

**COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES**  
**COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE DU CHARBON ET DE L'ACIER**

**RECUEILS DE RECHERCHES CHARBON**

**DÉGAGEMENTS INSTANTANÉS  
DE MÉTHANE ET DE CHARBON  
RAPPORT DE SYNTHÈSE 1962-1969  
CERCHAR**

**Technique minière**

**Recueil**

**N°**

**41**

LUXEMBOURG 1971

**ÉTUDE CONCERNANT  
LES DÉGAGEMENTS INSTANTANÉS  
DE MÉTHANE ET DE CHARBON (D.I.)**

Compte rendu final des études françaises  
effectuées avec l'aide financière de la CECA

(1<sup>er</sup> janvier 1962 au 31 décembre 1969)

J. BELIN

## TABLE DES MATIÈRES

	Page
Chapitre I — Mise à jour de quelques renseignements statistiques sur l'importance du risque D.I. dans les bassins houillers français. Aperçu géologique .....	7
Chapitre II — Définitions de quelques termes concernant la dénomination de manifestations anormales survenant au fond .....	12
Chapitre III — Rappel de quelques notions concernant la liaison gaz-charbon .....	13
Chapitre IV — Equilibre d'un massif de charbon en avant d'un front libre (de taille). Théorie de la genèse et du développement du D.I. ....	16
Chapitre V — Les objectifs de l'étude poursuivie .....	20
Chapitre VI — Moyens de caractérisation des panneaux susceptibles de D.I. ....	20
VI.1. Caractérisation en relation avec la présence du gaz dans le massif de charbon	21
VI.1.1. Mesure directe de la pression de gaz. ....	21
A. Matériel utilisé .....	21
B. Résultats obtenus .....	21
VI.1.2. Mesure de la concentration en gaz désorbable .....	21
A. Méthode utilisée .....	22
B. Résultats obtenus .....	22
VI.2. Caractérisation en considérant la vitesse initiale de désorption du charbon ..	23
VI.2.1. Indice de désorption $V_1$ .....	23
A. Méthode et appareils .....	23
B. Résultats obtenus .....	23
VI.2.2. Fissuration microscopique du charbon .....	24
A. Mode opératoire .....	24
B. Résultats .....	24
VI.2.3. L'indice de désorption $\Delta p$ .....	24
A. Appareillage et méthodes de mesure de $\Delta p$ .....	24
1 — Choix de l'indice $\Delta p_{0^{60}}$ d'après Ettinger .....	24
2 — L'indice $\Delta p_{0^{60}}$ mesuré à l'adsorption ou indice $\delta P$ . ....	25
3 — L'indice dit « $\Delta p$ rapide » .....	26
B. Résultats obtenus avec l'indice $\Delta p$ .....	26
1 — Mode d'utilisation des valeurs de $\Delta p$ .....	26
2 — Caractérisation des gisements grâce à l'indice $\Delta p$ et à la concentration en gaz désorbable .....	27
3 — Différents aspects de l'influence de $\Delta p$ sur l'occurrence du D.I. ....	27

	Page
VI.2.4. Le dégagement de grisou après tir .....	27
A. Mode opératoire .....	27
B. Résultats .....	27
VI.3. Caractérisation en relation avec la résistance mécanique des roches .....	28
VI.3.1. Indice de fragilité .....	28
VI.3.2. Essais à la presse triaxiale .....	28
VI.4. Caractérisation en liaison avec les contraintes .....	28
VI.4.1. Culée de contrainte en avant d'un front de taille .....	28
VI.4.2. Méthodes sismiques après tir .....	29
A. Appareils utilisés .....	29
B. Résultats obtenus .....	29
VI.5. Conclusion d'ensemble sur la caractérisation de la susceptibilité aux D.I. d'une veine .....	30
VI.6. Cas particulier d'un gisement de gaz CO <sub>2</sub> pur: caractérisation localisée du gisement. La Mure (Dauphiné) .....	31
Chapitre VII — Recherche d'un signe prémonitoire .....	50
VII.1. Evolution des valeurs des indices de susceptibilité avant un D.I. ....	50
VII.2. Ecoute des bruits du massif .....	50
VII.2.1. Ecoute des bruits pendant l'exploitation .....	50
VII.2.2. Ecoute des bruits avant tir d'ébranlement .....	51
VII.3. Conclusions .....	52
Chapitre VIII — Détection à distance de l'occurrence d'un D.I. ou d'un fort tir .....	55
VIII.1. Appareils sismiques S.C. ....	55
VIII.2. Appareils grisométriques .....	55
VIII.3. Appareils détecteurs de CO <sub>2</sub> .....	56
Chapitre IX — La chronologie du phénomène D.I. ....	61
IX.1. Renseignements obtenus avec les « pièges à atmosphère » .....	61
IX.2. Contrôle du dégagement grisouteux après le déclenchement de D.I. ....	61
IX.3. Conclusions sur la chronologie du D.I. ....	62
Chapitre X — Mise en œuvre de méthodes de préventions contre les D.I. et contrôle de leur efficacité .....	66
X.1. Les principes d'action .....	66
X.2. Couche égide .....	66
X.2.1. Cas des gisements de couches parallèles .....	66
X.2.2. Cas d'exploitation par tranches successives d'une couche pentée épaisse .....	67
X.3. Gros trous de détente et de dégazage (G.T.) .....	67
X.3.1. Mode d'action des G.T. Leur utilité comme indice de susceptibilité du gisement: G.T. de reconnaissance .....	68
X.3.2. Contrôle de l'efficacité des G.T. (en taille et en voie) .....	68

	Page
X.3.3. Les difficultés d'applications de la méthode: les précautions à prendre .....	69
X.3.4. Résultats obtenus .....	70
X.4. Vitesse d'avancement et section de la galerie .....	70
X.5. L'infusion d'eau dans la veine susceptible .....	70
X.6. Les méthodes d'exploitation .....	71
Chapitre XI — L'électrification en mine à D.I. ....	84
XI.1. Volet déclencheur .....	84
XI.2. Protection des installations électriques en aval aérage d'un traçage situé sur l'entrée d'air .....	84
XI.3. Electrification des pieds de taille .....	84
XI.3.1. Protection du moteur électrique situé au pied de taille (ARD 59) .	84
XI.3.2. Utilisation de moteurs hydrauliques .....	85
XI.3.3. Dispositif détendeur-détorelais et câble double-écran .....	85
Chapitre XII — Conclusions générales .....	88
Annexe .....	91
Bibliographie .....	99



## Chapitre I

### MISE A JOUR DE QUELQUES RENSEIGNEMENTS STATISTIQUES MONTRANT L'IMPORTANCE DU RISQUE D.I. DANS LES BASSINS HOUILLERS FRANÇAIS (7) APERÇU GÉOLOGIQUE

La France détient le peu enviable record mondial des D.I. Depuis le premier enregistré officiellement dans les Houillères des Cévennes au puits Fontanes le 1<sup>er</sup> avril 1879, le total des D.I. dans ce gisement au 31 décembre 1969 s'élève à 6 361 ayant entraîné la mort de 171 travailleurs.

Le tableau I.1 extrait des statistiques de l'arrondissement minéralogique de Montpellier donne la répartition des D.I. dans le bassin houiller du Gard par secteur d'exploitation et faisceau de couches géologiquement distinctes.

On notera que sur 6 361 D.I.:

— 94,55% ont eu lieu à la suite d'un tir d'explosif et 5,45% au cours du poste de travail. Une étude complémentaire portant sur 756 D.I. qui se sont produits de 1956 à 1965 montre que le pourcentage de D.I. au cours du poste de travail était réduit à 1,3%.

— 68,6% sont des D.I. avec gaz CO<sub>2</sub>, 23,4% avec gaz CH<sub>4</sub> et 8% avec gaz mixte CO<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub>. Pour la période 1956 à 1965 les D.I. de gaz CO<sub>2</sub> représentent encore 56,7% du total, les D.I. de gaz mixte 9,5% et les D.I. de CH<sub>4</sub> 33,8%. L'exploitation actuelle est concentrée dans les parties du gisement contenant du CH<sub>4</sub> ou du gaz mixte.

— Les projections de produits ont été très variables, le record étant 5 602 tonnes en couche de 10 mètres de Fontanes le 11 novembre 1921.

De très nombreux facteurs influencent l'importance des projections des D.I., parmi ceux-ci: l'épaisseur de la couche concernée. Dans le cas particulier des couches voisines 1<sup>re</sup> et 3<sup>e</sup> de Ricard, placées dans des conditions géologiques très semblables, d'ouvertures moyennes respectives 2,50 m et 3 m on a pu vérifier:

1. que la répartition des tonnages projetés par les D.I. était d'allure log normale,
2. que les valeurs moyennes des tonnages projetés étaient dans le rapport des ouvertures.

On remarque également que la grande majorité des D.I. se sont produits dans les travaux de découpage du gisement (93,2%). Pour la période 1956—1965 ce pourcentage reste du même ordre (89%).

Le tableau I.2. donne la répartition dans le temps du nombre de victimes dues aux D.I. dans le bassin houiller du Gard. Les circonstances particulières du D.I. du 2 mars 1967 qui a fait 5 victimes ont été exposées dans les Annales des Mines (1).

Dans le bassin du Nord-Pas-de-Calais 75 D.I. de CH<sub>4</sub> ont été enregistrés depuis 1912. Le dernier incident est survenu le 20. 7. 61 — projections 40 m<sup>3</sup> — dans le gisement de Liévin: la topographie des lieux permet de supposer qu'il s'agit plus d'un éboulement que d'un véritable D.I. Depuis cette date ce bassin n'a plus enregistré de D.I.

Dans les Houillères de la Loire 26 D.I. de CH<sub>4</sub> sont connus, 24 étant localisés dans le quartier Rochefort dont l'exploitation est terminée depuis longtemps. Les deux derniers D.I. datant de 1934 et 1935 se sont produits dans le quartier Isaac encore en exploitation mais qui, depuis, n'a été le théâtre d'aucune autre manifestation.

Dans les Houillères d'Auvergne 172 D.I. de CO<sub>2</sub> ont eu lieu de 1912 à 1953 dans des gisements ou faisceaux maintenant épuisés.

Enfin dans les Houillères du Dauphiné on note, dans les quartiers actuellement en exploitation, 1 D.I. en 1946 dans le quartier des Rioux, 13 D.I. depuis 1957 dans le quartier des Chuzins et 57 D.I. depuis 1956 dans le quartier du Devay.

Actuellement les D.I. sont localisés dans les Houillères des Cévennes et dans les Houillères du Dauphiné. La tectonique d'ensemble tourmentée de chacun de ces gisements est pour une grande part à l'origine de leur susceptibilité particulière.

La figure 1.3. donne le schéma particulièrement caractéristique d'une coupe Est-Ouest d'une partie du gisement Cévenol (maintenant épuisé). Le dépôt lacustre du stéphanien inférieur a été soumis, au stéphanien supérieur et au permien, à des poussées hercyniennes

qui ont créé une série d'écaillés se chevauchant; les plissements alpins ont, par la suite, provoqué une nouvelle phase tectonique.

La figure 1.4. indique une coupe Ouest-Est du gisement du Dauphiné (ou de La Mure) qui, comme le précédent, a été affecté par des plissements hercyniens post-houillers et par un intense bouleversement alpin ayant créé des plis et des failles d'effondrement à rejet important.

Tableau I.1.

**STATISTIQUE DES DÉGAGEMENTS INSTANTANÉS**  
**de l'origine au 31 décembre 1969**  
**dans le bassin houiller du Gard (Cévennes)**

Secteur d'exploitation	Faisceau de couches	Nombre total de D.I.	Sur		Gaz			Projections (en tonnes)					Nature des Travaux					
			Tir	Poste	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	Mixte	< 25	26 à 50	51 à 200	201 à 500	501 à 1000	> 1000	Entrées en couche	Tracage et Voir des niveau	Mon-tage	Des-cente	Taille et Déplage
Nord	Arbousset sup.	52	5	47	52			42	2	8				6	17	11	13	5
	Arbousset inf.	104	26	78	102	2		79	16	8	1			7	51	25	7	14
	Feljas	46	17	29	46			27	12	7				3	25	5	7	6
	Gagnières	143	133	10	143			54	51	38				1	54	62	7	19
	Crouzoul	271	257	14	27	141		59	78	98	28	6	2	16	179	27	39	10
	½ Gras Molières	165	124	41	164	1		143	16	5	1			2	61	1	3	98
	Anthracite Molières	591	492	99	354	2		229	174	158	19	10	1	33	170	92	38	258
	Total .....	1372	1054	318	888	146	338	633	349	322	49	16	3	68	557	223	114	410
Centre	Grand Baume	248	245	3	240			8	72	99	22	2	1	2	135	69	41	1
	Ricard	297	291	6	297			30	68	151	35	10	3	4	168	49	76	
	Oules	1	1					1			1						1	
	Total .....	546	537	9	537			9	140	250	58	12	4	6	303	118	118	1
Sud	Nouveau Rochebel.	23	21	2		23		4	3	13	2		1	3	17	3		
	Ono	61	61		56	4	1	20	24	17				2	25	31	3	
	Cendras	1	1			1		1	1					1				
	Fontanes	4253	4235	18	11	4135	107	511	812	1720	733	329	148	420	2335	1145	340	13
	Drulhes	101	101		3	65	33	18	31	38	12	1	1	20	52	26	3	
	Le Soulier	4	4			1	1	1	2	1				4				
	Total .....	4443	4423	20	70	4229	144	554	873	1789	747	330	150	450	2429	1205	346	13
	Ensemble Gard .....	6361	6014	347	1495	4375	491	1269	1362	2361	854	358	157	524	3289	1546	578	424

Tableau I.2.

STATISTIQUES DES VICTIMES OCCASION-  
NÉES PAR LES D.I. DANS LE BASSIN HOUIL-  
LER DU GARD (CÉVENNES)

Année	Accidents mortels dus aux D.I.	
	Tués	Taux <sup>(1)</sup>
Récapitulation		
1879 à 1880	3	2,13
1881 à 1890	6	0,84
1891 à 1900	46	5,98
1901 à 1910	32	4,16
1911 à 1920	36	4,32
1921 à 1930	6	0,72
1931 à 1940	10	1,41
1941 à 1950	9	1,05
1951 à 1960	15	2,20
1961	—	—
1962	—	—
1963	3	8,53
1964	—	—
1965	—	—
1966	—	—
1967	5	16,88
1968	—	—
1969	—	—
<b>Total au 31 déc. 1969</b>	<b>171</b>	<b>2,60</b>

<sup>(1)</sup> pour 3 10<sup>6</sup> postes.

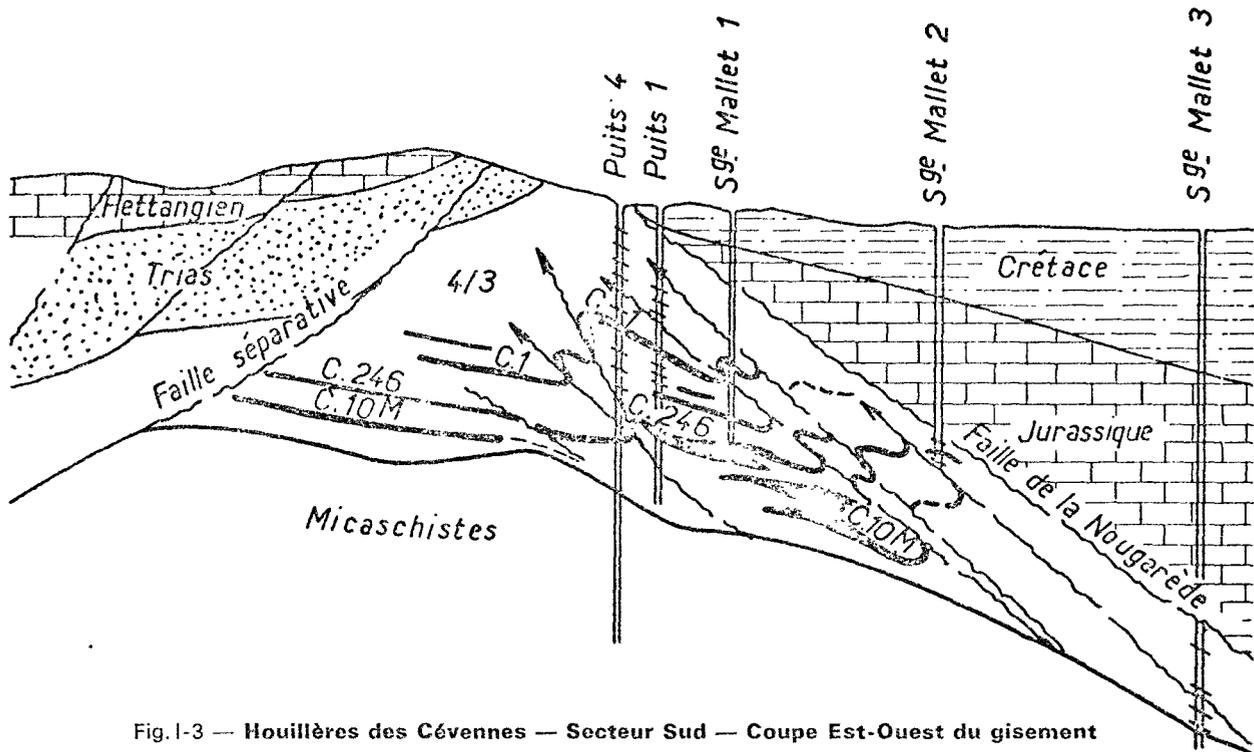


Fig. I-3 — Houillères des Cévennes — Secteur Sud — Coupe Est-Ouest du gisement

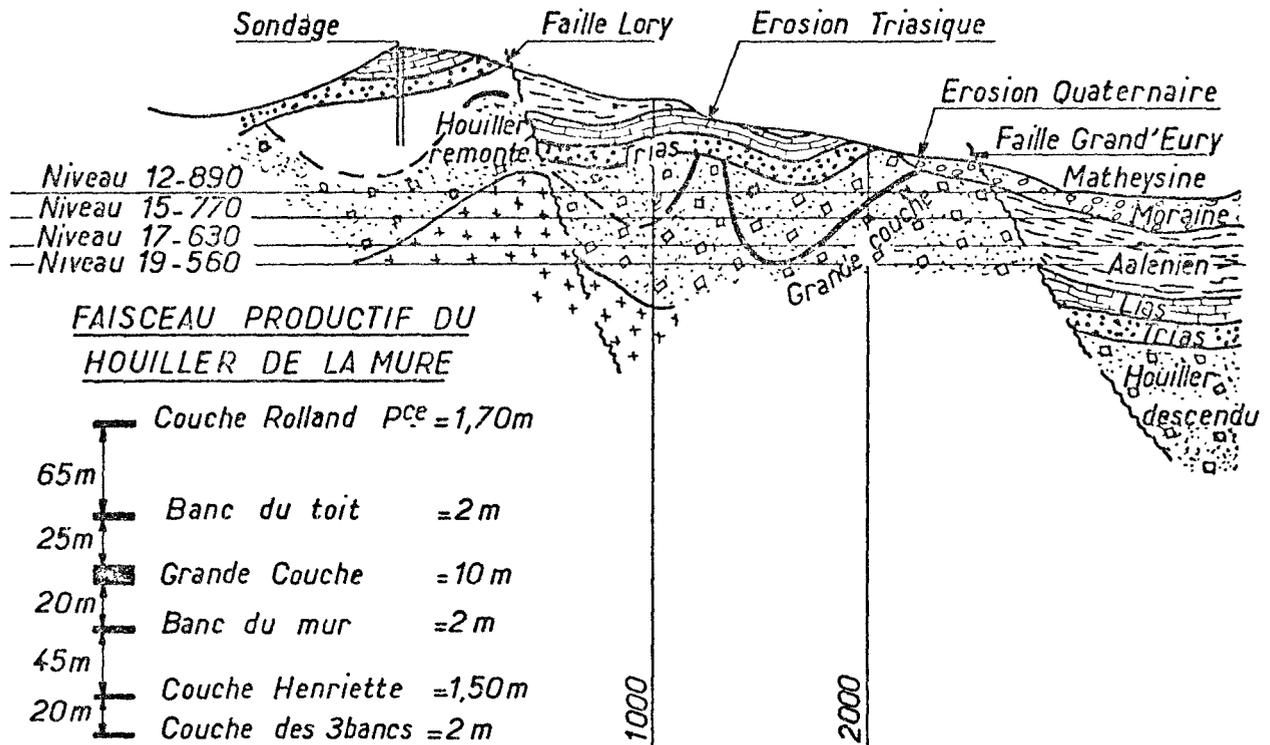


Fig. I-4 — Houiller de la Mure — Coupe schématique Ouest-Est

## Chapitre II

### DÉFINITIONS DE QUELQUES TERMES CONCERNANT LA DÉNOMINATION DE MANIFESTATIONS ANORMALES SURVENANT AU FOND

Le D.I. proprement dit se caractérise par une intense émission de gaz et le déplacement d'une masse souvent importante de charbon. Signalons qu'il existe des D.I. avec d'autres matériaux que le charbon: D.I. de potasse et même parfois D.I. de roche. Les D.I. de roche que nous avons constatés se sont toujours produits au voisinage d'une couche de charbon avec laquelle le chantier était relié par un accident tectonique.

Lorsqu'un D.I. est provoqué par un tir d'explosif, on distingue généralement:

- le D.I. « sur tir » lorsque l'émission de gaz et le déplacement du charbon s'amorcent moins de 30 secondes après la mise à feu de l'explosif;
- le D.I. « retardé » lorsqu'il débute plus de 30 secondes après le tir;
- le D.I. « intempestif » lorsqu'il débute plus d'une heure après le tir. Cette limite de 1 heure a été choisie parce que le retour au chantier des visiteurs n'est en général autorisé qu'après ce laps de temps.

Lorsqu'un D.I. intempestif a lieu en présence des ouvriers travaillant au chantier, on parle de D.I. « sur poste », qu'il ait été initié par un tir ou non.

Après tir on dit qu'il y a D.I. proprement dit si la masse de charbon mise en mouvement représente plus de deux fois la masse de charbon qui serait normalement abattue par le tir. Lorsque cette masse de charbon est comprise entre une fois et deux fois celle qui serait normalement abattue par le tir, on dit qu'il y a « fort tir ». Le « fort tir » est généralement considéré comme une amorce de D.I., les conditions de déséquilibre du massif que nous examinerons plus loin n'ayant pas été telles que le D.I. puisse se développer.

En dehors du D.I. proprement dit et du « fort tir » il existe diverses manifestations anormales dont la

définition précise est délicate mais que l'on a tendance à considérer comme des D.I.

La première est l'« éboulement gaze »: c'est un éboulement, souvent aidé par la gravité, qui se produit en gisement grisouteux (ou riche en CO<sub>2</sub>). Il y a bien, dans ce cas, émission de gaz et déplacement de produit, mais c'est le déplacement qui engendre l'émission de gaz par suite de la fragmentation du massif alors que dans le D.I. proprement dit le transport du charbon est un transport « pneumatique » provoqué par la désorption du gaz. De prime abord la distinction n'est pas toujours aisée: il faut toutefois éviter qu'un incident de cet ordre ne conduise à classer prématurément une couche comme susceptible de D.I.

Une émission importante de grisou après tir peut apparaître « anormale » par suite d'une plus grande concentration en gaz de la couche, d'une surcharge accidentelle du tir — un charbon mieux broyé désorbera son gaz plus rapidement — ou de la présence d'une faille qui draine du gaz venant de l'environnement du chantier. Dans ce dernier cas on peut avoir affaire à un « soufflard » qui peut émettre du gaz pendant plusieurs jours. Dans aucun cas il ne s'agit de D.I.

Enfin nous signalerons — sans prétendre être exhaustif — certains phénomènes « anormaux » en taille grisouteuse. On connaît le « coup de couche » dans les houillères de Provence par lequel une portion d'un sillon de la couche est expulsée par « effet tiroir ». Il s'agit là d'une manifestation liée à des contraintes localement accrues, en bordure de la voie, en particulier. Citons également le « coup de charge » en taille, qui peut provoquer une émission anormale de grisou, que le massif ait été localement surcontraint et broyé, ou au contraire brusquement détendu.

Le « coup de couche » ou « de toit » n'est pas assimilable à un D.I., mais il faut reconnaître qu'en gisement susceptible de D.I. leur présence est une cause favorable au déclenchement d'un D.I.

## Chapitre III

### RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS CONCERNANT LA LIAISON GAZ-CHARBON (2, 3, 4)

Le charbon adsorbe les gaz, en particulier le  $\text{CH}_4$  et le  $\text{CO}_2$  en raison de la très grande surface de ses « pores » (ordre de grandeur: 1 are par gramme).

On appelle isotherme d'adsorption la courbe donnant, pour une température donnée, la quantité de gaz adsorbée par le charbon à la pression de gaz lorsque l'équilibre d'adsorption est atteint.

A température donnée, le  $\text{CO}_2$  est plus adsorbable que le  $\text{CH}_4$  (figure III.1).

A pression donnée, la quantité de gaz adsorbé décroît lorsque la température augmente (figure III.1) ou lorsque l'humidité naturelle du charbon croît (figure III.2). Cette propriété explique, pour une part, que dans les portions de gisement susceptibles naturellement humide on ne constate pas de D.I.

A température et à pression données, la quantité de gaz adsorbé varie en fonction du rang de charbon caractérisé par la teneur en matières volatiles (figure III.3). Les charbons anthraciteux et surtout les anthracites adsorbent plus de gaz — toutes choses égales par ailleurs — que les autres charbons. Cette propriété peut expliquer, pour une part, que ce sont ces catégories de charbons qui, dans les gisements français, présentent le risque de D.I. le plus répandu.

Pour une pression de gaz donnée à l'intérieur d'une couche, la quantité de gaz contenue dans le charbon est composée de deux parts :

- le gaz « adsorbé » correspondant à l'isotherme d'adsorption (pression, température, humidité naturelle du lieu),
- le gaz « libre » sous forme de gaz comprimé dans la « porosité » du charbon ou volume des « pores ». Cette porosité, nous la mesurons au laboratoire comme la différence du volume mort accessible à l'hélium — gaz peu adsorbable — et du volume mort accessible au mercure. Sous l'effet des contraintes la « porosité » in situ est inférieure à celle que nous mesurons au laboratoire: nous l'estimons à  $0,02 \text{ cm}^3/\text{g}$  pour les

charbons que nous avons étudiés. Les anthracites de La Mure ont une porosité supérieure, de l'ordre de  $0,05 \text{ cm}^3/\text{g}$ .

A l'aide des isothermes d'adsorption (figure III.4) on définit la concentration en gaz totale (axes oxy) et la concentration en gaz désorbable (axes ox'y'). Dans la suite de ce texte nous ne parlerons plus que de la concentration désorbable.

Lorsqu'un morceau de charbon en équilibre d'adsorption avec du grisou à une pression relative p bars positive quelconque est brusquement mis à l'atmosphère, il libère le gaz adsorbé qu'il contient. La courbe représentant la fraction du gaz désorbé par rapport à la totalité du gaz désorbable — ou concentration désorbable — en fonction du temps s'appelle une cinétique de désorption. Un point important que souligne clairement la figure III.5 est que la vitesse de désorption du gaz croît lorsque la granulométrie des grains de charbon décroît. Il faut donc s'attendre à ce que les charbons susceptibles de D.I. présentent une microfissuration très fine; le massif étant alors divisé en grains de très petite dimension, il pourra, au voisinage d'un front libre, libérer son gaz assez rapidement pour que le transport pneumatique du massif divisé puisse être assuré.

Signalons enfin que la théorie montre et que l'expérience confirme que l'expression analytique du début de la cinétique de désorption est:

$$r = k \sqrt{t}$$

dans laquelle :

$$r = \frac{\text{volume désorbé après un temps } t}{\text{volume désorbable pour un temps } t \text{ infini}}$$

t = le temps

Cette expression reste valable tant que r ne dépasse pas 20 à 25%.

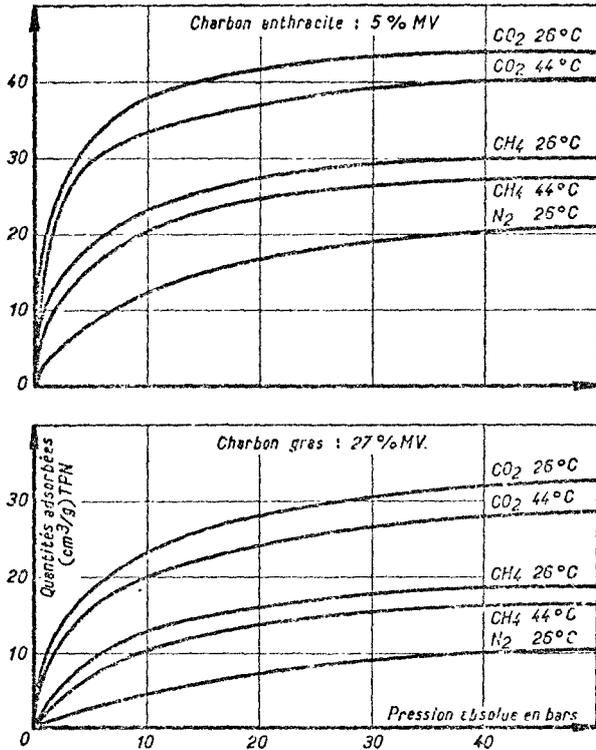


Fig. III-1

**Deux exemples d'isothermes d'adsorption**  
(charbon pur et sec)

Le gaz CO<sub>2</sub> est plus adsorbable que le gaz CH<sub>4</sub>. La quantité de CH<sub>4</sub> adsorbée décroît lorsque la température augmente : à partir de 26 °C, 0,8% et par degré pour le charbon gras, 0,6% et par degré pour le charbon anthracite.

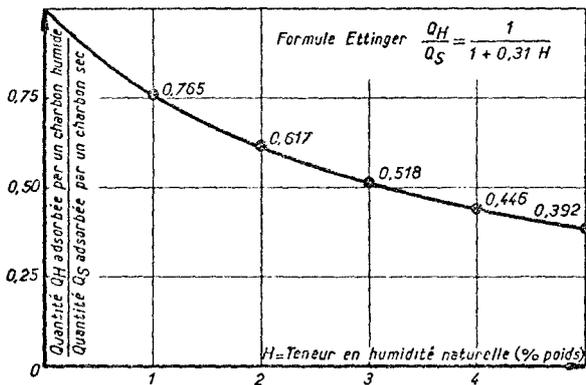


Fig. III-2 — Influence de l'humidité naturelle sur l'adsorption de méthane par un charbon pur

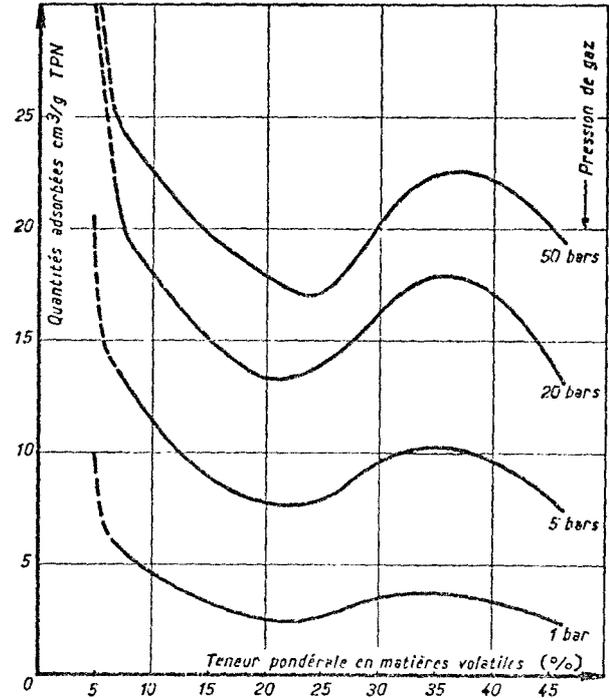


Fig. III-3 — Adsorption moyenne de méthane à 26 °C pour un charbon sec et pur — Évolution en fonction du rang du charbon et de la pression de gaz (Dispersion = + 10 %)

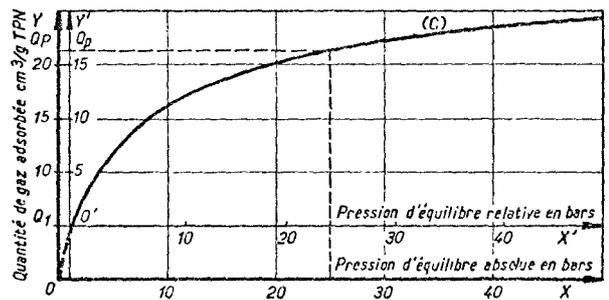


Fig. III-4 — Représentation graphique de la concentration désorbable et de la concentration totale

La courbe (C) représente :

- 1 — Dans les axes OX OY la variation de la concentration totale en fonction de la pression d'équilibre absolue P. Concentration totale pour P absolue = OQP
- 2 — Dans les axes O'X' O'Y' la variation de la concentration désorbable en fonction de la pression d'équilibre relative ou p. Concentration désorbable pour P absolue ou p relative = O'P — O'Q' = O'Q'

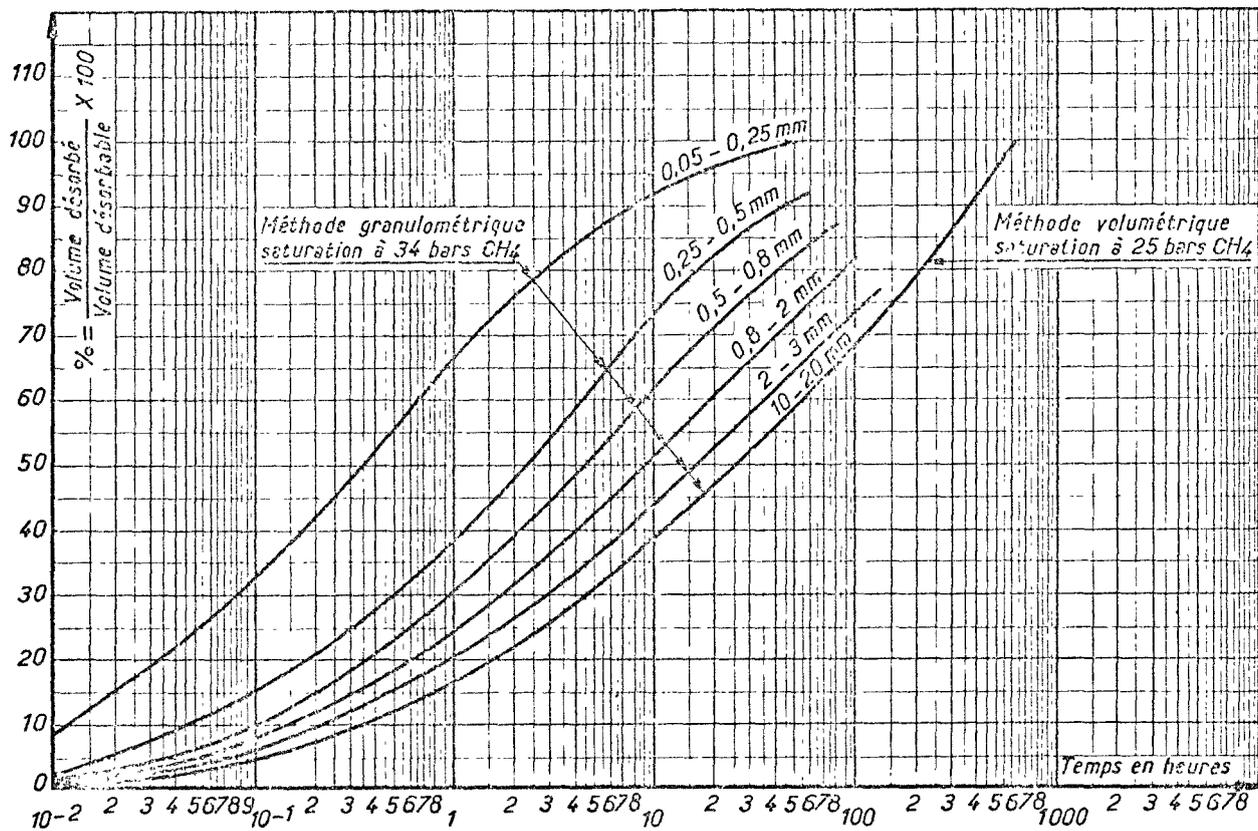


Fig. III-5 — Cinétiques de désorption d'un charbon à diverses granulométries (D'après J. Gunther)

## Chapitre IV

### ÉQUILIBRE D'UN MASSIF DE CHARBON EN AVANT D'UN FRONT LIBRE (DE TAILLE) THÉORIE DE LA GENÈSE ET DU DÉVELOPPEMENT DU D.I. (5)

L'expérience bien connue des mineurs selon laquelle on peut empêcher la naissance d'un D.I. par un renfort parfois très sommaire d'un front suggère l'idée que le D.I. résulte du basculement d'un état d'équilibre. Les considérations qui suivent analysent les facteurs de cet état d'équilibre.

Nous partons du principe que le charbon en avant d'un front (figure IV.1) subit essentiellement deux forces:

1.— la contrainte mécanique dont la composante verticale  $P(x)$  évolue comme l'indique la courbe 1. Si les valeurs vraies de  $P(x)$  n'ont jamais été mesurées in situ, nous connaissons parfaitement l'allure de la courbe  $P(x)$  au moyen de capsules manométriques (capsules BOM — figure IV.2) placées en avant d'un front de taille. La figure IV.3 donne quelques exemples de l'évolution de la pression interne dans ces capsules en fonction de leur distance  $x$  en avant du front. Le trait commun à toutes ces courbes est l'existence d'une surcontrainte en avant du front due à un effet de culée. La valeur maximale de la pression interne varie beaucoup d'une capsule à l'autre; notons simplement qu'on ne constate pas de différence significative entre les valeurs obtenues en plaçant la cellule sensible de la capsule — le tube de cuivre aplati — horizontalement ou verticalement. Ce qui nous permet, en première approximation, de considérer comme hydrostatique la contrainte en avant du front.

2.— la pression du gaz libre dans les fissures, dont l'évolution en avant du front est conforme à la courbe (2), la distance  $M'$  étant ou non égale à la distance  $M$ . (figure IV.1).

Comme il est indiqué dans le texte de J. Gunther (5), placé en annexe, on peut montrer, au prix d'hypothèses raisonnables, qu'en avant du front libre le massif de charbon est soumis à deux efforts antagonistes:

— un effort d'arrachement dirigé en direction du front libre et dont l'expression analytique est:

$$W \frac{dp}{dx}$$

$W$ : ouverture de la couche

$\frac{dp}{dx}$ : coefficient angulaire de la courbe  $p(x)$  ou gradient de pression du gaz

— un effort de retenue, opposé au précédent, dont l'expression analytique est:

$$2fP(x)$$

$f$ : coefficient de frottement à la jonction couche de charbon — éponte

$P(x)$ : contrainte verticale.

Les considérations développées dans l'annexe (5) montrent qu'il existe normalement en avant du front:

— en bordure du front une zone de retenue pour laquelle:

$$2fP(x) - W \frac{dp}{dx} > 0$$

qui correspond à la notion bien connue de « frette de retenue » ou « frette de protection ».

— suivi d'une zone de poussée pour laquelle:

$$2fP(x) - W \frac{dp}{dx} < 0$$

Au-delà le gradient de pression  $\frac{dp}{dx}$  devient nul — car  $p(x)$  est constant — et l'effort de poussée disparaît.

Le massif est donc en équilibre si l'intégrale de l'expression  $2fP(x) - W \frac{dp}{dx}$  est positive dans l'intervalle séparant le front de taille de l'endroit où, à quelques mètres en avant du front, le gradient de pression de gaz s'annule.

Il résulte de ces considérations que le déséquilibre des efforts agissant sur le massif en avant du front est favorisé par l'existence d'un gradient de pression de gaz  $\frac{dp}{dx}$  élevé et voisin du front et que toute action préventive doit donc tendre à le diminuer.

L'augmentation du coefficient  $f$  qui serait un moyen de lutte contre le déséquilibre n'est évidemment pas à notre portée. On notera toutefois que l'effort de

retenue  $2 f P(x)$  est en principe localisé aux contacts veine-éponge mais qu'il ne peut effectivement jouer son rôle que si la veine peut être assimilée à une juxtaposition de blocs élémentaires serrés entre toit et mur. L'équilibre élémentaire de chacun des blocs peut être schématisé comme l'indique la figure IV.4.

L'équilibre entre la force répartie  $W \frac{dp}{dx}$  et les deux forces localisées  $f P(x)$  suppose une certaine résistance mécanique du bloc lui-même. La cohésion du bloc est en partie assurée par ses contacts avec les blocs voisins mais l'on conçoit aisément que si cette résistance mécanique est affaiblie — couche divisée en plusieurs sillons, fissuration naturelle localement plus intense par exemple — l'effort de retenue ne s'appliquera pas avec la même efficacité sur toute la hauteur du bloc. Toutes choses égales par ailleurs, les veines stratifiées et peu résistantes doivent donc être plus sensibles à l'effort d'arrachement du gradient de pression de gaz.

Signalons encore une des conclusions importantes qui résulte du schéma descriptif de l'équilibre du massif qui a été adopté: le déséquilibre du massif est d'autant plus probable que la couche est moins perméable au gaz et que sa perméabilité diminue plus vite en fonction de la contrainte  $P(x)$ , ce qui est en particulier le cas pour un charbon très fissuré.

Enfin notons que l'évolution de la contrainte  $P(x)$  en avant du front n'est pas toujours régulière dans le temps: elle s'opère parfois par réajustements successifs — par sauts —. Dans ce cas l'effort de retenue  $2 f P(x)$  peut être brusquement diminué avant même que le gradient  $\frac{dp}{dx}$  ait pu décroître: il y a là une circonstance très favorable au déséquilibre du massif. Le tir à l'explosif est un générateur de tels bonds de la courbe  $P(x)$  et c'est en partie à cela qu'il doit son efficacité: il a le pouvoir de faire éclore les D.I. en puissance et ainsi de purger le massif d'un danger potentiel, mais qui ne se serait pas nécessairement manifesté s'il n'y avait pas eu de tir.

Le rôle important que nous attribuons à la pression de gaz dans la genèse du D.I. est justifié par des considérations sur les énergies mises en œuvre (12). Sans entrer dans le détail de ces considérations disons qu'en ordre de grandeur, et en ordre de grandeur seulement, l'énergie que peut libérer du méthane par suite de sa détente brusque est, pour une pression de gaz initiale de 20 bars, 30 fois supérieure à l'énergie nécessaire pour broyer le charbon: la participation des pressions de terrains dans le bilan énergétique global d'un D.I. serait donc faible. C'est bien l'énergie de détente du gaz qui est le moteur essentiel du D.I.

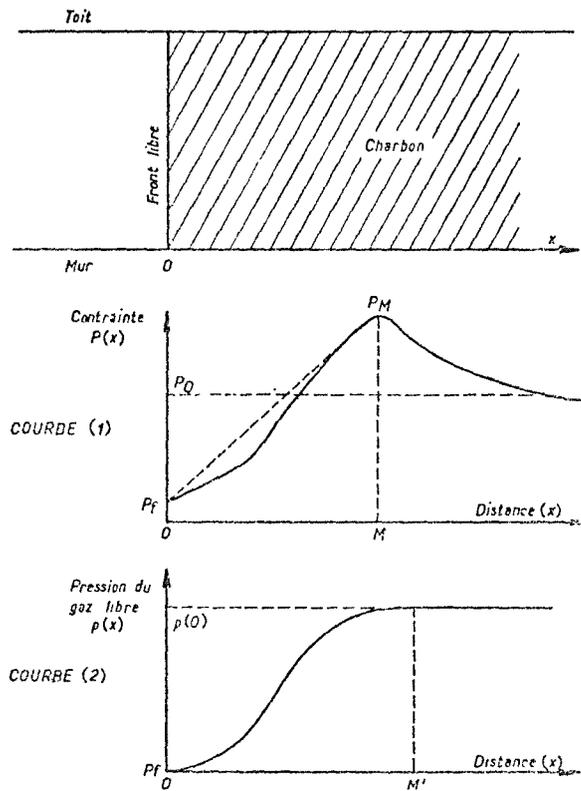


Fig. IV-1

Évolution schématique des contraintes et de la pression de gaz libre en avant d'un front de taille

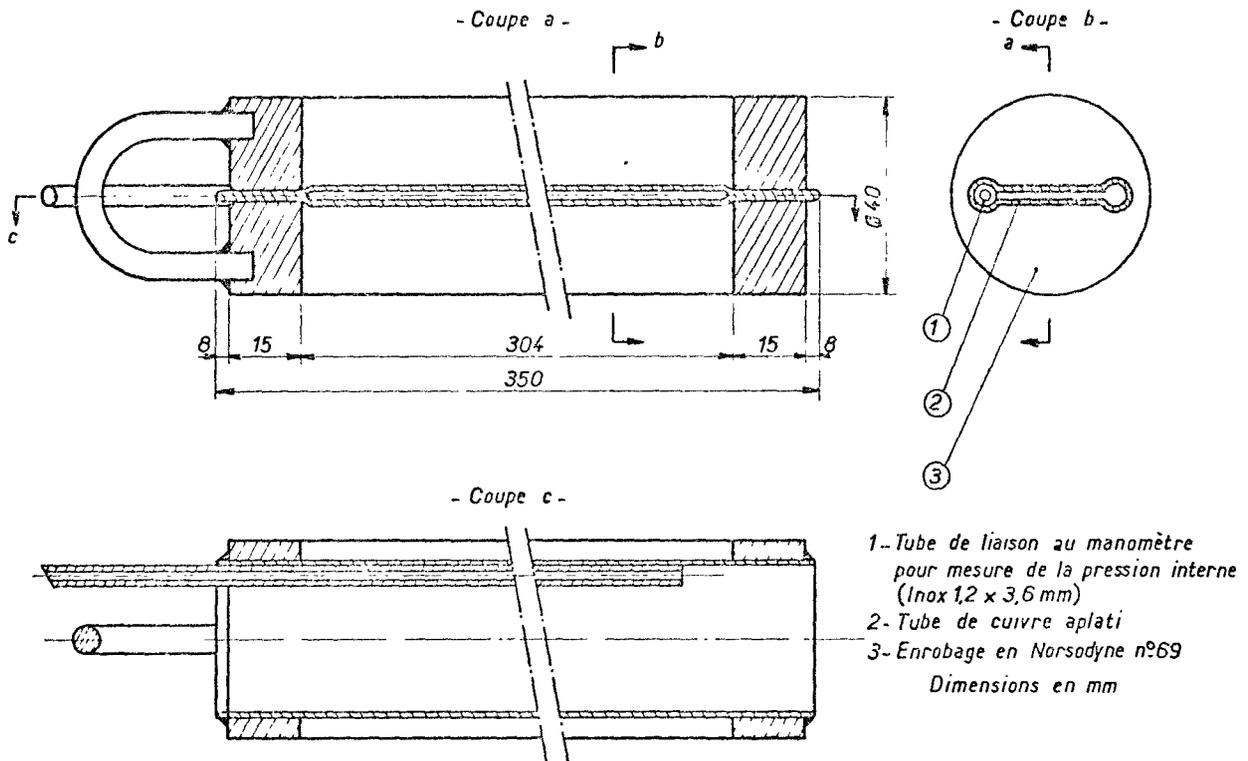


Fig. IV-2 — Capsules pour trous de sonde type B.O.M.

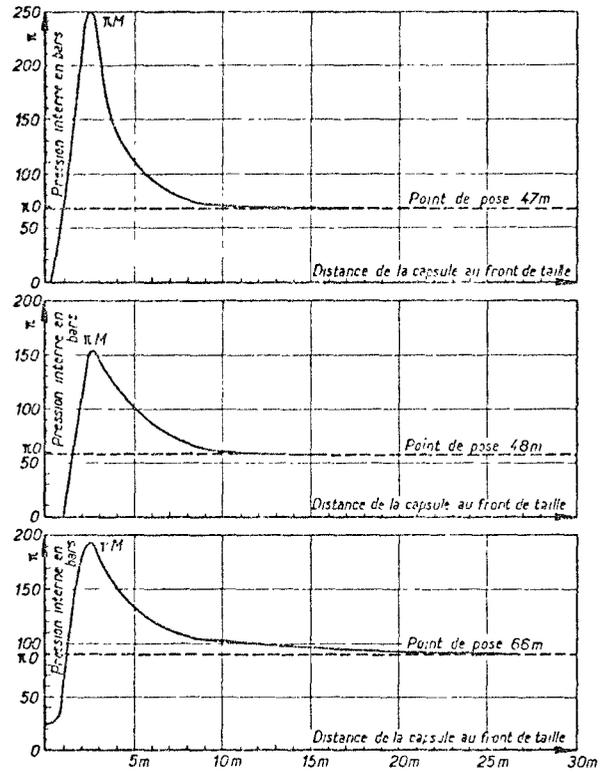


Fig. IV-3 — Exemples d'évolution de la pression interne dans des capsules B. O. M. en fonction de leur distance au front de taille  
 Veine d'ouverture 1,00 m — Taille foudroyée — Profondeur 500 m

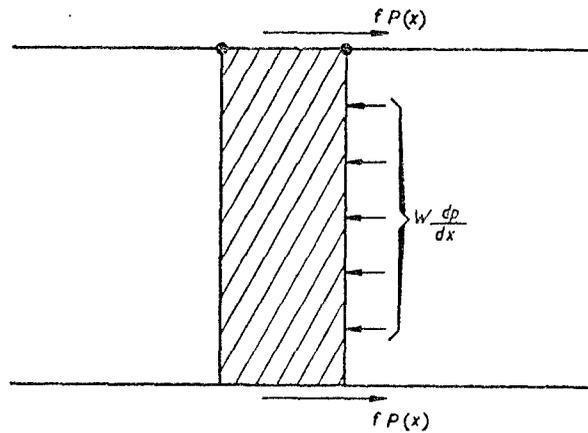


Fig. IV-4 — Équilibre schématique de chacun des « blocs élémentaires » (selon la théorie de J. Gunther)

## Chapitre V

### LES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE POURSUIVIE

Bien qu'ils aient été exposés dans le rapport précédent (6) nous les rappelons brièvement :

1. Caractérisation des panneaux susceptibles de D.I. (prévision générale) de façon à éviter le classement « susceptible de D.I. » de certaines zones et ainsi ne pas leur imposer des méthodes d'exploitation particulières nécessairement plus onéreuses.
2. Recherche d'un signe prémonitoire (prévision locale) en vue de réduire au strict nécessaire l'emploi du tir d'ébranlement ou de toute autre méthode de prévention. Ce qui implique que le signe prémonitoire utilisé soit efficace à 100%.
3. Détection à distance de l'occurrence d'un D.I. ou d'un fort tir en vue d'améliorer la sécurité des visites après tir — éventuellement de les supprimer dans certains chantiers — et de prendre plus rapidement les dispositions nécessaires pour la descente et l'emploi du personnel du poste de travail succédant au tir.
4. Compléter les connaissances acquises sur la chronologie du phénomène D.I. en vue, en particulier, de mieux adapter les appareils électriques de coupure pour étendre l'électrification dans les mines à D.I. et aussi faciliter l'autorisation d'emploi des amorces à retard.
5. Mettre en œuvre de nouvelles méthodes ou améliorer les méthodes de prévention générales ou locales contre des D.I.
6. Assurer les moyens de contrôle de l'efficacité des moyens de prévention mis en œuvre.

Comme par le passé ces divers objectifs ont été poursuivis en maintenant une étroite et amicale collaboration entre les ingénieurs du CERCHAR, les ingénieurs des services spécialisés et les ingénieurs d'exploitation des divers bassins intéressés, les services techniques des Charbonnages de France et les ingénieurs de la Communauté poursuivant les mêmes objectifs dans le cadre de l'aide financière assurée par la C.E.C.A.

## Chapitre VI

### MOYENS DE CARACTÉRISATION DES PANNEAUX SUSCEPTIBLES DE D.I.

Que mesurer pour caractériser la susceptibilité d'un panneau ?

Ce qui a été dit au chapitre IV apporte une réponse à cette question. Pour caractériser la susceptibilité d'une couche il faut s'intéresser :

1. à ce qui permet l'obtention d'un gradient de pression élevé en avant du front. Faute de pouvoir mesurer de façon assez sûre la pression de gaz libre elle-même, nous avons eu recours à la mesure de la concentration désorbable.
2. à la vitesse de désorption du gaz adsorbé. Lorsque le massif se trouve en état de déséquilibre, il ne peut s'opérer un déplacement important de charbon comme ceux que nous constatons que si le gaz adsorbé peut se libérer assez rapidement pour assurer le transport pneumatique du massif désagrégé. Pour cela nous avons pour-
3. suivi l'utilisation de l'indice de désorption V1 qui est un moyen direct d'appréhender la vitesse de désorption du gaz. Mais comme la vitesse de désorption est également accélérée par la fissuration microscopique du charbon, nous avons caractérisé celle-ci soit directement, soit par l'intermédiaire de l'indice  $\Delta p$  d'Ettinger.
3. à ce qui peut caractériser directement — mesures de la résistance à la compression — ou indirectement — indice de fragilité — la résistance mécanique de la veine.
4. enfin à ce qui peut renseigner sur le régime des contraintes en avant du front: position du maximum de contrainte; caractère saccadé de l'évolution des contraintes: en particulier après l'avancement du front méthodes sismiques; mesure de convergence en taille.

## VI.1. Caractérisation en relation avec la présence du gaz dans le massif de charbon

### VI.1.1. MESURE DIRECTE DE LA PRESSION DE GAZ

En théorie il faudrait connaître la pression de gaz  $p(x)$  en avant du front et en déduire le gradient  $\frac{dp}{dx}$ .

Dans un but de rapidité nous nous sommes proposés de déterminer un seul point de la courbe  $p(x)$ , à savoir la pression correspondant à  $x = 2$  mètres. Pour cela nous fîmes un trou de 3 m de longueur que nous obturions par un joint placé à 2 m de profondeur.

#### A — Matériel utilisé

Dans un premier stade nous avons employé la canne d'obturation des trous utilisée pour l'infusion d'eau dans des trous forés avec un taillant de  $\varnothing 45$  mm (fig. VI.1.) : le serrage du joint d'étanchéité était manuel.

La longueur du joint nous ayant parue insuffisante nous avons réalisé une canne à serrage hydraulique dont le corps était constitué par un tube de caoutchouc très élastique  $\varnothing 45$  mm. Le joint avait une longueur de 1 m. La canne était introduite dans un trou foré avec un taillant  $\varnothing 55$  mm. La pression du fluide (eau + 5% d'huile soluble) était assurée par un extenseur Barnier utilisé alors pour mettre en serrage hydrauliquement les étançons à friction (fig. VI.2.). Étant donné l'élasticité du joint, l'étanchéité de la chambre de mesure paraissait convenablement assurée; malheureusement la pression hydraulique de serrage ne pouvait dépasser 10 bars, le joint de caoutchouc éclatant trop fréquemment si on la dépassait.

Cette pression hydraulique de serrage étant trop faible pour certaines mesures, nous avons renforcé les extrémités du joint de caoutchouc et porté la pression de serrage à 20 bars. L'usage de la canne ainsi modifiée s'est avéré dangereux pour le personnel car, par suite de la rupture brutale du joint de caoutchouc, la canne a été plusieurs fois expulsée hors du trou sous l'effet de la pression de gaz mesurée.

Nous avons pallié cet inconvénient en remplaçant le joint de caoutchouc élastique par un flexible Hauhinco résistant à plus de 100 bars, mais la variation de son diamètre, sous l'effet de la pression hydraulique de serrage, était alors insuffisante pour assurer une étanchéité convenable de trous à la paroi irrégulière parce que les charbons dans lesquels nous opérions étaient souvent très fragiles.

#### B — Résultats obtenus

Dans l'ensemble les résultats des mesures de pression à 2 m en avant du front ont été décevants: les mesures de pression étaient trop souvent incorrectes. Lorsque la courbe de montée en pression était visiblement tronquée, comme l'indique la figure VI. 3a, par suite du défaut d'étanchéité, l'expérimentateur était rapidement averti de l'erreur de mesure. La figure VI. 3b montre l'exemple d'une courbe de montée en pression apparemment correcte et pourtant erronée. En effet cette courbe devrait avoir une expression analytique de la forme:

$$p_t = p_\infty (1 - e^{-\alpha t}) \quad (8)$$

où  $p_\infty$  est la pression que l'on veut mesurer,

$t$  le temps depuis l'obturation de la chambre de mesure,

$\alpha$  un paramètre constant dépendant du trou foré.

Or, dans ce cas, on vérifie que la courbe  $\log(p_t - p_\infty)$  exprimée en fonction de  $t$  n'est pas une droite.

Faute de pouvoir exécuter en avant d'un front une mesure de pression de gaz rapide, exacte et sans danger pour le personnel, nous nous sommes contentés, pour contrôler les mesures de concentration en gaz dont nous parlerons plus loin, de mesurer la pression de gaz en vierge à l'aide de longs sondages au rocher ou au charbon obturés au ciment sur une longueur de 20 m au moins. Les valeurs maximales ainsi obtenues ont été:

- 50 bars dans une couche du Nord-Pas-de-Calais (concentration désorbable 15 m<sup>3</sup>/t de méthane pur — teneur en matières volatiles 25% — 1% d'humidité).
- 34 bars dans une couche des Cévennes (concentration désorbable 23 m<sup>3</sup>/t d'un gaz mixte contenant 40% de CO<sub>2</sub>, humidité 1 à 1,5%, teneur en matières volatiles: 10-12%).

### VI.1.2. MESURE DE LA CONCENTRATION EN GAZ DÉSORBABLE

En effectuant cette mesure nous abandonnions donc l'idée de caractériser le gradient de pression de gaz en avant du front pour faire le raisonnement élémentaire suivant: le danger de D.I. doit être d'autant plus important, toutes choses égales par ailleurs, que la concentration en gaz est plus élevée puisque la pression du gaz libre dans les fissures de la veine croît avec la concentration, et de façon plus que proportionnelle par suite de la forme de l'isotherme d'adsorption.

## A — Méthode utilisée

Nous renvoyons aux références (9, 10) pour connaître le mode opératoire utilisé pour la mesure de la concentration en gaz désorbable lorsque le gaz contenu dans le charbon est du méthane pur, ou un mélange  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ .

Nous renvoyons les spécialistes à l'annexe (11), document interne Cerchar, où sont décrits en détail le matériel utilisé et la façon de procéder pour déterminer le rapport  $\frac{\text{CO}_2}{\text{CO}_2 + \text{CH}_4}$  de la fraction de gaz — dite  $\text{O}_3$  — extraite du charbon par broyage.

Rappelons que pour déterminer la concentration en gaz désorbable d'une couche nous avons procédé à des prélèvements d'échantillons de poids réduit (environ 10 g):

- soit au moyen de courts sondages faits au travers d'une frotte rocheuse avant de pénétrer dans la couche;
- soit, le plus fréquemment, en procédant à des prélèvements à des profondeurs croissantes en avant d'un front en activité.

La concentration recherchée est celle indiquée par les prélèvements les plus profonds, sous réserve que les concentrations correspondant à ces échantillons profonds aient des valeurs voisines (à la dispersion des mesures près). Dans le cas contraire, si les valeurs de concentration continuent de croître en fonction de la profondeur des prélèvements, les mesures concernent encore la zone détendue en avant du front; elles doivent être poursuivies plus profondément pour atteindre la concentration désorbable vraie de la couche avant influence du front de taille.

## B — Résultats obtenus

Les mesures faites ont eu deux objectifs :

- comparer les concentrations de divers panneaux d'une même veine ou de panneaux superposés de veines d'un même faisceau dont les susceptibilités au D.I. étaient différentes;
- déterminer un seuil de concentration au-dessous duquel le danger de D.I. soit nul.

Depuis le début de 1965, date à laquelle notre mesure de la concentration désorbable d'un gaz mixte est devenue opérationnelle, les mesures de concentration pour atteindre les objectifs ci-dessus ont été très nombreuses.

Le tableau VI.4 indique quelques-uns des résultats de ces mesures dans le gisement houiller du Gard. Les résultats des mesures dans les quartiers A, B, C de couche X de Panissière attirent tout particulièrement l'attention sur les éventuelles grandes variations de la concentration et de la composition du gaz adsorbé dans les panneaux voisins d'une même couche fortement tectonisée (la figure VI.5 précise les distances séparant les panneaux A, B et C). Le fait signalé ici n'est pas unique. On doit donc prendre garde de ne pas extrapoler imprudemment les résultats des mesures de concentration d'un panneau à un autre panneau contigu de la même veine, ainsi que d'une veine à une autre veine voisine.

De l'ensemble des observations faites dans le gisement des Cévennes et dans les autres gisements français, nous avons pu retirer les renseignements généraux suivants :

- La seule mesure de la concentration ne permet pas toujours de fixer la susceptibilité ou la non-susceptibilité de la couche. On constate, sur le tableau IV, que, pour des concentrations et des compositions de gaz voisines, des couches comme Lise et 3<sup>e</sup> Veine ne présentent pas le même caractère: la première n'est pas susceptible, la seconde est très susceptible de D.I.

Ce résultat n'est pas pour surprendre après ce qui a été dit au chapitre sur la théorie du D.I.: le phénomène D.I. dépend de plusieurs paramètres dont chacun est nécessaire mais aucun n'est suffisant.

- Dans une même veine, les variations de concentration en gaz désorbable rendent bien compte des différences de susceptibilité par rapport aux D.I. de ses divers panneaux.

Cette correspondance a été particulièrement nette dans le cas de Couche IX + X de Panissière.

Mais, comme cette liaison ne peut pas être définie a priori, elle doit être précisée lors des premières exploitations dans la couche et alors servir à contrôler, par exemple, la non-susceptibilité de tel ou tel panneau lors de l'extension des travaux dans la même couche.

- Toutefois, de l'ensemble des mesures de concentrations faites dans l'ensemble des gisements français, il ressort que pour un gaz contenu dans le charbon ne dépassant pas 20-30% de  $\text{CO}_2$ , la non-susceptibilité de la couche est assurée si la concentration en gaz désorbable est inférieure ou au plus égale à  $9 \text{ m}^3/\text{t}$ . Ce résultat statistique n'est évidemment valable que pour les gisements dans lesquels il a été établi.

Il signifie que, lorsque l'énergie mécanique libérable par la détente du gaz est inférieure à un certain seuil, le développement du D.I. n'est plus possible.

## VI.2. Caractérisation en considérant la vitesse initiale de désorption du charbon

### VI.2.1. INDICE DE DÉSORPTION $V_1$

#### A — Méthode et appareils

Le développement du D.I. exige qu'une quantité de gaz suffisante soit contenue dans le charbon mais, de toute évidence, que ce gaz puisse se dégager très rapidement après mise à nu du massif. D'où l'idée de caractériser la susceptibilité d'une couche par un indice lié à la « vitesse initiale de désorption du gaz ».

Cette vitesse initiale pouvait être caractérisée:

- soit par un volume de grisou libéré à la pression atmosphérique par un poids donné de charbon dans un temps donné, après qu'il ait été arraché du massif;
- soit par l'augmentation de pression de gaz due à ce dégagement de grisou si on opère la désorption du charbon dans un volume constant.

Deux appareils ont successivement été mis au point dans ce but:

- Le désorbomètre isobarique Dommier-Durant dont le principe, l'appareillage et le mode d'emploi ont été décrits dans le rapport précédent (chapitre 2, page 25, puis pages 49 à 53).
- Le désorbomètre à volume constant CERCHAR (dit désorbomètre à cadran), qui en raison de sa robustesse et de son mode d'emploi très simple, est maintenant seul utilisé.

La désorption de l'appareil et son mode d'emploi sont indiqués en annexe (13).

Rappelons que l'indice de désorption dit  $V_1$  initialement retenu représentait la quantité de gaz, exprimée en  $\text{cm}^3$ , qu'un échantillon de charbon de 10 grammes et de granulométrie 0,5/0,8 mm, dégage entre la 35<sup>e</sup> et la 70<sup>e</sup> seconde après qu'il a été arraché du massif.

Lorsque le désorbomètre à volume constant a été utilisé nous avons établi, à la suite d'essais au laboratoire, une échelle de correspondance entre l'augmentation de pression et le volume  $V_1$ . Ainsi le désorbomètre à cadran se trouve-t-il gradué en  $\text{cm}^3$

pour 10 grammes et non en augmentation de pression: de la sorte, les mesures faites avec les deux appareils ont pu être analysées et comparées facilement.

#### B — Résultats obtenus

Des milliers de mesures d'indice  $V_1$  ont été faites en France, aussi bien dans les tailles que dans les traçages à la profondeur standard de 2,50 m en avant du front.

Pour déterminer si un certain seuil de l'indice  $V_1$  pouvait fixer la non-susceptibilité d'une couche, nous avons procédé de la manière suivante:

- Partant du principe que les valeurs les plus élevées de  $V_1$  correspondaient au danger maximal, nous avons caractérisé chaque groupe de valeurs prélevées dans un chantier par  $V_1.S$ , c'est-à-dire par la valeur de  $V_1$  qui est dépassée par 5% des valeurs les plus élevées de  $V_1$ .

Cela revient à caractériser un groupe de valeurs par sa « limite à 95% » au lieu de la caractériser, comme habituellement, par sa valeur moyenne et son écart type. Cette façon de faire est beaucoup plus simple et bien en relation avec la nature du danger à caractériser.

Nous avons alors examiné les diverses valeurs des  $V_1.S$  obtenus dans les gisements en vierge, susceptibles et non susceptibles, et dans les gisements susceptibles détendus, donc non susceptibles comme on le verra plus loin. Toutes nos observations nous ont conduit aux résultats suivants (14):

- Lorsque le  $V_1.S$  d'un groupe de mesures de l'indice  $V_1$  est resté inférieur ou au plus égal à  $1 \text{ cm}^3/10 \text{ g}$ , nous n'avons pas constaté l'occurrence de D.I. dans la zone caractérisée par le prélèvement effectué;
- Lorsque  $V_1.S$  a été  $> 1 \text{ cm}^3/10 \text{ g}$ , la plus ou moins grande valeur de  $V_1.S$  n'a pas été un indicateur précis de la susceptibilité: telle veine ( $15 \text{ m}^3/\text{t}$  de grisou pur, 25% de matières volatiles) n'est pas sujette aux D.I. avec un  $V_1.S$  en traçage de  $3,5 \text{ cm}^3/10 \text{ g}$ , alors que telle autre avec un  $V_1.S$   $2 \text{ cm}^3/10 \text{ g}$  est très susceptible ( $23 \text{ m}^3/\text{t}$  de gaz mixte à 40% de  $\text{CO}_2$ ).

La conclusion selon laquelle le risque de D.I. n'existe pas si  $V_1.S < 1 \text{ cm}^3/10 \text{ g}$  ne doit pas être utilisée à la légère, c'est-à-dire à partir d'un échantillonnage insuffisant en nombre et mal réparti dans l'espace. Si, par exemple, un panneau est découpé en creusant à l'avance les deux voies de taille et un montage de taille au charbon, on ne peut pas affirmer que le panneau est indemne du risque de D.I. si les mesures de  $V_1$  n'ont été faites que sur quelques mètres d'avancement de l'un des traçages.

Pour être valables les mesures de  $V_1$  doivent être faites systématiquement à raison d'au moins quatre mesures sur un même front, tous les 10 m d'avancement. Les quatre mesures sur un front seront faites, par exemple, en forant les trous au charbon perpendiculairement au front mais en répartissant ces trous dans les différents sillons si la couche est effectivement divisée en plusieurs sillons ou en les répartissant dans toute la section du front de charbon si la couche est apparemment d'aspect homogène.

## VI.2.2. FISSURATION MICROSCOPIQUE DU CHARBON

L'indice  $V_1$  est, nous venons de le voir, une mesure directe d'une certaine vitesse initiale de désorption. Les études de laboratoire (2) ont montré que la désorption initiale était d'autant plus rapide que l'élément de charbon qui désorbe le gaz est de plus petite dimension. D'où l'idée d'examiner la microfissuration naturelle du charbon et de chercher sa liaison éventuelle avec le risque de D.I.

### A — Mode opératoire

Il a été décrit dans le précédent rapport, chapitre 2, pages 31 à 34 et dans (15). Rappelons qu'à la suite des chercheurs russes (16), nous avons distingué cinq classes de fissuration :

- Classe 1 — moins de 6 fissures par centimètre,
- Classe 2 — 6 à 20 fissures par centimètre,
- Classe 3 — 21 à 70 fissures par centimètre,
- Classe 4 — 71 à 200 fissures par centimètre,
- Classe 5 — plus de 200 fissures par centimètre.

### B — Résultats

Les comptages des microfissures que nous avons effectués ont confirmé le résultat déjà suggéré par le précédent rapport, à savoir : il n'a pas été constaté de D.I. dans les couches dont les échantillons présentaient une fissuration de classes 1 et 2.

Il ne suffit évidemment pas qu'une veine présente des échantillons de classes 3 à 5 pour qu'elle soit sujette à D.I. : c'est une condition nécessaire mais non suffisante de susceptibilité. En d'autres termes il est acquis que les charbons à D.I. sont parmi ceux présentant une intense fissuration.

## VI.2.3. L'INDICE DE DÉSORPTION $\Delta p$ (17.) (18)

Par cet indice on a cherché à caractériser le charbon par une vitesse de désorption mesurée dans des conditions identiques pour tous les échantillons. Pour ce faire, chaque échantillon est, après dégazage sous vide pendant 1 h 40 mn, saturé de méthane à la pression atmosphérique pendant 1 h 30 mn; puis il est mis en communication avec une enceinte de volume fixé dans lequel on a préalablement fait le vide. L'augmentation de pression dans cette enceinte, par suite de la désorption du gaz, est mesurée pour une durée de désorption de 60 secondes: c'est l'indice  $\Delta p$  (en mm de mercure).

### A — Appareillage et méthodes de mesure du $\Delta p$

L'appareil initialement mis au point par Ettinger, a été modifié au CERCHAR pour devenir l'appareil  $\Delta p$  Cerchar qui a été décrit dans le précédent rapport chapitre 2, pages 25 à 28.

Les deux indices  $\Delta p$  0—10 et  $\Delta p$  10—60 retenus pour caractériser la vitesse de désorption de l'échantillon étudié, ont été également définis.

Depuis lors nous avons modifié nos méthodes de mesure et nos appareillages :

- Nous avons retenu comme seul indice caractéristique  $\Delta p$  0—60 à la place des deux indices  $\Delta p$  0—10 et  $\Delta p$  10—60 préconisés par Ettinger;
- Nous avons mis au point une mesure plus rapide de l'indice  $\Delta p$  en déterminant un indice  $\Delta p$  au moment de l'adsorption du gaz et non au moment de la désorption comme indiqué plus haut.
- Enfin nous avons utilisé un appareil dit « à  $\Delta p$  rapide » pour diminuer encore le temps nécessaire pour caractériser un gisement au moyen de  $\Delta p$ .

### 1. Choix de l'indice $\Delta p$ 0—60 d'après Ettinger

Au départ nous avons pensé que les deux indices  $\Delta p$  0—10 et  $\Delta p$  10—60 pourraient avoir une signification différente.

La bonne corrélation entre ces deux indices montre qu'il n'en est rien. Nous avons donc choisi l'indice  $\Delta p$  0—60 défini comme la somme  $\Delta p$  0—10 +  $\Delta p$  10—60, ces deux indices continuant à être mesurés selon la méthode d'Ettinger, c'est-à-dire :

$\Delta p$  0—10 en permettant la désorption dans le vide de 0 à 10 secondes,

$\Delta p$  10—60 en prolongeant la désorption dans le vide de 40 à 60 secondes, le robinet de communication étant fermé de 10 à 40 secondes pour permettre la lecture de  $\Delta p$  0—10.

Cette définition de  $\Delta p$  0—60 peut apparaître illogique: elle nous a été imposée par le fait que, lorsqu'il nous est apparu que  $\Delta p$  0—60 était le seul indice à retenir, nous disposions de très nombreuses valeurs des indices  $\Delta p$  0—10 et  $\Delta p$  10—60 que nous n'avons pas pu ignorer.

Rappelons que l'indice  $\Delta p$  0—60 n'a été utilisé que pour les gisements à D.I. de  $\text{CH}_4$ . Nous avons tenté de l'utiliser comme élément de caractérisation des gisements à D.I. de  $\text{CO}_2$  pur et pour cela nous avons étudié la corrélation entre  $\Delta p$  0—60 fait avec le gaz  $\text{CH}_4$  et le  $\Delta p$  0—60 fait avec le gaz  $\text{CO}_2$  pour les charbons du gisement de la mine Messeix (houillères d'Auvergne).

Cette corrélation — figure VI.7. — présente deux caractéristiques :

- une forte dispersion,
- une non-linéarité.

La non-linéarité est causée par le ralentissement de la désorption par la contre-pression qui se crée dans l'appareil de mesure. La figure VI.8. montre l'importance de ce phénomène pour les valeurs élevées de  $\Delta p$ . Si pour les valeurs de  $\Delta p$  avec le gaz  $\text{CH}_4$ , en général inférieures à 100, l'effet est déjà sensible, il devient inadmissible pour les valeurs de  $\Delta p$  avec le gaz  $\text{CO}_2$  qui atteignent 200.

De ce fait, l'indice  $\Delta p_{0^{60}}$  a été utilisé uniquement pour caractériser la susceptibilité de gisements à D.I. de  $\text{CH}_4$ , avec extension toutefois aux gisements à D.I. de gaz mixte.

## 2. L'indice $\Delta p_{0^{60}}$ mesuré à l'adsorption ou indice $\delta P$ .

La détermination de l'indice  $\Delta p$  selon la méthode Ettinger est longue car il faut dégazer l'échantillon pendant 1 heure 30 secondes sous vide, puis le saturer pendant 1 heure 30 secondes en présence de  $\text{CH}_4$  sous 1 atmosphère.

Or, on sait que la loi initiale de désorption ou d'adsorption s'écrit, pour des grains de charbon :

$$(1) \quad r = \frac{q(t)}{q(\infty)} = 2 \frac{S}{V} \sqrt{\frac{D}{\pi}} \cdot t$$

dans laquelle :

$q(t)$  : quantité de gaz adsorbée ou désorbée après un temps  $t$ ,

$q(\infty)$  : quantité de gaz adsorbée ou désorbée à l'équilibre, (ces deux valeurs en unités arbitraires).

$S$  : surface externe des grains de charbon en  $\text{cm}^2$

$V$  : volume des grains de charbon en  $\text{cm}^3$

$t$  : temps en secondes

$D$  : coefficient de diffusion en  $\text{cm}^2/\text{s}$

Cette formule est valable pour  $r$  inférieur à 0,2 environ.

L'exploitation de la formule permet de calculer les coefficients de diffusion.

Nous avons constaté :

1° qu'il n'y a pas de différence entre les valeurs des coefficients de diffusion à l'adsorption et à la désorption dans un même intervalle de pression;

2° mais que ce coefficient de diffusion varie avec la pression.

La figure VI.9. indique les variations du coefficient de diffusion que nous avons observées en fonction de la pression (inférieure à la pression atmosphérique) pour les gaz  $\text{CH}_4$  et  $\text{CO}_2$  sur un échantillon d'antracite de La Mure. On voit que le coefficient de diffusion en  $\text{CO}_2$  est plus grand que celui de  $\text{CH}_4$  ce qui, d'après (1), donne pour le  $\text{CO}_2$  une vitesse initiale de désorption plus rapide dans l'intervalle de pression considéré.

Du fait de l'identité des coefficients de diffusion à l'adsorption et à la désorption, il devait y avoir une relation entre l'augmentation de pression, à volume constant, lors de la désorption (indice  $\Delta p$ ) et la diminution de pression, à volume constant, lors de l'adsorption (indice  $\delta P$ ) pour un même échantillon (20).

C'est bien ce que nous avons trouvé (19). Pour les charbons de La Mure et des Cévennes on trouve expérimentalement :

$$\Delta p_{0^{60}} = 0,75 \delta P_{0^{60}}$$

Le coefficient 0,75 provient de ce que, dans les deux expériences, on ne travaille pas dans le même domaine de pression: entre 0 à 610 mm de mercure pour  $\delta P$ ; entre 150 et 760 mm pour  $\Delta p$ . Si les coefficients de diffusion sont sensiblement égaux

pour une adsorption entre 0 et 610 mm et pour une désorption entre 760 et 150 mm de mercure, par contre les capacités d'adsorption sont différentes.

Dès lors nous avons transformé notre appareil de mesure de  $\Delta p$  pour faire la mesure de  $\delta P$ : le temps d'exécution de la mesure est diminué de 40%.

### 3. L'indice dit « $\Delta p$ rapide»

Lorsque nous nous sommes rendus compte que seules les valeurs élevées de  $\Delta p$  étaient à prendre en considération pour caractériser la susceptibilité d'une veine, la détermination précise des  $\Delta p$  les plus bas devenait inutile.

Aussi avons-nous recherché un moyen de reconnaître rapidement les échantillons dont le  $\Delta p$  était inférieur à une limite donnée, dans notre cas: 14.

Nous sommes partis de l'idée qu'un charbon adsorbant rapidement le  $\text{CH}_4$  adsorbait aussi rapidement un autre gaz. Nous avons choisi  $\text{N}_2\text{O}$  pour la commodité de son emploi et parce qu'il n'est pas présent naturellement dans le charbon.

La figure VI.10 indique le schéma de fonctionnement de l'appareil et son mode d'emploi: dans les conditions expérimentales imposées, on mesure le temps  $t$  nécessaire pour que le niveau de mercure atteigne le repère ( $r$ ) du tube capillaire.

La figure VI.11 montre l'appareil réalisé.

Nous avons ensuite recherché, pour les charbons du gisement des Cévennes, s'il y avait une relation entre  $\Delta p$  0-60 mesuré avec l'appareil CERCHAR donc à la désorption, et ce temps  $t$ . Les résultats sont indiqués sur la figure VI.12.

On voit que pour les charbons examinés, si  $t > 22$  s, le  $\Delta p_0^{60}$  est sûrement inférieur à la valeur 14 que nous nous étions fixés comme seuil pour les valeurs de  $\Delta p$  à prendre en considération. Seuls doivent être mesurés, avec l'appareil Cerchar, les  $\Delta p$  des échantillons pour lesquels  $t < 22$  s. On voit qu'ainsi on évite de procéder à la détermination inutile de nombreux  $\Delta p$ . Il en est résulté une nette amélioration de la productivité du laboratoire.

Il va sans dire que 22 s n'est pas une limite universelle. Si l'on veut utiliser l'appareil  $\Delta p$  rapide pour éliminer les échantillons de charbon dont le  $\Delta p$  est inférieur à un certain seuil, il faut, pour les charbons à examiner, établir la relation  $t - \Delta p$  de la figure VI.12. — et choisir, en conséquence, la limite pour  $t$  correspondant aux charbons à examiner.

## B — Résultats obtenus avec l'indice $\Delta p$

### 1. Mode d'utilisation des valeurs de $\Delta p$

Lorsque l'on fait un échantillonnage systématique pour  $\Delta p$  dans un panneau de veine, on obtient un ensemble de valeurs obéissant à une certaine loi de répartition statistique.

Pour  $\Delta p$  cette loi de répartition est lognormale comme l'indiquent les trois histogrammes représentés sur la figure VI.13. La figure VI.14, extraite de (14) confirme cette propriété.

Comment caractériser une famille de valeurs de  $\Delta p$ ? Comme pour l'indice  $V_1$ , plutôt que de retenir la valeur moyenne et l'écart type de la famille, nous nous sommes contentés de la caractériser par  $\Delta p S$ .

$\Delta p S$  est la valeur de  $\Delta p$  qui est dépassée par au plus 5 % du nombre des valeurs de  $\Delta p$  de la famille. Sur la figure VI.14,  $\Delta p S$  est défini par la valeur de  $\Delta p$  (abscisse) correspondant au point d'ordonnée 95 de la droite représentant la répartition des valeurs de  $\Delta p$ .

En pratique, on ne trace plus les droites représentatives de la distribution des  $\Delta p$ . Quand on dispose d'un tableau des valeurs de  $\Delta p$ , on élimine 5 % des valeurs les plus élevées; la valeur la plus élevée des  $\Delta p$  restants est précisément  $\Delta p S$ .

Cette façon de faire est légitime par le fait que ce sont les valeurs les plus hautes de  $\Delta p$  qui caractérisent la susceptibilité du gisement au D.I.

Les valeurs de  $\Delta p$  sont, en gisement susceptible, très variables d'un point à un autre du gisement, même lorsque l'on considère une zone de faible étendue. Dans la section droite d'une galerie, on trouve des valeurs très différentes d'un banc à l'autre et, quelquefois, d'un parement à l'autre: on trouve également des écarts importants d'une section à l'autre. Il est donc nécessaire, pour caractériser un panneau, d'effectuer un nombre élevé de prises d'échantillons et de les répartir aussi uniformément que possible dans tout le panneau.

La figure VI.15 montre un exemple d'échantillonnage systématique pour  $\Delta p$  au fur et à mesure de l'avancement d'une voie où n'y a pas eu de D.I., les  $\Delta p$  sont faibles. La figure VI.16 a donné un exemple d'un relevé analogue dans une veine où se sont produits des D.I.: les valeurs de  $\Delta p$  sont beaucoup plus élevées. Enfin, la figure VI.16 b donne un exemple de dispersion des valeurs de  $\Delta p$  dans une même section de galerie.

## 2. Caractérisation des gisements grâce à l'indice $\Delta p$ et à la concentration en gaz désorbable

Un premier examen (14) avait montré que, dans le gisement cévenol, un panneau était exempt du risque de D.I. lorsque la famille de  $\Delta p$  le caractérisant avait un  $\Delta p S \leq 14$ .

Lorsque se sont multipliées les mesures de concentration, il est apparu que cette limite de sécurité diminuait lorsque la concentration en gaz augmentait, ce qui est un résultat logique.

Dans une représentation graphique où  $\Delta p S$  se trouve en ordonnée et la concentration en abscisse, la zone de susceptibilité se trouve délimitée comme l'indique la figure VI.17.

On constate dans le gisement exploré que le  $\Delta p S$  limite de non-danger diminue de 14 pour le gisement de Ricard contenant  $13 \text{ m}^3/\text{t}$  de gaz mixte à 25% de  $\text{CO}_2$ , à la valeur 9 pour le gisement de Panissière contenant  $22 \text{ m}^3/\text{t}$  d'un gaz mixte avec 35% de  $\text{CO}_2$ .

Dans un gisement particulier du bassin du Nord Pas-de-Calais (veine Arago, fosse 7, Liévin), il est apparu que la valeur limite de  $\Delta p S$  se situait aux alentours de 30, (figure VI.18): le charbon contenait de  $13,5$  à  $15 \text{ m}^3/\text{t}$  de  $\text{CH}_4$  avec une teneur en  $\text{CO}_2$  inférieure à 5%. Ce résultat n'est pas incompatible avec les résultats de mesures analogues effectuées dans les gisements belges de Campine.

La comparaison des valeurs limites très différentes pour  $\Delta p$  dans Arago et dans le gisement des Cévennes, montre qu'il ne saurait être question de transposer sans prudence les résultats d'un gisement à l'autre. La première précaution à prendre est de comparer des valeurs limites  $\Delta p S$  pour des charbons de même rang.

De façon plus générale, il faut noter que si une extrapolation prudente est faite et peut permettre de porter un premier jugement sur la susceptibilité potentielle d'un gisement, les normes de caractérisation définitives ne peuvent être admises que si elles sont établies dans le gisement considéré lui-même.

## 3. Différents aspects de l'influence de $\Delta p$ sur l'occurrence des D.I.

Dans ce qui précède nous avons considéré l'indice  $\Delta p$  en tant qu'indice de vitesse initiale de désorption du gaz. En fait il caractérise indirectement deux autres propriétés de la veine.

D'abord, sa résistance mécanique: plus un charbon est à  $\Delta p$  élevé, donc fissuré, plus il est fragile par rapport au même charbon à  $\Delta p$  faible. Un charbon

à  $\Delta p$  élevé offre donc une résistance moins grande à l'effort d'arrachement engendré par le gradient de pression de gaz en avant du front.

De plus, plus un charbon est à  $\Delta p$  élevé, plus sa perméabilité décroît lorsque croît la contrainte à laquelle il est soumis. Toutes choses égales par ailleurs, un charbon à  $\Delta p$  élevé présentera donc un gradient de pression de gaz plus élevé en avant du front.

On voit donc qu'un charbon à  $\Delta p$  élevé est, sous trois aspects (vitesse de désorption élevée, résistance mécanique diminuée, perméabilité faible sous contrainte) particulièrement apte à favoriser le D.I. Ce sont les trois caractéristiques du charbon « moureux » reconnu depuis longtemps comme dangereux par les mineurs, ceux-ci le repérant in situ par une autre caractéristique: son aspect terne.

## VI.2.4. LE DÉGAGEMENT DE GRISOU APRÈS TIR

### A — Mode opératoire

Il est apparu raisonnable de considérer un traçage au charbon comme un gigantesque désorbomètre dans lequel l'échantillon ne serait pas constitué par 10 g de fines de foration mais par les tonnes de charbon extraites par le tir d'ébranlement. De la sorte, on pouvait espérer mesurer un indice de désorption global.

Cet indice de désorption global a été dénommé  $V_{30}$ . Il représente le nombre de  $\text{m}^3$  de grisou dégagé à front du chantier, par tonne de charbon abattue par le tir, pendant les 30 mn suivant l'instant du tir.

Pour calculer  $V_{30}$ , il fallait connaître l'évolution des teneurs dans le chantier après le tir. Cela a été possible grâce au grisoumètre Verneuil — Téléindicateur (VT 60<sub>A</sub>). Cet appareil de sécurité intrinsèque (21) a pu être utilisé dans les mines à D.I. des Cévennes. La tête de mesure était située à 30 m en arrière des fronts du chantier; le poste de lecture de la teneur étant au jour, dans le local de tir.

### B — Résultats

En désignant par  $V_{30 S}$  la limite à laquelle sont supérieures ou au plus égales 5% des valeurs de  $V_{30}$  après tir, nous avons obtenu (14) les résultats suivants pour un total de 1155 tirs contrôlés, le délai séparant deux tirs consécutifs étant sensiblement constant.

- dans les zones non susceptibles de D.I.:  
 $V_{30} S < 4 \text{ m}^3/\text{t}$
- dans les zones voisines de D.I.:  
 $V_{30} S \geq 4 \text{ m}^3/\text{t}$
- mais toutes les zones où  $V_{30} S$  est supérieur à  $4 \text{ m}^3/\text{t}$  ne donnent pas obligatoirement des D.I.: la valeur de  $V_{30} S$  supérieure à  $4 \text{ m}^3/\text{t}$  ne permet pas de quantifier la susceptibilité du panneau dans lequel sont exécutés les tirs.

Au cours de ces observations nous avons constaté que dans une veine donnée il y avait un étroit parallélisme entre les valeurs de  $V_{30}$  et les valeurs de  $\Delta p$ . Aussi, avons-nous abandonné l'usage de l'indice  $V_{30}$  au profit de l'indice  $\Delta p$  et de la concentration en gaz désorbable du charbon.

### VI.3. Caractérisation en relation avec la résistance mécanique des roches

Nous avons indiqué plus haut que l'indice  $\Delta p$  était déjà une caractéristique indirecte de la résistance mécanique du charbon.

Nous avons essayé de caractériser plus directement celle-ci par un test de fragilité et par des essais de résistance à la presse triaxiale.

#### VI.3.1. INDICE DE FRAGILITÉ

Le principe du test, sa réalisation pratique et sa signification sont indiqués dans 15.

Nous rappelons (figure VI.19) que nous avons établi (figure 10, page 231 de la référence 15) une bonne correspondance entre l'indice de fragilité  $F$  défini par le test et l'indice  $\Delta p$  moyen de l'échantillon.

Au moment où nous avons élaboré le test de fragilité, sa mise en œuvre était plus facile que la mesure de l'indice  $\Delta p$ , mais en raison des perfectionnements apportés à la détermination de ce dernier, dont nous avons parlé plus haut, il est devenu plus facile de procéder à la caractérisation de la susceptibilité des gisements de gaz  $\text{CH}_4$  au moyen de l'indice  $\Delta p$ .

Le test de fragilité restait toutefois valable pour les gisements à D.I. de  $\text{CO}_2$  pour lesquels la mesure de l'indice  $\Delta p$  avec l'appareil Cerchar était peu satisfaisante. Mais dans le gisement du Dauphiné, la caractérisation du gisement ayant été convenablement résolue par des mesures particulières de désorption, comme il sera indiqué plus loin, nous n'avons pas poursuivi l'utilisation du test de fragilité, même dans ce gisement.

### VI.3.2. ESSAIS À LA PRESSE TRIAXIALE

C'est évidemment le moyen le plus direct de caractériser la résistance à la compression du charbon.

Nous avons utilisé des éprouvettes cylindriques de diamètre 36 mm et de hauteur 72 mm (élancement: 2) et tracé la courbe effort-déformation pour différentes valeurs de la contrainte latérale et pour diverses éprouvettes de charbons à D.I. ou non D.I.

Quelques résultats sont indiqués figure VI.20.

Ces essais nous ont montré que les charbons se comportaient de façon différente: influence plus ou moins marquée de la contrainte latérale sur le module de déformation  $E$ , phase pseudo-plastique plus ou moins longue avant rupture . . . mais sans que les différences constatées puissent être liées à la plus ou moins grande susceptibilité du charbon.

Nous avons surtout tracé les courbes intrinsèques de ces mêmes échantillons et constaté également (figure VI.21.) que les différences constatées provenaient plus du rang du charbon que de la susception aux D.I.

Compte tenu également de la non-représentativité de l'échantillonnage fait pour tailler des éprouvettes cylindriques puisque l'on ne peut les tailler que dans les parties les plus dures de la veine, nous n'avons pas poursuivi une recherche de caractérisation par ce moyen.

### VI.4. Caractérisation en liaison avec les contraintes

#### VI.4.1. CULÉE DE CONTRAINTE EN AVANT DU FRONT DE TAILLE

Conformément aux enseignements de la théorie sur les D.I., nous avons voulu vérifier si le régime des contraintes en avant des fronts de taille dans les veines à D.I. était différent de celui des tailles en veines non susceptibles. Plus précisément nous avons recherché à mesurer la distance à laquelle se situait la culée de contrainte en avant du front

Nous avons effectué deux études :

- L'une en couche VI du gisement de Panissière (Cévennes): veine de 0,90 m d'ouverture, foudroyée, abattage par tir d'ébranlement, toit de schistes gréseux.
- L'autre en couche IX + X du même gisement: veine de 2,50 m d'ouverture, toit identique, même méthode d'exploitation.

Les figures VI.22. a et b indiquent l'évolution de la pression interne dans une capsule pressiométrique placée en avant du front en couche VI et en couche IX + X. Sur ces graphiques, les valeurs absolues des pressions ne peuvent être interprétées de façon sûre, mais l'on sait que la pression interne dans la capsule varie dans le même sens que la contrainte moyenne dans le massif. La figure VI.23 indique les courbes moyennes d'évolution de la pression dans les deux cas, les capsules ayant été placées au voisinage de la voie de base ou de la voie de tête.

On constate, en ce qui concerne la distance à laquelle se trouve la culée de contrainte en avant du front:

- que les valeurs obtenues sont très dispersées,
- que les valeurs moyennes ne se différencient pas des valeurs que nous avons pu trouver dans des tailles de même ouverture dans des veines non à D.I. d'autres gisements (22).

A cause de l'exécution des tirs d'ébranlement, l'évolution de la pression interne des capsules pressiométriques est moins régulière que dans une taille à rabot par exemple.

Dans leur ensemble, les observations faites ne nous permettent pas d'affirmer qu'en avant d'un front de taille foudroyée dans une veine à D.I. l'évolution des contraintes ait un caractère différent de l'évolution des contraintes en avant d'un front de taille foudroyée dans une veine non susceptible.

Toutefois, cette conclusion ne doit pas être considérée comme absolue car la difficulté de l'expérimentation et le fait que l'on ne peut localiser les observations qu'en bordure des voies ont beaucoup restreint le domaine de notre investigation.

#### VI.4.2. MÉTHODES SISMIQUES APRÈS TIR

##### A — Appareils utilisés

L'appareil utilisé pour l'enregistrement des vibrations des terrains (appareil sismique SC) a été largement décrit dans le rapport précédent (23). De même, l'appareillage d'enregistrement des bruits de massif.

Nous signalons simplement les améliorations récentes de ce matériel.

1. Préamplificateur PS 3 à pile, de sécurité intrinsèque (figure VI.24.). C'est un amplificateur à trois étages, alimenté par une pile de 1,45 volts et de 15 ampères-heure. Son autonomie de marche est de plusieurs mois, son gain de 20

environ. Il est placé au fond, au voisinage du capteur de vibration (géophone). Il permet d'augmenter le rapport signal/bruit lorsque les conditions locales sont telles que des parasites gênants sont captés par les lignes de transmission (24).

2. Appareil de sismique type SCP<sub>1</sub> qui est une variante allégée de l'appareil sismique SC décrit dans le précédent rapport. Il ne comporte que trois voies — l'appareil SC en comporte cinq —. Les performances des deux appareils sont très voisines (figure VI.25.) (25).
3. Appareillage de sismique basse fréquence comprenant un capteur de vibration (géophone à fréquence de résonance 1 hertz et 4,5 hertz), une chaîne préamplificatrice et amplificatrice et un enregistreur photographique ACB identique à celui utilisé sur les appareils SC et SCP<sub>1</sub>.

Nous l'avons construit pour étudier l'agitation d'un massif après tir dans une bande de fréquence allant de 1 à 50 Hz, les autres appareils ayant une bande passante de 20 à 500 Hz (26).

##### B — Résultats obtenus (14, 27, 28)

Dans les conditions indiquées dans le précédent rapport, on avait remarqué, dans le gisement des Cévennes, que les tirs d'ébranlements (T.E.) produisaient, sur les enregistrements sismiques, des regains d'activité que l'on a appelés « agitation sismique ».

Lorsque l'on contrôle systématiquement les T.E. successifs qui sont faits dans un traçage, on constate que certains tirs sont « agités » et que d'autres ne le sont pas.

On appelle S le pourcentage du nombre de tirs agités par rapport au nombre total en tirs effectués.

En dépouillant systématiquement les résultats des contrôles sismiques faits dans les Cévennes, on a d'abord confirmé un résultat ancien, à savoir que dans les zones où se sont produits des D.I., l'indice S est en général très élevé (souvent supérieur à 20). Dans le cas du gisement de Ricard, on a même constaté (28) que S était, en moyenne, d'autant plus élevé que l'occurrence du D.I. était plus fréquente.

En poursuivant les observations (14) on s'est aperçu, toujours dans le gisement des Cévennes, que la valeur de S à partir de laquelle il y avait occurrence de D.I., dépendait en fait de certaines caractéristiques de la veine et, en particulier, de  $\Delta p$  S.

C'est ainsi (figure VI.26.) que dans un diagramme où l'on porte l'agitation  $S$  en ordonnée et l'indice  $\Delta p S$  en abscisse, on a pu voir apparaître, pour des chantiers de veines en plateaux, une zone de non-occurrence des D.I. définie par la relation expérimentale:  $(\Delta p S - 10) (S - 3) < 240$ .

Dans la mesure où l'agitation sismique après T.E. est le témoin d'un brusque réajustement des contraintes en avant du front, il apparaît donc que ces réajustements de contraintes engendrent d'autant plus facilement un D.I. que le charbon :

- possède une vitesse initiale de désorption élevée,
- est plus fragile, donc résiste moins bien à l'effort d'arrachement engendré par le gradient de pression de gaz,

et que le gradient de pression de gaz en avant du front est plus élevé,

toutes ces propriétés résultant, comme nous l'avons dit plus haut, du fait que  $\Delta p S$  est élevé.

En fait, comme l'indique notre théorie sur les D.I., c'est la brusque disparition de l'effort de retenue de la couche résultant du réajustement des contraintes en avant du front qui serait une cause importante de la genèse des D.I. après tir d'ébranlement.

### VI.5. Conclusions d'ensemble sur la caractérisation de la susceptibilité aux D.I. d'une veine

Le D.I. ne peut se produire que si la couche de charbon présente certains caractères, la probabilité de D.I. étant d'autant plus grande qu'il existe davantage de caractères simultanément réalisés.

1. Il faut d'abord que la couche contienne du gaz sous pression:

Faute de pouvoir mesurer commodément cette pression, on mesure la concentration en gaz désorbable. Dans l'état actuel de nos connaissances, il n'y a pas possibilité de D.I. si la concentration en gaz désorbable est inférieure à  $9 \text{ m}^3/\text{tonne}$  (gaz  $\text{CH}_4$  ou gaz mixte).

2. Il faut ensuite que le charbon puisse libérer rapidement le gaz qu'il contient, ce qui implique qu'il possède une vitesse initiale de désorption élevée. Cette vitesse initiale de désorption est liée à la densité des microfissures présentes dans le massif. Elle peut être mesurée:

- soit in situ au moyen du désorbomètre portatif et de l'indice  $V_1 \text{ cm}^3/10 \text{ g}$  (le prélèvement des fines de foration pour la mesure se faisant généralement à 3 m de profondeur).

Si cette vitesse de désorption est suffisamment faible, il ne peut y avoir de D.I., ce qui se traduit par:

$V_1 S < X \text{ cm}^3/10 \text{ g}$  (pour un échantillon de granulométrie 0,5–0,8 mm).

Cette limite  $X \text{ cm}^3/10 \text{ g}$  est variable d'une veine à l'autre; si pour certaines couches elle est de  $1 \text{ cm}^3/10 \text{ g}$  pour d'autres elle peut atteindre  $3,5 \text{ cm}^3/10 \text{ g}$ .

— soit au moyen d'un test reproductible de laboratoire: l'indice  $\Delta p$ .

- a) Dans le gisement des Cévennes (anthracite à 10–12% de matières volatiles), la valeur  $\Delta p S$  au-dessous de laquelle il n'y a pas de danger de D.I. est apparue dépendre, ce qui est en soi logique, de la concentration  $C$  en gaz désorbable des charbons.

Pour  $C = 12 \text{ m}^3/\text{t}$  (gaz avec 25% de  $\text{CO}_2$ )  
 $\Delta p S$  doit être  $\leq 4$ .

Pour  $C = 23 \text{ m}^3/\text{t}$  (gaz avec 35% de  $\text{CO}_2$ )  
 $\Delta p S$  doit être  $\leq 9$ .

( $\Delta p$  étant mesuré sur des échantillons de 3 g de granulométrie 2–3 mm).

- b) Dans le gisement d'Arago (HBNPC),  
 Pour  $C = 13,5$  à  $15 \text{ m}^3/\text{t}$  (gaz avec très peu de  $\text{CO}_2$ )  
 $\Delta p S$  doit être  $\leq 30$ .

( $\Delta p$  étant mesuré sur des échantillons de 3 g de granulométrie 0,25–0,50 mm).

3. Il faut enfin que le phénomène de désorption rapide susceptible de se produire à cause de la présence du gaz et d'une microfissuration intense, puisse effectivement se développer.

Ce qui implique :

- a) que le charbon ait une faible résistance mécanique à la traction (au moins en certains de ses sillons), de sorte qu'il soit désagrégé sous l'action du gradient de pression de gaz régnant dans le massif en avant du front. Ces deux propriétés (résistance faible, gradient de pression élevé) sont liées à l'existence d'un  $\Delta p S$  élevé.
- b) que la contrainte verticale appliquée sur la couche et qui assure la stabilité soit abaissée, ce qui peut se produire s'il y a un brusque réajustement des contraintes en avant du front. L'agitation sismique  $S$  semble rendre compte de l'existence de tels réajustements.

La relation expérimentale (1 p S-10) (S-3) < 240 qui exprime la condition de non-susceptibilité résume les constatations ci-dessus.

La pluralité des conditions nécessaires pour que se déclenche un D.I. explique pourquoi ce phénomène est difficile à prévoir et partant combien il est délicat de disposer des critères de caractérisation simples et sûrs. Aussi faut-il être prudent dans l'utilisation des critères de caractérisation.

La première erreur à ne pas commettre est d'extrapoler des résultats d'un gisement à un autre gisement. En fait, les critères doivent être sérieusement contrôlés — voire établis — dans le gisement que l'on exploite. En particulier ce que l'on établit dans un gisement d'antracite n'est pas valable pour un gisement de charbons gras!

La seconde erreur à éviter est de procéder à un échantillonnage trop sommaire: dans les phases d'étude un échantillonnage pour fixer des critères de susceptibilité doit être systématique et abondant; ce n'est qu'à la phase de contrôle du gisement que l'échantillonnage, tout en restant systématique, peut être allégé.

Enfin on se rappellera que le danger de D.I. dans un gisement est le résultat de la tectonique.

La tectonique générale doit être connue car elle peut souvent permettre de porter un premier jugement sur la susceptibilité d'un panneau (29) par les renseignements qu'elle peut donner sur la présence du gaz (influence des anticlinaux, des failles imperméables qui constituent des pièges naturels), sur l'affaiblissement des propriétés mécaniques des couches (plis, failles de charriages, plans de glissement), sur la présomption de contraintes tectoniques résiduelles importantes (discordance de la stratification du gisement houiller sur un socle cristallin par exemple).

La tectonique locale a également son importance. Une étude statistique portant sur 750 D.I. du bassin des Cévennes survenus entre 1955 et 1965 a montré que la zone s'étendant sur 10 m de part et d'autre des accidents présentait une probabilité de D.I. accrue. Ce rôle de la tectonique locale ne doit toutefois pas être exagéré puisque la même étude a montré que 42% des D.I. se sont produits sans que l'on ait noté, au voisinage, une perturbation tectonique locale notable (brusque variation de l'ouverture de la couche, faille...).

## VI.6. Cas particulier d'un gisement de gaz CO<sub>2</sub> pur: caractérisation localisée du gisement (30) — La Mure (Dauphiné)

Ce gisement est constitué essentiellement d'une couche d'antracite vraie de 10 à 15 m d'épaisseur, pentée à 70°, qui est exploitée par tranches unides-cendantes de 12,5 m de relevée, avec soutirage.

Le problème était de trouver un indice de caractérisation assez sûr pour qu'il permette de décider, au jour le jour, si les traçages faits dans cette couche devaient être menés avec tir d'ébranlement — pour provoquer le D.I. potentiel — ou avec un tir ordinaire — si la zone à miner n'est pas reconnue sujette à D.I. parce que détendue par les tranches supérieures.

Le critère de caractérisation efficace retenu a été une vitesse de désorption mesurée avec un appareil original dénommé « D.I. Aptimètre ». C'est un désorbomètre comprenant — figure VI.27 — un premier réservoir de 100 cm<sup>3</sup> dans lequel on introduit un godet contenant approximativement 10 g de fines de foration. Le godet étant introduit au temps 0 et la porte du réservoir fermée au temps 20 secondes, on mesure de 20 secondes à 80 secondes l'augmentation de pression occasionnée par la désorption du gaz dans une capacité totale de 750 cm<sup>3</sup>.

On appelle « indice aptimétrique A » cette augmentation de pression exprimée en mm d'eau.

Pour caractériser la susceptibilité du gisement dans lequel avance une voie V, on fore des sondages au charbon comme l'indique la figure VI.28, les trous les plus longs ayant 10 m de longueur. On procède à une mesure de A sur les fines de foration à chaque mètre d'allongement des sondages. La mesure de A trouvée au chantier est corrigée ensuite pour tenir compte de la pente du trou, de la profondeur de la mesure, du matériel de foration utilisé.

On dresse alors une carte des valeurs de A dûment corrigées — figure VI.29 — et l'on peut ainsi connaître à quelle distance du front du traçage se trouvent les valeurs élevées de l'indice de désorption. Au vu de cette carte, on décide s'il faut pratiquer un tir d'ébranlement ou un tir ordinaire.

C'est ainsi que depuis plusieurs années sur 45 000 tirs en gisement susceptible, 5 000 seulement ont été faits avec tir d'ébranlement. Pour les 40 000 autres tirs il ne s'est produit que 3 D.I. non prévus à l'avance, ce qui représente une efficacité remarquable de la méthode de caractérisation locale utilisée.

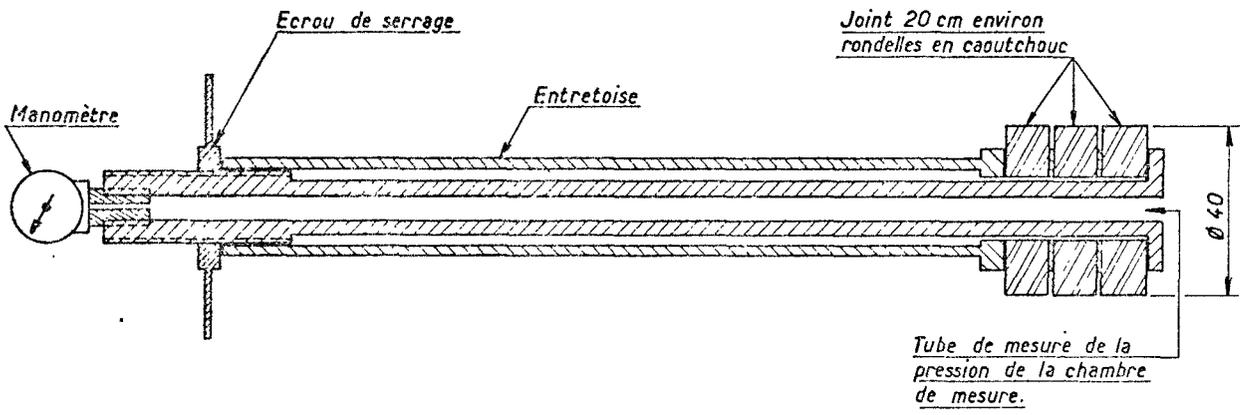


Fig. VI-1 — Mesure de pression de gaz — Canne d'obturation à serrage manuel

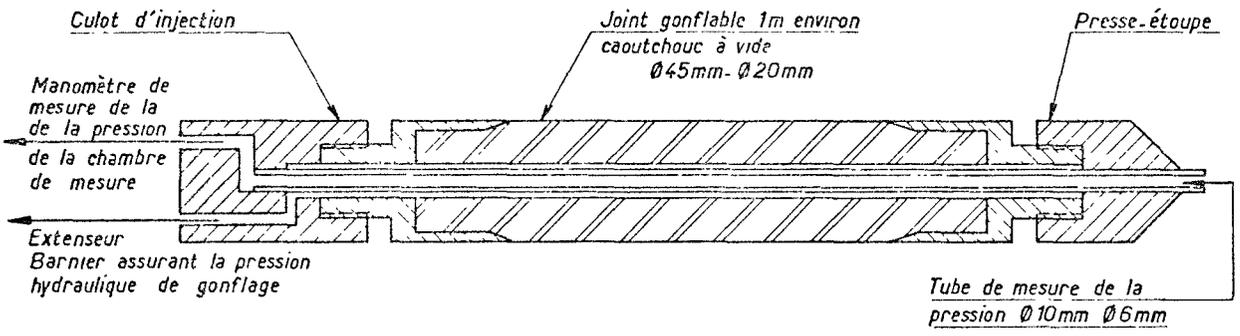


Fig. VI-2 — Mesure de pression de gaz — Canne d'obturation à serrage hydraulique

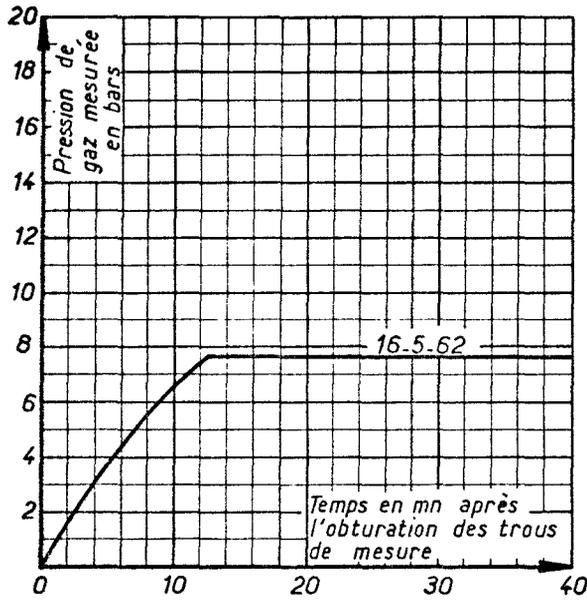


Fig. VI-3a

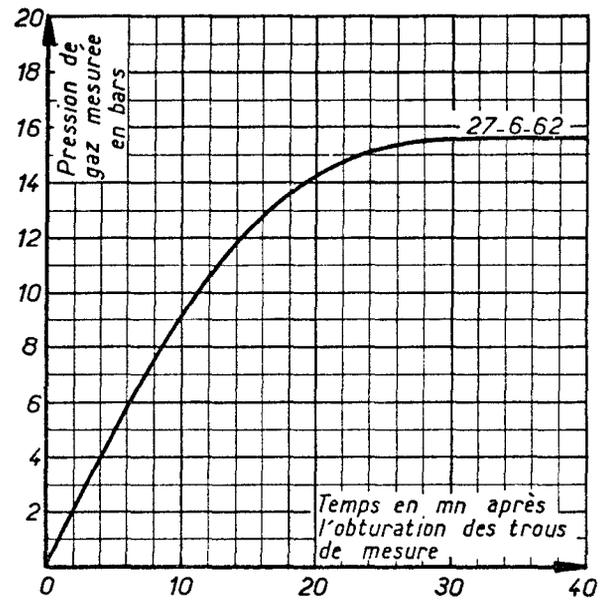


Fig. VI-3b

Fig. VI-3 — Exemple de mesures erronées de pression de gaz en avant d'un front

PUITS	VEINE	OUVERTURE m	CONCENTRATION m <sup>3</sup> /t sur pur	$\frac{CO_2}{CO_2 + CH_4}$	SUSCEPTIBILITE AUX D. I.
Destival	Lise	4,5	13	0,20	non susceptible
Destival	Julie	4,5	10	0,25	non susceptible
Destival	Nicole	1,5	12	0,10	non susceptible
Destival	Olga	4,2	12-13	0,15	non susceptible
Ricard	3 <sup>e</sup>	4,0	12-13	0,20	très susceptible
Ricard	1 <sup>er</sup>	3,0	13	0,20	susceptible
Oules	5	2,5	12	0,15	non susceptible
Oules	Y	2,0	11	0,10	non susceptible
Panissière	VI	0,9	10-12	0,4 - 0,7	susceptible
Panissière	IX + X, C	2-3	12-13	0,80	suspect mais sans manifestation
Panissière	IX + X, B	2-3	16	0,60	susceptible
Panissière	IX + X, A	2-3	23	0,40	très susceptible

Fig. VI-4 — Quelques résultats de mesures de concentration en gaz désorbable dans le gisement houiller du Gard

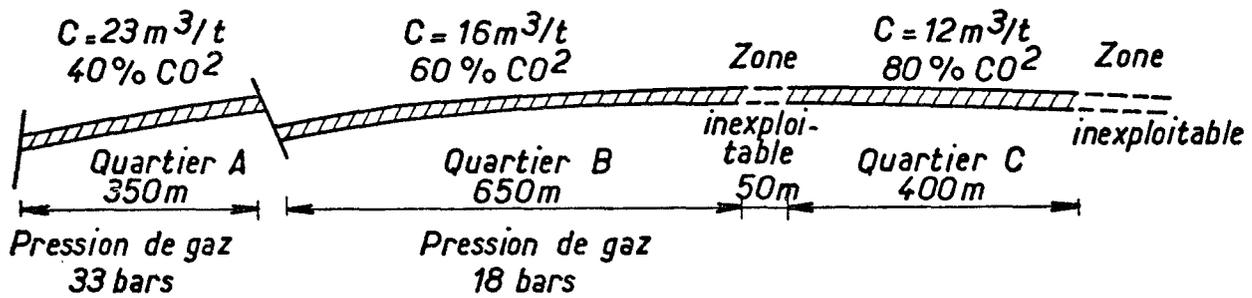


Fig. VI-5 — Panisière — Coupe Nord-Sud du gisement — Couche IX et X

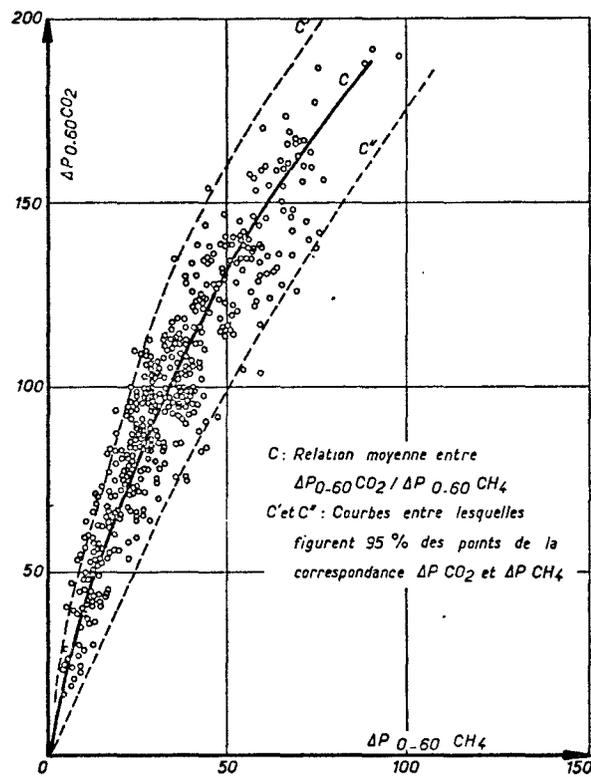


Fig. VI-7 — Corrélation entre  $\Delta P_{\text{CO}_2}$  et  $\Delta P_{\text{CH}_4}$   
Exploitation de Messeix

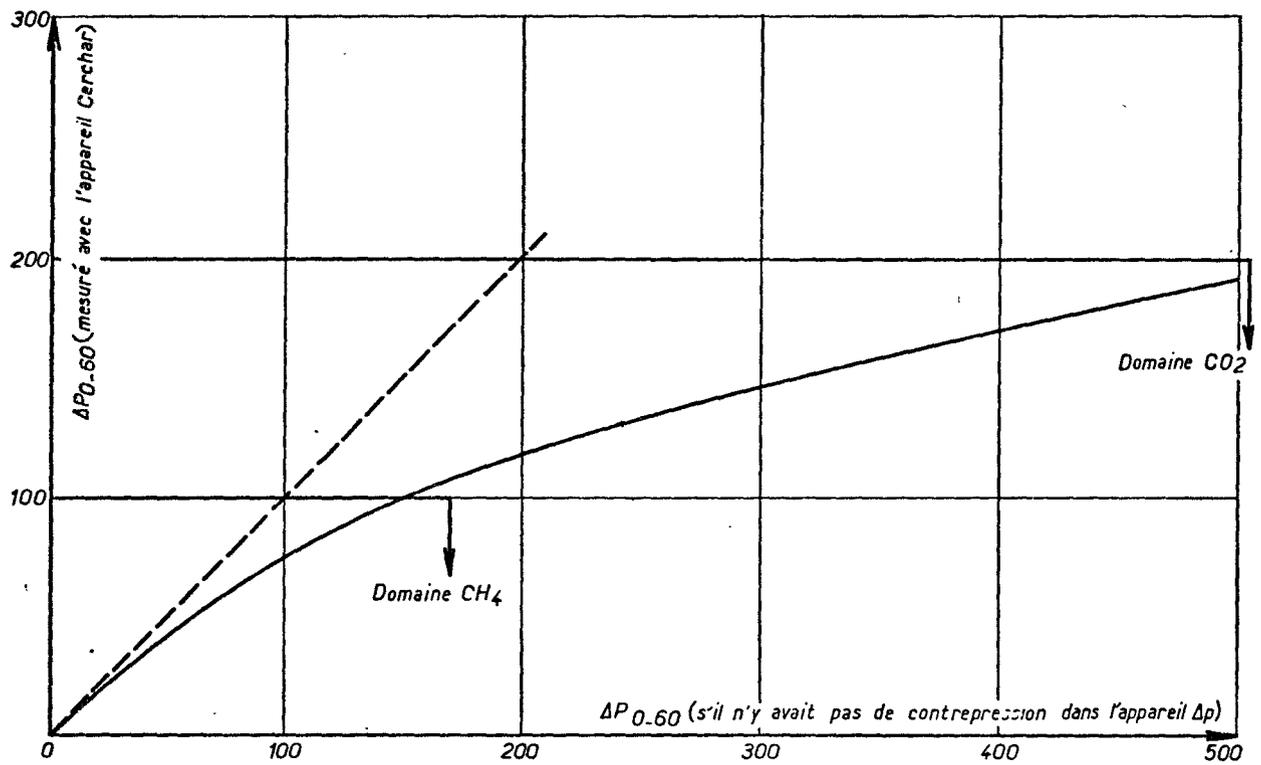


Fig. VI-8 — Relation entre le  $\Delta P$  mesuré avec l'appareil Cerchar (en ordonnée) et le  $\Delta P$  qui serait mesuré s'il n'y avait pas de contre-pression dans l'appareil de mesure (en abscisse)

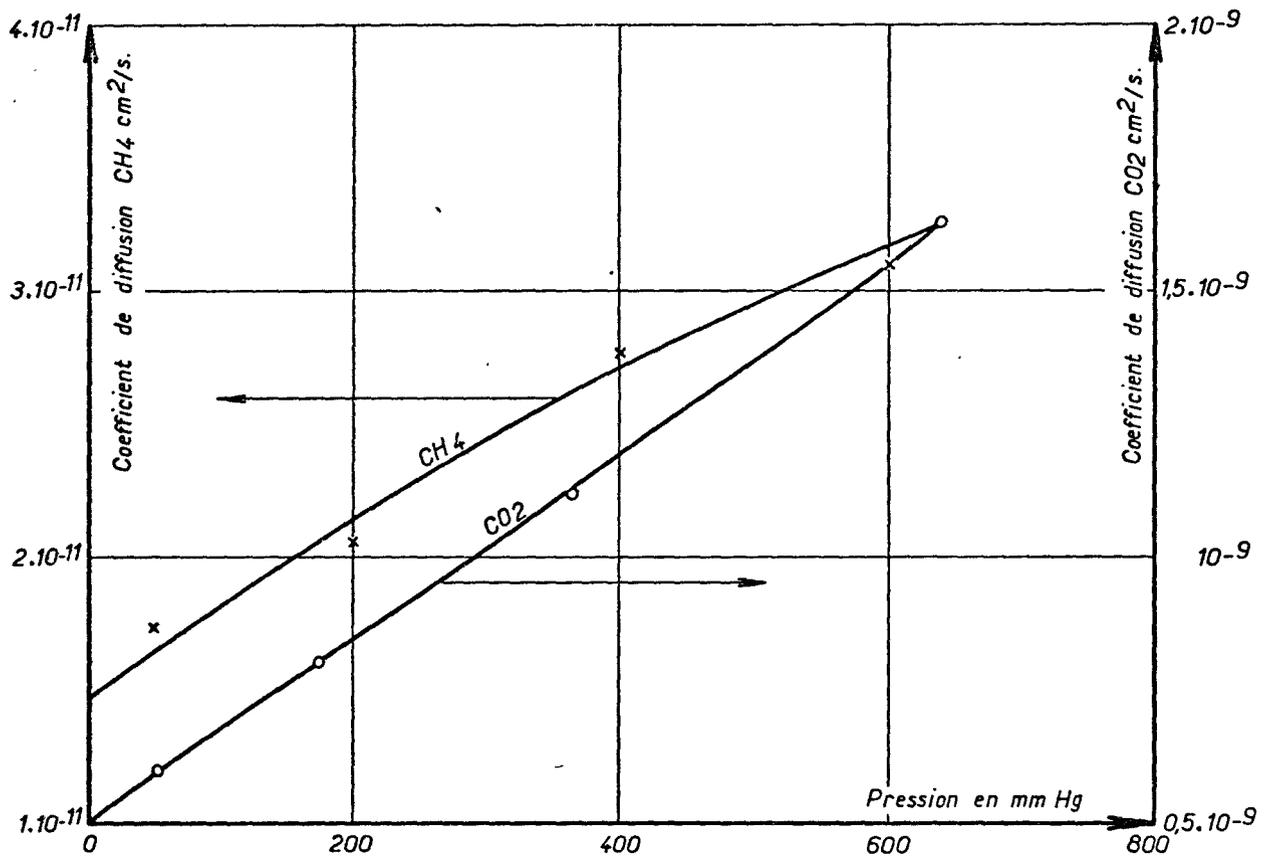
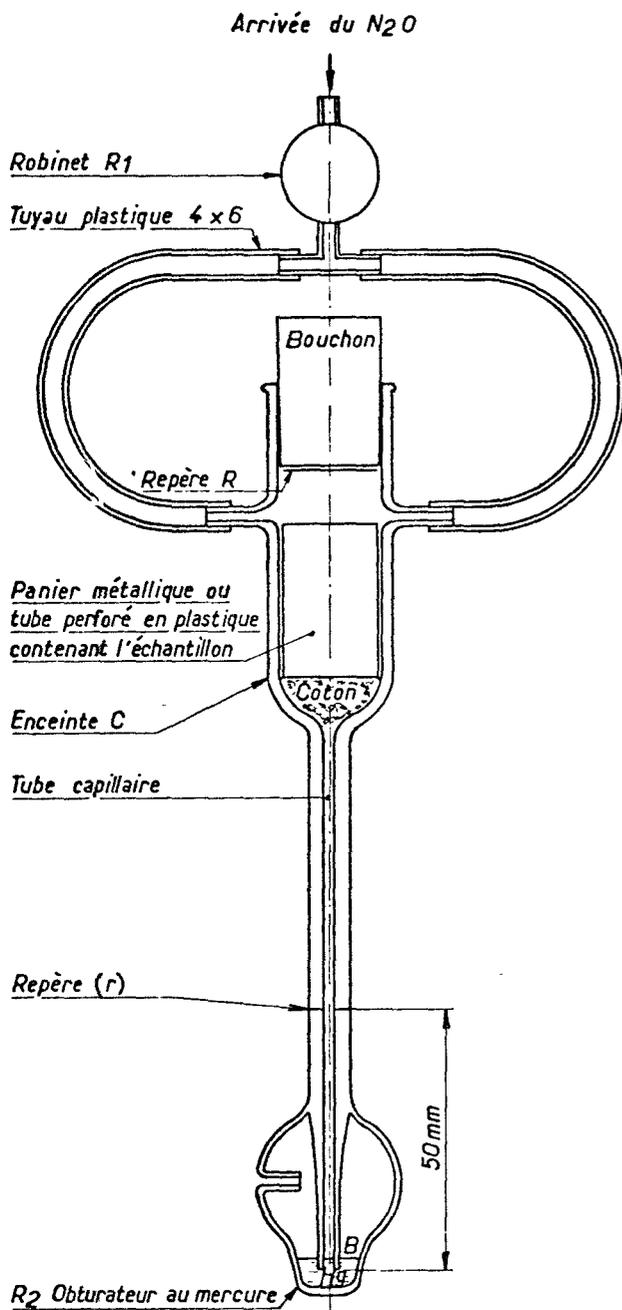


Fig. VI-9 — Variation du coefficient de diffusion avec la pression pour un échantillon de charbon du gisement de la Mure



#### Volume intérieur de l'appareil

Entre les repères A et B (Bouchon enfoncé jusqu'au repère R1 sans le tube perforé ni le coton)

$$V = 17,5 \text{ cm}^3$$

#### Mode d'emploi de l'appareil

- 1- Avant la première mesure, rincer l'appareil avec  $N_2O$  jusqu'au robinet  $R_1$ .
- 2- Mettre les 3 grammes de charbon 0,25/0,50mm dans le panier métallique (1)
- 3- Introduire le panier dans l'appareil et ajuster le bouchon jusqu'au trait repère R.
- 4- Ouvrir le robinet et laisser rincer 5 secondes en observant que le débit est normal grâce au bullage du gaz au travers du mercure.
- 5- Fermer brusquement le robinet à la 5<sup>ème</sup> seconde remettre le chronomètre à zéro et observer la montée du mercure dans le capillaire.
- 6- Noter le temps (t) nécessaire pour atteindre le repère (r). L'expérience ne sera pas prolongée au-delà de 2 minutes, noter alors  $t > 2$  minutes
- 7- Après chaque mesure: enlever le bouchon, récupérer le panier contenant l'échantillon, souffler dans l'appareil pour éliminer au mieux le  $N_2O$

(1) En 2-3mm si le  $\Delta P_{0-60}$  est établi sur cette granulométrie.

Fig. VI-10 — Appareil de mesure du  $\Delta P$  rapide

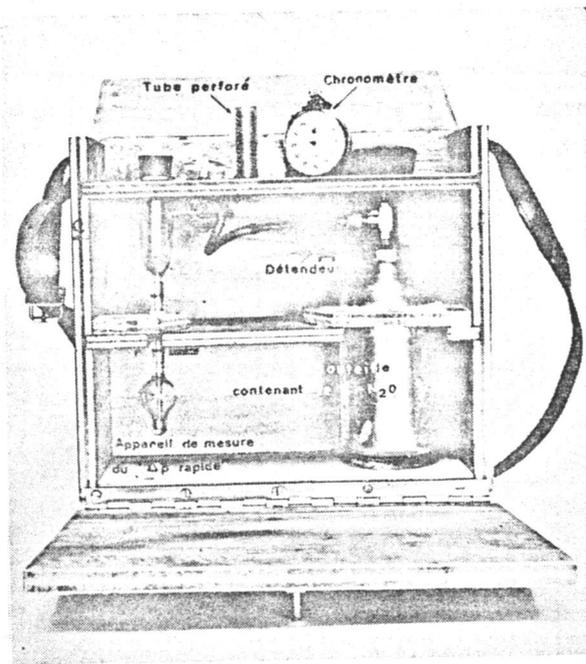


Fig. VI-11 — Appareil de mesure du «  $\Delta P$  rapide »

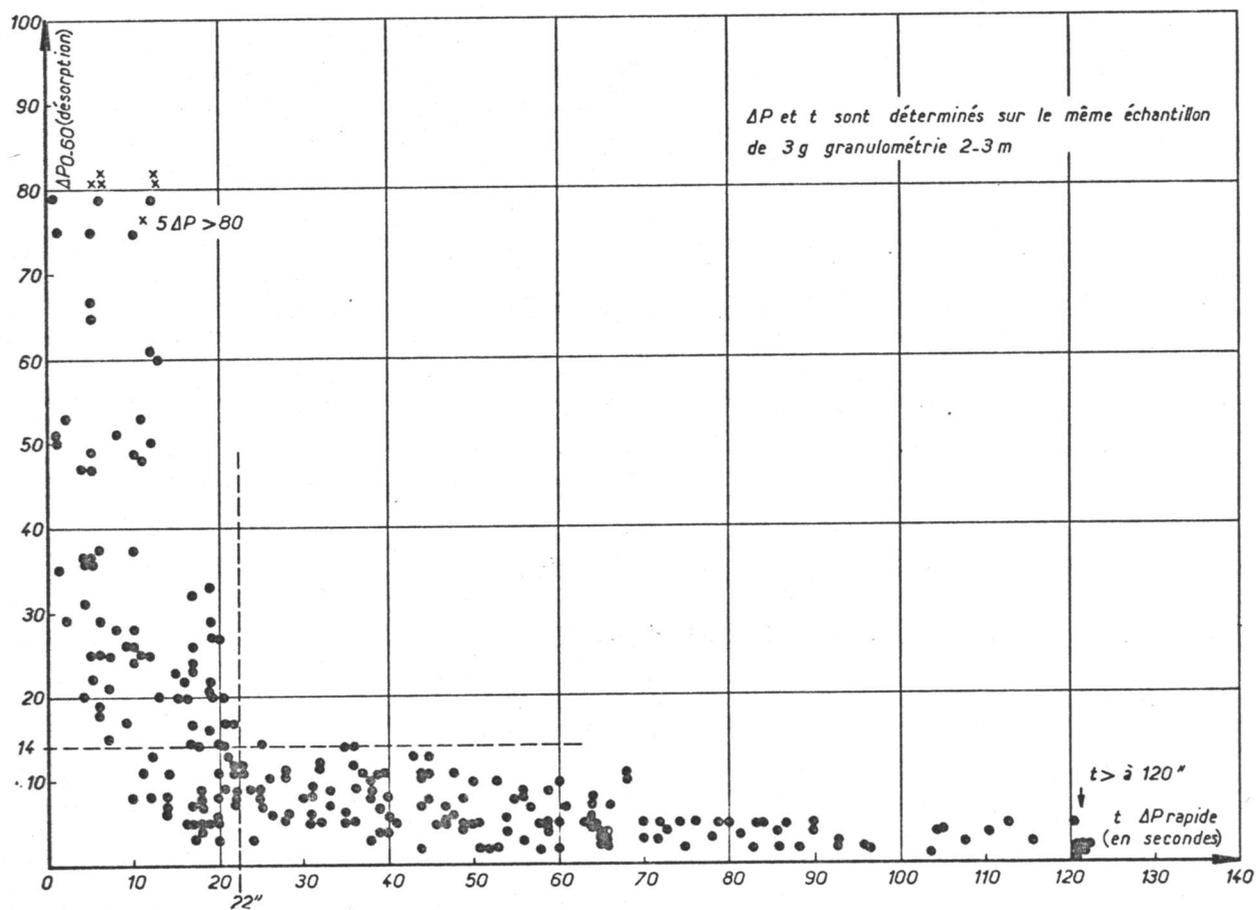


Fig. VI-12 — Relation entre  $t$  et  $\Delta P$

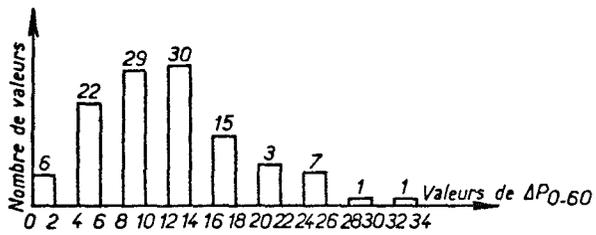
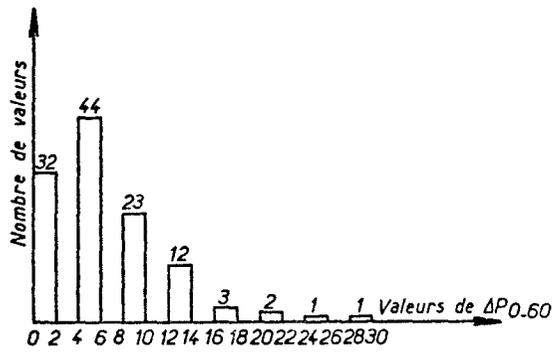
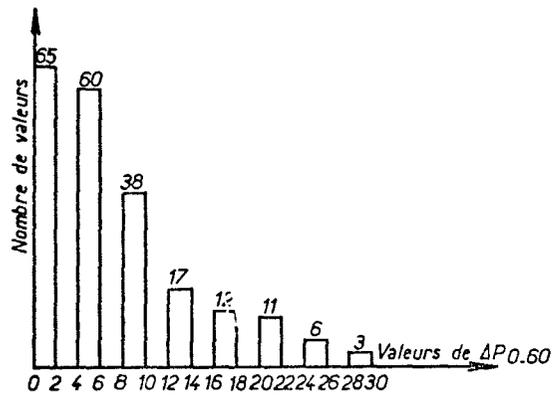


Fig. VI-13 — Histogrammes de familles de valeurs de  $\Delta P_{0.60}$

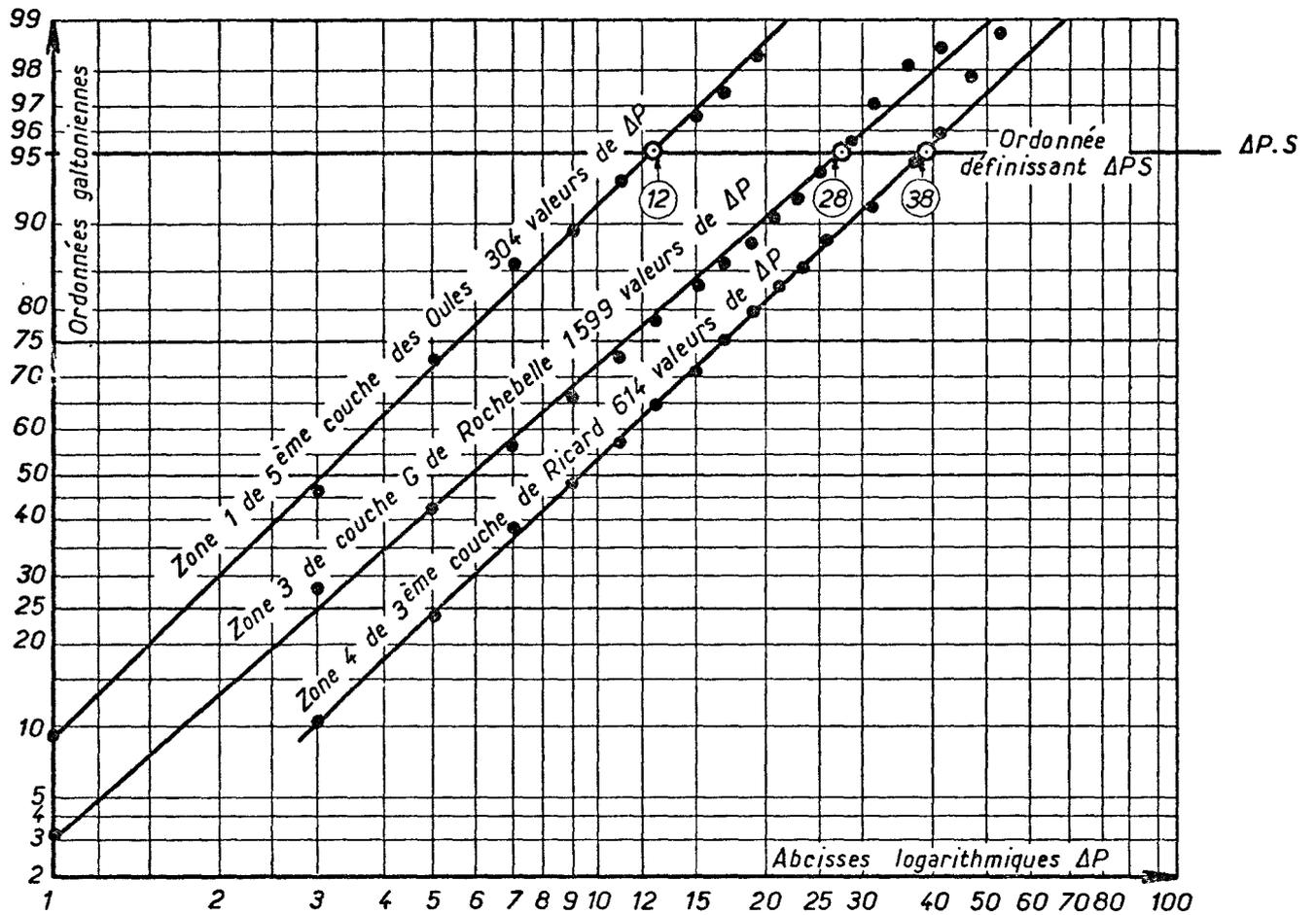


Fig. VI-14 — Répartition des valeurs de  $\Delta P$  dans une zone (3 exemples)

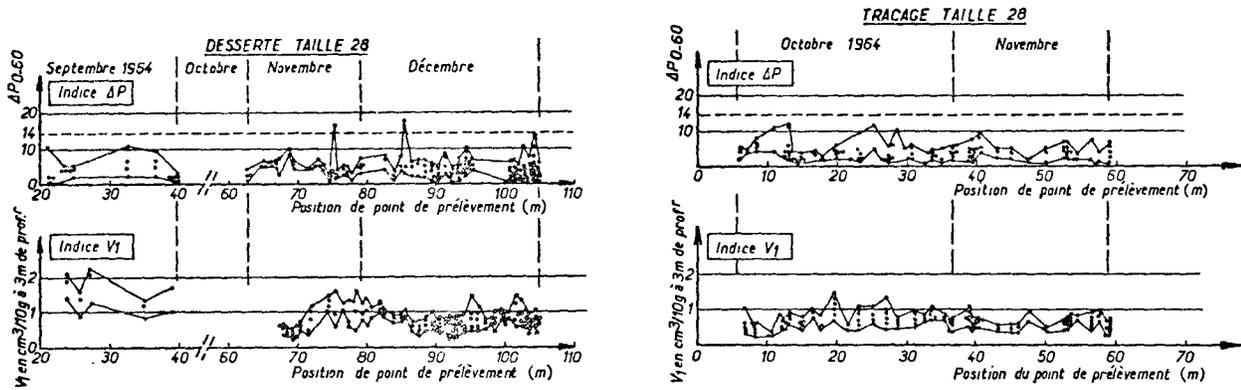


Fig. VI-15 — H.B.C.-Ricard-Quartier Pomarède 3<sup>e</sup> veine évolution de divers indices au fur et à mesure de l'avancement de 2 traçages non susceptibles

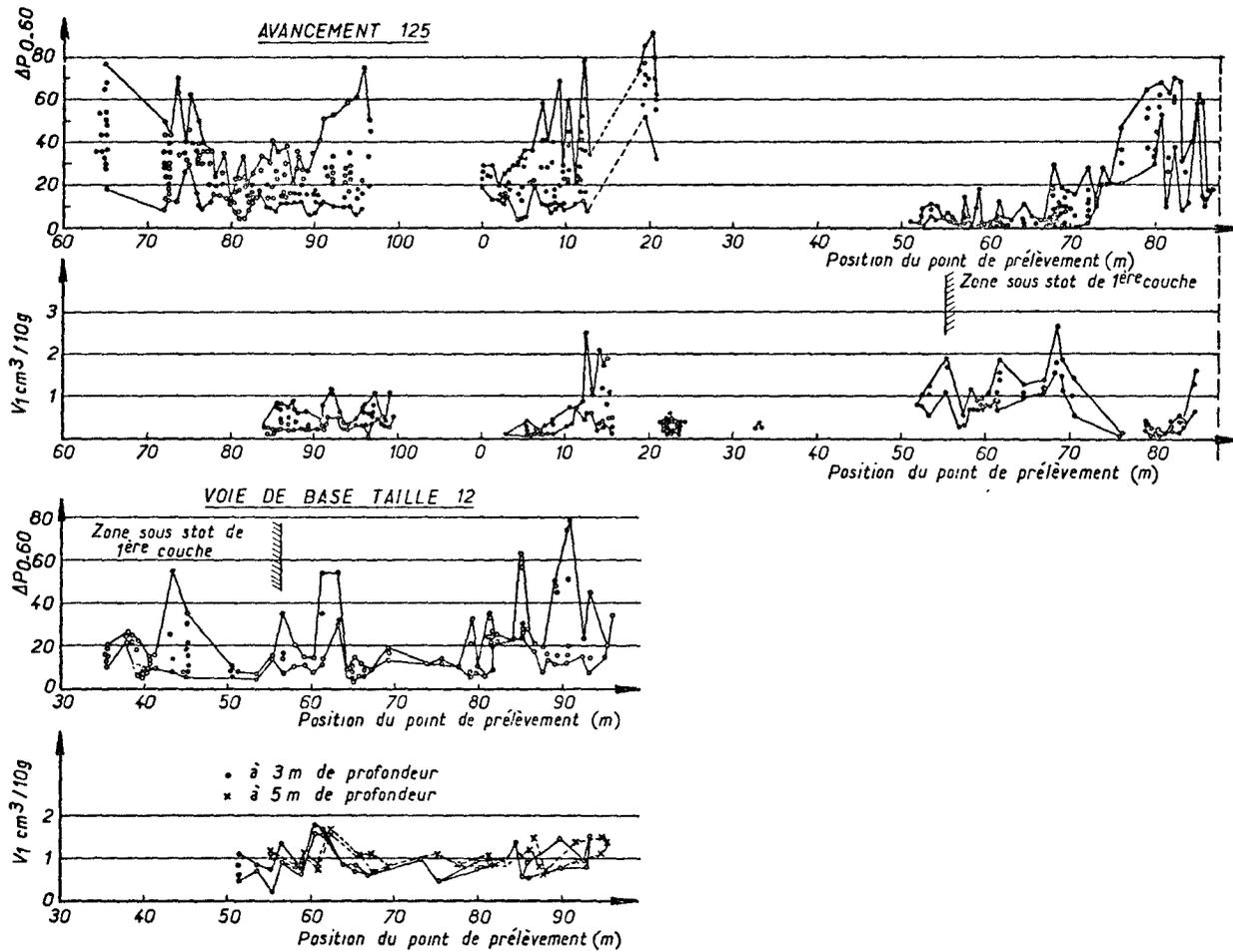


Fig. VI-16a — HBC-Ricard 3<sup>e</sup> veine-évolution de divers indices au fur et à mesure de l'avancement de 2 traçages susceptibles

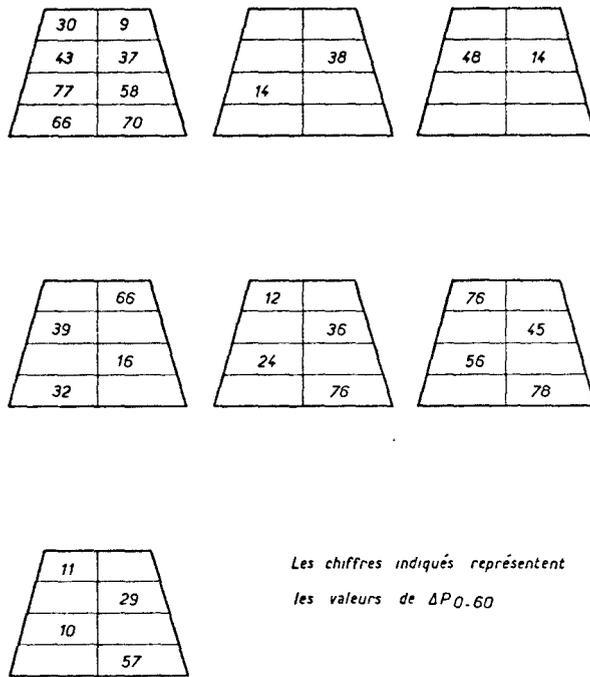


Fig. VI-16-b — Exemple de dispersion de  $\Delta P$  sur un même front-couche G-Cévennes

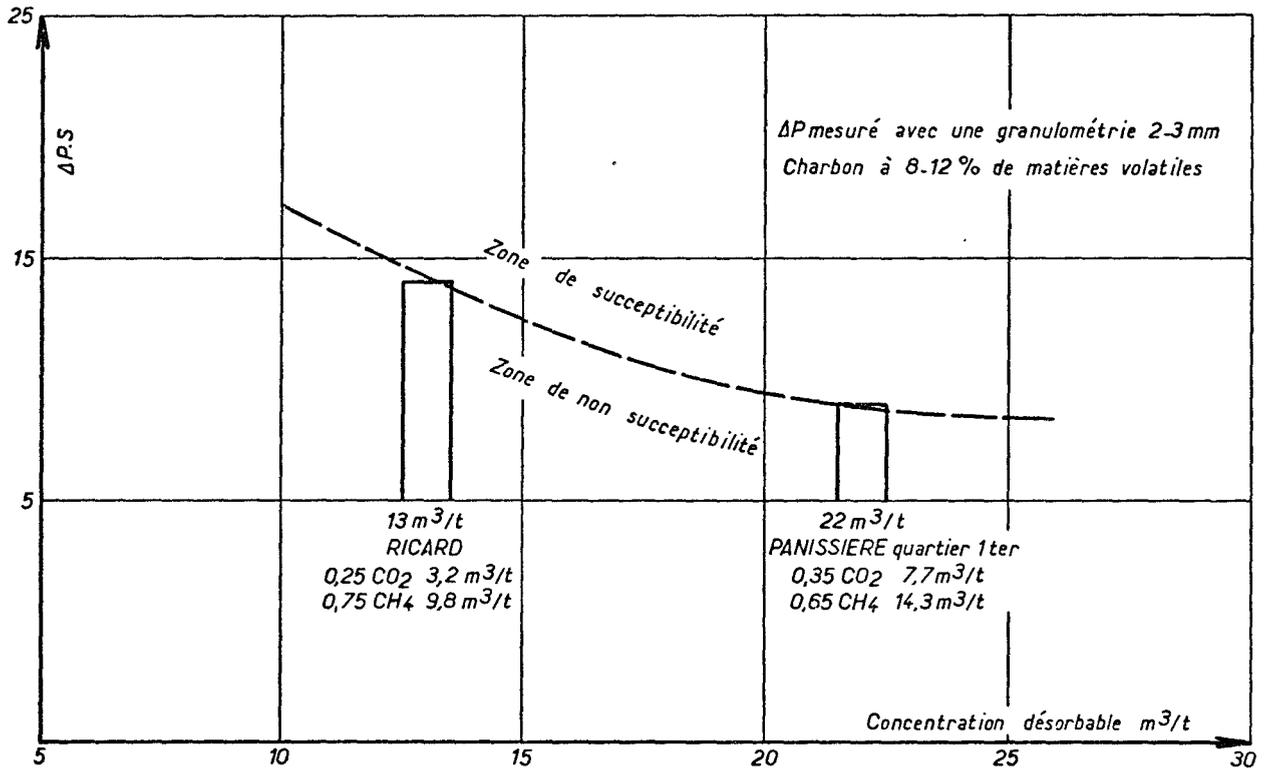


Fig. VI-17 — Caractérisation du gisement — Houillères du bassin des Cévennes

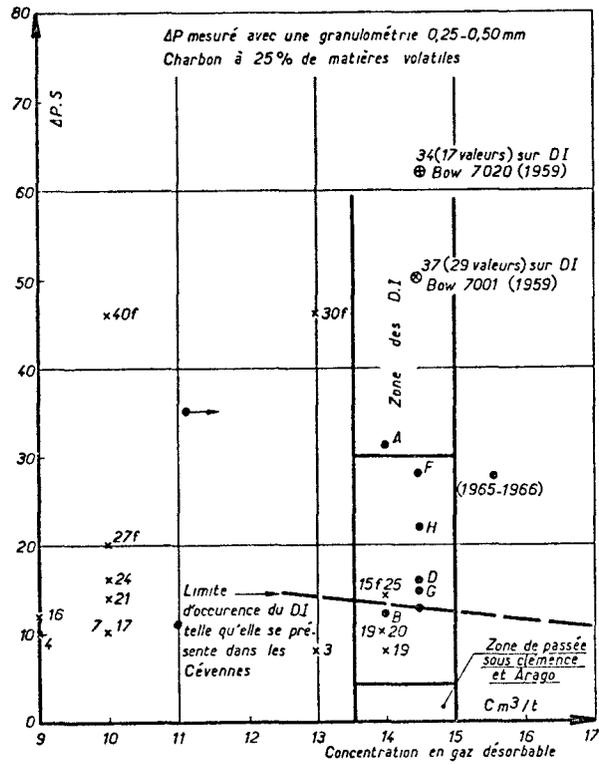


Fig. VI-18 — Caractérisation du gisement Arago

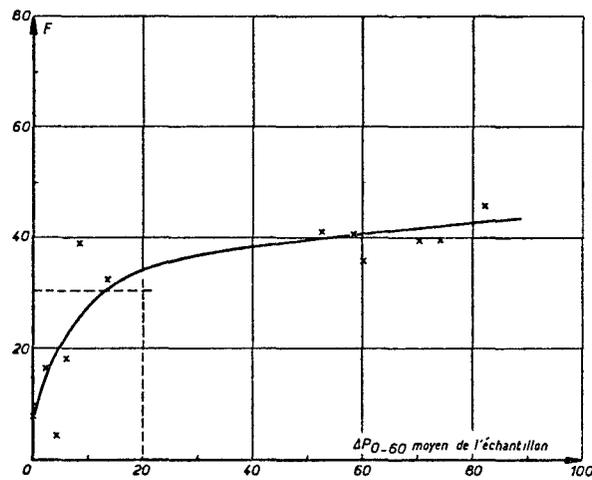


Fig. VI-19 — Relation entre l'indice de fragilité F et  $\Delta P$

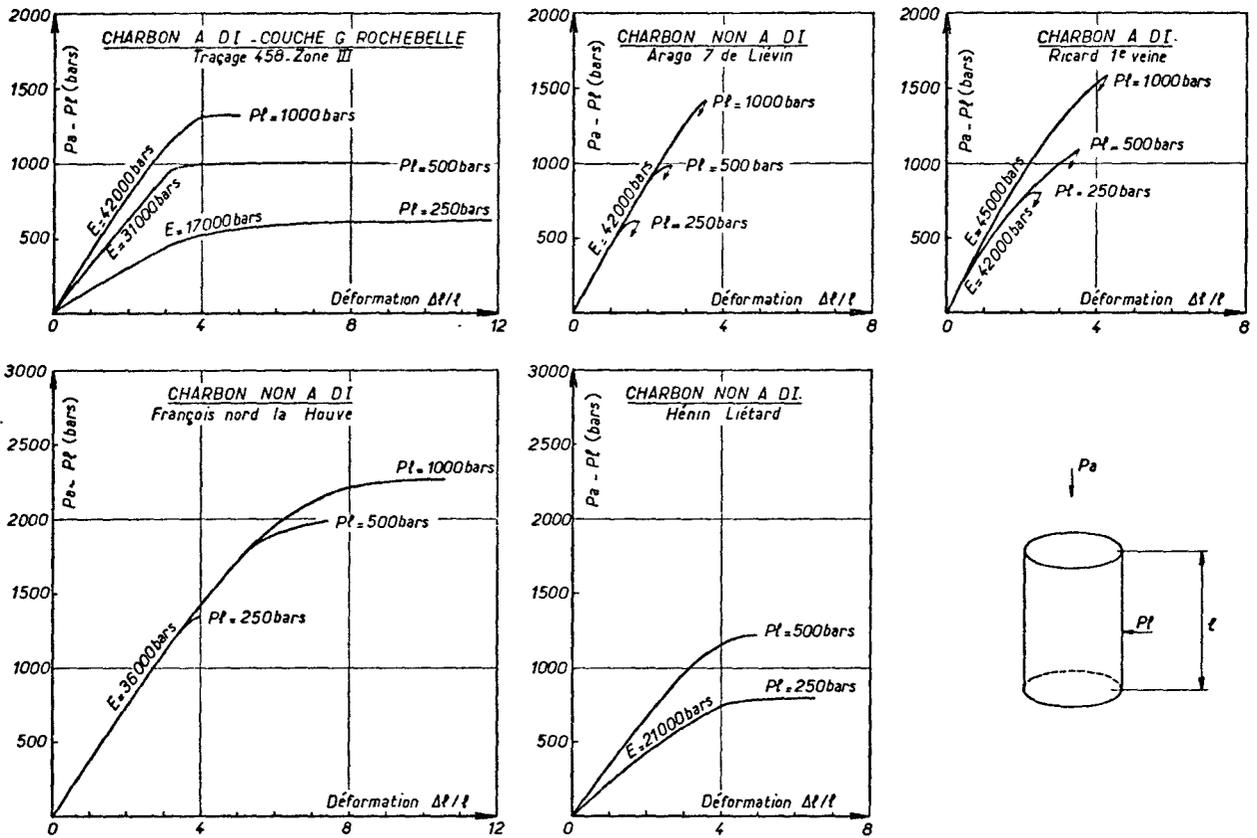


Fig. VI-20 — Essais à la presse triaxiale courbe effort déformation

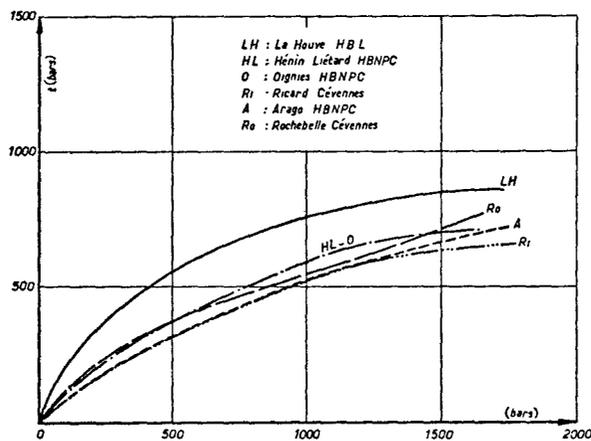
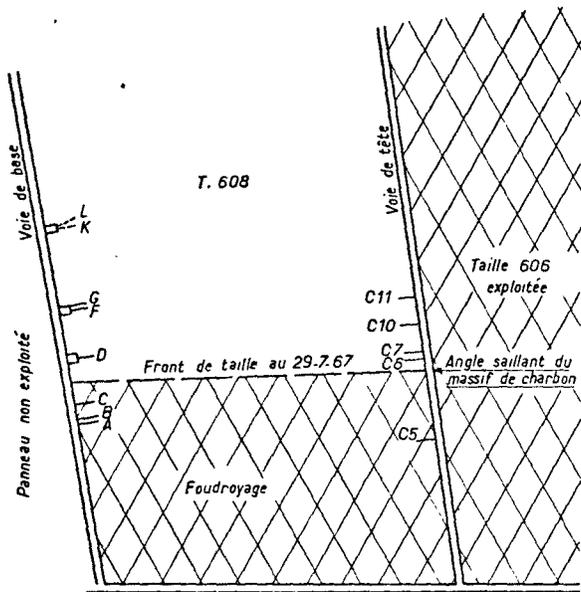


Fig. VI-21 — Courbes intrinsèques de différents charbons

H.B.C. - SECTEUR NORD  
 PANISSIERE - COUCHE VI - TAILLE 608



Situation des capsules B.O.M placées en voie de tête et en voie de base à une distance de 10m à 15m du parement de la voie

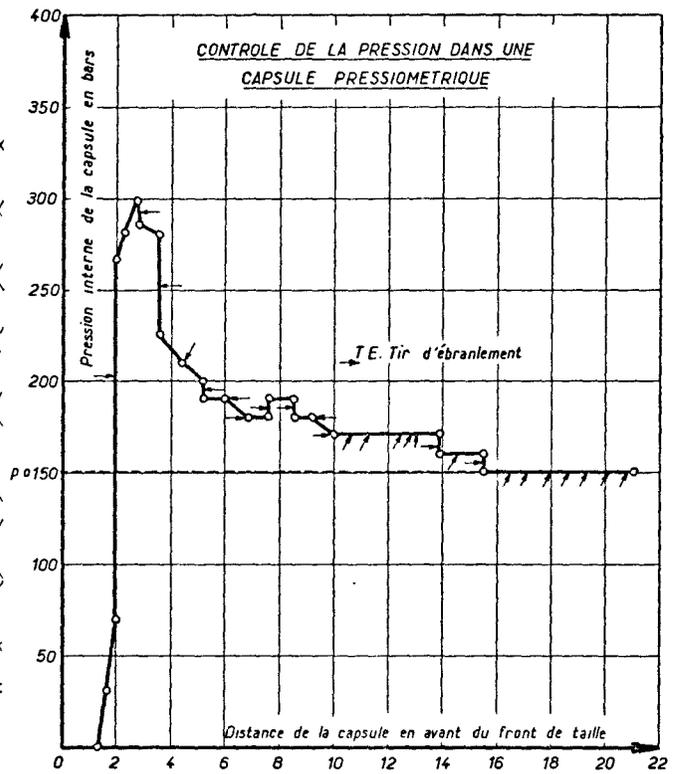


Fig. VI-22a

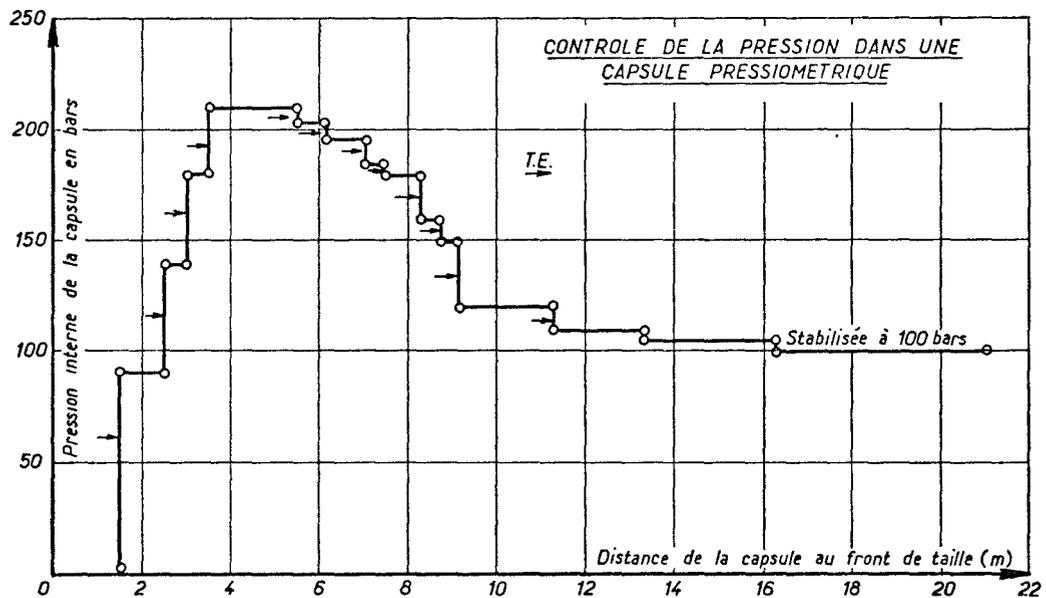
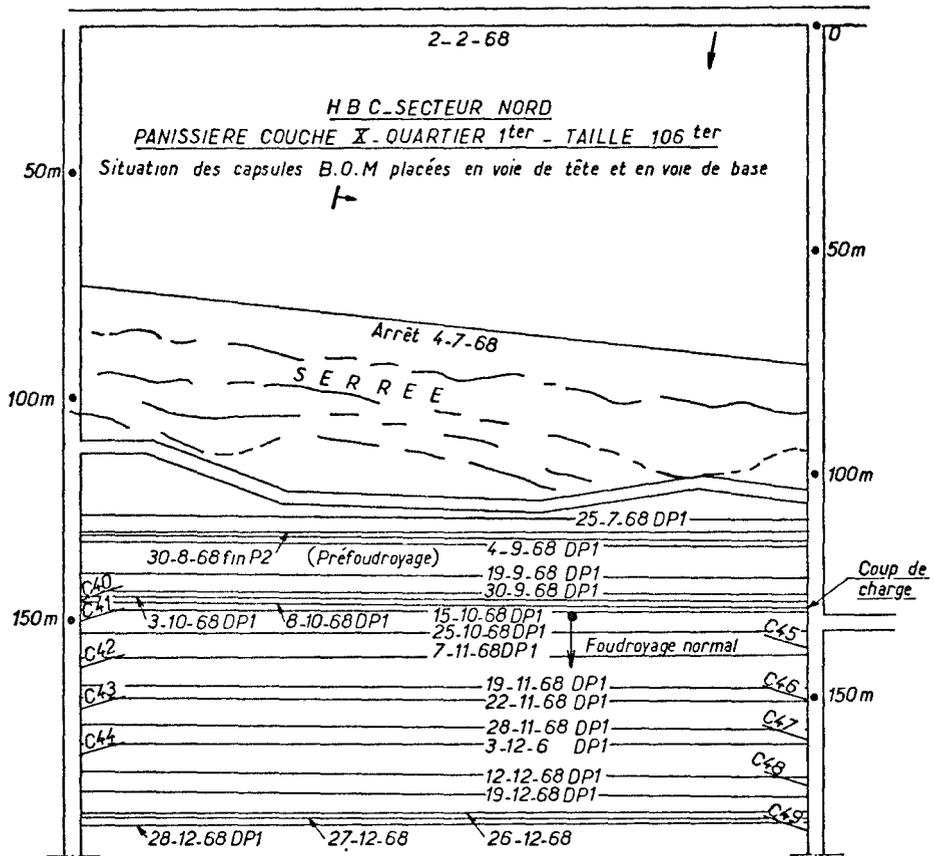


Fig. VI-22b

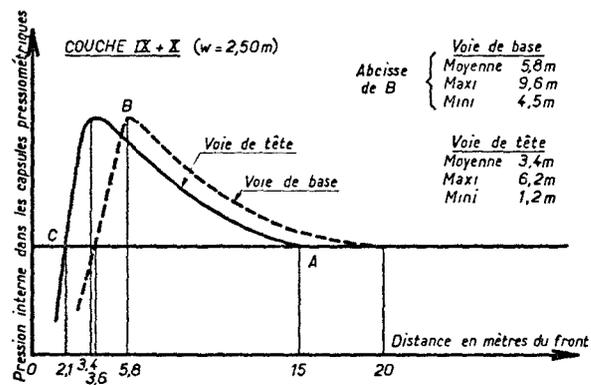
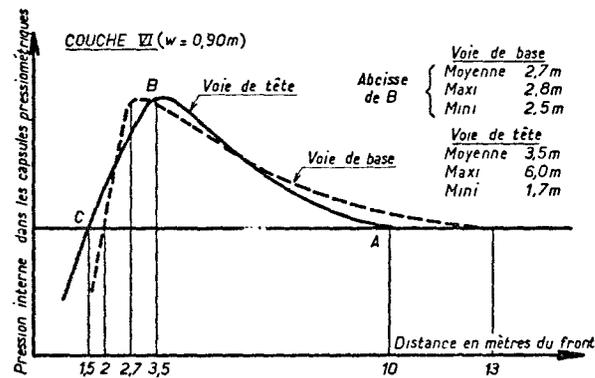


Fig. VI-23 — Évolution des pressions dans les capsules pressiométriques (courbes moyennes)

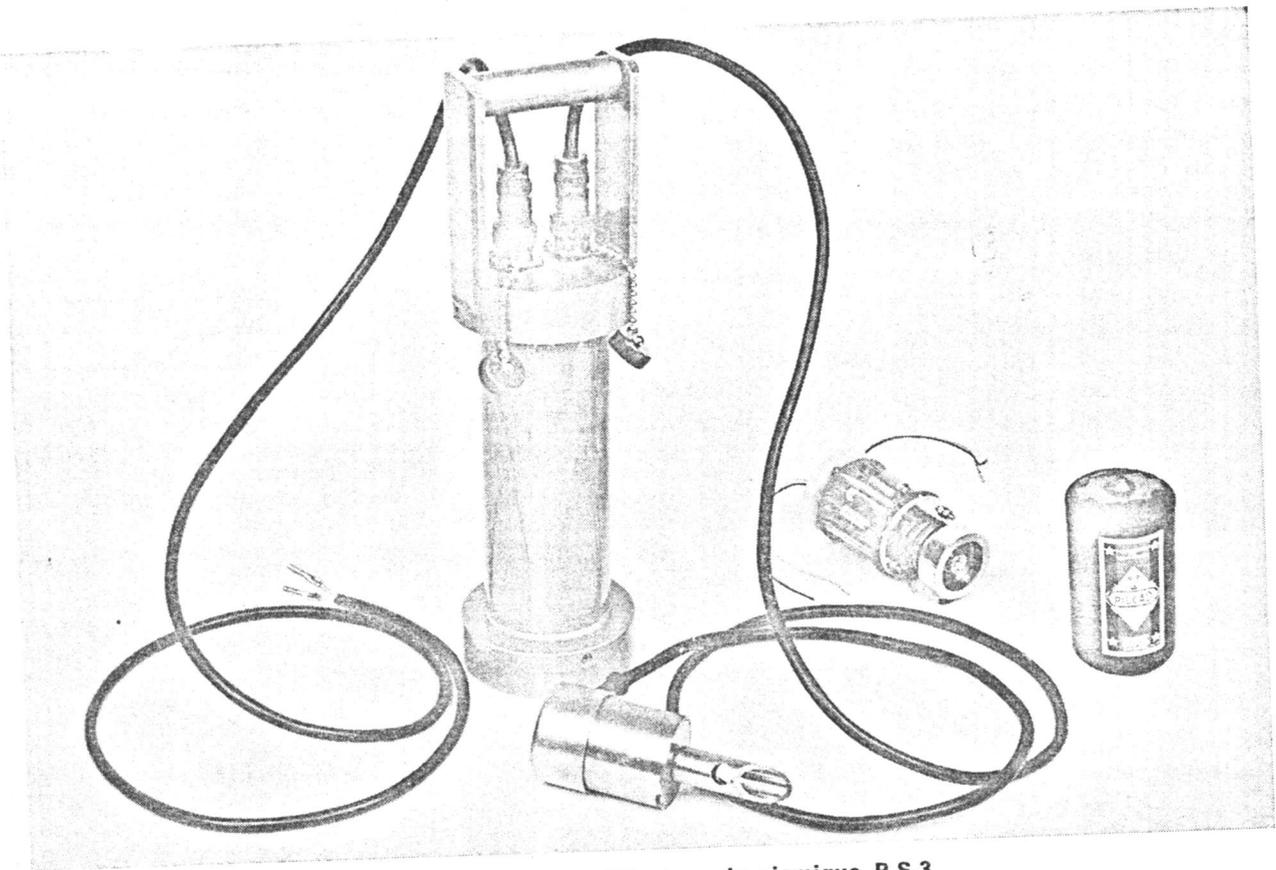


Fig. VI-24 — Préamplificateur de sismique P.S.3

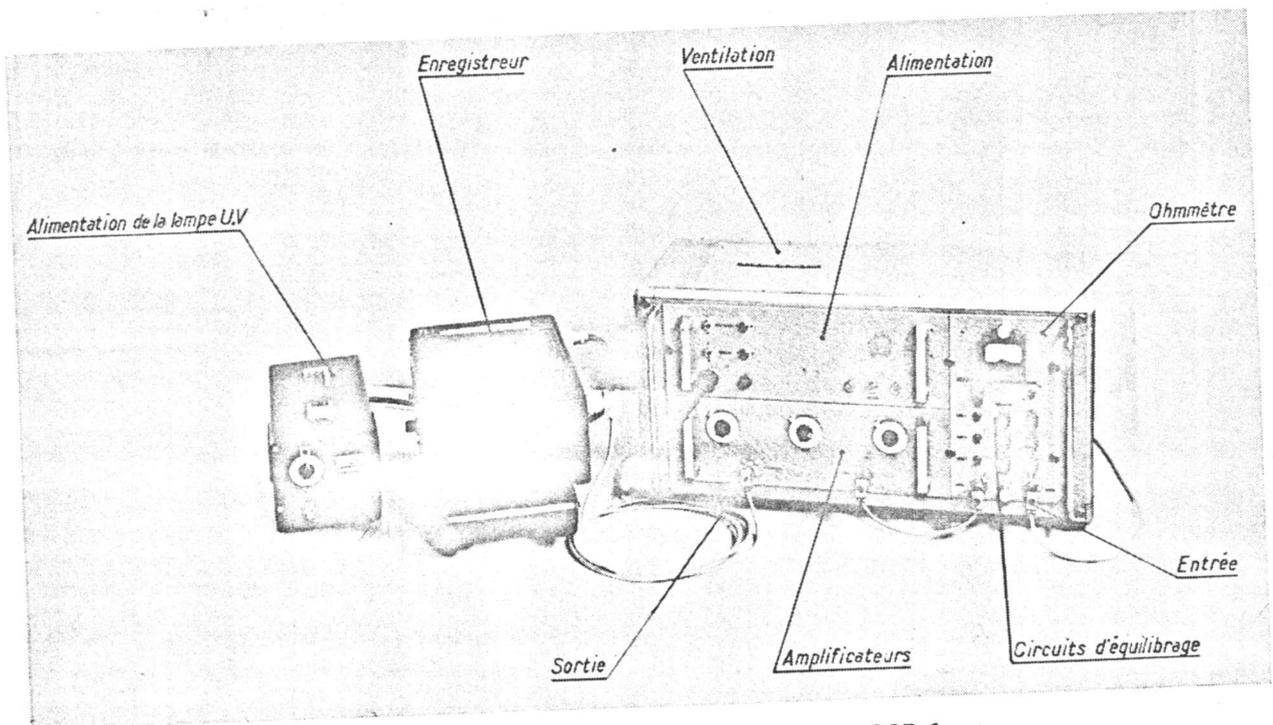


Fig. VI-25 — Appareillage de sismique type SCP 1

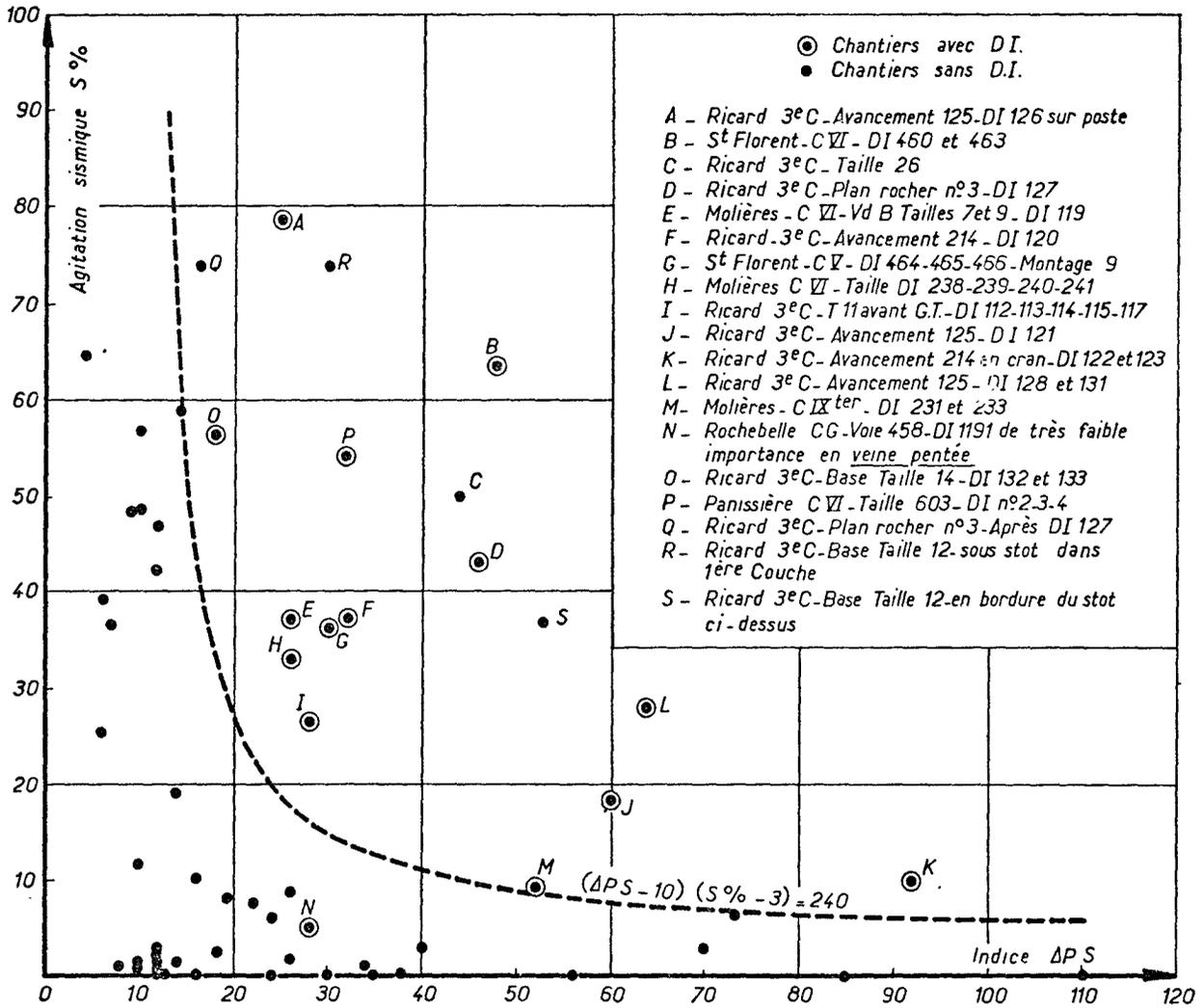


Fig. VI-26 — Détermination de la susceptibilité par la considération simultanée de S % et ΔPS

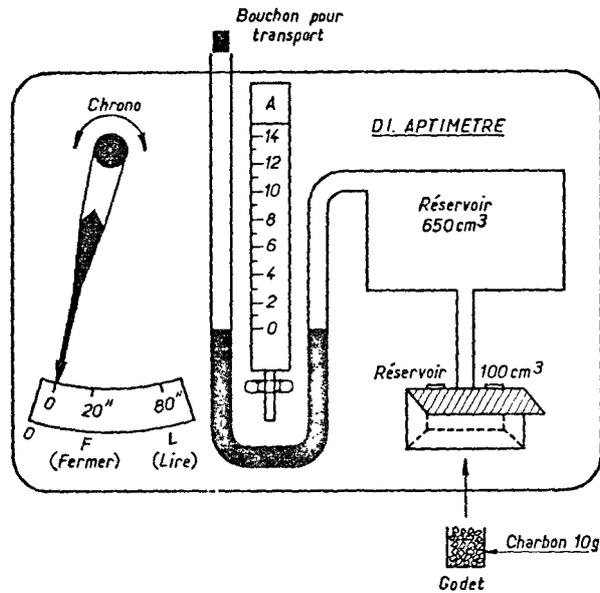


Fig. VI-27 — Le D.I. aptimètre houillères du Dauphiné

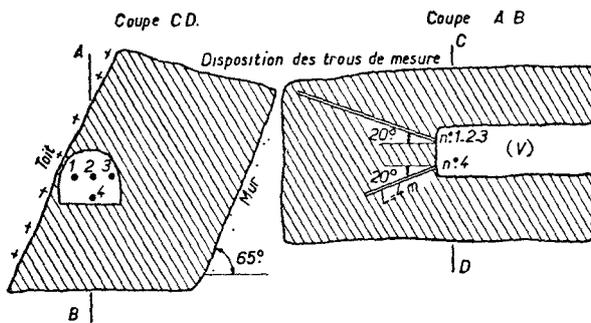
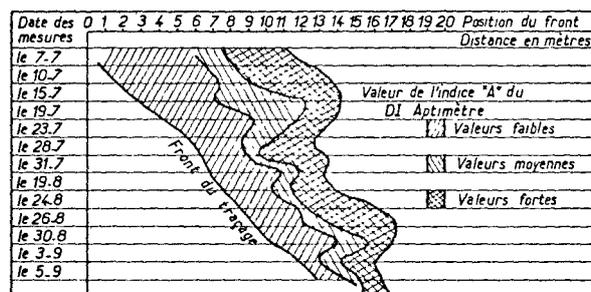


Fig. VI-28 — Mode de prélèvement des échantillons pour mesure de l'indice de désorption A



Exemple de l'aggravation progressive du risque en avant du front d'un traçage au charbon.

Fig. VI-28 — Houillères du Dauphiné

## Chapitre VII

### RECHERCHE D'UN SIGNE PRÉMONITOIRE

Par une caractérisation du gisement vis-à-vis du risque de D.I. on peut éviter que soient prises des décisions de classement comme mine à D.I. de veines qui sont exemptes du risque. On peut également éviter que les consignes d'exploitation soient partout prises en fonction d'un risque maximal considéré comme uniformément probable dans l'ensemble d'un gisement susceptible, alors qu'il apparaît nettement que certains panneaux sont peu susceptibles.

A l'intérieur d'un panneau reconnu peu ou prou susceptible, la dispersion dans l'espace des valeurs des indices de caractérisation montre que le risque n'est pas constant d'un point à l'autre du gisement. D'où la tentative de recherche d'un signe prémonitoire permettant de ne mettre en œuvre les moyens de prévention, dont on connaît le coût élevé, que lorsque le risque est certain. Il s'agit là d'une extension de la notion de caractérisation: diminuant l'aire géographique à laquelle on l'applique, on voudrait pouvoir remplacer la notion de «risque probable» par la notion de «risque certain». Un signe prémonitoire doit être en effet sûr à 100% car, en cas de défaillance, il conduirait à exposer le personnel à un D.I. sur poste, toujours très dangereux. Aucune des investigations opérées jusqu'à ce jour n'a donné toute garantie vis-à-vis de cette exigence.

Dans la recherche d'un signe prémonitoire, nous avons suivi deux voies :

1. Nous avons examiné l'évolution au jour le jour des valeurs des indices de susceptibilité avant un D.I.;
2. Nous avons procédé à l'écoute des bruits émis par le massif.

#### VII.1. Évolution des valeurs des indices de susceptibilité avant un D.I.

Nous avons exposé dans (31), pages 3 à 7, les observations faites en observant au jour le jour l'évolution des valeurs des indices de désorption dans les chantiers de traçage où se sont produits des D.I. ou des forts tirs.

D'une manière générale, pour tous les indices considérés —  $\Delta p$ ,  $V_1$ ,  $V_{30}$  et  $S$  définis plus haut — nous sommes arrivés à la conclusion suivante: « quoique les incidents aient eu lieu dans les zones à indices

élevés ou très élevés, on constate qu'aucune évolution caractéristique au fur et à mesure de l'avancement ne permet de prévoir leur arrivée ».

Cet échec s'explique d'abord par l'hétérogénéité des propriétés du massif de charbon.

Lorsque nous faisons des prélèvements pour mesures de  $\Delta p$  en laboratoire ou de  $V_1$  in situ, leur nombre n'est jamais suffisant pour que l'état du massif entourant les fronts soit parfaitement connu en toutes ses parties. Or le déséquilibre engendrant le D.I. que nous avons décrit au chapitre IV pourra ensuite se développer de proche en proche. Nous n'avons pas d'idée précise sur le volume minimal en déséquilibre nécessaire pour déclencher un vrai D.I. En admettant qu'il soit de l'ordre de 1 ou 2 m<sup>3</sup>, on voit immédiatement qu'une caractérisation locale, qui se voudrait efficace, devrait comporter un grand nombre de mesures, pratiquement impossible à réaliser en avant d'un front de traçage et surtout en avant d'un front de taille.

Cet échec s'explique aussi parce que nous ne savons pas mesurer directement les paramètres dont dépend l'état d'équilibre du massif en avant du front:

la contrainte  $P(x)$  et le gradient de pression de gaz  $\frac{dp}{dx}$ .

Mais, même si on le pouvait, la dispersion naturelle resterait pratiquement impossible à surmonter.

#### VII.2. Écoute des bruits du massif

##### VII.2.1. ÉCOUTE DES BRUITS PENDANT L'EXPLOITATION

D'après les publications russes sur ce sujet (33), un D.I. non provoqué est précédé d'une période de mise en condition du massif caractérisée par l'émission de bruits dont la fréquence serait croissante pendant les quelques minutes précédant le phénomène: un comptage approprié des coups ainsi émis permettrait d'obtenir un signal d'alerte.

Nous avons indiqué dans (31), pages 5 et 6, quelques résultats d'observations faites qui paraissent encourageants. Au cours d'un voyage d'étude en URSS en 1966 (34), nous avons vu une station de

comptage sismoacoustique, à la mine Kommunist Nova, dans le bassin de Donetz et nous nous sommes entretenus du problème avec M. Antsiferov.

Par ailleurs nous avons effectué quelques écoutes continues de bruits dans des tailles où le charbon était évacué par un convoyeur blindé après chargement par un rabot-chargeur, l'abattage étant réalisé par tir d'ébranlement. Nous procédions à l'écoute des signaux fournis par un géophone, dans la gamme 20-500 Hz, après amplification par un pré-amplificateur PS<sub>3</sub> mentionné plus haut; les signaux émis étaient enregistrés sur magnétophone GBG (décrit dans le rapport précédent, chapitre 2, page 23).

Le dépouillement des enregistrements effectués s'est heurté à deux difficultés :

1. Le manque de sélectivité du capteur quant à la nature des signaux captés: on remarque un important bruit de fond en provenance des engins de transport et de chargement du charbon et des opérations de foudroyage (coups de marteau pour déclencher les étauçons, chutes de blocs après déclenchement, ruptures de ces blocs . . .).
2. Le manque de sélectivité spatiale du capteur qui capte tous les signaux, utiles en parasites, provenant de près ou de loin de l'endroit où il se trouve placé; or beaucoup des signaux captés ne sont pas en liaison directe avec le phénomène à prévoir.

Au total il ne nous a pas été possible de différencier simplement les bruits parasites des bruits « utiles » correspondant seuls à la « mise en condition du massif de charbon avant D.I. non provoqué ». Dans la mesure où, dans un chantier mécanisé, la sélection des bruits utiles aurait pu être faite par un opérateur très bien entraîné, elle est apparue économiquement insupportable. Les recherches faites pour essayer de sélectionner les bruits utiles par leur « fréquence » ou leur « intensité » n'ont pas abouti.

Pour ne laisser inexplorée aucune possibilité de réussite, nous avons procédé (35) à une étude en laboratoire de l'émission ultrasonore d'éprouvettes de roches et de charbon soumises à une compression jusqu'à la rupture.

Nous avons utilisé le dispositif expérimental schématisé figure VII.1 et obtenu des résultats analogues à ceux représentés figure VII.2.

Les conclusions de ces essais ont été les suivantes :

- le spectre des bruits émis par les roches comprimées s'étend dans l'ultrasonore (20 à 100 KHz);

- il n'y a pas de modification du spectre de fréquences des bruits à l'approche de la rupture; la forme en dôme visible sur la figure VII.2 est due à la courbe de réponse de l'hydrophone utilisé;

- il y a par contre accroissement de l'énergie émise au fur et à mesure que l'on se rapproche de la rupture; l'abondance de l'émission est fonction de la nature de la roche mais est également très variable pour une même roche. Il est donc impossible de définir un « seuil critique » vraiment caractéristique de l'approche de la rupture d'une roche donnée (le charbon en particulier);

- l'amortissement des bruits dans la roche croissant avec la fréquence, l'écoute ultra-sonore réduit les dimensions de la zone auscultée, donc améliore la sélectivité (élimination d'une partie des bruits parasites provenant de loin, élimination des bruits de fond de basse fréquence).

Compte tenu de cette dernière remarque, il apparaît que l'écoute ultra-sonore est susceptible d'apporter une solution à la détection d'une augmentation de l'état de contrainte en chantier d'exploitation, mais le volume contrôlé par un capteur serait trop faible pour que l'on puisse économiquement envisager ce contrôle.

## VII.2.2. ÉCOUTE DES BRUITS AVANT TIR D'ÉBRANLEMENT

Cette expérimentation, effectuée dans les houillères du Dauphiné, avait pour but de voir si l'on pouvait prévoir à coup sûr si un D.I. serait déclenché par le T.E. devant avoir lieu. Pour cela, nous avons effectué une étude des bruits émis par le massif en profitant du silence régnant dans le chantier avant le T.E. puisque le personnel est alors évacué.

Le comptage des bruits, fourni par la chaîne sismique, était fait automatiquement par un compteur à trois niveaux (figure VII.3) (36). Les trois niveaux de tension à l'entrée étaient:

canal 1	—	0- 35 $\mu V$
canal 2	—	35-350 $\mu V$
canal 3	—	>350 $\mu V$

Le compteur permet de déceler jusqu'à 25 impulsions par seconde (les impulsions de fréquence supérieure ne sont pas enregistrées).

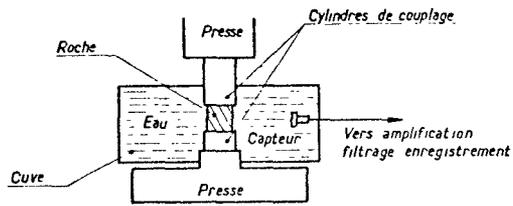
Les résultats ont été négatifs: les fréquences des impulsions avant T.E., ayant ou n'ayant pas donné

naissance à un D.I., n'ont pas été significativement différentes.

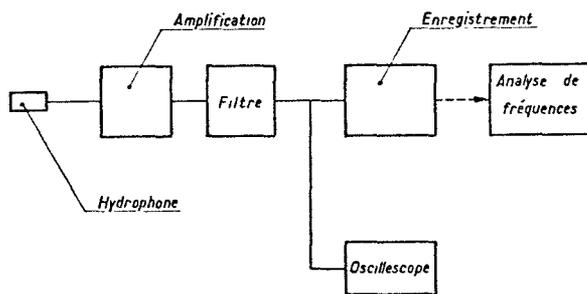
L'explication d'un tel résultat est aisée si l'on se reporte à notre théorie sur les D.I. Avant le T.E. le massif peut fort bien être en état d'équilibre stable; c'est le brusque avancement du front causé par le tir qui crée les conditions du déséquilibre engendrant le D.I. Pour que le comptage des bruits avant T.E. puisse prévoir le D.I. qui va éventuellement se produire, il faudrait que le D.I. soit déjà en préparation, éventualité fort peu probable lorsque le chantier est traité par T.E.

### **VII.3. Conclusions**

En raison de la diversité des paramètres entrant en jeu dans la genèse des D.I. et de la difficulté de les caractériser, soit parce que l'on manque d'appareils de mesure, soit à cause de l'hétérogénéité locale des propriétés des charbons, il n'apparaît pas possible de prévoir un D.I. à coup sûr — D.I. naturel ou D.I. sur T.E. — sans mettre en jeu des moyens dont le coût serait bien supérieur à l'économie que l'on peut escompter de la mise à disposition de l'exploitant d'un signe prémonitoire valable.

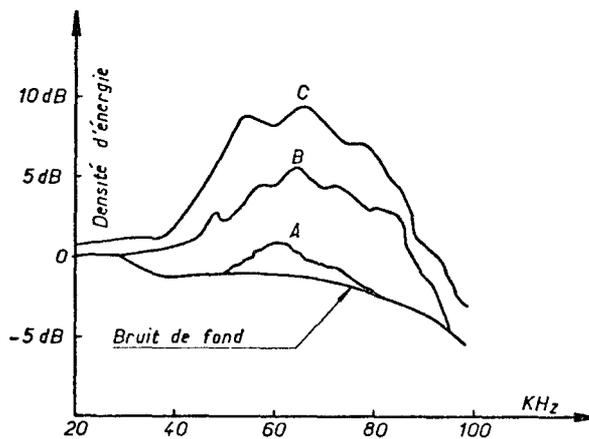


1) LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL



2) LE DISPOSITIF DE MESURE

Fig. VII-1



A au début de la compression  
 B à mi-chemin de la rupture  
 C juste avant la rupture

Fig. VII-2 — Densité d'énergie ultra-sonore émise par une roche soumise à une compression jusqu'à la rupture (calcaire de Provence)

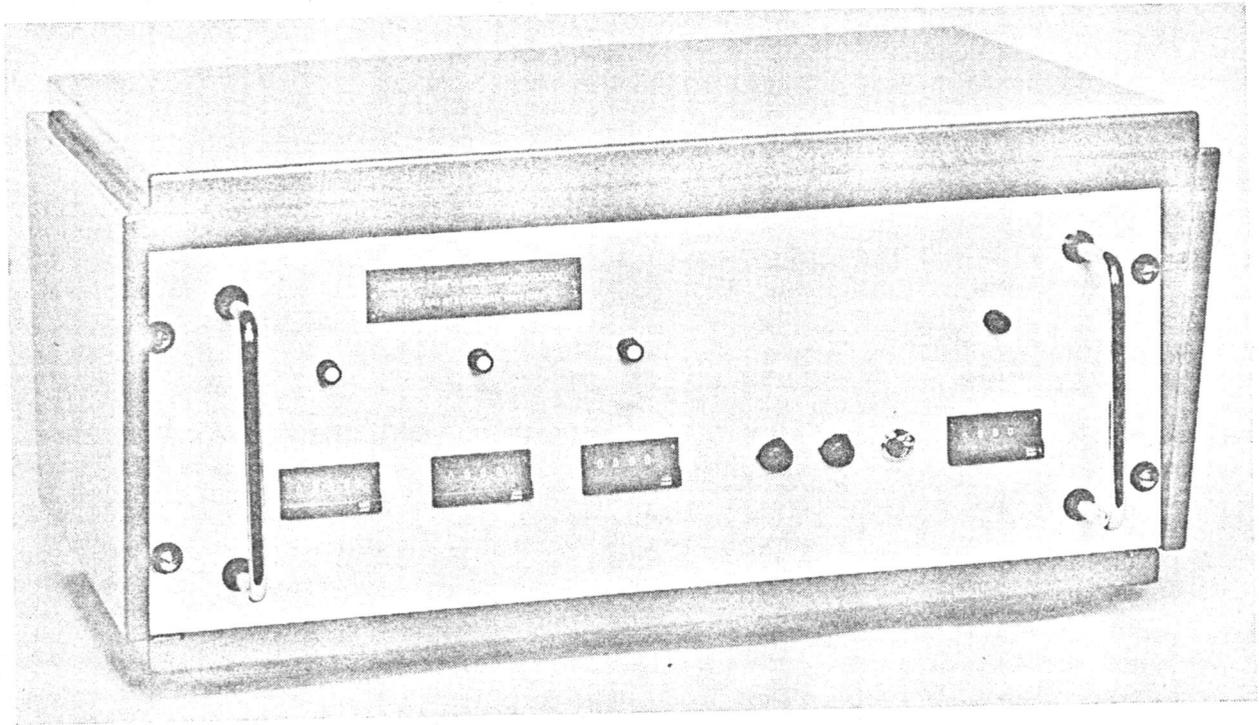


Fig. VII-3 — Compteur d'impulsions sismoacoustiques

## Chapitre VIII

### DÉTECTION A DISTANCE DE L'OCCURRENCE D'UN D.I. OU D'UN FORT TIR

En ce domaine certains des appareils qui ont été mis au point pour la caractérisation des gisements à D.I. ou plus généralement pour l'étude et le contrôle de dégagement grisouteux (ou de CO<sub>2</sub>) des chantiers apportent une solution au problème posé.

#### VIII.1. Appareils sismiques S.C.

Sous réserve que le matériel soit en bon état, en particulier les lignes de transmission entre le géophone situé dans le chantier et l'appareil d'enregistrement situé au jour, tout D.I. de quelques tonnes après T.E. (mais pas nécessairement tout fort tir) est repéré par l'opérateur. Deux précautions sont à prendre :

- les géophones ne doivent pas être trop éloignés du chantier; une distance maximale de 200 à 250 m doit être imposée. Cela suppose l'implantation au fond du nombre de géophones suffisant pour surveiller efficacement l'ensemble des chantiers où l'on tire.
- le gain de l'appareil doit être convenablement réglé. Sous le prétexte d'avoir des enregistrements photographiques de vibrations non « saturés », les opérateurs ont tendance à régler les gains trop bas, d'où la possibilité de mal reconnaître un D.I. lointain ou de faible tonnage. En fait, avec un opérateur expérimenté, cette éventualité ne se produit pas.

La possibilité de détecter une agitation sismique dépend en fait du rapport des intensités du signal reçu par le capteur et des parasites captés par la ligne de transmission. Dans le cas où ces parasites sont de trop grande intensité il faut :

- soit améliorer l'isolement des lignes de transmission;
- soit disposer auprès des géophones d'un préamplificateur — type PS<sub>3</sub> ou appareil plus puissant si l'on est en mine à D.I. de CO<sub>2</sub> —. On améliore alors sensiblement le rapport signal/bruit reçu à l'appareil enregistreur.

Au total les ressources de l'électronique sont telles que l'on peut adapter une chaîne sismique à chaque cas particulier et parvenir à une bonne détection à distance des D.I.

#### VIII.2. Appareils grisométriques

En gisement grisouteux chaque D.I. sur tir ou non et chaque fort tir est accompagné d'un dégagement anormal de grisou dont la détection à distance est un moyen sûr de répondre au problème posé.

Pour cela trois appareils sont utilisés. En allant du plus simple au plus complexe nous mentionnerons :

- Le grisomètre Verneuil télé indicateur VT.60 A (21). Appareil à interrogation manuelle, il ne permet en principe la surveillance que d'un seul point de mesure. Si l'on peut se contenter d'un contrôle de la teneur avec une précision de  $\pm 0,3\%$  de CH<sub>4</sub>, ce qui est bien suffisant dans notre cas, on peut utiliser le même appareil de lecture pour contrôler plusieurs points de mesure — par exemple quatre —. Pour cela on adjoint au poste de lecture un contacteur à plusieurs directions (figure VIII.1) qui permet à l'opérateur d'interroger plusieurs têtes de lectures disposées au fond et reliées au jour chacune par un conducteur bifilaire.
- Le grisomètre transportable multifonction (37) GTM 67 A. Cet appareil autonome, à interrogation automatique toutes les minutes ou toutes les quatre minutes, a été utilisé là où l'on ne disposait pas d'un central de télégrisométrie, pour transmettre au jour, par le canal d'un télévigile, l'indication de teneur en méthane, en un point du circuit d'aérage. Cette télétransmission peut être effectuée par simple ligne bifilaire isolée si l'on ne dispose pas d'un réseau de télévigile. L'appareil permet de réaliser un contrôle simultané du régime grisouteux et de la vitesse du courant d'air.
- Le central universel CTT 63-40 (37), (38). Dans une fosse des houillères des Cévennes il permet de contrôler et d'enregistrer la teneur de dix points d'un circuit d'aérage. Chaque point de mesure peut être interrogé toutes les minutes, ce qui est une cadence d'interrogation suffisante

pour ne pas laisser inaperçu un bouchon de grisou consécutif à un D.I. se propageant dans une galerie.

Cet appareil automatique, figure VIII.2, a le grand avantage de permettre de surveiller l'évolution des teneurs dans les diverses branches du circuit d'aé-  
rage; la sécurité des visiteurs et des ouvriers rejoignant le chantier après T.E. peut être ainsi parfaitement assurée. Les figures VIII.3 et VIII. 4 indiquent, dans deux cas particuliers, les enregistrements des teneurs en divers points d'un circuit d'aé-  
rage après des D.I. de 100 et 150 tonnes.

### **VIII.3. Appareils détecteurs de CO<sub>2</sub> (figure VIII.5)**

Dans le gisement à D.I. de CO<sub>2</sub> du Dauphiné, le bouchon de CO<sub>2</sub> consécutif à un D.I. est détecté par un appareil ADOS qui mesure la teneur en CO<sub>2</sub> de l'air au moyen de la variation de volume consécutif à l'absorption du CO<sub>2</sub> par une solution de potasse. Un dispositif sonore d'alerte est transmis soit au jour (pour le contrôle après tir), soit au fond pour avertir les ouvriers en aval aé-  
rage qu'ils doivent évacuer leur chantier (en cas de dépassement accidentel de la teneur en cours de poste).

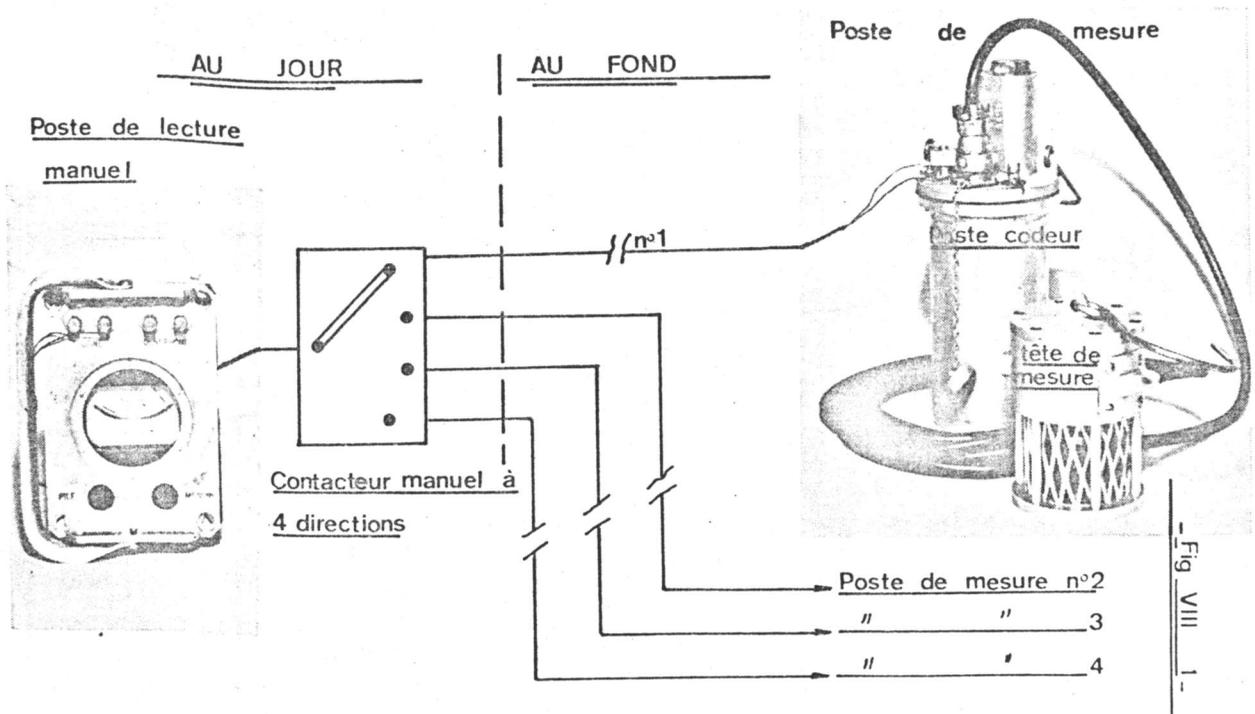


Fig. VIII-1 — Télécontrôle manuel de plusieurs points de mesures de la teneur en grisou du courant d'air au moyen d'un seul poste de lecture de VT 60 A

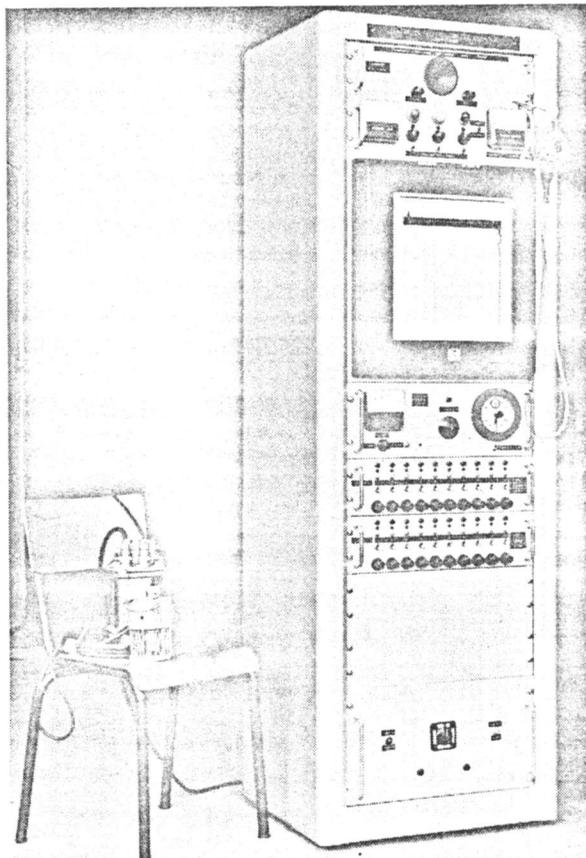


Fig. VIII-2 — Central CTT 63-40

- Emplacement des points de mesure
  - Entrée d'air
  - Retour d'air
- } Sens de l'aérage

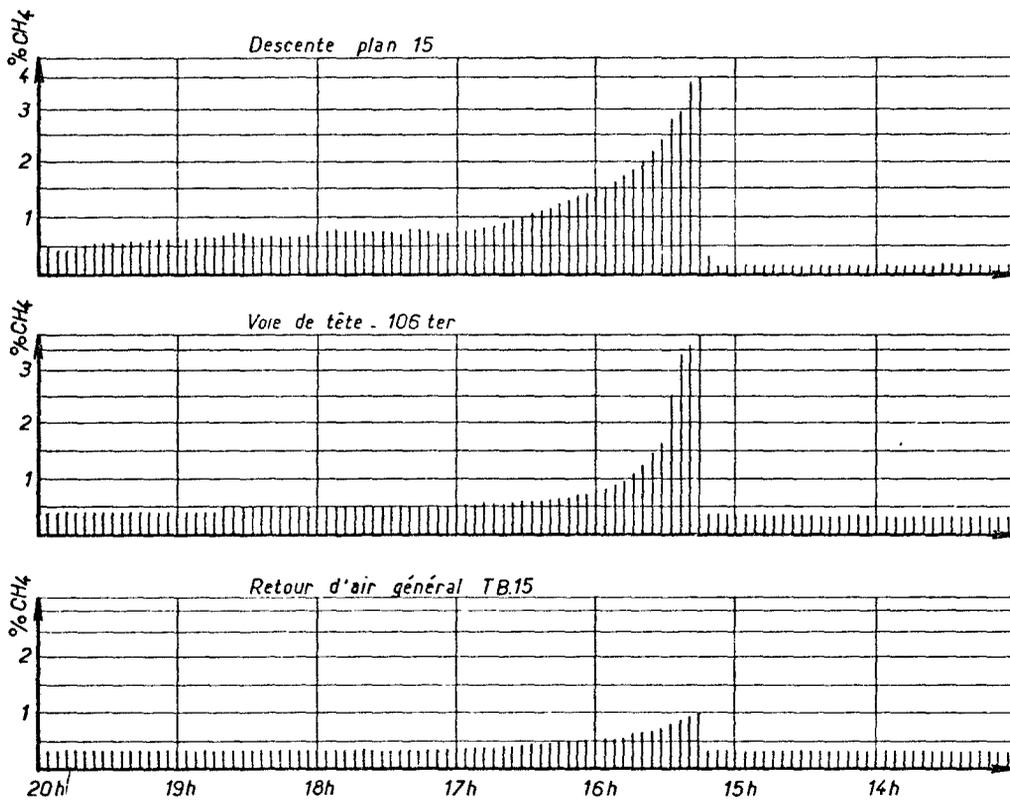
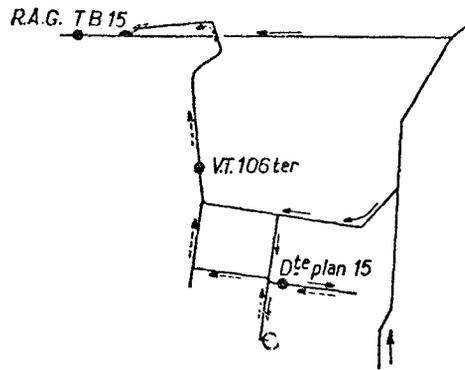


Fig. VIII-3 — H.B.-Cévennes-exemple de variation de la teneur de CH<sub>4</sub> en divers points du circuit d'aérage après le D.I. N° 57—100 tonnes

- Emplacement des points de mesure
  - Entrée d'air
  - ← Retour d'air
- } Sens de l'aérage

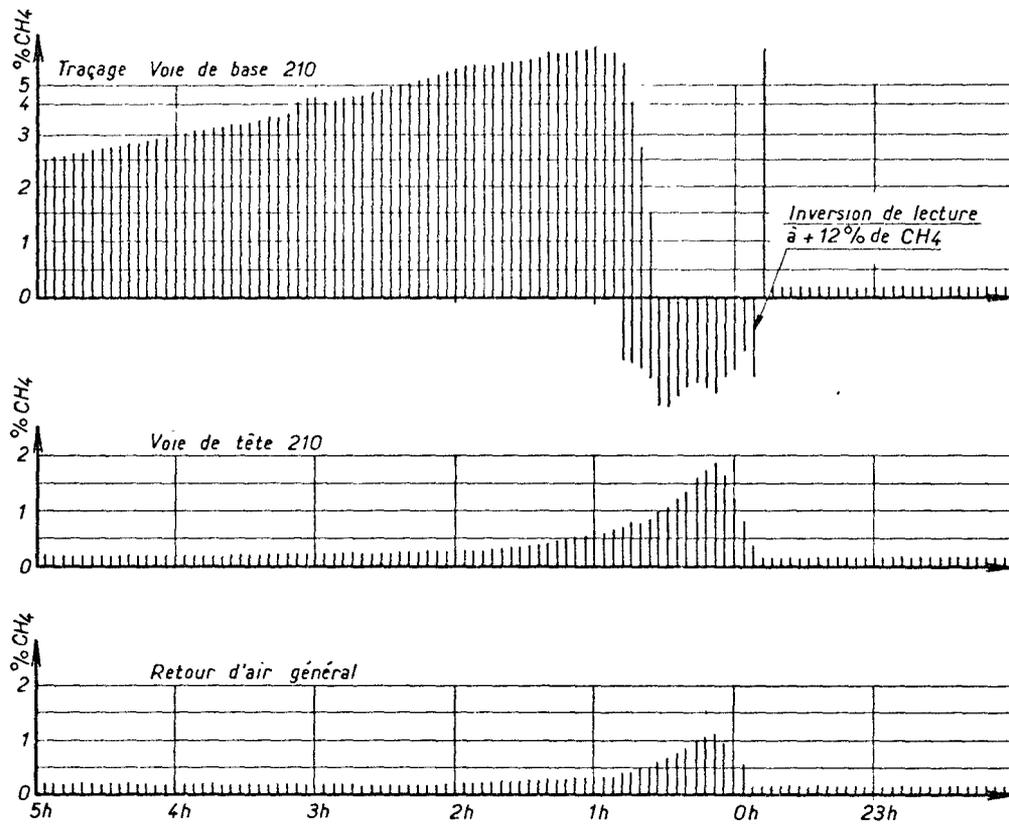
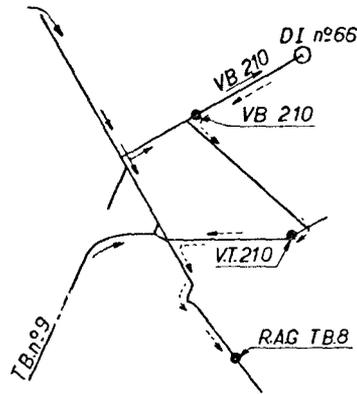
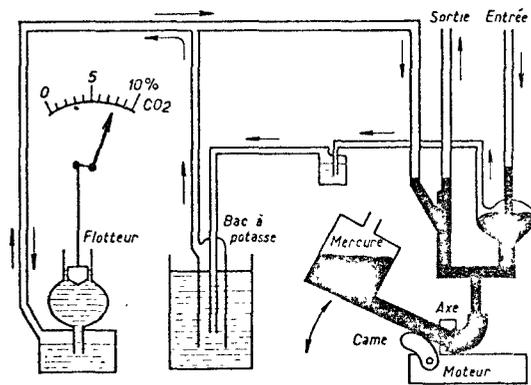
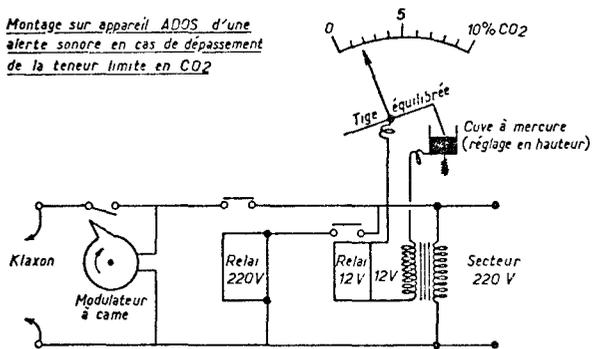


Fig. VIII-4 — H.B.-Cévennes-exemple de variation de la teneur de CH<sub>4</sub> en divers points du circuit d'aérage après le D.I. n° 66—150 tonnes



*Montage sur appareil ADOS d'une alerte sonore en cas de dépassement de la teneur limite en CO<sub>2</sub>*



**Fig. VIII-5 — Principe de l'appareil ADOS**

## Chapitre IX

### LA CHRONOLOGIE DU PHÉNOMÈNE D.I.

#### IX.1. Renseignements obtenus avec les « pièges à atmosphère »

Ces appareils sont décrits et leur mode de fonctionnement détaillé dans le texte (33). Ils ont permis de réaliser 2 500 prélèvements d'échantillons d'atmosphère.

Les observations faites avec ces appareils dans des traçages au charbon conduits avec T.E. dans des veines à D.I. des houillères des Cévennes, ont montré que les premières éjections gazeuses et les premières projections solides étaient pratiquement instantanées. C'est ainsi qu'on a pu recueillir des échantillons d'atmosphère à teneur élevée pouvant atteindre 50% — le record — à des distances comprises entre 10 et 25 m des fronts du traçage, dans des délais variant de quelques centièmes de secondes à 1 ou 2 secondes.

Ces premières éjections gazeuses et projections solides sont localisées et de volume limité: elles précèdent l'ébranlement des terrains enregistrés par les géophones. Le fait que le réajustement des terrains soit postérieur au déclenchement du phénomène n'est pas en désaccord avec la théorie des D.I. que nous avons exposée.

Les éjections gazeuses localisées dans l'espace et le temps se constatent après T.E., même si celui-ci n'est pas suivi de D.I. Ce phénomène est d'autant plus fréquent que le chantier est plus susceptible et, d'autre part, on ne l'a jamais constaté au cours des campagnes de piégeage d'atmosphère effectuées dans le gisement non susceptible du Nord-Pas-de-Calais et de Lorraine pour l'étude de la sécurité d'emploi des amorces à micro-retard.

#### IX.2. Contrôle du dégagement grisoutoux après le déclenchement de D.I.

Les teneurs fugaces décelées ci-dessus ne nous permettent pas de préciser à quelle distance d'un front susceptible de donner un D.I. doit être maintenu un appareil électrique pour qu'il ne risque pas de fonctionner en présence d'une teneur explosive.

Cette distance dépend de deux facteurs :

- La vitesse à laquelle se déplace normalement le front de grisou émis par un D.I.;

- Le délai de réponse des appareils de coupure du courant lorsqu'une teneur explosive est atteinte dans l'atmosphère qui les environne. Nous parlerons de ce deuxième facteur plus loin.

Le texte (33) donne quelques renseignements sur la vitesse de propagation du « front de grisou » à teneur 2% ou 6% lors de différents D.I. en traçage et en taille. Ils ont été recueillis en contrôlant la teneur au moyen de VT 60, interrogés du jour, à différentes distances du lieu où s'est produit le D.I.

Depuis lors, nous avons perfectionné notre mode opératoire en construisant un appareil spécialement adapté, dit T.E.M. (Télégrisoumètre enregistreur de mesure) (39), permettant d'enregistrer la teneur en plusieurs points de façon continue.

Comme le montre la figure IX.1, l'appareil permettait d'enregistrer simultanément sur enregistreur photographique — non présent sur la figure — les indications de trois têtes de mesures placées à des distances croissantes du front (généralement 20, 40 et 60m).

Les figures IX.2, IX.3 et IX.4 indiquent les résultats obtenus avec cet appareillage à la suite de six D.I. dans deux traçages d'une couche particulièrement susceptible du gisement des Cévennes. Chaque figure représente l'évolution de la teneur en fonction du temps après le moment du tir, ce qui permet d'avoir une bonne idée de la vitesse du « front de grisou à plus 2% » par exemple. Avec la même échelle des temps, nous avons représenté l'enregistrement sismique qui a suivi le T.E. (de façon très schématique).

Ces figures amènent les remarques suivantes :

1. Dans une même couche, chaque D.I. a son caractère propre, même lorsque les tonnages projetés sont très voisins. Exemple: D.I. n° 135 et n° 139 de voie de base, taille 14: l'émission de gaz est beaucoup plus rapide pour le D.I. n° 139 que pour le D.I. n° 135, ce dernier — à ce que l'on voit sur l'enregistrement sismique — étant intervenu plus rapidement après le tir. Dans la mesure où l'agitation sismique note les réajustements de contrastes, on remarque que, pour un même tonnage projeté, un massif réagit de façon très variable, ceci en raison de l'hétérogénéité de ses propriétés et de la façon dont il est détendu par tel ou tel tir. Ainsi se trouve soulignée à nouveau la difficulté de mettre au point un signe

prémonitoire sur du D.I. On observe la même chose en comparant les D.I. n° 137 et n° 138 de l'avancement 125. Au total, on constate que plus le réajustement de contraintes s'étale dans le temps, plus long est le D.I. à se mettre en route, ce qui est un résultat très logique.

2. Les enregistrements réalisés permettent de calculer les vitesses du front grisouteux (à + 2% par exemple), entre les têtes  $T_1$  et  $T_2$  d'une part,  $T_2$  et  $T_3$  d'autre part. On ne peut pas calculer la vitesse entre les fronts et la première tête  $T_1$  faute de savoir à quel moment le D.I. s'est déclenché après le T.E. Ce que nous avons dit plus haut conduit à penser que l'instant « du déclenchement du D.I. » est indéfinissable, car la mise en route du D.I. est plus ou moins progressive.

Les vitesses calculées sont indiquées figure IX.5.

Venant compléter les observations faites à l'aide de VT 60 A qui sont indiquées dans le texte (33), page 14 à 20, les résultats de la figure IX.5 nous permettent de dire que, dans un traçage de 10 m<sup>2</sup> de section et pour les D.I. courants de quelques centaines de tonnes, la vitesse de propagation du front de grisou — ici le front de grisou à 2% — ne doit guère dépasser 10 à 15 m/seconde.

### IX.3. Conclusions sur la chronologie du D.I.

Nous référant à ce qui est dit ici et dans (33), nous pouvons dégager les renseignements suivants:

1. Grâce à l'emploi du « piège à atmosphère », nous constatons dans les traçages des veines où se sont produits des D.I., que des éjections gazeuses, localisées et évanescentes peuvent être captées à des distances comprises entre 8 et 25 m des fronts dans des délais de quelques centièmes de seconde après le tir. Des projections solides quasi instantanées peuvent aussi être constatées à 10 m des fronts. Ces phénomènes n'ont pas été décelés dans les traçages en veines non susceptibles qui ont été examinés.
2. Il ne nous est pas possible de savoir si ces émissions gazeuses constituent réellement le début du déroulement du phénomène D.I. ou si elles sont dues à l'entraînement par les gaz de l'explosif de poussières ayant une vitesse de désorption élevée caractéristique des charbons susceptibles de D.I. En effet des augmentations

sensibles de la teneur dans le courant d'air du traçage ne sont décelées par les têtes de mesure de la teneur qu'au plus tôt une dizaine de secondes après le tir, à 15 ou 20 m des fronts (ce délai étant bien supérieur au temps de réponse des têtes de mesure).

3. L'aspect des enregistrements sismiques effectués lors du D.I. est très variable d'un D.I. à l'autre. Dans une même veine la durée des ébranlements n'est pas en relation avec le tonnage projeté. Dans les quelques cas où l'on a pu enregistrer l'augmentation de teneur après T.E. à des distances croissantes du front (de l'ordre de 20-40 et 60 m), il est apparu que, pour des D.I. de même tonnage — faibles en l'occurrence — la mise en route du D.I. était d'autant plus lente que l'agitation sismique s'étalait plus dans le temps.
4. Une liaison précise entre l'enregistrement des vibrations et le déroulement des phénomènes dynamiques dans le chantier n'a pas été établie de façon sûre. Toutefois, il semble bien que, lorsque l'agitation sismique a cessé, tout phénomène dynamique a également cessé dans le chantier. Y-a-t-il des phénomènes dynamiques notables avant qu'apparaisse l'agitation sismique? Les considérations exposées au chapitre IV n'excluent pas cette hypothèse. Le brusque avancement du front provoqué par le T.E. peut faire en sorte que le nouveau front découvert ne soit plus en équilibre du seul fait du fort gradient de pression de gaz  $\frac{dp}{dx}$  qui va s'établir brusquement en avant de lui. Mais il n'est pas exclu que ce gradient soit, dans certains cas, incapable à lui seul de déclencher le D.I. et que celui-ci nécessite, pour s'amorcer, un réajustement des contraintes qui diminue l'effort de retenue. Il est donc raisonnable de penser que, selon les circonstances locales — impossibles à bien déterminer —, les phénomènes dynamiques précèdent ou suivent le réajustement de contraintes, donc l'agitation sismique qu'il entraîne.
5. Le dégagement gazeux consécutif à un D.I. se différencie du dégagement normal après tir par son ampleur et sa durée. La vitesse de progression du front de grisou après T.E. en traçage ayant provoqué un D.I. de quelques centaines de tonnes ne semble pas devoir dépasser 10 à 15 mètres par seconde. En taille cette vitesse de propagation du bouchon de grisou est sensiblement inférieure.

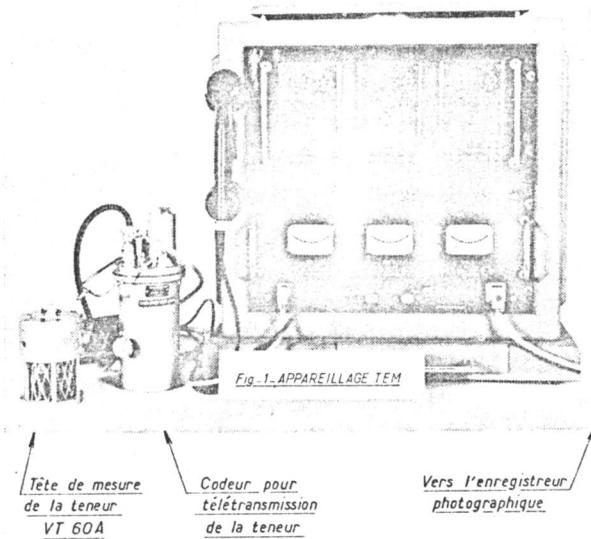


Fig. IX-1 — Télégri-soumètre enregistreur de mesure permettant l'enregistrement continu des teneurs de 3 têtes de mesure VT 60 A

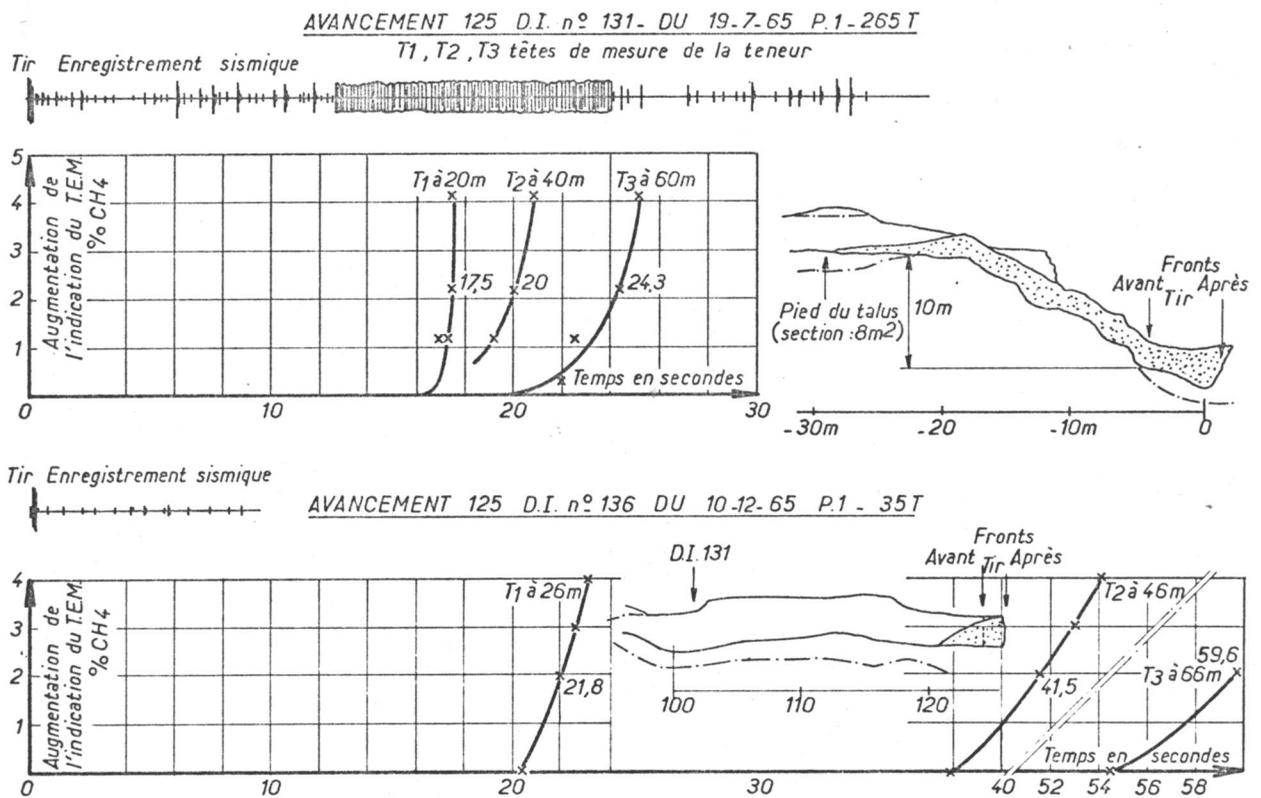
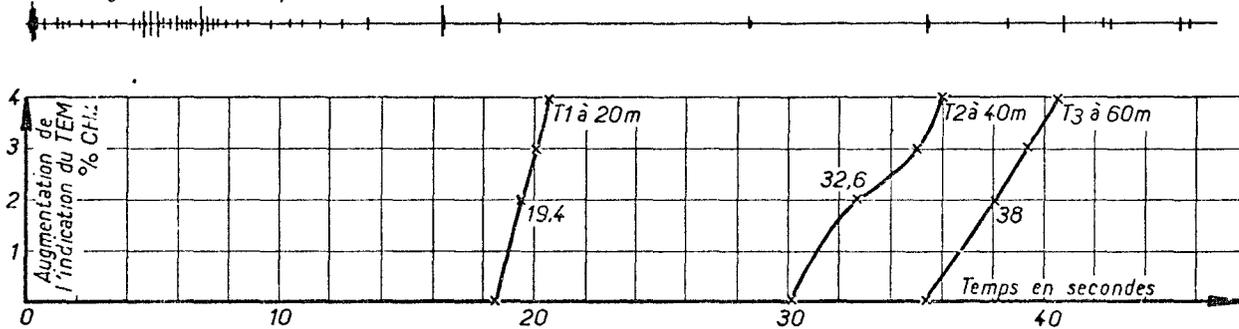


Fig. IX-2 — Enregistrement continu de la variation de teneur après D.I. Ricard 3<sup>e</sup> couche

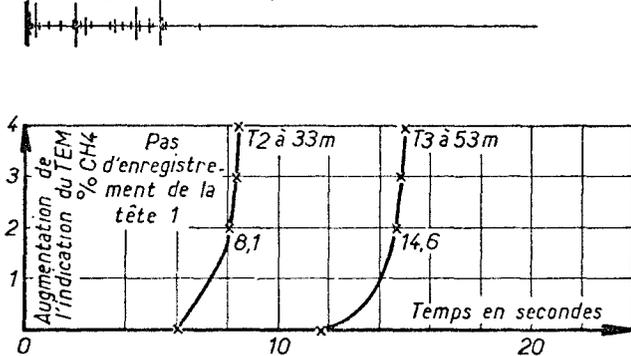
AVANCEMENT 125 D.I. n° 137 DU 21-12-65 P.1. 70T

T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> têtes de mesure de la teneur

Tir Enregistrement sismique



Tir Enregistrement sismique



AVANCEMENT 125 D.I. n° 138 DU

4-2-66 P.1. 60T

Fig. IX-3 — Enregistrement continu de la variation de teneur après D.I.

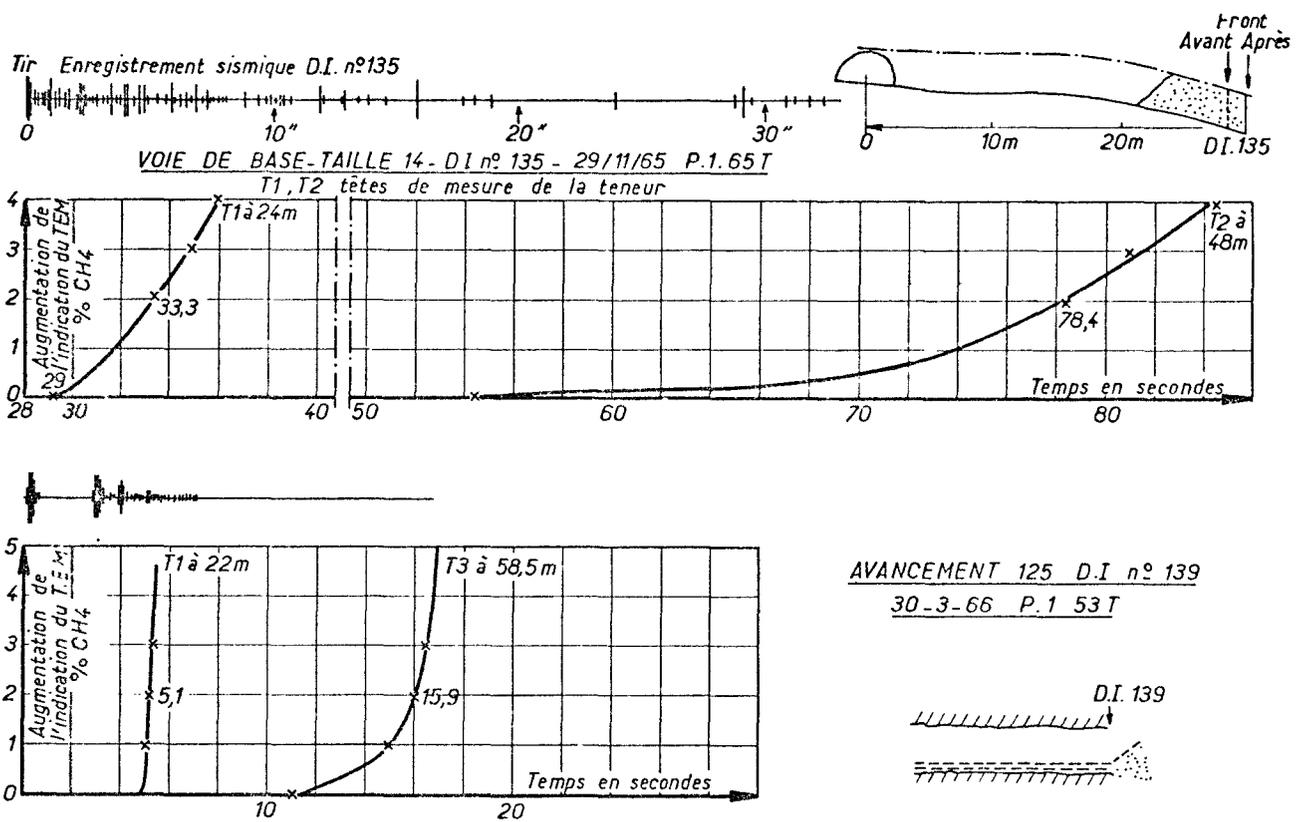


Fig. IX-4 — Enregistrement continu de la variation de teneur après D.I.

N° du D.I.	Tonnage(t)	Distance entre T1 et T2 (m)	Temps de parcours(sec)	Vitesse entre T1 et T2 (m/sec)	Distance entre T2 et T3(m)	Temps de parcours(sec)	Vitesse entre T2 et T3 (m/sec)
131	265	20	2,5	8	20	4,3	4,7
136	35	20	20,3	1	20	18,1	1,1
137	70	20	13,2	1,5	20	5,4	3,7
138	60	-	-	-	20	6,5	3,1
135	63	24	45,1	0,55	-	-	-
139	53	T1 et T3 36,5	10,8	3,4	-	-	-

Fig. IX-5 — Vitesse de propagation du front de grisou A + 2% après D.I.

## Chapitre X

### MISE EN ŒUVRE DE MÉTHODES DE PRÉVENTIONS CONTRE LES D.I. ET CONTRÔLE DE LEUR EFFICACITÉ

#### X.1. Les principes d'action

Selon ce qui a été exposé au chapitre IV, la lutte contre l'occurrence du D.I. peut se concevoir de deux manières :

- Diminuer l'effet de poussée (fonction du gradient de pression de gaz  $\frac{dp}{dx}$ ) ce qui est évidemment la meilleure méthode.
- Accroître l'effort de retenue (fonction de la contrainte  $P(x)$ ).

En fait, ces deux façons de procéder ne sont que partiellement indépendantes dans la mesure, déjà signalée, où  $\frac{dp}{dx}$  est fonction de la perméabilité de la couche, laquelle, pour un charbon de fissuration donnée, est fonction de la contrainte  $P(x)$ .

De plus, il faut distinguer les conséquences immédiates et les conséquences lointaines: il est clair en particulier qu'une diminution rapide de la contrainte de retenue  $P(x)$  dans le but d'augmenter la perméabilité du charbon, est un bon moyen de provoquer le D.I. car le gradient de pression de gaz  $\frac{dp}{dx}$  n'est abaissé que plus lentement. La difficulté d'application pratique d'une méthode de prévention découle fréquemment de cette remarque.

Pour l'exposé qui va suivre, nous ne chercherons pas à classer les méthodes de lutte selon qu'elles augmentent l'effort de retenue ou diminuent l'effort de poussée car, dans la plupart des cas, on agit sur les deux à la fois.

Nous examinerons successivement les méthodes de lutte contre les D.I. suivantes :

- Couche égide.
- Gros trous de détente et de dégazage.
- Vitesse d'avancement et section des galeries.
- Infusion d'eau.
- Méthodes d'exploitation.

Dans ce dernier paragraphe, nous parlerons également du tir d'ébranlement bien qu'il agisse comme agent provocateur du D.I. au moment où il est effectué et n'agisse comme agent préventif que par ses effets différés.

#### X.2. Couche égide

C'est incontestablement la meilleure méthode préventive contre les D.I.: c'est aussi celle qui a été découverte et mise en œuvre la première.

Une couche égide agit comme méthode préventive pour une couche influencée en diminuant, dans celle-ci, à la fois la contrainte et la pression de gaz (donc la concentration en gaz désorbable). Dans la mesure où la pression résiduelle de gaz sera suffisamment faible pour que le gradient de pression de gaz en avant d'un front de chantier ne puisse « arracher le charbon » — même en cas de pénétration en couche —, on aura réalisé une prévention absolue contre les D.I. dans la couche influencée.

##### X.2.1. CAS DES GISEMENTS DE COUCHES PARALLÈLES

Dans le cas où l'on exploite un gisement de couches parallèles — en plateaux ou peu pentées comme le gisement des Cévennes — le mécanisme d'action de la couche égide est qualitativement le suivant (figure X.1).

La taille (T) dans la couche égide crée, au-dessus et au-dessous d'elle, une zone de fracturation dont les limites supérieures et inférieures sont  $Z_1$  et  $Z_2$ . À l'intérieur de cette zone de fracturation — qu'il ne faut pas assimiler à la zone d'influence définie à partir des seuls mouvements de terrains — des fissures ouvertes mettent en communication les couches influencées avec l'arrière-taille de la taille influençante T. Soient  $p_1$  et  $p_2$  les pressions relatives de gaz en équilibre d'adsorption avec le charbon dans un satellite au toit et au mur de la couche égide (en A et B par exemple). Dans le cas d'une exploitation de la couche égide par foudroyage, la pression relative de gaz dans l'arrière-taille est voisine de zéro car peu différente de la pression atmosphérique  $p_a$ . Sous l'influence des différences de pression ( $p_1 - p_a$ ) et ( $p_2 - p_a$ ), des flux de grisou  $\phi_1$  et  $\phi_2$  s'écoulent des couches influencées vers la couche égide (1). Parallèlement, les contraintes verticales initiales  $P_1 = \gamma H_1$  et  $P_2 = \gamma H_2$  ( $\gamma$  étant la densité des terrains,  $H_1$  et  $H_2$  les profondeurs des couches influencées) sont réduites à des valeurs inférieures  $P'_1$  et  $P'_2$ . Les valeurs de  $\phi_1$ ,  $\phi_2$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  en des points A et B des couches influencées sont des fonctions de la distance  $x$  de leur verticale AB au front de taille T.

(1) On peut les exprimer en  $m^3$  de  $CH_4$  par tonne de charbon dans chaque couche égide et par unité de temps.

Par exemple les flux  $\phi$  croissent, passent par un maximum et décroissent ensuite parce que la concentration en gaz des couches influencées diminue et parce que la perméabilité des terrains dans lesquels circule le gaz diminue aussi. En effet après s'être détendus, les terrains se recompriment progressivement lorsque  $x$  augmente.

In fine,  $\phi'_1$  et  $\phi'_2$  s'annuleront; les pressions de gaz résiduelles dans les couches influencées prendront les valeurs  $p'_1$  et  $p'_2$  respectivement inférieures à  $p_{1,0}$  et  $p_{2,0}$ , leurs valeurs initiales.

Corrélativement la concentration désorbable en gaz des couches influencées qui étaient  $C_{1-0}$  et  $C_{2-0}$  avant influence (en équilibre avec les pressions  $p_{1-0}$  et  $p_{2-0}$ ) deviennent  $C'_1$  et  $C'_2$  (en équilibre avec les pressions  $p'_1$  et  $p'_2$ ).

Les différences de concentration ( $C_{1-0} - C'_1$ ) et ( $C_{2-0} - C'_2$ ) dépendent de nombreux facteurs, en particulier des épaisseurs de stériles  $d_1$  et  $d_2$ , de la composition stratigraphique de ceux-ci, de l'épaisseur  $W$  de la couche égide exploitée et également du temps qui se sera écoulé entre le moment où la taille  $T$  passe à l'aplomb des points A et B et le moment où l'on déhouillera le charbon en A et B.

Pour que les couches influencées puissent être considérées comme protégées du point de vue du risque de D.I., il faut que les concentrations résiduelles  $C'_1$  et  $C'_2$  soient inférieures au seuil de non-danger que nous avons trouvé égal à  $9 \text{ m}^3/\text{t}$  :

$$C'_1 \text{ et } C'_2 < 9 \text{ m}^3/\text{t}.$$

Ce résultat doit être vérifié par des mesures de la concentration dans les couches influencées avant l'exploitation de celles-ci. C'est en effet par des mesures de concentration en gaz avant influence et après influence qu'on peut, le plus sûrement, chiffrer et contrôler l'efficacité d'une couche égide sur une autre couche.

A titre d'exemple, dans le gisement des Cévennes, signalons que la protection contre le risque de D.I. a été constatée :

- dans 3<sup>e</sup> Couche Ricard, à 30 mètres au mur d'une couche égide de 4,5 mètres d'épaisseur, exploitée par foudroyage; stériles intercalaires constitués de schistes gréseux, avec un délai d'exploitation de l'ordre de un an;
- dans Couche V Molière, à 20 mètres au mur d'une couche égide de 0,80 mètre d'épaisseur, exploitée par foudroyage; stériles intercalaires constitués de grès (figure X.2).

On n'a pas constaté d'effet protecteur :

- dans Couche IV Molière, à 35 mètres au mur d'une couche de 0,80 mètre d'épaisseur, foudroyée; stériles intercalaires constitués de grès massif (figure X.3.);
- dans Couche IX + X Panissière, à 70 mètres au toit d'une couche de 0,80 mètre d'épaisseur, foudroyée; stériles intercalaires constitués de schistes gréseux.

A défaut de mesure de la concentration en gaz, on peut mesurer l'efficacité d'une couche égide par la mesure de l'indice  $V_1$  à 3 mètres de profondeur.

Toutefois les valeurs de  $V_1S$  peuvent être influencées par la vitesse du chantier dans lequel on les calcule, la mesure de la concentration en gaz — en prenant les précautions qui ont été indiquées plus haut — est une méthode plus sûre car la valeur de la concentration de la veine ne dépend pas de la vitesse d'avancement des fronts à partir desquels on la mesure.

Enfin, signalons qu'on peut également caractériser l'influence d'une couche égide par la réduction de l'agitation sismique après tir d'ébranlement. L'exploitation d'une couche égide diminue les contraintes résiduelles dans la couche influencée ainsi que les hétérogénéités de contraintes: de ce fait, les réajustements brusques de contraintes après tir d'ébranlement se font plus rares — ou disparaissent —. En couche effectivement protégée par une couche égide, l'agitation sismique après tir disparaît ou décroît considérablement. Il en est de même lorsque la détente est provoquée par des gros trous de détente dont nous parlons plus loin.

### X.2.2. CAS D'EXPLOITATION PAR TRANCHES SUCCESSIVES D'UNE COUCHE PENTÉE ÉPAISSE

Dans ce cas l'exploitation des tranches supérieures sort d'exploitation égide pour l'exploitation des tranches inférieures.

Là encore c'est par mesure de concentration en gaz ou de l'indice de désorption (indice A dans le bassin du Dauphiné) que l'on peut connaître la hauteur et les limites de la zone protégée au-dessous de la tranche en exploitation.

### X.3. Gros trous de détente et de dégazage (G.T.)

Les applications pratiques qui ont été faites de la méthode dans le bassin des Cévennes ont été décrites dans le détail dans les articles suivants (40) (41) (42) (43) (44), en particulier (43) où se trouve une synthèse de l'ensemble de ces essais: nous y renvoyons le lecteur.

### X.3.1. MODE D'ACTION DES G.T. — LEUR UTILITÉ COMME INDICE DE SUSCEPTIBILITÉ DU GISEMENT: G.T. DE RECONNAISSANCE

Le G.T. agit dans la couche en deux phases :

- il provoque un micro D.I.
- il détend et dégaze la couche.

#### 1) Le G.T. provoque un micro D.I. (figure X.4)

Pour forer les G.T. on a utilisé des taillants dont les diamètres ont varié de 65 à 140 mm mais, dans la majorité des applications que nous avons faites, le diamètre des taillants était de 115 mm. Ces taillants sont placés à l'extrémité de tiges possédant une hélice circulaire en tôle dont le rôle est tantôt d'évacuer les cuttings de foration, tantôt, lorsque les tiges sont arrêtées, de permettre une obturation du G.T. en s'opposant à l'évacuation des produits de foration sous l'influence de la désorption du gaz.

Lorsque le taillant T progresse à l'intérieur du massif de charbon où existe une pression de gaz  $p$  uniforme de plusieurs dizaines de bars, il règne à l'extrémité du trou des conditions propices au déclenchement d'un micro D.I. Par suite de la vitesse de pénétration rapide des tiges (de l'ordre du mètre par minute) le gradient de gaz  $\frac{dp}{dx}$  est très important puisque, sur quelques centimètres de distance, la pression décroît de  $p$  bars à la pression régnant au fond du trou (qui est supérieure à la pression atmosphérique). L'effort de « poussée » sur la face libre  $OO'$  du charbon est maximal. De plus, les cuttings de foration arrachés par le taillant désorbent brusquement le gaz qu'ils contiennent: le volume de gaz émis par unité de temps et par gramme de charbon est important, d'autant plus que la granulométrie des produits est petite. L'énergie pneumatique disponible est suffisante pour assurer seule l'expulsion des fines de foration; la rotation des tiges ne fait que faciliter le transport pneumatique.

Lorsque le taillant T rencontre un charbon particulièrement fragile, un micro D.I. se produit. On dit alors qu'il y a « projection »: à l'extrémité libre E du trou apparaît un jet de charbon fin, propulsé avec violence par la détente du gaz. On a vu de telles projections produire un jet de charbon de 5 et 10 mètres de longueur.

#### 2) Le G.T. détend et dégaze la couche

Grâce à ces projections — qui n'ont pas en toute occasion le caractère violent que nous indiquons ci-dessus — le gros trou extrait du massif un volume de charbon bien supérieur à son volume propre. Un trou  $\varnothing$  115 mm a un volume propre de 10 litres par mètre: dans un traçage de 3<sup>ème</sup> Veine Ricard on a constaté que le volume de charbon extrait du massif avait été en moyenne de 80 litres par mètre de G.T. foré.

Dans une taille de Couche VI de Molières, le charbon extrait par les gros trous équivalait à 3 cm de l'épaisseur de la couche dont l'ouverture normale était de 90 cm.

Ainsi, par le volume de charbon qu'il extrait du massif, le G.T. détend la couche, donc accroît la perméabilité du massif et ainsi favorise son dégazage: il y a d'abord diminution de la pression de gaz, puis ultérieurement diminution de la concentration. Le massif traité devient inapte au D.I.: un front de la voie ou un front de taille peut alors progresser sans danger dans ce massif traité.

La photographie (de la figure X.5.) illustre bien l'action de détente du gros trou: on voit comment le charbon a flué en direction du vide créé par le G.T.

Les projections — violentes ou non — lors de la foration des G.T. peuvent être un indice de caractérisation de la susceptibilité du gisement. C'est ainsi que dans certains panneaux de la couche IX + X de Panissière de 2,80 mètres d'ouverture on a obtenu l'autorisation de déhouiller avec un rabot — et non par tir d'ébranlement — en effectuant des G.T. dits « de reconnaissance ». Ces G.T. de 20 à 25 mètres de longueur étaient forés perpendiculairement au front de taille, à 15 mètres d'intervalle l'un de l'autre. L'absence de réaction lors de la foration des G.T. a été considérée comme un indice de non-susceptibilité du gisement: l'exploitation s'est poursuivie sans aucun incident. De tels G.T. de reconnaissance ont également été utilisés dans un panneau du bassin du Nord-Pas-de-Calais: creusés en avant et latéralement de la voie de tête, ils ont permis de s'assurer que la faille importante qui longeait la voie ne serait pas à l'origine d'incident lors de l'avancement de cette voie.

### X.3.2. CONTROLE DE L'EFFICACITÉ DES G.T. (EN TAILLE ET EN VOIE)

L'intervalle qui doit séparer deux gros trous consécutifs en taille, doit être tel qu'en tout point du massif les conditions de non-susceptibilité soient remplies après foration des G.T. Pour le vérifier, nous avons généralement utilisé l'indice de désorption  $V_1$ . Des mesures systématiques à 3 mètres de profondeur, tout le long du front de taille en progression, permettent de contrôler qu'on ne rencontre pas de valeurs supérieures au taux de non-danger dans la couche (1 ou 2 cm<sup>3</sup>/10 g selon les veines qui ont été traitées dans le gisement des Cévennes).

Ces mesures systématiques nous ont permis de fixer, par approches successives, l'intervalle entre deux trous consécutifs. Pour les couches minces (ouverture  $\leq$  1 mètre) du gisement de Molières ou de Panissière (couche VI ou couche VI ou couche IV), cet intervalle était de 2,5 ou 3 mètres. La figure X.6. donne un exemple de contrôle dans un cas particulier.

En voie, nous avons complété les renseignements fournis par les mesures de  $V_1$  en regardant à quelle distance du gros trou on voyait décroître la pression de gaz dans le massif. La figure X.7 indique l'un des résultats de ce contrôle dans une partie du gisement peu susceptible. Le trou P, de 20 mètres de longueur, est obturé au ciment sur les premiers 17 mètres. On a noté la variation de la pression de gaz dans le trou P pendant qu'on fore les G.T. 1, 2, 3 puis 4. On voit que le G.T. devrait être à 1 mètre environ de distance, dans ce cas, pour que la détente immédiate due au G.T. atteigne le trou P. D'autres mesures nous ont montré qu'en couche épaisse l'action préventive d'un G.T. de 115 à 140 mm de diamètre se faisait sentir à une distance moyenne de 1,50 mètre.

### X.3.3. LES DIFFICULTÉS D'APPLICATIONS DE LA MÉTHODE: LES PRÉCAUTIONS À PRENDRE

Dans son principe le G.T. est, si l'on n'y prend pas garde, une arme à double tranchant dans les gisements à D.I.

En effet, d'après ce qui a été dit au paragraphe X.3.1. le micro D.I. qui se produit au fond du G.T. peut, en plus de son effet bénéfique, avoir les effets maléfiques suivants :

- la pression de gaz au fond du trou agissant sur l'hélice métallique qui entoure la tige de foration peut être suffisante pour faire reculer brutalement la sondeuse. Celle-ci doit donc être sérieusement amarrée.
- la projection de charbon sous l'effet de la désorption du gaz érode progressivement les parois du trou. Petit à petit le diamètre de celui-ci augmente au point que son obturation n'est plus assurée, même en arrêtant la rotation et l'avancement des tiges. Il peut alors se produire un véritable D.I. Aussi est-il généralement interdit de laisser du personnel dans le retour d'air de l'endroit où se fore le G.T.
- même sans érosion importante du G.T., la pression de gaz peut être suffisante pour repousser en bloc le charbon situé entre le fond du trou et le front du chantier. Pour se prémunir contre ce danger, on doit généralement procéder à un blindage du front: blindage total du front si l'on fait des G.T. à front d'une voie, blindage sur 1 mètre de part et d'autre de l'emplacement où l'on fait le G.T. en taille.

Enfin, que ce soit en voie ou en taille, il faut procéder à la foration d'une nouvelle série de G.T. avant que le front ait atteint la limite de la zone protégée par les G.T. de la série précédente. Généralement on ménage

une « frette de protection » de 5 mètres d'épaisseur. Ce qui fait que, même si l'on fore des G.T. de 20 mètres, ceux-ci doivent être renouvelés tous les 15 mètres d'avancement du front.

Dans le cas particulier d'une voie, il faut disposer les G.T. de telle manière que la protection de la voie soit assurée, non seulement en avant du front, mais également latéralement. La figure X.8. donne deux exemples de schémas d'implantation des G.T. exécutés pour atteindre ce but. Dans bien des cas, la protection latérale doit être assurée sur 4 mètres (figure X.9.). Lorsque la veine présente un pendage important, la protection latérale côté amont pendage doit être assurée sur une distance plus grande que du côté aval pendage.

On notera enfin que la foration de G.T. en voie et en taille impose de lourdes contraintes dans l'organisation du chantier, car la foration des G.T. est incompatible avec l'exécution d'un autre travail dans le chantier. En particulier, l'emploi de deux sondeuses travaillant en même temps dans une même taille oblige à prendre des mesures de sécurité pour protéger l'équipe des foreurs en aval aérage de la première sondeuse. Dans un cas particulier d'une taille du bassin des Cévennes ces mesures de sécurité consistaient :

1. en de strictes consignes au personnel de la première sondeuse pour ralentir la progression des tiges, voire les arrêter momentanément, en cas de projections anormales;
2. en un dispositif d'alarme sonore placé auprès de la deuxième sondeuse et actionné par le personnel de la première sondeuse, lorsque les projections de la première sondeuse deviennent incontrôlables ou que la teneur en aval aérage devient anormale (mesure de la teneur en aval aérage de la première sondeuse au moyen d'un télégrismètre manuel VT 60 A).
3. en la fourniture aux sondeurs de la deuxième machine d'appareils respiratoires autonomes très légers (2 kg) leur permettant d'évacuer les lieux en cas de nécessité; autonomie 20 minutes.
4. en fixant la distance minimale entre deux sondeuses à 50 mètres.

Les G.T. ne sont efficaces qu'à condition d'être exécutés très régulièrement, ce qui exclut leur emploi dès que le gisement devient irrégulier.

Enfin, la zone d'influence d'un G.T. relativement réduite rend leur emploi très gênant en cas de taille en veine puissante, car il faut alors forer des trous dans deux horizons superposés.

En résumé, on peut dire que la méthode se trouve le mieux adaptée pour des tailles dans des veines moyennement ouvertes (ouverture du charbon inférieure à 1,50 mètre) en gisement régulier.

C'est en veine mince et irrégulière que l'on a enregistré un accident de personnel (46) : dans la zone imparfaitement traitée par les G.T. du fait de l'irrégularité du gisement, les tirs d'ébranlements qui ont été exécutés en remplacement ont eu une efficacité insuffisante.

#### X.3.4. RÉSULTATS OBTENUS.

Malgré ces difficultés, des résultats non négligeables ont été obtenus dans le gisement des Cévennes.

C'est ainsi que de 1963 à 1970, 585 819 tonnes ont été extraites de tailles traitées par G.T. de détente et 813 312 tonnes de tailles traitées par G.T. de reconnaissance. Pendant la même période 3 650 mètres de galerie au charbon avaient été creusés avec G.T. de détente.

#### X.4. Vitesse d'avancement et section de galerie

Depuis longtemps la réduction de la vitesse d'avancement des tailles et des voies et la diminution de la section des galeries ont été préconisées pour diminuer la probabilité d'occurrence d'un D.I. sur tir ou sur poste et ceci avec succès. C'est ainsi qu'en taille on a, selon l'expérience propre à chaque couche, limité l'avancement par poste (par exemple 1,25 mètre) et l'avancement journalier (par exemple 1,75 mètre); pour les voies, la longueur des tirs a été limitée, par exemple, à 1,20 mètre et l'avancement journalier à 1,60 mètre.

En taille, les raisons pour lesquelles une augmentation de la vitesse d'avancement augmente la probabilité de D.I. sont maintenant élucidées.

Toutes choses égales par ailleurs, plus le front de taille avance vite, plus la zone de surcontrainte en avant du front se rapproche du front, ce qui implique que la distance en avant du front à laquelle la pression de gaz est maximale se réduise. Le gradient moyen de pression de gaz se trouve ainsi accru, ce qui augmente la possibilité de déséquilibre du massif générateur de D.I. En langage mineur, on dit que la « frette de protection » en avant du front est réduite, cette frette correspondant à la zone pour laquelle la force de poussée est inférieure à la force de retenue, selon le sens que nous avons donné à ces termes au chapitre traitant de la théorie des D.I.

En avançant vite on augmente également la probabilité de réajustement brusque de contraintes dont on sait qu'il est une cause de D.I., moins à cause du « broyage du charbon » qu'il peut produire que par la diminution de l'« effort de retenue » qui peut en résulter.

On peut trouver une preuve indirecte de l'influence de la vitesse d'avancement sur la probabilité d'occurrence du D.I. en constatant que le nombre de D.I. varie statistiquement au cours de la semaine (figure X.10) et qu'il est minimal le lendemain des jours de repos.

Le rôle de la diminution de la section d'une galerie sur la probabilité de D.I. est moins évident.

On peut penser que, toutes choses égales par ailleurs, une voie dont la section est réduite a moins de chance de traverser une zone de charbon fissuré ( $\Delta p$  élevé), zone qui est plus propice au D.I. parce que la résistance mécanique de la couche est réduite.

Cette méthode de tracer avec section réduite pour éviter les D.I. a fait ses preuves. Si l'on désire avoir une voie définitive en grande section, on peut alors procéder à un recarrage; celui-ci s'opérant sans danger dans la zone qui a été détendue par le creusement de la voie en section réduite.

La détente et le dégazage provoqué par le traçage d'une voie ont été mis à profit autrefois pour l'exploitation de couches à D.I. de  $CO_2$ : le danger de D.I. lors du déhouillement était éliminé en procédant à un quadrillage systématique du panneau par des voies orthogonales délimitant des « piliers » de 30×30 mètres — voire 15×15 mètres —.

#### X.5. Infusion d'eau dans la veine susceptible

Par suite d'un mécanisme qui n'est pas entièrement élucidé, l'infusion d'eau dans la couche de charbon éloignerait la zone de surcontraintes en avant du front de taille (34). Des études faites en laboratoire sur l'influence de l'humidification sur les propriétés mécaniques de quelques roches (45), nous incitent à penser que l'infusion d'eau augmente les possibilités de déformation de la couche, soit en diminuant la résistance des sillons schisteux qu'elle peut contenir, soit en diminuant la résistance de la liaison entre le charbon et ses épontes.

Dans le cas particulier de la Couche IX + X du gisement de Panissière, nous avons en effet constaté, au moyen de capsules BOM, que la culée de contraintes en avant du front se trouvait légèrement déplacée par une infusion d'eau de 1% en volume (figure X.11) mais l'on constate que la distance à

laquelle la veine se trouve détendue (abscisse du point A soit 4 mètres) est identique dans les deux cas. Il semble qu'ici l'influence de l'infusion n'ait été que partielle: d'après les renseignements que nous avons recueillis en URSS (34), il aurait fallu infuser 3 à 4% d'eau pour que l'effet escompté se manifestât pleinement. Nous allons poursuivre nos efforts dans ce sens.

Il est toutefois à noter que l'infusion d'eau en veine susceptible est difficile. Lorsque l'on fore les trous pour l'infusion d'eau en avant du front de taille (ici trou de  $\phi$  44 mm, longueur 60 à 70 mètres, forés à 100/150 mètres en avant du front et parallèlement à celui-ci), il se produit des réactions (comme lors de la foration des G.T.): le massif se détend autour du trou foré et son étanchéification ultérieure avec un lait de ciment devient difficile. Ici il a fallu parfois forer des trous supplémentaires pour injecter du ciment dans la veine afin d'obtenir une étanchéité suffisante des trous d'infusion. L'infusion d'eau a été réalisée à la pression maximale de 60 bars.

A noter que l'infusion d'eau faite par trous de faible longueur (3 à 5 mètres) à partir du front de taille, peut être dangereuse pour le personnel d'exécution si elle est pratiquée avec une pression d'eau trop importante. La figure X.12 montre en effet que dans le cas indiqué, il s'est produit au cours de l'infusion une avancée du massif non négligeable. Cette détente du massif est salutaire dans la mesure où elle se produit lentement; mais elle peut provoquer le D.I. si elle se produit rapidement. Devant l'impossibilité de définir pratiquement et quantitativement ce qu'est une détente « lente » ou « rapide » et d'en contrôler sûrement le déroulement, cette méthode d'infusion a été rejetée. L'infusion par longs trous parallèles au front ne présente pas le danger de provoquer un D.I. intempestif sous réserve de ne plus infuser lorsque le front arrive à une certaine distance du trou d'infusion. Cette distance peut être de l'ordre de 15 mètres.

## X.6. Les méthodes d'exploitation

Il est des moyens de lutter partiellement contre les D.I. autres que ceux que nous venons d'exposer. Ils consistent en une série de précautions que l'on doit avoir présentes à l'esprit lorsque l'on prépare un projet d'exploitation ou que l'on procède au déhouillement d'un panneau.

### 1. Prendre en considération la tectonique :

Il est recommandé de placer les voies à plus de 10 mètres des accidents tectoniques reconnus; en particulier les remontages de taille (figure X.13a).

Lorsque ceux-ci sont creusés trop près de l'accident la fréquence des D.I. est accrue; soit parce que le charbon se trouve tectonisé donc moins résistant, soit que la veine ait une ouverture par trop variable. En effet, lorsque le montage passe d'une zone à ouverture réduite à une zone à ouverture accrue, la détente du charbon se fait mal en avant du front, parce que la convergence naturelle des épontes s'oppose au fluage du charbon en direction du front. Cela est vrai également en taille: le risque de D.I. augmente lorsque l'on traverse une zone d'étreinte (tectonisation du charbon) et lorsqu'on en sort (détente insuffisante) (figure X.13b)'.

### 2. Eviter les zones de surcontrainte :

Les zones de surcontrainte sont à éviter parce qu'elles provoquent des réajustements plus fréquents et parce qu'elles freinent le dégazage du charbon puisque l'on sait que la perméabilité du charbon est d'autant plus faible que la contrainte est plus élevée.

Dans les gisements à D.I. il est recommandé de situer les fronts de taille perpendiculairement aux voies. On évite ainsi de créer des angles taillants (figure X.13c) qui sont des lieux d'accumulation de contraintes.

Un autre lieu d'accumulation de contraintes est l'aplomb d'une limite d'exploitation dans une exploitation sus-jacente (figure X.14a). Autour de l'aplomb de la limite d'exploitation L dans la veine A existe, en veine B, une zone MN où l'on constate un accroissement des contraintes. La traversée de cette zone est particulièrement dangereuse. Si la veine A est couche égide pour la veine B, le front F passe brusquement d'une zone dégazée et détendue à une zone non dégazée et surcontrainte avant de pénétrer en zone non dégazée et non détendue.

L'étendue de la zone MN n'est pas très précise: dans le gisement de Ricard, en 3<sup>ème</sup> couche, elle s'étendait à + 10 mètres de l'aplomb de la limite d'exploitation dans la 1<sup>ère</sup> couche située 30 mètres au-dessus.

La conjonction de deux limites d'exploitation provenant d'un stot laissé dans la veine sus-jacente augmente l'étendue de la zone MN: les contraintes restent maximales à l'aplomb des limites L<sub>1</sub> et L<sub>2</sub>, mais il y a également surcontrainte dans la partie intermédiaire. Cette zone surcontrainte en veine B est un lieu d'élection pour les D.I. (figure X.14b).

A titre d'ordre de grandeur disons que l'effet stot se fait sentir lorsque la distance L<sub>1</sub> L<sub>2</sub> dépasse une quinzaine de mètres (si L<sub>1</sub> L<sub>2</sub> est inférieure, le stot s'écrase et l'effet stot se trouve très réduit). Les

deux limites L1 et L2 peuvent être considérées comme indépendantes lorsqu'elles sont distantes d'une soixantaine de mètres.

Nous mentionnerons enfin la zone de surcontraintes régnant dans le massif en bordure d'une exploitation dans la couche elle-même (figure X.15a). Il est donc déconseillé de placer une voie ou un montage dans cette zone. Un remontage de taille doit être placé contre l'ancienne exploitation, ou à une trentaine de mètres: toute position intermédiaire est à déconseiller (figure X.15b).

Ces considérations sont valables pour la conduite d'une voie en antenne en avant d'un front de taille (figure X.15c): ou bien le front de la voie est presque aligné avec le front de taille ( $x \leq 2$  ou 3 m), ou bien le front se trouve très en avant ( $x \geq 30$  à 40 m): les positions intermédiaires sont là aussi à déconseiller.

### 3. Choix des méthodes de travail:

Dans les tailles à toit généralement raide des houillères des Cévennes, le contrôle du toit par foudroyage est considéré, du point de vue des D.I., comme préférable au remblai. Nous n'avons pas apporté la preuve expérimentale que cette façon de faire soit préférable mais nous pensons qu'elle l'est effectivement pour les raisons suivantes.

Les modèles de comportement des toits que l'on a pu utiliser pour étudier les contraintes et déformations aux alentours des fronts de tailles (47) (48) nous ont appris que la préconvergence  $ab$  (figure X.16) dépend de l'affaissement final des bancs du toit, lequel est une fraction  $qW$  de l'ouverture exploitée  $W$  ( $q \leq 1$ ). Avec un contrôle du toit par foudroyage,  $q \approx 1$ ; avec remblai pneumatique  $q \approx 0,5$ . Le foudroyage impose donc à la couche de charbon une préconvergence  $ab$  plus grande de celle que lui imposerait le remblai pneumatique. Or, cette préconvergence entraîne un fluage de la couche en direction du front libre. Ce fluage se traduit par une dislocation de la couche favorable, à la diminution de la pression de gaz en avant du front. D'où la création de cette « frette de protection » dont nous avons parlé plus haut. Plus importante sera la préconvergence  $ab$ , plus large sera la frette, et partant plus faible le risque de D.I. après tir et a fortiori sur poste après tir. A condition toutefois que cette préconvergence s'effectue progressivement, c'est-à-dire sans créer une brusque diminution de la résistance mécanique de la couche.

La méthode d'abattage peut avoir également une influence sur la fréquence des D.I. Toute méthode d'abattage par grosses enlevures provoque une

brusque variation de l'état d'équilibre en avant du front d'où possibilité accrue de D.I. De ce point de vue le T.E. est l'agent provocateur de D.I. par excellence, mais il a le gros avantage de faire se produire le D.I. à un moment bien déterminé, le personnel étant alors éloigné du chantier. Une fois le D.I. produit, on peut ensuite travailler à front sans danger. Bien qu'agent provocateur, le tir d'ébranlement assure donc la sécurité du personnel en taille et, en ce sens, on peut le considérer comme une méthode de prévention des dommages consécutifs aux D.I. intempestifs qui se produiraient sans lui.

Statistiquement le T.E. est efficace. De 1956 à 1965 sur 756 D.I. qui se sont produits dans les chantiers conduits avec tir dans le bassin des Cévennes, on constate que 98% des D.I. se sont produits dans les 30 secondes suivant le tir, 0,7% se sont produits entre 30 secondes et 30 mn après le tir; 1,3% seulement se sont produits plus de une heure après le tir. On a pu également contrôler l'efficacité du T.E. en examinant l'évolution de teneur en grisou dans le retour d'air des tailles en dehors du temps où se produit l'élévation de teneur due au tir lui-même (figure X.17). On a constaté que le régime grisouteux des tailles restait très stable. Au cas où on constaterait des anomalies de teneur dans le retour d'air de la taille, il faudrait en conclure que le tir d'ébranlement a été insuffisant et qu'il devrait être renforcé. Le central de télégrisoumétrie est, en ce domaine, un outil de contrôle extrêmement précieux.

Techniquement un tir d'ébranlement est constitué de mines perpendiculaires au front de charbon à abattre; elles sont régulièrement réparties sur toute la surface du front. L'expérience a permis de mettre au point des schémas de tirs efficaces adaptés à chaque cas particulier.

A titre d'exemple, disons qu'en voie il est imposé au minimum une mine par  $m^2$  de section de front à abattre, chargée au minimum de 200 g d'explosif GDC.1; toutefois, le nombre de mines ne pourra être inférieur à quatre et la charge totale d'explosif à un kilogramme. La longueur des mines est supérieure de 0,20 m à 0,30 m à celle de l'avancement que l'on veut réaliser.

Une technique associant, dans certains traçages, un tir d'abattage et un tir d'ébranlement, est parfois utilisée. Par exemple la devanture au charbon est abattue par 15 mines de 1,50 m de longueur constituant un tir d'abattage. On ajoute 6 mines également réparties sur la surface du front, forcées perpendiculairement à celui-ci. Leur longueur est 1,50 m + 0,60 m. Ces 6 mines constituent le tir d'ébranlement. Elles sont munies de détonateurs microretards dont

le numéro de retard est de 2 numéros supérieur au numéro de retard le plus élevé du tir d'abattage.

A titre d'exemple également, disons qu'en taille le tir d'ébranlement est constitué de mines dont la longueur est supérieure de 0,20 m à la largeur de la havée de charbon que l'on veut abattre (longueur des mines 1,45 m pour une havée de 1,25 m). La charge d'explosif est fonction des conditions locales: par exemple 300 g d'explosif GDC.1 par m<sup>3</sup> de charbon à abattre. Les détonateurs sont toujours des détonateurs instantanés.

Dans le cas où après avoir appliqué une méthode de prévention — gros trous par exemple — on ne pratique plus le T.E., les méthodes d'abattage par grosses enlevures restent déconseillées.

A l'abattage par havcuse, on préférera l'abattage par rabot qui, en procédant à un abattage régulier par petites enlevures, évite les déséquilibres brutaux générateurs de D.I. L'abattage par rabot doit être considéré comme le complément naturel des méthodes de prévention autres que la protection par couche égide.

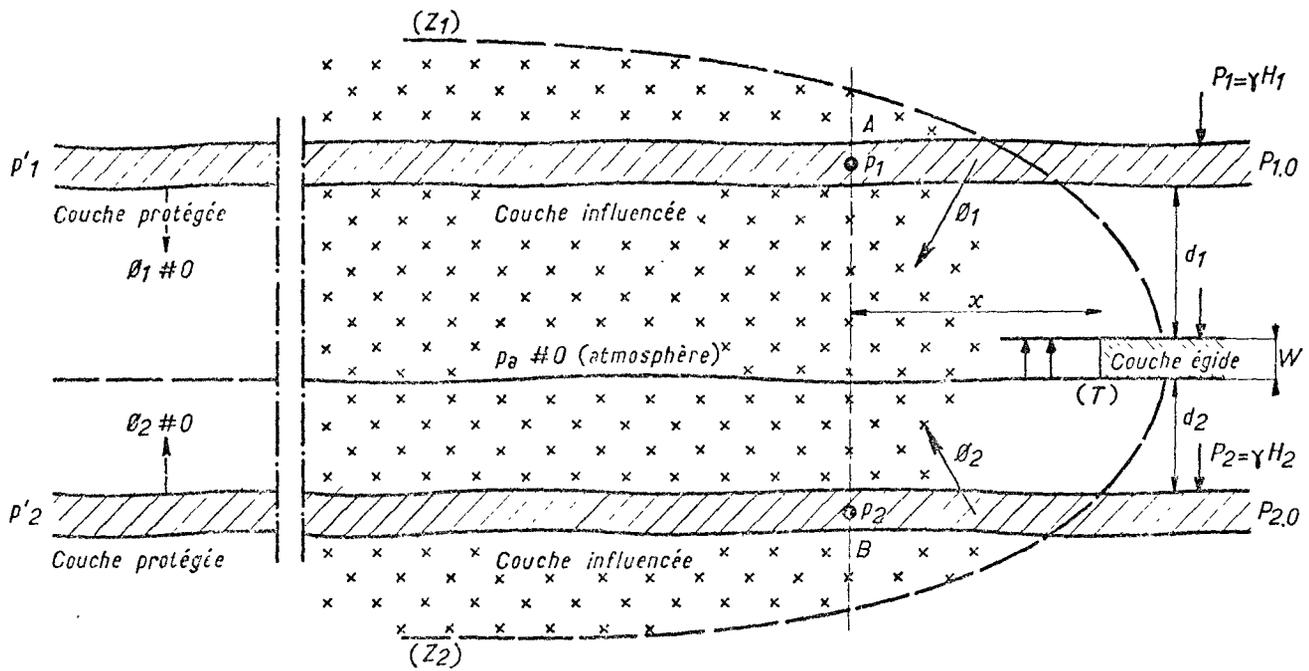
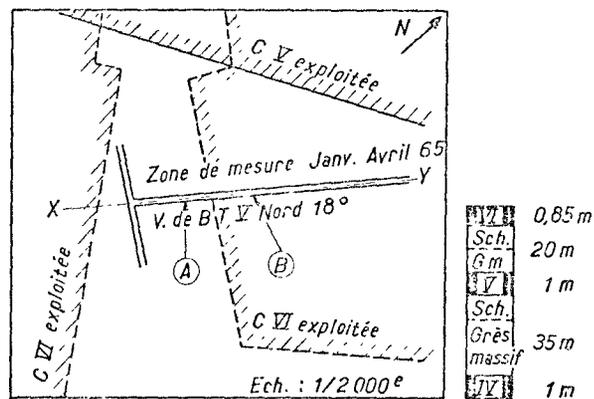
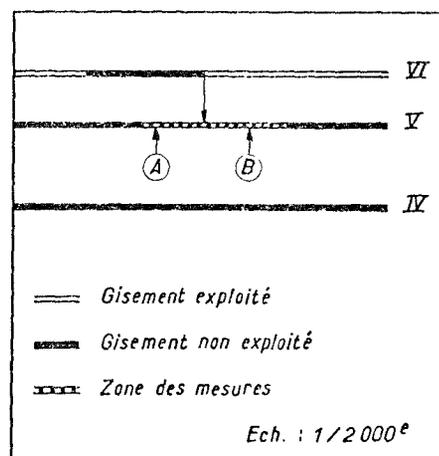


Fig. X-1 — Schéma de principe montrant l'influence d'une couche égide

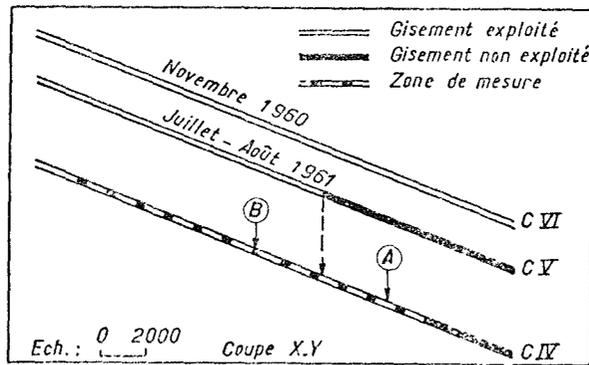
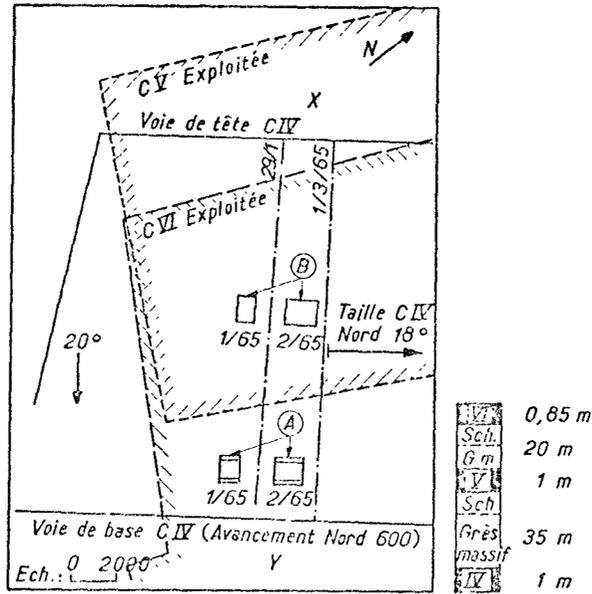


Coupe X-Y



Très nette influence de couche VI sur couche V qui, après influence n'est plus susceptible à D.I.

Fig. X-2 — Recherche de l'influence d'une couche égide par mesure de la concentration en gaz  
Molières: Couche V — Voie de base — Taille Nord 18°



Pas d'influence décelable de couche V sur couche IV  
 $\frac{CO_2}{CO_2 + CH_4} = 10\% \text{ environ}$

Fig. X-3 — Recherche de l'influence d'une couche égide par mesure de la concentration en gaz  
 Molières couche IV — Taille Nord 18° —

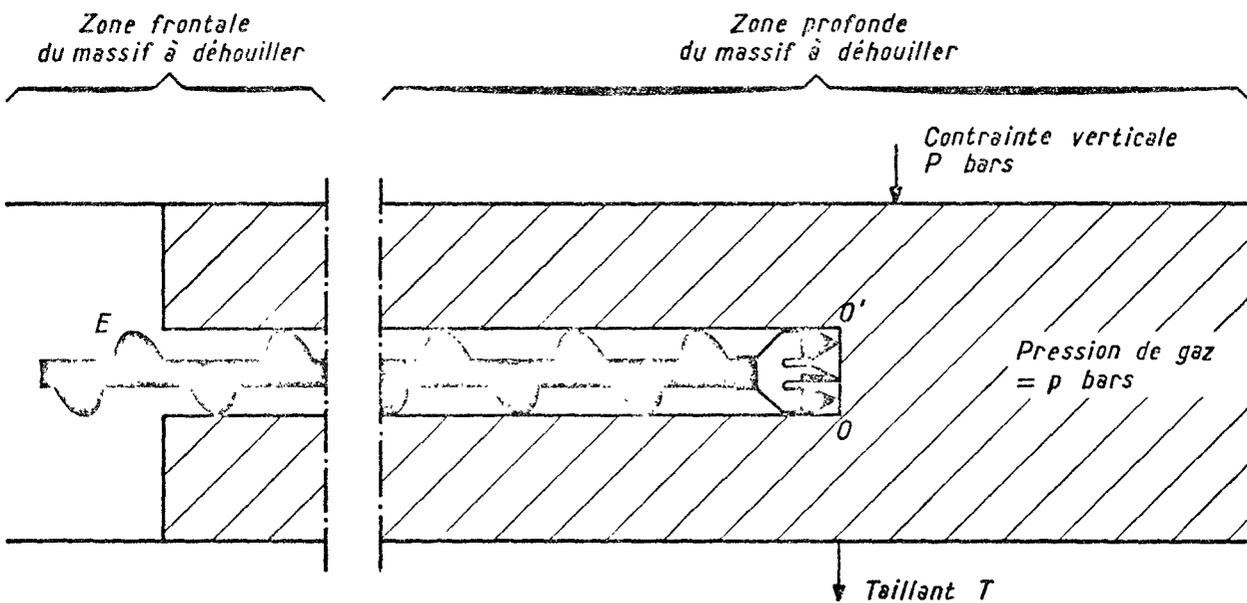


Fig. X-4 — Foration d'un gros trou (Schéma)



Fig. X-5 — Détente du massif par fluage du charbon en direction du vide créé par le gros trou (dont la trace est visible au toit de la couche)

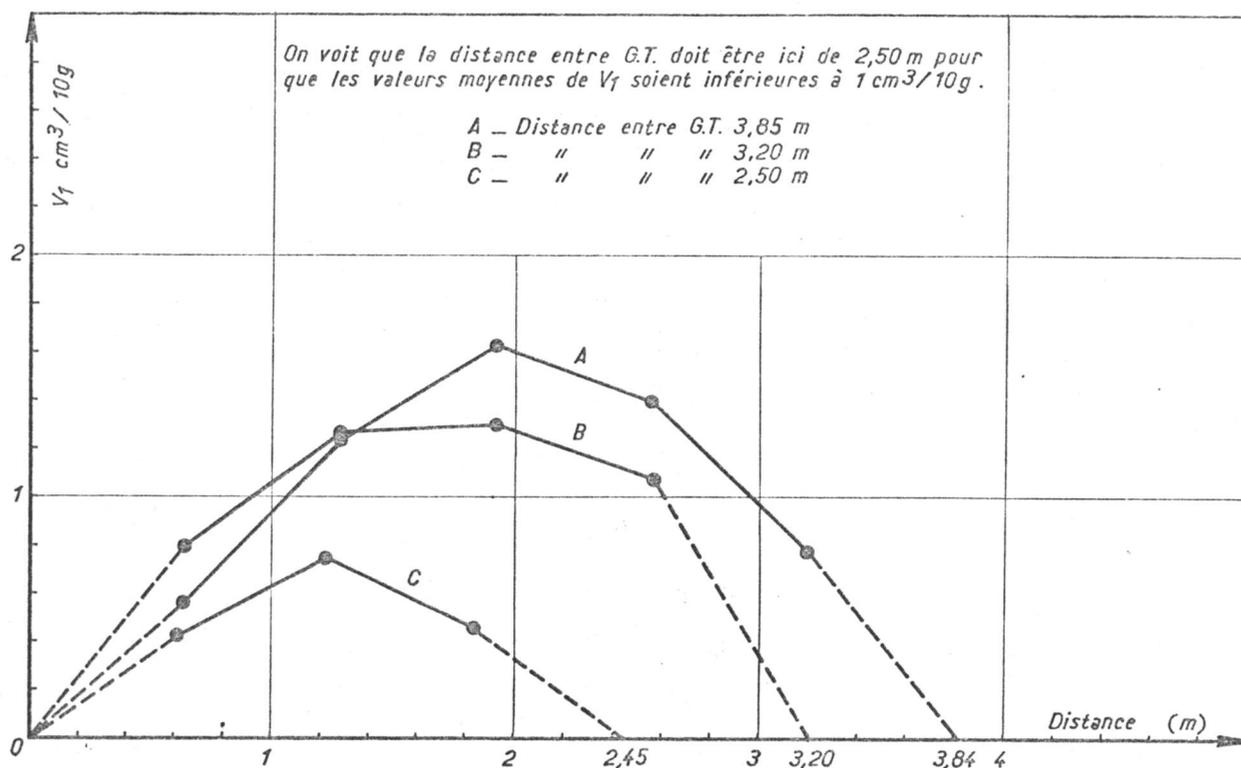
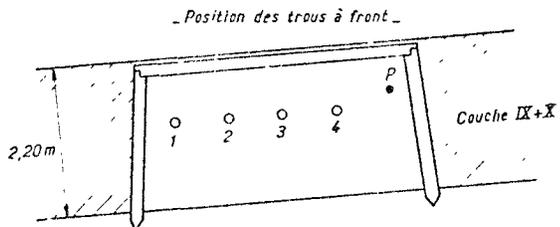


Fig. X-6 — Mesure de  $V_1$  entre gros trous en taille de 0,90 m d'ouverture



P Trou de mesure de la pression  $\varnothing 44$  mm  
 1, 2, 3, 4 Gros trous  $\varnothing 140$  mm creusés successivement  
 de plus en plus près du trou P

Distances  $\left\{ \begin{array}{l} P 1 - 2,90 \text{ m} \\ P 2 - 2,30 \text{ m} \\ P 3 - 1,55 \text{ m} \\ P 4 - 0,80 \text{ m} \end{array} \right.$

1, 2, 3, 4 Variation de la pression du gaz pendant la foration des gros trous 1, 2, 3 puis 4.

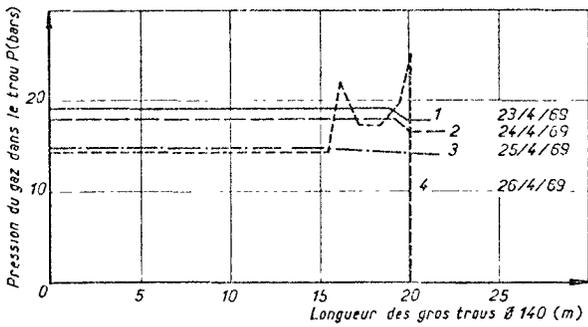


Fig. X-7 — Contrôle du rayon d'action d'un gros trou en voie

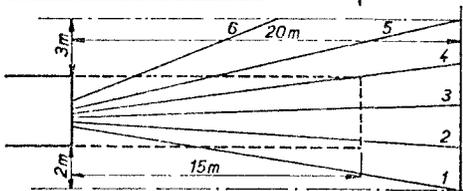
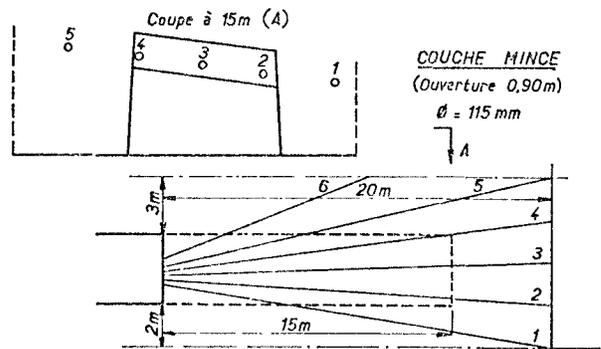
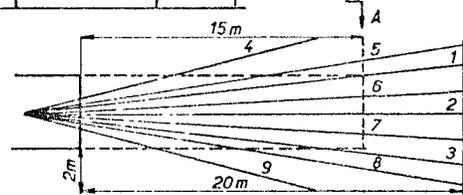
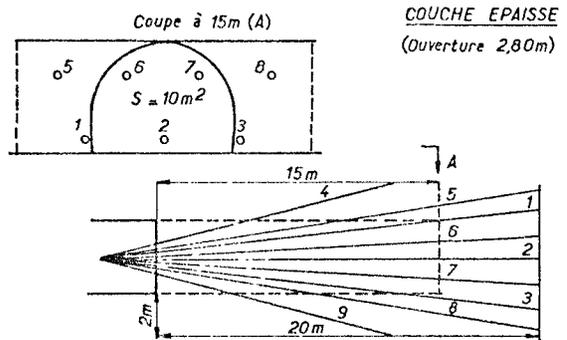


Fig. X-8 — Schéma de prévention en voies par gros trous de détente  $\varnothing 140$  mm

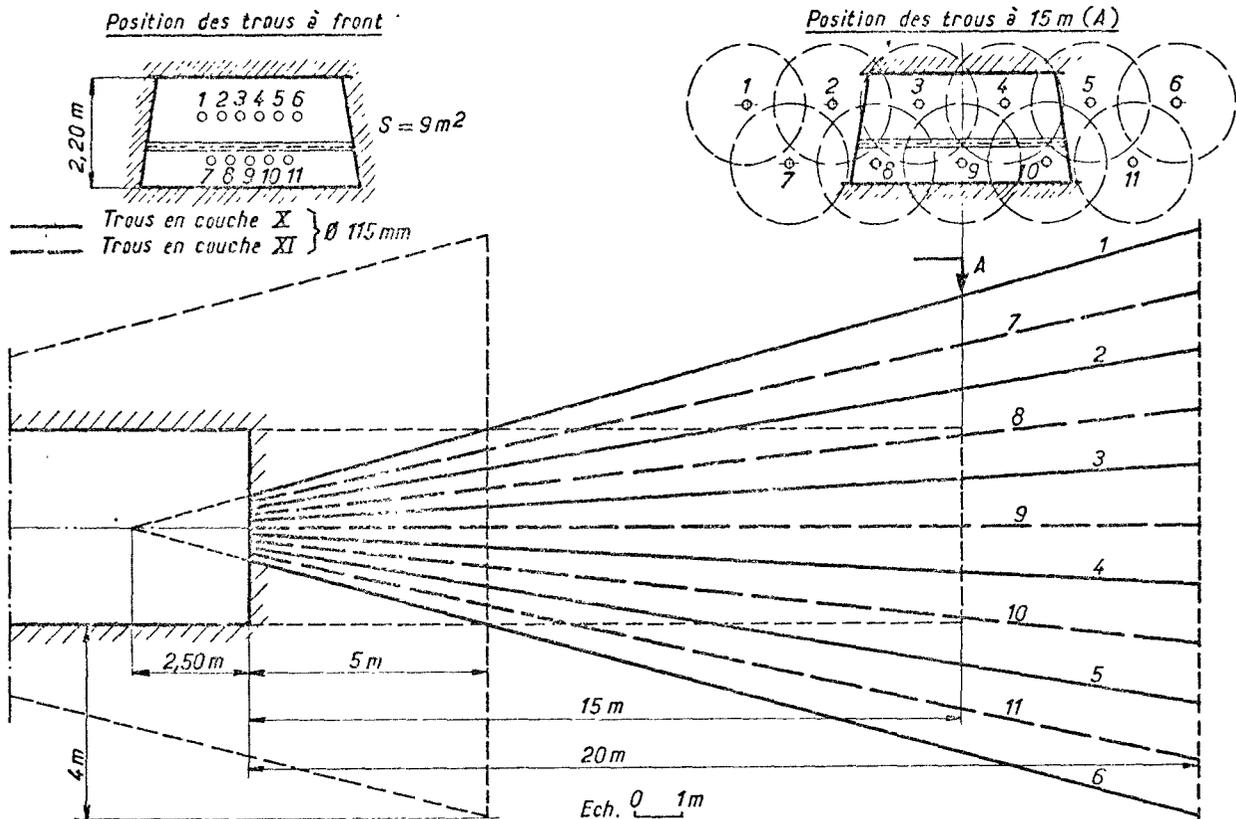


Fig. X-9 — Schéma de prévention en voies par trous de détente en couche de moyenne puissance

	Nombres	Fréquences
Lundi *	65	0,086
Mardi	119	0,157
Mercredi	126	0,167
Jeudi	146	0,193
Vendredi	145	0,192
Samedi	155	0,205
	756	1,000

\* Par lundi il faut entendre lendemain de jour chômé. Le mardi est le lendemain du lundi, pris dans le sens où il vient d'être défini, et ainsi de suite pour les jours suivants de la semaine.

Fig. X-10 — Houillères des Cévennes-Dénombrement des D.I. de 1956 à 1965 selon le jour de la semaine

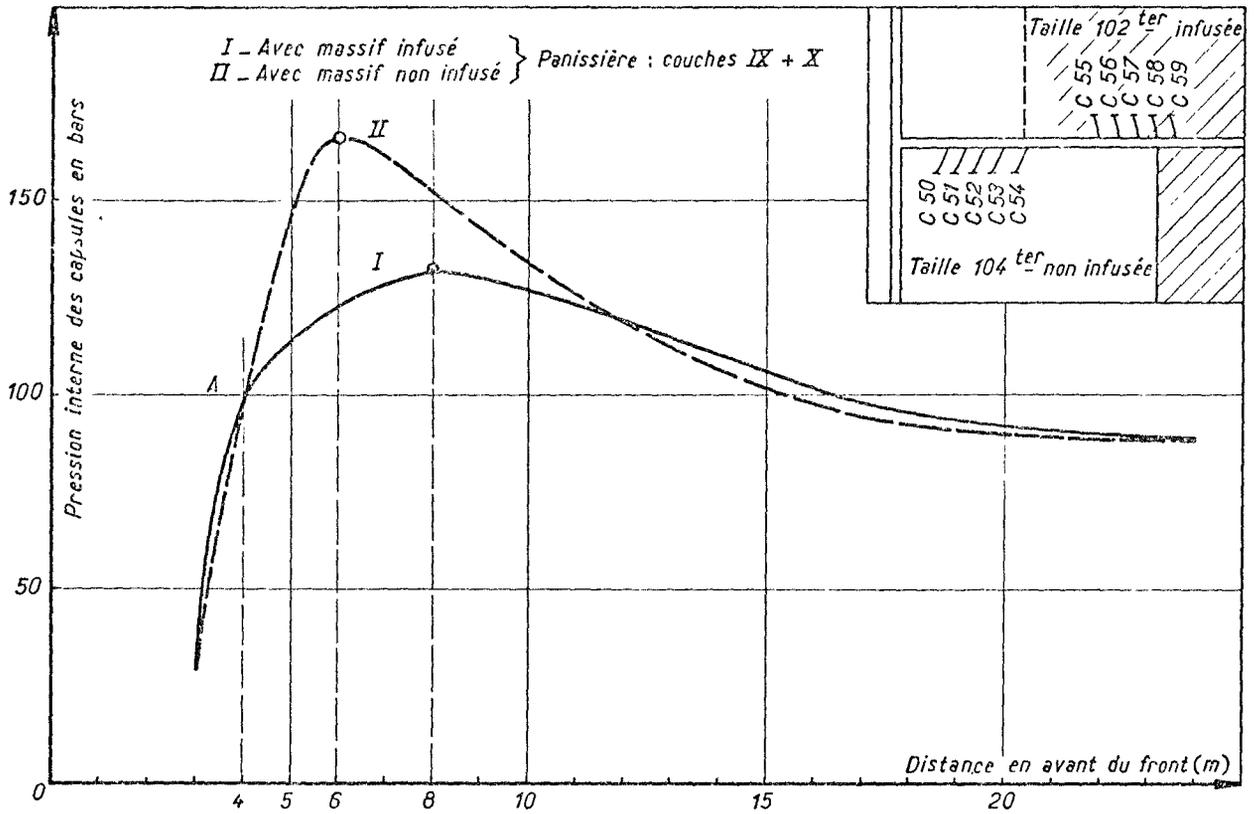


Fig. X-11 — Courbes moyennes de l'évolution de la pression interne des capsules B.O.M.

Infusion par trous T1 et T2 distants de 10 m, obturés sur 4,50 m de long. Pression d'infusion : 90 bars  
 Pendant l'infusion simultanée par les trous T1 et T2 on mesure l'avancée d'ancrages M1, M2, M3 placés respectivement à 0,60, 2,80, 4,80 m dans le plan (ab) équidistant des trous T1 et T2 ainsi que la convergence en taille en CD.

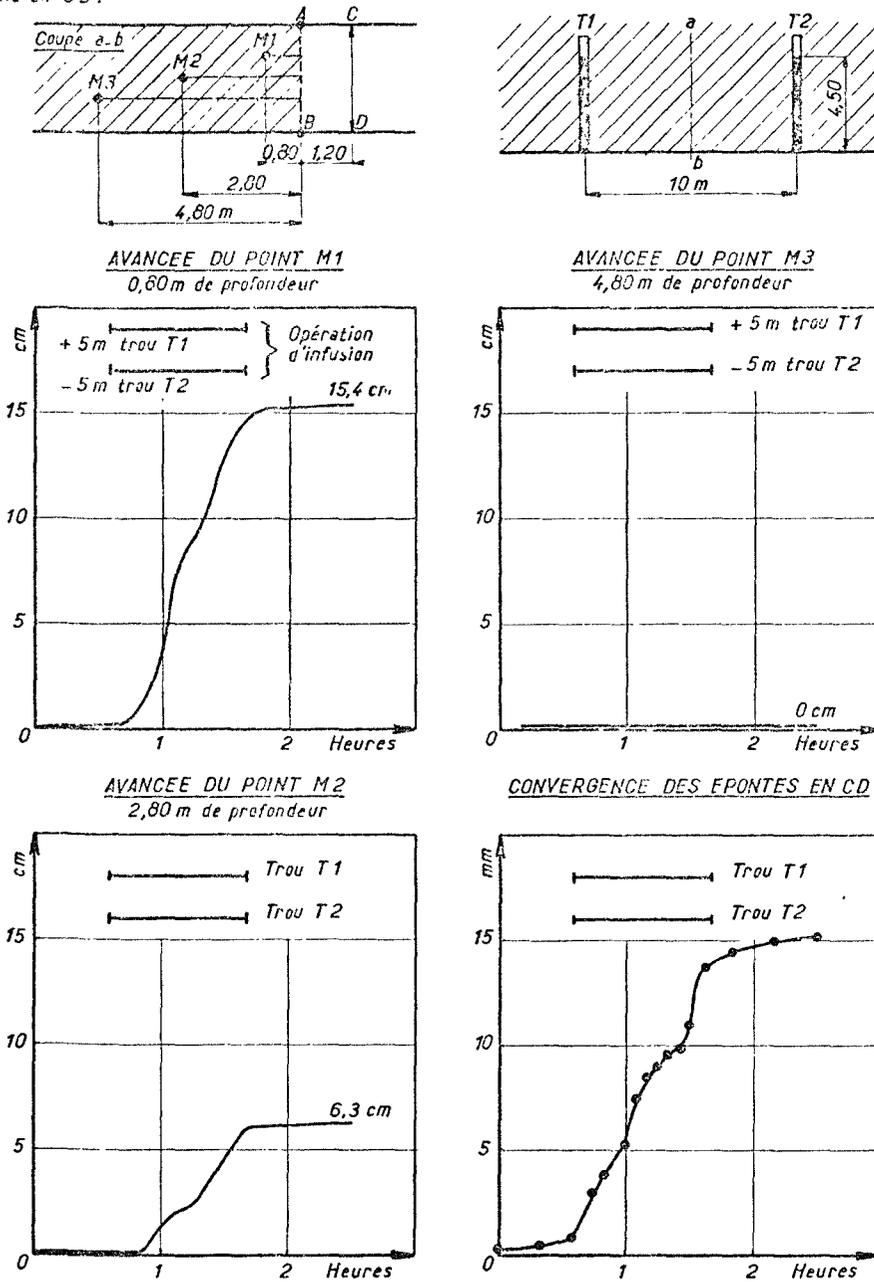
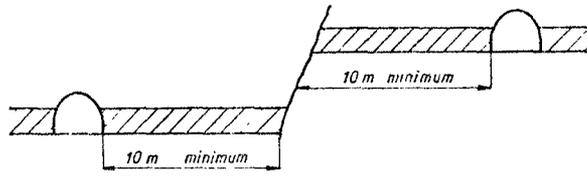
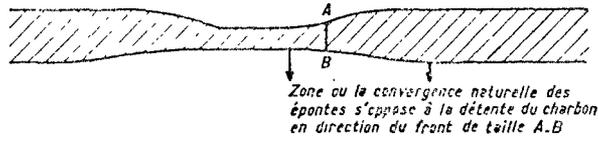


Fig. X-12 — Avancée du massif lorsque l'on pratique l'infusion d'eau par trous perpendiculaires au front de taille  
 Taille 3 — Veine Marthe — Fosse 2 Lens



a - POSITIONNEMENT DES VOIES PAR RAPPORT A UN ACCIDENT



b - DANGER PRÉSENTÉ PAR UNE REOUVERTURE DE VEINE APRES ÉTREINTE

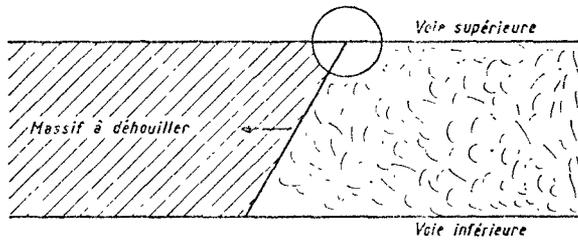
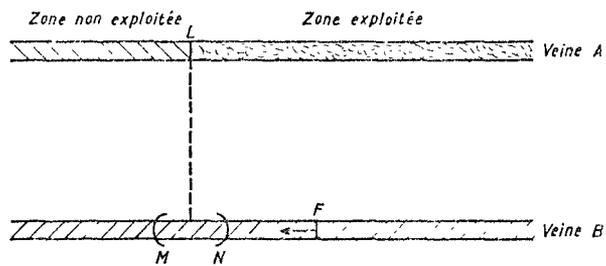
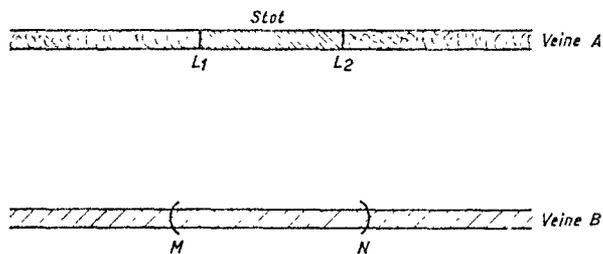


Fig. X-13

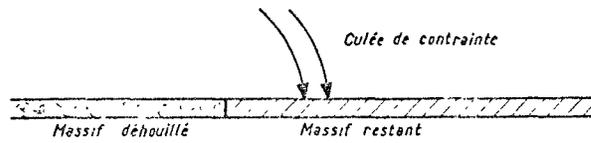


a) - INFLUENCE D'UNE LIMITE D'EXPLOITATION

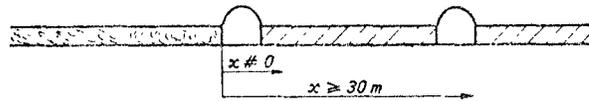


b) - INFLUENCE D'UN STOT

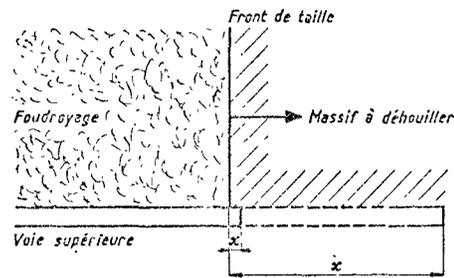
Fig. X-14



**a - ZONE DE CULEE EN BORDURE D'UNE EXPLOITATION**



**b - POSITIONNEMENT DES MONTAGES  
LE LONG D'UNE ANCIENNE EXPLOITATION**



**c - POSITIONNEMENT DU FRONT D'UNE VOIE D'ACCOMPAGNEMENT  
PAR RAPPORT AU FRONT DE TAILLE**

Fig. X-15

*a b : Préconvergence*

*qW : Convergence finale*

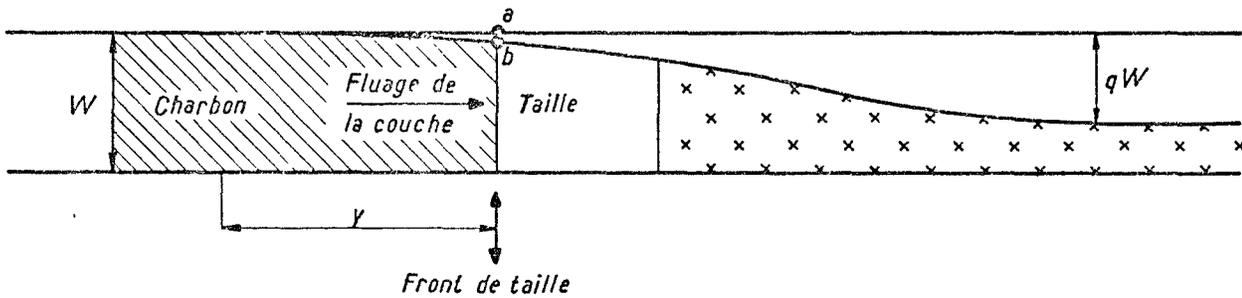


Fig. X-16 — Schéma de taille

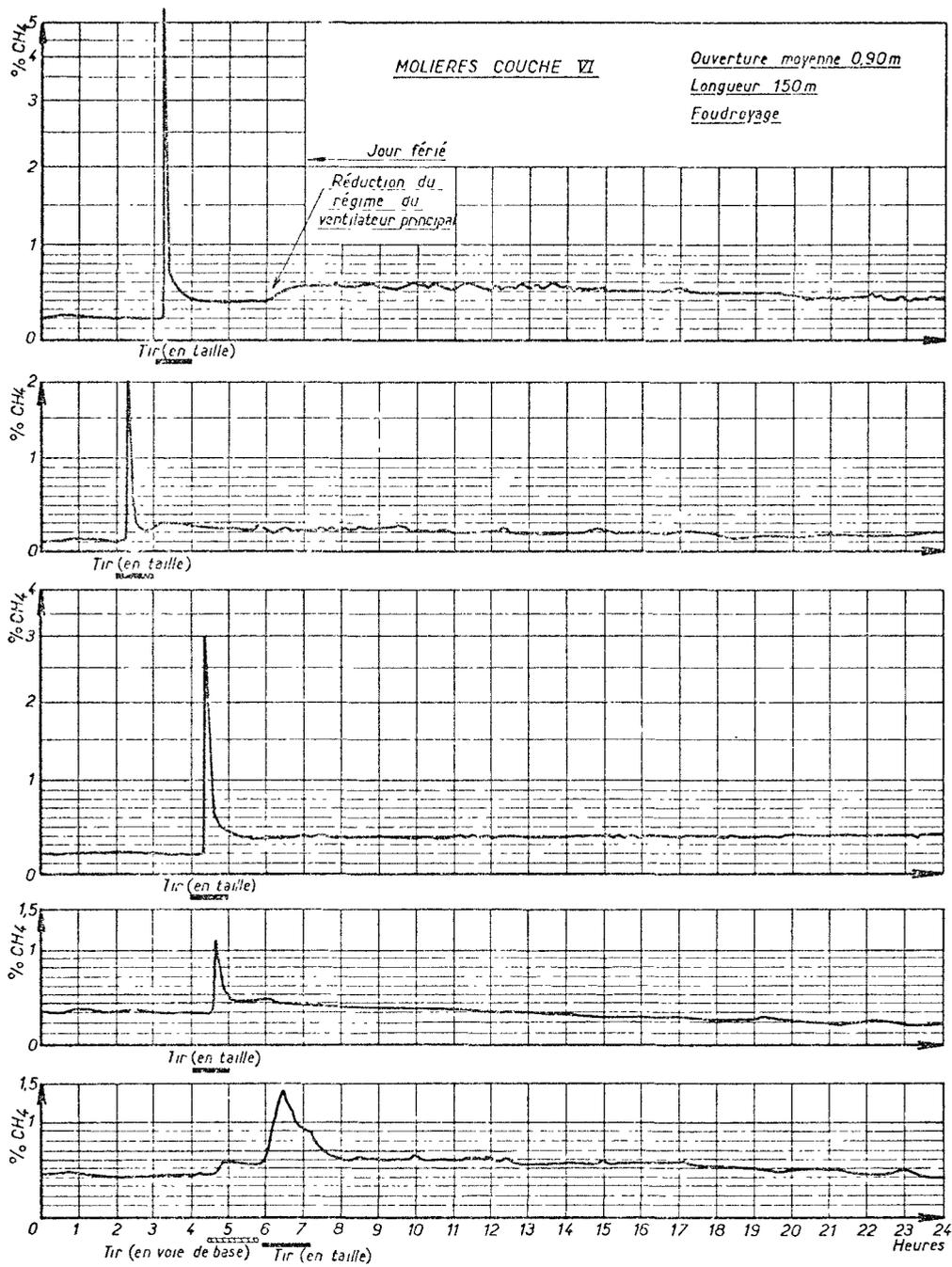


Fig. X-17 — Quelques exemples de la variation des teneurs dans le retour d'air d'une taille après exécution du tir d'ébranlement (1 seul tir par jour)

## Chapitre XI

### L'ÉLECTRIFICATION EN MINE A D.I.

Dans les mines à D.I. l'électrification pose des problèmes particuliers en raison de la rapidité de l'émission du grisou en cas de D.I. intempestif et de la violence des projections de charbon et de rocher qui l'accompagnent.

Nous allons passer rapidement en revue les solutions adoptées.

#### XI.1. Volet déclencheur (figure XI.1.)

Lorsqu'un D.I. important se produit dans un chantier A, la quantité de grisou produite peut être si importante que le courant d'air C soit diminué, interrompu ou inverse. Dans ce dernier cas, du grisou peut refluer sur l'entrée d'air jusqu'à la sous-station électrique d'accrochage.

Pour éviter le fonctionnement de cette sous-station en présence de grisou, on dispose en B, dans la galerie, un volet — V — oscillant autour d'un axe horizontal O. Si le courant d'air est réduit ou inversé, le volet V s'abaisse et fait fonctionner un relai qui assure la mise hors tension de la sous-station et la coupure du courant en aval de la sous-station. La distance de B à la sous-station doit être suffisante pour que, même en cas de D.I. très violent, le courant soit coupé à la sous-station avant l'arrivée du grisou dans celle-ci.

Ce dispositif est employé notamment au puits Ricard où des D.I. particulièrement importants se sont produits.

#### XI.2. Protection des installations électriques en aval aérage d'un traçage situé sur l'entrée d'air (figure XI.2)

On dispose à l'entrée du traçage A un analyseur-déclencheur rapide qui, en cas de dépassement de la teneur de 1% dans l'atmosphère du traçage, assure, par des fils pilotes, la coupure du courant qui l'alimente et la coupure du courant sur toutes les installations électriques en aval aérage.

Nous rappelons que l'appareil mis au point pour cela au CERCHAR est l'ADR-59 D (analyseur déclencheur rapide). Ses caractéristiques sont exposées dans (23).

Signalons que le temps de réponse de l'ADR est inférieur à 2 secondes pour une teneur supérieure, en valeur relative, à 10% de la teneur prévue pour le seuil de déclenchement (généralement 1% de CH<sub>4</sub>).

Cet appareil robuste, de sécurité positive, a depuis dix ans fait ses preuves: il n'a manifesté aucune défaillance.

#### XI.3. Électrification des pieds de taille

L'électrification des pieds de taille en mine à D.I. de CH<sub>4</sub> ou mixte a été longtemps freinée pour les raisons suivantes :

- Nécessité d'un contrôle permanent de la teneur en CH<sub>4</sub> qui peut augmenter rapidement en cas de dégagement intempestif;
- Risque d'arrachement du câble ou d'endommagement du moteur électrique de la tête motrice.

Aussi l'électrification n'est-elle normalement effectuée qu'au-delà d'une distance de 60 mètres en amont aérage du pied de taille.

Des dispositifs ont été mis au point pour pallier cet inconvénient.

#### XI.3.1. PROTECTION DU MOTEUR ÉLECTRIQUE SITUÉ AU PIED DE TAILLE A L'AIDE D'UN ADR 59 — UTILISATION DE MOTEURS PARALLÉLÉPIPÉDIQUES A BOÎTE A BORNE INCORPORÉE

L'analyseur déclencheur rapide ADR 5 permet une mesure permanente de la teneur en CH<sub>4</sub> au droit du moteur électrique.

Pour éviter un déplacement journalier de cet appareil, on accepte un délai de réponse inférieur à 20 secondes et on aspire le gaz à doser à l'aide d'une tuyauterie de 25 mètres.

Les coffrets de commande du moteur sont situés à environ 30 mètres en amont aérage. Les moteurs sont du type parallélépipédique à carcasse robuste et boîte à borne incorporée pour augmenter le défilement en cas de projections de charbon.

Enfin, un dispositif monté dans la boîte à borne contrôle l'effort mécanique sur le câble et coupe le courant au coffret si le câble glisse de plus de 1 mm dans l'entrée de câble.

Depuis le mois de septembre 1966, neuf pieds de taille ont été électrifiés. Aucun incident n'est à signaler.

### XI.3.2. UTILISATION DE MOTEURS HYDRAULIQUES EN PIED DE TAILLE, LA CENTRALE HYDRAULIQUE ÉTANT SITUÉE A 60 MÈTRES AU MOINS EN AMONT AÉRAGE

Le risque de refoulement gazeux à 60 mètres sur l'entrée d'air du pied de taille étant considéré comme nul, on a cherché à disposer le moteur électrique entraînant une pompe à plus de 60 mètres du pied de taille, le fluide à haute pression étant conduit par tuyauteries jusqu'aux moteurs hydrauliques de la motrice de taille.

Le premier dispositif en service comprend :

- a) un moteur électrique de 132 kW,
- b) une pompe de 400 litres/minute sous 170-180 bars, immergée dans une cuve (d'une capacité de 1200 litres) contenant les appareils accessoires de contrôle.
- c) deux moteurs hydrauliques Staffa de 4,32 litres de cylindrée qui entraînent le blindé de taille par l'intermédiaire de réducteurs spéciaux.

Le risque incendie est totalement écarté par l'utilisation de fluide incombustible du type THI — 4 D.

L'installation actuelle va être complétée par l'entraînement hydraulique du rabot.

Un ensemble du même genre va être commandé pour une autre taille.

Notons qu'un des avantages de la transmission hydraulique est le silence de fonctionnement, même comparé à un moteur électrique.

### XI.3.3. DISPOSITIF DÉTORUPTEUR — DÉTORELAIS ET CÂBLE DOUBLE ÉCRAN

#### — Câble double écran

Ce câble comporte (voir figure XI.3) deux écrans conducteurs concentriques  $E_1$  et  $E_2$ . L'écran  $E_2$  intérieur est isolé, l'écran extérieur  $E_1$  est à la terre et sert de conducteur de masse. Le conducteur  $P_4$  de section identique aux conducteurs de phases  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$ , forme avec l'écran  $E_1$  le circuit de commande du détorelais. Les écrans  $E_1$  et  $E_2$  sont séparés l'un de l'autre par une couche d'isolant de résistance mécanique suffisante pour éviter leur mise en contact intempestive sous l'action d'efforts normaux imposés au câble. Au contraire un effort dangereux de cisaillement — coup de hache, chute de pierre — ou de pression, provoque le fluage de la matière isolante entre les deux écrans et leur mise en contact, qui entraîne par l'intermédiaire d'un montage électronique le fonctionnement successif des détourrupteurs et du détorelais.

Un câble de ce type a été mis en essai dans le bassin des Cévennes dès 1963. Il est toujours en service et l'on n'a jamais constaté de contact intempestif entre les deux écrans. Les essais faits au laboratoire sur des échantillons de ce câble avaient mis en lumière son excellente résistance aux efforts mécaniques (pliage, compression) et montré qu'il y avait contact entre les écrans pour des efforts bien inférieurs à ceux provoquant la mise en court-circuit des conducteurs principaux.

#### — Détourrupteurs

Le principe de fonctionnement du détourrupteur est simple (voir figure XI.4). Une charge explosive D constituée par un détonateur est placée à l'intérieur d'un conducteur creux O situé dans l'axe d'une chambre remplie de borax; cette dernière est constituée par une enveloppe P en stratifié de polyester et obturée aux deux extrémités par deux pièces métalliques R et S. La mise à feu du détonateur provoque le fractionnement du conducteur O et donc celui de l'arc de coupure. A cet effet très favorable à la coupure rapide de l'arc, viennent s'ajouter ceux de soufflage — par la pression due aux gaz dégagés — et de refroidissement par le borax. Il a été possible par la réunion de tous ces facteurs de provoquer la coupure d'un courant de 700 A en quelques milli-secondes.

Les détourrupteurs se présentent comme les coupe-circuit sous la forme de cartouches facilement embrochables et montées sur chacune des trois phases du réseau à protéger. Ils sont installés dans un coffret antidéflagrant agréé le 16 juin 1960.

#### — Détorelais

Cet appareil se présente sous la forme d'un cylindre d'acier facilement logeable dans la boîte de raccordement des moteurs (voir figure XI.5).

Il comporte un disque d'acier d sur lequel sont montées trois broches  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  placées en face de trois alvéoles  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  reliés aux trois phases du moteur.

Le disque est maintenu en place par une tige E contre laquelle est placé un détonateur D. Lors du départ de ce dernier, la tige est rompue et le disque projeté; les broches s'emmanchent brusquement dans les alvéoles correspondants et mettent les trois phases du moteur en court-circuit.

Le temps de fonctionnement du détorelais est de 0,5 milliseconde.

Le câble double écran et la rapidité de fonctionnement des détourrupteurs et détorelais doivent permettre d'éviter tout arc électrique provenant de l'endommagement du câble par projection de produits solides par le D.I.

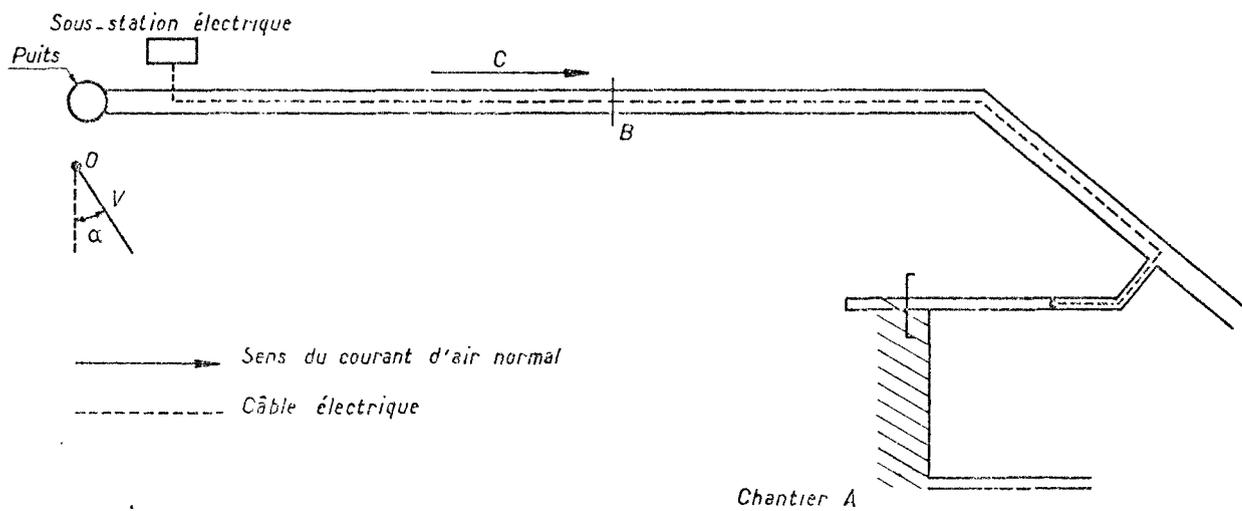


Fig. XI-1 — Volet déclencheur

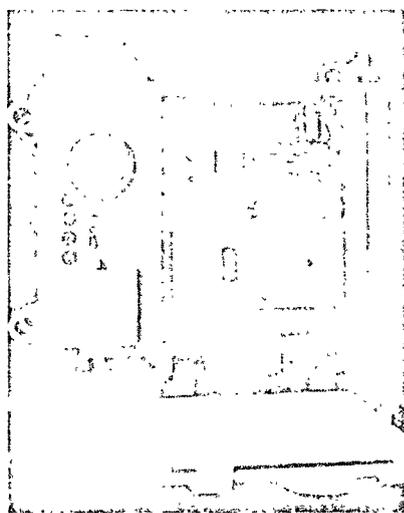
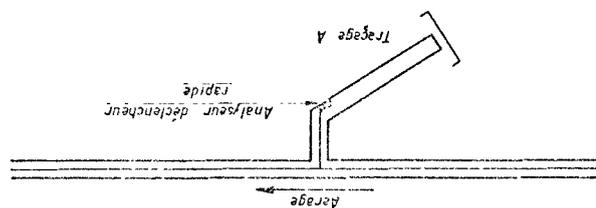


Fig. XI-2 — Analyseur déclencheur rapide ADR 59 du Cerchar

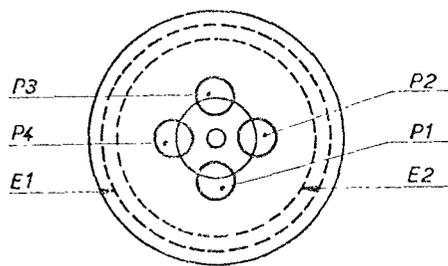


Fig. XI-3 — Câble double écran: coupe schématique

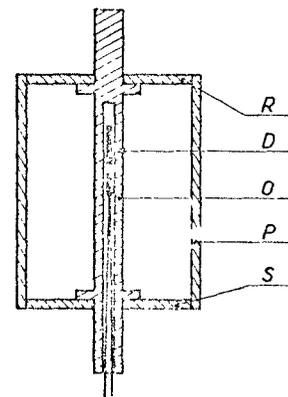


Fig. XI-4 — Principe de fonctionnement du détrompeur

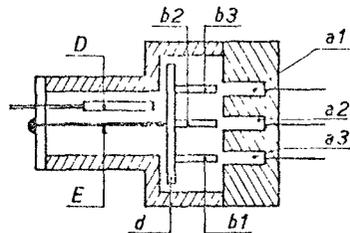


Fig. XI-5 — Coupe schématique d'un détorelais

## Chapitre XII

### CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Le premier résultat essentiel des études dont il vient d'être rendu compte est une compréhension correcte des conditions qui président à la genèse et au développement du phénomène « dégagement instantané ». Il en est résulté d'abord une meilleure définition du phénomène lui-même, ce qui a évité d'assimiler à des D.I. certains dégagements anormaux de gaz ne présentant ni le même danger potentiel, ni la même probabilité de répétition au fur et à mesure du développement de l'exploitation. Des inquiétudes ont pu être apaisées et le classement prématuré de certains gisements comme sujet à D.I. évité.

Le D.I. est engendré par une variation brusque, si on la provoque par un tir d'ébranlement, ou très progressive de l'état d'équilibre du massif de charbon en avant du front de travail du chantier.

Cet état d'équilibre dépend des valeurs relatives de forces de « poussée » dues au gradient de pression du gaz libre dans les fissures et de forces de « retenues » résultant des contraintes supportées par le massif et se manifestant grâce au coefficient de frottement veine sur éponte. Une bonne résistance mécanique du massif de charbon permet à ces forces de « retenue » de mieux jouer leur rôle. Lorsque l'équilibre est rompu le massif de charbon se désolidarise — il est aidé en cela par la préconvergence des épontes. Le gaz qu'il contient peut se désorber si la structure du charbon est assez fissurée pour que la vitesse initiale de désorption du gaz soit élevée; un transport pneumatique des éléments du massif se met en route.

C'est donc en nous intéressant :

- à l'énergie potentielle emmagasinée sous forme de gaz libre et adsorbé et à la vitesse à laquelle ce gaz peut se désorber;
- à la résistance mécanique du charbon;
- à la répartition ou à l'évolution des contraintes en avant du front,

que nous avons abordé la caractérisation de la susceptibilité des couches et la recherche de moyens de prévention.

Le risque de D.I. naît et croît au fur et à mesure que croît la pression de gaz. Faute de pouvoir mesurer convenablement celle-ci, c'est la concentration en gaz qui a été choisie pour caractériser la présence du gaz dans la couche. Des mesures effectuées il ressort :

- que le risque de D.I. ne s'est pas manifesté lorsque la concentration en gaz (gaz contenant moins de 20-30% de  $\text{CO}_2$ ) est restée inférieure à  $9 \text{ m}^3/\text{t}$ .
- dans une même couche ou un même gisement la probabilité de D.I. croît lorsque croît la concentration. La mesure de la concentration est donc le premier moyen à mettre en œuvre pour connaître la plus ou moins grande susceptibilité d'un ensemble de couches.

La vitesse initiale de désorption ayant été caractérisée par un indice dénommé  $V_1$ , nous avons pu constater que le risque de D.I. n'existe pas si cet indice — mesuré dans des conditions standard — reste inférieur à une certaine limite. Cette limite est variable d'une couche à l'autre (elle dépend à la fois de la concentration en gaz et de la fissuration du charbon). Pour telle couche, la condition de non-susceptibilité est  $V_1.S \leq 1 \text{ cm}^3$  (c'est la limite la plus basse que nous ayons trouvée), pour telle autre elle est  $V_1.S \leq 3,5 \text{ cm}^3$ . Ce résultat illustre l'erreur dramatique du point de vue sécurité ou du point de vue des résultats économiques de l'exploitation que l'on peut commettre en extrapolant imprudemment certaines normes de non-susceptibilité d'un gisement à un autre.

La résistance mécanique du charbon n'a pas pu être caractérisée assez fidèlement par des essais directs à la presse triaxiale. C'est par le truchement de l'indice  $\Delta p$ , qui caractérise à la fois une certaine vitesse initiale de désorption et la microfissuration du charbon, que nous avons pu, le plus facilement, faire intervenir la résistance du charbon — résistance à l'arrachement surtout. Mesuré en laboratoire cet indice nous a montré :

- que pour des couches de charbon anthraciteux contenant  $13 \text{ m}^3/\text{t}$  de gaz désorbable (dont au maximum 20-30% de  $\text{CO}_2$ ) le risque de D.I. n'existait pas si  $\Delta p.S$  restait  $\leq 14$ ;
- que cette limite de non-danger diminuait lorsque croissait la concentration de ces mêmes couches (par exemple 9 pour  $C = 22 \text{ m}^3/\text{t}$  dont 30-40% de  $\text{CO}_2$ );
- que, dans un autre gisement de charbon gras contenant  $15 \text{ m}^3/\text{t}$  de gaz méthane presque pur, la limite de non-danger était égale à 30.

Ces résultats, différents d'un gisement à l'autre, s'expliquent en partie par la multiplicité des facteurs reliant la concentration en gaz et la pression de gaz :

teneur en matière volatile, température, humidité naturelle, nature du gaz et en partie par les variations des coefficients de diffusion du gaz et de la résistance mécanique propre de la matière homogène — ou considérée comme telle — constituant les couches.

Il en résulte que les critères de non-susceptibilité vis-à-vis du risque de D.I. sont ceux que l'on établit pour un examen attentif du gisement que l'on exploite.

Si les chantiers où se produisent les D.I. ne se caractérisent pas par une répartition des contraintes en avant du front différente des chantiers non à D.I., par contre les réajustements brusques de contraintes qui se produisent lorsque l'on abat le charbon — plus particulièrement lorsque cet abattage se fait par enlevures importantes lorsque l'on mine ou que l'on emploie une haveuse — sont un facteur éminemment favorable au déclenchement du D.I. Ces réajustements brusques de contraintes engendrent une agitation sismique, facile à déceler après les tirs d'ébranlement car elle se produit le plus souvent dans les quelques secondes ou minutes qui suivent le tir. Le taux d'agitation sismique après tir caractérisant la non-susceptibilité est, dans un gisement donné, d'autant plus élevé que le  $\Delta p.S$  est faible. Au cours de nos travaux nous avons constaté que l'absence totale d'agitation après tir correspondait à des chantiers où ne se produisait pas de D.I.

A défaut d'avoir pu établir une relation chiffrée entre les valeurs des divers paramètres dont nous venons de parler qui puisse caractériser la non-susceptibilité du gisement et qui ait une valeur générale quel que soit le gisement, ces paramètres sont des outils valables pour caractériser la non-susceptibilité veine par veine.

La susceptibilité ou la non-susceptibilité est d'autant mieux caractérisée que l'on étudie simultanément plusieurs de ces paramètres. En général, nous prenons en compte la concentration en gaz, l'indice  $\Delta p$ , l'agitation sismique et l'indice  $V_1$ , ce dernier étant commode pour exercer une surveillance journalière des traçages au charbon. Dans un cas particulier de l'exploitation d'une couche épaisse en dressant par tranches successives descendantes, le gaz contenu dans le charbon étant du  $CO_2$  pur, un indice  $E$ , analogue à l'indice  $V_1$ , a permis seul de caractériser de façon très satisfaisante la susceptibilité des différents chantiers.

Compte tenu de ce que nous savons de la genèse et du déroulement du D.I., toute méthode de prévention, qu'elle soit générale ou locale, doit tendre à diminuer la pression du gaz dans les fissures.

Lorsque cela est possible, l'exploitation préalable d'une couche égide est de loin la méthode la plus efficace: par la détente et la fracturation des terrains qu'elle entraîne au-dessus et au-dessous d'elle, elle diminue à la fois la quantité de gaz et les con-

traintes, ce qui entraîne la disparition des réajustements brusques générateurs de D.I. La baisse de la concentration — en particulier le fait qu'elle diminue au-dessous du seuil de  $9 \text{ m}^3/\text{t}$  — et la disparition de l'agitation sismique après tir permettent de bien caractériser l'effet protecteur dû à la couche égide. Une variante de la couche égide, applicable aux couches épaisses et plus spécialement à celles qui sont pentées, est l'exploitation par tranches unidescendantes: le déhouillement d'une tranche servant de « couche égide » pour la tranche suivante. Le déhouillement d'une couche égide doit être aussi total que possible car les stots non déhouillés ou les limites d'exploitation occasionnent des zones de surcontraintes dans les couches sous-jacentes où le risque de D.I. est aggravé.

En l'absence de couche égide, il faut effectuer la détente de la couche à protéger à partir des chantiers — tailles ou voies — situés dans la couche elle-même. La méthode des gros trous de détente a été utilisée avec fruit surtout en veine régulière d'ouverture moyenne. Dans les parties de taille accidentées la foration régulière des gros trous n'a pas toujours pu être réalisée: ces parties insuffisamment protégées par les gros trous ayant été abattues par tir d'ébranlement, l'efficacité de ce mélange de méthodes de préventions différentes a pu être mise en doute.

Dans les voies la prévention par gros trous de détente a également fait ses preuves avec une densité de trous suffisante — le rayon d'action immédiat d'un gros trou de  $\varnothing 115 \text{ mm}$  à  $140 \text{ mm}$  ne dépasse guère  $1,5 \text{ m}$  — et une extension latérale suffisante de la zone protégée. Comme en taille les irrégularités de la couche gênent son application mais il est ici plus facile d'avoir une frontière franche entre zone traitée et non traitée.

Enfin, lors des entrées en couche, là où le risque de D.I. est le plus grand, la prévention par gros trous est efficace et d'application facile puisque les gros trous sont forés au travers d'une frette rocheuse.

Nous avons également entrepris de lutter contre les D.I. par une infusion d'eau sous pression dans la couche: infusion par longs trous forés parallèlement au front de taille à partir des voies creusées à l'avance. La période d'essai couverte par le présent rapport est trop courte pour que nous puissions émettre un avis sur l'efficacité de cette méthode préventive qui, ailleurs, a fait ses preuves.

Nous rappellerons que pour lutter contre les D.I. le mineur dispose d'autres armes: réduction de la vitesse d'avancement et des sections des galeries, choix de la méthode d'exploitation. Au stade du projet d'exploitation certaines précautions concernant le positionnement des voies par rapport aux accidents tectoniques, aux stots et aux limites d'exploitations sont de nature à réduire le risque.

Dans la panoplie des moyens de lutte contre le D.I. une place à part revient au tir d'ébranlement, lequel est, de prime abord, un agent provocateur du D.I. S'il est considéré comme un moyen de prévention c'est qu'il permet, avec un haut degré de sécurité, de localiser l'occurrence des D.I. à un instant choisi à l'avance du cycle de travail. Le tir étant effectué en l'absence du personnel et le télécontrôle du réseau d'aérage assuré, le retour des ouvriers au chantier se fait sans danger car le D.I. sur poste après tir est très rare.

Parallèlement aux progrès concernant la caractérisation des gisements et les méthodes de prévention, la chronologie du dégagement instantané a été précisée et la détection à distance parfaitement assurée: ce dernier objectif atteint au moyen d'un contrôle sismique approprié, complété par une surveillance continue de l'atmosphère par un Central de Télégrisoumètrie, a apporté, à lui seul, un gain de sécurité certain.

Enfin, on doit signaler que l'extension de l'électrification dans les mines à D.I. a pu progresser grâce à la mise au point d'appareils déclencheurs sûrs et

rapides en cas d'augmentation de la teneur en grisou de l'atmosphère, la construction de câbles et de moteurs robustes, la mise au point de dispositifs de coupures ultra-rapides et, plus récemment, le développement de l'entraînement des blindés et des rabots de taille par moteurs hydrauliques.

En résumé, on peut dire que si certains des objectifs assignés à l'étude n'ont été que partiellement atteints ou même pas atteints du tout — c'est le cas de la recherche d'un signe prémonitoire sûr — ce n'est pas à cause de l'insuffisance de nos connaissances, mais parce que le coût des solutions envisageables était par trop élevé eu égard aux économies escomptées.

Malgré les progrès réalisés dans la connaissance du phénomène, les moyens de prévention, le télécontrôle de l'aérage, la conception du planning d'exploitation, les matériels de communication phonique, l'extension partielle de l'électricité et des moteurs hydrauliques, l'exploitation des mines à dégagements instantanés subit un handicap économique important. Le niveau de sécurité est par contre tout à fait comparable à celui des autres mines.

## ANNEXE (11)

(65-72-16/24)

### Mesure des concentrations en gaz mixte des charbons

Détermination du rapport  $\frac{\text{CO}_2}{\text{CO}_2 + \text{CH}_4}$  du gaz désorbé lors du broyage  
(quantité de gaz appelée  $Q_3$ )

L'appareillage utilisé pour la mesure du volume de gaz désorbé lors du broyage est schématisé sur la figure 1. Il comporte essentiellement un flacon (F) de 2 litres de capacité à 3 sorties hautes et 1 sortie basse relié à une poire P et au pot du broyeur B au moyen de robinets permettant de réaliser divers circuits de cheminement des gaz.

La poire P aspirante et refoulante sert à homogénéiser et à diluer les mélanges. L'eau utilisée est saturée de chlorure de sodium pour restreindre la dissolution de  $\text{CO}_2$ .

#### — Mode opératoire

Pour la mesure de la quantité de gaz désorbé par broyage et la détermination du rapport  $\frac{\text{CO}_2}{\text{CH}_2 + \text{CH}_4}$  du gaz désorbé.

##### 1 — Broyage

Les liaisons entre le pot du broyeur et le flacon doivent être réalisées selon les indications « broyage » du tableau figure 1.

Le gaz désorbé dans le pot du broyeur B est recueilli sous légère dépression dans le flacon F. Son volume

$Q_3$  est égal au volume d'eau recueilli dans l'éprouvette E au cours du broyage.

##### 2 — Dilution

Le broyage étant terminé, on introduit dans le flacon F une certaine quantité d'air jusqu'à ce que le volume  $V'$  dans le flacon F atteigne les valeurs fixées par le tableau 2. Ces valeurs de  $V'$  ont été choisies pour que, après homogénéisation des mélanges, la teneur totale  $x$  ( $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ ) soit mesurable facilement avec un grisoumètre interférentiel 0-6% ou 0-10%

Une échelle graduée fixée sur le flacon F indique les valeurs de  $V'$  nécessaires en fonction de  $Q_3$ .

##### 3 — Homogénéisation

Cette opération consiste à homogénéiser les teneurs des gaz contenus dans le pot du broyeur B, la poire P et le flacon F au moyen de 20 à 25 pressions successives sur la poire aspirante-refoulante P. La liaison entre les diverses parties de l'appareil doit être réalisée selon les indications « homogénéisation » du tableau figure 2.

4 — Détermination du rapport  $\frac{\text{CO}_2}{\text{CO}_2 + \text{CH}_4}$  du gaz désorbé par broyage

A l'aide de la contre-burette A refouler le gaz dilué contenu dans le flacon à travers un grisoumètre inter-

férentiel pour mesurer les teneurs  $x \text{ CO}_2$  et  $x \text{ CH}_4$  du mélange dilué. Les robinets seront réglés selon les indications « mesure du  $x \text{ CO}_2$  et  $x \text{ CH}_4$  » du tableau figure 1.

Le rapport  $k = \frac{\text{CO}_2}{\text{CO}_2 + \text{CH}_4}$  du gaz désorbé lors du broyage est le même que celui du mélange après

dilution et homogénéisation soit  $k = \frac{x \text{ CO}_2}{x \text{ CO}_2 + x \text{ CH}_4}$ .

Pour éviter l'influence sur  $k$  d'une éventuelle hétérogénéité du mélange dilué, il est recommandé, lorsque le volume  $V'$  le permet, d'effectuer plusieurs mesures de  $x \text{ CO}_2$  et  $x \text{ CH}_4$  et de prendre la moyenne de ces mesures pour le calcul de  $k$ .

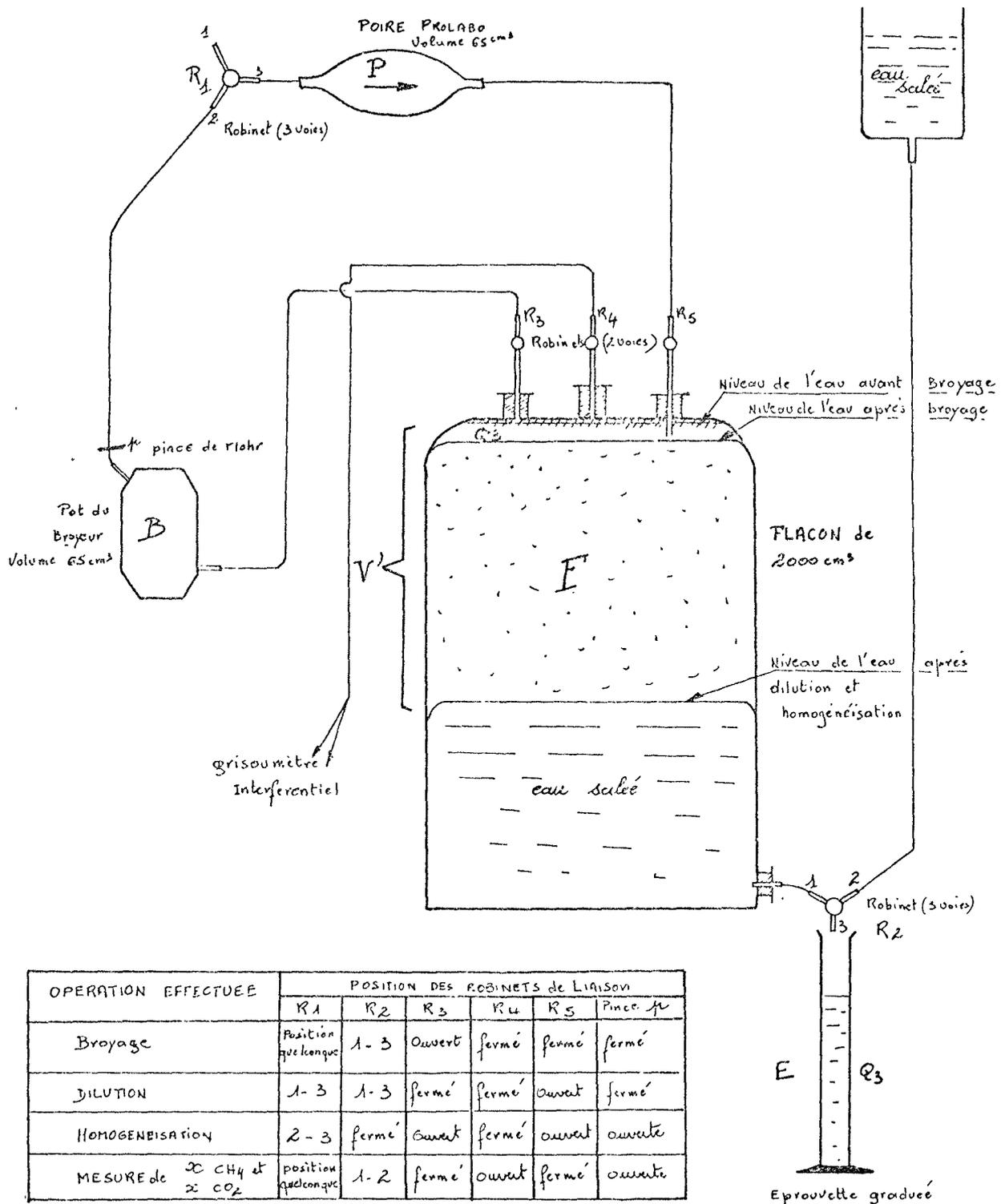
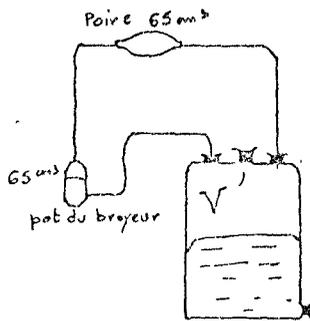


Fig. 1

Dispositif pour la mesure de la quantité de gaz mixte désorbé lors du broyage et pour la détermination du rapport  $\frac{\% \text{CO}_2}{\% \text{CO}_2 + \% \text{CH}_4}$  de ce gaz désorbé

Tableau 2



Quantité de gaz désorbé au broyage $Q_3$ en $cm^3$	Volume (air + $CO_2$ + $CH_4$ ) contenu dans le flacon après dilution et homogénéisation $V'$ en $cm^3$	Teneur $x(CO_2 + CH_4)$ dans le flacon après dilution $x$ %
10	300	2,33
20	300	4,66
30	470	5
40	670	5
50	870	5
60	1070	5
70	1270	5
80	1470	5
90	1670	5
100	1870	5
110	2000	5,15
120	2000	5,6
130	2000	6,1
140	2000	6,6
150	2000	7,0
160	2000	7,5
170	2000	8,0
180	2000	8,4
190	2000	8,9
200	2000	9,4

Après dilution et homogénéisation du gaz

$$x(CO_2 + CH_4) = \frac{Q_3 \text{ cm}^3}{(V' + 130) \text{ cm}^3} \text{ d'où } V' \text{ cm}^3 = \frac{Q_3}{x} - 130$$

## ANNEXE (13)

(66-22-16/33)

### Notice pour utilisation du désorbomètre à cadran

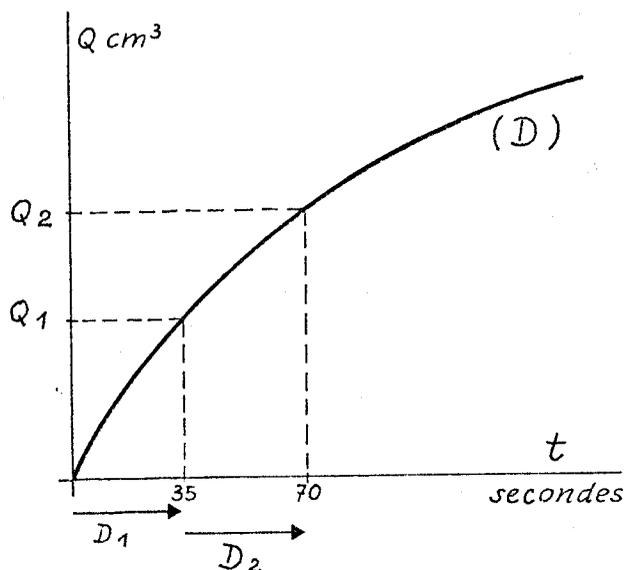
Mesures de l'indice de désorption  $V_1$

#### 1 — Définition de l'indice conventionnel de désorption $V_1$

$V_1$  est la quantité de grisou exprimée en  $\text{cm}^3$  qu'un échantillon de charbon de 10 g et de granulométrie 0,5/0,8 mm dégage à l'atmosphère entre la 35<sup>e</sup> seconde et la 70<sup>e</sup> seconde après qu'il a été arraché du massif.

#### 2 — Signification de l'indice $V_1 \text{ cm}^3/10 \text{ g}$

L'indice  $V_1$  est un moyen simple de caractériser la cinétique de désorption de l'échantillon de charbon prélevé et ainsi de caractériser, d'une certaine façon, la vitesse à laquelle le charbon est susceptible de désorber le gaz qu'il contient.



Lorsqu'un échantillon de charbon constitué de grains de granulométrie donnée et de poids donné, préalablement saturés de gaz, est mis en communication avec l'atmosphère, la quantité de gaz désorbé  $Q$  — mesurée à la pression atmosphérique — peut être représentée par une courbe (D) d'équation :

$$Q = a \sqrt{t}$$

Cette équation reste valable tant que la quantité totale de gaz désorbé ne dépasse pas 20% de la quantité de gaz adsorbé.

Pour un échantillon de 10 g de granulométrie 0,5-0,8 mm, l'indice  $V_1$  étant égal à  $Q_2 - Q_1$ , il en résulte que l'équation de la courbe (D) s'écrit :

$$Q = (0,41 V_1) \sqrt{t} \quad (1)$$

L'équation du début de la cinétique de désorption de l'échantillon du charbon est donc bien définie par la connaissance de  $V_1$ .

D'une façon générale, on peut dire que de deux échantillons de charbon de même fissuration ayant même concentration homogène initiale en gaz, même granulométrie et même poids, celui qui a l'indice  $V_1$  le plus élevé, est celui qui désorbera le plus rapidement son gaz après avoir été arraché au massif (a).

(a) On notera que la relation quantitative (1) n'est valable pour l'échantillon 10 g/0,5-0,8 mm que si l'état initial de l'échantillon au temps 0 correspond à une saturation homogène du grain. En fait, si l'échantillonnage n'est pas fait à profondeur suffisante, le charbon peut être déjà en état de désorption et la loi en  $\sqrt{t}$  n'est plus forcément exacte.

### 3 — Appareil utilisé pour la mesure de $V_1$ : le désorbomètre à cadran (fig. 1)

$V_1$  est normalement un volume de gaz désorbé à l'atmosphère. C'est une mesure de volume que permettaient les premiers désorbomètres imaginés par M. Hargraves, puis MM. Sommier et Durand.

Le désorbomètre à cadran remplace la mesure du volume par la mesure de l'augmentation de pression créée par le dégagement du gaz dans une enceinte de volume constant. L'appareil est plus simple que les précédents (croquis descriptif, figure 2).

Pour que la contre-pression créée dans l'enceinte close ne freine pas exagérément la désorption du gaz, il est recommandé, lorsque l'aiguille du manomètre atteint le repère 3 avant les 35 secondes de mesure, de mettre la capacité 1 en communication avec l'atmosphère une fraction de seconde en libérant l'orifice A. On totalise ensuite les deux quantités ainsi obtenues pendant le temps de mesure: 35 secondes avant et après mise à l'atmosphère de la capacité 1.

### 4 — Mode opératoire pour mesure de $V_1$ au fond

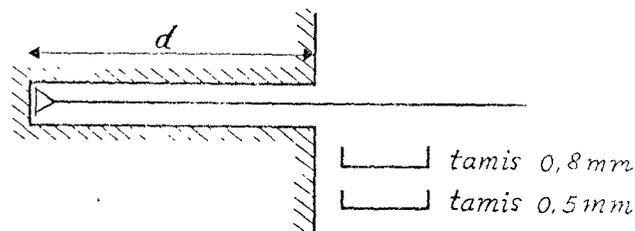
#### 4.a — Construction d'une jauge

Pour obtenir au fond un échantillon de 10 g de granulométrie 0,5-0,8 mm, on utilisera une jauge métallique ou en plastique dont le volume devra être déterminé avec soin.

#### 4.b — Mode de prélèvement

L'échantillon de 10 g est obtenu en tamisant entre deux tamis à maille carrée 0,8 mm et 0,5 mm des fines de foration sortant d'un trou creusé dans le massif, avec un fleuret torsadé et sans injection d'eau.

Lorsque le fleuret atteint la profondeur de prélèvement choisie, le trou est rapidement nettoyé des fines qu'il contient.



On reprend alors la foration en déclenchant un chronomètre — c'est le temps 0 de l'opération — et l'on recueille les fines avec le double tamis aussitôt après que le flot des fines réapparaît à l'orifice du trou.

La longueur  $d$  ne doit pas dépasser 5 m.

#### 4.c — Mesure de l'indice $V_1$

Après tamisage on prélève avec la jauge 10 g de charbon sur le restant du tamis à maille 0,5 mm. Ces 10 g sont introduits dans le manche creux du désorbomètre lequel est ensuite obturé par le bouchon en caoutchouc. Le bouchon de caoutchouc sera enfoncé sur 10 mm dans le manche creux du désorbomètre.

Lorsqu'un temps de 35 secondes s'est écoulé on obture l'orifice A avec le pouce et l'on note le déplacement de l'aiguille — éventuellement avec remise à zéro intermédiaire — de 35 secondes à 70 secondes. Au temps 70 secondes on relève  $V_1$  sur le cadran. La graduation initiale de ce cadran a été transformée en une graduation en  $\text{cm}^3/10 \text{ g}$ .

On notera bien que les 35 premières secondes comportent:

- le délai de transit des fines de foration dans le trou de longueur  $d$ ,
- le temps de tamisage et de jaugeage de l'échantillon de 10 g,
- le temps d'introduction de l'échantillon dans le manche du désorbomètre jusqu'à obturation de l'orifice A.

#### 4.d. — Cas où le délai de 35 secondes avant obturation de l'orifice A ne peut être respecté

Si ce délai dépasse 35 secondes, on peut toutefois continuer l'expérience et mesurer approximativement  $V_1$  comme si le délai de 35 secondes avait été respecté. Le tableau suivant indique alors la durée de lecture pour mesure de  $V_1$  — soit  $D_2$  — en fonction du délai entre le moment où le charbon est arraché au massif et le moment d'obturation de l'orifice A — soit  $D_1$  —.

	Délai $D_1$	Délai $D_2$	Durée totale de l'opération $D_1 + D_2$
Standard	35 sec	35 sec	70 sec
autres cas	40 sec	37 sec	77 sec
	45 sec	39 sec	84 sec
	50 sec	41 sec	91 sec
	55 sec	43 sec	98 sec
	60 sec	44 sec	104 sec

La façon de faire ci-dessus suppose que la quantité de gaz désorbée par l'échantillon  $Q$  en fonction du temps s'exprime par la relation  $Q = a\sqrt{t}$ . Elle n'est donc tout à fait légitime que dans la mesure où cette loi est valable, c'est-à-dire si le charbon n'est pas déjà en état de désorption avancée à l'intérieur du massif.

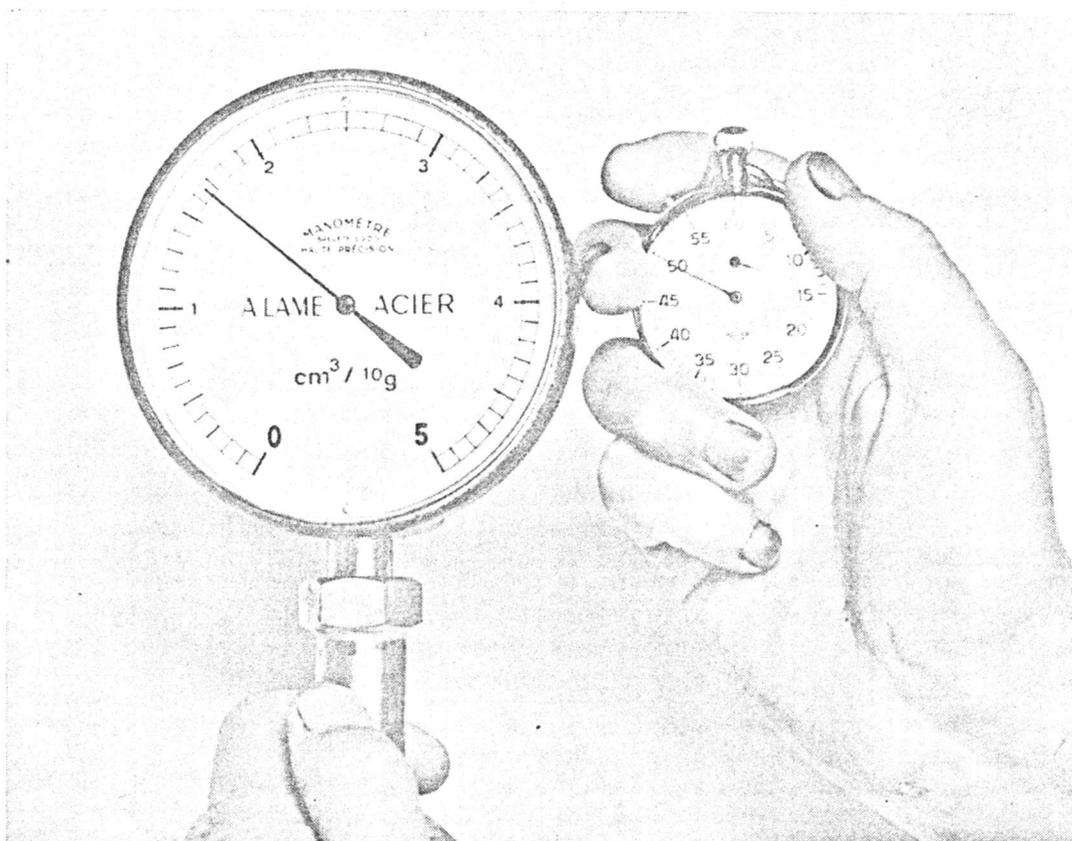
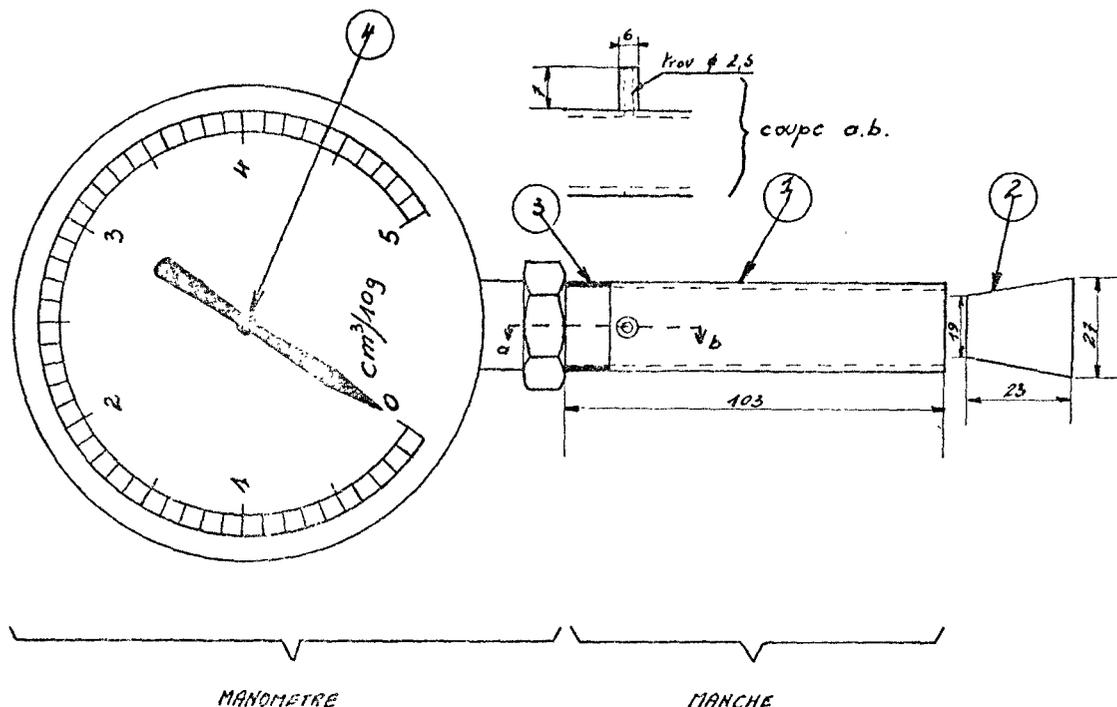


Fig. 1

Désorbomètre à Cadran pour mesure de l'indice  $V_1$



<p>MANOMETRE 0-250g/cm<sup>2</sup></p> <p>Raccord 1/2 g<sub>03</sub>.</p> <p>E<sup>h</sup> BLONDELLE</p> <p>38 Rue GUERSART.</p> <p>PARIS 17<sup>ème</sup></p> <p>Prix 36<sup>fr</sup>51 HT ou 1-11-66</p>	<p>MODIFICATION du CADRAN du MANOMETRE BLONDELLE</p>		<p>① tube laiton <math>\phi</math> 20-22 Longueur 103 mm</p> <p>② Bouchon <math>\phi</math> 19 et 21 L. 23 mm</p> <p>③ le filetage d'origine du manomètre doit être meulé. Le tube est collé sur le filetage avec de l'ARALDITE</p> <p>④ L'aiguille du manomètre est simplement emmanchée et forcée sur un pivot conique</p> <p>le tube en laiton doit être recouvert d'un isolant thermique (par exemple plusieurs épaisseurs de ruban en plastique)</p>
	<p>TABLEAU DE CORRESPONDANCE</p>		
	PRESSION	cm <sup>3</sup> /10g	
	0 g	0 cm <sup>3</sup>	
	50	1	
	100	2	
	150	3	
	200	4	
250	5		

Fig. 2

Désorbomètre à Cadran

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) — Annales des Mines. L'accident de Panissière du 2 mars 1967 — VI — pages 355-364.
- (2) — J. GUNTHER — Étude de la liaison gaz-charbon. Revue de l'Industrie Minérale octobre 1965 — p. 693-707.
- (3) — K. PAUL — Mesure de la concentration en gaz du charbon et de la fraction de cette concentration qui se dégage dans les mines. II<sup>e</sup> Journée d'Information « Le grisou et les moyens de le combattre » — Luxembourg 10. 2. 1967.
- (4) — J. BELIN — Mesure de la concentration en gaz des couches de charbon (méthode directe). III<sup>e</sup> Journée d'Information « Maîtrise du dégagement grisouteux — Amélioration du climat » — Luxembourg 24-25. 2. 71.
- (5) — J. GUNTHER — Éléments pour une nouvelle théorie des dégagements instantanés R.I.M. novembre 1970.
- (6) — Compte rendu d'ensemble de l'étude des D.I. du 1. 1. 59 au 31. 12. 61. Tome 1, chapitre 2 — M. de VERGERON, pages 2 à 5.
- (7) — Compte rendu d'ensemble de l'étude des D.I. du 1. 1. 59 au 31. 12. 61. Tome 1, chapitre 1 — M. de VERGERON.
- (8) — W. de BRAAF — 6<sup>ème</sup> Conférence internationale des Directeurs de Stations d'Essais — Verneuil 24-29 juin 1950.
- (9) — C. BERTARD — B. BRUYET — J. GUNTHER — Détermination de la concentration en gaz désorbable des charbons (méthode directe). Documents Techniques n° 12 — 1967.
- (10) — J. BELIN — Quantité de gaz contenu dans le charbon, influence de différents facteurs — Mesure de la concentration — Intérêt pratique de cette mesure — Communication à la journée d'Information sur la maîtrise du dégagement grisouteux et l'amélioration du climat — Luxembourg 24-25 février 1971.
- (11) — J. LEPERCO — Mesure de la concentration en gaz mixte d'un charbon. Mesure du rapport  $\frac{CO_2}{CO_2 + CH_4}$  du gaz désorbé lors du broyage (CR 65-72-16/24). Document interne Cerchar. — En annexe.
- (12) — J. DEBERGE — Les énergies mises en œuvre dans les D.I. et dans les autres problèmes de sécurité (CR 66-22-16/20), document interne Cerchar).
- (13) — Notice pour l'utilisation du désorbomètre à cadran (CR 66-22-16/33 — Document interne Cerchar). — En annexe.
- (14) — Caractérisation des gisements susceptibles de dégagements instantanés de méthane — R. LOISON, J. BELIN — Revue de l'Industrie Minérale — décembre 1965.
- (15) — B. ALPERN — Fissuration, Fragilité — Documents techniques n° 5 — 1963.
- (16) — PRISMILER — Etude de la microfissuration des charbons provenant de couches sujettes à D.I. — Problemi Roudnitchnoi Aerologi — Moscou 1959.
- (17) — I. L. ETTINGER — E. S. JOUPAKHINA — L. E. CHTERENBERI — Méthode permettant de reconnaître, dans les couches de houille, les zones sujettes à D.I. Comité Central de la lutte contre les D.I. — Moscou 1958.
- (18) — I. L. ETTINGER — Les dégagements instantanés de charbon et de gaz — Structure du charbon — Moscou 1969.
- (19) — J. GUNTHER — Utilisation d'une méthode accélérée pour la détermination de l'indice p. (CR 64-72-16/11 — document intérieur Cerchar).
- (20) — J. GUNTHER — Études expérimentales et théoriques pour une meilleure compréhension de l'indice p. (CR 64-72-16/15 — Document intérieur Cerchar).

- (21) — A. MONOMAKHOFF — Grisoumétrie — Communication présentée à la Conférence Restreinte des Directeurs de Stations d'Essais — Varsovie 16-21 octobre 1961.
- (22) — C. JEGER et P. LORY — Mécanique du front de taille. Documents Techniques des Charbonnages de France n° 4 — 1970.
- (23) — Compte rendu d'ensemble de l'étude des D.I. du 1. 1. 59 au 31. 12. 61 — Tome 1, chapitre 2, pages 6 à 25.
- (24) — E. ERB — Préamplificateur pour signaux de sismique et microsismique, type PS.3 — CR 64-72-16/7 — Document intérieur Cerchar.
- (25) — E. ERB — Appareil sismique de dépannage — type SCP.1 — CR 62-71-16/47 — Document intérieur Cerchar.
- (26) — E. ERB — G. TARDIF — Appareillage sismique de basse fréquence. — CR 64-72-16/32 — Document intérieur Cerchar.
- (27) — M. REINHARDT — Étude par des procédés géophysiques des ébranlements de terrains à l'occasion des tirs et des D.I. — Revue de l'Industrie Minérale — février 1955.  
Utilisation des procédés géophysiques et de la télégriscopie pour l'étude et l'exploitation des gisements à D.I. — Revue de l'Industrie Minérale — novembre 1956.
- (28) — M. GUGLIELMI — Utilisation d'un procédé géophysique pour l'étude des gisements de charbon à D.I. et des risques de dégagements instantanés dans les gisements suspects. Revue de l'Industrie Minérale — novembre 1961.
- (29) — B. ALPERN — Tectonique et gisement du gaz dans les bassins houillers; Documents Techniques n° 12 — 1967.
- (30) — P. BEROFF — La prévention des D.I. et des feux aux houillères du bassin du Dauphiné — Documents techniques n° 1 — 1968.  
P. BEROFF — Les dégagements instantanés de gaz carbonique. — Document intérieur Houillères du Dauphiné — mai 1970.
- (31) — M. de VERGERON — J. BELIN — Recherche d'un signe prémonitoire et chronologie des dégagements instantanés. — Revue de l'Industrie Minérale, janvier 1966.
- (32) — J. SOMMIER — La désorption naturelle des charbons. Son application à la prévention des D.I. et à l'explication de leur mécanisme. Revue de l'Industrie Minérale — septembre 1960.
- (33) — ANTSIFEROV — Méthodes sismo-acoustiques pour la prévention des D.I. Bezopasnost Trouda — avril 1961.
- (34) — Voyage d'étude en URSS du 3 au 18 septembre 1966. CR 66-22-16/31 du 30. 12. 66 — Document intérieur Cerchar.
- (35) — C. JEGER et F. LELEUX — Emission acoustique ultra-sonore d'éprouvettes de roches soumises à une compression (à paraître).
- (36) — E. ERB — Compteur d'impulsions sismo-acoustique, type 6 A.1 CR 66-22-16/21 du 26. 7. 66 — Document intérieur Cerchar.
- (37) — A. MONOMAKHOFF — Développement des appareils de grisoumétrie en France. Revue de l'Industrie Minérale — janvier 1968.
- (38) — A. REINHARDT — Le contrôle automatique du grisou résolu par le Central Universel CTT 63-40 — Possibilités — Mode d'utilisation — Avantages techniques et économiques. Mine et chimie — n° 138 — 1969.
- (39) — E. ERB — Appareillage pour la mesure de la vitesse d'un front de grisou, type T.E.M. CR 65-72-16/6 du 31 mai 1965 — Document interne Cerchar.
- (40) — R. BROUAT — La prévention des D.I. dans les traversées de couches. Revue Industrie Minérale, mai 1963.
- (41) — R. BROUAT — La prévention des D.I. par trous de détente dans les bassins de Cévennes. Revue Industrie Minérale, décembre 1963.
- (42) — R. BROUAT — Les D.I. dans le bassin des Cévennes. Cours d'exploitation, juin 1965, Document intérieur bassin des Cévennes.
- (43) — R. BROUAT — La prévention des D.I. dans le bassin des Cévennes. Congrès International sur les D.I. de gaz et de roches. Leipzig — octobre 1966.
- (44) — J. BELIN — P. BEROFF — R. BROUAT — État actuel des problèmes concernant les D.I. en France. — Symposium sur les D.I. de charbon et de gaz — Harkany — mars 1969.
- (45) — C. GAGNIERE — Protection des réseaux du fond. Publication Cerchar n° 1516.

