestrijding van het mijngas, de beheersing van het brutale verschijnsel dat in sommige mijnen optreedt en mijngasdoorbraak genoemd wordt (omvangrijke projecties van gas en fijne kolen) — enkel opgelost worden dank zij een betere kennis van de fundamentele problemen inzake adsorptie en desorptie van het methaan door de steenkolen, in combinatie met andere onderzoeken die in de mijn moeten worden voortgezet.

In de onderzoeksprogramma's over het mijngas hebben de Onderzoeksinstituten van de Gemeenschap dan ook een grote plaats ingeruimd voor de theoretische studie en de laboratoriumproeven over de fysiek van de gasontwikkeling.

Ons opzet is een actueel overzicht te geven van de resultaten der studie over de structuur en de eigenschappen van de steenkolen die een invloed hebben op de mijngasontwikkeling. Vervolgens geven wij de rechtstreekse toepassingen van dit onderzoekswork op de studie van de afzetting en het vrijkomen van mijngas in de mijn. Ten-

nous évoquerons les applications pratiques à l'exploitation minière.

## 1. STRUCTURE ET PROPRIETES DES CHARBONS

### 10. Généralités

Le charbon peut être considéré comme un milieu poreux, parcouru par un réseau de fissures. A cause de leur fine porosité, les houilles possèdent des surfaces internes très étendues et sont ainsi capables d'adsorber de grandes quantités de méthane. Nous préciserons la nature de la liaison gaz-charbon et nous indiquerons les valeurs des capacités d'adsorption.

La matière homogène du charbon cernée par le réseau de fissures est très peu perméable au gaz, mais grâce précisément aux fissures — même si la diffusion du gaz dans la matière homogène est très lente — le grisou peut s'écouler à une certaine vitesse vers le vide des excavations minières. Nous préciserons les modes de circulation du gaz dans les charbons et la notion de vitesse de désorption.

L'humidité joue un rôle important sur l'adsorption et la désorption du méthane. L'étude de cette influence implique des applications directes dans la mine.

### 11. Structure du charbon

#### 111. Porosité.

L'ordre de grandeur de la porosité des charbons varie entre des limites assez larges. A titre d'exemple, pour 4 charbons belges, on a obtenu : 0,023 - 0,043 - 0,125 - 0,139 cm<sup>3</sup>/g (1).

Aucune relation nette n'est apparue entre le degré de houillification et la porosité des charbons.

Plus que la valeur globale du volume des pores, c'est la répartition de ce volume en fonction des dimensions des pores qui est importante pour la fixation (adsorption) du méthane par le charbon. On peut distinguer conventionnellement trois classes de pores :

- 1°) des micropores (assimilables à des canaux cylindriques) dont le rayon moyen est inférieur à 50 Å;
- 2°) des pores intermédiaires, de rayon compris entre 50 et 500 Å;
- 3°) des macropores, de rayon supérieur à 500 Å.

(1) Ces porosités ont été mesurées au laboratoire sur des charbons à 21-27 % de matières volatiles.

slotte maken wij gewag van de praktische toepassing in de mijntoegang.

## 1. STRUCTUUR EN EIGENSCHAPPEN VAN DE STEENKOLEN

### 10. Algemeenheid

Steenkolen kunnen aanzien worden als een poreuze stof met een netwerk van splijtingen. Wegens hun fijne porositeit hebben steenkolen een zeer uitgestrekt inwendig oppervlak en kunnen ze zo grote hoeveelheden methaan opslorpen. Wij zullen nadere bijzonderheden geven over de aard van de binding gas-steenkol en wij zullen de waarde van de adsorptiecapaciteit aangeven.

De homogene massa der steenkolen, ingesloten in een netwerk van fijne splijtingen, is zeer weinig doorlatend voor gas doch het is precies aan deze splijtingen te danken dat het mijngas — ook al is de diffusie van het gas in de homogene massa zeer langzaam — met een bepaalde snelheid kan wegstromen naar de ledige ruimte van de mijnuithollingen. Wij zullen meer bijzonderheden geven over de manieren waarop het mijngas zich in de lagen verplaatst en over de notie desorptiesnelheid.

De vochtigheid heeft een grote invloed op de adsorptie en de desorptie van het methaan. De studie van deze invloed vergt rechtstreekse toepassingen in de mijn.

### 11. Structuur van de steenkolen

#### 111. Porositeit.

De grooteorde van de porositeit van steenkolen varieert binnen vrij brede grenzen. Wij geven bij voorbeeld de cijfers voor 4 Belgische kolensoorten : 0,023 - 0,043 - 0,125 - 0,139 cm<sup>3</sup>/g (1).

Er werd geen enkel duidelijk verband vastgesteld tussen de inkolingsgraad en de porositeit van de steenkolen.

Belangrijker dan het globale volume van de poriën is voor het fixeren (adsorberen) van het methaan in de steenkolen de verdeling van dit volume volgens de afmetingen van de poriën. Conventioneel onderscheidt men drie klassen van poriën :

- 1°) microporiën (te vergelijken met cilindrische kanalen) met een gemiddelde straal van minder dan 50 Å;
- 2°) middelgrote poriën, met een straal tussen 50 en 500 Å;
- 3°) macroporiën, met een straal van meer dan 500 Å.

(1) Deze porositeitsmetingen werden in het laboratorium uitgevoerd op steenkolen met 21 tot 27 % vluchtlige bestanddelen.

Grâce à leur fine porosité, les charbons présentent des surfaces internes très grandes. Ces surfaces internes ont des étendues de l'ordre de quelques dizaines à plus de 100 et même jusqu'à 200 m<sup>2</sup>/g, qui leur confèrent un pouvoir de fixation de méthane très élevé.

### 112. Fissuration.

L'observation des charbons au microscope montre que ceux-ci sont traversés par un réseau de fissures en communication les unes avec les autres. Ces fissures sont espacées de quelques microns à quelques centaines de microns; leur ouverture varie d'une fraction de micron à quelques microns.

Dank zij hun fijne porositeit hebben steenkolen zeer grote inwendige oppervlakken. Deze inwendige oppervlakken bereiken afmetingen van enkele tientallen tot meer dan 100 en zelfs tot 200 m<sup>2</sup>/g zodat ze een zeer hoog vermogen hebben om methaan vast te houden.

### 112. Splijtingstoestand.

Neemt men steenkolen waar in het microscoop dan ziet men een netwerk van spleten die met elkaar in verbinding staan. De afstand tussen de spleten gaat van enkele micron tot enkele honderden micron; de opening varieert van een fractie van een micron tot enkele micrometers.

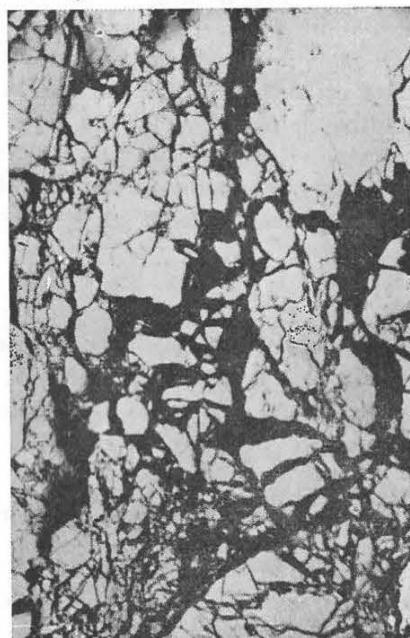


Fig. 1.  
Splijtingstoestand van steenkolen (klassen II-IV-V).

On a fait des mesures de fissuration d'échantillons de charbon en comptant au microscope les fissures ouvertes ou fermées qui apparaissent sur une section polie de l'échantillon. Les charbons ont été rangés en cinq classes définies par un nombre de fissures par centimètre, de plus en plus grand (fig. 1) (\*). On a ainsi constaté que les charbons sujets à D.I. étaient souvent beaucoup plus fissurés que les charbons normaux, bien que leur perméabilité reste très faible.

Men heeft de splijtingstoestand van kolenmonsters gemeten door met de microscoop de open en dichte spleten te tellen die te voorschijn komen op een gepolijst oppervlak van het monster. De steenkolen werden ingedeeld in vijf klassen die zich onderscheiden door een toenemend aantal spleten per centimeter (fig. 1) (\*). Zo heeft men vastgesteld dat kolen die onderhevig zijn aan mijngasdoorbraken vaak meer gespleten zijn dan gewone steenkolen, alhoewel hun permeabiliteit zeer klein blijft.

(\*) Les charbons les plus fissurés présentent jusqu'à 1 200 fissures par centimètre. Ce sont de véritables agglomérés naturels.

(\*) De meest gespleten kolen hebben tot 1.200 spleten per centimeter. Het zijn echter natuurlijke agglomeraten.

## 12. Liaison gaz-charbon.

La nature physique de la liaison gaz-charbon n'est pas encore parfaitement connue. On admet cependant, généralement, qu'elle résulte principalement d'une adsorption physique monomoléculaire, réalisée par les liaisons de Van der Waals et qui obéit à la loi de Langmuir (\*\*).

Dans cette hypothèse, l'adsorption du méthane se limite au recouvrement des surfaces internes par une couche monomoléculaire, malgré l'accroissement continu de la pression.

D'après Coppens, a priori, on peut estimer qu'il doit en être ainsi. En effet, quand la première couche adsorbée s'est formée, les molécules d'une éventuelle seconde couche se trouveraient trop écartées de la surface pour en subir les sollicitations. En effet, les forces de Van der Waals décroissent suivant la 7ème puissance des distances. Aussi, la formation d'une éventuelle seconde couche impliquerait-elle de fortes interactions entre les molécules de méthane de la première couche et de la seconde couche. On sait qu'en réalité les interactions méthane-méthane sont très faibles.

D'autre part, en admettant le caractère monomoléculaire de l'adsorption du méthane, les données de l'adsorption permettent d'attribuer au méthane un diamètre moléculaire de 3,98 Å. Cette grandeur est en très bonne concordance avec les données de la littérature.

Au surplus, on a pu montrer que les quantités de méthane réellement adsorbées sous les diverses pressions satisfont de façon très rigoureuse à la relation de Langmuir, basée précisément sur l'hypothèse de l'adsorption monomoléculaire.

Les carbons sont doués d'un pouvoir adsorbant très élevé grâce à leur fine porosité et à leur grande surface interne. Le pouvoir adsorbant élevé explique, entre autres, la rétention, dans les couches de houille, de quantités de méthane dont l'ampleur est incompatible avec les pressions de

(\*\*) La relation de Langmuir peut s'écrire sous la forme linéaire :

$$\frac{P}{m} = \frac{1}{m_s K} + \frac{1}{m_s} P$$

où  $P$  = pression du gaz.

$m_s$  = quantité de gaz adsorbée quand toute la surface est recouverte par une couche monomoléculaire.

$m$  =  $m_s s_1$  = quantité de gaz adsorbée par la seule fraction de surface  $s_1$  avec  $s_0 + s_1 = 1$  (pour une surface unitaire,  $s_0$  désigne l'aire de la surface nue et  $s_1$  celle de la surface couverte).

$K$  est un coefficient de proportionnalité qui, à une température donnée, dépend à la fois de la nature du solide et de la nature du gaz.

## 12. Verbinding gas-kolen

De fysieke aard van de verbinding gas-kolen is nog niet helemaal bekend. Toch wordt algemeen aangenomen dat het hoofdzakelijk gaat om een fysieke monomoleculaire adsorptie bestaande uit Van der Waals verbindingen en gehoorzamend aan de wet van Langmuir (\*\*).

In die hypothese blijft de adsorptie van methaan beperkt tot het bedekken van de inwendige oppervlakken met een monomoleculaire laag, ondanks een onophoudelijke stijging van de drukking.

Volgens Coppens kan men a priori veronderstellen dat het zo moet zijn. Wanneer immers de eerste laag geadsorbeerd is zouden de moleculen van een tweede laag te ver van het oppervlak liggen om erdoor te worden beïnvloed. De krachten van Van der Waals nemen dan ook af volgens de zevende macht van de afstand. Daarom zou de vorming van een tweede laag een sterke wisselwerking vereisen tussen de methaanmoleculen van de eerste en die van de tweede laag. Men weet dat de wisselwerking van methaan tot methaan in werkelijkheid zeer zwak is.

Neemt men anderzijds het monomoleculaire karakter van de adsorptie van methaan aan, dan volgt uit de gegevens van die adsorptie voor het methaan een moleculendoormeter van 3,98 Å. Deze grootte komt zeer goed overeen met de gegevens van de literatuur.

Bovendien heeft men kunnen aantonen dat de hoeveelheden methaan die bij verschillende drukkingen werkelijk worden opgeslorpt, zeer nauwkeurig overeenkomen met de formule van Langmuir, die precies gebaseerd is op de monomoleculaire adsorptie.

De steenkolen hebben een zeer hoog adsorberend vermogen dank zij hun fijne porositeit en hun groot inwendig oppervlak. Dit adsorberend vermogen geeft onder meer de verklaring van de aanwezigheid in de kolenlagen van hoeveelheden methaan die zo groot zijn dat het verschijnsel

(\*\*) De vergelijking van Langmuir kan lineair geschreven worden :

$$\frac{P}{m} = \frac{1}{m_s K} + \frac{1}{m_s} P$$

waarin

$P$  = drukking van het gas.

$m_s$  = hoeveelheid geadsorbeerd gas, wanneer heel de oppervlakte bedekt is met een monomoleculaire laag.

$m$  =  $m_s s_1$  = hoeveelheid gas geadsorbeerd enkel door het gedeelte van het oppervlak  $s_1$  waarin  $s_0 + s_1 = 1$  (voor een eenheid van oppervlak betekent  $s_0$  het niet bedekte gedeelte en  $s_1$  het bedekte gedeelte).

$K$  is een evenredigheidscoëfficiënt die voor een bepaalde temperatuur zowel van de aard van de vaste stof als van de aard van het gas afhangt.

gaz qui y règnent. A ces pressions, le volume de gaz comprimé dans les vides du charbon ne dépasse pas quelques  $\text{m}^3/\text{t}$ .

De nombreuses houilles belges (et étrangères) présentent une capacité de fixation de méthane de  $20 \text{ m}^3/\text{t}$  à la pression de 50 atm et à la température de  $27^\circ \text{C}$  (fig. 2). Rappelons que la concentration en gaz d'un charbon est fonction :

- de la nature du charbon (son rang ou degré de houillification),
- de la pression du gaz,
- de la température,
- de l'humidité,
- de la teneur en cendres.

niet in overeenstemming te brengen is met de heersende gasdruk. Bij deze drukkingen komt het volume gas dat in de ledige ruimten van de steenkolen samengedrukt zit niet hoger dan enkele  $\text{m}^3/\text{t}$ .

Talrijke Belgische (en vreemde) kolensoorten hebben voor methaan een fixeervermogen van  $20 \text{ m}^3/\text{t}$  bij een drukking van 50 atm en een temperatuur van  $27^\circ \text{C}$  (fig. 2). Wij herinneren eraan dat de concentratie van het gas in de kolen afhangt van:

- de aard van de kolen (rang of inkolingsgraad),
- de gasdrukking,
- de temperatuur,
- de vochtigheid,
- het asgehalte.

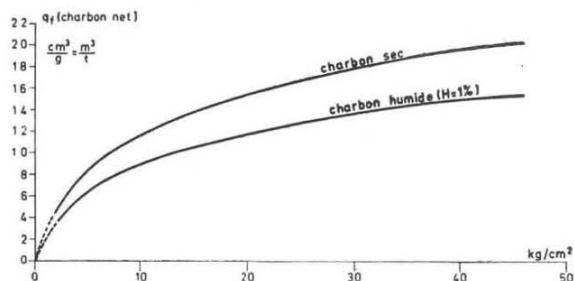


Fig. 2.  
Isotherme d'adsorption de méthane d'un charbon.  
Adsorptieisothermen voor methaan van een kolensoort.

L'influence de l'humidité sur la concentration en gaz est importante. Dans les conditions citées ci-dessus, une humidité de 1 % réduit la concentration de  $20 \text{ m}^3/\text{t}$  à  $15 \text{ m}^3/\text{t}$ .

De même, une élévation de la température réduit la capacité de fixation; cette diminution atteint environ 0,8 % par  $^\circ\text{C}$ .

A la suite des essais de laboratoire, deux méthodes de détermination de la concentration en gaz des couches ont été mises au point.

1°) *Un procédé indirect* (élaboré par le StBV) consistant à déterminer au laboratoire l'isotherme d'adsorption du charbon étudié et à lire sur cette courbe la capacité de fixation de gaz correspondant à la pression mesurée dans la couche.

2°) *Un procédé direct* (élaboré par le Cerchar) consistant à déterminer directement, sur un échantillon de charbon prélevé en sondage, le volume de grisou désorbable à la pression atmosphérique.

De vochtigheid heeft een grote invloed op de gasconcentratie. In de hiervoor vermelde omstandigheden betekent een vochtigheidsgraad van 1% een vermindering van de concentratie van 20 tot  $15 \text{ m}^3/\text{t}$ .

Ook een temperatuurverhoging vermindert het fixeervermogen; deze vermindering gaat tot 0,8 % per  $^\circ\text{C}$ .

Ingevolge de laboratoriumproeven werden twee methoden uitgewerkt voor het bepalen van de gasconcentratie in de kolenlagen :

1°) *Een onrechtstreeks procédé* (uitgewerkt door het StBV) bestaande uit het bepalen, in het laboratorium, van de adsorptieisotherm van de bestudeerde steenkolen en het aflezen op deze kromme van de fixeercapaciteit voor gas overeenkomend met de in de laag opgemeten drukking.

2°) *Een rechtstreeks procédé* (uitgewerkt door het Cerchar) bestaande uit het rechtstreeks bepalen, op een kolenmonster dat in een boring wordt opgenomen, van het mijngasvolume dat op atmosferische druk kan worden gedisorbeerd.

L'étude des isothermes d'adsorption des charbons belges (fig. 3) a montré un maximum de capacité de fixation de méthane pour les charbons à 14-15 % de matières volatiles et semble indiquer une décroissance de cette capacité pour les charbons moins houillifiés, jusqu'à 33 % de M.V. Le gisement de Campine a paru, dès lors, généralement moins grisouteux que le gisement du bassin du sud de la Belgique, bien qu'il y ait cependant des chantiers très grisouteux en Campine.

Dans un même gisement, il semble aussi que la capacité d'adsorption augmente avec la profondeur, le degré de houillification augmentant lui aussi avec la profondeur.

De studie van de adsorptieïsothermen van de Belgische steenkolen heeft aangetoond (fig. 3) dat er een maximum bestaat in de fixeercapaciteit voor methaan bij steenkolen met 14-15 % vluchtige bestanddelen, terwijl deze capaciteit schijnt te verminderen voor minder ingekoolde soorten, tot 33 % vluchtige bestanddelen. De steenkolenbeddingen van de Kempen bleken dus in het algemeen minder mijngasachtig dan die van het zuiden van België, al bestaan er zeer mijngasachtige werkplaatsen in de Kempen.

In eenzelfde afzetting blijkt de adsorptiecapaciteit ook toe te nemen met de diepte, terwijl de inkolingsgraad eveneens toeneemt met de diepte.

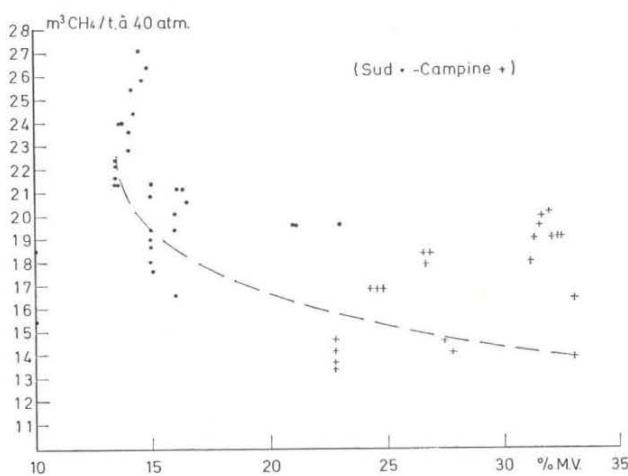


Fig. 3.

Capacité de fixation de méthane des charbons belges.  
Fixeercapaciteit voor methaan van de Belgische steenkolen.

L'influence de la composition pétrographique sur la capacité d'adsorption des charbons n'est pas complètement élucidée. Ce facteur joue sans doute un rôle, mais il est dans la plupart des cas masqué par d'autres effets plus importants. Divers chercheurs ont signalé que les charbons riches en vitrain avaient des capacités d'adsorption de méthane plus élevées que les charbons riches en durain ou en fusain.

### 13. Circulation du gaz dans les charbons

Gunther (Cerchar) a proposé une théorie de la circulation du gaz dans les charbons que nous résumons ici :

« Les charbons constituent un milieu pratiquement imperméable au gaz mais qui est drainé par un réseau de fissures. Lorsqu'un morceau de charbon, de l'ordre du centimètre, en équilibre avec du gaz sous pression (par exemple dans une couche vierge), se trouve brusquement mis à l'atmos-

De invloed van de petrografische samenstelling op de adsorptiecapaciteit van de steenkolen is niet volledig duidelijk. Zonder twijfel speelt deze factor een rol maar die wordt in het merendeel van de gevallen in de schaduw gesteld door andere belangrijkere invloeden. Verschillende vonders hebben gesignaleerd dat steenkolen met veel vitriet hogere adsorptiecapaciteiten voor methaan hebben dan kolen met veel duriet of fusiet.

### 13. Verplaatsing van het gas in de steenkolen

Gunther (Cerchar) heeft over de verplaatsing van het gas in de steenkolen een theorie opgesteld die wij hier samenvatten.

« Steenkolen vormen voor gas een haast ondoordringbaar midden dat evenwel doorsneden is door een stel spleten. Wanneer een brok kolen, van zowat 1 cm grootte, dat in evenwicht is met gas onder druk (bij voorbeeld in een onaangeroerde laag), plots aan atmosferische druk wordt bloot-

phère, les fissures se vident instantanément de leur gaz et la matière peu perméable qu'elles délimitent se dégaze lentement. La figure 4 montre quelques résultats expérimentaux relatifs à ce phénomène. Il y a entre les charbons de très grosses différences dues surtout au fait que les fissures sont plus ou moins nombreuses; la perméabilité très faible du charbon lui-même varie peu d'un échantillon à l'autre.

gesteld, lopen de spleten onmiddellijk leeg terwijl de ondoordringbare stof tussen de spleten haar gas langzaam verliest. Figuur 4 geeft voor dit verschijnsel enkele proefondervindelijke resultaten. Tussen de verschillende steenkolensoorten bestaan zeer grote verschillen die vooral te wijten zijn aan het feit dat de spleten min of meer talrijk zijn; de doorlatendheid van de steenkolen zelf is zeer laag en verschilt weinig van het ene monster tot het andere.

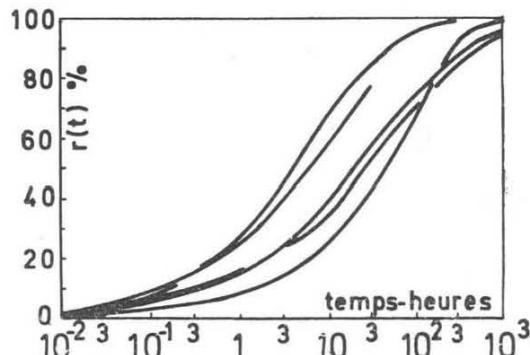


Fig. 4.

Cinétiques de désorption de divers charbons en morceaux de plus de 1 cm, saturés en CH<sub>4</sub>.

$r(t)$  = quantité désorbée au temps  $t$  par rapport à la quantité totale désorbée.

(Fig. extraite de la publication Cerchar n° 1588.)

Cinetiek van desorptie van verschillende kolenbrokken van meer dan 1 cm, doordrenkt met CH<sub>4</sub>.

$r(t)$  = gedesorbeerde hoeveelheid op de tijd  $t$  in vergelijking met de totale gedesorbeerde hoeveelheid.

(Figuur, genomen uit de publikatie Cerchar nr. 1588.)

» Les courbes de désorption représentées sur la figure 4 dépendent peu de la dimension du morceau de charbon tant que celle-ci est supérieure à la distance entre fissures. Par contre, lorsqu'on crée de nouvelles surfaces de dégazage par broyage, le dégagement devient bien plus rapide : un grain de 10 microns est dégazé en un quart d'heure environ ».

Dans la mine, la condition nécessaire à la libération du gaz est un abaissement de sa pression dans la couche. L'équilibre entre le gaz libre contenu dans les fissures et dans le volume poreux du charbon et le gaz adsorbé par les surfaces internes est alors rompu et il se produit une désorption jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint.

L'écoulement du gaz se fait dans le sens du gradient de pression. Lors de sa migration, à partir de la surface interne de la particule de charbon, la molécule de méthane effectue successivement divers types de mouvements :

- 1) une diffusion solide dans la zone des micropores;
- 2) une diffusion libre dans la zone des macropores;
- 3) un écoulement visqueux dans la zone des fines fissures;
- 4) un écoulement laminaire dans la zone des fissures plus grosses;
- 5) un écoulement turbulent dans la zone des fissures grossières.

» De desorptiekrommen van figuur 4 hangen slechts weinig af van de afmetingen van de kolenbrok zolang deze groter is dan de afstand tussen de spleten. Maakt men daarentegen nieuwe ontgassingsoppervlakken, door het malen van het produkt, dan wordt de ontgassing versneld : een korrel van 10 micron verliest zijn gas in zowat een kwartier. »

De voorwaarde die vereist is opdat het mijngas in de mijn zou vrijkomen is een vermindering van de drukking ervan in de laag. In dat geval wordt het evenwicht tussen het vrije gas in de spleten en het poriënvolume van de steenkolen en het door de inwendige oppervlakken geabsorbeerde gas verbroken en treedt er desorptie op totdat een nieuw evenwichtstoestand wordt bereikt.

De stroming van het gas verloopt in de zin van de drukningsgradiënt. Vertrekend van het inwendig oppervlak van het kolendeeltje voert het methaanmolecule achtereenvolgens de volgende typen van bewegingen uit:

- 1) een vaste diffusie in de zone van de microporiën;
- 2) een vrije diffusie in de zone van de macroporiën;
- 3) een visceuze stroming in de zone der fijne spleten;
- 4) een laminaire stroming in de zone der grotere spleten;
- 5) een turbulente stroming in de zone der grote spleten.

La diffusion est un phénomène extrêmement lent et est donc déterminante pour la vitesse de dégazage.

De façon plus schématique, on peut décrire la circulation des gaz contenus dans le charbon sous la forme d'un phénomène complexe comportant :

1°) Un écoulement dans les micropores en direction des fissures régi par la loi de Fick :

$$q_1 = DS \frac{dC}{dl} \quad (1)$$

où  $q_1$  = débit en volume,  
 $D$  = coefficient de diffusion (valeur moyenne  $D = 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ ),  
 $S$  = section transversale,  
 $C$  = concentration en gaz,  
 $l$  = longueur.

2°) Un écoulement dans les fissures régi par la loi de Darcy :

$$q_2 = \frac{kS}{\mu} \frac{dp}{dl} \quad (2)$$

où  $q_2$  = débit en volume,  
 $k$  = perméabilité (\*),  
 $\mu$  = viscosité du gaz,  
 $S$  = section transversale,  
 $p$  = pression,  
 $l$  = longueur.

Dans le premier mode d'écoulement, l'énergie motrice est fournie par le gradient de concentration en gaz. Ce mode d'écoulement est extrêmement lent. Pour des grains de charbon sphériques et un degré de dégazage égal à 90 %, en prenant comme coefficient effectif de diffusion la valeur  $D = 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ , on a cité, pour diverses granulométries, les temps de dégazage suivants :

Diamètre du grain :	Temps de dégazage :
1 $\mu\text{m}$	4,6 s
100 $\mu\text{m}$	13 h
1 cm	15 ans
1 m	150.000 ans

Dans le deuxième mode d'écoulement, l'énergie motrice est fournie par un gradient de pression de gaz.

Ces deux modes d'écoulement sont bien entendu interdépendants, la concentration en gaz d'un charbon à l'état d'équilibre dépendant directement de la pression du gaz dans le réseau de fissures.

(\*) Pour un anthracite perméable, la perméabilité décroît de 1 à  $10^{-2}$  darcy quand la contrainte passe de 0 à 300 bars et, pour un charbon peu perméable de  $10^{-2}$  à  $10^{-5}$  darcy, entre les mêmes limites de contrainte.

De diffusie is een uiterst traag verschijnsel dat bijgevolg bepalend is voor de snelheid van de ontgassing.

Meer schematisch kan men de verplaatsing van het in de steenkolen opgesloten gas beschrijven in de vorm van een samengesteld verschijnsel, bevattende :

1°) Een stroming in de microporiën in de richting van de spleten, volgens de wet van Fick :

$$q_1 = DS \frac{dC}{dl} \quad (1)$$

met :  $q_1$  = volumedebiet,  
 $D$  = diffusiecoëfficiënt (gemiddelde waarde  $10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ ),  
 $S$  = dwarsdoorsnede,  
 $C$  = gasconcentratie,  
 $l$  = lengte.

2°) Een stroming in de spleten volgens de wet van Darcy :

$$q_2 = \frac{kS}{\mu} \frac{dp}{dl} \quad (2)$$

met :  $q_2$  = volumedebiet,  
 $k$  = permeabiliteit (\*),  
 $\mu$  = viscositeit van het gas,  
 $S$  = dwarsdoorsnede,  
 $p$  = drukking,  
 $l$  = lengte.

Bij de eerste stromingswijze wordt de motorische kracht geleverd door de concentratiegradiënt van het gas. Deze stromingswijze is buitengewoon traag. Met bolvormige korrels en een ontgassingsgraad van 90 % geeft men, met als effectieve diffusiecoëfficiënt de waarde  $D = 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ , voor verschillende korreldoormeters de volgende ontgassingstijden op :

Doormeter van de korrel	Ontgassingstijd
1 $\mu\text{m}$	4,6 s
100 $\mu\text{m}$	13 h
1 cm	15 jaar
1 m	150.000 jaar

Bij de tweede stromingswijze wordt de motorische kracht geleverd door een gasdrukgradiënt.

Het spreekt vanzelf dat er tussen deze twee stromingswijzen een zeker verband bestaat, vermits de gasconcentratie van steenkolen in evenwicht rechtstreeks afhangt van de gasdruk in het spletennet.

(\*) Bij doorlatende antraciet neemt de permeabiliteit af van 1 tot  $10^{-2}$  darcy wanneer de druk stijgt van 0 tot 300 bars; gaat het om een weinig doorlatende kolensoort, dan zijn de cijfers respectievelijk  $10^{-2}$  en  $10^{-5}$  darcy binnen dezelfde drukgrenzen.

Quoi qu'il en soit, pour le mineur il faut rappeler, en le soulignant, que seules les couches de charbon détendues sont susceptibles de perdre des quantités appréciables de gaz, tout au moins aux échelles de temps qui intéressent l'exploitation minière ou le captage industriel de grisou et que, jusqu'à présent, le seul moyen de détendre un faisceau de couches, dans un volume suffisamment étendu, est l'exploitation de l'une des couches de ce faisceau. C'est en effet le phénomène de la fissuration et de la détente des couches et des terrains qui active le mécanisme du dégagement de grisou. C'est ce phénomène qui explique le succès ou l'insuccès des procédés d'exploitation du méthane actuellement appliqués.

#### 14. Influence de l'humidité

##### 1) Sur la fixation (l'adsorption) du gaz.

Rappelons que l'influence de l'humidité sur la concentration en gaz est importante. L'humidité réduit la capacité d'adsorption par rapport à un charbon sec dans la proportion :

$$\frac{1}{1 + 0,31 H} \quad (*)$$

où H est l'humidité exprimée en pourcents.

Wat er ook van zij, voor de mijnwerkers is belangrijk en moet onderstreept worden dat alleen ontspannen kolenlagen merkelijke hoeveelheden gas kunnen verliezen, ten minste binnen een tijdslimiet die interessant is uit oogpunt mijngassing of industriële mijngascaptatie en dat het enige middel om een lagenbundel over een voldoende uitgestrektheid te ontspannen tot nu toe bestaat in het ontginnen van één der lagen van deze bundel. Het is immers het verschijnsel van het splijten en het ontspannen van lagen en gesteenten dat het vrijkomen van het mijngas activeert. Dit verschijnsel verklaart de goede of slechte resultaten van de thans voor het exploiteren van het mijngas aangewende procedés.

#### 14. Invloed van de vochtigheid

##### 1) Op het fixeren (adsorberen) van het gas

Wij herinneren eraan dat de vochtigheid een grote invloed heeft op de gasconcentratie. Vergelijken met droge steenkolen vermindert de vochtigheid de adsorptiecapaciteit in de volgende verhouding :

$$\frac{1}{1 + 0,31 H} \quad (*)$$

waarin H de vochtigheid is, uitgedrukt in procenten.

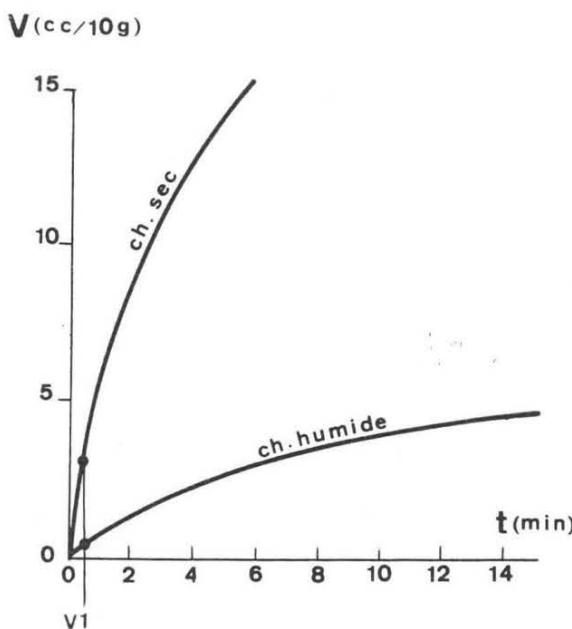


Fig. 5.  
Influence de l'humidité sur la vitesse de désorption.  
Invloed van de vochtigheid op de desorptiesnelheid.

(\*) Cette formule a été établie par Ettinger et vérifiée par le Cerchar et le StBV. Elle est valable si l'adsorption de méthane a lieu sur un charbon préalablement humidifié.

(\*) Deze formule werd opgesteld door Ettinger en gecontroleerd door het Cerchar en het StBV. Ze gaat op wanneer de adsorptie van het methaan gebeurt op kolen die vooraf werden bevochtigd.

## 2) Sur la vitesse de désorption.

Nous avons observé que les vitesses de désorption de gaz des charbons humides ou humidifiés étaient réduites par rapport à celles des charbons secs (fig. 5). Nous verrons le parti que l'on peut tirer de cette observation pour améliorer la lutte contre le grisou, ainsi que pour réduire la susceptibilité au dégagement instantané des couches sujettes à ce phénomène.

## 2. APPLICATIONS DES RECHERCHES A L'ETUDE DU GISEMENT ET DU DEGAGEMENT DU GRISOU

### 20. Généralités

Pour les études sur le gisement et le dégagement de grisou dans la mine, les recherches de laboratoire fournissent des renseignements concernant une série de paramètres qui sont à la base de ces études, principalement :

- La concentration en grisou des charbons et des couches. Cette grandeur s'exprime en  $\text{m}^3/\text{t}$ .
- La vitesse de désorption  $V_1$  : volume de grisou dégagé par un échantillon de charbon calibré de 10 g, entre les instants 35 s et 70 s après l'instant initial du prélèvement dans un sondage. Cette grandeur s'exprime en  $0,1 \text{ m}^3/\text{t}$ .

### 21. Gisement du grisou

L'étude du gisement du grisou suppose avant tout que l'on puisse déterminer la concentration en grisou des couches et, éventuellement, leur degré de dégazage à la suite de l'exploitation antérieure de couches voisines.

La concentration en gaz d'une couche, son degré de dégazage éventuel par des exploitations antérieures, le taux de dégazage des couches influencées par l'exploitation doivent être connus si l'on veut établir des calculs prévisionnels du dégagement de grisou.

Grâce aux études de laboratoire, on a pu mettre au point deux méthodes de détermination de la concentration en gaz.

Si l'on examine, en outre, la distribution spatiale des concentrations en gaz autour des chantiers, on arrive à préciser la forme et la grandeur des zones de dégazage et on dispose, ainsi, d'un élément essentiel pour fixer les modèles sur lesquels reposent les méthodes de prévision des dégagements grisouteux.

## 2) Op de desorptiesnelheid

Wij hebben gezien dat de desorptiesnelheid van gas in vochtige of bevochtigde steenkolen kleiner was dan bij droge kolen (fig. 5). Wij zullen zien hoe men van deze vastelling kan gebruik maken om de bestrijding van het mijngas te verbeteren, en om lagen die onderhevig zijn aan mijngasdoorbraken hiervoor minder gevoelig te maken.

## 2. TOEPASSINGEN VAN DE ONDERZOEKINGEN OP DE STUDIE VAN DE AANWEZIGHEID EN ONTWIKKELING VAN HET MIJNGAS

### 20. Algemeenheden

In verband met de studie van de aanwezigheid en het vrijkomen van het mijngas geven de laboratoriumonderzoeken inlichtingen over een reeks van parameters die aan deze studies ten grondslag liggen, namelijk:

- De mijngasconcentratie van steenkolen en lagen. Deze grootheid wordt uitgedrukt in  $\text{m}^3/\text{t}$ .
- De desorptiesnelheid  $V_1$  : het volume mijngas dat door een op 10 g gekalibreerd kolenmonster wordt vrijgemaakt tussen de 35 en de 70 s na het ogenblik waarop het monster werd opgenomen in een boring; deze grootheid wordt uitgedrukt in  $0,1 \text{ m}^3/\text{t}$ .

### 21. De aanwezigheid van het mijngas

De studie van de afzetting van het mijngas veronderstelt vooreerst dat men de mijngasconcentratie in de lagen kan bepalen alsook evenveel in hoeverre ze ontgast zijn door vroegere ontginnings van naburige lagen.

De gasconcentratie van een lag, de graad van eventuele ontgassing door vroegere ontginnings, de ontgasningsgraad van de lagen die door de ontgassing worden beïnvloed moeten gekend zijn indien men voor de toekomst berekeningen wil maken over de mijngasontwikkeling.

Dank zij de laboratoriumstudies heeft men twee methoden kunnen uitwerken voor het bepalen van de gasconcentratie.

Bestudeert men bovendien de ruimtelijke verdeling van de gasconcentraties rondom de werkplaatsen, dan krijgt men een preciezere mening over de uitgestrektheid van de ontgaste zones en bezit men op die manier een essentieel element om de modellen vast te leggen waarop de methoden voor het vooraf bepalen van de uitwijkende hoeveelheid mijngas berusten.

## 22. Déplacement du grisou

Nous indiquerons ci-après comment les résultats des travaux de laboratoire aident à expliquer certains phénomènes observés dans la mine.

### 221. Importance des dégagements grisouteux.

Il est courant d'observer dans le retour d'air des chantiers des dégagements de grisou de plusieurs dizaines de m<sup>3</sup> à la tonne exploitée. Le grisou ne provient pas seulement du charbon abattu dans le chantier (déplacement fondamental), mais il provient souvent aussi, pour une part prépondérante, des couches voisines influencées au toit et au mur (déplacement supplémentaire).

L'importance des dégagements grisouteux est due à la désorption du grisou adsorbé par les couches. La simple présence de grisou libre sous pression (\*) dans les vides des couches et des terrains ne pourrait expliquer la grandeur de ces dégagements de grisou.

### 222. Concentration résiduelle en gaz du charbon abattu.

Ni le charbon abattu dans la couche exploitée ni le charbon des couches voisines influencées ne libèrent leur contenu total en grisou lors de l'exploitation. Rappelons que le déplacement de grisou est, au départ, un phénomène extrêmement lent.

Pour l'exploitant, la concentration totale en gaz est moins intéressante que la fraction de ce gaz qui se dégage dans la mine lors de l'abattage et pendant le transport du charbon jusqu'à la surface; cette quantité de gaz est celle qui doit être suffisamment diluée et être évacuée par le courant d'air.

Le charbon abattu ne libère souvent que la moitié environ de son gaz dans le chantier. La mesure des concentrations résiduelles en gaz, à divers moments après l'abattage et pendant le transport jusqu'à la surface, a fait l'objet d'études systématiques de Paul et Müller au StBV.

Les résultats des mesures des concentrations résiduelles et surtout la constatation qu'une fraction parfois encore considérable de la concentration en gaz peut être présente dans le charbon extrait et s'en libérer dans les silos du fond ou de la surface, ont incité à étudier de plus près le déplacement de gaz dans ces silos.

(\*) La pression maximale de grisou mesurée en Belgique a été de 56,5 atm et dans le bassin de la Ruhr de 70 atm environ.

## 22. Mijngasontwikkeling

Wij zullen hier uitleggen hoe het resultaat van het laboratoriumwerk een hulp is bij het verklaren van sommige in de mijn waargenomen verschijnselen.

### 221. Omvang van de mijngasontwikkeling.

Dikwijs ziet men in de luchtkeer van de werkplaatsen mijngasontwikkeling van verschillende tientallen m<sup>3</sup> per ontgonnen ton. Het mijngas komt niet alleen voort van de steenkolen die in de werkplaats worden gewonnen (fundamentele ontwikkeling), maar dikwijs ook voor een overwegend gedeelte van naburige lagen in dak of vloer, die reeds een invloed hebben ondergaan (bijkomende ontwikkeling).

De omvang van de mijngasontwikkeling is te wijten aan de desorptie van het door de lagen geadsorbeerde mijngas. De aanwezigheid van vrij mijngas onder druk (\*) in de ledige ruimten van lagen en gesteenten is alleen niet voldoende om de omvang van de mijngasontwikkeling te verklaren.

### 222. Overblijvende mijngasconcentratie van afgebouwde steenkolen.

Noch de kolen die afgebouwd worden in de ontgonnen laag, noch de kolen van de naburige lagen die beïnvloed worden, geven bij de ontgining heel hun mijngas af. Wij herinneren eraan dat de mijngasontwikkeling bij het vertrek een uiterst traag verschijnsel is.

Voor de exploitant heeft de totale gasconcentratie minder belang dan dat gedeelte van het gas dat in de mijn vrijkomt tijdens de winning en het vervoer van de steenkolen tot op de bovengrond; het is deze hoeveelheid gas die voldoende moet verduld worden en weggevoerd met de luchtstroom.

De gewonnen kolen geven vaak slechts ongeveer de helft van hun gas vrij in de werkplaats. Het meten van de overblijvende gasconcentratie op verschillende ogenblikken na het winnen en tijdens het vervoer naar de bovengrond werd systematisch gedaan door Paul en Müller van het StBV.

De resultaten van de metingen op de overblijvende concentraties en vooral de vaststelling dat een soms aanzienlijk gedeelte van de mijngasconcentratie kan achterblijven in de gewonnen kolen en vrijkomen in de ondergrondse of bovengrondse bunkers heeft aangezet tot een nadere studie van deze mijngasontwikkeling in de bunkers.

(\*) De hoogste druk van mijngas die werd opgemeten bedroeg 56,5 atm in België en zowat 70 atm in de Ruhr.

En Belgique, on a mesuré des concentrations résiduelles moyennes en gaz de l'ordre de 1 m<sup>3</sup>/t (max. = 3 m<sup>3</sup>/t) sur des fines stockées dans les silos de surface depuis plusieurs mois.

Il y a donc nécessité de prévoir pour les silos de surface comme pour les silos du fond un aérage convenable et éventuellement de modifier les plans de construction des nouveaux silos.

Les utilisateurs de charbon (usines métallurgiques - centrales électriques) doivent aussi avoir leur attention attirée sur le risque que présente le dégagement retardé du reste de méthane contenu dans le charbon. Cette remarque vaut pour les installations telles que trémies, broyeurs, etc.

### 223. Influence du mode d'abattage.

La granulométrie du charbon abattu varie selon les techniques d'abattage. Par exemple, le charbon abattu à l'explosif ou à la haveuse à tambour est plus fortement broyé que le charbon abattu au rabot.

Un charbon davantage broyé libère plus de grisou.

Les techniques mises au point, en laboratoire, pour mesurer la vitesse de dégazage de charbons de diverses granulométries peuvent être utilisées pour opérer des mesures semblables lors de l'abattage et préciser les relations entre la vitesse de dégazage et la granulométrie et expliquer ainsi les différences d'écoulement de gaz pour différents procédés d'exploitation. Cette étude est encore en cours au StBV.

### 224. Influence du mode de contrôle du toit.

Le dégagement spécifique de grisou (dégagement rapporté à la tonne nette extraite) paraît un peu moins élevé dans une taille remblayée que dans une taille foudroyée.

Ce phénomène pourrait s'expliquer par une détente plus lente des couches du toit et une moindre fissuration des terrains; l'affaissement du toit est plus lent et moins important dans une taille remblayée.

Mais, en outre, les concentrations résiduelles en grisou, en avant du front de taille, sont un peu plus grandes dans une taille remblayée que dans une taille foudroyée. Cela résulte de ce que le dégagement fondamental de grisou y est moins important.

### 23. Dégagements instantanés de grisou

Les études théoriques et les essais de laboratoire ont été particulièrement indispensables pour étudier et tenter de maîtriser le phénomène extrêmement dangereux que constituent les dégagements instantanés de grisou,

In België heeft men gemiddelde overblijvende gasconcentraties gemeten van de orde van 1 m<sup>3</sup>/t (maximaal 3 m<sup>3</sup>/t) op fijnkolen die gedurende verschillende maanden in bovengrondse bunkers waren opgeslagen.

Men moet dus zowel in ondergrondse als in bovengrondse bunkers zorgen voor een goede luchtverversing en eventueel de bouwplannen van de nieuwe bunkers wijzigen.

Ook de gebruikers van steenkolen (staalbedrijven of elektrische centrales) moeten aandacht besteden aan het gevaar dat verbonden is aan het laattijdig vrijkomen van mijngas dat in de kolen is achtergebleven. Deze opmerking geldt voor installaties zoals trechters, brekers, enz.

### 223. Invloed van de winmethode.

De korrelverdeling van de gewonnen kolen hangt van de winmethode af. Zo bijvoorbeeld zijn kolen die met springstof of met een trommelsnijmachine gewonnen zijn sterker gebroken dan kolen die geschaafd werden.

Hoe meer de kolen gebroken zijn hoe meer gas ze afgeven.

De technieken die in het laboratorium uitgewerkt werden om de ontgassingssnelheid te meten bij steenkolen van verschillende korrelgrootte kunnen aangewend worden om soortgelijke metingen uit te voeren tijdens de winning en om het juiste verband op te stellen tussen de ontgassingssnelheid en de korrelverdeling waardoor een verklaring gegeven wordt van het verschil in de mijngasafvoer voor verschillende ontginningsprocedés. Deze zaak wordt nog bestudeerd door het StBV.

### 224. Invloed van de aard van de dakcontrole.

De specifieke mijngasuitwaseming (berekend per netto gewonnen ton) schijnt iets lager te zijn in een vulpijler dan in een breukpijler.

De verklaring van dit verschijnsel zou kunnen liggen in een tragere ontspanning van de daklagen en een minder hevige splijting van het gesteente; het dak zakt trager en over kortere afstand in een vulpijler.

Maar ook zijn de overblijvende mijngasconcentraties, vóór het pijlerfront, een weinig groter in een vulpijler dan in een breukpijler. Dat is een gevolg van het feit dat de hoofdontgassing er minder belangrijk is.

### 23. Mijngasdoorbraken

De theoretische studie en de laboratoriumproeven waren vooral nodig voor de studie en de pogingen tot beheersing van het uiterst gevaarlijk verschijnsel van de mijngasdoorbraken,

### 231. Nature du phénomène.

Les dégagements instantanés se produisent dans certaines couches et sont caractérisés par la libération soudaine d'une grande quantité de gaz ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  ou gaz mixte) et par la projection violente de masses de charbon, éventuellement de roche, variant de 10 à plus de 5000 tonnes.

Trois facteurs :

- la présence du gaz dans la couche,
  - les contraintes auxquelles le charbon est soumis,
  - la structure du charbon,
- interviennent de façon simultanée dans la genèse et le développement du dégagement instantané.

La présence du gaz dans la couche intervient de deux manières :

- par sa pression, pour le déclenchement du phénomène,
- par sa concentration, pour le développement du D.I., en assurant l'extraction et le transport au loin des produits à la suite de la détente du gaz adsorbé.

L'action des contraintes des terrains est double :

- en premier lieu, sur la circulation du gaz à l'intérieur du massif,
- en second lieu, sur la dégradation mécanique du massif.

De la fissuration du charbon dépendent :

- sa résistance à la traction par laquelle il s'oppose en partie aux efforts d'arrachement engendrés par le gradient de pression;
- la vitesse initiale de désorption du gaz qui intervient pour aider au démarrage et au déroulement du D.I.; l'énergie disponible pour transporter les matériaux en dépend;
  
- d'une certaine façon, la perméabilité du massif en avant du front, les travaux de laboratoire ayant montré que certains charbons fissurés subissent une baisse de perméabilité sous contrainte très marquée.

### 232. Caractérisation du phénomène d'après les études de laboratoire.

Grâce aux études de laboratoire, deux des facteurs intervenant dans la genèse et le développement du D.I. — présence de gaz et fissuration du charbon — ont pu être précisés et même chiffrés :

- 1°) présence de gaz : par la concentration en gaz désorbable C, exprimée en  $\text{m}^3$  de gaz par tonne de charbon pur;

### 231. De aard van het verschijnsel.

Mijngasdoorbraken komen in sommige lagen voor en worden gekenmerkt door het plots vrijkommen van een grote hoeveelheid gas ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  of een gemengd gas) en door de krachtige projectie van massa's steenkolen, soms stenen, van 10 tot meer dan 5.000 ton.

Drie factoren :

- de aanwezigheid van gas in de laag,
- de spanningen waaraan de steenkolen zijn onderworpen,
- de structuur van de steenkolen, treden samen op bij het ontstaan en de ontwikkeling van een mijngasdoorbraak.

De aanwezigheid van gas in de laag komt op twee manieren tussen :

- door de druk, die het verschijnsel in gang zet,
- door de concentratie, die verantwoordelijk is voor de ontwikkeling van de doorbraak, vermits het losbreken en het verplaatsen van de produkten over een grote afstand een gevolg is van de ontspanning van het geadsorbeerde gas.

De spanningen in het gesteente hebben een dubbele invloed :

- ten eerste beïnvloeden ze de verplaatsing van het gas in het massief;
- ten tweede hebben ze een invloed op de mechanische afbraak van het massief.

De splijtingstoestand van de steenkolen heeft een invloed :

- op de trekweerstand waardoor de laag zich ten dele verzet tegen de losbrekende krachten die door de drukval veroorzaakt worden;
- op de oorspronkelijke desorptiesnelheid van het gas die een helpende rol speelt bij het ontstaan en de verdere afwikkeling van de doorbraak; de energie die beschikbaar is voor het vervoeren van het materiaal hangt ervan af;
- in zekere zin op de permeabiliteit van het massief vóór het front; in het laboratorium werd immers aangetoond dat bepaalde kolensoorten onder spanning een opvallend kleinere permeabiliteit krijgen.

### 232. Het karakteriseren van het verschijnsel volgens de laboratoriumstudie.

Dank zij de laboratoriumstudie konden twee factoren die determinerend zijn voor het ontstaan en de ontwikkeling van de mijngasdoorbraak (aanwezigheid van het gas en spijtingstoestand van de steenkolen) worden omschreven en zelfs berekend:

- 1°) aanwezigheid van gas : door de concentratie in desorbeerbaar gas, C, uitgedrukt in  $\text{m}^3$  gas per ton zuivere kolen;

2°) fissuration du charbon : par examen au microscope, par un test de fragilité ou mieux par un indice de fissuration  $\Delta P_s$  (\*).

Pour parvenir à une caractérisation encore plus précise, on utilise aussi, entre autres, l'indice de vitesse initiale de désorption  $V_1$  défini antérieurement. Cet indice est un bon indice de danger car il dépend à la fois de la concentration en gaz et de l'indice  $\Delta P$ , c'est-à-dire qu'il résume l'action conjuguée de la présence de gaz et de la fissuration du charbon.

Il faut remarquer que, pour obtenir une caractérisation complète, il faut encore mesurer les contraintes qui règnent dans le massif. Mais il s'agit là d'un problème minier qui ne découle pas des études de laboratoire sur les propriétés physiques des charbons. A titre d'information, nous signalerons seulement que ces contraintes ont été mesurées indirectement par l'état d'agitation sismique des terrains.

### 3. APPLICATIONS DES RECHERCHES A LA LUTTE CONTRE LE GRISOU

#### 30. Généralités

Parmi les applications à la pratique minière des études de l'adsorption et de la désorption du méthane par les charbons, nous citerons :

- la prévision des dégagements grisouteux des tailles;
- le perfectionnement des techniques de captage, notamment par une meilleure implantation des sondages;
- la mise au point de nouvelles techniques de maîtrise du grisou, telles que l'humidification préalable du massif par prétéléinjection d'eau et la fracturation hydraulique des couches ou fracking;
- la maîtrise des dégagements instantanés par la caractérisation préalable de la susceptibilité des couches, la prévision des D.I. à court terme, la mise au point de certains moyens de prévention et de leur contrôle.

Bien entendu, les études sur l'adsorption et la désorption du méthane n'auraient pas suffi, à elles seules, à résoudre cette série de problèmes; mais elles ont apporté des éléments de solution très importants, voire indispensables.

(\*)  $\Delta P$  = indice conventionnel caractéristique de l'aptitude du charbon à libérer rapidement son grisou et qui dépend directement de la fissuration.

$\Delta P_s$  = valeur de  $\Delta P$  d'un panneau ou portion de panneau qui est dépassée par 5 % au plus des valeurs de  $\Delta P$ .

2°) splijtingstoestand van de steenkolen : door microscopisch onderzoek, door een broosheidstest of beter door de splijtingsindex  $\Delta P_s$  (\*).

Voor een nog nauwkeuriger karakterisering gebruikt men onder meer ook de index van initiale desorptiesnelheid  $V_1$  die eerder bepaald werd. Dit is een goede gevraagd index want hij hangt tegelijkertijd af van de gasconcentratie en van de index  $\Delta P$ , dit wil zeggen dat hij de gecombineerde actie samenvat van de gasaanwezigheid en van de splijtingstoestand van de steenkolen.

Hier dient opgemerkt te worden dat een volledige karakterisering ook het meten vergt van de spanningen in het massief. Dat is evenwel een mijnbouwkundig probleem dat niet voortvloeit uit de laboratoriumstudies over de fysieke kenmerken van de kolen. Wij vermelden ter inlichting enkel dat de spanningen onrechtstreeks gemeten werden door de seismische bewegingstoestand van het gesteente.

### 3. TOEPASSINGEN VAN DE ONDERZOEKINGEN OP DE MIJNGASBESTRIJDING

#### 30. Algemeenheden

Wij vermelden volgende toepassingen van de studie der adsorptie en desorptie van mijngas door steenkolen op de praktische mijnbouw:

- het vooraf bepalen van de mijngasontwikkeling in de pijler;
- het verbeteren van de mijngascaptatietechnieken, vooral door een betere inplanting van de boringen;
- het uitwerken van nieuwe technieken om het mijngas te beheersen, zoals het voorafgaandelijk bevochtigen van het massief door de pre-téléinjectie van water en het hydraulisch verbrekken van de lagen of fracking;
- het beheersen van de mijngasdoorbraken door het vooraf bepalen van de gevoeligheid der lagen, het voorspellen van doorbraken op korte termijn, het uitwerken van bepaalde voorkomingsmaatregelen en de controle op deze maatregelen.

Vanzelfsprekend zou de studie van de adsorptie en de desorptie op zichzelf niet volstaan hebben om deze reeks problemen op te helderen; deze studie heeft evenwel zeer belangrijke, zoniet onmisbare elementen verschafft die tot de oplossing geleid hebben.

(\*)  $\Delta P$  = conventionele index, kenmerkend voor de geschiktheid van steenkolen om hun mijngas snel af te geven, hoofdzakelijk afhangend van de splijtingstoestand.

$\Delta P_s$  = waarde van  $\Delta P$  van een paneel of een gedeelte van een paneel die door hoogstens 5 % van de  $\Delta P$ -waarden wordt overschreden.

### 31. Prévision des dégagements grisouteux

Les éléments indispensables à la prévision des dégagements grisouteux des tailles sont : - 1°) la connaissance précise de la stratigraphie des terrains au toit et au mur de l'exploitation - 2°) la connaissance de la forme et de l'extension de la zone de dégazage au toit et au mur du chantier - 3°) la concentration initiale ou résiduelle en gaz des couches incluses dans cette zone - 4°) les degrés de dégazage des couches qui sont influencées par l'exploitation.

Les études sur l'adsorption et la désorption du méthane ont contribué à l'élaboration de deux méthodes de détermination de la concentration en gaz des couches; elles ont aussi fourni indirectement des éléments de solution au problème de la délimitation des zones de dégazage et de la fixation des taux de dégazage des couches influencées, incluses dans ces zones.

A titre d'exemple, on peut signaler que, grossièrement, il est maintenant possible de prévoir les dégagements grisouteux dans les bassins belges, pour 80 % des tailles en plateaures, avec une précision comprise entre plus ou moins 10 à 30 % (fig. 6).

### 32. Moyens de lutte contre le grisou

Nous examinerons seulement ici les moyens de lutte pour lesquels les études théoriques ou les essais de laboratoire ont été utiles, en ce sens qu'ils ont permis d'y apporter des améliorations.

#### 321. Captage du grisou.

L'importance des dégagements spécifiques de grisou observés dans les chantiers ne laisse aucun doute sur la nécessité d'écartier du courant d'air la plus grande partie possible de ce grisou. Le captage est l'un des moyens les plus efficaces pour atteindre ce but. L'un des procédés de captage les plus courants est celui des trous de sonde montants et descendants, forés à partir de la voie de tête (et parfois de la voie de base) du chantier en exploitation, à travers-bancs. Toutefois, le rendement du captage sera d'autant meilleur que les sondages auront été mieux implantés. L'une des idées directrices pour le choix de l'implantation optimale des sondages est la suivante : il faut capter le grisou le plus près possible des sources d'émission, sans doute, mais là aussi où les couches et les terrains sont les plus perméables (donc détendus et fissurés).

Dans la zone détendue autour du chantier, par suite de l'abaissement de la pression, l'équilibre entre le grisou libre et le grisou adsorbé présent

### 31. Het vooraf bepalen van mijngasontwikkelingen

Onmisbare elementen bij het vooraf bepalen van de mijngasontwikkeling in de pijler zijn: 1°) een nauwkeurige kennis van de stratigrafie van het gesteente onder en boven de werkplaats; - 2°) de kennis van de vorm en de uitgebreidheid van de ontspannen zone in dak en vloer van de werkplaats; - 3°) de oorspronkelijke of overblijvende gasconcentratie van de lagen in deze zone; - 4°) de ontgassingsgraad van de lagen die door de ontginning worden beïnvloed.

De studie van de adsorptie en de desorptie van methaan hebben geleid tot het ontstaan van twee methoden voor het bepalen van de mijngasconcentratie van een laag; ze hebben ook onrechtstreeks bijgedragen tot de oplossing van het probleem van het afbakenen van de ontgassingszones en het vaststellen van de ontgassingsgraad van de in deze zones liggende beïnvloede lagen.

Men kan bijvoorbeeld zeggen dat het nu grosso modo mogelijk is de mijngasontwikkeling in de Belgische bekens vooraf te bepalen in 80 % van de vlakke pijlers, met een nauwkeurigheid van plus of min 10 tot 30 % (fig. 6).

### 32. Middelen tot bestrijding van het mijngas

Wij beschouwen hier alleen die bestrijdingsmiddelen waarvoor gebruik kon gemaakt worden van de theoretische studies of laboratoriumproeven, in die zin dat zij sommige verbeteringen hebben mogelijk gemaakt.

#### 321. De mijngasafzuiging.

De omvang van de specifieke mijngasontwikkeling die men in de werkplaatsen waarneemt laat er geen twijfel over bestaan dat men het grootst mogelijk gedeelte van dit mijngas uit de luchtstroom moet houden. De mijngasafzuiging is een der meest doeltreffende middelen om dit doel te bereiken. Een der meest gebruikte afzuigtechnieken is het aanleggen van klimmende en dalende boorgaten die geboord worden vanuit de koppalerij (soms de voetgalerij) van de ontginningswerkplaats, dwars door het gesteente. Het rendement van de afzuiging zal echter beter zijn naarmate de boorgaten beter zijn ingeplant. Een voorname leidraad voor het kiezen van de inplanting is de volgende : men moet het mijngas ongetwijfeld zo dicht mogelijk bij de bron opvangen maar tevens daar waar de lagen en het gesteente het meest doorlatend zijn (dus ontspannen zijn en gespleten).

In de ontspannen zone rondom de werkplaats wordt het evenwicht tussen het vrije mijngas en het in de laag aanwezige geadsorbeerde mijngas

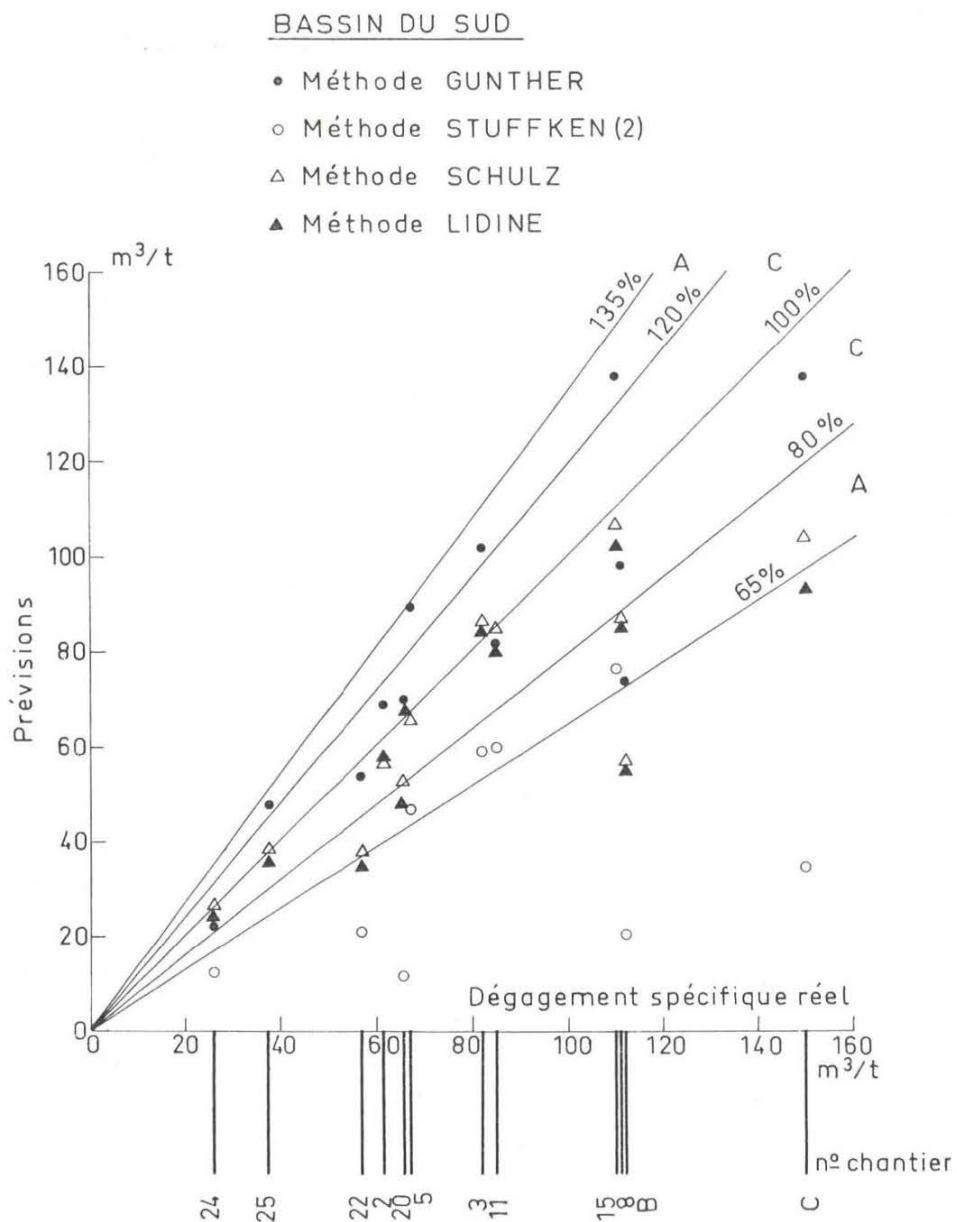


Fig. 6.

Prévision des dégagements grisouteux dans les tailles en plateaures du bassin du Hainaut.

Het vooraf bepalen van de mijngasuitwaseming in vlakke pijler in het bekken van Henegouwen.

dans une couche est rompu et le gaz se met à migrer depuis la couche vers le chantier. Les mesures de perméabilité ont montré que les charbons sont intrinsèquement peu perméables. Par contre, la détente des terrains à la suite de l'exploitation y provoque la création d'un réseau de fissures qui sont autant de voies de cheminement pour le gaz. C'est par conséquent, en général, dans la zone détendue et fissurée, à perméabilité fortement accrue, qu'il faut planter les sondages pour en obtenir le meilleur rendement.

door drukval verbroken en zet het gas zich in beweging van de laag naar de werkplaats. Permeabiliteitsmetingen hebben aangetoond dat de lagen op zichzelf weinig doorlatend zijn. Daarentegen veroorzaakt de ontspanning van het gesteente, als gevolg van de ontginding, een heel net van splijtingen die evenveel wegen zijn waardoor langs het mijngas zich verplaatst. Daarom moeten de boringen in het algemeen worden ingeplant in de ontspannen en gespleten zone met toege- nomen permeabiliteit, zo men het beste rendement wil bekomen.

**322. Humidification préalable de la couche** (prétéléinjection d'eau).

Comme autre procédé de lutte contre le grisou, on a parfois envisagé le prédégazage partiel des couches, préalablement à l'exploitation. Mais, à l'heure actuelle, on ne dispose pas encore de moyens de prédégazage réellement efficaces, autres que l'exploitation en premier lieu de la couche la moins grisouteuse d'un faisceau ou bien le captage par des sondages ou des galeries de dégazage, au moment de l'exploitation d'une couche voisine.

La méthode de la prétéléinjection d'eau sous pression (fig. 7) pour prédégazer une couche à exploiter et éventuellement ses satellites ne peut être d'une grande efficacité si l'on vise ainsi à déplacer le grisou de ces couches avant l'exploitation. En effet, l'eau injectée sous pression ne peut déplacer que le grisou libre dans les fissures de la couche, mais le volume de grisou libre (d'après les études de fixation du méthane par les charbons) ne représente qu'une faible partie du grisou contenu dans la couche (de l'ordre de 10 % maximum pour fixer les idées). Le volume de grisou déplacé par la prétéléinjection d'eau ne dépassera pas celui du volume d'eau injecté. Quant au grisou adsorbé, phase la plus importante du grisou présent dans la couche, il ne sera nullement déplacé; au contraire, sa désorption sera freinée (cfr par. 14 : influence de l'humidité sur la vitesse de désorption).

Le manque d'efficacité de la prétéléinjection d'eau, en ce sens, tient en outre au peu de perméabilité des couches, notamment en zone vierge.

**322. Het vooraf bevochtigen van de laag** (pretele-injectie van water).

Men heeft ooit een ander middel tot bestrijding van het mijngas overwogen, namelijk de gedeeltelijke voorontgassing van de lagen voorafgaandelijk aan de ontginding. Momenteel beschikt men echter nog niet over werkelijk doeltreffende middelen tot voorontgassing, behalve het eerst afbouwen van de minst mijngasachtige laag van een bundel of het afzuigen door middel van boorgaten of ontgasingsgalerijen, op het ogenblik dat een naburige laag wordt ontgonnen.

De methode van de pretele-injectie van water onder druk (fig. 7) om een te ontginnen laag en eventueel de in de omtrek gelegen lagen te ontgassen kan niet erg doelmatig zijn als men daarmee beoogt het gas in die lagen voor de ontginding te verplaatsen. Het onder druk ingespoten water kan immers alleen het mijngas verplaatsen dat vrij in de spleten van de laag aanwezig is, maar het volume vrij mijngas vertegenwoordigt volgens de studies over het fixeren van methaan door steenkolen slechts een kleine gedeelte van het mijngas dat in de laag aanwezig is (zowat 10 % om iets te zeggen). Het mijngasvolume dat door de pretele-injectie wordt verplaatst kan niet hoger liggen dan het volume van het geïnjecteerde water. Het geadsorbeerde mijngas, de belangrijkste faze van het in de laag aanwezige mijngas, wordt helemaal niet verplaatst; de desorptie ervan wordt integendeel tegengewerkt (zie par. 14 : invloed van de vochtigheid op de desorptiesnelheid).

Dit gebrek aan doeltreffendheid van de pretele-injectie van water houdt in die zin onder meer verband met de geringe permeabiliteit van de lagen, vooral in een onaangeroerde zone.

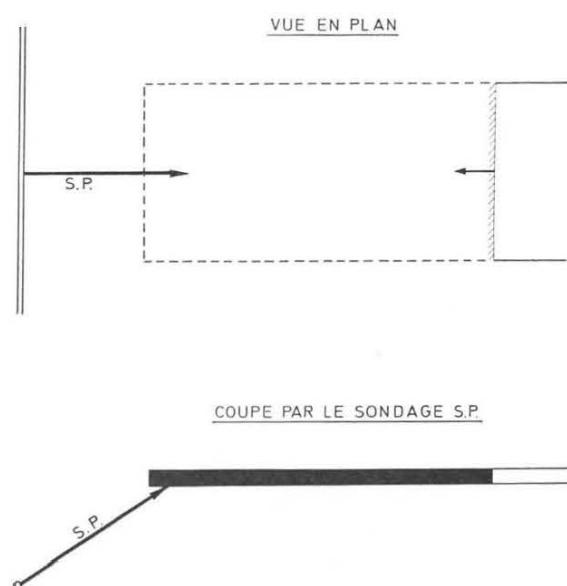


Fig. 7.  
Prétéléinjection d'eau dans une couche.  
Pretele-injectie van water in een laag.

Toutefois, le procédé de la prétéléinjection d'eau est susceptible de faciliter la lutte contre le grisou en favorisant une rétention du gaz dans le charbon, ainsi que cela résulte de l'étude de la désorption. Nous avons observé que les vitesses de désorption de gaz des charbons humides ou humidifiés étaient réduites par rapport à celles des charbons secs.

Lors d'essais de prétéléinjection d'eau, en Campine, Deguelde et Lavallée ont constaté que le dégagement de grisou des couches prétéléinjectées était réduit. Cela est dû au fait que les charbons humidifiés libèrent moins facilement leur grisou.

### 323. Fracturation hydraulique des couches.

A la suite de nombreuses études théoriques et d'essais de laboratoire, les Mines de la Sarre ont expérimenté le procédé de la fracturation hydraulique (méthode analogue au fracking appliquée dans l'exploitation des gisements de gaz naturel) en vue de préégazier la couche à exploiter. Si les résultats de cette expérience ne sont pas concluants au point de vue du préégazage — ce qui s'explique fort bien par les études sur la désorption et la circulation du grisou dans les couches — cette technique peut toutefois faciliter le captage au moment de l'exploitation et permettre une réduction des coûts du captage traditionnel par sondages.

### 33. Maîtrise des dégagements instantanés

Les études sur la structure des charbons à D.I. et des phénomènes d'adsorption et de désorption qui leur sont propres ont contribué, à côté d'autres recherches minières, à résoudre les problèmes de classement des couches, de prévision et de prévention des D.I.

Ces problèmes complexes ont été traités dans de nombreuses publications et, notamment, dans un rapport publié dans les Annales des Mines de Belgique, février 1969 (1).

Nous ne pouvons en donner ici qu'un aperçu très succinct.

### 331. Classification des couches ou des panneaux vis-à-vis du risque de D.I.

En plus d'autres paramètres, on utilise pour la classification des couches :

- la concentration en gaz désorbable C ( $m^3/t$ ),
- l'indice de fissuration du charbon  $\Delta P$ ,
- l'indice de vitesse initiale de désorption  $V_1$ .

(1) J. Belin et R. Vandeloise — Résultats des recherches effectuées en Belgique et en France sur les dégagements instantanés (D.I.) dans les mines de charbon.

Het procédé van preteleïnjectie van water kan de bestrijding van het mijngas bevorderen door een beter vastzetten van het gas in de kolen zoals volgt uit de studie van de desorptie. Wij hebben gezien dat de desorptiesnelheid van gas in vochtige of bevochtigde steenkolen lager waren dan die van droge kolen.

Tijdens proeven over preteleïnjectie van water in de Kempen hebben Deguelde en Lavallee vastgesteld dat de gepreteleïnjecteerde lagen minder afgaven. Dit is te wijten aan het feit dat bevochtigde kolen hun mijngas minder gemakkelijk lossen.

### 323. Het hydraulisch verbrokkelen van de lagen

Na vele theoretische studies en laboratoriumproeven hebben de Mijnen van de Saar proeven gedaan met een procédé tot hydraulische verbrijzeling (methode analoog aan de fracking, toegepast bij de ontginding van afzettingen van aardgas), ten einde de te ontginnen laag vooraf te ontgassen. Zo de resultaten van deze proefnemingen niet bevredigend zijn uit oogpunt van voorontgassing — hetgeen maar al te goed verklaard wordt door de studie van de desorptie en de verplaatsing van het mijngas in de laag — dan kan deze techniek toch het afzuigen bevorderen op het ogenblik van de ontginding, en daardoor een vermindering van de kosten meebrengen van de traditionele afzuiging langs boorgaten.

### 33. Het beheersen van de mijngasdoorbraken

De studie van de structuur der steenkolen met neiging tot mijngasdoorbraken en van de verschijnselen van adsorptie en desorptie ervan hebben naast ander mijnbouwkundig vorsingswerk bijgedragen tot de oplossing van problemen in verband met het indelen van de lagen, het vooraf bepalen en het voorkomen van de doorbraken.

Deze ingewikkelde problemen werden in talrijke publikaties behandeld en onder meer in een verslag dat verscheen in de Annalen der Mijnen van België, februari 1969. (1)

Wij kunnen er hier slechts een zeer beknopt overzicht van geven.

### 331. Inleiding van de lagen of panelen ten opzichte van het risico van doorbraken.

Naast andere parameters gebruikt men voor het indelen van de lagen:

- de concentratie van desorbeerbaar gas C ( $m^3/t$ );
- de splijtingsindex van de steenkolen  $\Delta P$ ;
- de index van initiale desorptiesnelheid  $V_1$ .

(1) J. Belin en R. Vandeloise — Resultaten en onderzoeken uitgevoerd in België en Frankrijk over de mijngasdoorbraken in de steenkolenmijnen.

### 332. Recherche d'un signe prémonitoire de D.I.

Les indices de fissuration du charbon et de vitesse de désorption — toujours en plus d'indices d'une autre nature — donnent des indications utiles pour prévoir les D.I. à court terme. En suivant l'évolution au jour le jour de ces indices, on est parvenu à prédire certains D.I. quelques heures ou quelques jours à l'avance. Il n'existe toutefois pas de relation absolument univoque entre ces indices et les D.I. Une réglementation d'emploi seulement localisé des méthodes de prévention ne peut être basée sur les observations actuelles.

### 333. Méthodes de prévention des D.I. et contrôle.

Les études sur la structure et certaines propriétés physiques des charbons et sur la désorption du grisou ont fourni des moyens de contrôle plus précis des méthodes de prévention des D.I. Par le fait même, on a pu mieux comprendre le mécanisme d'action de ces procédés et parfois les perfectionner.

Les moyens de contrôle sont :

- 1°) le contrôle de l'abaissement du gradient de concentration en gaz en avant du front;
- 2°) le contrôle de l'abaissement de la concentration en gaz elle-même à une profondeur constante en avant du front;
- 3°) le contrôle de l'abaissement des vitesses de désorption.

L'influence bénéfique de l'exploitation préalable d'une couche égide a été confirmée par l'abaissement des concentrations en méthane et des vitesses de désorption dans la couche dangereuse.

L'abaissement des vitesses de désorption a confirmé l'efficacité de l'affouillement hydraulique préalable pour la recoupe d'une couche par un travers-bancs et de l'infusion d'eau profonde en avant du front de taille.

L'intérêt du foudroyage pour le contrôle du toit dans les longues tailles a été souligné par l'observation de concentrations en grisou plus faibles en avant du front d'une taille foudroyée que d'une taille remblayée.

Les mesures de vitesse de désorption ont souvent été utilisées pour fixer les distances entre sondages de détente en taille.

### 332. Het opsporen van een verwittigingsteken in verband met de doorbraken.

De splijtingsindex van steenkolen en de desorptiesnelheid geven — alijk naast indexen van een andere aard — nuttige aanduidingen voor het voorkomen van een doorbraak op korte termijn. Door de ontwikkeling van deze indexen dag voor dag te volgen is en erin gelukt enkele doorbraken enkele uren of enkele dagen voordien te verkenne. Er is evenwel geen eenduidig verband tus-sen deze indexen en de doorbraken. Een regle-mentering, enkel voor het plaatselijk gebruik van de voorkomingsmethoden, kan enkel op actuele waarnemingen gebaseerd worden.

### 333. Methoden voor het voorkomen van doorbraken en de controle erop.

De studie van de structuur en van sommige fysieke eigenschappen van de steenkolen en van de desorptie van mijngas heeft meer nauwkeurige methoden tot het controleren van de technieken tot het voorkomen van doorbraken opgeleverd. Daardoor heeft men ook meer inzicht gekregen in het werkingsmechanisme van deze procédé's en heeft men ze soms kunnen verbeteren.

Deze controlemiddelen zijn de volgende :

- 1°) controle op de vermindering van de gasconcentratiegradiënt vóór het front;
- 2°) controle op de vermindering van de gasconcentratie zelf op een constante diepte vóór het front;
- 3°) controle op de vermindering van de desorptiesnelheid.

De gunstige invloed van het vooraf ontginnen van een beschermende laag werd bevestigd door een daling van de methaanconcentraties en de desorptiesnelheden in de gevaarlijke zone.

De vermindering van de desorptiesnelheid bewees de doelmatigheid van het hydraulisch wegspoelen voordat een laag door een dwarsgang wordt aangesneden evenals van de injectie van water op grote diepte vóór het pijlerfront.

Het belang van de dakbreuk voor de dakcon-trole in de lange pijlers werd onderstreept door de waarneming van kleinere mijngasconcentraties voor het front van een breukpijler dan voor het front van een vulpijler.

De metingen over de desorptiesnelheden wer-den vaak gebruikt om de afstand tussen de ontspanningsboringen in de pijler te bepalen.

**4. CONCLUSION**

Nous avons énuméré toute une série d'applications pratiques à l'étude et à la solution de problèmes spécifiquement miniers, de recherches théoriques ou d'essais de laboratoire.

Sans ces recherches et ces essais, certains problèmes posés au mineur par le grisou auraient été, sinon insolubles, du moins fort difficiles et fort longs à résoudre. C'est un domaine de l'exploitation des mines où les tâtonnements ne sont pas permis et où toute erreur peut se traduire par un danger, d'une part, et par un manque de rentabilité de la mine, d'autre part.

On peut réellement dire que, dans le domaine que nous avons évoqué, la science a été la précieuse auxiliaire de la technique et de l'industrie minière.

**4. BESLUIT**

Wij hebben een hele reeks praktische toepassingen aangehaald van theoretisch onderzoekingswerk en laboratoriumproeven op de studie en de oplossing van specifieke mijnbouwproblemen.

Zonder deze onderzoeken en proeven zouden sommige problemen waarvoor de mijnwerker zich door het mijngas geplaatst ziet onoplosbaar worden of ten minste grote en langdurige moeilijkheden veroorzaken. Op dit gebied van de mijnontginning is onzekerheid niet aanvaardbaar en kan elke vergissing resulteren ofwel in een gevaar ofwel in een tekort aan rendabiliteit van de mijn.

Men kan werkelijk zeggen dat de wetenschap op het gebied dat wij hier behandeld hebben de gewaardeerde medewerkster is geweest van de mijnbouwtechniek en -industrie.