P 3770

Publication de l'Institut National
des Industries Extractives et de
l'Administration des Mines

Publikatie van het Nationaal Instituut
voor de Extractiebedrijven en het
Bestuur van het Mijnwezen

Edition - Abonnements
Publicité

Uitgeverij - Abonnementen
Advertenties

Direction-Rédaction
Institut National
des Industries Extractives
B-4000 Liège, rue du Chéra, 200

Directie-Redactie
Nationaal Instituut
voor de Extractiebedrijven
Tél. 041/52 71 50

Les articles publiés dans cette revue n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et paraissent dans la langue choisie par ces derniers

De artikels gepubliceerd in dit tijdschrift verschijnen onder de verantwoordelijkheid van hun auteurs en in de door hen gekozen taal

Reproduction, adaptation et traduction autorisées en citant le titre de la Revue, la date et l'auteur

Reproductie, bewerking en vertaling toegelaten met aanhaling van het Tijdschrift, de datum en de auteur

SERVICE GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE
BIBLIOTHEQUE

SOMMAIRE
Mars-Avril 1986

INHOUD
Maart-April 1986

J. Bricteux et N. Pirard : Détermination des caractéristiques de détecteurs portatifs CO, HCN, NO, NO_2. Influence de divers paramètres sur les réponses — 575

P. Welis : La sécurité dans les installations de broyage et de stockage de charbon pulvérisé : aptitude à l'auto-inflammation et à l'explosion des produits — 593

Statistique des accidents survenus au cours de 1985 dans les mines de houille et dans les autres établissements surveillés par l'Administration des Mines
Statistiek van de ongevallen in de kolenmijnen en in de andere inrichtingen onder het toezicht van de Administratie van het Mijnwezen in 1985 — 616

Selection of Coal Abstracts — 635

Book review — 643

Announcements — 643

127-130

Détermination des caractéristiques de détecteurs portatifs CO, HCN, NO, NO_2. Influence de divers paramètres sur les réponses*

Jean Bricteux** et Nadine Pirard***

RESUME

Le potentiel de détection de quelques appareils disponibles sur le marché a été évalué en vue de leur utilisation dans des atmosphères d'incendie.

Les caractéristiques suivantes ont été mesurées : linéarité de la réponse, temps de réponse, dérive du zéro et à différents niveaux de concentration, stabilité de la calibration, temps de stabilisation après 24 heures d'arrêt.

L'influence du déficit en oxygène, de l'humidité relative, de la présence de divers gaz et de vapeurs organiques sur les réponses a également été déterminée.

Sans faire mention de noms commerciaux, l'étude fait bien ressortir les performances auxquelles ce type d'appareil peut donner lieu.

SAMENVATTING

Het detectiepotentieel van enkele toestellen die op de markt beschikbaar zijn werd geraamd met het oog op hun gebruik in brandatmosferen.

De volgende karakteristieken werden gemeten : lineariteit van het antwoord, antwoordtijd, nulpuntverschuiving of verschuiving op verschillende concentratieniveaus, stabiliteit van de kalibrering, stabilisatietijd na 24 uur afstelling.

De invloed van het tekort aan zuurstof, van de relatieve vochtigheid, van de aanwezigheid van diverse soorten gas en van organische dampen, op de antwoorden werd eveneens bepaald.

Zonder handelsnamen te noemen, doet de studie de prestaties goed uitkomen die dit type van apparaat kan leveren.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfassungsmöglichkeiten einiger auf dem Markt erhältlicher Apparate wurden im Sinne ihrer Gebrauchbarkeit in Brandatmosphären ermessen.

Folgende Eigenschaften wurden gemessen : die Geradlinigkeit der Antwort, die Antwortszeit, die Null-Ablenkung und zwar bei verschiedenen Konzentrationsgehalten, die Kalibrierungsfestigkeit, die Stabilisierungszeit nach 24-stündigem Stillstand.

Der Einfluss von Sauerstoffmangel, von relativer Feuchtigkeit, von der Anwesenheit verschiedener Gase oder organischer Dämpfe, auf die Antworten wurde ebenfalls festgestellt.

Ohne Nennung irgendwelcher komerzieller Marken, zeigt diese Studie deutlich zu welchen Leistungen ein solcher Typ von Apparaten fähig ist.

SUMMARY

The performances of some commercially available meters have been evaluated with the objective of their utilization in fire atmospheres.

The following characteristics have been measured : linearity, response times, zero and various concentrations drifts, calibration stability after 24 hours'stop.

The effect of oxygen and humidity contents and the influence of the presence of various gases and organic vapours have also been examinated.

Reference name instruments are not given, but the research well shows the performance capabilities and limitations of this type of meters.

* Recherche exécutée pour le compte de l'Etat belge au sein des Services de Programmation de la Politique Scientifique

** Coordonnateur général, Institut National des Industries Extractives

*** Licenciée en Sciences sanitaires, Institut National des Industries Extractives

TABLE DES MATIERES

0. INTRODUCTION

1. EQUIPEMENT DU LABORATOIRE

1.1. Rampe à gaz
1.2. Acquisition et traitement des données

2. PROGRAMME D'ESSAI

2.1. Détermination des caractéristiques des détecteurs

2.1.1. Linéarité de la réponse
2.1.2. Temps de réponse
2.1.3. Dérive du zéro et à différents niveaux de concentration
2.1.4. Stabilité de la concentration
2.1.5. Temps de stabilisation après 24 heures d'arrêt

2.2. Acquisition et traitement des données

2.2.1. Etablissement des courbes de réponse pour les mélanges air-x

3. DETECTEURS CO

4. DETECTEURS HCN

5. DETECTEURS NO_2

6. DETECTEUR NO

7. CONCLUSIONS

0. INTRODUCTION

Un article paru récemment a montré combien pouvait être élevé le degré de toxicité des produits de décomposition thermique des matériaux naturels et synthétiques utilisés dans le contenu combustible des habitations qualifié généralement de charge d'incendie [1].

En fait, si les facteurs qui affectent la survie lors des incendies sont classés par ordre d'importance, il apparaît que, parmi les huit paramètres généralement considérés, le premier concerne l'augmentation des concentrations en oxyde de carbone et le troisième la présence de gaz toxiques ou nocifs [2].

La toxicité des gaz formés peut affecter non seulement les personnes qui sont au prise avec le sinistre, mais également le personnel des services de secours chargé de le combattre.

Le problème de la détection des gaz en milieu d'intervention est ainsi directement posé.

En matière de détection de gaz, il y a lieu de distinguer, d'une part, les gaz formant avec l'air un mélange explosif et, d'autre part, les gaz ayant une action toxique.

Si différents types d'explosimètres présents sur le marché offrent aux services d'incendie des possibilités de mesure suffisantes, il n'en est pas de même pour la détection des gaz toxiques.

Pour ces derniers, il est généralement fait appel à des tubes à réactif chimique qui sont mal adaptés aux besoins. La détection d'un composé gazeux donné suppose l'emploi du tube spécifique et, dans le cas d'atmosphères complexes, le recours obligatoire à plusieurs tubes de nature différente. En outre, la nécessité de mesures répétitives occupe constamment l'attention du personnel d'intervention. Il faut encore ajouter que des interférences peuvent fausser les résultats et que, si le prix d'achat des tubes est d'un montant abordable, l'utilisation d'un tube par mesure et leur temps de conservation limité grèvent les frais d'exploitation.

Le Ministre de l'Intérieur, sensibilisé par le manque d'adaptation de ce type de détection, a jugé qu'il s'imposait de développer un système répondant aux nécessités. Un tel appareil, portatif, muni d'une alimentation autonome, fournissant des résultats fiables d'interprétation aisée avec alarme sonore et acoustique, résistant à des atmosphères corrosives et explosives, devrait être apte à détecter plusieurs gaz.

Les Services du Premier Ministre de la Programmation de la Politique Scientifique ont répondu favorablement à une demande du Ministère de l'Intérieur et libéré, en 1982, les crédits nécessaires à une recherche visant à la mise au point d'un système de détection et d'analyse de gaz toxiques". L'Iniex a été chargé de l'exécution du projet et un Comité d'Accompagnement désigné pour veiller à son bon déroulement. Il nous est agréable de remercier ici, pour leur collaboration, Messieurs F. Henry, Directeur Opérationnel aux Services de Programmation de la Politique Scientifique, A. Bruaux, du Service de la Physique des Solides à l'Université Libre de Bruxelles, J.M. Gilles, Professeur aux Facultés N.D. de la Paix à Namur, R. Léonard, Ingénieur principal à la Direction du Service d'Incendie du Ministère de l'Intérieur.

La première étape du travail, décrite ici, a consisté à rassembler, suite à une enquête, puis à évaluer le potentiel de détection de quelques appareils portatifs disponibles sur le marché et, plus particulièrement, ceux susceptibles de détecter le monoxyde de carbone (CO), l'acide cyanhydrique (HCN) et les oxydes d'azote (NO et NO_2).

Cet article ne mentionne pas de noms commerciaux. Il a pour but de définir les caractéristiques qu'il nous a paru intéressant de mesurer et de rendre compte des performances auxquelles ces types d'appareil peuvent donner lieu. Il comporte trois grand chapitres : d'abord une brève description des moyens mis en oeuvre au laboratoire, ensuite un énoncé des programmes d'essai et, en dernier lieu, un aperçu des résultats.

1. EQUIPEMENT DU LABORATOIRE

Le laboratoire d'essai des gaz toxiques a été aménagé dans deux directions :

. Construction d'une rampe à gaz destinée à réaliser, en système dynamique, des mélanges précis d'un ou de deux gaz dans l'air.

- Mise en place d'un système d'acquisition et de traitement des données.

1.1. RAMPE A GAZ

La rampe est brièvement décrite à l'aide des photographies A et B de la figure 1.

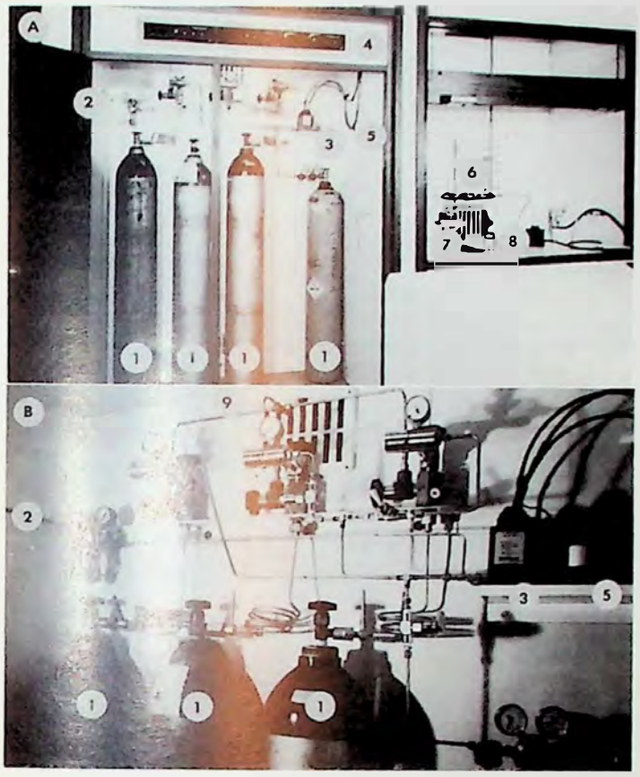


Fig. 1 : Rampe à gaz

A. Vue d'ensemble
B. Détails du système de dilution

1. gaz à diluer
2. air de dilution
3. contrôleurs de débit
4. commande des contrôleurs
5. vers détecteurs
6. arrivée des gaz
7. pompe à membrane
8. vers atmosphère
9. circuit de purge

L'ensemble est disposé dans deux hottes contigües. Les bonbonnes de gaz étalon à diluer (1) sont placées à gauche; elles contiennent des concentrations en gaz de 1000 ou 5000 ppm à amener à quelques ppm par dilution dans l'air (2). L'air, type sec, provient de bonbonnes, mais un système non visible sur la photographie permet de l'amener à une humidité relative constante. Ce système fonctionne, soit avant, soit après la dilution. Dans le premier cas, il règne dans l'enceinte une pression de 3 kg/cm^2; dans le deuxième cas, on se trouve à la pression atmosphérique. La plupart des essais seront effectués dans la position avant dilution, de manière à éviter toute corrosion du système de dilution, lequel, contrairement à toutes les autres parties de l'appareillage, n'est pas construit en acier inoxydable. La teneur en humidité relative est, sauf indication contraire, égale à 33 %.

Le système de dilution permet de réaliser des mélanges précis de un ou de deux gaz dans l'air. Il comporte essentiellement trois modules du type "Dyna Blender" de la firme Matheson, chacun comprenant un contrôleur de débit à débitmètre massique (3) et son module de commande (4). Le module relatif à l'air permet des débits atteignant 5 litres/min et ceux placés sur les circuits de gaz à diluer des débits de 20 ou 50 ml/min, suivant le cas. Le montage électronique est tel que toute variation du débit d'air entraîne une variation dans le même rapport des débits des gaz étalons maintenant les concentrations constantes. Le système est également insensible à de légères fluctuations de la température.

Il faut encore noter que toutes les dilutions peuvent être commandées par micro-ordinateur.

Après dilution, les gaz passent dans la hotte de droite et arrivent dans la chambre (6), laquelle présente six possibilités de prises de gaz vers les détecteurs sous expérimentation. Pour les détecteurs n'ayant pas de pompe d'aspiration, c'est-à-dire qui opèrent par diffusion, une pompe à membrane est prévue pour aspirer du débit principal qui est de 2 ou 3 litres/min, des débits plus faibles sont dirigés vers des débitmètres munis de vannes à pointeau. Finalement, des débits de l'ordre de 50 à 200 ml/min peuvent être envoyés vers les cellules à diffusion des détecteurs. Les débitmètres et les raccordements aux détecteurs sont visibles sur la photographie de la figure 2.

Des septums pour prises d'échantillons, destinés à l'analyse des gaz par chromatographie en phase gazeuse, sont prévus à l'entrée et à la sortie de la chambre d'arrivée des gaz.

1.2. ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNEES

La mise en place de l'ensemble acquisition a été effectuée comme le montre la figure 2. La chaîne comporte, en ordre principal, un enregistreur Molytek 2701 (1), lequel possède un interface permettant de le coupler à un ordinateur, un ensemble Hewlett-Packard HP86 (2) et l'interface de commande automatique des dilutions (3).

Sur la partie gauche de la photographie, on distingue la hotte avec les détecteurs, dont l'agencement a été décrit en 1.1.

Fig. 2 : Ensemble d'acquisition et de traitement des données

(1) Enregistreur Molytek
(2) Ensemble HP86
(3) Interface de l'ensemble des dilutions

2. PROGRAMME D'ESSAI

Les grandes lignes du programme d'essai sont énumérées puis détaillées dans les paragraphes qui suivent :

- Détermination des caractéristiques des détecteurs
  - Linéarité de la réponse
  - Temps de réponse
  - Dérive du zéro et à différents niveaux de concentrations en gaz x (x = CO, HCN, NO ou NO_2)
  - Stabilité de la calibration
  - Temps de stabilisation après 24 heures d'arrêt
- Acquisition et traitement des données
  - Etablissement des courbes de réponse pour des mélanges air-x
  - Influence du déficit en O_2 et de l'humidité
  - Interférence de divers gaz et vapeurs organiques

2.1. DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DES DETECTEURS

2.1.1. Linéarité de la réponse

Les réponses des détecteurs, en mV ou en V, sont enregistrées en fonction de la concentration en ppm.

Les détecteurs qui ne possèdent pas de sortie "enregistreur" ont été adaptés de manière à pouvoir suivre l'évolution des réponses.

2.1.2. Temps de réponse

La notion de temps de réponse, positif ou négatif, inclut deux paramètres :

. Le temps de croissance (Rise time) ou de décroissance (Fall time), qui correspondent respectivement à une augmentation ou à une diminution de la concentration.

. Le retard à la réponse (Lag time).

Les définitions sont les suivantes :

. Temps de croissance ou de décroissance : intervalle de temps s'écoulant entre le moment où une augmentation ou une diminution de la concentration est imposée et celui où la réponse du détecteur atteint une valeur qui se situe à + ou - 10 % de la valeur imposée.

En général, la variation positive ou négative imposée est égale à 75 + ou - 5 % du maximum de l'échelle du détecteur.

. Retard à la réponse : intervalle de temps s'écoulant entre le moment de l'imposition d'une variation de concentration et celui où cette imposition se traduit sur la réponse du détecteur.

Une partie du retard à la réponse provient des conditions de mesure proprement dites.

Le temps de réponse, positif ou négatif, est ainsi la somme de deux termes : le temps de croissance ou de décroissance et le retard à la réponse.

Etant donné la définition des temps de croissance et de décroissance, il est parfois fait mention de temps de réponse équivalent à 90 %.

Théoriquement, la courbe des temps de réponse se présente comme le montre la fig. 3.

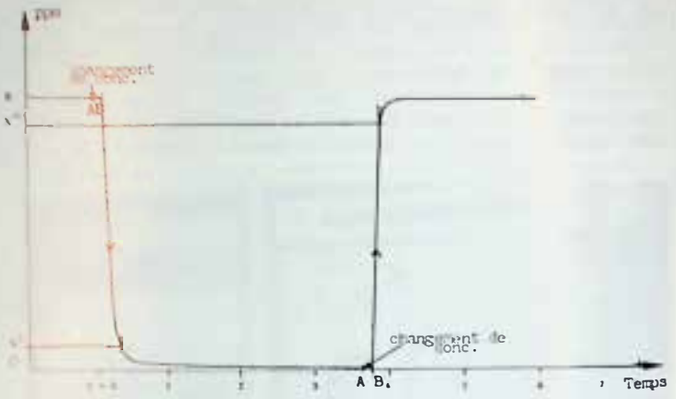


Figure 3 : *Courbe théorique des temps de réponse*

x' et x" = ± 10 % de la valeur imposée par le changement de concentration
AB = retard à la réponse

2.1.3. Dérive du zéro et à différents niveaux de concentrations

La dérive du zéro est mesurée pendant 4 h. Il s'agit de mesures enregistrées et non de lectures sur les échelles des détecteurs, aucun réglage n'étant réalisé au cours des enregistrements.

Les dérives à différentes concentrations sont enregistrées de la même manière.

2.1.4. Stabilité de la calibration

Si la dérive à différents niveaux de concentration est une mesure de la stabilité en fonction du temps, il est une autre caractéristique importante : c'est celle de la stabilité de la calibration sur une longue période avec utilisation intermittente du détecteur.

La stabilité de la calibration est testée en considérant une concentration donnée et en réalisant journellement, pendant cinq jours consécutifs, des mesures au temps 0 après 1 heure, 2 heures, 3 heures et 4 heures. Pendant les mesures, aucun ajustement des appareils n'est effectué.

Il s'agit également ici de mesures enregistrées et non de lectures sur l'échelle de l'appareil.

2.1.5. Temps de stabilisation après 24 heures d'arrêt

Cette caractéristique est déterminée en enregistrant le temps nécessaire pour obtenir la stabilisation de l'appareillage à différentes concentrations.

2.2. ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNEES

2.2.1. Etablissement des courbes de réponse pour des mélanges air-x

Pour tous les détecteurs, il y a d'abord lieu de tracer les courbes de réponse. Dans ce but, diverses concentrations, qui représentent approximativement 10, 25, 50, 75 et 100 % de l'échelle des appareils, sont retenues.

Le programme a été établi de telle sorte qu'il comporte cinq cycles. Au cours de chacun des cinq cycles, à chacune des con-

contrations, il y a enregistrement de la valeur mesurée en fonction de la valeur réelle imposée, commandée par l'ordinateur. La courbe moyenne résultant des mesures est calculée, tracée sur l'écran, puis enregistrée sur l'imprimante du HP 86.

Il va sans dire que cette façon de déterminer les courbes de réponse constitue un test très sévère pour les cellules des détecteurs qui opèrent dans des conditions inhabituelles, étant soumises toutes les trois minutes par cycle, et ceci pendant cinq cycles, aux variations de concentration définies ci-dessus.

La figure 4 représente, à titre d'exemple, l'enregistrement de courbes moyennes obtenues, pour des mélanges ne renfermant que de l'air et du CO, lors de l'examen simultané des cinq détecteurs testés. Un listing reprenant les valeurs individuelles est également disponible.

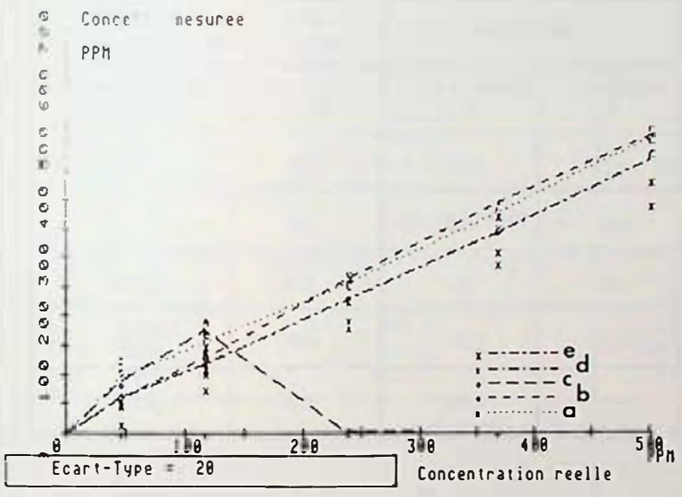


Fig. 4 : Exemple de courbes moyennes de réponse pour un mélange air-CO

2.2.1.1. Influence du déficit en O_2 et du taux d'humidité relative

Les courbes de réponse ont été enregistrées en présence de 21 (air), 14 et 7 % d'oxygène et en faisant varier l'humidité relative dans le cas de l'air : 40, 60 et 80 %. Comme il a déjà été signalé, cette dernière mesure a nécessité une modification dans la circulation des gaz.

2.2.1.2. Interférence de divers gaz et vapeurs organiques

Les courbes de réponse ont été enregistrées en présence de mélanges renfermant, en plus du constituant correspondant au type de détecteur, un autre gaz susceptible de modifier les réponses. Il en est de même pour les vapeurs organiques.

Par exemple, pour certains détecteurs CO, l'influence du HCN, SO_2, CO_2, NO et NO_2 a été vérifiée et les vapeurs organiques suivantes ont été introduites dans le circuit gazeux à travers le septum prévu sur la chambre d'arrivée des gaz : acétone, acétaldéhyde, méthanol et benzène.

3. DETECTEURS CO

3.1. DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES

Les effets physiologiques chez l'homme pour différentes concentrations d'oxyde de carbone dans l'air sont décrits dans le tableau I.

Concentration en ppm	Symptômes
25	valeur TLV pour des conditions de travail musculaire intenses — températures élevées et diminution de la pression d'air
50	valeurs TLV et MAC
100	aucun symptôme d intoxication sinon après plusieurs heures
200	maux de tête — syncope après 4 à 5 h
300	cephalalgie — syncope après 3 h
400	intoxication visible. cephalalgie. nausées après 1 à 2 h — syncope après 2 h — mort après 3 à 4 h
500	hallucinations manifestees après 30 a 120 min
800	syncope après 1 h — mort après 2 h
1 000	difficultés de deplacements — mort après 2 h
1 500	mort en 1 h
2 000	mort en 45 min
3 000	mort en 30 min
8 000 ou plus	mort immediate par suffocation
12 800	inconscience apres 2 à 3 inspirations — mort en 1 à 3 min

Tableau I : Réponses physiologiques chez l'homme pour différentes concentrations de CO

Les échelles des détecteurs tiennent compte des concentrations dangereuses : elles sont généralement comprises entre 0 et 200, 500 ou même 2000 ppm. Cinq détecteurs ont été testés et, comme déjà signalé, désignés par des lettres (A,B,C,D,E). Il sont tous du type portatif et basés, à l'exception du détecteur D qui possède un senseur avec cellule électrolytique à l'état solide, sur des principes électrochimiques mettant généralement en jeu une oxydation du CO en CO_2. Il est impossible de décrire ces principes par manque d'informations détaillées fournies par les firmes.

Les échelles de mesure sont les suivantes : A : 0 à 500 ppm; B : 0 à 2000 ppm; C : 0 à 200 ppm; D : 0 à 500 ppm; E : 0 à 500 ppm. Les réponses sont transmises au HP 86 via l'interface du Molytek. Les détecteurs A,B,E sont alimentés par pile, les deux autres par batterie rechargeable.

3.1.1. Linéarité des réponses

La figure 5 montre la façon dont se présentent les courbes quand les réponses des détecteurs, en mV ou V, sont portées, en fonction de la concentration en CO, en ppm.

A l'exception du détecteur D, on peut considérer que les réponses sont pratiquement linéaires. Les courbes ainsi déterminées serviront de base à l'établissement du programme d'acquisition et de traitement des données.

3.1.2. Temps de réponse

Les grandeurs caractéristiques des temps de réponse ont été définies en 2.1.2.

Les résultats obtenus figurent dans le tableau II.

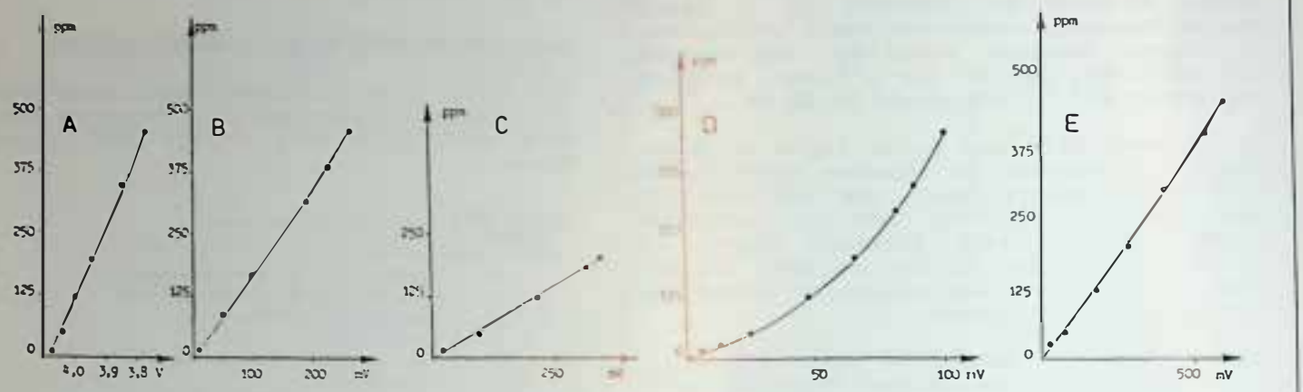


Fig. 5 : Réponses (mV ou V) des détecteurs en fonction des concentrations en CO

Tableau II. Temps de réponse (concentrations en ppm, temps en secondes)

Détecteur	Concentrations		Retard réponse pour concentration		Temps de		Temps de réponse pour concentration	
	inf. 1	sup. 2	croiss. 3	décroiss. 4	croiss. 5	décroiss. 6	croiss. 3 + 5	décroiss. 4 + 6
A	45	420	10	12	23	100	33	112
B	54	440	18	23	54	84	72	107
C	45	195	8	11	14	90	22	101
D	50	425	34	40	53	110	87	150
E	50	426	8	14	46	236	54	250

Les classements des détecteurs sont différents suivant que l'on considère les réponses croissantes ou décroissantes :

- pour les concentrations croissantes : C, A, E, B, D;
- pour les concentrations décroissantes : C, B, A, D, E.

Il faut signaler que le détecteur C, d'une part, est le seul appareil muni d'une pompe faisant circuler le gaz dans la cellule de mesure et, d'autre part, que son échelle est limitée à 200 ppm.

3.1.3. Dérive du zéro et à différents niveaux de concentration

Les dérives à différentes concentrations (0, 50, 100, 200 et 455 ppm) ont été enregistrées pendant 4 heures, les valeurs étant relevées toutes les 30 minutes, soit au total 9 relevés. Les résultats sont résumés dans le tableau III, lequel donne les moyennes arithmétiques, les variances et les écarts-types aux concentrations considérées.

Le détecteur D mis à part, on peut dire qu'il n'y a pas de différences vraiment significatives entre les divers appareils, notamment pour les dérives à 0, 50, 100 et 200 ppm.

3.1.4. Stabilité de la calibration

La concentration de 100 ppm a été choisie pour cette mesure de l'utilisation intermittente du détecteur, comme expliqué en 2.1.4.

Le tableau IV résume les résultats : moyennes journalières, moyenne des cinq jours, écart-type.

Le détecteur D mis à part, il ressort du tableau IV que la stabilité de la calibration est excellente, notamment en ce qui concerne le détecteur B.

Il faut toutefois noter que la batterie du détecteur C a dû être rechargée après le troisième jour.

3.1.5. Temps de stabilisation après 24 h d'arrêt

Les concentrations choisies sont respectivement égales à 50, 100, 200 et 455 ppm et les résultats sont consignés dans le tableau V.

Tableau III. Moyennes arithmétiques, variances et écarts-types relatifs aux mesures de dérive

Dérive à	Moyenne arithmétiques $\bar{x}$ (ppm)	Variance s^2 (ppm)	Ecart-type σ (ppm)
DETECTEUR A			
0 ppm	- 1,2	3,24	1,80
50 ppm	56,0	0,00	0,00
100 ppm	107,0	0,00	0,00
200 ppm	204,4	90,25	9,50
455 ppm	460,7	744,20	27,28
DETECTEUR B			
0 ppm	0,0	0,00	0,00
50 ppm	47,3	4,49	2,12
100 ppm	94,3	0,25	0,50
200 ppm	196,9	0,36	0,60
455 ppm	434,0	17,47	4,18
DETECTEUR C			
pp	- 0,5	0,26	0,51
pp	52,0	0,00	0,00
pp	99,6	0,11	0,33
pp	217,6	19,54	4,42
DETECTEUR D			
0 ppm	0,9	2,66	1,63
50 ppm	40,3	22,09	4,70
100 ppm	80,0	109,83	10,48
200 ppm	83,0	1857,61	43,10
455 ppm	233,7	1774,09	42,12
DETECTEUR E			
0 ppm	0,6	0,01	0,11
50 ppm	47,1	0,86	0,93
100 ppm	96,8	3,46	1,86
200 ppm	198,8	1,93	1,39
455 ppm	463,6	21,81	4,67

Tableau IV. Stabilité de la calibration à 100 ppm

Détecteur	Moyennes (ppm)						Ecart-type σ (ppm)
	1er jour	2ème jour	3ème jour	4ème jour	5ème jour	des 5 jours	
A	108	101	108	111	112	108	4,9
B	96	98	94	94	98	96	2,0
C	113	113	105	*	110	110	3,8
D	53	41	24	25	36	36	-
E	105	103	97	102	106	103	3,4

* Batterie déchargée

Tableau V. Temps de stabilisation (en s) après 24 h d'arrêt

Détecteurs	Temps de stabilisation à			
	50 ppm	100 ppm	200 ppm	455 ppm
A	150	144	138	162
B	192	144	120	132
C	228	144	> 600	-
D	> 600	264	258	> 600
E	210	204	138	192

3.2. ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNEES

3.2.1. Courbes de réponse

Le programme établi pour la détermination des courbes de réponse a été décrit au 2.2.1. Les concentrations choisies pour le calcul sont respectivement égales à 48, 120, 240, 370 et 500 ppm.

La courbe tracée sur l'imprimante du HP 86 a déjà été présentée à la figure 4. Différentes courbes de ce genre ont été enregistrées au cours des essais. Le tableau VI rend compte des résultats obtenus au cours de six essais. Dans ce tableau figurent les valeurs moyennes relevées sur les listings, la moyenne générale et l'écart-type.

Il y a lieu de formuler deux remarques au sujet du programme et du listing :

. Dans les conditions adoptées, les mesures relatives au détecteur C sont limitées à 120 ppm, étant donné que l'échelle de cet appareil ne dépasse pas 200 ppm.

. L'enregistrement des mesures concernant le détecteur D, bien que prévu initialement dans le programme, n'a pas été retenu. En effet, suite à la détermination des caractéristiques des détecteurs, il apparaît que cet appareil, même s'il possède certaines qualités, ne peut répondre aux expérimentations particulières envisagées dans cette étude.

Les résultats du tableau VI appellent les commentaires suivants aux différents niveaux de concentration :

- 48 ppm

. les moyennes générales du détecteur A (50,3) et du détecteur C (51,2) sont très proches, mais avec un écart-type inférieur pour ce dernier (6,3 contre 11,3);

. la moyenne générale du détecteur B est plus éloignée (59,4), mais l'écart-type est le plus bas de tous (5,1);

. la moyenne générale du détecteur E est la plus élevée (67,4) présente un écart-type également plus élevé (15,6).

- 120 ppm

. la moyenne générale du détecteur C est la plus proche (124,3) avec un écart-type de 11,5;

. les moyennes générales des détecteurs A (111,8), B (129,7) et E (131,7) sont assez comparables quant à l'écart par rapport à la valeur réelle; les écarts-types

Tableau VI. Réponses : valeurs moyennes, moyennes générales et écarts-types relatifs à six essais

Détecteurs	Concentrations réelles (ppm)	Concentrations mesurées (ppm)						Moyenne (ppm)	σ (ppm)
		1ère mesure	2ème mesure	3ème mesure	4ème mesure	5ème mesure	6ème mesure		
A	48	48,9	33,8	44,9	52,7	53,1	68,2	50,3	11,3
	120	116,7	101,1	89,6	112,4	119,8	131,1	111,8	14,6
	240	249,0	250,4	188,0	307,6	255,6	317,1	261,3	46,8
	370	355,3	360,4	258,8	470,6	380,7	473,2	383,2	80,6
	500	460,4	463,8	331,3	610,5	501,9	617,1	497,5	107,0
B	48	52,8	63,6	54,6	58,2	61,7	65,7	59,4	5,1
	120	123,1	143,8	116,6	128,0	132,6	134,1	129,7	9,4
	240	249,3	293,5	234,0	260,1	267,1	268,4	261,9	19,7
	370	370,6	430,6	350,7	387,9	396,0	397,9	389,0	27,1
	500	482,0	555,4	456,9	503,8	512,2	516,2	504,4	33,3
C	48	60,6	49,8	54,8	49,6	50,7	41,5	51,2	6,3
	120	138,4	123,0	123,0	125,1	131,9	104,4	124,3	11,5
E	48	63,3	77,7	76,0	78,4	41,7	-	67,4	15,6
	120	112,9	130,0	103,9	135,7	176,0	-	131,7	27,9
	240	206,9	235,4	160,3	252,1	361,5	-	243,2	74,7
	370	308,4	344,4	221,0	369,2	522,3	-	353,1	110,0
	500	402,9	451,2	283,4	492,5	693,7	-	464,7	150,1

sont différents avec un classement B (9,4), A (11,3) et E (27,9).

- 240 ppm

+ la moyenne générale du détecteur E est très proche (243,2), les deux autres A (261,3) et B (261,9) étant pratiquement identiques entre elles. Cependant, les écarts-types sont nettement différents : B : 19,7; A : 46,8; E : 74,7.

- 370 et 500 ppm

+ pour les deux teneurs, les valeurs du détecteur A (383,2 et 497,5) sont légèrement plus proches que celles du détecteur B (389,0 et 504,4). Les écarts des moyennes générales correspondant au détecteur C (353,1 et 464,7) sont équivalents au niveau de 370 ppm, mais plus importants à celui de 500 ppm. Par contre, les écarts-types sont ici également en faveur du détecteur B (27,1 et 33,3), comparés à ceux du A (80,6 et 107,0) et du E (110,0 et 150,1).

3.2.1.1. Influence du déficit en oxygène

Les courbes moyennes de réponse en présence de 21 14 et 7 % d'O_2 et les tracés obtenus à partir des valeurs des listings sont représentés à la figure 6.

Le simple examen des tracés permet de conclure que les détecteurs B et C ne sont pas influencés, et que pour les détecteurs A et E l'influence est systématique et régulière en fonction de la teneur en O_2 des mélanges gazeux.

3.2.1.2. Influence de l'humidité relative

L'influence a été testée sur les détecteurs A et B, mais n'a pas pu l'être sur le détecteur C. Quant au détecteur E, il doit toujours opérer, pour une bonne conservation de la cellule, en présence d'une humidité au moins égale à 60 %. Il faut signaler que, dans toutes les mesures effectuées au cours de cette recherche, les mélanges étaient saturés en eau avant de pénétrer dans la cellule du détecteur E.

Les valeurs des listings conduisent aux tracés de la figure 7, laquelle permet de conclure que, si le détecteur A présente une diminution marquée des concentrations mesurées pour une humidité relative de 80%, le détecteur B est pratiquement insensible aux variations d'humidité.

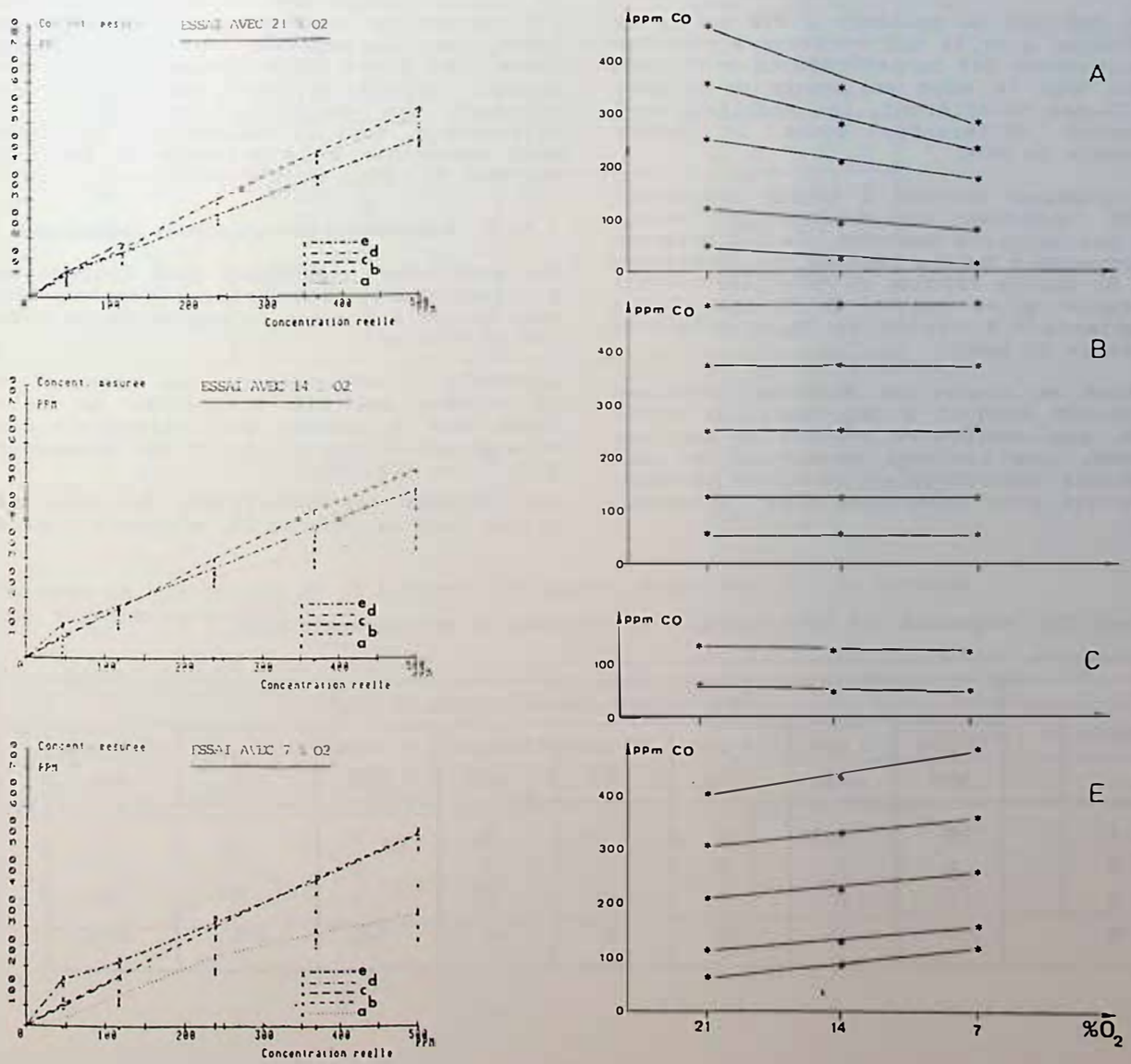


Fig. 6 : Influence de la teneur en O_2 des mélanges sur les réponses

à gauche : courbes moyennes de réponse
ci-dessous : réponses à diverses concentrations en fonction du pourcentage en O_2

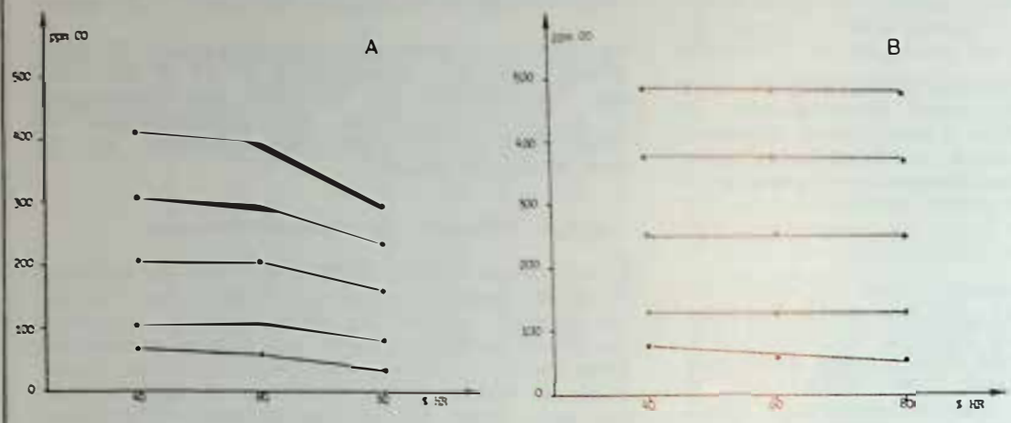


Fig. 7 : Influence de l'humidité relative des mélanges sur les réponses des détecteurs A et B

3.2.1.3. Influence de certains gaz

L'influence de l'acide cyanhydrique (HCN), des oxydes d'azote (NO et NO_2), du dioxyde de soufre (SO_2) et de l'anhydride carbonique (CO_2), a été évaluée en ajoutant des quantités constantes des gaz précités aux mélanges air-CO et en enregistrant les courbes moyennes de réponses temporelles.

Cette manière de procéder a été suivie de préférence à celle qui consiste à calculer l'équivalence des concentrations en CO provoquée par la mise en oeuvre de mélange air CO-gaz interférant. Les résultats sont nettement différents, comme le montre l'exemple de HCN.

Les mélanges air-HCN à teneur croissante en HCN conduisent aux résultats du tableau VII. Ces derniers montrent que ces mélanges ne provoquent aucune réponse des détecteurs A et B, que la réponse du détecteur C n'est décelable qu'au-dessus de 50 ppm et que le détecteur E répond de façon notable à partir de 10 ppm.

La mise en oeuvre de mélanges ternaires air-CO-HCN conduit à des résultats différents. Les courbes de réponse ne sont pas données, les listings permettant de calculer les interférences positives ou négatives qui sont présentées dans le tableau VIII.

Si l'on considère dans ce tableau la colonne relative à HCN, on s'aperçoit que si la présence d'un mélange air-HCN ne provoque aucune réponse du détecteur A, la mise en oeuvre d'un mélange air-CO-10 ppm HCN provoque à tous les niveaux de concentration des variations de quelque 20 %.

Un rapide examen des données du tableau VIII permet de conclure que, dans de nombreux cas, la présence de gaz étrangers donne lieu à des interférences qui se traduisent parfois de façon marquée sur les réponses. Une exception toutefois : le détecteur B, dont la réponse est pratiquement insensible à la présence de gaz tels que HCN, NO, NO_2, SO_2, CO_2.

3.2.1.4. Interférence de substances organiques

Les substances organiques sont introduites à l'aide d'une microseringue dans le courant gazeux à travers le septum de la chambre de mélange.

L'acétone, l'acétaldéhyde, le méthanol et le benzène ont été introduits de cette façon dans un courant de 2 litres/min d'un mélange air-50 ppm CO. Seuls les détecteurs A et B ont été testés.

Les réponses des détecteurs, qui sont reprises dans la tableau IX, montrent claire-

Tableau VII. Réponses des détecteurs CO en présence de mélanges air-HCN

Détecteurs	Equivalence concentration CO (ppm)							
	0 ppm HCN	5 ppm HCN	10 ppm HCN	20 ppm HCN	25 ppm HCN	50 ppm HCN	100 ppm HCN	200 ppm HCN
A	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	1	8	36
E	0	1	10	46	80	140	226	334

Tableau VIII. Influence, en %, de la présence de divers gaz sur les concentrations mesurées en CO

Concentrations réelles en CO (ppm)	% variation suite addition de				
	10 ppm HCN	25 ppm NO	25 ppm NO_2	25 ppm SO_2	200 ppm CO_2
			A		
48	- 19	+ 84	+ 6	+ 44	- 1,3
120	- 20	+ 41	- 2	+ 3	- 4,3
240	- 24	- 16	- 4	+ 28	- 4,6
370	- 22	- 20	- 5	+ 20	- 0,4
500	- 25	- 18	- 5	+ 13	- 4,1
			B		
48	< + 1	+ 6	+ 7	+ 1	- 3,4
120	< + 0,5	+ 2	< + 1	0	- 3,5
240	< + 0,5	+ 1	< + 1	0	- 3,3
370	< + 0,5	+ 1	< + 1	< + 1	- 0,3
500	< + 0,5	+ 1	< + 1	< + 1	- 2,4
			C		
48	+ 32	+ 6	+ 20	+ 4	pas de
120	+ 12	+ 41	+ 12	+ 28	mesures
			E		
48	+ 10	- 23	+ 131		
120	- 1	- 13	0	pas de	
240	- 10	- 10	+ 8	mesures	
370	- 17	- 7	+ 12		
500	- 21	- 6	- 3		

Tableau IX. Influence de la présence de vapeurs organiques sur la réponse des détecteurs A et B

Détecteurs	Concentrations réelles en CO (ppm)	Réponses (ppm) suite addition de						
		Acétone				Acétaldéhyde	Méthanol	Benzène
		1 µl	5 µl	10 µl	20 µl	1 µl	1 µl	1 µl
A	59	59	59	67	800	450	69	120
B	55	55	55	55	55	55	55	55

ment que le détecteur B n'est pas influencé par la présence de vapeurs organiques et que le détecteur A n'est sensible qu'en présence d'une certaine quantité d'acétone, mais répond à de faibles quantités d'acétaldéhyde et de benzène.

4. DETECTEURS HCN

4.1. DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES

Les effets physiologiques de l'acide cyanhydrique sont mentionnés dans le tableau X.

Tableau X. Réponses physiologiques chez l'homme pour différentes concentrations d'acide cyanhydrique

HCN concentration (en ppm)	Symptômes
0,2 - 5,1	limite de détection par l'odorat
10	valeurs TLV et MAC
18 à 36	légers symptômes maux de tête après plusieurs heures
45 à 54	tolérés sans difficulté de 1/2 h à 1 h
100	fatal après 1 h
110 à 135	fatal entre 1/2 h et 1 h, dangereux pour la vie
136	fatal après 30 minutes
181	fatal après 10 minutes
280	immédiatement fatal

Les teneurs à détecter sont inférieures à celles qui doivent être détectées dans le cas du CO et les échelles de mesure des appareils sont limitées à 100 ppm.

Deux détecteurs, désignés par les lettres F et G, ont été testés. Ils possèdent tous les deux des cellules à diffusion de type électrochimique. La cellule du détecteur F nécessite, pour une bonne maintenance, d'opérer en présence d'un gaz d'une humidité relative supérieure à 65 %, et pour celle du détecteur G il est recommandé d'utiliser un barboteur chimique dans les applications où "des interférences auraient une influence significative sur la réponse". Ces recommandations rendent aléatoire l'utilisation de ces appareils dans des atmosphères d'incendie.

4.1.1. Linéarité de la réponse

La figure 8 montre que les réponses des détecteurs peuvent être considérées comme linéaires. Il faut noter que les valeurs sont prises dix minutes après l'imposition du changement de concentration, lequel est réalisé par paliers et que, dans certains cas, une légère dérive est encore observée.

4.1.2. Temps de réponse

Pour les deux détecteurs, les concentrations affichées sont pour la valeur basse de 10 ppm et pour la valeur haute de 75 ppm. Dans certains cas, les valeurs obtenues sont assez éloignées des valeurs demandées et il n'est pas possible de considérer les temps de réponse comme ceux définis en 2.1.2., les courbes ne présentant pas de palier de stabilisation.

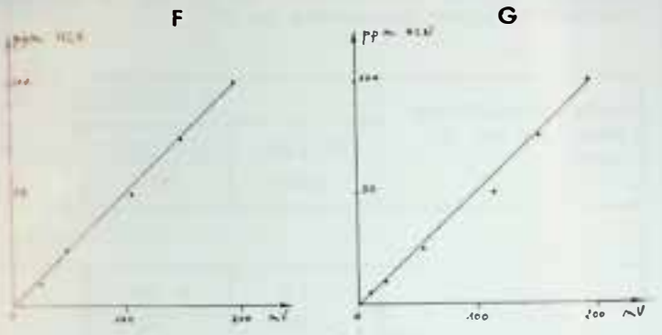


Fig. 8 : Réponses (mV) des détecteurs HCN en fonction des concentrations HCN (ppm). Débit : 100 ml/min

Ainsi, pour le détecteur F, si l'on considère les concentrations croissantes puis les concentrations décroissantes, on peut faire les observations suivantes :

Pour la concentration inférieure demandée à 10 ppm, la concentration réelle est de 23 ppm et pour la concentration supérieure à 75 ppm on obtient une dérive continue, laquelle atteint 82 ppm après 80 minutes. Si on retient cette dernière valeur comme point de départ des concentrations décroissantes, il faut 93 minutes pour redescendre à 23 ppm.

Les valeurs des concentrations portées en fonction du temps permettent d'obtenir, d'après les valeurs du tableau X, les courbes de la figure 9.

Tableau X. Détecteur F : réponses en fonction du temps

t (min)	log t	conc. croiss. (ppm)	conc. décroiss. (ppm)
0	0	23	82
2,30	0,4	42	73
5	0,7	53	64
10	1,0	64	56
20	1,3	71	48
40	1,6	77	39
80	1,9	82	30

L'allure de la courbe des concentrations croissantes (1) est asymptotique, tandis que celle des concentrations décroissantes (2) ou (3) en fonction du log t montre que l'on est en présence d'une décroissance exponentielle de la concentration.

Il semble donc que la réponse du détecteur soit influencée par des phénomènes d'adsorption et de désorption au niveau de l'électrode.

Dans le cas du détecteur G, si la valeur réelle de la concentration basse (8 ppm) est proche de la valeur programmée (10 ppm), il n'en est pas de même de la valeur

réelle haute : 41 contre 75 ppm.

Il n'est guère possible dans ces conditions de déterminer un temps de réponse significatif.

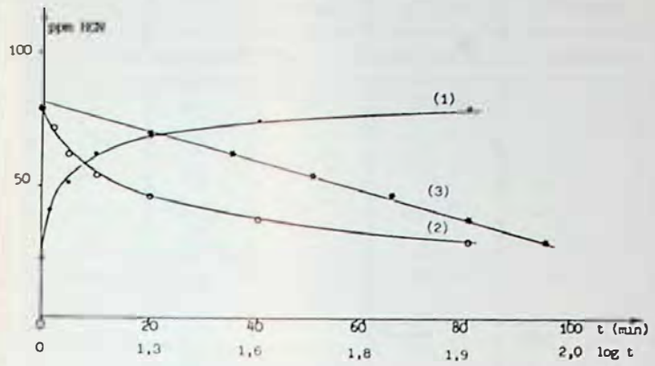


Fig. 9 : Détecteur F : réponses en fonction du temps
courbe 1 : concentration croissante/t
courbe 2 : concentration décroissante/t
courbe 3 : concentration décroissante/log t

4.1.2.1. Dérive du zéro et à différents niveaux de concentration

Le tableau XI rend compte des différentes mesures.

Le zéro est stable aussi bien pour le détecteur F que pour le détecteur G.

Si les dérives aux différents niveaux sont assez faibles, elles se situent néanmoins à des concentrations dont la moyenne est souvent éloignée de la concentration programmée. Par exemple :

- détecteur F : pour 25 ppm, $\bar{x}$ = 33,6 ppm
  50 ppm, $\bar{x}$ = 59,9 ppm
  100 ppm, $\bar{x}$ = 84,6 ppm
- détecteur G : pour 25 ppm, $\bar{x}$ = 16,0 ppm
  50 ppm, $\bar{x}$ = 22,6 ppm
  100 ppm, $\bar{x}$ = 27,4 ppm

4.1.2.2. Interférence de CO, NO_2 et NO sur les réponses des mélanges air-HCN

Les influences de la présence de CO, NO_2 et NO sur la réponse des détecteurs sont résumées dans le tableau XII. Les gaz influencent de manière acceptable les réponses du détecteur F, mais font varier de façon notable celles du détecteur G. C'est NO qui, dans chacun des cas, conduit aux interférences les plus marquées.

Les résultats obtenus lors de l'examen des caractéristiques, et notamment ceux relatifs aux temps de réponse, sont tels qu'il n'a pas été possible d'appliquer le système d'acquisition et de traitement des données mis au point lors de l'examen des détecteurs CO.

Tableau XI. Résultats des dérives du zéro et à différents niveaux de concentration en HCN

t (min)	x_1	Dérive à 0 ppm	Dérive à 25 ppm	Dérive à 50 ppm	Dérive à 100 ppm
Détecteur F - Echelle 0-100 ppm					
0	x_1	0	30	58	82
15	x_2	0	32	58	82
30	x_3	0	33	59	83
45	x_4	0	34	59	83
60	x_5	0	34	60	84
75	x_6	0	34	60	85
90	x_7	0	35	61	86
105	x_8	0	35	62	88
120	x_9	0	35	62	88
Σx_i		0	302	539	761
$\bar{x}$		0	33,6	59,9	84,6
Δx_{max}		0	3,6	2,1	3,4
Détecteur G - Echelle 0-100 ppm					
0	x_1	0	17	23	30
15	x_2	0	17	23	28
30	x_3	0	16	23	28
45	x_4	0	16	23	28
60	x_5	0	16	23	27
75	x_6	0	15	23	27
90	x_7	0	17	22	27
105	x_8	0	15	22	26
120	x_9	0	15	21	26
Σx_i		0	144	203	247
$\bar{x}$		0	16,0	22,6	27,4
Δx_{max}		0	1,0	1,6	2,6

Tableau XII. Influence, en %, de la présence de divers gaz sur la concentration en HCN

Conc. HCN (ppm)	% variation de concentration suite addition de 50 ppm CO	100 ppm CO	50 ppm NO_2	100 ppm NO_2	50 ppm NO
DETECTEUR F					
réelle : 50 mesurée : 58	0	0	- 1,5	- 5,2	- 17,2
DETECTEUR G					
réelle : 50 mesurée : 22	+ 9,1	+ 18,2	+ 9,1	+ 27,3	> 180

5. DETECTEURS NO_2

5.1. DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES

Les dangers que présentent le dioxyde d'azote pour l'homme sont signalés dans le tableau XIII.

Tableau XIII. Réponses physiologiques chez l'homme pour différentes concentrations de dioxyde d'azote

NO_2 concentration (en ppm)	S y m p t ô m e s
5	valeurs TLV et MAC - limite de perception par l'odorat
10 à 20	irritant faiblement les voies respiratoires supérieures
25 à 38	pas d'effet défavorable pour des ouvriers exposés pendant plusieurs années
50	nette irritation
80	oppression au niveau du thorax en 3 à 5 minutes
90	oedème pulmonaire dans les 30 min
100 à 200	très dangereux dans les 30 à 60 min
250	mort en quelques minutes

Les niveaux des teneurs à déceler sont très faibles.

Deux détecteurs, H et I, à cellules électrochimiques ont été expérimentés. En réalité, le détecteur H est un détecteur double qui permet de mesurer NO_2 et NO. Ces deux gaz peuvent donc être mesurés en présence l'un de l'autre à l'aide du même appareil qui se compose en fait de deux systèmes complets comprenant chacun : une pompe, un débitmètre, une vanne de contrôle du débit d'aspiration, un filtre destiné à éliminer les interférences et un flacon contenant de l'eau permettant d'obtenir un gaz à humidité relative plus ou moins constante.

Deux échelles de mesure sont disponibles pour chacun des gaz, qui sont, pour le NO_2, respectivement égales à 0-2 ppm et 0-10 ppm.

L'échelle du détecteur I est de 0-50 ppm; il y a aussi nécessité d'éliminer les interférences possibles.

La brève présentation des détecteurs fait apparaître que les réponses dépendent, entre autres, du débit, de l'humidité et de la présence de gaz étrangers. Le débit influence particulièrement la réponse, comme il sera montré plus loin, à titre d'exemple, pour un détecteur NO.

Tout comme pour les détecteurs HCN, et ceci sera également vrai pour les détecteurs NO, cette dépendance vis-à-vis des conditions extérieures est défavorable à l'utilisation de tous ces types d'appareil dans un environnement incendie.

5.1.1. Linéarité de la réponse

Les réponses des deux détecteurs peuvent être considérées comme linéaires, ainsi qu'il ressort de la figure 10. Seule l'échelle 0-10 ppm a été considérée.

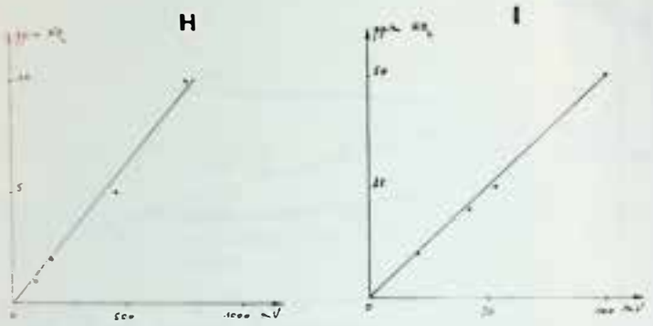


Fig. 10 : Réponses (mV) des détecteurs NO_2 en fonction des concentrations en NO_2 ppm

5.1.2. Temps de réponse

Dans ce cas non plus il n'est pas possible de calculer les temps de réponse tels qu'ils ont été définis en 2.1.2

Pour le détecteur H, les concentrations inférieures et supérieures sont respectivement de 2 et 7,5 ppm.

Si le point de départ est bien de 2 ppm, la concentration maximum est de 6 ppm, laquelle est atteinte après quelque 35 secondes. Il y a ensuite dérive qui passe par un minimum à 4 ppm avant de remonter jusqu'à 5 ppm, valeur à laquelle l'enregistrement a été arrêté.

Le passage de 5 à 2 ppm, en réalité 1,5 ppm, se fait en quelque 25 secondes.

En ce qui concerne le détecteur I, les concentrations sont de 7,5 et 35 ppm.

En fait, la concentration de départ est de 6 ppm et, si la concentration de 15 ppm est atteinte après approximativement 50 secondes, il y a ensuite dérive positive jusqu'à 22 ppm, suivie d'une dérive négative arrêtée à 18 ppm. Le passage de 18 à 6 ppm se fait en 90 secondes environ.

Il faut retenir que, contrairement à ce qui a été observé pour les détecteurs HCN, les réponses des détecteurs NO_2 aux variations de concentration imposées se font en un temps très court. Cependant, il y a manque de stabilité aux valeurs atteintes.

5.1.3. Dérive du zéro et à différents niveaux de concentration

Les résultats sont consignés dans le tableau XIII.

En dehors du zéro, les niveaux de 5 ppm pour le détecteur H et de 5 à 25 ppm pour le détecteur I ont été expérimentés.

Compte tenu des faibles teneurs mises en jeu, on peut considérer que les résultats sont tout à fait acceptables, notamment au niveau de 5 ppm.

Tableau XIII. Résultats des dérives du zéro et à différents niveaux de concentration en NO_2

t (min)	x_i	Dérive à		
		0 ppm	5 ppm	25 ppm
Détecteur H - Echelle 0-10 ppm				
0	x_1	0	4,0	-
15	x_2	0	2,5	-
30	x_3	0	2,7	-
45	x_4	0	3,2	-
60	x_5	0	3,6	-
75	x_6	0	3,8	-
90	x_7	0	4,0	-
105	x_8	0	4,3	-
120	x_9	0	4,5	-
Σx_i		0	32,6	
$\bar{x}$		0	3,6	
Δx_{max}		0	1,1	
Détecteur I - Echelle 0-50 ppm				
0	x_1	0	3,5	34
15	x_2	0	3,0	32
30	x_3	0	3,0	28
45	x_4	0	3,3	29
60	x_5	0	3,5	30
75	x_6	0	3,5	36
90	x_7	0	3,5	37
105	x_8	0	3,8	40
120	x_9	0	3,5	43
Σx_i		0	30,6	309,0
$\bar{x}$		0	3,4	34,3
Δx_{max}		0	0,4	8,7

5.1.4. Interférence de CO, HCN et NO sur les réponses des mélanges air-NO_2

Les interférences sont résumées dans le tableau XIV au niveau de 5 ppm, pour le détecteur H, et 20 ppm, pour le I.

Tableau XIV. Influence, en %, de la présence de divers gaz sur la concentration en NO_2

Conc. NO_2 (ppm)	% variation concentration suite à addition de			
	DETECTEUR H			
réelle : 5	5 ppm CO	5 ppm HCN	10 ppm NO	20 ppm NO
mesurée : 6	> + 70	+ 55	+ 13	> + 70
	DETECTEUR I			
réelle : 20	50 ppm CO	100 ppm CO	10 ppm HCN	10 ppm NO
mesurée : 17	- 10,6	- 11,8	+ 2,9	+ 73,5

Les influences se marquent particulièrement pour le détecteur H, mais il faut tenir compte du fait que l'échelle de mesure se situe entre 0 et 10 ppm.

La figure 11 montre trois exemples d'interférence.

SERVICE GEOLOGIQUE DE BELGIQUE

6. DETECTEURS NO

6.1. DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES

L'oxyde d'azote est considéré comme étant moins toxique que le dioxyde d'azote : valeur MAC = 25 ppm.

Ici également deux appareils ont été testés. Le premier H' fait partie d'un système qui comporte également un détecteur NO_2. Il a été décrit en 5.1. et ses échelles de mesure sont de 0-10 et 0-50 ppm. Le second J possède une échelle de 0-100 ppm.

Il sont tous deux dépendants des conditions de mesure et particulièrement du débit de gaz qui atteint les cellules, lesquelles sont de type électrochimique. L'influence du débit est mise en évidence par les résultats du tableau XV obtenus en mettant en oeuvre le détecteur J.

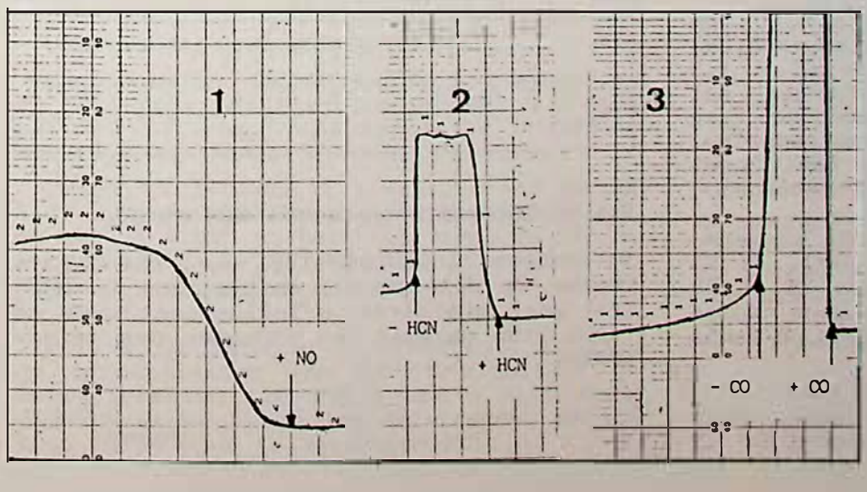


Fig. 11 : Exemples d'influence de divers gaz sur la réponse des détecteurs

1. Détecteur I : 17 ppm NO_2 + 10 ppm NO
2. Détecteur H : 6 ppm NO_2 + 5 ppm HCN
3. Détecteur H : 6 ppm NO_2 + 5 ppm CO

Pour obtenir ces résultats, la calibration a été effectuée au niveau de 50 ppm à trois débits différents : 50, 100 et 140 ml/min. Dans chacun des cas, une variation de débit a été imposée : l'examen du tableau montre que la concentration varie dans des limites importantes.

Tableau XV. Variation de la concentration en fonction du débit pour le détecteur J

Débit (ml/min)	Concentration en NO (ppm)		
	calibration 50 ppm à 50 ml/min	calibration 50 ppm à 100 ml/min	calibration 50 ppm à 140 ml/min
25	23	13	15
50	50	37	39
100	69	50	43
140	80	61	50
200	93	70	58
240	-	75	61

6.1.1. Linéarité de la réponse

La figure 12 montre que les réponses sont linéaires.

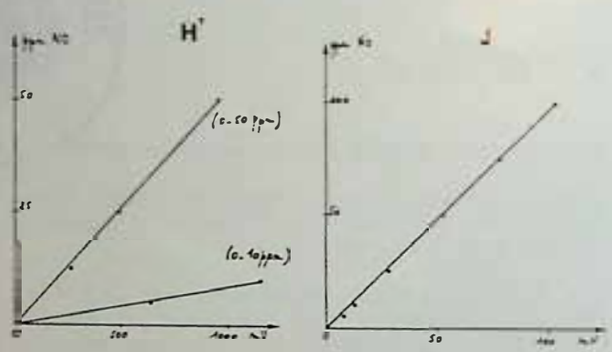


Fig. 12 : Réponses (mV) des détecteurs NO en fonction des concentrations en NO (ppm). Débit 100 ml/min

6.1.2. Temps de réponse

Les courbes des temps de réponse de ce détecteur sont, contrairement à celles des détecteurs HCN et NO_2 et malgré une légère dérive, semblables à celle de la courbe théorique définie en 2.1.2.

Pour le détecteur H', l'échelle 0-50 ppm ayant été la seule à être prise en considération, le temps de réponse de 40 à 7,5 ppm, valeurs programmées et obtenues, est légèrement inférieur à 30 secondes (lag time et temps de décroissance compris). Le temps de réponse croissant est, quant à lui, légèrement supérieur à 30 secondes.

Pour le détecteur J, les valeurs programmées et obtenues sont, d'une part, de 25 et 32 ppm et, d'autre part, de 75 et 58 ppm. Les passages, tant dans le sens croissant que décroissant, se font dans un temps approximatif de 30 secondes.

6.1.3. Dérive du zéro et à différents niveaux de concentration

Les différents résultats sont rassemblés dans le tableau XVI. Ils permettent de tirer les conclusions suivantes :

- le zéro est stable pour les deux détecteurs.
- Tout comme pour les détecteurs HCN, il faut noter que, si les dérives sont en général assez faibles, les concentrations atteintes sont parfois, mais dans une mesure moindre, éloignées des concentrations programmées.

Tableau XVI. Résultats des dérives du zéro et à différents niveaux de concentration en NO

Détecteur H' - Echelle 0-50 ppm					
t (min)	x_i	0 ppm	10 ppm	25 ppm	40 ppm
0	x_1	0	10	32	51
15	x_2	0	13	33	51
30	x_3	0	14	34	50
45	x_4	1	16	34	50
60	x_5	1	17	34	48
75	x_6	1	17	33	38
90	x_7	1	18	33	38
105	x_8	1	19	33	38
120	x_9	1	20	33	37
Σx_i		6	144	298	350
$\bar{x}$		0,7	16,0	33,1	38,9
Δx_{max}		0,7	6,0	1,1	1,9
Détecteur J - Echelle 0-100 ppm					
t (min)	x_i	0 ppm	10 ppm	25 ppm	75 ppm
0	x_1	0	10	31	67
15	x_2	0	12	31	68
30	x_3	0	14	32	68
45	x_4	0	15	33	68
60	x_5	0	16	33	68
75	x_6	0	17	33	68
90	x_7	0	17	34	68
105	x_8	0	18	35	68
120	x_9	0	19	35	68
Σx_i		0	138	36,9	611
$\bar{x}$		0	15,3	33,0	67,9
Δx_{max}		0	5,3	2,0	0,9

6.1.4. Interférence de CO, HCN et NO_2

Il ressort du tableau XVII que, mis à part le cas du détecteur J en présence de HCN, les gaz considérés n'influencent pas de façon trop marquée les réponses des détecteurs.

Néanmoins, une remarque importante doit être formulée : les mesures ont été effectuées entre six et neuf minutes après l'introduction du gaz étranger. En effet, dans tous les cas il y a au moment de l'introduction un dérèglement important de la ligne de base, qui ne reprend sa valeur initiale qu'après quelques minutes.

Tableau XVII. Influence, en %, de la présence de divers gaz sur la concentration mesurée en NO

Conc. NO (ppm)	% variation concentration suite à addition de					
	50 ppm CO	100 ppm CO	10 ppm HCN	20 ppm HCN	10 ppm NO_2	20 ppm NO_2
DETECTEUR H' *						
réelle : 20 mesurée : 24		+ 4,2	+ 4,2	+ 7,7	+ 4,2	+ 7,7
DETECTEUR J *						
réelle : 20 mesurée : 23	4,4	+ 8,0	+ 65,2	+117,4	+ 8,7	+ 4,4

* Les mesures ont été effectuées de 6 à 9 min après l'introduction du gaz dont on détermine l'influence. Voir texte.

7. CONCLUSIONS

L'évaluation du potentiel de détection de quelques appareils portatifs disponibles sur le marché, et qui, dans tous les cas y compris le coût, font partie de la même gamme, a été menée beaucoup plus loin que celle de la seule détermination du seuil d'alerte. La détermination de concentrations précises a été envisagée, même si dans la pratique ce genre de performance n'est pas exigé de ces appareils.

Des détecteurs CO, HCN, NO_2 et NO ont été testés.

La détermination de plusieurs de leurs caractéristiques et la mise au point d'un programme d'acquisition et de traitement des données, appliqué dans des conditions d'examen sévères, ont montré que les détecteurs CO possédaient des performances nettement supérieures à celles des détecteurs HCN, NO ou NO_2.

Détecteurs CO :

- Détermination des caractéristiques

. Linéarité de la réponse : à l'exception du détecteur possédant un senseur à l'état solide (D), tous les appareils possèdent une réponse linéaire.

. Temps de réponse : s'échelonnent de 22 à 87 s, pour les temps de réponse positifs, et de 101 à 250 s, pour les temps de réponse négatifs. Le détecteur qui possède une pompe d'aspiration des gaz (C) se classe le mieux.

. Dérive du zéro et à différents niveaux de concentration en CO et stabilité de la calibration : il n'y a pas de différence significative entre les détecteurs, exception faite pour le détecteur D.

. Temps de stabilisation après 24 heures d'arrêt : deux détecteurs (A et B) possèdent en général un léger avantage.

- Acquisition et traitement des données

. La détermination des courbes moyennes de réponse, telle qu'elle est envisagée dans cette étude, est un test particulièrement sévère. L'appareil D, même s'il convient pour la détection, n'est pas conçu pour suivre des variations de concentration en CO se présentant sous forme de cycles rapprochés.

. Courbes de réponse : dans l'ensemble, les moyennes des courbes de réponse sont assez proches des valeurs réelles, mais les écarts-types sont très importants, sauf pour un détecteur (B), lequel présente dans tous les cas l'écart-type le plus faible.

. Influence du déficit en O_2 :

Pour des mélanges renfermant 14 et 7 % d'oxygène, les réponses de deux détecteurs (B et C) sont les mêmes que celles obtenues dans l'air. Pour les deux autres, il y a, soit augmentation (E), soit diminution (A) systématique des réponses.

. Influence de la teneur en humidité relative :

Pour éviter toute dégradation de la cellule de mesure, un des détecteurs (E) doit opérer en présence d'une humidité relative au moins égale à 60 %. Le détecteur A présente une diminution marquée des concentrations mesurées pour une humidité relative de 80 %, tandis que le détecteur B est pratiquement insensible aux variations d'humidité.

. Influence de divers gaz :

La présence de gaz étrangers donnent lieu dans de nombreux cas à des interférences marquées, mais il faut noter que la réponse du détecteur B est pratiquement insensible à la présence des gaz testés dans l'étude : HCN, NO, NO_2, SO_2, CO_2.

. Influence de substances organiques

Deux détecteurs (A et B) ont été testés en présence d'acétone, d'acétaldéhyde, de méthanol et de benzène. Un des détecteurs (B) est insensible à la présence de vapeurs organiques, tandis que l'autre (A) est influencé par de faibles quantités d'acétaldéhyde et de benzène et réagit également en présence de quantités plus importantes d'acétone.

Détecteurs HCN, NO et NO_2 :

- Détermination des caractéristiques

. Linéarité des réponses : les réponses peuvent être considérées dans tous les cas comme linéaires en fonction de la concentration. Mais pour les détecteurs HCN, il faut attendre jusqu'à 10 min avant d'obtenir une une stabilité suffisante.

. Temps de réponse : les temps de réponse ne peuvent être considérés comme ils l'ont été pour les détecteurs CO :

Détecteurs HCN : des phénomènes d'adsorption et de désorption allongent les temps de croissance et de décroissance. De plus, les concentrations mesurées sont, notamment dans le cas du détecteur G, assez éloignées des concentrations programmées.

Détecteurs NO_2 et NO : les détecteurs répondent, dans un temps compris entre 30 et 90 secondes, aux variations de concentra-

tion. Mais il y a pour les détecteurs NO_2 manque de stabilité à la concentration atteinte, particulièrement pour les concentrations croissantes.

. Dérive du zéro et à différents niveaux de concentration : le zéro est stable et les dérives généralement faibles; cependant elles se situent à des niveaux de concentration mesurée assez éloignés des concentrations programmées.

- Acquisition et traitement des données

Le système mis au point lors de l'examen des détecteurs CO n'a pu être appliqué, seule l'influence de la présence de certains gaz sur les réponses a été expérimentée :

Détecteurs HCN : pour un des détecteurs (F), le CO n'a pas d'influence sur les réponses et la variation due à NO et NO_2 est acceptable. Par contre, pour le second détecteur les résultats sont affectés.

Détecteurs NO_2 : CO, HCN et NO ont un effet plus marqué sur la réponse du détecteur ayant l'échelle de mesure la plus sensible.

Détecteurs NO : dans tous les cas il y a dérèglement de la ligne de base au moment de l'introduction du gaz étranger. Après un temps, variant généralement de 6 à 9 minutes, la ligne revient assez près de sa valeur initiale.

BIBLIOGRAPHIE

[1] N. PIRARD. Annales des Mines de Belgique, 5-6, p 203, 1983.

[2] I.N.EINHORN, M.L.GRUNNET, J.H.PETAJAN. Proceedings of 2nd. Joint Panel Meeting on Fire Research and Safety. Publ. Building Research Institute Ministry of Construction, Japan, Tokyo 1976.

La sécurité dans les installations de broyage et de stockage de charbon pulvérisé : aptitude à l'auto-inflammation et à l'explosion des produits

Pierre Wells*

RESUME

Suite aux différents "chocs pétroliers", l'utilisation du charbon comme source d'énergie dans l'industrie est redevenue d'actualité. Présentement, dans les chaudières modernes, le charbon préalablement réduit en poudre est soufflé dans la chambre de combustion.

Le broyage fin et le transport du combustible solide présentent des dangers d'auto-inflammation et d'explosion qu'il est important de cerner.

Dans cette étude, financée par la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, nous avons voulu mettre en évidence l'influence, sur la réactivité du charbon pulvérisé, de certains facteurs comme le rang du charbon, sa finesse, l'effet de masse et la teneur en oxygène dans le milieu.

SAMENVATTING

Ingevolge de aardoliecrisis, kwam het gebruik van steenkool als energiebron in de nijverheid terug in de belangstelling. Tegenwoordig wordt in de moderne stookketels, de vooraf verpulverde steenkool in de verbrandingskamer geblazen.

Het fijn malen en het vervoer van de vaste brandstof vertegenwoordigen een gevaar voor zelfontbranding en ontploffing. Het is belangrijk dit gevaar te beheersen.

In deze studie, gefinancierd door de Europese Gemeenschap voor Kolen en Staal, hebben wij de invloed willen aantonen van bepaalde factoren zoals de rang van de steenkool, zijn fijnheid, het massa-effect en het zuurstofgehalte in de omgeving, op het reactievermogen van de poederkool.

ZUSAMMENFASSUNG

Nach mehreren aufeinanderfolgenden Erdölkrisen, kam wieder die Steinkohle als Energiespender in der Industrie immer mehr in Frage. Augenblicklich, wird in den modernen Heizkesseln die Kohle, zuvor zu Pulver verarbeitet, in die Verbrennungskammer geblasen.

Die Feinmahlung und der Transport des festen Brennstoffs sind jedoch der Selbstentzündung und der Explosion jederzeit ausgesetzt. Dieses Problem muss umfasst werden.

In dieser Arbeit, die von der E.G.K.S. finanziert wird, wollen wir den Einfluss von verschiedenen Faktoren, wie Kohlenrang, Feinheit, Massenbeeinflussung und Sauerstoffgehalt, auf die Empfindlichkeit der pulverisierten Kohle herausstellen.

SUMMARY

Following the different "oil booms", the use of coal in the industry as energy spring is become again a reality. At present in the modern steam generators, the coal after pulverizing is blowed to the combustion chamber.

The pulverizing and the transport of solid fuel bring forward risks of self-ignition and explosion which must be got under control.

In this study financially aided by the European Community for Coal and Steel, we have intended to put forward the influence of pulverized coal over the reactivity, the influence of several factors such as coal rank, fineness, mass effect and oxygen content in the environment.

* Chargé de Recherches au laboratoire "Poussières inflammables" de l'INIEX, division Colfontaine, rue Grande 60, B-7260 Colfontaine

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I : Introduction

CHAPITRE II : Les dangers présentés par le charbon pulvérisé

1. Les origines de la réactivité
2. L'auto-inflammation
3. L'explosion

CHAPITRE III : L'adsorption de l'oxygène de l'air sur le charbon pulvérisé

1. Introduction
2. Technique expérimentale
3. Description des échantillons
4. Résultats expérimentaux
5. Conclusions aux essais d'adsorption

CHAPITRE IV : L'auto-inflammation des dépôts de charbon pulvérisé

1. Introduction
2. Techniques expérimentales
   2.1. Le test d'exothermie
   2.2. Le test de stockage à chaud
3. Résultats expérimentaux et commentaires
   3.1. Les charbons utilisés
   3.2. Relation entre rang du charbon et auto-inflammation. Commentaires
   3.3. L'effet massique et l'auto-inflammation. Commentaires
   3.4. L'effet de la finesse sur l'auto-inflammation
      3.4.1. Charbon pulvérisé et broyé 0-4 mm
      3.4.2. Influence de la fraction < 200 µm dans un charbon broyé 0-4 mm
      3.4.3. Influence de la fraction < 200µm (64 µm)dans un charbon broyé 0-2 mm
      3.4.4. Influence du temps de broyage. Commentaires
   3.5. Tendance à l'auto-combustion de différents charbons pulvérisés. Commentaires
4. Conclusions à l'auto-inflammation

CHAPITRE V : L'explosion de suspensions de charbon pulvérisé

1. Introduction
2. Technique expérimentale : la cuve d'explosion de 1 m^3
3. Résultats expérimentaux et commentaires
   3.1. Relation explosibilité-concentration en poussière dans l'air et rang du charbon. Commentaires
   3.2. Essais d'inertisation. Commentaires
   3.3. Le degré d'avancement de la réaction de combustion. Commentaires
4. Conclusions sur les essais d'explosion

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE I : INTRODUCTION

Depuis le premier choc pétrolier de 1973, la part du pétrole dans notre bilan énergétique s'est fortement réduite au profit du nucléaire et du charbon.

Actuellement (1986), bien que le prix du brut ait brusquement chuté, personne ne peut prédire son évolution qui dépend largement d'événements erratiques originaires du Moyen-Orient. Pour cette raison et du fait que les réserves de houille sont immenses et réparties sur toute la planète, on peut penser que le charbon, surtout importé, a encore un bel avenir.

Dans la pratique industrielle, les combustibles solides sont presque toujours utilisés, soit sous forme broyée (refus à 200 µm supérieur à 20 %) pour les fours de briqueteries, par exemple, ou sous forme pulvérisée (refus à 200 µm inférieur à 20 %) pour les brûleurs de chaudières, entre autres, car le charbon peut alors être assimilé aux combustibles gazeux ou liquides pour ce qui est du transport et de la combustion.

En Belgique, les grands consommateurs de charbon, telles les centrales électriques ou les cimenteries, le réduisent en poudre sur le site même de son utilisation. Par contre, plusieurs sociétés se sont équipées pour produire et commercialiser du charbon pulvérisé. Le marché en vue est celui des petites et moyennes industries et le chauffage collectif : d'ici peu, on assistera à la mise en place de réseaux de distribution et de stockage de charbon pulvérisé.

Malheureusement, l'utilisation de combustibles solides finement divisés présente des dangers d'auto-inflammation et d'explosion. Même si les explosions de poussières sont moins nombreuses que les explosions de gaz (on estime que la proportion entre les deux types d'explosion serait de l'ordre de 5 % [1]), il peut en résulter pour l'industriel des pertes énormes de matière et des dégâts importants aux installations.

Dès l'instant où il est nécessaire de connaître sous quelles conditions un danger apparaît pour prendre des mesures en vue de réduire le potentiel de dommage et de fixer des réglementations convenables, il nous a paru opportun d'étudier le rôle que jouent certains facteurs sur la réactivité du pulvérisé, notamment le rang du charbon, sa finesse, l'effet de masse et la teneur en oxygène du milieu.

Notre ambition n'a pas été d'étudier en profondeur l'influence de ces facteurs; elle a plutôt visé à donner à l'industriel des ordres de grandeur et des tendances quant à l'influence de ces facteurs, en vue de procurer des éléments de réponse dans la conception des installations de broyage et de stockage.

CHAPITRE II : LES DANGERS PRÉSENTÉS PAR LE CHARBON PULVÉRISÉ

1. LES ORIGINES DE LA REACTIVITE

La combustion est une réaction d'oxydation rapide favorisée par le contact intime entre le comburant et le combustible.

Les dangers inhérents au charbon pulvérisé, combustible par nature, trouvent leurs origines dans deux propriétés liées à l'intense subdivision de la matière :

a) La grande surface spécifique du produit : un grain de charbon est comparable à une éponge, pour ce qui est de la surface interne accessible à l'air. Cette surface, dite "surface spécifique", peut être de l'ordre de 150 m^2/g.

b) La conductivité thermique du produit : en vrac le charbon pulvérisé est constitué de grains très petits, généralement inférieurs à 100 µm, et d'intervalles entre ces grains. Le transfert de chaleur se fait :

- Par passage direct d'un grain à l'autre par les surfaces de contact. La grandeur du flux dépend de la conductivité spécifique et de l'importance des surfaces de contact.
- Par les interstices remplis d'air ou d'un autre gaz.

La détermination de la conductivité thermique d'un matériau pulvérulent est fort complexe : elle ne sera pas abordée ici. Toutefois, on peut considérer que, pour les charbons pulvérisés étudiés plus loin, elle est, d'après Missenard [2], de l'ordre de 0,50 kcal/m/h/°C.

2. L'AUTO-INFLAMMATION

Les dépôts de poussières peuvent se révéler dangereux. C'est le cas du charbon pulvérisé qui s'échauffe lentement sous l'effet de l'oxydation.

Au sein du tas, comme la dissipation de chaleur est entravée par la faible conduction thermique, l'auto-échauffement s'accélère avec la montée en température et peut conduire à l'auto-inflammation.

Ces dépôts sont souvent à l'origine d'explosions lorsqu'ils se désagrègent en donnant naissance à un nuage de poussière.

Les facteurs qui régissent l'oxydation vive sont :

a) le combustible

- nature du charbon : rang, propriétés physico-chimiques
- granulométrie
- teneur

b) le comburant

- teneur en oxygène

c) la source d'inflammation

- type
- énergie

3. L'EXPLOSION

Pour que la poussière explose, il faut qu'il y ait :

1) Formation d'une suspension (soit naturellement par la manipulation du produit, soit par une explosion primaire).

2) Apport d'une énergie suffisante :

- chaleur : flamme nue, chalumeau, ...
- énergie électrique : étincelle électrique, décharge électrostatique, ...
- sources diverses : frottement mécanique, ...

A partir de la source d'inflammation, une flamme se propage dans le nuage. Son rayonnement échauffe les particules voisines, qui se pyrolysent avec émission de gaz combustibles. Ceux-ci se mélangent à l'air et forment autour de chaque particule un milieu propice à la propagation de la combustion. Pendant ce temps, les produits gazeux de la réaction, qui sont à hautes températures, se détendent et provoquent une accélération du front de flamme. De plus, une fois le régime de déflagration atteint, il y a déplacement de l'atmosphère devant la flamme dans le sens de sa progression (suite à l'expansion des gaz chauds). Cette "chasse" d'air, en soulevant la poussière, crée un nuage là où il n'y en avait pas. Le phénomène explique l'extension de la flamme sur plusieurs centaines de mètres, même si les particules ne sont pas initialement en suspension dans l'air [1].

Les vitesses des phases décrites ci-dessus sont très grandes et le mécanisme de la combustion fort complexe : il dépend des facteurs déjà cités plus haut, ainsi que du milieu (configuration des lieux, turbulence, température) qui conditionne le régime de la combustion.

CHAPITRE III : L'ADSORPTION DE L'OXYGÈNE DE L'AIR SUR LE CHARBON PULVÉRISÉ

1. INTRODUCTION

Il apparaît que l'adsorption d'oxygène est un phénomène irréversible qui peut être assimilé à une première étape dans la réaction d'oxydation des charbons.

Nous avons procédé à l'étude de l'adsorption d'oxygène de l'air sur deux échantillons de charbon de granulométrie différente.

Les mesures ont été faites à pression atmosphérique sur les deux échantillons et à deux températures différentes, à savoir 25 °C et 70 °C.

Les essais furent réalisés au service de chimie générale de la Faculté Polytechnique de Mons avec l'appareillage décrit ci-après (fig. 1) : à partir d'un réservoir de capacité connue et rempli d'air (7), on maintient la pression atmosphérique au niveau de l'échantillon dans l'enceinte (1). L'analyse de l'atmosphère de (1) nous permet de relever, en fonction du temps, la quantité d'oxygène adsorbée par l'échantillon.

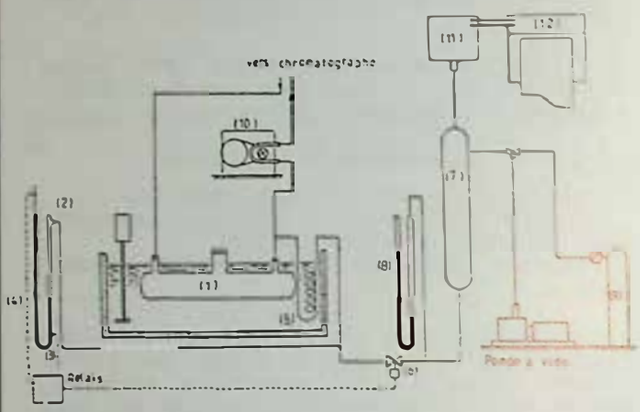


Fig. 1 : Cinétique d'adsorption - appareillage

2. TECHNIQUE EXPERIMENTALE

Les essais d'adsorption étant plus faciles à réaliser que des essais de désorption, qui nécessitent une mise à l'équilibre de l'échantillon souvent très longue, nous avons choisi de concevoir l'appareillage pour étudier l'adsorption.

Cet appareillage comprend essentiellement :

. une cellule d'adsorption contenant l'échantillon de charbon,
. un réservoir de gaz sous pression d'une capacité de quatre litres,
. une régulation de pression,
. un circuit d'enregistrement de la pression du réservoir,
. un circuit d'analyse des gaz.

On désire réaliser une adsorption à pression constante, d'où la nécessité d'une régulation de pression que nous allons décrire. La pression de consigne est assurée par un manomètre à mercure muni de deux contacts électriques, l'un fixe et l'autre mobile. Ce dernier permet le choix de la pression de consigne. Les deux contacts sont reliés à un relais qui agit sur une électrovanne. Lorsque le contact électrique réglable baigne dans le mercure, la pression de consigne est respectée et l'électrovanne est fermée. Dès que ce contact est rompu, le relais ouvre l'électrovanne et du gaz de la réserve passe dans la cellule jusqu'à ce que la pression de consigne soit de nouveau atteinte. A ce moment, le contact électrique est rétabli et l'électrovanne se ferme.

Quand l'échantillon de charbon adsorbe le gaz, la pression dans la cellule diminue, le contact est rompu et du gaz venant de la réserve est introduit dans la cellule par le processus décrit ci-dessus. La pression de ce réservoir est mesurée par un bourdon préalablement étalonné. Il transmet un signal électrique à l'enregistreur qui délivre une tension proportionnelle à la pression du réservoir.

Les essais devant se faire à température constante, la cellule est plongée dans un bain thermostatisé. De plus, le gaz venant du réservoir passe dans un serpentin plongé dans le bain avant d'entrer dans la cellule.

L'adsorption étant un phénomène exothermique, on a constaté que l'échauffement n'était pas négligeable au début de l'essai quand le phénomène était rapide. C'est pourquoi la cellule est conçue de telle sorte qu'il y ait une surface d'échange importante avec le bain thermostatisé.

Les gaz sont analysés par un chromatographe. Une pompe péristaltique assure la circulation du gaz avant l'injection dans le chromatographe (Intersmat IGC 112M). Celle-ci se fait grâce à une vanne d'échantillonnage automatique.

Un schéma de l'installation est représenté à la figure 1. La notation des différents éléments de ce dispositif correspond à :

1) cellule d'adsorption
2) manomètre de consigne
3) contact fixe
4) contact mobile
5) serpentin
6) électrovanne
7) réservoir sous pression
8) manomètre de mesure
9) bonbonne de gaz
10) pompe péristaltique
11) bourdon
12) enregistreur

3. DESCRIPTION DES ECHANTILLONS

Les deux échantillons de charbon utilisés dans cette étude ont été fournis par la NV Kempense Steenkolenmijnen, siège Zolder.

3.1. Identification des échantillons

a) charbon pulvérisé : CP
b) charbon broyé (0-4 mm) : CB

3.2. Courbes granulométriques par tamisage à sec

Voir figure 2.

3.3. Analyse immédiate

Tableau I

	Charbon pulvérisé	Charbon broyé
Cendres (%) sur sec	5,7	3,6
Matières volatiles (%) sur sec	29,3	29,3
Pouvoir calorifique supérieur (kcal/kg)	8.010	8.181
Surface spécifique totale m^2/g	150	-

N.B. :

. Analyse cendres suivant NBN 831-03 (1 h au four à 850 °C)

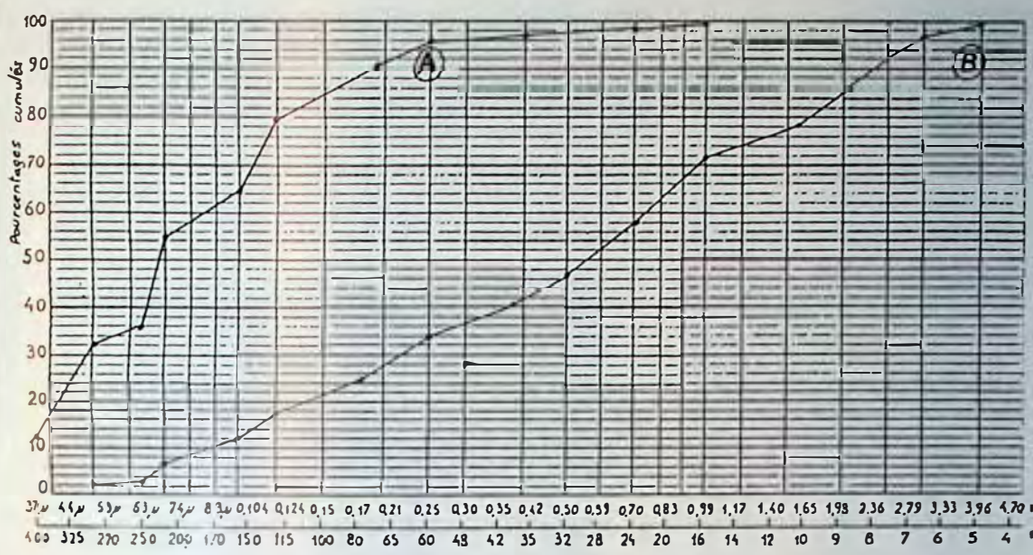


Fig. 2 : Courbes granulométriques du charbon pulvérisé A et du charbon broyé B

. Analyse des matières volatiles suivant NBN 831-01 7 m au four à 910 °C)
. Analyse de surface spécifique suivant la méthode Dubinin-Polanyi (adsorption de CO_2 à 25 °C)

4. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les cinétiques de nos différents essais sont reproduites sur les figures 3 et 4.

Le tableau II ci-après résume les résultats obtenus.

Tableau II

	t °C	Volume d'O_2 adsorbé après 100 h de réaction (ml/g)
Charbon pulvérisé	25 °C	0,81
	70 °C	1,25
Charbon broyé	25 °C	0,70
	25 °C	0,31 (séché à 110 °C pendant 24 h *)
	70 °C	0,91

* Nous avons noté que le charbon broyé contenait environ 5 % d'humidité. Le charbon pulvérisé présentait un taux d'humidité inférieur à un pourcent.

5. CONCLUSIONS AUX ESSAIS D'ADSORPTION

La comparaison des résultats obtenus montre que l'adsorption de l'oxygène est probablement une étape de la réaction d'oxydation. On peut expliquer cette hyptohèse par le fait que la quantité de gaz "adsorbé" augmente avec la température.

Par ailleurs, le charbon pulvérisé, ayant une granulométrie plus fine et donc une surface spécifique plus importante que le charbon broyé, adsorbe des quantités plus importantes d'oxygène.

La réaction de surface de l'oxygène sur le charbon est un phénomène exothermique qui entraîne une augmentation de la température et, par là, un accroissement de la vitesse d'oxydation. Cette réaction "autocatalytique" peut amener le charbon dans des conditions d'inflammabilité spontanée.

Comme le montrent les figures 5 et 6, on peut discerner deux étapes consécutives dans la réaction : une première étape rapide d'adsorption d'oxygène à la surface de l'échantillon suivie d'une étape de diffusion de l'oxygène (la linéarité des graphiques vol. O_2 adsorbé en fonction de $\sqrt{\text{Temps}}$ en est une vérification).

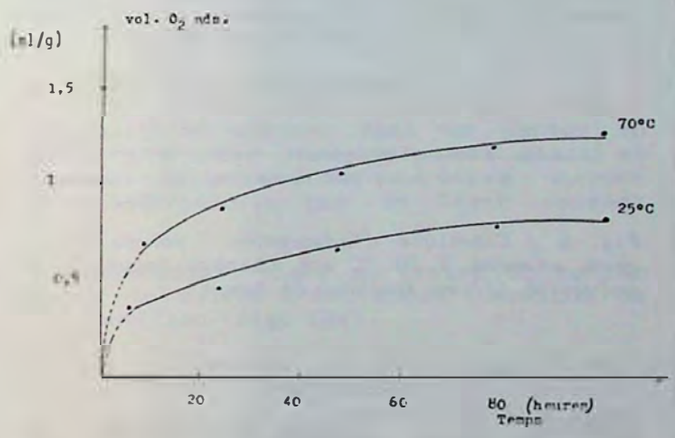


Fig. 3 : Cinétique d'adsorption : volume d'oxygène adsorbé sur charbon pulvérisé en fonction du temps

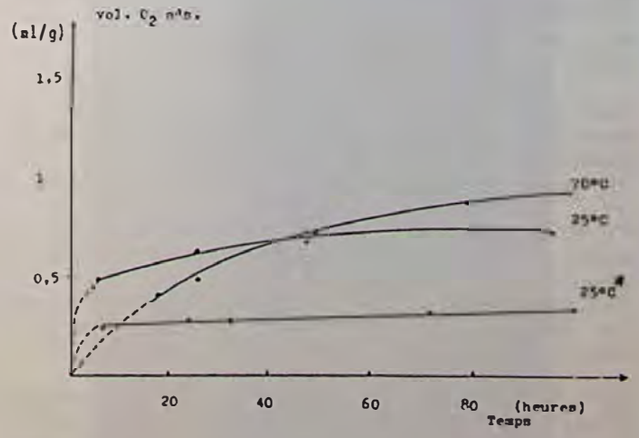


*Fig. 4 : Cinétique d'adsorption : volume d'oxygène adsorbé sur charbon broyé (ou broyé et séché *) en fonction du temps*

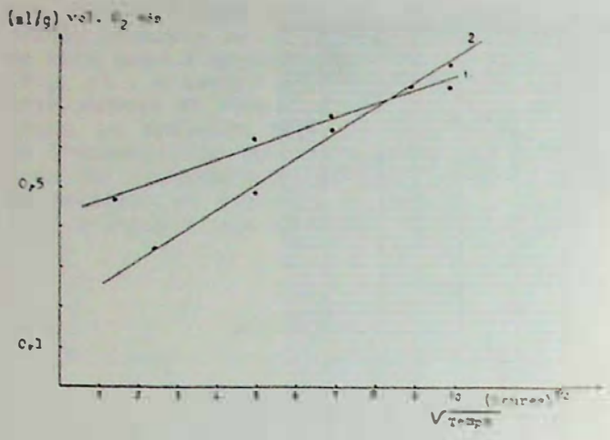


Fig. 5 : Cinétique d'adsorption : volume d'oxygène adsorbé à 25 °C sur charbon broyé (1) et pulvérisé (2) en fonction du temps

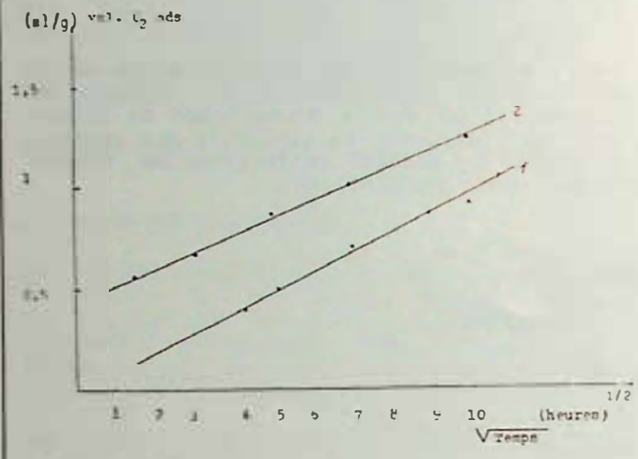


Fig. 6 : Cinétique d'adsorption : volume d'oxygène adsorbé à 70 °C sur charbon broyé (1) et pulvérisé (2) en fonction du temps

CHAPITRE IV : L'AUTO-INFLAMMATION DES DÉPÔTS DE CHARBON PULVÉRISÉ

1. INTRODUCTION

On connaît depuis longtemps le phénomène selon lequel des poussières combustibles en amas peuvent s'enflammer du fait de la température ambiante ou de réactions exothermiques propres aux produits. Ce risque est décrit par des températures caractéristiques.

Dans ce chapitre, il s'agit pour nous de mettre en évidence l'influence du rang du charbon et des granulométries fines sur le comportement face à l'auto-inflammation.

Il n'existe pas de test donnant une valeur absolue de la température d'auto-inflammation (comme pour le point de fusion). Celle-là dépend de multiples facteurs comme la forme et la dimension de la masse, la source de chaleur, etc ...

Les différentes méthodes connues permettent plutôt un classement des produits du point de vue risque. Les valeurs obtenues ne sont à considérer qu'avec prudence dans un milieu industriel.

Pour mener à bien notre étude, nous avons sélectionné deux tests :

a) le test d'exothermie dans le four de Grewer [3] (fig. 7) qui permet une analyse relativement rapide du charbon (1/2 jour);

b) le test de stockage à chaud [4] qui, bien qu'ayant le défaut d'être lent (2 à 3 jours), se rapproche plus de la réalité industrielle.

Fig. 7 : Test d'exothermie : four de Grewer

2. TECHNIQUES EXPERIMENTALES

2.1. Le test d'exothermie

Ce test permet la mesure, dans des conditions déterminées, de la température la plus basse à laquelle une substance en dépôt, traversée par un gaz vecteur de calories, commence à manifester une exothermie résultant de la combustion. Ce test consiste en un stockage dynamique (élévation de la température) d'un volume de 8 cm^3 de matière.

Nous pouvons de cette façon comparer des spécimens de poussière sous le rapport de l'auto-inflammation.

a) Principe de l'appareil

Les essais sont réalisés dans le four de Grewer, dont le dispositif expérimental est schématisé à la figure 8.

Les échantillons sont déposés dans cinq nacelles en treillis d'acier inoxydable (panier cylindrique de diamètre 18 et hauteur 32 mm). Une sixième contient la substance de référence.

Un gaz vecteur de calories, chauffé à la température du four, traverse la masse des échantillons.

Un programmateur électronique élève, suivant une loi de chauffe linéaire, la température du four.

Comme au centre de chaque panier nous avons placé un thermocouple relié à un enregis-

treur, nous pouvons suivre l'évolution des températures au cours du temps.

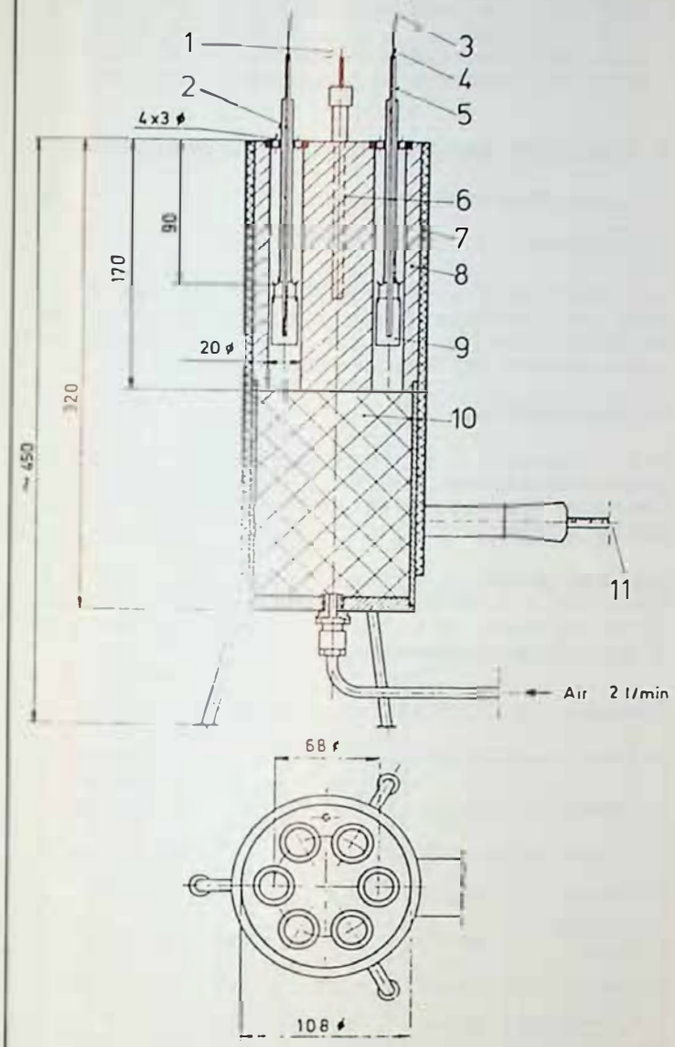


Fig. 8 : Schéma du four selon Grewer

1. Raccord à l'instrument de commande
2. Fixation du panier (acier inox)
3. Raccord à l'enregistreur de température
4. Thermoélément
5. Tube de verre
6. Sonde pyrométrique
7. Chauffage (1.000 W)
8. Bloc chauffant (acier inox)
9. Panier (acier inox)
10. Anneaux de remplissage (Cu)
11. Raccord au programmateur de chauffage

Par convention

T Température acquise par le combustible lorsque la courbe de température de celui-ci croise celle de la référence (début de l'exothermie résultant de la combustion).

T10 Température acquise par le combustible lorsque l'écart de température entre le combustible et la référence est de 10 °C. Cette valeur, qui fait intervenir une plus grande partie du début de la cinétique de combustion, rend les résultats plus précis (voir fig. 9).

b) Conditions opératoires

. gaz vecteur de calories : air sec
. débit du gaz vecteur : 2 litres/min (STP)
. substance de référence : graphite pulvérisé
. volume de chaque échantillon : 8 cm^3
. température de départ : 20 °C
. loi de chauffe : 1 °C/min.

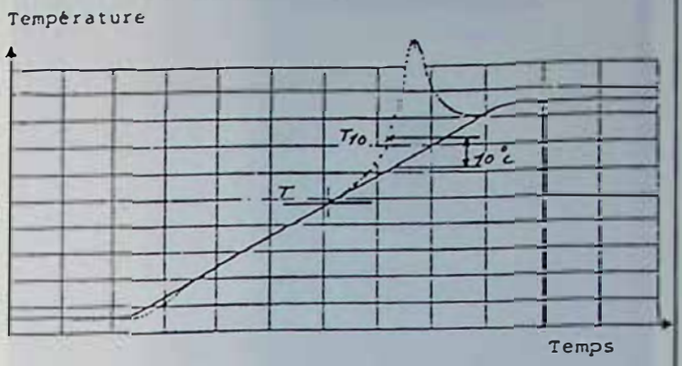


Fig. 9 : Four de Grewer : évolution des températures d'un échantillon à tester et de la substance de référence

..... échantillon à tester
——— substance de référence

2.2. Test de stockage à chaud

Ce test permet de déterminer la température minimale nécessaire à un milieu isotherme pour provoquer l'auto-inflammation d'un volume précisé de matière. Répété sur plusieurs volumes, on en arrive à dégager une relation : température d'auto-inflammation - volume de matière (fig. 10 et 11).

a) Principe de l'expérience

L'échantillon contenu dans un panier en treillis d'acier inoxydable est placé en ambiance isotherme dans une étuve thermostatisée, balayée par un léger courant d'air.

Un thermocouple placé au centre du panier permet de suivre l'évolution thermique de l'échantillon (fig. 12A).

Le test est répété sur de nouveaux échantillons à des températures décroissantes, jusqu'à ce qu'on n'observe plus d'auto-inflammation (fig. 12B).

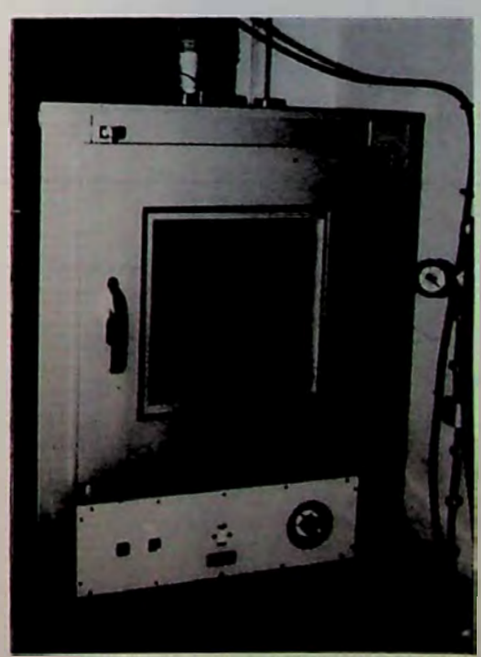
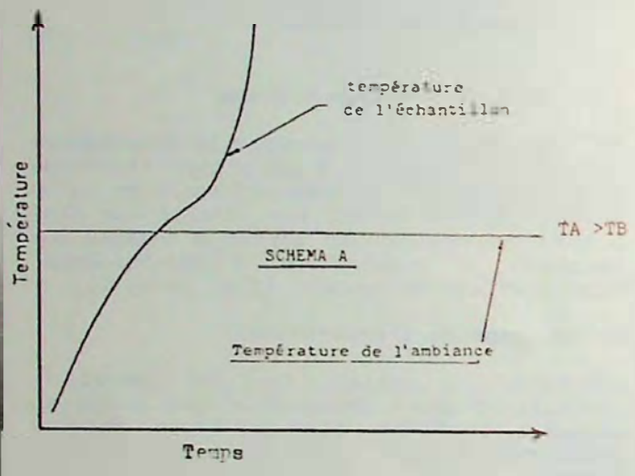


Fig. 10 : Test de stockage à chaud : étuve

Fig. 11 : Test de stockage à chaud : vue interne de l'étuve



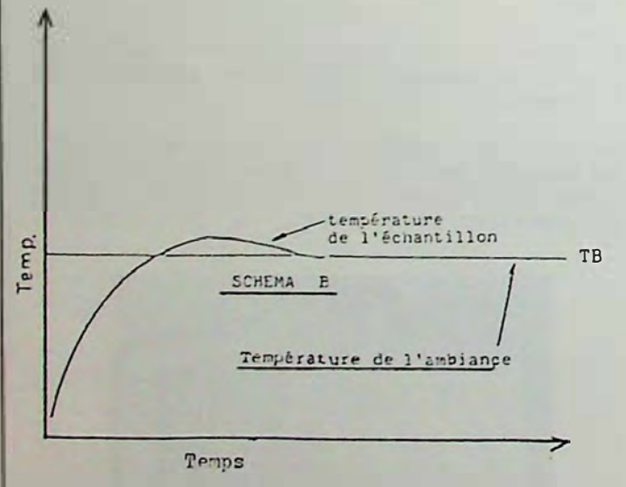


Fig. 12 : Evolution de la température d'un échantillon lors de son stockage aux températures TB et TA >TB

Par convention

TL est la plus basse température du milieu pour laquelle on a encore obtenu l'auto-inflammation du volume précisé (par extension, TL 100 représente TL pour un volume de 100 cm^3).

b) Conditions opératoires

- étuve de dimensions internes (en cm) 50 x 50 x 50
- précision de la régulation : +/- 0,5 °C
- forme des volumes : cylindres dont la hauteur égale le diamètre
- volumes étudiés :
  100 cm^3 (hauteur = diamètre = 5 cm)
  200 cm^3 (hauteur = diamètre = 6,3 cm)
  400 cm^3 (hauteur = diamètre = 8 cm)
  1000 cm^3 (hauteur = diamètre = 11 cm)

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET COMMENTAIRES

3.1. Les charbons utilisés

a) Origine

Les charbons pulvérisés (CP) et broyés (CB) sont des charbons industriels prélevés dans la production de trois sièges des Charbonnages belges de Campine (Tableau III).

b) Granulométrie

Les figures 13 à 18 donnent les courbes granulométriques, en % poids, obtenues par tamisage classique à sec des différents échantillons.

Les fractions inférieures à 88 µm ont été étudiées à l'aide d'un compteur "Coulter". Cette méthode est basée sur la détection d'un nombre de particules.

Tableau III. Broyage et analyse granulométrique

Echantillon	Broyeur	% cendres sur sec	% matières volatiles sur sec	% matières volatiles sur pur
CP Beringen	boulets	6,2	30,7	32,7
CP Beringen cendreux	boulets	33,8	23,4	35,4
CP Zolder	Attritor	5,9	29,6	31,4
CP Winterslag*	Attritor	5,4	28,3	30
CP Eisden	Attritor	20,8	25,7	32,5
CB Zolder 0-4	Concasseur	3,9	30	31,2

* Le CP Winterslag prélevé en ce lieu fut toutefois extrait au siège Zolder

Le tableau IV donne la répartition granulométrique, en % nombre, des particules par rapport à la totalité de la fraction inférieure à 88 µm.

Tableau IV

Echantillon	% en nombre de particules inférieurs à			
	70 µm	50 µm	30 µm	10 µm
CP Beringen	88	70	45	12
CP Beringen cendreux	91	72	45	13
CP Zolder	88	70	48	12
CP Winterslag	88	74	48	11
CP Eisden	95	80	45	8
CB Zolder 0-4	80	58	37	10

c) Préparation des échantillons

Préalablement aux tests d'explosion ou d'auto-inflammation, les charbons sont séchés dans une étuve à 80 °C pendant 2 h.

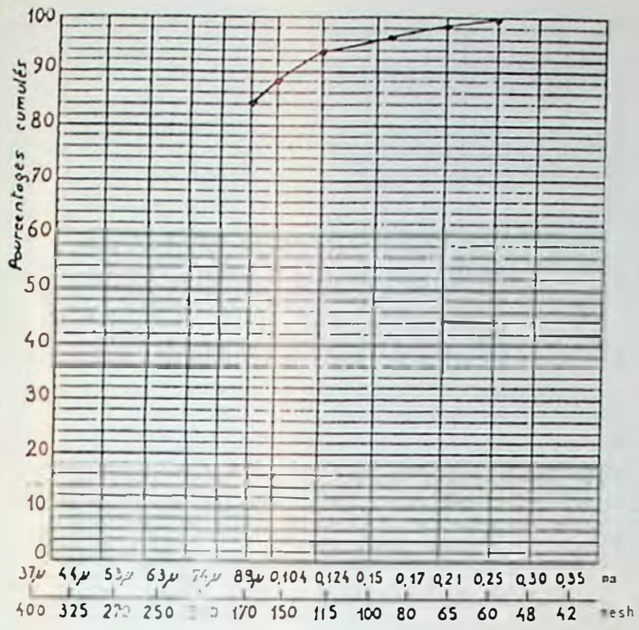


Fig. 13 : Courbe granulométrique du CP Beringen

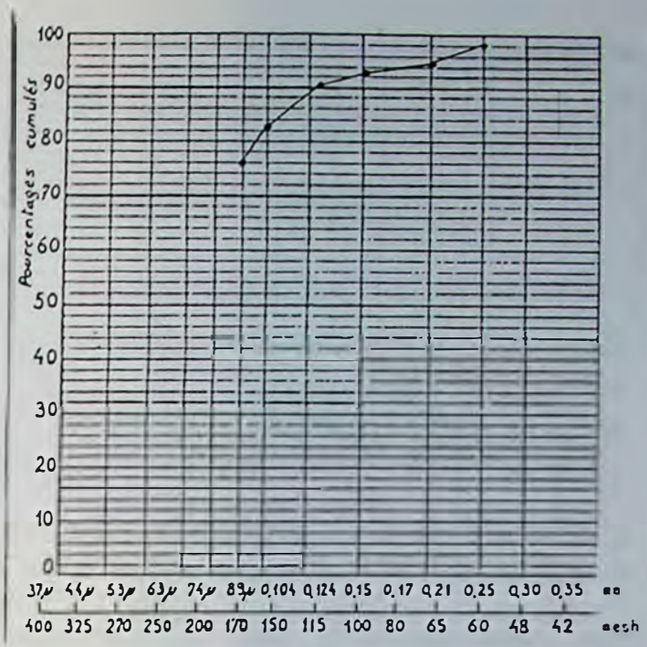


Fig. 15 : Courbe granulométrique du CP Zolder

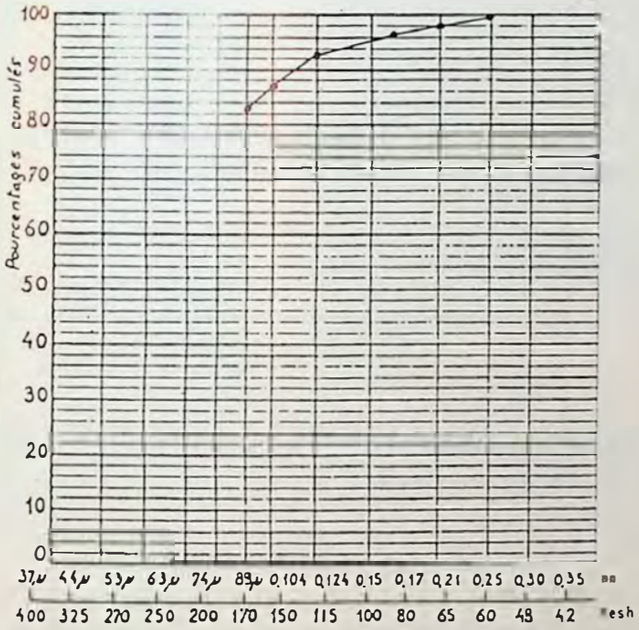


Fig. 14 : Courbe granulométrique du CP Beringen cendreux

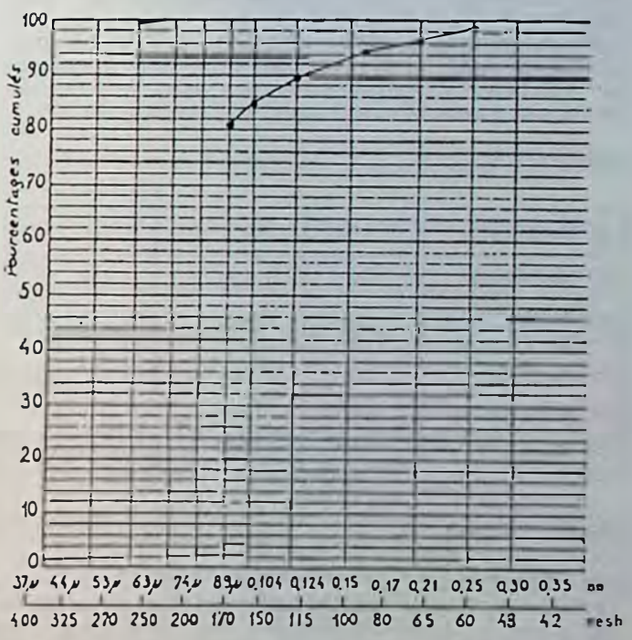


Fig.16 : Courbe granulométrique du CP Winterslag

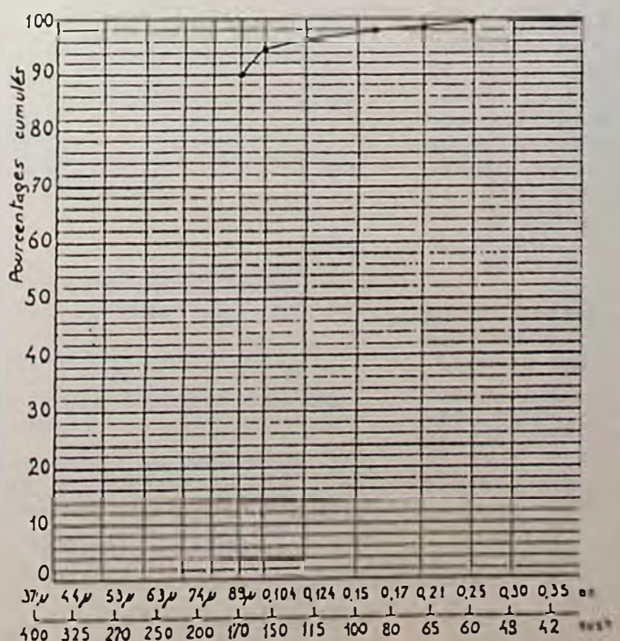


Fig. 17 : Courbe granulométrique du CP Eisden

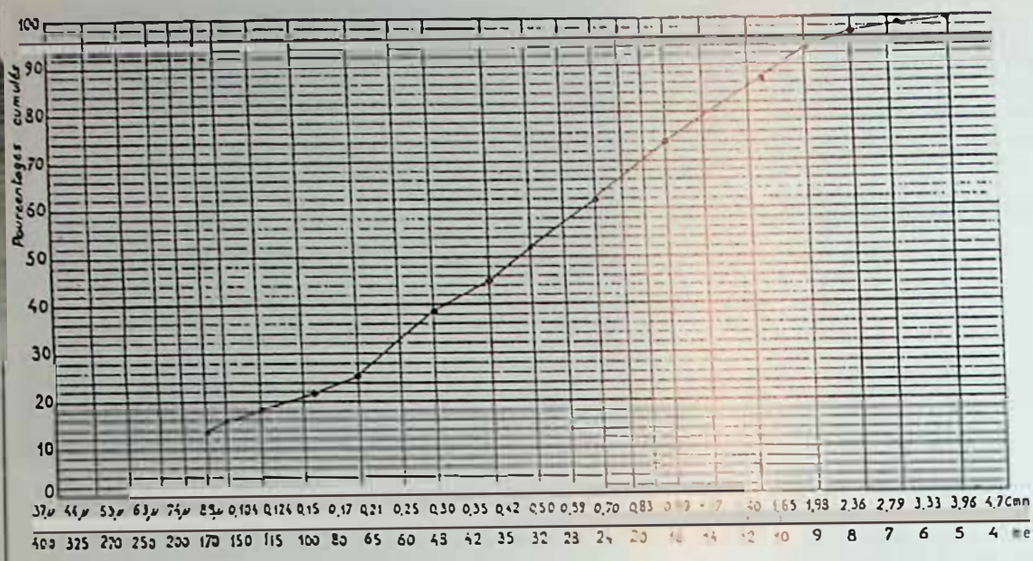


Fig. 18 : Courbe granulométrique du Zolder

3.2. Relation entre rang du charbon et auto-inflammation

Le processus initial d'oxydation des cinq charbons belges précités (de granulométrie équivalente) a été examiné à l'aide des tests d'exothermie et de stockage à chaud. Le tableau V nous renseigne sur les températures caractéristiques T, T10 et TL100.

Tableau V

Echantillon	T (°C)	T10 (°C)	TL100 (°C)
CP Beringen	138	178	136
CP Beringen cendreux	142	186	142
CP Zolder	133	181	140,5
CP Winterslag	142	183	140,5
CP Eisden	151	189	144,5

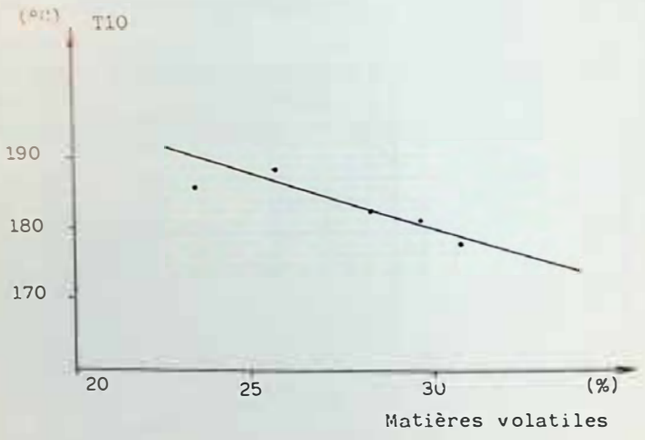


Fig. 19 : Test d'exothermie : évolution de T10 en fonction de la teneur en matières volatiles du charbon pulvérisé

Commentaires

Les figures 19 et 20 reprennent, en fonction du % en matières volatiles (mesure du rang), T10 et TL100. De même que les figures 21 et 22 pour ce qui est du % en cendres.

Bien que notre domaine d'investigation, pour ce qui est de la teneur en matières volatiles, soit restreint à la plage 22 à 31 % (il le serait encore plus en considérant l'indice de matières volatiles sur charbon sans cendres), on constate, comme il fallait s'y attendre, qu'elles conditionnent directement la réactivité (fig. 19 et 20). Au contraire, les figures 21 et 22 montrent une très faible dépendance de l'auto-combustion vis-à-vis des cendres.

Par la méthode des moindres carrés, on a tenté de trouver une relation entre les essais d'exothermie et de stockage à chaud.

La corrélation entre les deux tests est probante (fig. 23). On obtient une droite d'équation TL100 = 0,69 T10 + 13,9 avec un coefficient de corrélation presque parfait de 0,96.

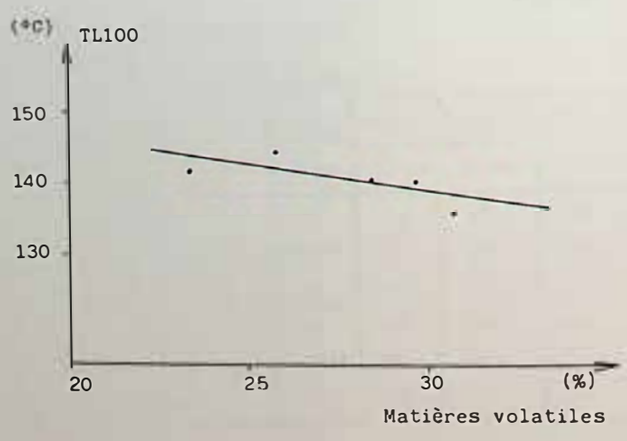


Fig. 20 : Test de stockage à chaud : évolution de TL100 en fonction de la teneur en matières volatiles du charbon pulvérisé

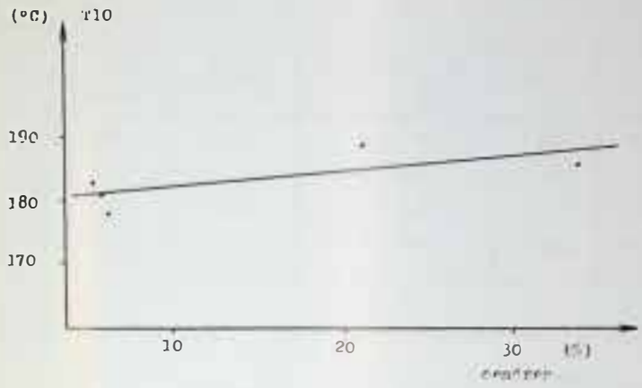


Fig. 21 : Test d'exothermie : évolution de T10 en fonction de la teneur en cendres du charbon pulvérisé

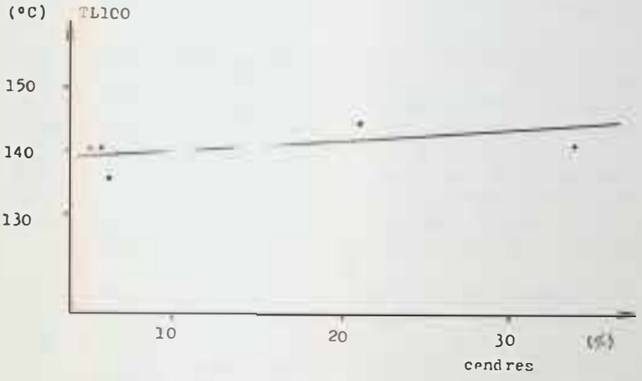


Fig. 22 : Test de stockage à chaud : évolution de TL100 en fonction de la teneur en cendres du charbon pulvérisé

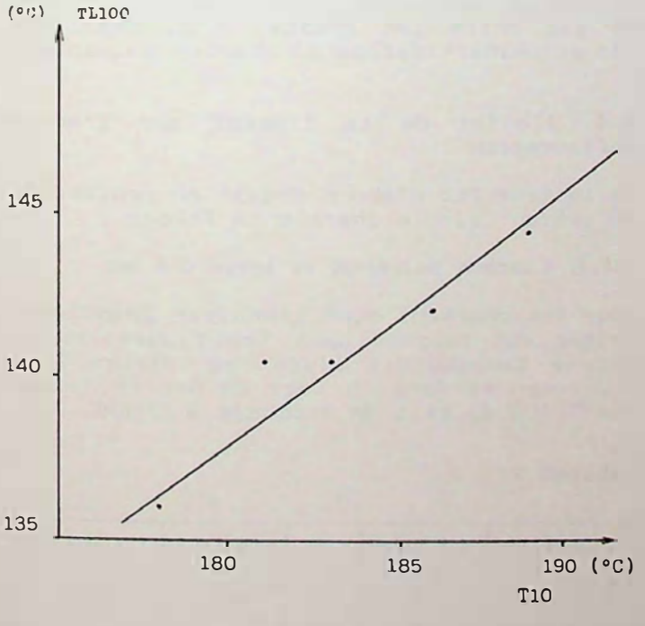


Fig. 23 : Corrélation entre les tests d'exothermie et de stockage à chaud

3.3. L'effet massique et l'auto-inflammation

Lorsque des poussières sont présentes sous forme de dépôt, les réactions exothermiques d'oxydation au coeur du tas engendrent de la chaleur, qui s'évacue d'autant plus difficilement que le tas est plus important. Avec l'augmentation de température, ce processus peut conduire à l'auto-inflammation. Ceci est d'autant plus rapide que la masse est stockée à température élevée.

Par le test de stockage à chaud, nous avons étudié l'influence du volume sur l'auto-inflammation en opérant avec le CP de Zolder. Nous avons aussi relevé le temps (tm) mis par l'échantillon pour dépasser la température ambiante lorsqu'il y a auto-combustion.

Les résultats sont donnés au tableau VI.

Commentaires

L'aptitude à l'auto-inflammabilité et le délai d'inflammation croissent quand le volume augmente (fig. 24). La représentation semi-logarithmique des résultats est portée dans la figure 25. La plage d'allure linéaire nous suggère l'application de la méthode des moindres carrés qui fournit une droite statistique d'équation :

$$TL = -23{,}99 \log V + 187{,}5$$

(où log V représente le logarithme en base 10 du volume)

et un coefficient de corrélation de -0,995.

Pour des volumes croissants, le rapport entre le volume et sa surface externe n'est pas constant. Pour tenir compte de cet effet, nous avons porté dans la figure 26 :

$$\frac{1000}{TL\ (°K)}$$

en fonction du quotient du volume par la surface externe [4].

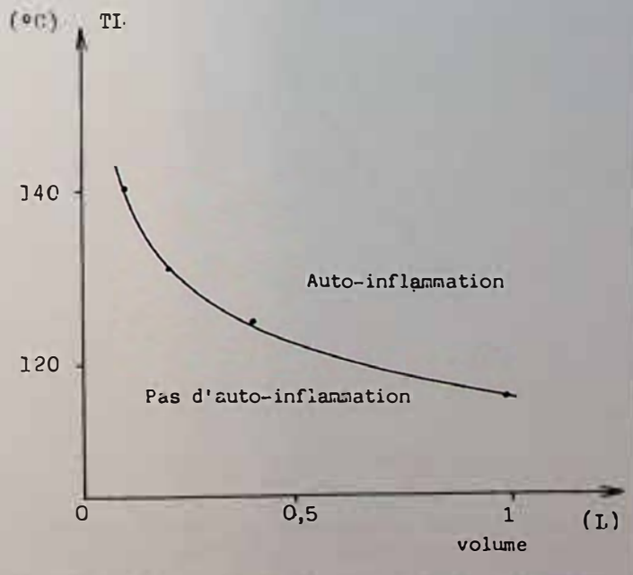


Fig. 24 : Essais de stockage à chaud : influence du volume sur la température d'auto-inflammation

Tableau VI

Volume cm^3	Ø = H cm	P matière g	A (S.ext) cm^2	V/A cm	$\log \frac{V}{A}$	TL (°C)	TL (°Kelvin) T °C + 273,15	$\frac{1000}{TL\ (°K)}$	tm (min)
100	5	60	118	0,83	-0,0809	140,5	413,65	2,42	65
200	6,3	115	187	1,05	0.0211	131	404,15	2,47	100
400	8	230	301	1,33	0,1238	125	398,15	2,51	160
1000	11	600	570	1,75	0,2430	116	389,15	2,57	270

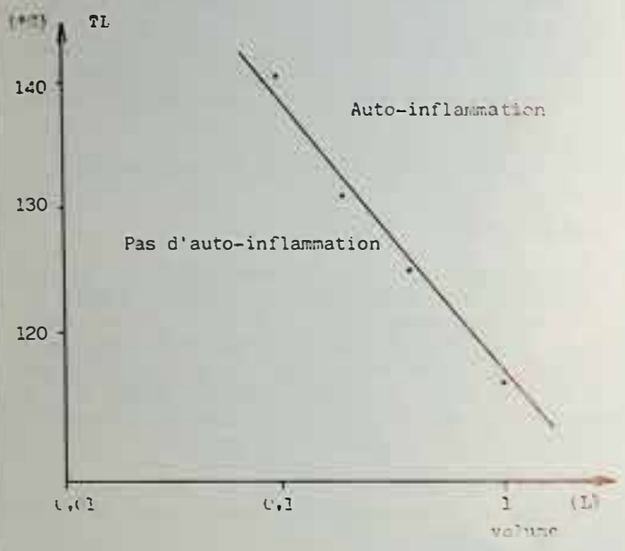


Fig. 25 : Test de stockage à chaud : représentation semi-logarithmique de l'influence du volume sur la température d'auto-inflammation

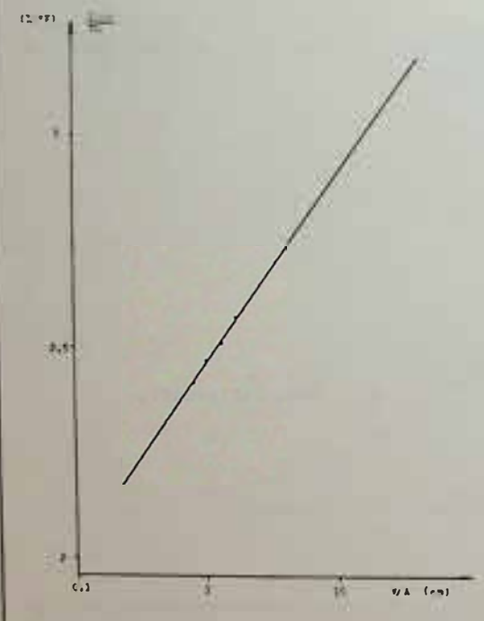


Fig. 26 : Test de stockage à chaud : représentation semi-logarithmique de la relation entre : $\frac{1000}{TL\ (°K)}$ et $\frac{V}{A}$

La droite statistique a pour expression :

$$\frac{1000}{TL\ (°K)} = 0{,}5548 \log \frac{V}{A} + 2{,}4274$$

(où $\log \frac{V}{A}$ représente le logarithme en base 10 du quotient dont question ci-dessus)

avec un coefficient de corrélation de 0,8206.

En extrapolant vers un volume cylindrique de 50 m^3 (V/S = 66,31), on obtient à une température d'auto-inflammation de 118 °C avec un temps, tm, très long. Etant donné le petit nombre de points utilisés et la valeur V/S de 66,31 située bien au-delà des valeurs V/S introduites, ce chiffre n'est pas valable du point de vue statistique. Il donne cependant une indication.

Physiquement, certains facteurs, comme la diffusion de l'oxygène dans la masse, ne sont pas pris ici en considération. Si nos résultats permettent une approche et un classement du point de vue auto-combustion, il faut passer à des installations beaucoup plus importantes pour prévoir la température d'auto-inflammation exacte et le temps de stockage limite réel.

Dans la pratique, les silos industriels doivent être étanches et des dispositions seront prises pour éviter la circulation de gaz entre les grains, d'où résultera une auto-inertisation du charbon pulvérisé.

3.4. L'effet de la finesse sur l'auto-inflammation

Ce facteur fut d'abord étudié en profondeur en opérant sur le charbon de Zolder.

3.4.1. Charbon pulvérisé et broyé 0-4 mm

Pour les charbons dont l'analyse granulométrique est reprise dans les figures 15 et 18, le tableau VII livre les valeurs T et T10 obtenues dans le four de Grewer, ainsi que TL100 du test de stockage à chaud.

Tableau VII

Echantillon	% < 200µ	T °C	T10 (°C)	TL100 (°C)
CP Zolder	95	133	181	140,5
CB Zolder 0-4	25	154	205	161

3.4.2. Influence de la fraction < 200 µm dans un charbon broyé 0-4 mm

Dans cette série d'essais, nous avons soustrait au CB Zolder 0-4 mm la fraction inférieure à 200 µm (il en contenait initialement 25 %). Ensuite, nous avons réintroduit dans la fraction 200-4000 µm des pourcentages définis de 0-200 µm.

Les valeurs T, T10, TL100, des résultats sont données dans le tableau VIII.

La figure 27 reprend ces valeurs en fonction du % de < 200 µm ajouté au 200-4000 µm.

TABLEAU VIII

Composition granulométrique	T(°C)	T10(°C)	TL100(°C)
0-4000 (CB Zolder)	154	205	161
200-4000 + 20 % < 200µ	159	209	-
200-4000 + 10 % < 200µ	163	215	165
200-4000 + 5 % < 200µ	163	218	-
200-4000	164	221	173

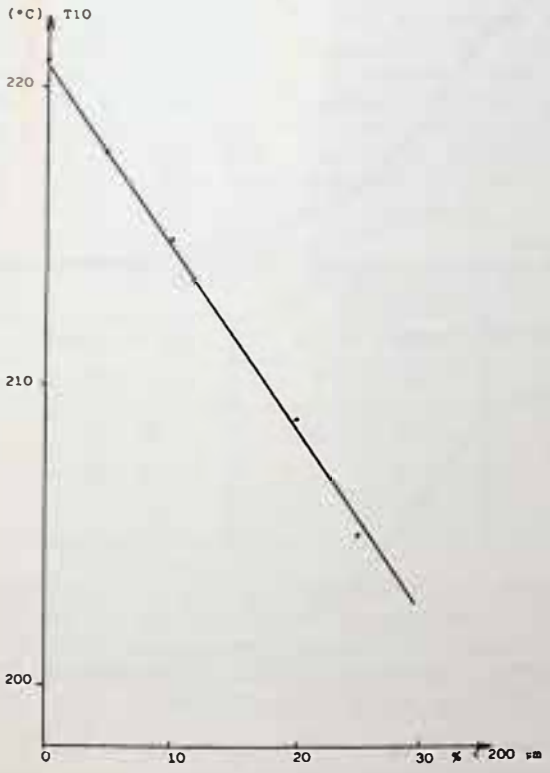


Fig. 27 : Test d'exothermie : variation de T10 en fonction de la teneur en < 200 µm dans le 0-4 mm

3.4.3. Influence de la fraction inférieure à 200 µm (64 µm) dans un charbon broyé 0-2 mm

La tendance actuelle chez les briquetiers est de substituer au charbon broyé 0-4 mm un produit plus fin : le 0-2 mm mieux adapté à leurs fours.

Dans cette série d'essais, nous avons étudié l'auto-inflammation de ce nouveau produit en éliminant du 0-4 les fractions inférieures à 200 µm et supérieures à 2 mm, puis en réincorporant au 200-2000 µm certains pourcentages en plus petit que 200 µm.

Le tableau IX reprend les valeurs obtenues par le test de Grewer. La teneur en plus petit que 64 µm est acquise par calcul.

Les figures 28 et 29 indiquent la variation de T10 en fonction de la teneur en < 200 µ et en < 64 µ.

Tableau IX

% de < 200µ dans le mélange	% de 200-2000µ dans le mélange	% de < 64µ dans le mélange	T (°C)	T10 (°C)
100	0	64	142	184
90	10	58	141	184,5
80	20	51	145	187
70	30	45	147	190
60	40	38	144	191,5
50	50	32	147	193
40	60	26	153	197
30	70	19	153	200
20	80	13	161	206
10	90	6,4	161	212
0	100	0	167	223

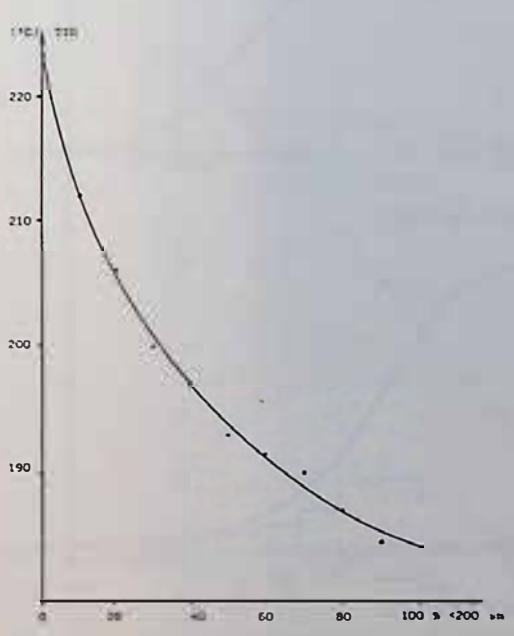


Fig. 28 : Test d'exothermie : variation de T10 en fonction de la teneur en < 200 µm dans le 0-2 mm

3.4.4. Influence du temps de broyage

Nous avons exécuté le broyage du CB Zolder 0-4 à l'aide d'un vibrobroyeur à disques oscillants de marque Aurec, la variable étant le temps de broyage. La figure 30 représente l'ensemble des courbes granulométriques relevées en pourcentage volumétrique par l'appareil Coulter.

Les températures minimales d'exothermie obtenues sur chaque produit sont reprises dans le tableau X en regard des caractéristiques granulométriques.

Les figures 31 et 32 illustrent le comportement de T10 en fonction respectivement du temps de broyage et du taux en inférieur à 25 µm.

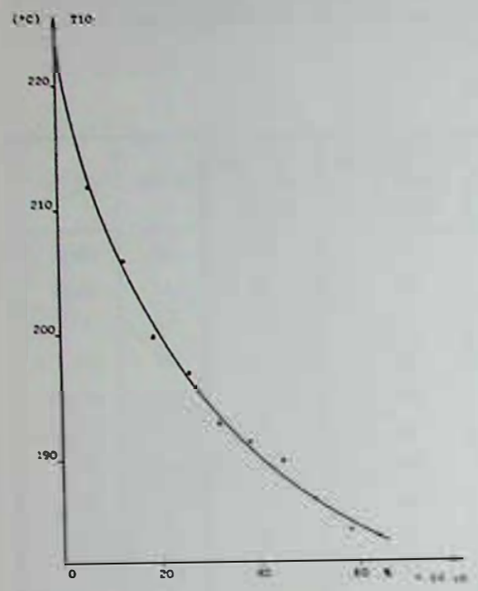
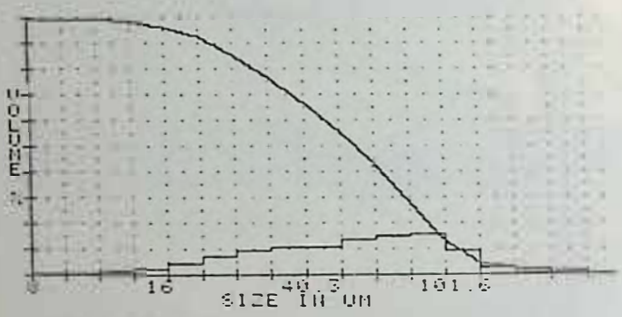
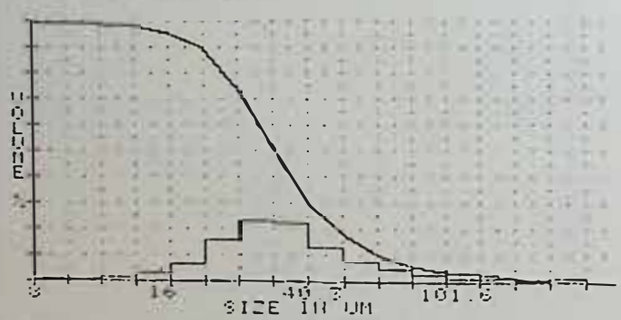


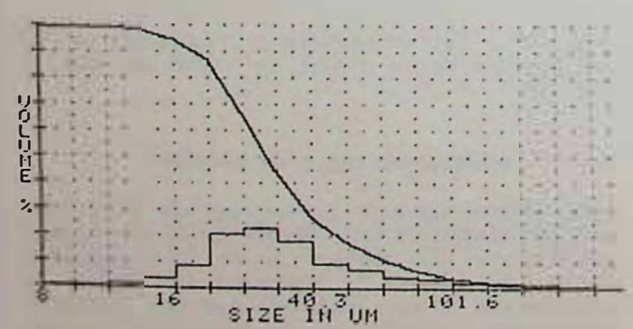
Fig. 29 : Test d'exothermie : variation de T10 en fonction de la teneur en < 64 µm dans le 0-2 mm



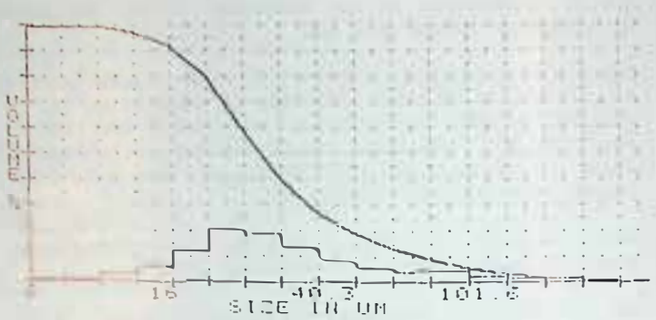
a) après 2 min de broyage



b) après 3 min de broyage

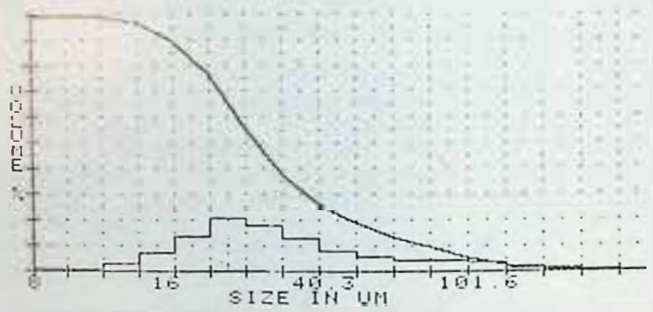


c) après 4 min de broyage

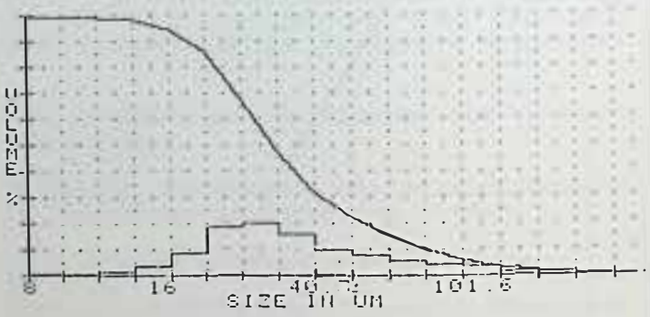


d) après 5 min de broyage

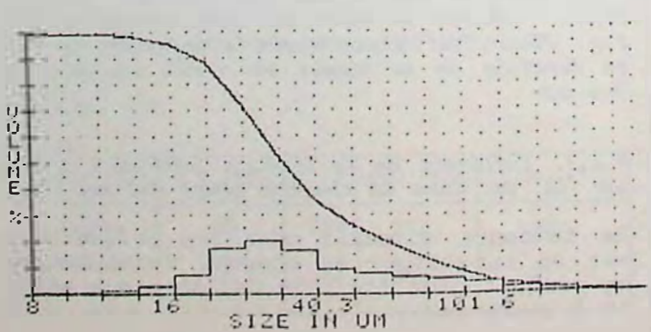
e) après 7 min de broyage



f) après 9 min de broyage



g) après 11 min de broyage



h) après 13 min de broyage

Fig. 30 : Courbes granulométriques, en % volume, obtenues par compteur "Coulter" après différents temps de broyage (t)

Tableau X

Temps de broyage (min)	Diamètre moyen (µm)	Diamètre médian (µm)	% < 64µm	% < 25µm	T (°C)	T10 (°C)
0	-	480	-	-	154	205
2	66	69	58	15	139	181
3	43	41	90	25	139	178
4	41	37	90	35	132	172
5	39	36	87	40	132	171
7	42	38	81	40	120	167
9	38	36	82	45	120	166
11	43	38	85	35	120	164
13	46	40	81	32	120	163

Commentaires

Les tracés des courbes 28 et 29, concernant l'évolution de l'auto-inflammation en fonction de la granulométrie, font ressortir une nette variation de la pente pour les valeurs inférieures à 30 % en fines; ceci confirme bien l'effet de ces tranches granulométriques sur l'auto-oxydation et l'action des grosses particules qui jouent le rôle d'inertiant dans le mélange.

Si l'on considère les nouveaux produits, baptisés 0-2 par rapport au 0-4 des tableaux VIII et IX, il ressort que les aptitudes à l'auto-inflammation sont pratiquement identiques (tableau XI). Le 0-4 contient d'ailleurs une très faible quantité de particules supérieures à 2 mm (7 %).

Tableau XI

Teneur en < 200 µm	T 10 (°C)	
	0-2	0-4
20 %	206	209
10 %	212	215
0 %	223	221

Lorsque l'on pulvérise un charbon déjà broyé, seuls les premiers instants du broyage (dans notre cas, les sept premières minutes) sont d'un rendement utile : c'est ce qui ressort, de façon implicite, de la figure 31.

Des relations entre granulométrie obtenue par Coulter et auto-oxydation ne purent être établies, suite à la probable agglomération des fines particules lorsque le temps de broyage augmente. Ce phénomène d'agglomération - ou une autre cause d'erreur - fausse les résultats Coulter tout en n'agissant pas sur l'auto-inflammation (fig. 31).

Néanmoins, à partir des valeurs de fractions plus petites que 25 µm obtenues par la figure 30, nous avons pu tracer l'évolution de la tendance à l'auto-inflammation (fig. 32). Seuls les points correspondant à un broyage de 11 et 13 min s'éloignent de la droite, ceci pour les causes citées ci-dessus.

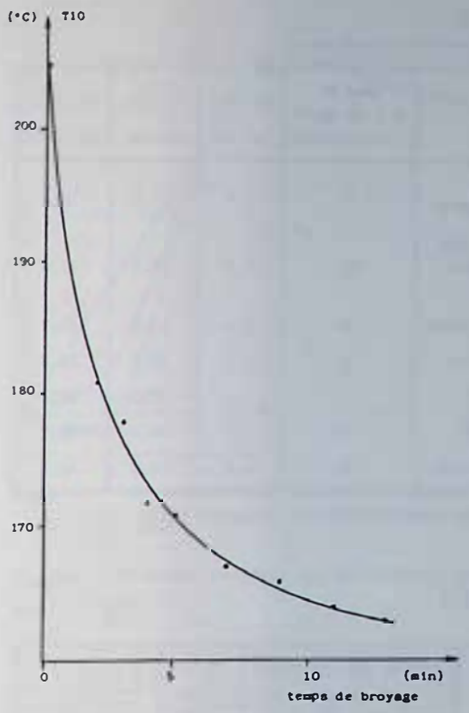


Fig. 31 : Test d'exothermie : relation entre T10 et le temps de broyage

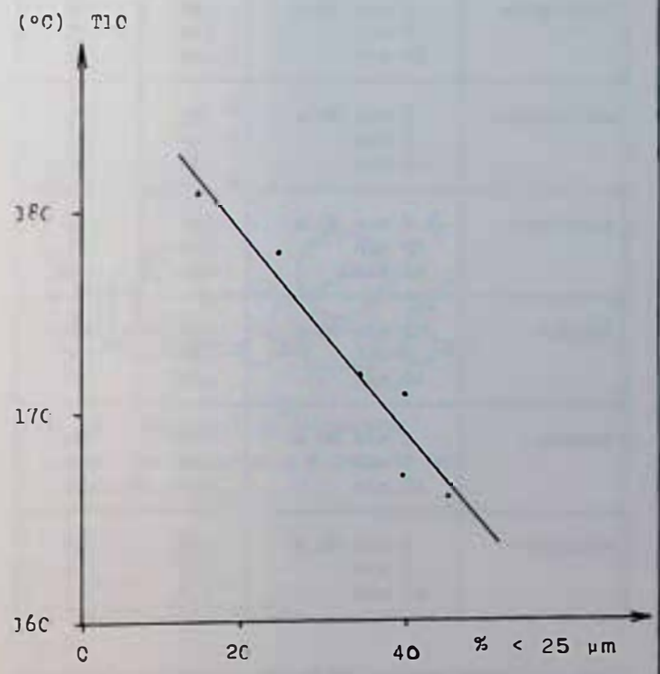


Fig. 32 : Test d'exothermie : relation entre T10 et la teneur en < 25 µm après broyage

3.5. Tendance à l'auto-combustion de différents charbons pulvérisés

Sept charbons de provenances différentes (tableau XII) furent d'abord soumis à un broyage préliminaire dans un concasseur à mâchoires de la firme Sturtevant; ensuite, ils furent broyés finement au vibro-broyeur à disques oscillants "Aurec" avec trois temps de broyage : 2 min 30 s, 5 min, 10 min.

Le test d'exothermie a été réalisé sur chaque produit et les résultats sont repris dans le tableau XIII.

Tableau XII

Charbon	Taux en < 2 mm après concassage	Cendres sur sec	Mat.vol. sur sec	Mat.vol. sur pur
* Maigre 20/30 Eschweiler (RFA)	52	4,7	11,6	12,2
* Demi-gras 15/30 Friedrich-Heinrich (RFA)	61	5,9	16,7	17,8
KS Waterschei 10/20	55	4,6	22,2	23,3
KS Beringen 5/10	47	7,0	28,2	30,3
KS Zolder 5/15	45	4,3	30,3	31,7
KS Eisden 10/20	62	3,7	30,9	32,1
Flambant, Lorraine	26	5,9	39,9	42,4

* Charbons commerciaux achetés sur le marché belge

Tableau XIII

Charbon	Temps de broyage	T (°C)	T10 (°C)
Maigre	2 min 30 s	168	216
	5 min	164	210
	10 min	163	207
Demi-gras	2 min 30 s	148	198
	5 min	146	196
	10 min	146	191
Waterschei	2 min 30 s	159	199
	5 min	147	192
	10 min	147	190
Beringen	2 min 30 s	141	184
	5 min	134	181
	10 min	131	176
Zolder	2 min 30 s	144	183
	5 min	137	180
	10 min	128	174
Eisden	2 min 30 s	145	186
	5 min	144	184
	10 min	139	177
Flambant	2 min 30 s	124	160
	5 min	124	159
	10 min	124	156

Les courbes 33 et 34 reprennent les valeurs de T10 en fonction respectivement du temps de broyage et du pourcentage, en volume, de produit inférieur à 200 µm (Coulter Counter).

Commentaires

Si les courbes des figures 33 et 34 semblent parallèles à l'abscisse, elles se classent, du point de vue aptitude à l'auto-inflammation, exactement en fonction du rang du charbon, ce qui confirme l'influence prédominante de celui-ci par rapport à la finesse du broyage.

En passant d'un charbon flambant à un charbon maigre, T10 augmente de 50 °C, tandis que cette variation n'est que de 30 °C si on passe de 0 à 100 % en particules inférieures à 200 µm (fig. 28).

On relève encore le bon comportement du charbon gras du faisceau de Genk (Waterschei), qui n'est pas plus inflammable qu'un charbon demi-gras en provenance de la Ruhr.

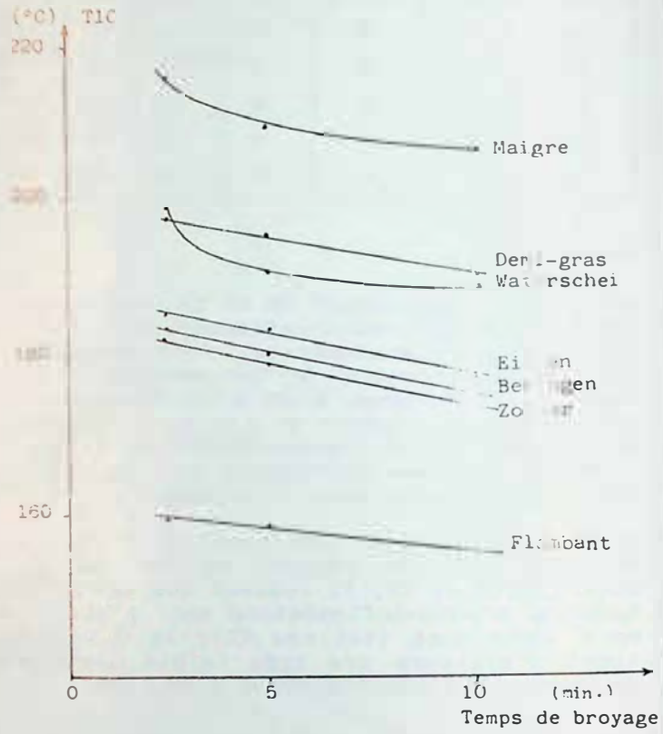


Fig. 33 : Test d'exothermie : relation entre T10 et le temps de broyage

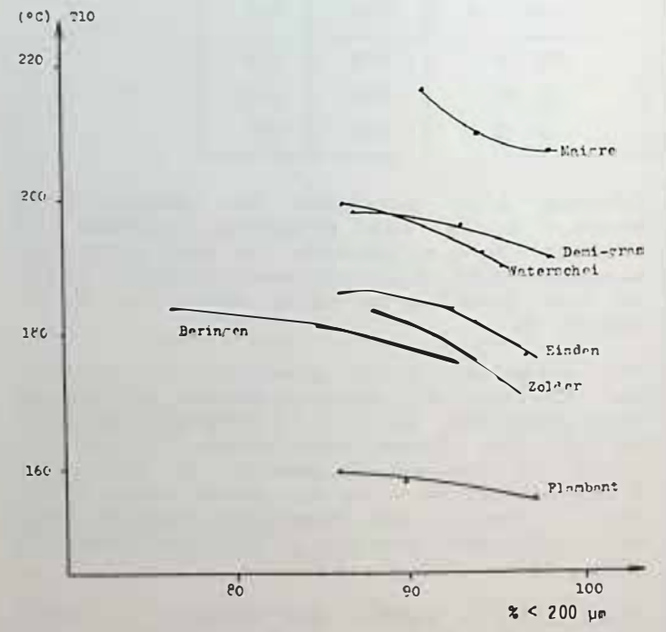


Fig. 34 : Test d'exothermie : influence de la teneur en < 200 µm sur T10 pour différents charbons

4. CONCLUSIONS A L'AUTO-INFLAMMATION

Nous avons pu constater que le test d'exothermie dans le four de Grewer est un test rapide, qui permet le classement aisé d'un charbon pulvérisé en fonction de son aptitude à l'auto-inflammation.

Cette aptitude est, en premier lieu, tributaire du rang du charbon et, accessoirement, de la granulométrie où n'interviennent alors que les particules inférieures à 200 µm.

Les premières minutes d'un broyage industriel sont seules d'un rendement utile : ceci a pu être illustré par les tests de combustion.

Du point de vue pratique, la température d'un stockage industriel de charbon pulvérisé doit être limitée, et cela d'autant plus que le volume est important et que le charbon est gras.

CHAPITRE V : L'EXPLOSION DE SUSPENSIONS DE CHARBON PULVERISÉ

1. INTRODUCTION

Une connaissance précise de l'évolution des explosions dans un réservoir fermé est nécessaire pour entreprendre une étude critique des problèmes posés par les explosions.

Les caractéristiques d'une telle explosion de poussière sont (fig. 35) :

. la surpression maximale : P_{max} (qui est fontion de la température de la flamme et est généralement comprise entre 5 et 10 bar);

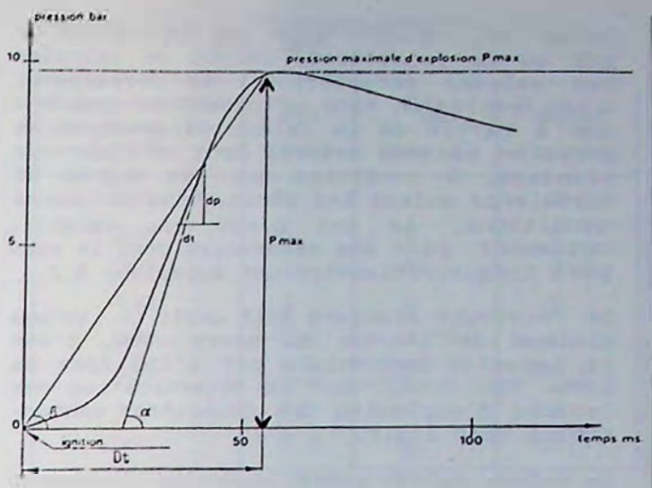
. l'allure maximale de l'augmentation de pression : R_{max} ou $(\frac{dP}{dt})$ max (qui dépend de la vitesse de réaction et varie entre 10 et 100 bar/s);

. l'allure moyenne de l'augmentation de pression : R_{moyen} ou $(\frac{P_{max}}{Dt})$.

On mesure ces variables pour un certain nombre de concentrations en poussière, afin d'obtenir l'effet maximum de l'explosion du produit en question : P_{max}, R_{max} et R_{moyen}.

Outre qu'elles donnent une idée sur l'effet de l'explosion, ces variables sont utiles dans la détermination des contre-mesures à prendre (calcul des évents, inertisation, etc ...) [5] [6].

Jusque dans les années 1950, les caractéristiques d'une explosion de poussière étaient obtenues avec l'appareil dit de "Hartmann". Dans celui-ci, la poudre déposée au fond d'un réservoir cylindrique de 1,3 litre est mise en suspension par la vidange d'un réservoir d'air comprimé. De deux électrodes, on fait jaillir une étincelle électrique qui enflamme la poussière; les caractéristiques de l'explosion sont connues par le capteur de pression (fig. 36).



R_{max} = vitesse maximale de montée en pression = $tg\alpha = (\frac{dP}{dt})$ max

R_{moyen} = vitesse moyenne de montée en pression = $tg\beta = (\frac{P_{max}}{Dt})$

Fig. 35 : Schéma de l'évolution de la pression au cours du temps lors de l'explosion d'une suspension de poussière dans un réservoir

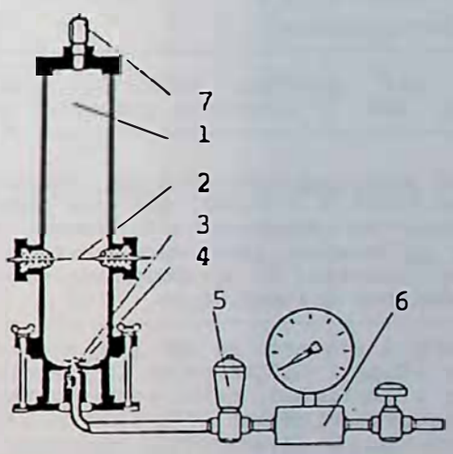


Fig. 36 : Appareil de Hartmann

1 = tube (haut. 300 mm x Ø int. 68 mm)
2 = électrodes
3 = poussière
4 = entrée d'air
5 = électrovanne
6 = réservoir d'air
7 = capteur de pression

Malheureusement, les résultats obtenus dans l'appareil Hartmann ne sont pas extrapolables aux installations industrielles, suite aux puissants effets de parois, à la faible énergie dissipée et à la trop faible turbulence; tous facteurs qui influencent le déroulement de l'explosion.

Des recherches expérimentales sur réservoirs de grandes dimensions ont confirmé la très faible influence du volume sur la pression maximale d'explosion et la validité d'une loi dite "loi cubique"

$(\frac{dP}{dt})max. \ V^{1/3} = Kst \ (bar.m.s^{-1})$ = une constante

(V = volume du réservoir)

Cette loi, valable pour les explosions de gaz ou de poussières, permet de calculer les valeurs caractérisant le déroulement d'une explosion dans un réservoir quelconque à partir de la valeur du gradient de pression maximum mesurée dans un réservoir standard, à condition que les degrés de turbulence soient les mêmes. Dans certaines conditions, la loi n'est pas valable, notamment pour des réservoirs dont le rapport longueur/diamètre est supérieur à 2.

Le réservoir standard doit avoir un volume minimum de l'ordre du mètre cube, c'est la capacité préconisée par l'ISO dans sa norme ISO 6184/1 sur la détermination des indices d'explosion des poussières combustibles dans l'air.

La valeur du Kst permet aussi le classement d'une poussière (tableau XIV) d'après la violence engendrée par son inflammation.

Tableau XIV

Classe d'explosion de poussières	Valeur de Kst
St1 (faible explosion)	0 à 200
St2 (forte explosion)	200 à 300
St3 (très forte explosion)	> 300

Exemple : Les charbons pulvérisés sont classés en St1, l'aluminium pulvérisé en St3.

C'est donc avec une cuve de 1 m^3, équipée et mise au point à l'Iniex, que nous avons voulu mettre en évidence l'influence de la nature du charbon ainsi que la concentration en comburant et en combustible sur le déroulement d'une explosion.

On pourrait s'étonner de ne pas trouver dans cette étude l'influence de la granulométrie sur l'explosion, mais, comme le fait bien remarquer Bartknecht [7], dans un processus industriel (transport, déversement de pulvérisé, etc ...), c'est toujours dans l'atmosphère de la partie supérieure du récipient que l'on retrouve les fractions les plus fines (zone la plus probable pour une explosion). C'est sur ces fractions, généralement inférieures à 100 µm, que doit porter toute notre attention.

2. TECHNIQUE EXPERIMENTALE : LA CUVE D'EXPLOSION DE 1 M^3

2.1. Principe de l'appareil (fig. 37)

La poussière à étudier est placée dans le réservoir de stockage que l'on soumet à la pression d'un gaz vecteur. Après ouverture de la valve rapide, la poussière pénètre dans la cuve en traversant le disperseur.

Un nuage homogène se forme, ayant une concentration en poussière fixée par la quantité de produit placé dans le réservoir de stockage.

Après un délai choisi, la mise à feu se fait au moyen d'un allumeur chimique excité électriquement. Un capteur de pression à quartz donne l'évolution de la pression en fonction du temps. Ces paramètres sont enregistrés, par l'intermédiaire d'une chaîne de mesure, dans un oscilloscope à mémoires digitales qui permet le traitement direct de l'information. Les séquences (ouverture de la valve rapide, mise à feu et début d'enregistrement du phénomène) sont soumises à un programmateur réalisé par nos services.

2.2. Conditions opératoires

Cuve

- Volume : 1 m^3
- Dimensions : cylindre de diamètre 0,96 et longueur 1,33 m
- Epaisseur des parois : 2 cm
- Pression de test de la cuve : 25 Atü

Réservoir de stockage

- Volume : 6,7 litres
- Gaz vecteur : air sec ou azote
- Pression du gaz vecteur : 20 bar

Allumeur chimique

- Energie développée : 10.000 joule
- Composition :
  30 % nitrate de baryum
  30 % peroxyde de baryum
  40 % zirconium

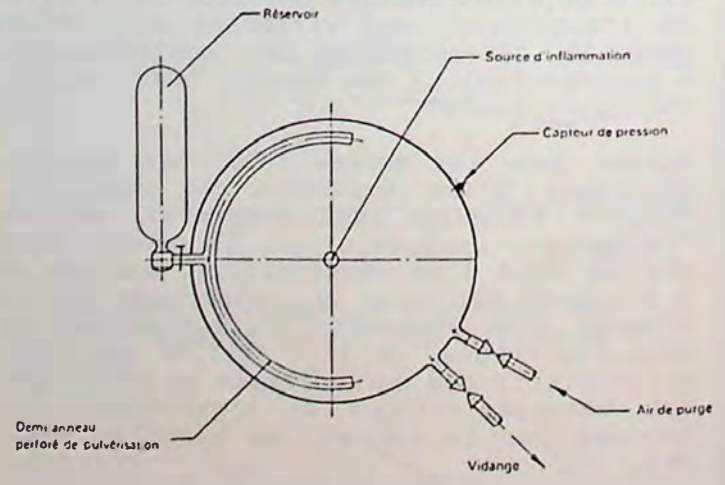


Fig. 37 : Schéma cuve de 1 m^3

Délai d'allumage

0,6 s après ouverture de la valve; ce délai (obtenu expérimentalement) donne une valeur maximale à la pression d'explosion et offre un degré de turbulence optimum : ni trop fort, pour éviter une augmentation du gradient de pression, ni trop faible, pour empêcher le dépôt du produit.

Remarques

a) Répétabilité des essais : la différence entre les résultats de plusieurs déterminations sur une même concentration en pulvérisé ne dépasse pas ± 5 % de la moyenne des essais.

b) Nous n'avons pas trouvé de différence dans nos résultats, que la cuve et les gaz soient utilisés à - 4 °C ou à 16 °C.

c) Un analyseur d'oxygène "Sybron Taylor, type Servomex O2 analyser OA570" permet de connaître la teneur résiduelle en oxygène après l'explosion.

d) La chaîne de mesure est équipée d'un oscilloscope Kawasui, type DSS 6520 à mémoires digitales, d'une capacité verticale de 8 bits et horizontale de 10 bits.

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET COMMENTAIRES

3.1. Relation explosibilité-concentration en poussière dans l'air et rang du charbon

En vue de mettre en évidence l'influence du rang du charbon (par l'intermédiaire du % en matières volatiles) et la concentration en poussière sur l'explosibilité, nous avons examiné, sous cet angle, quatre charbons pulvérisés de distribution granulométrique équivalente, c'est-à-dire le CP Beringen, le CP Beringen cendreux, le CP Zolder et le CP Eisden. L'analyse de ces charbons est reprise dans le chapitre sur l'auto-inflammabilité (tableau III et figures 13, 14, 15, 17).

Les résultats des essais, en fonction de la concentration en poussière dans l'air, sont repris dans les tableaux et figures ci-après.

Tableau XV. CP Beringen (voir fig. 38)

Concentration en poussière (g/m3)	P_{max} (bar)	R_{max} (bar/s)	R_{moyen} (bar/s)
100	0	0	0
200	0,2	3	1
300	7,2	36	9
400	8	68	18
500	8,1	85	22
750	7,8	100	30
1000	7,4	87	25

Tableau XVI. CP Beringen cendreux (voir fig. 39)

Concentration en poussière (g/m3)	P_{max} (bar)	R_{max} (bar/s)	R_{moyen} (bar/s)
100	0	0	0
200	0	0	0
300	0	0	0
400	0	0	0
500	0,2	1,75	1
625	7,2	36	10,9
750	7,7	44	13
1000	7,3	48	15,7

Tableau XVII. CP Zolder (voir fig. 40)

Concentration en poussière (g/m3)	P_{max} (bar)	R_{max} (bar/s)	R_{moyen} (bar/s)
100	0	0	0
200	6,7	21,3	7,6
400	8,5	69	20
575	8,1	88	25
750	7,8	82	24
1000	7,1	83	25

Tableau XVIII. CP Eisden (voir fig. 41)

Concentration en poussière (g/m3)	P_{max} (bar)	R_{max} (bar/s)	R_{moyen} (bar/s)
300	0,4	1,1	1
400	7,5	54	14
500	7,7	67	22
750	7,3	78	23
1000	6,9	64	21

Le tableau XIX reprend les valeurs extrêmes relevées lors des essais d'explosion sur les quatre charbons pulvérisés.

Tableau XIX

Charbon	% C	% MV	% <100 µm	P_{max} (bar)	R_{max} (bar/s)	Limite inférieure d'inflammabilité (g/m3)
CP Beringen	6,2	30,7	88	8,1	100	200
CP Beringen cendreux	33,8	23,4	87	7,7	48	500
CP Zolder	5,9	29,6	83	8,5	88	100-200
CP Eisden	20,8	25,7	95	7,7	78	300

Rappel : C = cendres sur sec MV = matières volatiles sur sec
MV' = matières volatiles sur sec sans cendres

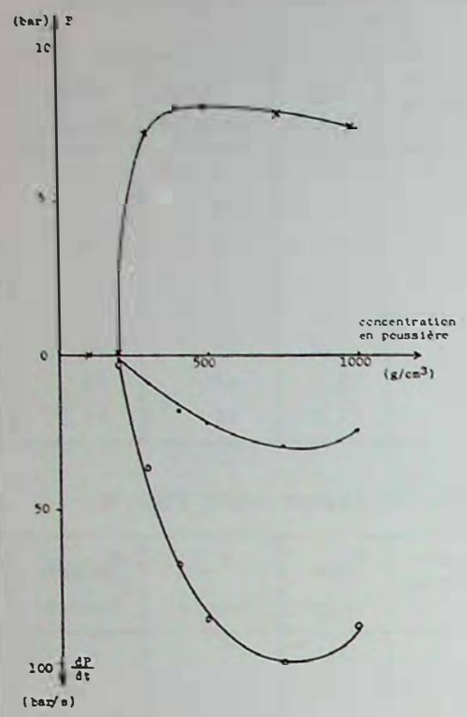


Fig. 38 : Essais d'explosivité dans la cuve de 1 m³ sur CP Beringen; influence de la concentration en pulvérisé dans l'air sur P_{max} (x), R_{max} (o) et R_{moyen} (.)

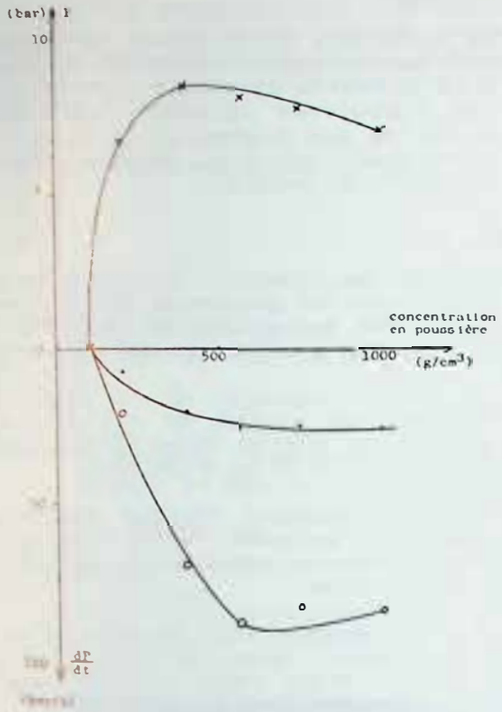


Fig. 40 : Essais d'explosivité dans la cuve de 1 m³ sur CP Zolder; influence de la concentration en pulvérisé dans l'air sur P_{max} (x), R_{max} (o) et R_{moyen} (.)

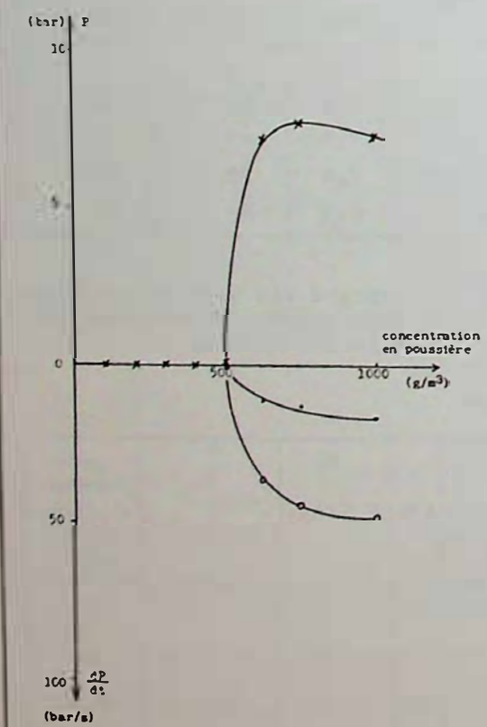


Fig. 39 : Essais d'explosivité dans la cuve de 1 m³ sur CP Beringen cendreux; influence de la concentration en pulvérisé dans l'air sur P_{max} (x), R_{max} (o) et R_{moyen} (.)

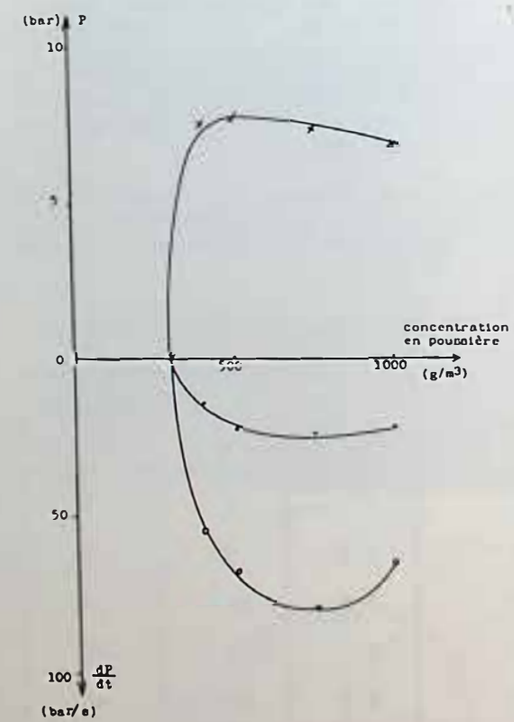


Fig. 41 : Essais d'explosivité dans la cuve de 1 m³ sur CP Eisden; influence de la concentration en pulvérisé dans l'air sur P_{max} (x), R_{max} (o) et R_{moyen} (.)

Commentaires

On peut retenir que les quatre charbons ont donné lieu à explosion. Si les courbes caractéristiques ont une forme parabolique semblable, certains paramètres dépendent fortement des particularités du charbon :

. La limite inférieure d'inflammabilité voit son seuil se situer entre 100 et 200 g/m^3 pour un charbon propre, et passe à 500 g/m^3 avec un charbon à 34 % de cendres.

En mine de houille, ce principe est à la base de la schistification où, pour éviter la naissance et la propagation d'une flambée dans les travaux du fond, on fait apport sur les parois des galeries de poussières incombustibles.

. La pression maximale est obtenue avec une concentration de 400 à 500 g/m^3, pour un charbon propre, et avec 750 g/m^3, pour un charbon à 34 % de cendres.
. En général, le gradient de pression maximum se situe à une concentration supérieure de 250 g/m^3 à celle citée pour P_{max}.
. Les figures 42 et 43 font ressortir le peu d'influence du type de charbon sur la pression maximale (température maximale de la flamme) : elle reste voisine de 8 bar. A l'inverse, elles montrent pour le gradient de pression (vitesse de réaction de combustion) une forte dépendance directe de la teneur en matières volatiles et une fonction inverse de la teneur en cendres. Le charbon cendreux de Beringen voit sa vitesse de réaction diminuer de moitié par rapport au charbon propre. L'auto-inertisation du combustible par les cendres explique ce phénomène.

3.2. Essais d'inertisation

Jusqu'à présent, nous avons envisagé des mélanges air/charbon pulvérisé. Une technique industrielle pour diminuer les risques d'explosion, l'inertisation, consiste à diminuer la teneur en oxygène d'une installation de broyage ou de stockage.

Il nous a paru intéressant de rechercher la teneur minimale en oxygène qui permet encore l'entretien de la combustion, et donc celle en dessous de laquelle il faut se situer pour éviter l'explosion.

Pour ce faire, nous avons choisi le CP Zolder (car le plus réactif), que nous avons étudié à une concentration de 400 g/m^3 sous différentes teneurs en oxygène (tableau XX). Après essais, nous avons mesuré le solde en O_2 dans la cuve et pratiqué une analyse immédiate des produits solides de la réaction.

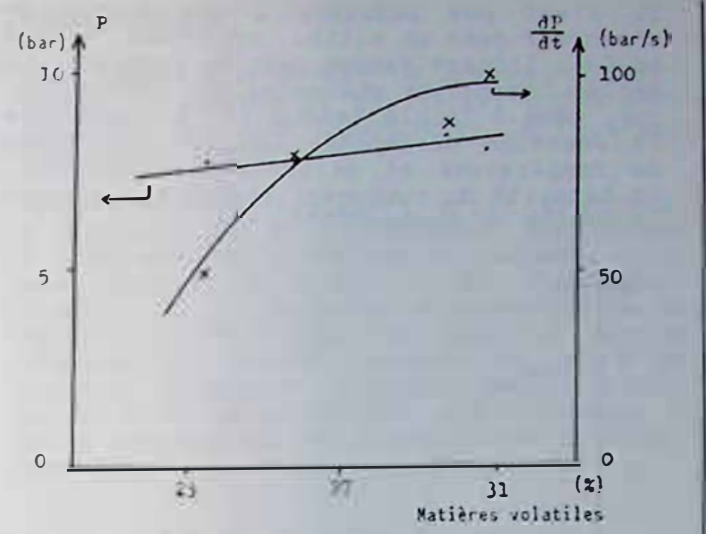


Fig. 42 : Essais d'explosibilité dans la cuve de 1 m^3; variation de P_{max} (.) et R_{max} (x) en fonction de la teneur en matières volatiles du charbon pulvérisé

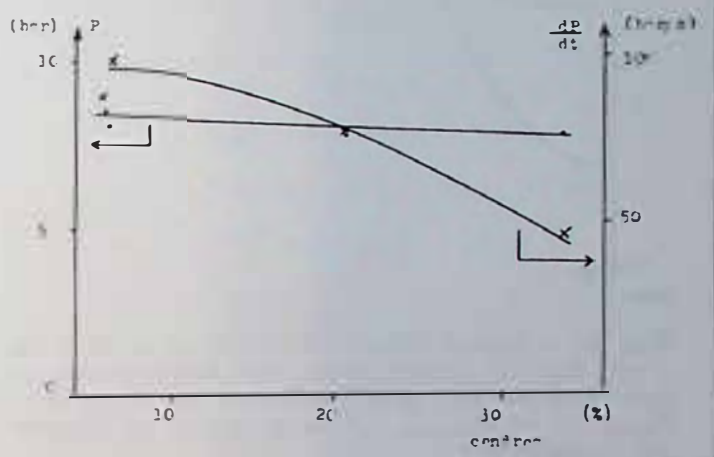


Fig. 43 : Essais d'explosivité dans la cuve de 1 m3; variation de P_{max} (.) et R_{max} (x) en fonction de la teneur en cendres du charbon pulvérisé

Commentaires

L'inertisation entraîne des températures de flamme (P_{max}) ainsi que des vitesses de réaction (R_{max}) graduellement plus faibles (fig. 44).

La quantité de charbon brûlé peut être estimée à partir du taux résiduaire en cendres; elle est donnée au tableau XX.

Tableau XX (voir fig. 44)

% O_2 initial (en vol.)	P_{max} (bar)	R_{max} (bar/s)	R_{moyen} (bar/s)	% O_2 apr.essai (en vol.)	Quantité de charbon brûlé (g)	Analyse immédiate après essai			
						% H_2O	% C	% MV	% MV'
21	8,5	69	20	0	291	1,8	18,4	5,2	6,3
18,9	7,9	51	16	0	257	1,9	14	7,7	8,9
17	5,6	9,2	3,8	0	215	1,5	10,8	20,8	23,3
16,2	0	0	0	16,2	0	1,9	5	29	31

Il n'est pas possible à une flamme de s'amorcer dans un milieu contenant 16,2 % en O_2 : l'inertisation agit en bloquant le déclenchement du phénomène de combustion, car, même à faible teneur (17 %), une fois la réaction déclenchée (vu les conditions de température et de pression atteintes), la totalité du comburant réagit en laissant la moitié du combustible.

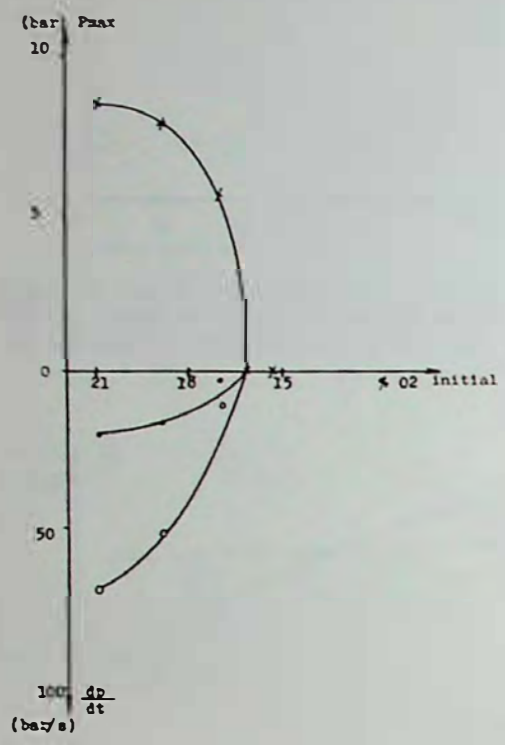


Fig. 44 : Essais d'explosibilité dans la cuve de 1 m³ sur CP Zolder avec une concentration en pulvérisé de 400 g/m³; influence sur P_{max} (x), R_{max} (o) et R_{moyen} (.) de la teneur en oxygène de l'atmosphère

3.3. Le degré d'avancement de la réaction de combustion

Après épreuve dans la cuve sur CP Zolder/air, nous avons mesuré la teneur résiduelle en O_2 dans l'enceinte et pratiqué l'analyse immédiate des résidus solides de la combustion (tableau XXI).

Commentaires

Une concentration en poussière de l'ordre de 210 g/m³ (extrapolation) consomme la totalité du comburant en laissant une bonne partie du combustible. Dans ce type de réaction rapide, seules les matières volatiles ont le temps de se pyrolyser et de s'enflammer.

Ce n'est qu'avec des teneurs en poussière plus élevées, et donc des températures de réaction plus fortes, que le charbon se pyrolyse de manière plus complète.

4. CONCLUSIONS SUR LES ESSAIS D'EXPLOSION

Les résultats des travaux ont permis de mettre en évidence l'influence du rang du charbon (% cendres et matières volatiles) sur l'explosibilité : gradients, pressions et limites d'inflammabilité.

Comme il était à prévoir, on rencontrera des risques supérieurs pour des charbons propres et gras.

Les pressions maximales d'explosion obtenues, de l'ordre de 8 bar, confirment les valeurs couramment admises. Ces valeurs ont toujours été élevées par rapport à la résistance mécanique d'une installation. Un fonctionnement à teneur en oxygène réduite (inférieure à la limite, moins une marge de sécurité de 2 %) permettra d'éviter l'accident.

On parviendra, en se basant sur la "loi cubique", à évaluer l'intensité d'une explosion de poussière dans des réservoirs d'une contenance supérieure à 1 m³. Cette loi permettra aussi le calcul de moyens de protection (évents et clapets).

CONCLUSION GENERALE

Nous nous sommes efforcés d'éclairer l'industriel sur les problèmes de sécurité inhérents au broyage fin du charbon.

Les résultats mentionnés dans le présent travail montrent que l'on dispose de moyens permettant de caractériser les produits pulvérisés vis-à-vis des dangers d'explosion ou d'auto-inflammation.

Nous avons pu constater que ces dangers étaient fonction principalement du rang du charbon (teneur en matières volatiles) et, dans une moindre mesure, de la granulométrie.

Chaque paramètre influençant la combustion peut être étudié de manière plus approfondie. De même, nous n'avons pas porté notre attention sur l'effet de gaz inertisants dans le stockage de charbon pulvérisé. Ce sont là des points qui peuvent faire l'objet de phases ultérieures à cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

[1] M. GILTAIRE et J. DANGREAUX. Les poussières explosibles. Annales des Mines de France,, janvier 1978, p 86.

[2] MISSENARD. Conductivité thermique des solides, liquides et gaz. Dunod, 1970.

[3] T. GREWER. Zur Selbstentzündung von algelagertem Staub. Rheinhalt. Luft, 31, n° 3, 1971, p 97.

Tableau XXI

Concentration en poussière (g/m3)	% O_2 initial (en vol.)	% O_2 après essai (en vol.)	Quantité de charbon brûlé (g)	Analyse immédiate après essai			
				% H_2O	% C	% MV	% MV'
100	21	21	0	1,9	5	29	31
200	21	3,1	144	1,8	17,8	17,3	21
400	21	0	291	1,8	18,4	5,2	6,3

[4] G. LEUSCHKE. Selbstentzündung von Staubförmigen Materialen. Vortrag auf dem 5 Internationalen Brandschutz-Seminar Karlsruhe, 22 bis 24, Sept. 1976.

[5] FREYTAG. Handbruch der Raum Explosionen. Verlag Chemie, 1975.

[6] VDI 3673. Verein Deutscher Ingenieur Druckentlastung von Staubexplosionen, Juni 1979.

[7] W. BARTKNECHT. Explosionen. Springer Verlag, Berlin, 1978, p 33.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier qui a permis, par son aide financière, la réalisation de ce travail.

Nous exprimons également notre gratitude à Monsieur O. de Crombrugghe, Professeur à l'Université Catholique de Louvain, pour ses conseils éclairés, à MM. H. Vander Poorten et M. Barigand, Professeurs à la Faculté Polytechnique de Mons où furent réalisés les essais d'adsorption, et à la Société Kempense Steenkolenmijnen pour avoir bien voulu mettre gracieusement à notre disposition les échantillons de charbon.

Statistique des accidents survenus au cours de 1985 dans les mines de houille et dans les autres établissements surveillés par l'Administration des Mines

AVANT-PROPOS

La statistique des accidents survenus au cours de l'année 1985 dans les mines de houille et dans les autres établissements surveillés par l'Administration des Mines ne comporte pas d'innovation marquante par rapport à l'année précédente.
Toutefois,en 1985, toute l'exploitation charbonnière a été concentrée dans le bassin du Nord, suite à la fermeture le 31 septembre 1984 du dernier charbonnage dans le bassin du Sud. La présentation ne comporte donc plus les tableaux permettant la comparaison entre les bassins miniers du Sud et du Nord.

L'Administration sera toujours reconnaissante à toute personne qui lui suggérerait des améliorations à apporter au contenu de cette étude ou à sa présentation.

Le Directeur Général des Mines,
ir. J. MEDAETS.

TABLE DES MATIERES

1. MINES DE HOUILLE

1.1. Introduction

1.1.1. Fond
1.1.2. Surface

1.2. Taux de fréquence, de gravité, de risque au fond et à la surface

1.3. Procès-verbaux d'accidents dressés par l'Administration des Mines

1.4. Rétrospective des accidents mortels

1.5. Répartition des accidents graves suivant le siège et la nature des lésions

2. MINIERES ET CARRIERES SOUTERRAINES

3. MINIERES ET CARRIERES A CIEL OUVERT

4. USINES - INDUSTRIE SIDERURGIQUE

5. FABRIQUES D'EXPLOSIFS

Statistiek van de ongevallen in de kolenmijnen en in de andere inrichtingen onder het toezicht van de Administratie van het Mijnwezen in 1985

WOORD VOORAF

De statistiek van de ongevallen in de kolenmijnen en in de andere inrichtingen waarop de Administratie van het Mijnwezen toezicht uitoefent,heeft in 1985 geen opvallende veranderingen ondergaan tegenover 1984.

In 1985 waren alle steenkoolontginningen geconcentreerd in het bekken van het Noorden ten gevolge van de sluiting van de laatste steenkoolmijn in het bekken van het Zuiden op 31 september 1984. Deze publicatie bevat dus niet langer de vergelijkende tabellen tussen de mijnbekkens van het Noorden en die van het Zuiden.

De Administratie dankt de lezers die verbeteringen aan de vorm of de inhoud van deze studie mochten voorstellen.

De Directeur-Generaal der Mijnen,
ir. J. MEDAETS.

INHOUD

1. KOLENMIJNEN

1.1. Inleiding

1.1.1. Ondergrond
1.1.2. Bovengrond

1.2. Veelvuldigheidsvoet, ernst- en risicovoet in de ondergrond en op de bovengrond

1.3. Processen-verbaal van de ongevallen door de Administratie van het Mijnwezen opgesteld

1.4. De dodelijke ongevallen tijdens de jongste jaren

1.5. Indeling van de zware ongevallen naar de plaats en de aard van het letsel

2. ONDERGRONDSE GROEVEN EN GRAVERIJEN

3. GROEVEN EN GRAVERIJEN IN DE OPEN LUCHT

4. FABRIEKEN - STAALNIJVERHEID

5. SPRINGSTOFFABRIEKEN

1. MINES DE HOUILLE 1985

1.1. Introduction

La statistique des accidents de travail survenus dans les mines de houille en 1985 répartit les accidents, d'une part, suivant leur cause matérielle en 12 rubriques principales et 50 sous-rubriques pour les accidents du fond, 10 rubriques principales pour les accidents de surface et, d'autre part, suivant l'importance de l'incapacité de travail qui comporte 4 classes de gravité : "1 à 3 jours", "4 à 20 jours", "21 à 56 jours" et "56 jours et plus".

Le décès survenu dans un délai de 56 jours à dater de l'accident est rangé dans les accidents mortels sous la rubrique "tués".

Le tableau 1 reprend les accidents du fond qui ont entraîné au cours de l'année 1985, dans le Royaume, une incapacité de travail durant 1 jour au moins, le jour de l'accident non compris.

Le tableau 1 bis reprend les accidents survenus à la surface et sur le chemin du travail, ainsi que le calcul des proportions de tués.

A noter que tous les accidents des établissements connexes des houillères sont compris dans les relevés des accidents de surface des charbonnages.

Aussi les taux de fréquence et de gravité des accidents du fond, de la surface et de l'ensemble fond et surface sont-ils calculés par rapport aux prestations de tout le personnel intéressé de l'entreprise, y compris celui des industries connexes.

C'est la raison pour laquelle les nombres de postes prestés au fond et surtout à la surface, tels qu'ils sont indiqués au bas du tableau 1 bis, peuvent différer sensiblement des nombres de postes correspondants d'autres statistiques, lesquels ne concernent que les travaux d'exploitation de la houillère proprement dite.

1.1.1. Fond

En 1985, le nombre total des victimes d'accidents du fond s'est élevé à 9 595 unités.

Les accidents causés par les éboulements et chutes de pierres et de blocs de houille, restent de loin les plus nombreux et se décomposent comme suit :

- en taille :
  au cours de l'abattage et des travaux qui y font suite 1 543
  au cours des travaux de contrôle du toit 181

1. KOLENMIJNEN 1985

1.1. Inleiding

In de statistiek van de arbeidsongevallen die zich in 1985 in de steenkolenmijnen hebben voorgedaan, worden die ongevallen ingedeeld, eensdeels naar hun materiële oorzaken, in 12 hoofdrubrieken en 50 rubrieken voor de ondergrondse ongevallen en in 10 hoofdrubrieken voor de bovengrondse ongevallen en anderdeels naar de duur van de arbeidsongeschiktheid, die 4 klassen omvat : "1 tot 3 dagen", "4 tot 20 dagen", "21 tot 56 dagen" en "56 dagen en meer".

Het overlijden binnen 56 dagen na het ongeval wordt, onder de rubriek "doden", tot de dodelijke ongevallen gerekend.

In tabel 1 worden de ondergrondse ongevallen aangegeven die in de loop van het jaar 1985 voor het hele Rijk een arbeidsongeschiktheid van ten minste 1 dag tot gevolg hebben gehad, de dag van het ongeval niet inbegrepen.

In tabel 1bis worden de bovengrondse ongevallen en de ongevallen op de weg naar en van het werk aangegeven, alsmede het aantal doden per miljoen diensten of per miljoen ton.

Alle ongevallen in nevenbedrijven van kolenmijnen zijn begrepen in de cijfers van de ongevallen op de bovengrond.

De veelvuldigheidsvoet en de ernstvoet van de ongevallen in de ondergrond, op de bovengrond en voor boven- en ondergrond samen, worden dan ook berekend op de prestaties van al het betrokken personeel van de onderneming, dat van de nevenbedrijven inbegrepen.

Daarom kan het aantal in de ondergrond en vooral op de bovengrond verrichte diensten dat in tabel 1bis vermeld is merkelijk verschillen van de cijfers die in andere statistieken aangeduid zijn welke alleen op de ontginning van de eigenlijke mijn betrekking hebben.

1.1.1. Ondergrond

In 1985 waren er in totaal 9 595 slachtoffers van ongevallen in de ondergrond.

De ongevallen door instortingen en door het vallen van stenen en blokken kool veroorzaakt, zijn nog steeds het talrijkst en worden als volgt verdeeld :

- in pijlers :
  tijdens de winning en het vervolg van de winning 1 543
  tijdens verrichtingen voor de dakcontrole 181

- dans les galeries en veine de toute nature	925
- dans les galeries au rocher	371
- dans les puits et burquins	31
Soit au total	3 051

La proportion d'accidents de cette nature par rapport à l'ensemble des accidents du fond s'établit ainsi à 31,8 %. Cette proportion atteignait près de 50 % en 1956.

Les manipulations diverses et chutes d'objets sont aussi importantes parmi les causes d'accidents avec 1 763 victimes en 1985.

Les accidents occasionnés par le fonctionnement de machines d'abattage, chargeuses, remblayeuses et autres machines, ainsi que l'emploi d'outils et la manipulation d'éléments de soutènement ont enregistré, en 1985, 1 784 cas.

Les accidents provoqués par la circulation du personnel (chutes, heurts, foulures, etc.) ont fait 1 364 victimes.

Les transports ont enregistré 547 victimes.

1.1.2. Surface

A la surface, le nombre d'accidents est de 456 pour le Royaume en 1985.

1.1.3. Chemin du travail

En 1985, il y a eu 99 accidents sur le chemin du travail.

- in om het even welke gangen in de kolen	925
- in de gangen in het gesteente..	371
- in schachten en blinde schachten	31
Samen :	3 051

Deze ongevallen vormen samen 31,8 % van het totaal aantal ondergrondse ongevallen. In 1956 was dat bijna 50 %.

Diverse manipulaties en het vallen van voorwerpen nemen ook een belangrijke plaats in wat de oorzaken van de ongevallen betreft, met 1 763 slachtoffers in 1985.

De ongevallen veroorzaakt door winmachines, laadmachines, vulmachines en andere machines, evenals door het gebruik van gereedschap en de manipulatie van ondersteuningsmiddelen, hebben in 1985 1 784 slachtoffers gemaakt.

De ongevallen veroorzaakt door het circuleren van het personeel (vallen, zich stoten, verstuikingen, enz.) hebben 1 364 slachtoffers gemaakt.

Het vervoer heeft 547 slachtoffers gemaakt.

1.1.2. Bovengrond

Op de bovengrond zijn er in 1985 in heel het Rijk 456 ongevallen gebeurd.

1.1.3. Op de weg naar of van het werk

In 1985 hebben zich 99 ongevallen voorgedaan op de weg naar of van het werk.

TABLEAU 1. Accidents survenus dans les mines de houille en 1985

CATEGORIES D'ACCIDENTS			N°
Accidents du fond			
I. Eboulements, chutes de pierres et de blocs de houille		En taille, abattage et suite à l'abattage	010
		En taille, contrôle du toit (foudroyage, remblayage, etc)	011
		Dans les galeries en veine de toute nature (y compris les préparatoires) : à front	012
		à l'arrière	013
		Dans les galeries en roches: à front	014
		à l'arrière	015
		Dans les puits et burquins	016
		Total I	01 +
II. Transports (à l'exclusion des accidents dus à l'électricité)		Continus en tailles et en galeries : par	
		+ gravité	020
		+ courroies	021
		+ convoyeurs métalliques à raclettes	022
		+ autres convoyeurs métalliques	023
		En galeries horizontales par wagonnets et hiercheurs	024
		+ locomotives	025
		+ treuils et câbles ou chaînes, pousseurs	026
		En galeries inclinées par wagonnets et poulies ou treuils et câbles ou chaînes	027
		En tous travaux autres que les puits par tous autres moyens	028
		Dans les puits et burquins	029
		Total II	02 +
III. Chutes de la victime (chutes, faux pas, trébuchements, glissades avec heurt ou accrochage à des parties saillantes, déchirures, foulures, luxations, etc.)		a) A l'occasion de la circulation :	
		. Dans les tailles et montages en plateure	030
		. Dans les tailles et montages en dressant	031
		. Dans les galeries horizontales ou faiblement inclinées	032
		. Dans les cheminées et les galeries inclinées	033
		. Dans les puits et burquins	034
		b) Au cours d'autres opérations :	
		. Dans les tailles et montages en plateure	035
		. Dans les tailles et montages en dressant	036
		. Dans les galeries horizontales ou faiblement inclinées	037
		. Dans les cheminées et les galeries inclinées	038
		. Dans les puits et burquins	039
		Total III	03 +
IV. Machines, outils et soutènement	Machines	Machines d'abattage	040
		Chargeuses	041
		Remblayeuses	042
		Autres machines et mécanismes	043
	Outils	Outils ordinaires	044
		Outils pneumatiques ou électriques à main	045
	Soutènement	Manipulation pour la mise en oeuvre des bois de soutènement	046
		Manipulation pour la mise en oeuvre d'étançons, cadres	047
		Manipulation pour la mise en oeuvre de claveaux et de panneaux	048
		Autres manipulations d'éléments de soutènement	049
		Total IV	04 +
V. Chutes d'objets		Manipulation de rails, tuyaux et autres éléments métalliques	050
		Manipulation d'autres matériaux	051
		Dérives d'objets dans les déclivités naturelles	052
		Chutes d'objets dans les puits et burquins	053
		Chutes de machines	054
		Chutes d'outils	055
		Chutes de soutènement	056
		Autres chutes d'objets divers	057
		Total V	05 +
VI. Explosifs (non compris les coups de grisou ou de poussières provoques par)			06 +
VII. Inflammations et explosions de grisou et/ou de poussières de charbon			07 +
VIII. Dégagements instantanés, anoxies, asphyxies et intoxications par gaz naturels		a) Dégagements instantanés	08a
		b) Anoxies, asphyxies et intoxications par gaz naturels	08b
		Total VIII	08 +
IX. Feux de mine et incendies			09 +
X. Coups d'eau			010 +
XI. Courant électrique			011 +
XII. Autres causes		. air comprimé	120
		. survenus à la surface à des ouvriers du fond	121
		. autres causes	122
		Total XII	012 +
		Totaux généraux pour le fond	Total

TABEL 1. In 1985 in de kolenmijnen gebeurde ongevallen

Nr	KATEGORIEËN VAN ONGEVALLEN		
	Ongevallen in de ondergrond		
010	I. Instortingen, vallen van stenen en blokken		In pijlers, bij de winning en het vervolg van de winning
011	kool		In pijlers, bij de dakcontrole (dakbreuk, opvulling, enz.)
			In de het oven welke mijngangen in de kolen (voorbereid. inbegr.)
012			aan het front
013			achter het front
014			In steengangen : aan het front
015			achter het front
016			In schachten en blinde schachten
01 •			Totaal I
	II. Vervoer (met uitsluiting van de ongevallen veroorzaakt door elektriciteit)		Basisvervoer in pijlers en mijngangen door middel van :
020			de zwaartekracht
021			banentransporteurs
022			schuddertransporteurs
023			andere metalen transporteurs
024			In vlakke mijngangen door middel van wagentjes en sleepers
025			lokomotieven
026			- lieren met kabels of kettingen, stootinstallaties
			In hellende mijngangen door middel van wagentjes en kabels of
027			lieren met kabels of kettingen
028			In alle werken buiten de schachten, met alle andere middelen
029			In schachten en blinde schachten
02 •			Totaal II
	III. Vallen van het slachtoffer (vallen, struikelen, uitglijden, stoten tegen uitstekende delen of er blijven aan haken, scheurwonden, verstuiking of ontwrichting, enz.)		a) Bij het doorlopen :
030			- In pijlers en ophouwen in vlakke lagen
031			- In pijlers en ophouwen in steile lagen
032			- In vlakke of licht hellende mijngangen
033			- In kokers en hellende mijngangen
034			- In schachten en blinde schachten
			b) Tijdens andere verrichtingen :
035			- In pijlers en ophouwen in vlakke lagen
036			- In pijlers en ophouwen in steile lagen
037			- In vlakke of licht hellende mijngangen
038			- In kokers en hellende mijngangen
039			- In schachten en blinde schachten
03 •			Totaal III
040	IV. Machines, gereedschap en ondersteuning	Machines	Winmachines
041			Laadmachines
042			Vulmachines
043			Andere machines en tuigen
044		Gereedschap	Gewoon gereedschap
045			Door perslucht of elektr. gedreven handgereedschap
046		Ondersteuning	Manipulatie voor het gebruik van houten ondersteuningsmiddelen
047			Manipulatie voor het gebruik van stijlen, ramen
048			Manipulatie voor het gebruik van betonblokken en panelen
049			Andere manipulaties van ondersteuningsmiddelen
04 •			Totaal IV
050	V. Vallen van voorwerpen		Manipulatie van spoorstaven, buizen en andere metalen stukken
051			Manipulatie van andere materialen
052			Wegschieten van voorwerpen in natuurlijke hellingen
053			Vallen van voorwerpen in schachten en blinde schachten
054			Vallen van machines
055			Vallen van gereedschap
056			Vallen van ondersteuningsmiddelen
057			Vallen van allerlei andere voorwerpen
05 •			Totaal V
06 •	VI. Springstoffen (ontploffingen van mijngas en kolenstof veroorzaakt door springstoffen niet inbegrepen)		
07 •	VII. Ontvlamming en ontploffing van mijngas en/of kolenstof		
08a	VIII. Gasdoorbraken : zuurstoftekort, verstikking en vergiftiging door natuurlijke gassen		a) Gasdoorbraken
08b			b) Zuurstoftekort, verstikking en vergiftiging door natuurlijke gassen
08 •			Totaal VIII
09 •	IX. Mijnvuur en branden		
010 •	X. Waterdoorbraken		
011 •	XI. Elektrische stroom		
120	XII. Andere oorzaken		- perslucht
121			- op de bovengrond aan de ondergrondse arbeid, overkomen
122			- andere oorzaken
012 •			Totaal XII
Totaal			Algemeen totaal van de ondergrond

N°	Victimes Slachtoffers	Incapacités temporaires Tijdelijke ongeschiktheid				Blessés avec incapacités permanentes Gekwetsten met blijvende ongeschiktheid		Tués Doden
		1 à 3 jours 1 tot 3 dagen	4 à 20 jours 4 tot 20 dagen	21 à 56 jours 21 tot 56 dagen	plus de 56 jours Meer dan 56 dagen	< 25 %	> 25 %	
010	1 543	587	830	95	31	34	-	-
011	181	21	137	20	3	4	-	-
012	784	284	443	45	11	18	-	1
013	141	31	99	11	-	1	-	-
014	214	77	119	16	1	7	-	1
015	157	71	74	11	-	3	-	1
016	31	13	16	2	-	-	-	-
01 +	3 051	1 084	1 718	200	46	67	-	3
020	-	-	-	-	-	-	-	-
021	73	16	43	10	4	3	1	-
022	6	1	5	-	-	-	-	-
023	48	12	22	7	7	7	-	-
024	34	4	20	5	5	9	-	-
025	103	19	56	18	9	12	-	1
026	87	27	35	14	11	16	-	-
027	48	16	24	6	2	2	1	-
028	131	36	62	24	7	13	2	2
029	17	4	10	3	-	3	-	-
02 +	547	135	277	87	45	65	4	3
030	53	16	31	6	-	-	-	-
031	2	1	1	-	-	-	-	-
032	186	45	120	19	2	4	-	-
033	12	6	6	-	-	-	-	-
034	29	5	23	1	-	-	-	-
035	308	115	168	20	5	5	-	-
036	7	3	4	-	-	-	-	-
037	703	198	429	67	9	14	-	-
038	10	2	4	3	1	2	-	-
039	54	22	25	5	2	3	-	-
03 +	1 364	413	811	121	19	28	-	-
040	19	8	8	-	3	4	-	-
041	13	2	10	1	-	1	-	-
042	24	6	15	2	1	1	-	-
043	475	221	227	20	7	15	-	-
044	273	102	150	18	3	8	1	-
045	179	74	95	7	3	2	1	-
046	90	32	52	6	-	1	-	-
047	322	116	166	34	6	13	-	-
048	16	9	6	1	-	-	-	-
049	373	89	251	24	9	10	1	-
04 +	1 784	659	980	113	32	55	3	-
050	430	106	266	49	9	14	-	-
051	418	116	268	26	8	13	-	-
052	1	-	1	-	-	-	-	-
053	8	4	3	1	-	-	-	-
054	25	8	14	3	-	1	-	-
055	41	10	26	5	-	2	-	-
056	315	72	206	34	3	6	-	-
057	525	142	317	50	16	22	-	-
058	1 763	458	1 101	168	36	58	-	-
06 +	-	-	-	-	-	-	-	-
07 +	-	-	-	-	-	-	-	-
08a	-	-	-	-	-	-	-	-
08b	-	-	-	-	-	-	-	-
08 +	-	-	-	-	-	-	-	-
09 +	1	-	1	-	-	-	-	-
010 +	-	-	-	-	-	-	-	-
011 +	8	4	3	1	-	-	-	-
120	62	21	37	4	-	1	-	-
121	55	14	35	1	3	2	-	-
122	962	581	352	24	5	9	-	-
012 +	1 077	616	424	29	8	12	-	-
Total Totaal	9 595	3 369	5 315	719	186	285	7	6

CATEGORIES D'ACCIDENTS	Victimes - Slachtoffers	Royaume - Het Rijk - 1985							KATEGORIEEN VAN ONGEVALLEN
		Incapacités temporaires Tijdelijke ongeschiktheid				Blessés avec incap. permanentes Gekwetsten met blijv. ongeschikt.		Tués - doden	
		1 à 3 jours 1 tot 3 dagen	4 à 20 jours 4 tot 20 dagen	21 à 56 jours 21 tot 56 dagen	Plus de 56 jours Meer dan 56 dagen	≤ 25 %	> 25 %		
Accidents de la surface									Ongevallen op de bovengrond
1. Eboulements, chutes de pierres ou de blocs de houille ...	2	2	-	-	-	-	-	-	1. Instortingen, vallen van stenen en blokken kool
2. Transport	39	3	21	10	4	5	1	1	2. Vervoer
3. Chutes de la victime	66	12	42	10	2	3	-	-	3. Vallen van het slachtoffer
4. Maniement ou emploi d'outils, machines et mécanismes	105	31	55	15	4	5	2	-	4. Hanteren of gebruiken van gereedschap, machines en tuigen
5. Chutes d'objets et manipulation	76	9	51	12	4	2	-	-	5. Vallen en manipulatie van voorwerpen
6. Explosifs	-	-	-	-	-	-	-	-	6. Springstoffen
7. Inflammations, explosions	1	-	1	-	-	-	-	-	7. Ontvlammingen, ontploffingen
8. Incendies et feux	4	-	4	-	-	-	-	-	8. Vuur en brand
9. Courant électrique	1	-	-	1	-	-	-	-	9. Elektrische stroom
10. Divers	162	70	77	12	3	3	-	-	10. Allerhande
Total surface	456	127	251	60	17	18	3	1	Totaal bovengrond
Total général fond et surface	10051	3496	5566	779	203	303	10	7	Algemeen totaal ondergrond en bovengrond
Accidents sur le chemin du travail "Accidents de trajet"	99	25	47	13	12	11	2	2	Ongevallen op de weg naar en van het werk "Trajectongevallen"

Calcul des proportions de tués	Royaume - Het Rijk	Berekening van de verhouding van het aantal doden
Nombre de postes effectués		Aantal verrichte diensten
Fond	2 589 358	Ondergrond
Surface	779 651	Bovengrond
Fond et surface	3 369 009	Ondergrond en bovengrond
Proportion de tués par million d'hommes-postes		Verhouding van het aantal doden per miljoen man-diensten
Fond	2,31	Ondergrond
Surface	1,28	Bovengrond
Fond et surface	2,08	Ondergrond en bovengrond
Nombre de tonnes nettes extraites	6 211 471	Aantal netto gewonnen ton
Proportion de tués par million de tonnes nettes extraites :		Verhouding van het aantal doden per miljoen nettogewonnen ton
Fond	0,97	Ondergrond
Surface	0,16	Bovengrond
Fond et surface	1,13	Ondergrond en bovengrond
Nombre de victimes par million de postes prestés :		Aantal slachtoffers per miljoen verstrekte diensten :
Fond	3 706	Ondergrond

TABLEAU 2. Taux de fréquence et de gravité des accidents survenus au fond et à la surface des mines de houille en 1985 et nombre moyen de journées chômées par accident.

TABEL 2. Veelvuldigheidsvoet en ernstvoet van de in 1985 in de ondergrond en op de bovengrond van de kolenmijnen gebeurde ongevallen en gemiddeld aantal verletdagen per ongeval.

		Royaume Het Rijk	
		Fond Ondergrond	Surface Bovengrond
Nombre de postes de 8 heures effectués en 1985 : n	Aantal diensten van 8 uren verricht in 1985 : n	2 589 358	779 651
Nombre d'accidents chômants (y compris les cas de mort) : A	Aantal ongevallen met arbeidsverzuim (dodelijke ongevallen inbegrepen) : A	9 595	456
Taux de fréquence (1985) $I_f = \frac{A \times 10^6}{8n}$	Veelvuldigheidsvoet (1985)	463	73
Rappel de 1984 : I_f	Idem voor 1984 : I_f -	438	63
Nombre de jours d'incapacité temporaire (à l'exclusion des cas de mort et d'incapacités permanentes) : J	Aantal dagen met volledige tijdelijke ongeschiktheid (met uitsluiting van de dodelijke ongevallen met blijvende ongeschiktheid) : j	71 448	4 747
Nombre de jours conventionnels de chômage pour les cas de mots et d'incapacités permanente : $J' (M + \frac{P}{100}) \times 7\,500$	Overeengekomen aantal verloren dagen wegens dodelijke ongevallen en ongevallen met blijvende ongeschiktheid :	155 400	21 975
	TOTAL J + J' TOTAAL	226.848	26.722
Taux de gravité : I_g	Ernstvoet : I_g		
- sans J'	$\frac{J \times 10^3}{8n}$ - J' niet inbegrepen	3,4	0,8
rappel de 1984 : I_g	id. voor 1984 : I_g	3,6	0,7
- avec J'	$\frac{(J + J') \times 10^3}{8n}$ - J' inbegrepen	11,0	4,3
rappel de 1984 : I_g	id. voor 1984 : I_g	15,7	1,6
Nombre moyen de journées chômées par accident	Gemiddeld aantal verletdagen per ongeval		
- sans J'	$\frac{J}{A}$ - J' niet inbegrepen	7,4	10,4
rappel de 1984 : I_g	id. voor 1984 : I_g	8,2	10,6
- avec J'	$\frac{J + J'}{A}$ - J' inbegrepen	23,6	58,6
rappel de 1984 : I_g	id. voor 1984 : I_g	35,9	25,6

1.2. Taux de fréquence, de gravité, de risque au fond et à la surface

Rappelons que le nombre de journées de chômage attribuées à tout accident mortel ou ayant entraîné une incapacité permanente totale a été porté à 7 500 et que le nombre conventionnel de journées de chômage attribuées au cas d'incapacité permanente partielle est le produit de 7 500 par le taux réel d'incapacité permanente attribué définitivement par les services médicaux compétents.

Le tableau 2 donne les taux de fréquence et les taux de gravité des accidents survenus au fond et à la surface des mines de houille dans le Royaume.

Le taux de fréquence, c'est-à-dire le nombre d'accidents par million d'heures de travail, a été de 463 au fond et de 73 à la surface.

Pour établir le taux de gravité des accidents, le tableau 2 donne d'abord le nombre de jours d'incapacité temporaire totale à l'exclusion des cas mortels et des incapacités permanentes (J), et ensuite le nombre conventionnel de jours de chômage attribués à ces dernières catégories d'accidents conformément aux prescriptions de l'arrêté royal du 10 janvier 1979 relatif aux organes de sécurité, d'hygiène et d'embellissement des lieux de travail concernant les mines, minières et carrières souterraines (J').

Ce nombre résulte en fait de la formule :

$$J' = (M + \frac{P}{100}) \times 7\,500$$

dans laquelle :

M - est le nombre d'accidents mortels qui figure au tableau 1

P - est la somme des taux d'incapacité suivants, exprimés en % :

1. des incapacités permanentes définitivement consolidées en 1985 résultant d'accidents survenus dans l'année ;

2. des prévisions d'incapacité permanente attribuées à des lésions résultant d'accidents survenus en 1985 mais dont la consolidation définitive n'était pas acquise en fin d'exercice ;

3. des différences entre les taux de consolidation définitive attribuées en 1984 à des victimes d'accidents survenus au cours d'exercices antérieurs, et les taux provisoires pris en considération pour le calcul des taux de gravité des exercices antérieurs (1).

(1) Pour des raisons de simplification, cet élément du calcul n'a pas été pris en considération.

1.2. Veelvuldigheidsvoet, ernst- en risicovoet in de ondergrond en op de bovengrond

Men weet dat het aantal afwezigheidsdagen, voor ieder dodelijk ongeval of voor ieder ongeval met een totale blijvende ongeschiktheid aangerekend, op 7 500 gebracht werd en dat het conventioneel aantal afwezigheidsdagen, voor de ongevallen met gedeeltelijke blijvende ongeschiktheid aangerekend, gelijk is aan het produkt van 7 500 met het door de bevoegde medische diensten definitief toegekende percentage van blijvende ongeschiktheid.

In tabel 2 worden de veelvuldigheidsvoet en de ernstvoet van de ongevallen in de ondergrond en op de bovengrond van de kolenmijnen aangeduid voor het Rijk.

De veelvuldigheidsvoet, d.i. het aantal ongevallen per miljoen werkuren, beliep 463 voor de ondergrond en 73 voor de bovengrond.

Om de ernstvoet van de ongevallen te berekenen, geeft tabel 2 eerst het aantal dagen met volledige tijdelijke ongeschiktheid, met uitsluiting van de dodelijke ongevallen en die met een blijvende ongeschiktheid (J), en daarna het overeengekomen aantal verloren dagen aan deze twee kategorieën van ongevallen toegekend overeenkomstig de bepalingen van het koninklijk besluit van 10 januari 1979 betreffende de organen voor veiligheid, gezondheid en verfraaiing der werkplaatsen in de mijnen, graverijen en ondergrondse groeven (J').

Feitelijk bekomt men dit aantal door de formule :

$$J' = (M + \frac{P}{100}) \times 7\,500$$

waarin :

M - het aantal dodelijke ongevallen vermeld in tabel 1 voorstelt en

P - de som is van de hierna vermelde ongeschiktheidspercentages :

1. de in 1985 definitief gekonsolideerde blijvende ongeschiktheid voortspruitende uit ongevallen die in de loop van het jaar gebeurd zijn ;

2. de voorziene blijvende ongeschiktheden toegekend voor letsels van ongevallen die in 1985 gebeurd, maar op het einde van het jaar nog niet definitief gekonsolideerd waren ;

3. de verschillen tussen de percentages van definitieve konsolidatie in 1984 toegekend aan slachtoffers van ongevallen van voorgaande jaren en de voorlopige percentages die voor de berekening van de ernstvoeten van de vorige jaren in aanmerking genomen zijn (1).

(1) Eenvoudigheidshalve werd dit gedeelte van de berekening buiten beschouwing gelaten.

Ces éléments permettent d'établir le taux de gravité des accidents, c'est-à-dire le nombre de journées d'incapacité rapporté au nombre d'heures de travail exprimé en milliers.

ainsi :

$$Tg = 1\ 000 \times \frac{J}{8n} \text{ ou } 1\ 000 \times \frac{J + J'}{8n}$$

suivant que l'on tient compte ou non du nombre de jours conventionnels de chômage attribués aux accidents ayant entraîné la mort ou une incapacité permanente.

1.3. Procès-verbaux d'accidents dressés par l'Administration des Mines

Les enquêtes auxquelles ont donné lieu les accidents graves survenus dans les charbonnages en 1985 ont fait l'objet de 15 procès-verbaux dressés par les ingénieurs du Corps des Mines. Les suites en sont données au tableau 3.

L'écart éventuel entre le nombre de procès-verbaux et celui des accidents graves et mortels mentionnés au tableau 1 s'explique comme suit :

(1) certains accidents font plusieurs victimes, mais ne font l'objet que d'un seul procès-verbal d'enquête, d'où l'écart entre le nombre de procès-verbaux et le nombre de victimes mentionnés au tableau 3 ;

(2) dans certains cas, l'incapacité de la victime a été portée à 25 % ou davantage, trop tardivement pour que l'ingénieur des mines puisse utilement procéder à une enquête technique sur les causes et circonstances de ces accidents. Inversément, des enquêtes sont faites pour des accidents apparemment graves mais dont résultent finalement des incapacités permanentes partielles consolidées à moins de 25 % ;

Aan de hand van deze gegevens kan de ernstvoet van de ongevallen berekend worden, d.i. het aantal dagen door ongevallen verloren per duizend werkuren.

zodat :

$$Tg = 1\ 000 \times \frac{J}{8n} \text{ of } 1\ 000 \times \frac{J + J'}{8n}$$

naargelang men al dan niet rekening houdt met het konventioneel aantal verloren dagen aan dodelijke ongevallen of aan ongevallen met een blijvende ongeschiktheid toegekend.

1.3. Processen-verbaal van ongevallen door de Administratie van het Mijnwezen opgesteld

In 1985 hebben de ingenieurs van het Mijnkorps 15 processen-verbaal van zware ongevallen in de mijnen opgesteld ; meer bijzonderheden daarover zijn te vinden in tabel 3.

Indien er een verschil tussen het aantal processen-verbaal en het in tabel 1 vermelde cijfer van de zware en dodelijke ongevallen is, is dat als volgt te verklaren :

(1) sommige ongevallen maken verscheidene slachtoffers, maar geven slechts aanleiding tot één enkel proces-verbaal van onderzoek, zodat er een verschil is tussen het aantal processen-verbaal en het aantal slachtoffers dat in tabel 3 aangeduid is ;

(2) voor sommige ongevallen wordt de ongeschiktheid van het slachtoffer te laat op 25 % of meer vastgesteld, zodat de rijksmijningenieur geen technisch onderzoek naar de oorzaken en de omstandigheden van die ongevallen meer kan instellen. Omgekeerd, wordt soms een onderzoek ingesteld voor ongevallen die zwaar lijken, maar die uiteindelijk slechts een blijvende ongeschiktheid van minder dan 25 % tot gevolg hebben ;

3) les procès-verbaux de certaines enquêtes en cours à la date du 31 décembre ne sont pas encore enregistrés à cette date. En revanche, certains procès-verbaux enregistrés dans l'année peuvent se rapporter à des accidents de l'exercice précédent ;

4) certaines enquêtes sont faites pour des accidents mortels survenus dans les charbonnages fermés et qui dès lors ne sont plus repris dans la statistique, ou encore pour des accidents survenus à des personnes étrangères aux mines dans les dépendances des mines (par exemple sur les terrils) our encore pour des accidents dont seraient victimes dans l'enceinte des charbonnages des personnes au service d'entrepreneurs étrangers à la mine chargés de l'exécution de certains travaux.

3) de processen-verbaal van sommige onderzoeken die op 31 december nog aan de gang zijn, zijn op die datum nog niet ingeschreven. Van de andere kant kunnen sommige processen-verbaal die in de loop van het jaar ingeschreven zijn betrekking hebben op ongevallen die het jaar te voren gebeurd zijn ;

4) sommige onderzoeken hebben betrekking op dodelijke ongevallen in gesloten kolenmijnen, die bijgevolg in de statistiek niet meer opgenomen worden, of op ongevallen waarvan personen die niet tot het mijnpersoneel behoren in de aanhorigheden van de mijnen (op steenbergen b.v.) het slachtoffer zijn of ook nog op ongevallen op het terrein van de mijn overkomen aan het personeel van aannemers die bepaalde werken uitvoeren.

TABLEAU 3. Accidents graves survenus dans les mines en 1985

TABEL 3. Zware ongevallen in de mijnen in 1985

RUBRIQUES	Royaume Het Rijk	RUBRIEKEN
Nombre de P.V. d'accidents :		Aantal processen-verbaal van ongevallen
Fond	11	Ondergrond
Surface	4	Bovengrond
Total	15	Totaal
Nombre de victimes		Aantal slachtoffers
a) Tués ou blessés mortellement	15	a) Doden en dodelijk gekwetsten
b) Blessés grièvement	-	b) Zwaar gekwetsten
Total	15	Totaal
Conclusions de l'Administration des Mines :		Konklusies van de Administratie van het Mijnwezen :
1) Poursuites demandées	2	1) Vervolgingen gevraagd
2) Poursuites laissées à l'appréciation du Procureur du Roi	-	2) Vervolgingen overgelaten aan de beoordeling van de Prokureur des Konings...
3) Recommandations de sécurité faites au charbonnages	8	3) Aan de mijn gedane aanbevelingen betreffende de veiligheid
4) Classement demandé	-	4) Klassering gevraagd
5) Enquêtes en cours	1	5) Nog lopende onderzoeken

1.4. Rétrospective des accidents mortels

L'évolution du nombre de tués au fond et à la surface depuis 1950, en chiffres absolus et rapporté au million de postes, est donné au tableau 4.

1.5. Répartition des accidents graves suivant le siège et la nature des lésions

Par accident grave, on entend l'accident qui a entraîné soit la mort endéans les 56 jours de sa survenance, soit une incapacité de travail au fond de plus de 56 jours.

1.4. De dodelijke ongevallen tijdens de jongste jaren

Het verloop van het aantal doden in de ondergrond en op de bovengrond sinds 1950, in volstrekte cijfers uitgedrukt en per miljoen diensten berekend, is in tabel 4 aangeduid.

1.5. Indeling van de zware ongevallen naar de plaats en de aard van het letsel

Onder zwaar ongeval verstaat men een ongeval dat ofwel de dood van het slachtoffer binnen 56 dagen nadat het gebeurd is, ofwel een arbeidsongeschiktheid voor de ondergrond van meer dan 56 dagen veroorzaakt heeft.

TABLEAU 4. Rétrospective des accidents mortels

TABEL 4. De dodelijke ongevallen tijdens de jongste jaren

Année Jaar	Nombre de tués Fond Aantal doden Ondergrond	Nombre de tués par million de postes Fond Aantal doden per miljoen diensten Ondergrond	Nombre de tués Surface Aantal doden Bovengrond	Nombre de tués par million de postes Surface Aantal doden per miljoen diensten Bovengrond	Nombre de tués Fond et surface Aantal doden Onder- en bovengrond	Nombre de tués par million de postes Fond et surface Aantal doden per miljoen diensten Onder- en bovengrond
1950	147	5,46	20	1,62	167	4,25
1960	68	4,28	4	0,59	72	3,18
1965	52	4,34	3	0,62	55	3,28
1970	19	3,70	2	0,77	21	2,72
1975	9	2,40	-	-	9	1,71
1977	5	1,55	-	-	5	1,13
1978	8	2,58	-	-	8	1,90
1979	8	2,70	3	2,92	11	2,76
1980	10	3,03	-	-	10	2,51
1981	8	2,62	-	-	8	2,01
1982	8	2,63	1	1,10	9	2,28
1983	4	1,48	-	-	4	1,14
1984	15	5,88	-	-	15	4,50
1985	?	2,70	1	1,28	8	2,08

L'examen du tableau 4 bis montre que les accidents aux mains totalisent 26 % des accidents graves du fond, les accidents aux pieds 13 %.

Quant à la nature des lésions, il convient d'abord d'observer que certaines d'entre elles (asphyxie, submersion, empoisonnement) affectent, de par leur nature même, l'ensemble du corps, tandis que d'autres ne peuvent affecter que certains "sièges" (par exemple, la perte d'un membre ne peut affecter que les membres). C'est pourquoi dans certaines colonnes, un certain nombre de lignes ont été condamnées.

Ceci étant précisé, on constatera que les fractures totalisent 55 % des accidents graves recensés et 50 % des accidents mortels, tandis que les contusions, écorchures et plaies en groupent encore 34 % des accidents graves. Ainsi ces deux "natures de lésion" rassemblent 89 % des accidents graves et 50 % des accidents mortels.

Uit tabel 4 bis blijkt dat 26 % van de zware ongevallen in de ondergrond aan de handen gebeuren, 13 % aan de voeten.

Wat de aard van de letsels betreft, dient vooreerst te worden opgemerkt dat sommige letsels (verstikking, verdrinking, vergiftiging) uiteraard op heel het lichaam betrekking hebben terwijl andere alleen op bepaalde plaatsen kunnen slaan (zo kan het verlies van een lidmaat alleen op de ledematen slaan). Daarom zijn sommige regels in sommige kolommen weggelaten.

Na deze verduidelijking ziet men dat de breuken 55 % van de getelde, zware ongevallen en 50 % van de dodelijke ongevallen uitmaken en de kneuzingen, schaafwonden en andere wonden 34 % van de zware ongevallen.
Deze twee "soorten letsels" maken samen 89 % van de zware ongevallen en 50 % van de dodelijke ongevallen uit.

TABLEAU 4bis. Répartition des victimes des accidents du fond selon le siège, la nature, la durée d'incapacité

TABEL 4bis. Indeling van de ongevallen ondergronds naar de plaats en de aard van het letsel en de duur van de arbeidsongeschiktheid

LE ROYAUME - HET RIJK

Chiffres absolus - Absolute cijfers Nombre d'heures - Aantal uren : 20 714 864

1985

		Tête Cou / Hoofd hals	Yeux / Ogen	Tronc / Romp	Membres inférieurs / onderste ledematen	Membres supérieurs / bovenste ledematen	Mains / Handen	Pieds / Voeten	Sièges multiples / Verschillende plaatsen	Non précisé / Niet omschreven	Total / Totaal		
Amputations et énucléations	> 56	-	2	-	-	-	7	1	-	-	10	> 56	Amputaties en enucleaties
	tué	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	dood	
	tot	-	2	-	-	-	7	1	-	-	10	tot.	
Fractures	> 56	4	-	6	35	10	33	14	1	-	103	> 56	Breuken
	tué	2	-	-	-	-	-	-	1	-	1	dood	
	tot.	6	-	6	35	10	33	14	2	-	106	tot.	
Luxations, entorses, foulures	> 56	-	-	4	3	-	-	-	-	-	7	> 56	Ontwrichtingen, verstuikingen, spierverrekkingen
	tué	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	dood	
	tot.	-	-	4	3	-	-	-	-	-	7	tot.	
Commotions et lésions internes	> 56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	> 56	Hersenschudding en inwendige letsels
	tué	-	-	1	-	-	-	-	1	-	2	dood	
	tot.	-	-	1	-	-	-	-	1	-	2	tot.	
Plaies, contusions attritions musculaires	> 56	4	3	3	22	2	10	10	11	-	65	> 56	Wonden, kneuzingen, spierbeschadiging
	tué	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	dood	
	tot.	4	3	3	22	2	10	10	11	-	65	tot.	
Brûlures, effets nocifs de l'électricité, radiations	> 56	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	> 56	Brandwonden, schadelijke gevolgen van elektrische stroom, straling
	tué	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	dood	
	tot.	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	tot.	
Intoxications, asphyxies	> 56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	> 56	Vergiftigingen, verstikkingen
	tué	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	dood	
	tot.	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	tot.	
Lésions multiples ou non précisées	> 56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	> 56	Meervoudige of onbepaalde letsels
	tué	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	dood	
	tot.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	tot.	
Total	> 56	8	5	13	61	12	50	25	12	-	186	> 56	Totaal
	tué	2	-	1	-	-	-	-	3	-	6	dood	
	tot.	10	5	14	61	12	50	25	15	-	192	tot.	

TABLEAU 5
Accidents survenus dans les minières souterraines et les carrières souterraines

1985

TABEL 5
Ongevallen overkomen in de ondergrondse graverijen en de ondergrondse groeven

1985

A. FOND	Nombre de victimes ayant subi une incapacité					Tués	A. ONDERGROND
	temporaire totale			permanente			
	1 à 3 jours	plus de 3 jours	nombre total de victimes	< 25 %	⩾ 25 %		
	Aantal slachtoffers						
CAUSES TECHNIQUES	met volledige tijdelijke ongeschiktheid			met blijvende ongeschiktheid		Doden	TECHNISCHE OORZAKEN
	1 tot 3 dagen	meer dan 3 dagen	totaal aantal slachtoffers	< 25 %	⩾ 25 %		
I. Eboulements et chutes de pierres	-	-	-	-	-	-	I. Instortingen en vallen van stenen
II. Moyens de transport	-	-	-	-	-	-	II. Vervoermiddelen
III. Chute et mouvement de la victime	-	9	9	-	-	-	III. Vallen en bewegen van het slachtoffer
IV. Maniement ou emploi de machines, outils, mécanismes et soutènements	-	3	3	-	-	-	IV. Hanteren of gebruiken van machines, gereedschap, tuigen en ondersteuningen
V. Chutes d'objets et manipulations diverses	-	-	-	-	-	-	V. Vallen van voorwerpen en allerlei manipulaties
VI. Explosifs	-	-	-	-	-	-	VI. Springstoffen
VII. Inflammations et explosions	-	1	1	-	-	-	VII. Ontbrandingen en ontploffingen
VIII. Anoxies, asphyxies et intoxications par gaz naturel et autres	-	-	-	-	-	-	VIII. Zuurstoftekort, verstikkingen door natuurlijke en andere gassen
IX. Feux et incendies	-	-	-	-	-	-	IX. Vuur en brand
X. Coups d'eau	-	-	-	-	-	-	X. Waterdoorbraken
XI. Electricité	-	-	-	-	-	-	XI. Elektriciteit
XII. Autres causes	-	-	-	-	-	-	XII. Andere oorzaken
Total pour le fond	-	13	13	-	-	-	Totaal ondergrond
B. SURFACE							B. BOVENGROND
Total pour la surface	-	-	-	-	-	-	Totaal bovengrond
Total fond + surface	-	13	13	-	-	-	Totaal ondergrond en bovengrond
C. ACCIDENTS SUR LE CHEMIN OU TRAVAIL	-	-	-	-	-	-	C. ONGEVALLEN OP DE WEG NAAR EN VAN HET WERK

2. MINIERES ET CARRIERES SOUTERRAINES

Le recensement et la classification des accidents survenus dans les minières et carrières souterraines sont faits par l'Administration des Mines sur les mêmes bases que pour les mines de houille. Les données du tableau 5 relatives à l'année 1985 concernent les carrières souterraines selon la définition (ardoisières, terres plastiques, marbre, tuffeau, etc.).

Ces établissements n'ont occupé ensemble en 1985 que 29 ouvriers, dont 19 au fond et10 à la surface.

Le nombre total d'accidents chômants a été de 13, survenus tous au fond. On n'a pas enregistré d'accident mortel ni d'accident ayant entraîné une incapacité permanente.

2. ONDERGRONDSE GROEVEN EN GRAVERIJEN

De telling en de indeling van de ongevallen in de ondergrondse groeven en graverijen worden door de Administratie van het Mijnwezen op dezelfde manier verricht als die van de ongevallen in de kolenmijnen. De in tabel 5 vervatte gegevens over het jaar 1985 betreffen de ondergrondse groeven volgens de definitie (leisteengroeven, plastische aarde, marmer, tufsteen, enz.).

Al deze inrichtingen samen hebben in 1985 slechts 29 arbeiders tewerkgesteld, 19 in de ondergrond en 10 op de bovengrond.

In totaal waren er 13 ongevallen met arbeidsverzuim in de ondergrond. Er werd geen enkel ongeval met blijvende arbeidsongeschiktheid en geen enkel dodelijk ongeval opgeteken.

3. MINIERES ET CARRIERES A CIEL OUVERT

Jusqu'à présent, seuls les accidents mortels survenus dans les minières et carrières à ciel ouvert font l'objet d'une statistique. Elle comporte les mêmes rubriques principales que celle des accidents survenus dans les mines, ainsi qu'il résulte du tableau 6 A.

En 1985, il y a eu 3 accidents mortels.

TABLEAU 6A. Accidents mortels dans les minières, les carrières à ciel ouvert et les terrils

3. GROEVEN EN GRAVERIJEN IN DE OPEN LUCHT

Tot dusver wordt alleen de statistiek van de dodelijke ongevallen in de groeven en de graverijen in de open lucht opgemaakt. De hoofdrubrieken zijn dezelfde als voor de ongevallen in de mijnen, zoals uit tabel 6 A blijkt.

In 1985 was er 3 dodelijke ongevallen.

TABEL 6A. Dodelijke ongevallen in de graverijen, groeven in de open lucht en de steenbergen van kolenmijnen

1985

Catégories d'accidents	Royaume Het Rijk Nombre de tués Aantal doden	Kategorieën van ongevallen
1. Eboulements, chutes de pierres ou de blocs	-	1. Instortingen, vallen van stenen en blokken
2. Transport	2	2. Vervoer
3. Emploi d'outils, machines et mécanismes	-	3. Gebruik van werktuigen, machines, enz.
4. Manipulations et chutes d'objets	-	4. Manipulaties, vallen van voorwerpen
5. Chute de la victime	1	5. Vallen van het slachtoffer
6. Asphyxies et intoxications	-	6. Verstikking en vergiftiging
7. Explosions, incendies, feux	-	7. Ontploffingen, brand, vuur
8. Emploi des explosifs	-	8. Gebrek van springstoffen
9. Electrocution	-	9. Elektrocutie
10. Divers	-	10. Allerlei
TOTAL	3	TOTAAL

4. USINES. INDUSTRIE SIDERURGIQUE

Dans les établissements surveillés par l'Administration des Mines autres que les mines, les minières et les carrières avec leurs dépendances, c'est-à-dire pour l'essentiel les usines sidérurgiques avec leurs cokeries, mais aussi les cimenteries, les cokeries indépendantes, la statistique des accidents est longtemps restée limitée aux accidents mortels.

Ces dernières années, une statistique plus détaillée des accidents de la sidérurgie a pu être établie, mais elle n'a toujours pas pu être étendue aux autres usines.

Le tableau 6 B concerne les accidents mortels survenus dans l'ensemble des usines sidérurgiques ou autres.

Ces accidents sont répartis, d'une part, selon les causes, en dix catégories et, d'autre part, géographiquement, par division minière. La division du Sud comprend la province du Hainaut, le Brabant wallon, Namur, de Liège et de Luxembourg ; la division du Nord comprend les provinces d'Anvers, de Limbourg, de la Flandre occidentale et de la Flandre orientale et le Brabant flamand ; le secteur comprend les 19 communes de l'agglomération bruxelloise, ainsi que les communes à facilités linguistiques situées dans les provinces de Flandre orientale et occidentale, de Brabant, de Limbourg et de Hainaut.
Le nombre d'accidents mortels instruits par les ingénieurs des mines en 1985 dans ces établissements a été de 14 (17 morts).

L'analyse plus détaillée de la sécurité du travail dans l'industrie sidérurgique se fonde sur l'exploitation des rapports annuels des chefs de service de sécurité, d'hygiène et d'embellissement des lieux de travail des entreprises sidérurgiques.

Les tableaux statistiques dressés à partir de ces sources ne contiennent pas de données détaillées relatives aux accidents de travail de gravité moyenne.

Les rapports des services de sécurité des usines ont permis de dresser le tableau 7, qui donne le nombre total d'accidents chômants survenus dans l'industrie sidérurgique en 1985.

Les accidents sont classés suivant leurs causes matérielles. Comme les années précédentes, on constatera que les nombres les plus élevés se trouvent toujours sous les rubriques "divers" des trois dernières lignes du tableau qui totalisent encore 3 327 accidents chômants sur un total de 5 702 soit 58 %, et parmi lesquels on relève 7 accidents mortels.

Parmi les causes définies, les accidents provoqués par le maniement d'outils à main sont nombreux (502); les poussières et les substances brûlantes ou très inflammables ont fait respectivement 534 et 256 victimes, les machines

4. FABRIEKEN. STAALNIJVERHEID

In de andere inrichtingen die onder het toezicht van de Administratie van het Mijnwezen staan - andere dan mijnen, groeven en gravérijen en hun aanhorigheden - en dat zijn hoofdzakelijk de siderurgiebedrijven met hun cokesfabrieken, maar ook de cementfabrieken en de zelfstandige cokes- en agglomeratenfabrieken, is de statistiek van de ongevallen jarenlang tot de dodelijke ongevallen beperkt gebleven.

De jongste jaren is men ertoe gekomen een uitvoerige statistiek van de ongevallen in de staalindustrie op te maken, maar tot dusver heeft men die nog niet tot de andere fabrieken kunnen uitbreiden.

Tabel 6 B heeft betrekking op de dodelijke ongevallen in alle fabrieken samen, die van de staalindustrie en de andere.

Deze ongevallen worden ingedeeld, eensdeels naar de oorzaken, in tien kategorieën en anderdeels geografisch, per mijnafdeling. De afdeling Zuiden omvat de provincie Henegouwen, Waals-Brabant en de provincies Namen, Luik en Luxemburg ; de afdeling Noorden omvat de provincies Antwerpen, Limburg, Oost- en West-Vlaanderen en Vlaams Brabant, de sector omvat de 19 gemeenten van de Brusselse agglomeratie plus de gemeenten met taalfaciliteiten in de provincies Oost- en West-Vlaanderen, Brabant, Limburg en Henegouwen.

In 1985 hebben de mijningenieurs voor 14 dodelijke ongevallen in deze inrichtingen een onderzoek ingesteld (17 doden).

De uitvoerige ontleding van de arbeidsveiligheid in de staalindustrie steunt op de jaarverslagen van de hoofden van de diensten voor veiligheid, gezondheid en verfraaiing der werkplaatsen van de staalbedrijven.

De aan de hand van deze bronnen opgemaakte statistische tabellen bevatten geen gedetailleerde gegevens over de halfzware ongevallen.

De verslagen van de veiligheidsdiensten van de fabrieken hebben de gegevens voor tabel 7 verschaft, waarin het totaal aantal in 1985 in de staalindustrie gebeurde ongevallen met arbeidsverzuim aangeduid is.

De ongevallen worden naar hun materiële oorzaken ingedeeld. Zoals de vorige jaren worden nog altijd de hoogste cijfers aangetroffen in de rubrieken "allerlei" van de laatste drie regels van de tabel, die samen nog 3 327 ongevallen met arbeidsverzuim tellen op een totaal van 5 702, d.i. 58 % waarvan 7 dodelijke ongevallen.

Onder de bepaalde oorzaken heeft het hanteren van handgereedschap een groot aantal ongevallen veroorzaakt (502) ; het stof en brandende of licht ontvlambare stoffen hebben respectievelijk 534 en 256 slachtoffers gemaakt, de machines

TABLEAU 6B.
Accidents mortels survenus dans les usines surveillées par l'Administration des Mines en 1985

TABEL 6 B.
Dodelijke ongevallen in de onder het toezicht van het Mijnwezen geplaatste fabrieken in 1985

CATEGORIES D'ACCIDENTS	N°	Nombre d'accidents mortels (1) / Aantal dodelijke ongevallen (1) — par divisions minières / per mijnafdeling: Sud Zuiden	Nord Noorden	Secteur Sector	ROYAUME HET RIJK	Nr.	KATEGORIEEN VAN ONGEVALLEN
Accidents occasionnés directement par les opérations de fabrication	010	-	-	-	-	010	Rechtstreeks door de fabricageverrichtingen veroorzaakte ongevallen
Transport :	020					020	Vervoer :
. Horizontal par véhicules sur roues		-	-	-	-		. Horizontaal met voertuigen op wielen
. Sur plans inclinés ou vertical par véhicules guidés ou sur roues		-	-	-	-		. Op hellende vlakken of vertikaal met geleide voertuigen of met voertuigen op wielen
. Autres (ponts-roulants, grues, scrapers, convoyeurs, etc...)		1	-	-	1		. Ander (rolbruggen, kranen, scrapers, transportbanden, enz...)
Maniement ou emploi d'outils, machines et mécanismes	030	2	1	-	3	030	Hanteren of gebruik van gereedschap, machines of tuigen
Manipulations, chutes d'objets et éboulements	040	3	-	-	3	040	Manipulatie, vallen van voorwerpen en instortingen
Chute de la victime	050	4	-	-	4	050	Vallen van het slachtoffer
Asphyxies et intoxications (sauf par fumées d'incendie -voir 070)	060	-	2	-	2	060	Verstikking en vergiftiging (behalve door de rook van brand - zie 070)
Explosions, incendies, feux	070	4	-	-	4	070	Ontploffingen, brand, vuur
Emploi des explosifs	080	-	-	-	-	080	Gebruik van springstoffen
Electrocution	090	-	-	-	-	090	Elektrokutie
Divers	100	-	-	-	-	100	Allerlei
TOTAL		(2) 14	3	-	17		TOTAAL

(1) Décès endéans les 56 jours de la date de l'accident.
(2) Dont 5 accidents mortel survenu à une personne ne faisant pas partie du personnel de l'entreprise.

(1) Overleden binnen 56 dagen na de dag van het ongeval.
(2) Waaronder 5 dodendie niet tot het personeel van de onderneming behoorde.

205 les appareils de levage 315 et les véhicules 219 ; ces six causes groupant 36 % des accidents, dont la cause a été déterminée.

Les relevés des années précédentes avaient déjà permis de dégager l'importance relative de ces causes.

Par contre, sur 357 accidents ayant entraîné une incapacité permanente, 27 sont dus aux machines, 33 aux appareils de levage et 25 aux véhicules. La cause de plus de la moitié des accidents à incapacité permanente n'a pas été précisée (232 sur 357).

205, de heftoestellen 315 en de voertuigen 219 ; deze zes oorzaken hebben betrekking op 36 % van de ongevallen met een bepaalde oorzaak.

In de tabellen van de vorige jaren was de betrekkelijke belangrijkheid van deze oorzaken al opgevallen.

Van de 357 ongevallen die een blijvende werkongeschiktheid veroorzaakt hebben, zijn er daarentegen 27 te wijten aan machines, 33 aan heftoestellen en 25 aan voertuigen. Van meer dan de helft van de ongevallen met een blijvende werkongeschiktheid is de oorzaak niet nader bepaald (232 op 357).

TABLEAU 7. Accidents survenus en 1985 dans les établissements de l'industrie sidérurgique

TABEL 7. In 1985 in de ijzer- en staalbedrijven gebeurde ongevallen

CAUSES	Nombre de victimes Aantal slachtoffers	Nombre de victimes ayant subi une incapacité Aantal slachtoffers met		tués doden	OORZAKEN
		temporaire totale volledige tijdelijke	permanente blijvende ongeschiktheid		
- Machines	205	177	27	1	- Machines
- Machines motrices ou génératrices et paupages	52	46	6	-	- Aandrijfmachines. generatoren en pompen
- Ascenseurs et monte-charges	4	4	-	-	- Personen- en goederenliften
- Appareils de levage	315	282	33	-	- Heftoestellen
- Transporteurs-courroie, chaînes à godets, etc....	23	22	-	1	- Transporteurs-banden, emmerladers, enz...
- Chaudières et autres récipients soumis à pression	31	29	2	-	- Stoomketels en andere vaten onder druk
- Véhicules	219	194	25	-	- Voertuigen
- Animaux	2	2	-	-	- Dieren
- Appareils de transmission d'énergie mécanique	55	51	4	-	- Transmissie van mechanische energie
- Appareillage électrique	42	41	1	-	- Elektrische apparatuur
- Outils à main	502	490	12	-	- Handgereedschap
- Substances chimiques	106	104	1	1	- Chemische stoffen
- Substances brûlantes ou très inflammables	256	251	5	-	- Brandende of licht ontvlambare stoffen
- Poussières	534	526	8	-	- Stof
- Radiations et substances radioactives	29	28	1	-	- Stralingen en radioactieve stoffen
- Surfaces de travail qui ne sont pas classées sous d'autres rubriques	1 306	1 176	129	1	- Niet onder een andere rubriek ingedeelde werkvlakken
- Agents matériels divers	1 606	1 512	88	6	- Verscheidene materiële agentia
- Agents non classés faute de données suffisantes	415	400	15	-	- Wegens onvoldoende gegevens niet ingedeelde agentia
Total	5 702	5 335	857	10	Totaal

Les travaux effectués par le Comité de la Sidérurgie belge permettent de calculer les taux de fréquence et de gravité des accidents survenus dans les usines sidérurgiques. Ces résultats seront publiés dans la statistique "L'activité des services de l'Administration des Mines".

De werkzaamheden van het Comité van de Belgische Siderurgie leveren de nodige gegevens voor de berekening van de veelvuldigheidsvoet en de ernstvoet van de in de staalindustrie gebeurde ongevallen. De uitslagen zullen gepubliceerd worden in de statistiek "Bedrijvigheid van de diensten van de Administratie van het Mijnwezen".

5. FABRIQUES D'EXPLOSIFS

Le tableau 9 concerne les accidents survenus en 1985 dans les fabriques d'explosifs et magasins de vents. Ces entreprises occupaient en 1985, 2 171 ouvriers et 299 employés, 238 accidents chômants y sont survenus en 1985.

TABLEAU 9. Accidents survenus en 1985 dans les fabriques d'explosifs

5. SPRINGSTOFFABRIEKEN

Tabel 9 heeft betrekking op de ongevallen in de springstoffabrieken en verkoopsmagazijnen. In deze ondernemingen waren 2 171 arbeiders en 299 bedienden tewerkgesteld, er zijn 238 ongevallen met arbeidsverzuim gebeurd, in 1985.

TABEL 9. In 1985 in de springstoffabrieken gebeurde ongevallen

Fabriques d'explosifs	Sud Zuiden	Nord Noord	Royaume Het Rijk	Springstoffabrieken
- Nombre de victimes :				- Aantal slachtoffers :
. ayant subi une incapacité temporaire totale	139	99	238	. met volledige tijdelijke ongeschiktheid
. permanente	-	-	-	. met blijvende ongeschiktheid
- Tués	-	-	-	- Doden
Total des victimes	139	99	238	Totaal aantal slachtoffers

(1) Nombre de journées chômées des suites d'accidents par 1.000 heures d'exposition au risque, y compris les journées chômées conventionnellement attribuées aux accidents mortels (7 500) ou aux accidents entraînant une incapacité permanente de travail (7 500 pour 100 % d'invalidité).

(1) Aantal dagen met arbeidsverzuim ingevolge ongevallen per 1.000 uren blootstelling aan het risico, met inbegrip van het konventioneel aantal verloren dagen wegens dodelijke ongevallen (7 500) of wegens ongevallen die een blijvende arbeidsongeschiktheid veroorzaakt hebben (7 500 voor 100 % invaliditeit).

Selection of Coal Abstracts

By kind permission of the Technical Information Service of the International Energy Agency, we publish in each number a selection of summaries of articles and publications which have already appeared in "Coal Abstracts". The intention is to provide regular information, classified by subject, on all the latest innovations.

Anyone wishing to take out a subscription in "Coal Abstracts" (which appears monthly), should write to: A. Baker, Head, Technical Information Service, IEA Coal Research, 14-15 Lower Grosvenor Place, London SW1W OEX, England.

RESERVES & EXPLORATION

896
In-seam seismic exploration
Jackson, P.
Colliery Guardian; 233 (8); 353-354, 358-359 (Aug 1985)
In-seam seismic surveying has been pioneered in UK mines. The technique enables accurate prediction of the position of seam disturbances to be made at distances of a few hundred metres from mine roadways and faces. It has now been used in more than half of UK collieries, and in many it plays a routine part in mine planning. The technique is described and case studies are presented. The possibility of extending the range limit, which would further increase the usefulness of the system, is examined.

1582
Exploration techniques for the zone in front of the face
Mehrhoff, S.
Markscheidewesen; 92 (2); 41-48 (May 1985)
Within the regions defined in the map of tectonic loads, which is based on all available tectonic exploration data, suitable mining, geophysical and theoretical methods can be applied only if their limitations and information value are known. Solid bedrock and seams without dirt bands are ideal conditions but seldom met with. Generally, it is advisable to combine several of the available techniques. In particular, the findings of in-seam seismic studies can be checked and, if possible, confirmed by in-seam drilling. When seismic reflection measurements are carried out in the zone ahead of the face without advanced roadways, the region in which reliable data are obtained is shorter than the geophone jib length in the face. Borehole television is possible in boreholes with a diameter between 80 and 6000 mm. Seismic reflection as a method of in-depth measurement is still in the experimental phase. The so-called "Kriging" technique is presented as an application of interpolation and trend calculation for the prediction of thickness, dirt bands and raw materials characteristics of the seams in the zone ahead of the face. (In German)

1618
A small computer system for geostatistical predictions of geological faults
Burger,H.; Schoele,R.; Skala,W.; Weber,V.
Markscheidewesen; 92 (2); 49-54 (May 1985)
The value of geostatistics for fault prediction has been confirmed in principle also for the coal mining sector. The spatial structure of faults as a function of the specific rock characteristics, as in variogram studies, can be determined only in close cooperation with the responsible engineers in any deposit. If this is the case, geostatistics can be a valuable aid in interpreting and predicting fault patterns in coal mining. The software system described is completely available in BASIC for the Hewlett Packard 9816, 9826, and 9836. It may also be used on a graphical computer TEKTRONIX 4054 as intelligent terminal connected with a large-capacity computer (e.g. CD 835) on which the Kriging program may run in FORTRAN. Further applications are mentioned, e.g. the assessment of economic factors. Geostatistical examinations of fault patterns help to classify large mining areas and to relate these

classifications with economic parameters (e.g. face operation costs). (In German)

MINING

939
Instrument development : guided longhole drilling
Wykes, J.S.; Morris, A.H.
Colliery Guardian; 233 (8); 386, 392, 396, 398 (Aug 1985)
A complement to in-seam seismics in the use of longhole drilling. In UK coal mines, the roof and floor are often softer than the coal and a drill string is likely to wander out of the seam. In order to practise longhole drilling successfully, it is thus necessary to be able to steer the drill head, and to have information which indicates accurately what steering action and/or correction is required. The paper describes work at MRDE which aims to produce a package containing these two elements.

945
Face end technology. Approaches for a practical solution of face end problems (Strebrandtechnik. Ansatzpunkte zur praktischen Lösung von Strebrandproblemen)
Hegermann, G.; Schuermann, F.
Essen, FRG, Verl. Glückauf, 153 pp (1985) Glückauf-Betriebsbücher. vol. 30
The Glückauf manual for face end technology intends to present technically acceptable and safe solutions to the problems encountered in the face and area. In cooperation with the members of a WG of the Steinkohlenbergbauverein TC "Winning and stowing", the authors have classified the problem according to nine approaches for practical solutions. Three of the approaches deal with supports, 5 with machinery, and one is organisational : rock treatment in the roadside area; improved backfilling technology; roadway supports in consideration of T-junction problems; face and supports; transport and conveyor systems for the T-junction area; moving systems for the roadside area; face end machinery for advanced gateroads; avoiding close places in the face end area; dust development and abatement in the face end area; monitoring of face and face end mechanisms. For each of these approaches up to 11 methods of operation are presented and desirable goals of development are proposed. The problems, the methods of operation proposed for their solution, and the possible further developments of these methods of operation are presented in a table. (In German)

965
The gravimetric detection of mining subsidence
Lyness, D.
Geophys. Prospect.; 33 (4); 567-576 (Jun 1985)
A series of gravity measurements were taken over a period of time above two adjacent working coal faces at the Solsgirth Colliery near Edinburgh. Precise levelling and gravity measurements were taken along the same profile before, during and after seam extraction. The observed change in gravity agrees well with the levelling data. The combined data sets illustrate the validity of a simple Bouguer relationship for the gravity gradient. The results of two-dimensional modelling are used to estimate the gravitational effect of the extracted material. A local feature detected only on the gravity signal may be due to an outcropping limestone layer. This controlled experiment demonstrates the possibility of using high-precision gravity measurements as a substitute for levelling, particularly in surveys of large area extent where the cost of obtaining comprehensive coverage by levelling may be prohibitive.

969
Subsidence monitoring
Beshai, J.
GEOS; 14 (3); 22-25 (1985)
CANMET have developed a system to monitor ground movement and provide a means of predicting when ground failures would occur. The integrated monitoring system incorporates tiltmeters, photogrammetry and geodetic survey techniques. The tiltmeter system utilizes computerized radiotelemetry to determine the time required for caving to migrate to the surface, aerial photogrammetry delineates the extent of the subsidence area, and electro-optical distance techniques provide accurate measurements in easily accessible areas.

984
Strata control in vertical mine shafts
Laslavskii, Yu.Z.
Ugol Ukr.; (5); 42-43 (May 1985)
Evaluates methods for strata control in mine roadways and in mine shafts at depths exceeding 1,000 m. Factors which influence stress distribution and stress concentration in coal bearing strata are analyzed. Effects of roadway or shaft position in relation to strata inclination are discussed. Effects of depth on rock strata stress, mechanical rock properties (compression strength and porosity) and effects of water influx or aquifers on strata control at large depths are evaluated. Rigid supports made of reinforced concrete do not guarantee efficient strata control at large depths. Use of yielding supports and liners is more economic. The Donetskshakhtoprokhodka and the Maknii Institute jointly developed a new design of yielding liners for mine shafts at large depths. Shaft liners consist of concrete and yielding elements (foam-plastic panels) which are placed in the concrete. Under the influence of stresses, the foam-plastic elements yield, preventing liner failure. The Donugi Institute developed shaft liners which consist of 2 layers : the inner layer is characterized by a high yield strength while the outer layer is made of concrete with a low compression strength and plays the role of yielding element. (In Russian)

985
Assessment of minimum depth at which rock bursts occur in mines
Zabigailo, V.E.; Lukinov, V.V.; Zrazhevskaya, N.G.
Ugol Ukr.; (5); 41 (May 1985)
Discusses factors which influence rock burst hazards in coal deposits and methods for forecasting rock burst hazards. Effects of coal rank, gas content in coal seams and tectonics on rock burst hazards are analyzed. Methods for determining the minimum depth at which rock bursts occur are evaluated. Statistical data on coal seams prone to rock bursts are most copious in the Donbass where forecasting methods are best developed and most accurate for Donbass conditions. A formula for forecasting the minimum depth at which rock bursts occur is given. It considers volatile matter in coal and so-called weathering depth. Formulae developed for the

Donbass also produce accurate results in other coal basins. In the Kuzbass forecasting formulae consider volatile matter in coal, weathering depth and a coefficient which describes methane content increase in coal seams with increasing depth. Statistical data on coal seams prone to rock bursts in the Karaganda and Pechora basins are inadequate for developing forecasting formulae. Formulae used in the Donbass are also used in those two basins. (4 refs.) (In Russian)

986
Influence of feed rate of mining machine on hazard of occurrence of rock bursts
Petukhov, I.M.; Lodus, E.V.; Lin'kov, A.M.
Bezop. Tr. Prom-sti.; (5); 43-46 (May 1985)
Presents calculations and graphs concerning rock pressure and relaxation during cutting by a mining machine. Laboratory tests were performed on rock salt and coal specimens to determine the nature of the relaxation processes and the stress/deformation curves. The results of these tests enabled some provisional rules to be derived for the rate of introduction of a cutting instrument in order to reduce the probability of rock bursts to a minimum. An equation relating the critical rate of introduction to the seam thickness and the typical relaxation time is given. A relaxation time of 1-3 min and a seam thickness of 1.5 m have a critical rate of 0.5-1.5 m/min. Reducing the web thickness helps to restrict the probability of rock bursts, although the faster speeds of coal plows compared to cutter loaders negate this effect. (In Russian)

1005
Monitoring state of metal shaft guides
Bel'skii, N.G.; Anishchenko, A.I.
Bezop. Tr. Prom-sti.; (4); 54-55 (Apr 1985)
Describes monitoring of shaft guides from the SI-4 mobile unit constructed on a GAZ-66 truck chassis. Use of this unit commenced in the Karaganda basin in 1972. A suspended carriage is dropped down the guides in a shaft and a single passage is sufficient to give a continuous record of all distortions in the front and side faces of the guides. Such checks are performed once a year by a special team from Spetsshakhtomontazh. In 1983 the guides were checked in 113 shafts; 42 guides were found to have unacceptable distortions. A description is given of a special standard gauge used for weekly checks on the state of rail guides. This weighs 8 kg. It operates from the roof of a hoisting vessel moving at 0.3 m/s in the shaft. One drawback to shaft guide monitoring is the lack of a standard for bunton wear; in Karagandaugol' mines corrosion wear reducing the thickness of the bunton girders by not more than 50 % is considered acceptable. (In Russian)

1007
Influence of drum profiles on the friction coefficient at dirty belt conveyors
Wulf, E.
Hebezeuge Fördermittel; 25(4); 112-115 (Apr 1985)
Presents results of measuring transmission forces between conveyor belts and driving drums, with different types of drum surface profiles. Aim of the study was to determine the most suitable profile on the drum surface for belt operation in muddy conditions or with a high degree of dirt build-up on rubber surfaces. Diagrams for transmission forces using 23 different drum profiles are provided; a cross groove profile on drums performed best. The profile layer on the drum was made of relatively small, formed rubber sections with a strength of 65 degrees Shore, glued to the drum surface by Elastosal H4 twocomponent adhesive. This method of profile attachment is regarded as suitable also for heavy belt conveyor drums with a driving power of 2 x 1,000 kW. (5 refs.) (In German)

1021
Use of coal preparation waste to prevent endogenous fires
Baranov, L.A.; Miller, Yu.A.; Ivanov,Yu.I.; Cheglakov, V.A.; Poturilov, A.M.
Bezop. Tr. Prom-sti.; (4); 52-53 (Apr 1985)
Describes the process of injection of coal preparation waste into pillars and goaf packs to prevent spontaneous fires underground. The waste consists of 76-86 % clay rock and 1.3-5.3 % carbonates, and the organic matter content does not usually exceed 20 %. The average content of particles of 0.05 mm or less is 80 %. Advantages of using coal preparation waste include avoidance of the problem of storing it at preparation plants and a better capacity to remain in suspension than previous injection mixtures. Mine rock, cement and water glass are added to the mixture (flotation waste 18-45 %, powdered rock 0-30 %, cement 2-5 %, water glass 1.5-2 %) to make it set. One mixture preparation complex (described) serves 3-4 nearby mines. After injection the pipes are flushed out with pure flotation waste in a solid : liquid ratio of 1:1 to 1:1.5. Tests in a Gidrougol' mine have demonstrated that the mixture used does not produce dirt or flooding underground, being retained in the injection zone in its entirety. (In Russian)

1025
Study of the performance of cool air blowers
Krause, D.
Neue Bergbautech.; 15 (5); 171-177 (May 1985)
Calculated parameters of the cool air jet from blowers in deep underground mines, installed for cooling individuals or a group of people at underground working sites. Parameters include jet propagation, temperature distribution, temperature factor, cooling performance, cooling time, and heat exchange from rocks to mine air. Equations are provided for optimizing the cooling performance. Temperature profiles of air jets are shown. Calculation results were compared to measurements carried out at an air blower with 35 kW cooling capacity, a cold air jet volume of 1.3 m^3/s, and a blower exit temperature of 17.4 °C at mine air temperature of 38.3 °C. Measured and calculated temperatures corresponded to an average temperature level of 33.5 °C 5 m from the blower. (5 refs.) (In German)

1039
Waterjet-assisted rock cutting systems - the present state of the art
Hood, M.
Int. J. Min. Eng.; 3 (2); 91-111 (Jul 1985)
A review of the benefits of assisting mechanical tools, notably drag bits, with moderate pressure waterjets suitably directed with respect to the bit is given. These benefits include reduced bit forces, especially the bit normal force, reduced bit wear, reduced dust make, and reduced incidence of frictional sparking. The research work that has been conducted to date to investigate this phenomenon has been empirical in nature. Experiments are described that extend the data bank of this empirical knowledge. In addition, experi-

ments aimed at gaining a better understanding of the fundamentals of the rock fragmentation process with this hybrid cutting method are outlined. Results from the first of these experimental series are used to make recommendations as to the position of the jet with respect to the bit, the stand-off distance between the nozzle exit and the bit/rock interface, and the jet energy. In addition, preliminary findings are reported regarding the increase necessary in the jet energy when the bit velocity is increased. Results from the second test series are discussed in the context of rock fracture behaviour induced by mechanical bits acting alone. The likely influence of waterjets on these fracture processes is analysed. It is concluded that, in terms of the bit force reductions, a dominant influence of the jets when used in conjunction with sharp drag bits, is continuous removal of the rock debris that forms ahead of the advancing bit. The observed reductions in bit wear and incidence of frictional sparking are attributed to reduced heat loading of the bit during the cutting operation. Reductions in the dust make are attributed to effective wetting of the fine rock particles before they become entrained in the airstream.

1041
Gleischwerthobel, a novel coal plough system
Henkel, E.H.
Bergbau; 36 (6); 278-286 (Jun 1985)
In order to achieve higher efficiencies in stripping winning, a novel coal plough system combining the best features of existing coal plough systems was developed for all seam thickness ranges and for inclined seams. After preliminary testing at the Bergbau-Forschung GmbH, and an experimental facility was developed in cooperation with Minister Achenbach mine and Westfalia Lünen. The results obtained above ground were satisfactory, as were the operating results at Minister Achenbach mine. Once some minor constructional shortcomings had been removed. The coal plough worked excellently in very difficult seam conditions. Owing to its high efficiency and reliability, the coal plough was then moved to another floor. After working of the second seam, some constructional modifications were made before using the coal plough in a third seam. (In German)

1086
Detection - the key to safe plant operation
Mesley, W.
Bulk Handl.; 12 (1); 44, 47 (Sep 1985)
The major fire risk in belt conveyor installations is the belt itself and not necessarily the material carried. The article goes on to outline the problems that can occur and details the methods for detecting fires before they get out of control.

1089
Pressure fluids of the HFC group and the wear behaviour of positive displacement units
Reichel, J.
Oelhydraul. Pneum.; 29 (3); 157-162 (Mar 1985)
In stationary equipment used in coalmining and in diecasting machines the positive displacement units of hydrostatic drives have been operated with HFC fluids for almost 20 years. In tests accompanying development work a large number of pumps and motors were tested on the hydraulic test stand of Bergbau-Forschung GmbH in Essen, at pressures up to 300 bar to establish their wear behaviour with various HFC fluids. The results were confirmed also in controlled operational trials and in the industrial plant in use today. In the selection of the positive displacement units to be used their constructional design and the use of suitable materials or mating materials are substancial prerequisites for favourable wear behaviour in operation with HFC fluids. The recently improved wear protection capacity of these pressure fluids was examined in the test with the vane pump (DIN 51389) and also evaluated in other types of pump. An obvious weak point proved to be roller bearings in axial piston units and radial piston motors. Positive displacement units with hydrostatic balancing and plain bearings can be well adapted to the properties of HFC fluids at working pressures up to 300 bar. The optimum operating temperatures lie between 40 and 50 °C; temperatures up to 60 °C may be tolerated. (In German)

1672
German longwall mining. Facts and figures
Bachstorm, R.H. (ed.)
Essen, FRG, Verl. Glückauf, 14 pp (1985)
Glückauf Mining Handbooks, Vol. 3
It has taken decades of intensive engineering effort to make longwall mining into the sophisticated standard winning method of the coal industry in the German Federal Republic. With the help of modern machinery and equipment the production figures of longwall faces have been brought to a peak, both in terms of output and of productivity. Of the winning machines about half are coal ploughs and half shearer loaders, while shield supports predominate throughout. Safety and health have also been improved in longwall faces through better strata control and dust suppression. The success in all this is a joint one - shared by engineers at collieries and machinery works, in research and development institutes, at Universities and not least at mines inspectorates. This Handbook with its four main chapters contains important facts and figures about longwall mining in the coal industry of the Federal Republic. Out of a host of articles in the journal "Glückauf + Translation" 24 articles were selected from the most recent volumes. They will give readers of the Handbook a concentrated yet comprehensive account of longwall mining. Covered are the problems of winning and support techniques, as well as those of strata control, face transfers and costs. Lastly, there is a forward look to possible future R and D results. (In English)

1719
Use of acoustic emission in investigations of state of stress and deformation of rock strata around a mine working
Chudek, M.; Zakrzewski, T.
Przegl. Gorn.; 41 (5); 180-187 (May 1985)
Discusses use of acoustic monitoring for forecasting rock bursts, rock falls and other phenomena caused by stress concentrations and deformation of rock strata around mine roadways and working faces mined with caving or stowing. Dynamic phenomena caused by changes of physical and mechanical rock strata properties associated with underground coal mining are characterized. Basic estimates which describe the statistical character of elastic impulses generated by changes of stress and deformation of

rock strata are presented. Mathematical methods for description of acoustic signals are described. Use of acoustic monitoring for testing samples of rocks and coal under laboratory conditions as well as for operational forecasting of rock bursts in coal mines is evaluated. (20 refs.) (In Polish)

1733
Effects of floor dinting on rock heave in development workings
Zubov, V.P.; Chernyshkov, L.N.; Lazchenko, K.N.
Ugol Ukr.; (7); 15-16 (Jul 1985)
Effects of floor dinting were evaluated in the Gukovugol' mines. Long-term investigations showed that floor dinting intensified strata movement and deformation of development workings. Floor heave and roof subsidence rates increased. Floor heave rate after dinting increased 6 to 9 times. Roof and floor convergence associated with floor dinting was as high as 1,100 mm with 60 % occurring in the first 90 to 120 days after floor dinting. A method for forecasting convergence of the roof and the floor caused by floor dinting is discussed. Effects of mining depth, stratification, physical and mechanical rock properties and roadway dimensions are analyzed. Recommendations for strata control in development workings with floors prone to heave are made. (2 refs.) (In Russian)

1755
The installation of a heavy duty coal face
Hunter, A.P.
Colliery Guardian; 233 (11); 530, 532-534, 536, 538 (Nov 1985)
Undergraduate Prize Winning Paper in the 1985 Colliery Guardian Students Prize Competition. This paper records details of planning and execution of an exercise covering the transportation and installation of heavy duty supports on the V105 face in the Five Feet/Gellideg seam at Deep Navigation Colliery. For an operation of this magnitude, detailed planning was an important function, but attention given to detail by the Colliery Manager and his staff ensured that the installation was performed satisfactorily.

1792
Fire protection of belt conveyors down their whole length
Kurbatskii, E.V.
Ugol Ukr.; (4); 34-35 (Apr 1985)
The VNIIGD Research Institute investigated methods for extinguishing fires on belt conveyors used for coal haulage in underground coal mines. Use of water spraying and foams for extinguishing fires on driving drums and conveyor belts are compared. When compressed air pipes are installed in a roadway in which a belt conveyor is used, fire fighting systems should use fire extinguishing foams. In working in which water pipes are installed, water sprays should be used. In level workings both sides of the belt (the carrying one and the returning one) are covered with foam whereas in inclined workings only the carrying side is covered with foam over the whole length and the return side is protected by one foam source. Evaluations show that belt conveyors in inclined workings should be protected by a combined method : the carrying side sprayed with water, the return side covered with foam. Fire protection schemes using the GVP-600 foam generator are described. Fire prevention systems developed by VNIIGD for belt conveyors (driving and return drums, tension stations, conveyor belts) are discussed. (In Russian)

1808
Dust suppression in mines in France
Ishchuk, I.G.; Ontin, E.I.
Ugol; (7); 57-60 (Jul 1985)
Discusses methods for dust suppression used in underground black coal mining in France. Injection of water with additives in coal seams for reducing dust content in the air during longwall mining is widely used in the majority of coal mines with the exception of the Lorraine basin. Two injection schemes are used : a borehole system drilled in a longwall face or boreholes drilled from mine workings. Equipment for water injection, injection parameters and injection efficiency are evaluated. Two methods for dust suppression used in mine drivage are compared : wet dust suppression using dust control systems mounted on heading machines (e.g. the AM-50), independent dry dust suppression systems (e.g. Optimat-400). Water spraying is the most popular dust suppression method in longwall mining by shearer loaders. Positioning water jets on a cutting drum is discussed. Use of water spraying for dust control during coal haulage by chain conveyors and during advancing powered supports is discussed. The T300-400 dust control system developed for the DTF shearer loader is described. Its specifications are given. (In Russian)

1815
The use of multi-sensor systems in monitoring hazardous atmospheres.
In Transducers '85
Bott, B.; Jones, T.A.
3 int. conf. on solid-state sensors and actuators, Philadelphia, PA, USA, 11-14 Jun 1985. Piscataway, NJ, USA, IEEE, pp 128-131 (1985)
An experimental multisensor system has been used to provide an early unambiguous indication of a fire or heating in a mine by monitoring the gaseous products evolved. The system could distinguish between the gases evolved from a fire and those evolved from diesel engines or from explosives. The methane and total flammable gas content were also measured. Six sensors of three different types in combination with oxidising layers and absorbent traps were used. The potential of multisensor systems for unambiguous indication of a hazardous situation has been demonstrated. The problems associated with setting up a more complex system which would automatically indicate the presence of a hazard on the basis of a combination of sensor responses are discussed. (6 refs.)

1817
Monitoring areas with a rockburst hazard by the seismoacoustic station of Bergbau-Forschung GmbH
Hahnekamp, H.-G.
Glückauf; 121 (22); 1697-1705 (21 Nov 1985) Available in English in Glückauf + translation; 121 (22); 488-493 (21 Nov 1985)
The seismoacoustic monitoring of several working areas with a rockburst hazard was successfully conducted with the aid of the SAS 1 monitoring system. Despite deficiencies in the operational reliability of the system the practical suitability of the system has proved sufficient, and a prototype description of the seismoacoustic events can be derived from the measurement results. A comparative investigation conducted at three operating points with a varying rockburst hazard revealted that seismoacoustic activity was greater with a higher degree of rockburst hazard. It

was also shown that there is a qualitative agreement between test drilling results and seismoacoustic measurements, although it is not sure to what extent the seismoacoustic method permits conclusions about the critical stress states to be made. (24 refs.) (In German)

1824
Operating results of the stable and rise heading machine ESA-60-L at Walsum mine (Betriebserfahrungen mit der Stall- und Aufhauenmaschin ESA-60-L auf dem Bergwerk Walsum)
Duisburg, FRG, Bergbau A.G. Niederrhein, Bergwerk Walsum, 14 pp (1985)
The ESA-60-L rise heading machine has been used in Walsum mine mainly in gas coal and gas flame coal seams with a thickness of 1.2 to 1.7 m. Owing to the proneness of the floors to swelling and to the additional pressure that may reduce the cross section, varying amounts of bedrock must be cut along with the face floor in order to maintain a constant height for face support work. The advance rates of 5.9 m/d (averaged for all stages of work) and 7 m/d after installation of the ESA-60-L are acceptable under the available geological and operating conditions. (In German)

1845
Using frequency converters in drives for equipment in coal preparation plants and haulage systems for a shearer loader
Kawka, J.; Zdrzalek, J.
Mech. Autom. Gorn.; 23 (4); 8-14 (Apr 1985)
The EMAG Mining Automation Company is developing the PCz-50 frequency converter with thyristor control which will be used for control of induction motors with squirrel-cage rotor for use in coal preparation plants and underground coal mines with methane and coal dust hazards. The PCz-50 converter will be used for control of motors with a rated power from 10 to 250 kW, in 500 V power systems. The prototype unit of the PCz-50 frequency converter has a rated power of 50 kVxA and controls output voltage within a control range from 5 to 50 Hz. The converter is characterized by an efficiency of 85 %. Prototype units of the PCz-50 converter were used for drive control of a blower for an air heating system in a mine shaft, for a vibrating feeder used in a coal preparation plant and for a haulage system for the KGS-150 shearer loader developed by the RYFAMA plant. Test results are shown in 2 diagrams. A scheme of the PCz-50 converter is given. Recommendations for design of the PCz-50 converter and its major elements are made. (6 refs.) (In Polish)

1847
Use of a power transmission system with two-speed motors for face conveyors
Jedziniak, K.; Lukaszewicz, K.
Mech. Autom. Gorn.; 23 (4); 20-25 (Apr 1985)
Discusses modernization of drive systems for the Rybnik-76 and Rybnik-73 chain conveyors, aimed at increasing drive reliability and reducing failure rate. Modernization projects are compared : replacing one-speed motors by the same number of two-speed motors or replacing one-speed motors by a reduced number of two-speed motors, replacing fluid couplings (characterized by high failure rates) with rigid couplings. Modernization of power transmission for the 2 chain conveyors resulting in reduced rotational speed and increased starting torque is analyzed. The results of analyses are shown in 2 tables. Analyses of technological and economic aspects of the modernization program show that the drive system for the Rybnik-76 conveyor should consist of 3 units of two-speed motors while the drive system for the Rybnik-73 should consist of 2 units of two-speed motors. Specifications of the 2 drive systems are discussed. Economic analysis shows that payback period of conveyor modernization would not exceed 1 to 2 months. (3 refs.) (In Polish)

1862
Features of robot unit design for coal mining
Zagorodnyuk, V.T.; Darda, I.V.
Shakhtnoe Stroit.; (6); 11-13 (Jun 1985)
Makes some general points about robots and robot units for use in underground coal mining. The introduction of this technology is scheduled to begin by 1990. Identifies 3 zones in the longitudinal cross section of a mine roadway : zone I at 8-12 m from the face-drivage zone; zone II at 8-30 m roadway equipment zone; zone III at over 30 m - transport zone. An analysis is given of operations performed in these zones. Underground robots should consist of an open mechanical system with 5- degrees of freedom hydraulically or electrohydraulically or electrohydraulically driven, and equipped with various tools. They must have a higher reliability than other robots, because of conditions and the cost of removing them from the mine for maintenance. Intrinsically safe and explosion proof microprocessors are required. Examples of robot systems developed at Giprougleavtomatizatsii (Donetsk) and the Novocherkassk Polytechnic Institute are mentioned. (4 refs.) (In Russian)

1891
Recent developments in the design and optimization of drum type cutting machines in France. In Proceedings - 1985 rapid excavation and tunneling conference
Deliac, E.P.
1985 rapid excavation and tunneling conf., New York, NY, USA, 16-20 Jun 1985. New York, NY, USA, Society of Mining Engineers of the Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, vol. 1, pp 264-283 (1985) Mann,C.D.; Kelley,M.N. (eds.)
The aim of this joint work between the French Coal Board and the Paris School of Mines is to be able to practically model the behaviour of a transverse drum cutting rock with picks. First a theoretical approach leads to the concept of cutting curves, giving forces and torque against penetration per drum revolution. Then experimental evidence, from full scale and reduced scale testing, validated and confirmed the theoretical shape of the curves. Finally practical applications are given, to improve the design or use of a shearer (or continuous miner). A micro-computer program is being developed to predict the cutting performances of a machine in certain conditions. (12 refs.)

1901
Mine radio system
Colliery Guardian; 233 (11); 515, 517 (Nov 1985)
The new Davis Derby mine radio system type 26600 provides speech, signals and control facilities. It is primarily intended for haulage control but is also suitable for other applications, including speech-only systems for use on diesel or battery locos. It is also suitable for speech communications and signalling in mine shafts.

1902
Gearbox oil level and debris monitoring
Lester, M.F.
Colliery Guardian; 233 (11); 518, 520, 524, 526 (Nov 1985)
Until recently little emphasis has been placed on the cost of ownership or the cost of maintenance of plant. There is an increasing number of plant operators who are realising that they cannot afford to discard equipment while it has usable life left and that the concept of routine maintenance is uneconomic and outdated. If routine maintenance procedures can be replaced by condition based maintenance then more efficient usage can be made of both plant and personnel. Some management teams within the NCB are currently adopting condition monitoring techniques of their machines, especially of oil levels and oil debris in mining equipment. (2 refs.)

PREPARATION

1950
Computer control of coal preparation plants. In Coal preparation
Cameck,
International symp. on coal preparation, Luxembourg, 1 Nov 1984. EUR - 9681-EN Rotterdam, the Netherlands, A.A. Balkema, pp 29-41 (1985) Wilkinson, K. (ed.)
Installations of computer controlled systems in NCB coal preparation plants have ranged from powerful minicomputers for all tasks of monitoring, control and logging to small microprocessors dedicated to precise particular duties. The experience has therefore been wide ranging, and from it a modular and distributed control philosophy has evolved which is considered best able to cater for the variety of coal preparation control requirements for large plants and small, and old and new. There are now 17 washeries in the UK equipped with computers and it has been demonstrated that with a small amount of training, operators conditioned for many years to old hardwired systems, quickly adapt to the new control, and to use it as best suits their own particular needs. Whilst initially the application of computers was primarily concerned with system design and implementation, resources are now devoted to exploit the potential especially in data logging, and on-line computing facilities. It is envisaged that the biggest pay-off will result from the optimising of plant and processes, correctly ordering maintenance scheduling, and having available cost control and budgeting data on-line. All these features are a vital part of successful plant management, but they have never been possible by hardwired controls.

TRANSPORT & HANDLING

1126
Development of handling robots for bulk material
Eckardt, G.; Koehler, W.; Miehe, W.; Weissenborn, R.
Hebezeuge Fördermittel; 25(4); 100-103 (Apr 1985)
Outlines design and operation of an automated coal handling portal crane installed at a power plant coal storage yard. Various details of microprocessor and software employed are explained as well as the concept for coal grabbing and distribution movements on the yard. The automation system ensures even bulk distribution, optimized handling movements and bulk blending. Maximum error between programmed and measured positions of the crane at the yard is 1 m distance; maximum deviation between programmed and measured bulk is 6 %. The economic advantage of the system is the reduction of up to 5 storage yard employees in a 4 shift crane operation system. (5 refs.) (In German)

1961
The IHI continuous ship unloader
Shirai, K.; Kitsuki, J.
Bulk Solids Handl.; 5 (3); 535-536 (Jun 1985)
Until recently, bridge-type and level-luffing-type unloaders have been mainly used for bulk cargo handling at ports. As the need for pollution control and savings of labor increases, there is a growing demand for the development of continuous unloaders, both domestic and abroad. Having perceived this demand early, IHI, with many remarkable achievements in the field of port material handling equipment, developed and delivered the world's first large-scale continuous salt unloader in 1966, followed by two continuous soil unloaders in 1969 and a bucket-elevator-type continuous coal unloader in 1982, which are in satisfactory operating condition. In addition, in December 1984 IHI completed a chain-bucket-type continuous coal unloader with a rated capacity of 1,200 t/h for vessels of up to 77,200 DWT for the Tomatoh Coal Center Company at the Port of Tomakomai in Hokkaido. In this paper, an outline of this 1,200-t/h continuous coal unloader is presented.

PROCESSING
1236
Initial results obtained with the operation of a pilot plant for coal gasification via hydrogenation (Erste Ergebnisse des Betriebes der Pilotanlage zur hydrierenden Kohlevergasung)
Bruengel, N.; Ruddeck, W.; Schrader, L.; Rudisch, R.
Annual meeting of chemical engineers - 50 years of GVC, München, FRG, 19-21 Sep 1984. 24 pp (1985) Available as manuscript MS 1362/85 from VCH Verlagsges., Weinheim, FRG Also 301. event of the European Federation of Chemical Engineering
The Rheinische Braunkohlenwerke AG is developing the process of hydrogenating gasification of coal in a fluidized bed for direct production of synthetic natural gas (SNG). Based on the experimental results of a semi-technical test plant, a pilot plant was established as the last intermediate step prior to commercial utilization. The pilot plant has a maximum throughput rate of some 10 t/h coal (wf) corresponding to a crude gas production of up to 16,000 cbm (i.N.)/h. It works at a pressure range between 60 to 120 bar and comprises all additional plant components required for crude gas processing. The paper presents the process and reports on commissioning and initial test results. (In German)

1296
Underground coal gasification : past, present and future ? In Western synfuels symposium - proceedings
Dockter, L.; McLendon, R.
Symp. on western synfuels, Grand Junction, CO, USA, 25-26 Apr 1985. Golden, CO, USA, Colorado School of Mines Press, pp 42-51 (1985) Agapito, J.F.T. (ed.) Available from Grand Junction Geological Society, Grand Junction, CO 81506, USA
An overview of Underground Coal Gasification (UCG) is presented, addressing past development of UCG, the current status of

the technology and its potential for future development. UCG field test performed from 1972 through 1983 have proven the technical feasibility of UCG of subbituminous coals. Steeply dipping beds of these coals are particularly amenable to recovery by UCG. The technology for the UCG of swelling bituminous coals is less advanced but one field test did indicate good potential for the process. Although the economics of UCG seem very favourable, resolution of the potential for environmental impact and the absence of any large scale process demonstration plant are hindering commercial development of the process. (23 refs.)

WASTE MANAGEMENT

1383
Reduction of SO_2 emissions from a coal fired power station by direct injection of calcium sorbents in furnace. In First joint symposium on dry SO_2 and simultaneous SO_2/NO_x control technologies : proceedings. Volume 2. Power plant integration, economics, and full scale experience
Brice,H.; Chelu,G.; Flament,G.; Manhavel, R.; Vandycke,M.
1. joint symposium on dry SO_2 and simultaneous SO_2/NO_x control technologies, San Diego, CA, USA. 13 Nov 1984. EPRI-CS - 4178 - Vol.2 CONF-841155 - Vol.2 40.1-40.20 pp (Jul 1985)
A trial series was conducted in a 50 MWe power station in Gardanne (south of France) in order to evaluate the feasibility of applying the direct SO_2 capture in flames by dry calcium sorbents injection to a newly built 600 MWe unit. This campaign of measurements on the 50 MWe boiler followed a preliminary study where the effects of sorbent quality, sorbent injection location, flame temperature and flue gas recirculation upon efficiency of SO_2 capture had been determined. The experiments indicated similar trends on the 50 MWe boiler as on a pilot scale except for flue gas recycling which was effective in improving SO_2 capture in the pilot scale experiments but had no effect on the boiler. On the boiler it was found that natural retention of sulfur in the calcium-rich ash followed similar trends as retention by injected calcium carbonate; more than 50 % SO_2 removal could be obtained with Ca/S 3.$Ca(OH)_2$ was a much more efficient sorbent and 60 % SO_2 removal could be obtained with some $Ca(OH)_2$ injection and a high ash coal at a total Ca/S 3 (2.4 for the ash and 0.6 for $Ca(OH)_2$. Injection of sorbents above the upper burners elevation gave the best results. The results of the 50 MWe tangentially fired boiler were used to design the modifications required for applying the technique of the 600 MWe boiler which has just started operating.

2240
Reduction of emission to prevent environmental pollution
Zimmermeyer, G.
Glückauf; 121 (15); 1169-1174 (8 Aug 1985)
This contribution summarizes the development in the past of the mass flows of the most important airborne pollutants. SO_2, NOsub(x), and dust; the proportional development of the various groups of pollutants and their contribution of the overall emission is explained, as well as future abatements assessed on the basis of current legal provisions and voluntary agreements in the field of environmental protection. All in all, SO_2 and NOsub(x) emissions over the territory in the Federal Republic of Germany are expected to be cut back to half the current figures by the year 1990. This improvement will for the most part be achieved by reducing SO_2 emission from fossil-fueled power plants, which are to be backfitted with flue-gas desulphurisation equipment. NOsub(x) emissions from such plants are likewise to be reduced significantly by appropriate measures, so that in the future these plants can be considered to be environmentally compatible. Measures in this field, however, will not decisively cut back the total emission of nitrogen oxide, as fossil-fueled power plants currently account for only 30 pc. of the overall NOsub(x) emission. (In German)

BOOK REVIEW

FUNDAMENTALS OF BULK SOLIDS FLOW. London, 1986, 64 pages, ISBN 92-9029-125-7. Price : £ 15.00 (member countries), £ 30.00 (non-member countries). IEA Coal Research, 14/15 Lower Grosvenor Place, GB-London SW1W OEX.

Recent literature of relevance to the understanding of the bulk solids flow process is reviewed. The solid nature of coal dictates that it must be handled in a granular or powdered form. Consequently the successful handling of solids is an important factor governing the development of fossil energy components and systems, not only for coal but for other solid fossil fuels (oil shale and peat) and their waste products (ashes,slags,etc). At a fundamental level however, the flow behaviour of these materials is poorly understood and an improved understanding has a potential to contribute to improvements in many areas of solid fossil fuel technology. The report commences with a basic introduction into the behavior of bulk solids and indicates the various fundamental types of flow, flow patterns and flow problems that can be expected. There then follows an extensive review of the fundamental research presently being undertaken that can contribute to a clearer understanding of the mechanics of bulk solids flow and the parameters affecting that flow. The characteristics of individual particles (shape, size, porosity, water adsorption and elasticity), of the particle assembly (particle size distribution, fabric, packing, cohesion and strength) and of the flow process (attrition, agglomeration, segregation, shear, dilation, fabric deformation and particle collisions) are all considered in turn. It is concluded that a fundamental understanding of bulk solids flow is urgently needed and that the present level of understanding is inadequate. An active interchange between experimental, theoretical and computational research will increase this understanding and help to determine a reliable prediction mechanism.

NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE STUDIES OF COAL. London, 1986, 108 pages, ISBN 92-9029-126-5. Price : £ 15.00 (member countries), £ 30.00 (non-member countries). IEA Coal Research, 14/15 Lower Grosvenor Place, GB-London SW1W OEX.

Recent, mainly post-1980, literature on the applications of nuclear magnetic resonance, nmr, spectroscopy to coal and coal-derived products is reviewed. After a brief introduction to the fundamental principles of the nmr phenomenon, the use of chemical shifts in ^{1}H and ^{13}C nmr spectra to charactise coal is discussed. Solid state studies are examined including the, by now almost conventional, technique of cross polarization with magic angle spinning, CP/MAS. The concept and practice of spectral editing are described. This involves manipulating the spectra to yield information concerning the presence of various carbon types which might otherwise remain "hidden" under the rather featureless spectral regions. The use of nmr data to calculate structural parameters is considered. The problem of the quantitative reliability of nmr data is addressed but it is noted that this question is as yet unresolved. The review then turns to examine the information which nmr has provided concerning the structural features of coal, its origins and evolution, and its chemical behaviour. Particular attention is paid to studies of coal pyrolysis, including ^{1}H nmr reaction time thermal analysis, and to hydrogenative liquefaction. It is generally considered that the advent of improved nmr techniques has made an appreciable contribution to the analysis and understanding of coal in recent years.

ANNOUNCEMENTS

NEW TECHNOLOGY TO REDUCE FIRE LOSSES AND COSTS, Luxembourg, Jean Monnet Building, 2-3 October 1986.

Aims : Fire costs the European Community about £ 8000 million per annum : but, year by year, losses still increase. In September 1984, a Conference convened by the European Commission in Luxembourg noted that too little was being spent on fire research and education; it recommended a doubling of the existing research expenditure in an effort to reduce the annual waste. This European Conference will serve as a showcase for new science and engineering which can not only help industry, government and local authorities to solve immediate fire problems but which can also make a longer-term contribution to better design and fire prevention in buildings and transport. There is also much to be gained by pooling European experience with new technology from outside the Community. The invited lectures and more than thirty technical papers will be followed by a Summary and Panel Discussion on "the way forward", particularly in relation to fire prevention regulations; the papers will introduce new technology against a background of existing state-of-the-art, and there will be a parallel Poster Session for some more specific technical and commercial advances.

Enquiries : Secretariat : S.J. Graison, Fire and Materials Centre, Queen Mary College, 101 Marshgate Lane, Stratford, GB-London E15 2NQ.

ICAMC '86. 8th International Conference on Process Control in Mining, Dubrovnik-Cavtat, 8-13 October '86.

Aims : Presentation of research and production achievements in automation of mining. During the Conference, our Exhibition of process control equipment in mining will take place.

Contact : ICAMC '86, Rudarskogeoloski Fakultet, 75000 Tuzla, Yugoslavia.

ELECTRONIC PUBLISHING : THE NEW WAY TO COMMUNICATE, Luxembourg, 5-7 November 1986.

Topics : The economics of using new information technologies; the requirements for standardisation to allow the easy interchange of electronic publications; the financial and organisational problems caused by the introductions of new information technologies; user acceptance; new product development and parallel publishing printing policy; the emergence of informal publishing networks which bypass traditional publishers; the changing commercial relations between authors, printers, pub-

lishing and distributors; role of libraries and documentation centres; the trade-off between high quality electronic publications, cost-benefit to the publisher and customer price elasticity.

Contact : Mr P. Popper, European Institute for Information Management, 13 rue de Bragance, L-1255 Luxembourg. Tel. + 352 44 58 11. Mr F. Mastroddi, CEC, DG XIII/B C4/008, L-2920 Luxembourg. Tel. + 352 4301 3020.

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON STRATEGIES FOR EXPLOITATION OF MINERAL RESOURCES IN DEVELOPING COUNTRIES, Dhanbad, India, 6-7-8 November 1986.

Themes : Mineral development - Strategies and tactics - Role of the Government - Role of small scale mining - Role of regional networks - Scope for new initiatives in international investments - Mining and environment - Human resource and development.

Enquiries : Professor A.K. Ghose, Convenor, Diamond Jubilee International Symposium, Indian School of Mines, Dhanbad 826 004, India.

ADVANCES IN SOLID/LIQUID SEPARATION, Columbus, Ohio, USA, 12-13 November 1986.

Aims : The conference, sponsored by Battelle, will feature several world-recognized experts in separation technology from industry and academia, discussing recent developments in theory and practice related to filtration, centrifugation, dewatering, sedimentation, and equipment.

Information : Battelle, Centres de recherche de Genève, 7 route de Drize, CH-1227 Carouge (Genève). Phillip Wells, SynerCom, 1989 West Fifth Avenue, Suite 5, Columbus, Ohio 43212, USA.

MINING LATIN AMERICA, Santiago de Chile, 17-21 November 1986.

Theme : The Organizing Committee is seeking papers on novel aspects of the minerals industry internationally, covering finance/ investment opportunities, geology, mining, mineral processing, extractive metallurgy and marketing, that have particular relevance to the Latin American region. Direct approaches have been made to leading figures in the international minerals industry to present papers for discussion at the technical sessions, but further contributions will be welcomed.

Enquiries : The Conference Office, The Institution of Mining and Metallurgy, 44 Portland Place, GB-London W1N 4BR.

TECNOMIN '86, Lima, Peru, 23-30 November 1986.

Theme : Technological advances, analysing development methods and outlining work policies of the mining industry.

Enquiries : Pacific International Trade Fair, Apartado 4900, Lima, Peru. Telex : 25504 PE.

10th INTERNATIONAL ONLINE INFORMATION MEETING, London, 2-4 December 1986.

Themes : Human Resources - User Experience - Search Aspects - Knowledge Databases - Business and Financial - New Technology Trends.

Secretary : Learned Information Ltd. Besselsleigh Road, Abingdon, Oxford OX13 6LG, UK.

MINING METHODS '86, Harrogate, 3-5 December 1986.

Aims : The Symposium will review current and future winning and working methods with emphasis on high coal production. All sessions will concentrate on underground mining and will cover : - High production faces - 7-day continuous face working - Advance and retreat faces - Single entry faces - Steep seam working - Thin and thick seam working - In-seam mining and drivages - Room and pillar working - Continuous miner applications - Multiple entry drivages.

Enquiries : Symposium Organiser, The Institution of Mining Engineers, Danum House, South Parade, Doncaster DN1 2DY, UK.