



HAL
open science

Efficacité d'un arrêt-barrage déclenché vis-à-vis des explosions en cul-de-sac

Christophe Proust, Jean-Philippe Pineau, Jean Bigourd, Pierre-Marie Dupond

► **To cite this version:**

Christophe Proust, Jean-Philippe Pineau, Jean Bigourd, Pierre-Marie Dupond. Efficacité d'un arrêt-barrage déclenché vis-à-vis des explosions en cul-de-sac. 24. Conférence Internationale des Instituts de Recherches sur la Sécurité dans les Mines, Sep 1991, Donetsk, Ukraine. pp.250-285. ineris-00971830

HAL Id: ineris-00971830

<https://ineris.hal.science/ineris-00971830>

Submitted on 3 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EFFICACITE D'UN ARRET-BARRAGE DECLENCHE
VIS-A-VIS DES EXPLOSIONS EN CUL-DE-SAC

par

C.PROUST, J.P.PINEAU, J.BIGOURD

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
(INERIS), Verneuil-en-Halatte, FRANCE

et

P.M.DUPOND

Houillères du Bassin de Lorraine (HBL, Poste Central de Secours),
Freyming-Merlebach, FRANCE

En France, la prévention et la protection contre les risques d'explosion de poussières dans les mines de charbon est encore fondée sur les principes établis par J. TAFFANEL [12] au début du vingtième siècle, comme par exemple la neutralisation des poussières de charbon par l'admixtion de poussières incombustibles et l'emploi d'arrêts-barrages passifs à eau. Ces deux procédés servent à prévenir la propagation des explosions mais il est des situations où leur utilisation est difficile. En particulier, les galeries en creusement ("cul-de-sac") posent des problèmes de sécurité car à proximité du front de ces galeries de la poussière de charbon est produite en permanence, du méthane est libéré et des sources d'inflammation potentielles sont présentes (comme par exemple, l'impact des pics d'une machine de creusement sur la roche). Des accidents récents ont montré que la probabilité d'explosion, dans cette situation, n'est pas négligeable. Malheureusement, les moyens de prévention et de protection évoqués ci-dessus sont insuffisants pour protéger les culs-de-sac car, en premier lieu, la neutralisation des dépôts de poussières de charbon par l'adjonction d'un matériau pulvérulent inerte (procédé de "schistification") n'est efficace que si la quantité de poussières incombustibles déposée sur le poussier de charbon est suffisante [2]

et si ce dépôt de produit inerte est suffisamment homogène [15]. Ces deux conditions ne peuvent pas être satisfaites dans une galerie en creusement. En second lieu, différents auteurs s'accordent pour estimer que les arrêts-barrages passifs à eau fonctionnent convenablement à condition que le "souffle" produit par l'explosion soit suffisant pour engendrer une vitesse matérielle de l'air dans la zone où sont installés les arrêts-barrages passifs de l'ordre de 90 m/s ([2], [7], [14] et [5]). Mais dans ce cas, la pression dynamique induite est suffisante pour infliger de graves blessures au personnel (projection de débris, projection du corps humain contre des obstacles, ... [8]). De plus, la distance nécessaire pour que la flamme qui se propage atteigne une vitesse de propagation suffisante pour que les effets de souffle soient assez intenses pour mettre en oeuvre les arrêts-barrages passifs peuvent être considérables : ainsi, par exemple, des expériences réalisées [8] dans une galerie expérimentale du CERCHAR (longueur 145 m, section moyenne 10 m²) ont montré que cette distance est de plus de 140 m lorsque le phénomène initiateur de l'explosion de poussières est la combustion d'une nappe de grisou. C'est pourquoi les effets thermiques et toxiques de l'explosion peuvent s'étendre sur une distance importante. Dans ces conditions, on peut concevoir que les arrêts-barrages passifs à eau soient principalement utilisés pour limiter l'extension des explosions (éviter la transmission de l'explosion d'un secteur à l'autre de la mine [11]) et que pour protéger le personnel dans les zones dangereuses comme les galeries en creusement d'autres solutions doivent être envisagées.

Pour cette raison, il est apparu nécessaire de développer de nouveaux dispositifs susceptibles de stopper les explosions avant qu'elles ne prennent de l'extension car l'objectif est de réduire au maximum les effets thermiques, toxiques et mécaniques induits. Depuis plus de 20 ans, de nombreux dispositifs ont été mis à l'épreuve (par exemple en Angleterre [10], en Allemagne [9], aux USA [1], en Chine, en France [13], ...). Le principe de tous ces dispositifs est de disperser un agent extincteur dans la galerie dès qu'une explosion est détectée afin d'éteindre la flamme qui se propage. Puisqu'il est souhaitable que les effets de l'explosion soient les plus faibles possibles, le souffle de l'explosion est généralement insuffisant pour disperser convenablement l'agent extincteur et il est nécessaire d'utiliser une source d'énergie supplémentaire pour réaliser la dispersion (utilisation d'explosif ou de gaz propulseur). En outre, un appareil de détection de l'explosion est nécessaire pour déclencher la dispersion ; pour cette raison, ces dispositifs d'extinction sont habituellement appelés "arrêts-barrages déclenchés".

Le dispositif auquel nous nous intéressons dans cet article est l'arrêt-barrage déclenché de conception belge (ABDB) mis au point par P. GOFFART et P. BROWAEYS [4]. Nous présentons les résultats d'expérimentations réalisées au CERCHAR concernant l'efficacité de ce dispositif. Nous rendons compte également des essais de mise en place de l'ABDB dans des chantiers (galeries en creusement) des Houillères du Bassin de Lorraine, en France.

Au préalable, une description sommaire du dispositif testé (ABDB) est donnée.

1./ L'ARRET-BARRAGE DECLENCHE BELGE (ABDB) - DESCRIPTION.

L'ABDB est constitué de trois parties :

- la première partie de l'ABDB permet de détecter l'explosion ("détecteur"),
- la seconde partie de l'ABDB permet de transmettre le signal délivré par le détecteur à la troisième partie de l'ABDB,
- la troisième partie de l'ABDB permet de stopper l'explosion ("disperseur").

1.1.- Détecteur de l'explosion.

Le détecteur est de type "thermomécanique". Il comprend (figure 1) notamment un fil de nylon qui peut être coupé lors du déplacement d'un volet mobile dont le mouvement est provoqué par les effets mécaniques de l'explosion (le souffle) ou fondu grâce aux effets thermiques de l'explosion (la flamme).

Le fil ainsi rompu libère un percuteur qui provoque l'explosion d'un détonateur. Cette explosion constitue le "signal" véhiculé par le dispositif de transmission de l'ABDB (voir le paragraphe 1.2).

L'intensité minimum de l'onde de souffle de l'explosion à partir de laquelle le déclenchement se produit correspond à une pression dynamique, P_{dy} , exercée sur le volet de 10 mbar. Ce choix résulte d'un compromis [3] entre :

- la nécessité d'éviter que le personnel ne soit mis en danger par le souffle de

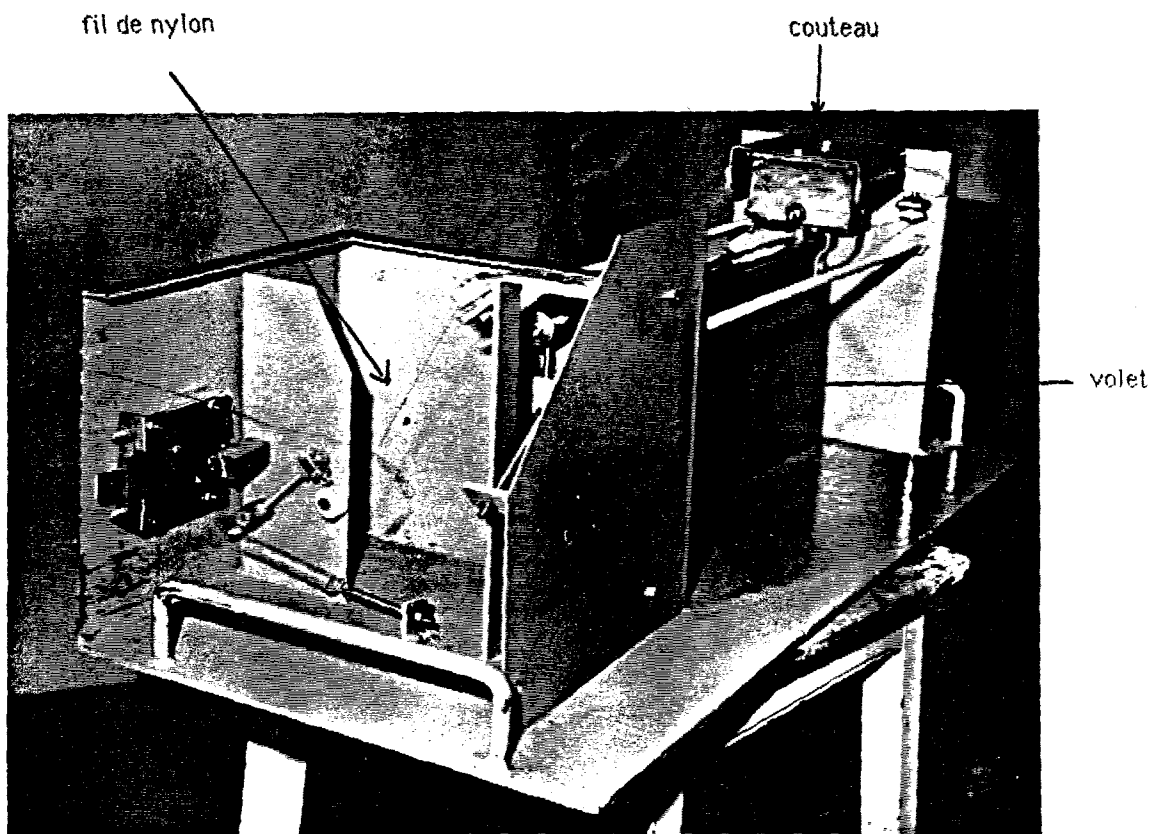


Figure 1 : photographie d'un détecteur thermomécanique

l'explosion ; pour cela, P_{dy} doit être "suffisamment faible",

- la nécessité de réduire le risque de déclenchement intempestif de l'ABDB dans les conditions normales d'exploitation (abattage à l'explosif, creusement à l'explosif, vibrations, transport, ...) ; pour cela, P_{dy} doit être "suffisamment grand".

En pratique, des goupilles calibrées sont placées sur l'axe du volet et s'opposent à son déplacement tant que la pression dynamique exercée sur le volet n'excède pas 10 mbar. Lorsque la pression dynamique dépasse cette valeur, la goupille se casse et libère le volet. La mise au point de ces goupilles a fait l'objet d'essais spécifiques au CERCHAR. Lors du transport, le détecteur peut être neutralisé par verrouillage.

1.2.- Transmission du signal émis par le détecteur.

Le dispositif de transmission du signal fourni par le détecteur est une ligne pyrotechnique. Cette ligne pyrotechnique relie le détecteur aux éléments conçus pour stopper l'explosion (les "disperseurs" ; voir le paragraphe 1.3). Le dispositif de transmission est composé de tronçons (figure 2) qui peuvent être raccordés entre eux, aux détecteurs et aux "disperseurs". Extérieurement, chaque tronçon se présente sous la forme d'une solide gaine plastique reliée à chaque extrémité à des raccords "rapides". A l'intérieur de la gaine se trouvent la ligne pyrotechnique et un circuit électrique. Le circuit électrique permet de vérifier la continuité de la ligne pyrotechnique (figure 3).

a) La ligne pyrotechnique.

Dans chaque tronçon, la transmission du signal est assurée à l'aide de tube "Nonel". On rappelle que le tube "Nonel" est un cordeau détonant à faible énergie (20 mg d'explosif par mètre) permettant la transmission d'une onde de détonation à 2 000 m/s environ. Deux brins de tube "Nonel" sont montés "en parallèle" de manière à augmenter la fiabilité de la ligne pyrotechnique. A chaque extrémité, les tubes "Nonel" sont sertis dans des détonateurs à faible contenu énergétique (125 mg Pb N₆). Ces détonateurs sont insérés dans les raccords rapides. Leur rôle est d'assurer la transmission du signal (détonation) d'un tronçon à l'autre.



Figure 2 : photographie d'un tronçon du dispositif de transmission du signal de l'ABDB

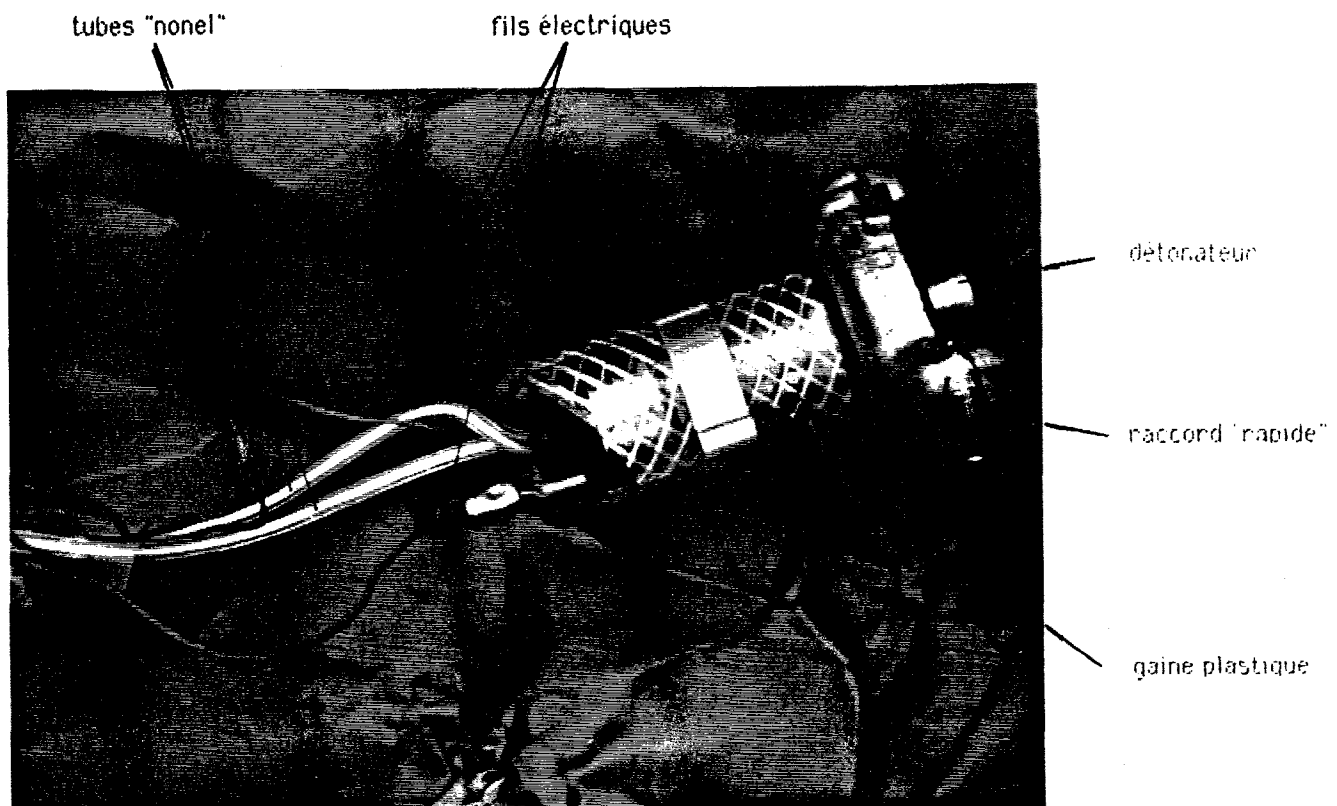


Figure 3 : Photographie de l'agencement interne de l'extrémité d'un tronçon du dispositif de transmission du signal de l'ABDB

b) Le circuit électrique.

Deux fils électriques sont insérés dans la gaine de chaque tronçon afin de pouvoir vérifier la continuité de la ligne pyrotechnique. Un fil électrique (fil électrique "aller") est intimement associé à la ligne pyrotechnique (tube "Nonel" et détonateurs) de telle manière qu'une rupture de la ligne pyrotechnique entraîne une rupture de la ligne électrique. Un second fil électrique (fil électrique "retour") permet d'assurer une continuité électrique entre les raccords rapides.

En mine, ce circuit électrique est relié à un boîtier de contrôle de la continuité électrique.

N.B. : L'ensemble du dispositif électrique est approuvé pour l'utilisation en atmosphère grisouteuse pour toute teneur de grisou.

1.3.- Arrêt de l'explosion.

Pour stopper une explosion, on cherche à éteindre la flamme qui se propage. La méthode retenue par les concepteurs de l'ABDB est de disperser un agent extincteur, de l'eau sous forme de gouttelettes, dans le mélange inflammable en avant du front de flamme. Comme il est nécessaire de stopper l'explosion dans les premières phases de son développement, la pulvérisation et la dispersion de l'eau doivent être aussi rapides que possible : pour cette raison, l'énergie qui permet de distribuer les gouttelettes d'eau dans la galerie de mine est fournie par la détonation d'un explosif.

Cela est réalisé à l'aide d'éléments appelés "disperseurs". Un disperseur (figure 4) est un cylindre long de 2 m environ et dont le diamètre extérieur est 25 cm. La capacité globale est de l'ordre de 90 litres d'eau. Le poids "à vide" (sans eau) est d'environ 5 kg. Un schéma en coupe d'un disperseur est présenté sur la figure 5. L'eau est contenue dans un cylindre de mousse polyuréthane (1). Ce cylindre est muni suivant son axe d'un conduit circulaire dans lequel est logé un brin de cordeau détonant (2) de 1,5 m de longueur (contenu énergétique : 12 g de penthrite par mètre). A chaque extrémité, le cordeau est serti sur des détonateurs (3). La liaison pyrotechnique entre ces détonateurs et la ligne de transmission du signal de l'ABDB (paragraphe 1.2) est assurée à l'aide de brins de tube "Nonel" sertis à chacune de leurs extrémités à des détonateurs ((4) et (5)).

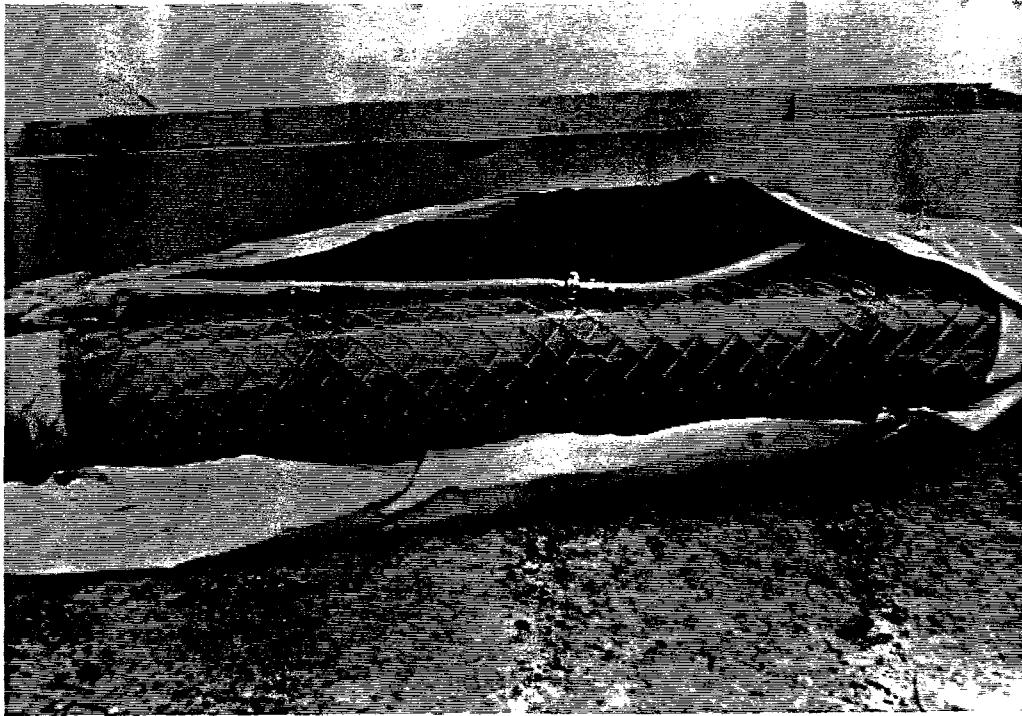


Figure 4 : photographie d'un disperseur (à l'intérieur de son emballage de transport)

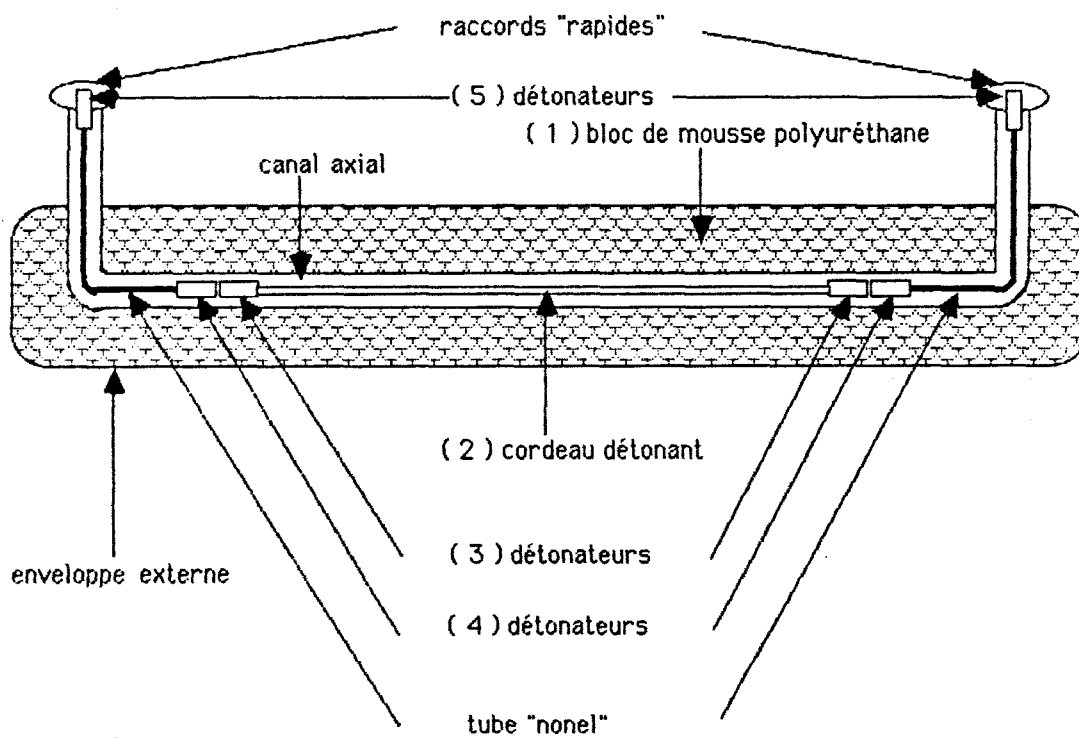


Figure 5 : schéma en coupe d'un disperseur de l'ABDB

Deux de ces détonateurs (4) sont mis en contact avec les détonateurs d'amorçage du cordeau détonant et les deux autres détonateurs (5) sont insérés dans des raccords rapides permettant la jonction du disperseur avec le dispositif de transmission du signal de l'ABDB. De plus, un circuit électrique identique à celui décrit précédemment (paragraphe 1.2) permet de contrôler la continuité de la chaîne pyrotechnique du disperseur. L'enveloppe extérieure du disperseur est en PVC (épaisseur 0,4 mm). Un grillage métallique permet d'assurer une bonne résistance mécanique du disperseur et de faciliter sa mise en place dans une galerie. Des expériences [4] ont permis de montrer que la section d'une galerie de 9 m² pouvait être remplie par le nuage de gouttelettes issu du disperseur en 150 ms après la mise à feu du dispositif pyrotechnique et que la galerie est complètement obturée pendant une durée de 350 ms. Le volume d'eau éjectée du disperseur par la détonation du cordeau détonant pendant cette période de 500 ms correspond environ à la moitié de la quantité d'eau contenue dans le disperseur. Le supplément tombe par gravité. (**)

Pour constituer un arrêt-barrage déclenché complet, les disperseurs et les détecteurs (en général deux) sont assemblés à l'aide des tronçons décrits dans le paragraphe 1.2. Dans une galerie, cet ensemble peut être suspendu à un monorail de manière à faciliter son déplacement (figure 6).

Toutefois, le nombre de disperseurs à utiliser, leur disposition dans la galerie, le choix de l'emplacement des détecteurs, dépendent de nombreux facteurs (tels la nature du phénomène initiateur de l'explosion, la section de la galerie, l'encombrement de la galerie ...). Des expérimentations de l'ABDB ont eu lieu dans plusieurs pays (par exemple en Angleterre [6] et en France [16] mais aussi en Allemagne).

2./ L'ARRET-BARRAGE DECLENCHE BELGE - EXPERIMENTATIONS.

La finalité des expérimentations réalisées en France est essentiellement la protection des galeries de mine en creusement par ABDB.

(**) Remarques : des résultats similaires ont été obtenus dans une galerie de 20 m² de section (la section de la galerie est remplie par le nuage de gouttelettes en 250 ms ; [7]).

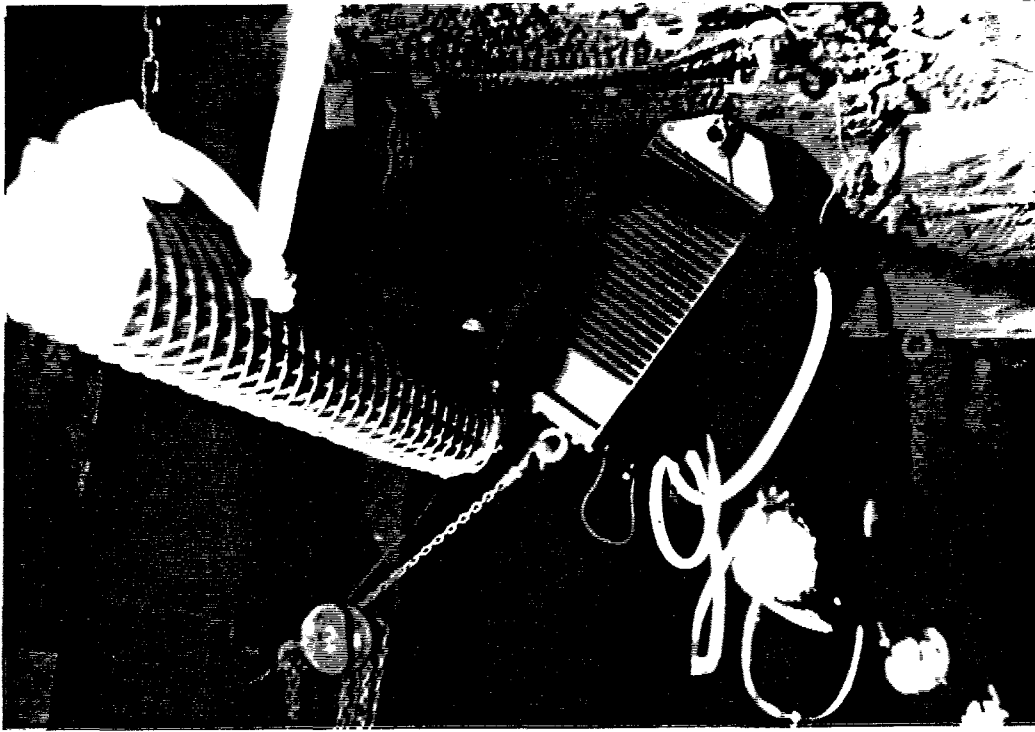


Figure 6 : photographie d'un ABDB installé dans une galerie

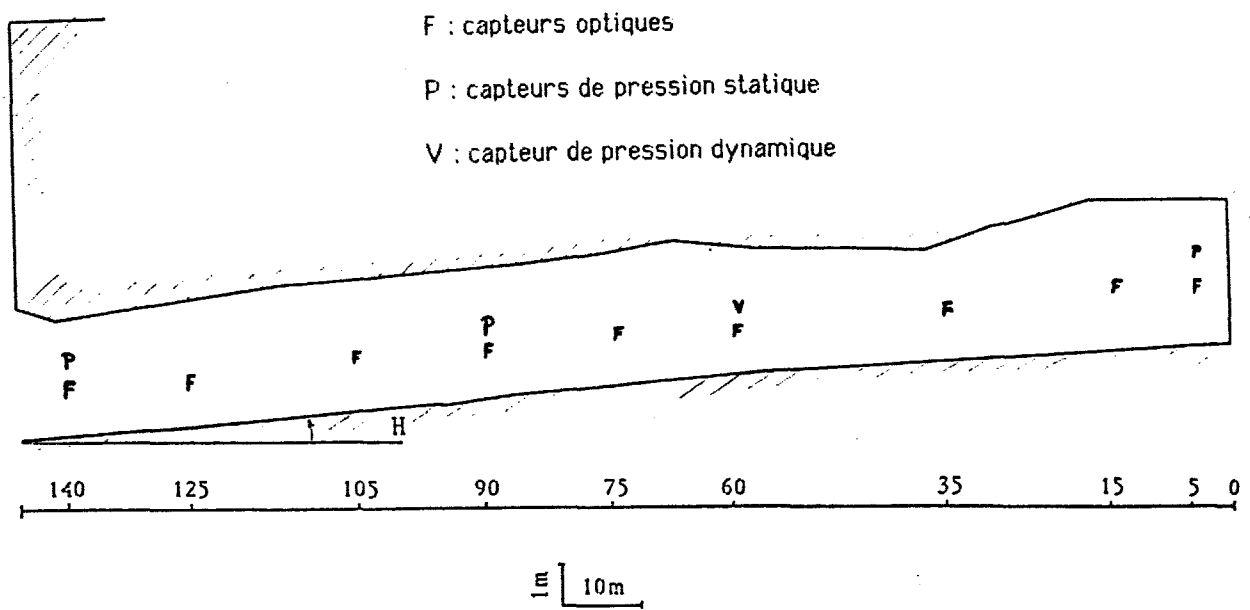


Figure 7 : schéma de la galerie expérimentale du CERCHAR

2.1.- Dispositif expérimental et conditions opératoires.

Les expériences ont été effectuées au moyen d'une galerie expérimentale fermée à une extrémité et ouverte sur l'extérieur à l'autre extrémité. Dans chaque expérience, la flamme se propage de l'extrémité fermée vers l'extrémité ouverte afin de simuler les explosions qui se produisent dans les galeries en creusement.

La longueur de la galerie est 145 m et sa section 10 m^2 en moyenne (figure 7).

Pour engendrer une explosion de poussières telle qu'il peut s'en produire en mine, de la poussière de charbon (les caractéristiques de la poussière sont données dans le tableau 1) est déposée uniformément sur la sole de la galerie à raison de 3 kg par mètre linéaire. Dans certaines conditions (voir tableau 2), de la poussière de charbon est également déposée sur des supports installés dans la partie supérieure de la galerie. Les supports sont espacés de 10 m et reçoivent 8 kg de charbon chacun.

Afin d'amorcer le "coup de poussières", il est nécessaire de mettre la poussière en suspension et de l'enflammer. Pour cela, différents moyens ("sources d'explosion") sont utilisés afin de simuler les conditions d'explosion en mine : par exemple l'amorçage d'un coup de poussières par un tir d'explosif ou par la combustion d'une nappe de grisou ; les conditions expérimentales utilisées lors des essais réalisés au CERCHAR sont présentées dans le tableau 2.

Le déplacement du front de flamme est détecté au moyen de capteurs optiques (photodiodes). En tout, 9 capteurs optiques sont installés (aux abscisses 5 m, 15 m, 35 m, 60 m, 75 m, 90 m, 105 m, 140 m comptées à partir du fond de la galerie). Les pressions statiques peuvent être mesurées à l'aide de capteurs piézo-électriques ; 3 capteurs piézoélectriques sont installés dans la galerie (aux abscisses 5 m, 90 m, 140 m). Une sonde spéciale installée à l'abscisse 60 m permet d'évaluer la pression dynamique induite par l'explosion.

Des expériences préliminaires ont été réalisées (sans dispositif d'extinction dans la galerie) afin de déterminer les caractéristiques d'explosion pour les trois types de "sources d'explosion" considérées (tableau 2). Les diagrammes représentant le déplacement de la flamme dans la galerie en fonction du temps et de la nature de la "source d'explosion" sont donnés sur la figure 8. On peut noter que la vitesse de propagation de la flamme est, pour la "source d'explo-

Nature du charbon (analyse de 1986)	extrait du site "Montrambert" en France
Taux d'humidité Fraction massique sur échantillon sec	1 %
Taux de cendres Fraction massique sur échantillon sec	5,8 %
Matières volatiles Fraction massique sur échantillon pur et sec	25,3 %
Granulométrie (1) Diamètre médian	26 µm
Granulométrie (1) Fraction massique des particules dont le diamètre est inférieur à 80 µm	90 %
(1) La répartition granulométrique des particules a été déterminée à l'aide d'un granulomètre à laser	

Tableau 1 : Caractéristiques de la poussière de charbon
utilisée pour les essais d'efficacité de l'ABDB.

Type	Source d'explosion	Dépôt de poussières de charbon
A	8 kg de poussières de charbon dispersés dans le fond de la galerie par 10 g d'explosif de sûreté et enflammés 1 s plus tard par 350 g de dynamite	<ul style="list-style-type: none"> . gisement de poussières de charbon sur la sole entre les abscisses 0 m et 120 m . quatre supports recevant 8 kg de poussières de charbon chacun, suspendus près du toit de la galerie entre les abscisses 5 m et 10 m
B	<ul style="list-style-type: none"> . 60 m³ de mélange stoechiométrique homogène méthane-air réalisé entre les abscisses 0 m et 5 m . inflammation par inflammateur électrique 	<ul style="list-style-type: none"> . gisement de poussières de charbon sur la sole entre les abscisses 5 m et 120 m . onze supports recevant 8 kg de poussières de charbon chacun, suspendus près du toit de la galerie tous les 10 mètres entre les abscisses 20 m et 120 m
C	<ul style="list-style-type: none"> . Une nappe de 15 m³ de méthane réalisée près du toit de la galerie entre les abscisses 0 m et 35 m . inflammation par une mèche de coton nitré 	<ul style="list-style-type: none"> . gisement de poussières de charbon sur la sole de la galerie entre les abscisses 30 m et 120 m . dix supports recevant 8 kg de poussières de charbon chacun, suspendus près du toit de la galerie tous les 10 m entre les abscisses 30 m et 120 m

Tableau 2 : Conditions expérimentales des essais d'efficacité de l'ABDB.

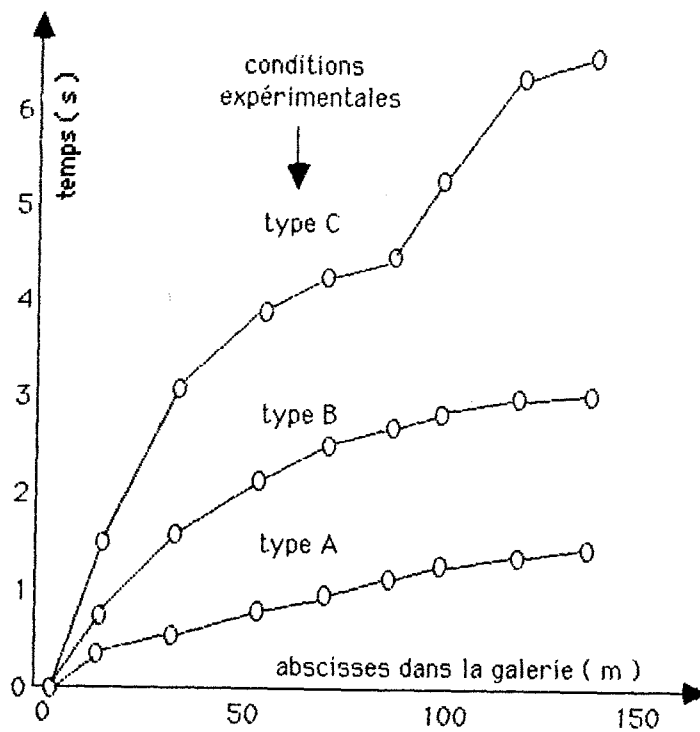


Figure 8: trajectoire de la flamme dans la galerie en fonction du temps et des conditions expérimentales

Conditions expérimentales	Surpression à 5 m du fond de la galerie (mbar)	Vitesse maximale de la flamme dans la galerie (m/s)
type A	300	210
type B	1 400	375
type C	300	75

Tableau 3 : Quelques caractéristiques des explosions produites dans la galerie expérimentale en fonction des conditions expérimentales.

sion" de type C, significativement plus faible (valeur maximale : 75 m/s) que pour les "sources d'explosion" de type A et B (vitesses maximales de flamme : type A, 210 m/s ; type B, 375 m/s). Lors de ces expériences, la source d'explosion de type B a induit l'explosion la plus violente (vitesses de flamme les plus élevées et pressions statiques les plus grandes ; ces résultats sont rassemblés dans le tableau 3).

Jusqu'à présent, trois séries d'essais ont été entreprises. La première avait pour but l'examen de l'efficacité de l'ABDB selon la nature de la source d'explosion. En effet, comme indiqué ci-dessus, de nombreuses "sources d'explosions" peuvent apparaître dans une galerie au creusement. L'objectif de la seconde série d'essai était de définir des critères pour le choix des configurations d'ABDB en mine (comme par exemple, le volume total d'eau nécessaire pour arrêter les explosions et la disposition des disperseurs dans la section de la galerie). Toutefois, en raison de la présence d'équipements (machines) près des fronts des galeries de mine en creusement, il se peut que l'ABDB soit assez éloigné du front (à quelques dizaines de mètres). C'est pourquoi une troisième série d'essais (actuellement en cours) a été mise au point : le but est d'étudier l'influence de la position de l'ABDB par rapport au front sur l'efficacité du dispositif d'extinction. Les résultats de ces trois séries d'essais sont présentés dans les paragraphes suivants.

2.2.- Première série d'essais.

L'objectif de la première série d'essais était l'étude de l'efficacité de l'ABDB en fonction de la nature de la source d'inflammation ([4]).

Pour ce faire, les trois types de conditions expérimentales présentées dans le tableau 2 ont été utilisées lors de ces essais.

Les configurations d'ABDB qui ont été testées au cours de ces expériences sont présentées dans le tableau 4 : un ou deux détecteurs ont été installés entre les abscisses 15 m et 70 m et plusieurs disperseurs (entre 6 et 21) ont été placés entre les abscisses 15 m et 100 m dans la galerie (les abscisses sont comptées à partir du fond de la galerie). Dans la section de la galerie, les disperseurs ont été fixés à un rail près du toit parallèlement à l'axe de la galerie (figure 9).

Conditions expérimentales	Numéro d'essai	Nombre de disperseurs	Position des disperseurs par rapport au fond de la galerie (m)		Concentration totale d'eau dans la zone où sont installés les disperseurs (l/m ³)	Position des détecteurs par rapport au fond de la galerie	
			premier	dernier		D ₁ (m)	D ₂ (m)
type A	1 175	21	15	97	2,25	16	50
	1 176	9	15	97	0,9	16	50
	1 177	20	15	93	2,25	35	70
	1 179	9	15	97	0,9	35	70
type B	1 201	10	15	55	2,14	35	-
	1 205	5	15	35	2,00	35	-
type C	1 180	21	15	97	2,25	16	50
	1 181	6	15	67	0,93	16	50
	1 208	22	15	97	2,35	16	50

Tableau 4 : Configurations d'ABDB testées au cours de la première série d'essais.

Conditions expérimentales	Numéro d'essai	Détection du passage de la flamme (1)									(2) t _{dD1} (ms)	(3) t _{FD1} (ms)	t _{dD1} - t _{FD1} (ms)
		aux abscisses suivantes											
		(repérées à partir du fond de la galerie en mètres)											
		5	15	35	60	75	90	105	125	140			
type A	1 175	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	340	- 340
	1 176	1	1	1	0	0	0	0	0	0	60	350	- 290
	1 177	1	1	0	0	0	0	0	0	0	70	-	-
	1 179	1	1	1	0	0	0	0	0	0	110	720	- 610
type B	1 201	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1 070	-	-
	1 205	1	1	0	0	0	0	0	0	0	570	-	-
type C	1 180	1	1	1	0	0	0	0	0	0	800	420	+ 380
	1 181	1	1	1	1	1	0	0	0	0	470	180	+ 290
	1 208	1	1	1	0	0	0	0	0	0	980	520	+ 460

(1) "1" signifie que le passage de la flamme a été détecté par le capteur optique situé à l'abscisse correspondante
"0" signifie que le passage de la flamme n'a pas été détecté par le capteur optique situé à l'abscisse correspondante

(2) t_{dD1} est l'instant de déclenchement du détecteur D₁ (l'instant 0 ms correspond à l'instant de la détection du passage de la flamme à l'abscisse 5 m)

(3) t_{FD1} est l'instant de passage de la flamme au droit du détecteur D₁ (l'instant 0 ms correspond à l'instant de la détection du passage de la flamme à l'abscisse 5 m)

Tableau 5 : Résultats des expériences de la première série d'essai.

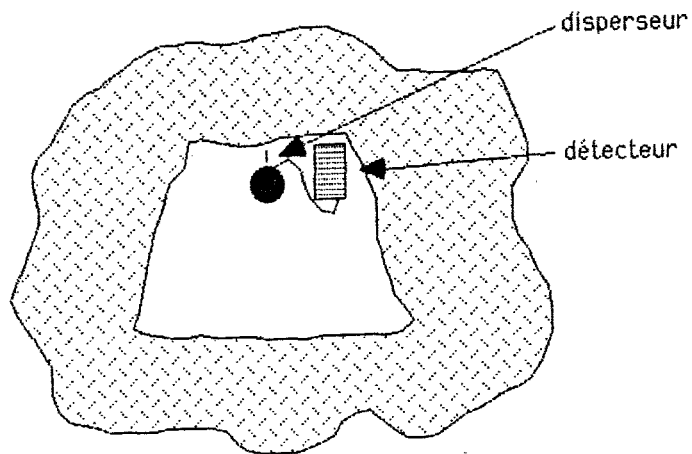


Figure 9 : disposition des disperseurs dans la galerie expérimentale pendant la première série d'essais

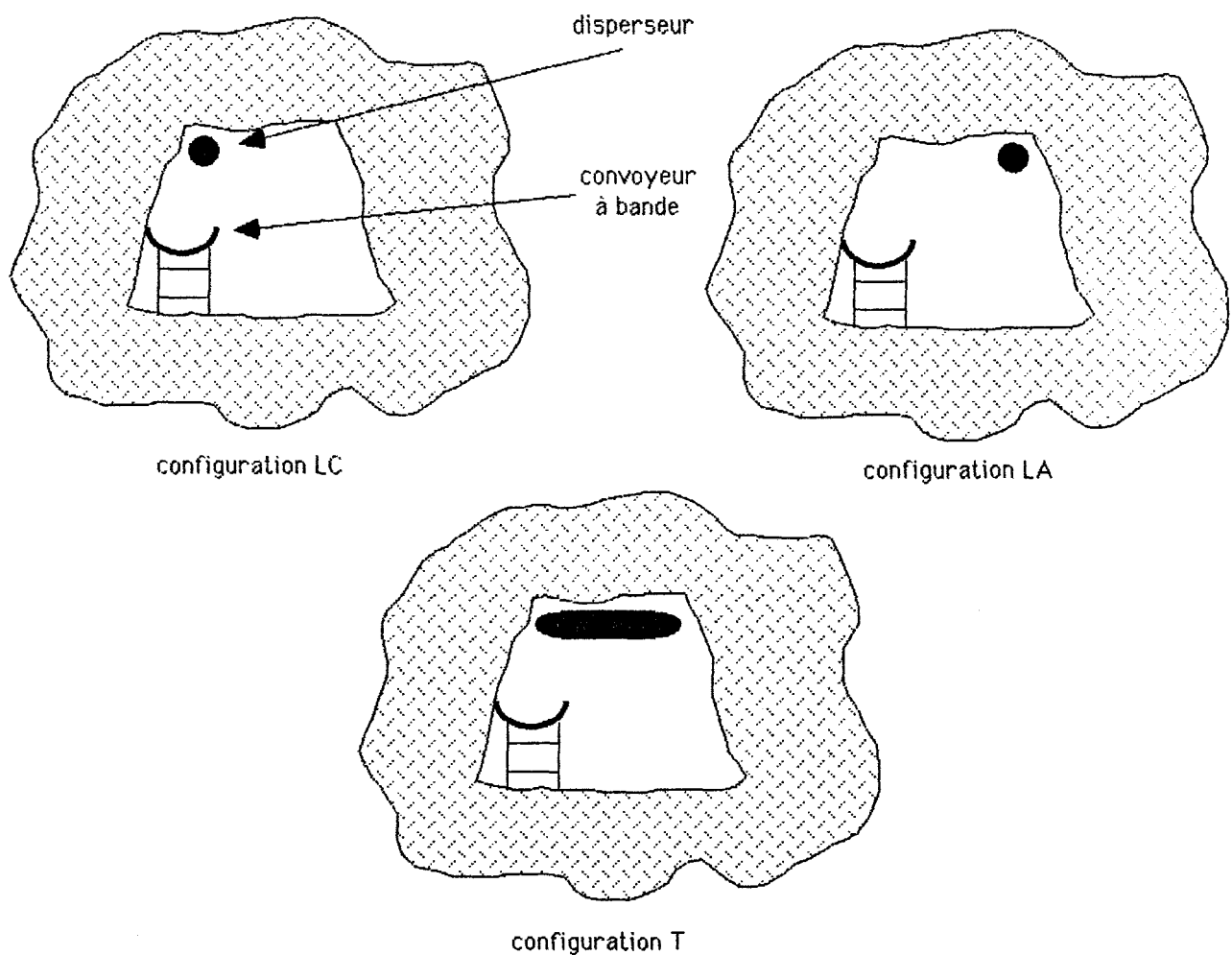


Figure 10 : disposition des disperseurs dans la galerie expérimentale pendant la seconde série d'essais

Les résultats des expériences sont présentés dans le tableau 5. Ces essais ont permis de constater que :

a) pour les différents types d'explosion testés (coup de poussières provoqué par un tir d'explosif comme il peut s'en produire dans une galerie en creusement par abattage à l'explosif, mise à feu de grisou près du front de la galerie comme cela est susceptible d'avoir lieu lors du creusement mécanique d'une galerie), l'ABDB a permis de stopper la flamme (en-deçà de l'abscisse 90 m) ;

b) lors de la plupart des essais, deux détecteurs (D_1 et D_2) ont été utilisés. Malheureusement, la méthode de diagnostic choisie n'a pas permis de déterminer lequel de ces deux détecteurs a déclenché la ligne pyrotechnique pendant les explosions car seul le fonctionnement (déclenchement) de D_1 a pu être analysé. Néanmoins, l'examen des valeurs du tableau 5 montre que dans le cas des explosions de type A et B, on constate que $t_{dD_1} < t_{FD_1}$, ce qui indique que le déclenchement de D_1 a été provoqué par les effets mécaniques de l'explosion. S'agissant des explosions de type C, on note que $t_{dD_1} > t_{FD_1}$, ce qui signifie que le déclenchement de D_1 a été provoqué par les effets thermiques de l'explosion : dans ces conditions, l'écart entre l'instant de passage de la flamme au droit de D_1 et le déclenchement de D_1 est de l'ordre de 350 ms ;

c) lorsque le détecteur est placé à plus de 15 m du fond de la galerie, l'analyse des enregistrements obtenus au cours des explosions produites dans les conditions de type A montre que c'est le souffle induit par le "coup" de poussières qui permet le déclenchement des détecteurs et non le souffle produit par la détonation de l'explosif. Cette constatation est conforme aux observations réalisées au CERCHAR en 1970 [3] selon lesquelles, pendant un tir d'abattage à l'explosif, "en plaçant ce détecteur à plus d'une quinzaine de mètres du front de tir, on ne devrait pas observer de départ intempestif au moment d'un tir en voie au charbon" ;

d) s'agissant des explosions produites dans les conditions expérimentales de type A (respectivement B), on peut constater que l'extinction de la flamme se produit dans la zone 15 m/60 m (respectivement 15 m/35 m). Les résultats ne permettent pas de mettre en évidence une différence dans le phénomène d'extinction lorsque la quantité totale d'eau contenue dans les disperseurs varie. De plus,

les résultats indiquent que les disperseurs situés au-delà de l'abscisse 60 m (respectivement 35 m) ne sont pas utiles pour stopper ce type d'explosion.

En revanche, s'agissant des explosions produites dans les conditions expérimentales de type C, les résultats semblent indiquer que la concentration totale d'eau dans la zone où est situé l'ABDB a une influence sur le phénomène d'extinction (pour les essais 1180 et 1208, la concentration d'eau dans la zone où est situé l'ABDB est $2,3 \text{ l/m}^3$ environ et la flamme s'éteint entre les abscisses 35 m et 60 m ; pour l'essai 1181, la concentration d'eau est approximativement 1 l/m^3 et la flamme s'éteint entre les abscisses 75 m et 90 m). A cet égard, on peut remarquer que le souffle produit par une explosion de type C est probablement beaucoup plus faible que celui engendré par les conditions de type A. Comme environ la moitié du contenu des disperseurs est pulvérisé sous forme de gouttelettes par la détonation du cordeau détonant (voir paragraphe 1.3) et que le reste du contenu tombe par gravité, on peut penser que le souffle des explosions produites avec les conditions expérimentales de type A est suffisant pour disperser la quantité totale d'eau contenue dans les disperseurs mais que, en revanche, le souffle des explosions produites avec les conditions expérimentales de type C est insuffisant pour disperser la fraction d'eau qui tombe par gravité. Cette hypothèse permettrait de justifier les différences constatées dans le phénomène d'extinction selon la nature de l'explosion.

Les résultats obtenus au cours de cette première série d'essais ont permis de tester l'efficacité de l'ABDB mais ne permettent pas de définir des critères pour l'implantation de l'ABDB en mine. Pour cela, une seconde série d'essais a été entreprise.

2.3.- Seconde série d'essai.

La seconde série d'essais a été réalisée dans le milieu des années 1980 ([16]) ; il s'agissait principalement de rechercher :

- la quantité d'eau totale nécessaire pour stopper les explosions dans une galerie en "cul-de-sac",
- l'influence de la disposition des disperseurs dans la section de la galerie sur l'efficacité de l'ABDB, en particulier lorsque la galerie est "encombrée" par

du matériel.

Les expériences ont été réalisées avec les conditions expérimentales de type B (tableau 2). Toutefois, un dispositif représentant un convoyeur à bande a été installé le long d'une paroi de la galerie (entre les abscisses 15 m et 110 m ; largeur 800 mm ; hauteur 1 000 mm).

Les configurations d'ABDB testées sont présentées dans le tableau 6 : un ou deux détecteurs ont été installés entre les abscisses 7 m et 45 m et plusieurs disperseurs (entre 3 et 10) ont été placés dans la galerie entre les abscisses 10 m et 44 m. Dans la section de la galerie, les disperseurs ont été disposés soit à la verticale du convoyeur à bande dans le sens longitudinal, soit au-dessus de l'allée de la galerie, soit transversalement (perpendiculairement à l'axe de la galerie) (figure 10).

Les principaux résultats obtenus sont présentés dans le tableau 7. On peut constater que :

a) par rapport à la première série d'essais, une amélioration des méthodes de diagnostic a permis d'étudier le fonctionnement des deux détecteurs lors des explosions. L'analyse des enregistrements des essais indique, pour toutes les expériences, que le détecteur D_1 a déclenché la chaîne pyrotechnique de l'ABDB. Pour la plupart des essais, on peut remarquer que $t_{FD1} > t_{dD1}$: cela signifie que le déclenchement du détecteur D_1 a été provoqué par le souffle de l'explosion. Toutefois, les valeurs de t_{FD1} et t_{dD1} des essais 1593 et 1606 indiquent que lors de ces expériences le déclenchement de D_1 a été induit par les effets thermiques de l'explosion ($t_{dD1} > t_{FD1}$) : l'écart $t_{dD1} - t_{FD1}$ est de 300 ms pour l'essai 1606 et de 760 ms pour l'essai 1593. Pourquoi, dans certains cas, le déclenchement du détecteur est-il provoqué par les effets thermiques et non les effets mécaniques de l'explosion ?

Comme le montre la courbe "type B" de la figure 8, la flamme s'accélère continûment de l'extrémité fermée de la galerie jusqu'à l'extrémité ouverte. Le détecteur est conçu pour se déclencher dès que la pression dynamique exercée sur le volet de l'appareil est de l'ordre de 10 mbar ; dans les conditions expérimentales présentes, on peut vérifier que cette valeur est atteinte lorsque la vitesse de la flamme est approximativement de 40 m/s. De surcroît, on peut penser qu'entre l'extrémité fermée de la galerie et le front de flamme, la vitesse moyenne du fluide est nulle. Par conséquent, si les détecteurs sont placés dans


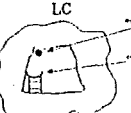

Disposition des disperseurs dans la section de la galerie	Numéro d'essai	Nombre de disperseurs	Position des disperseurs par rapport au fond de la galerie (m)		Concentration totale d'eau dans la zone où sont installés les disperseurs (1/m ³)	Position des détecteurs par rapport au fond de la galerie	
			premier	dernier		D ₁ (m)	D ₂ (m)
 LA	1 592	10	14	44	2,9	25	45
	1 593	10	14	44	2,9	25	45
	1 598	5	14	44	1,3	25	45
	1 599	5	14	44	1,3	25	45
	1 606	4	10	20	3,3	7	15
	1 600	3	20	37	1,2	25	-
 LC	1 595	10	14	44	2,9	25	45
	1 596	10	14	44	2,9	25	45
	1 602	5	14	44	1,3	25	-
 T	1 601	5	17	42	1,4	25	-

Tableau 6 : Configurations d'ABDB testées au cours de la seconde série d'essais.

Disposition des disperseurs dans la section de la galerie	Numéro d'essai	Détection du passage de la flamme (1) aux abscisses suivantes (repérées à partir du fond de la galerie en mètres)									(2)	(3)	t _{dD1} - t _{FD1} (ms)
		5	15	35	60	75	90	105	125	140	t _{dD1} (ms)	t _{FD1} (ms)	
LA	1 592	1	1	1	0	0	0	0	0	0	350	440	- 90
	1 593	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1 760	1 000	+ 760
	1 598	1	1	1	0	0	0	0	0	0	420	580	- 160
	1 599	1	1	1	1	0	0	0	0	0	420	580	+ 300
	1 606	1	1	1	1	1	1	1	1	1	370	70	+ 300
	1 600	1	1	1	1	1	1	1	1	1	350	530	- 180
LC	1 595	1	1	1	1	0	0	0	0	0	430	570	- 140
	1 596	1	1	1	0	0	0	0	0	0	410	550	- 140
	1 602	1	1	1	1	1	1	1	1	1	330	470	- 140
T	1 601	1	1	1	0	0	0	0	0	0	320	470	- 150

(1) "1" signifie que le passage de la flamme a été détecté par le capteur optique situé à l'abscisse correspondante
"0" signifie que le passage de la flamme n'a pas été détecté par le capteur optique situé à l'abscisse correspondante
(2) t_{dD1} est l'instant de déclenchement du détecteur D₁ (l'instant 0 ms correspond à l'instant de la détection du passage de la flamme à l'abscisse 5 m)
(3) t_{FD1} est l'instant de passage de la flamme au droit du détecteur D₁ (l'instant 0 ms correspond à l'instant de la détection du passage de la flamme à l'abscisse 5 m)

Tableau 7 : Résultats des expériences de la seconde série d'essais.

une zone (près de la source d'inflammation) où la vitesse de la flamme est inférieure à 40 m/s, et compte tenu de la remarque précédente, le déclenchement de l'ABDB ne pourra pas être provoqué par les effets mécaniques de l'explosion mais par les effets thermiques ; l'essai 1606 illustre ce phénomène : les détecteurs ont été placés entre 5 et 15 m du front de la galerie dans une zone où la vitesse de la flamme est sensiblement inférieure à 40 m/s (28 m/s). Le détecteur, au cours de l'essai 1593, a été installé plus loin de la source d'inflammation (à 25 m) mais l'analyse des signaux délivrés par les capteurs optiques pendant l'expérience indique que la vitesse maximale de la flamme au droit du détecteur est également très inférieure à 40 m/s (de l'ordre de 20 m/s).

b) Les résultats du tableau 7 permettent d'obtenir quelques indications concernant l'influence de la disposition des disperseurs dans la section de la galerie sur l'efficacité de l'ABDB lorsqu'un obstacle (un convoyeur à bande) est susceptible de gêner la dispersion de l'eau. Pour cela, les résultats des essais 1598 (disperseurs disposés dans le sens longitudinal au-dessus de l'allée de la galerie), 1602 (disperseurs disposés dans le sens longitudinal au-dessus du convoyeur à bande) et 1601 (disperseurs disposés transversalement dans la galerie) peuvent être comparés car les conditions expérimentales autres que la disposition des disperseurs dans la section de la galerie sont similaires. On peut constater que les configurations LA et T (essais 1598 et 1601) sont équivalentes, eu égard à l'efficacité de l'ABDB : dans les deux cas, la flamme s'est éteinte avant l'abscisse 60 m. A l'inverse, au cours de l'essai 1602 (configuration LC), l'explosion n'a pas été stoppée et la flamme s'est propagée jusqu'à l'extrémité ouverte de la galerie. Cela indique que la disposition des disperseurs dans la section d'une galerie encombrée par du matériel est susceptible d'avoir une influence sur l'efficacité de l'ABDB mais une étude expérimentale plus complète serait nécessaire pour définir des critères d'implantation des disperseurs dans une galerie "encombrée".

c) Les expériences ont permis d'étudier l'influence de la quantité d'eau contenue dans les disperseurs et de la longueur de la zone où sont installés les disperseurs sur l'efficacité de l'ABDB. J. WINTER ([16]) a proposé de présenter les résultats du tableau 7 sous la forme d'un diagramme (figure 11) dans lequel figurent des paramètres comme la concentration volumique moyenne d'eau contenue dans la zone où sont installés les disperseurs (quantité totale d'eau divisée par le volume de cette zone), la longueur de cette zone et la concentration surfacique moyenne d'eau dans la galerie (quantité totale d'eau divisée par l'aire de

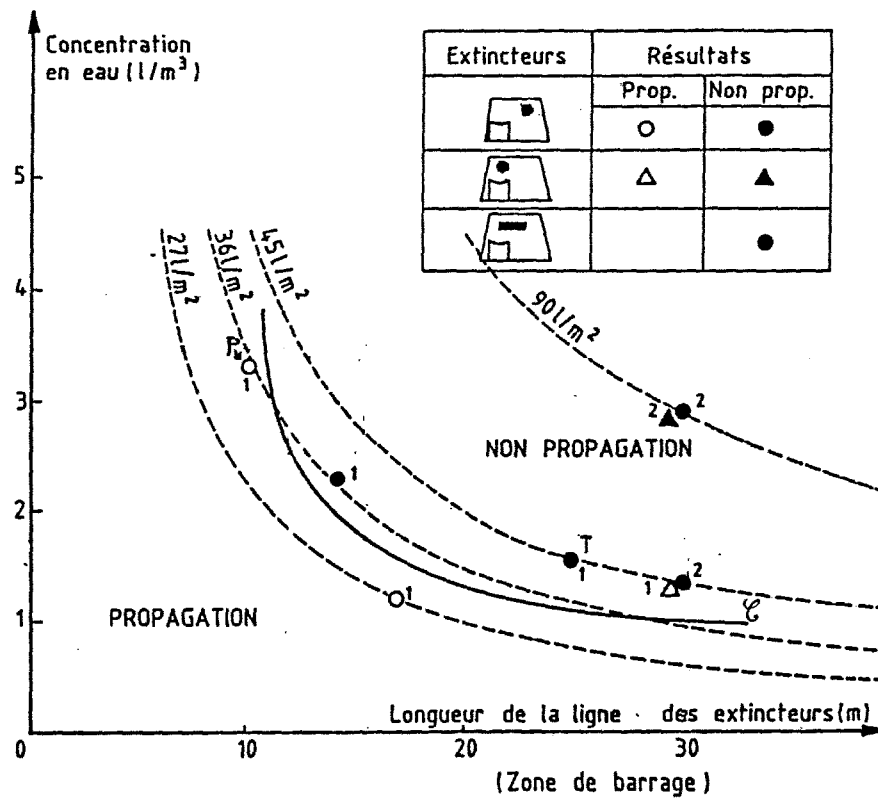


Figure 11 : représentation graphique des résultats des expériences réalisées lors de la seconde série d'essais

la section droite de la galerie). Dans ce diagramme apparaît un domaine pour lequel le nombre de disperseurs et leur disposition dans la galerie ne permettent pas à l'ABDB de stopper l'explosion et un autre domaine pour lequel la composition de l'ABDB permet un fonctionnement efficace de l'ABDB. La frontière entre ces deux domaines (par exemple, la courbe C de la figure 11) est située entre les hyperbotes d'"isoconcentration surfacique" indicées 36 l/m^2 .

Cependant, on peut remarquer que la forme de la courbe C dépend fortement de la position du point P. Ce point correspond à l'essai 1606 pour lequel le déclenchement de la ligne pyrotechnique de l'ABDB a été provoqué par les effets thermiques de l'explosion sur le détecteur D_1 . Or, l'analyse des signaux délivrés par les capteurs optiques au cours de cet essai montre que le délai entre l'instant de passage de la flamme au droit de D_1 et le déclenchement de la chaîne pyrotechnique est tel que la flamme a franchi la zone où sont installés les disperseurs avant le remplissage complet de la galerie par le nuage de gouttelettes d'eau. On estime, en effet, que la flamme parvient au niveau du dernier disperseur de la zone où est installé l'ABDB à l'instant $t_c = 490 \text{ ms}$, alors que le temps t_e nécessaire pour que le nuage de gouttelettes issu des disperseurs remplisse complètement la section de la galerie est la somme de t_{dD_1} (soit 370 ms), du délai entre la mise à feu de la ligne pyrotechnique de l'ABDB et l'arrivée du front de gouttelettes sur la sole de la galerie (soit 150 ms ; voir paragraphe 1.3) : par conséquent t_e ($t_e = 370 + 150 = 520 \text{ ms}$) est plus grand que t_c . Les résultats de l'essai 1606, en raison du mode de déclenchement de l'ABDB, ne permettent pas d'affirmer que 4 disperseurs disposés sur une longueur de 10 m ne seraient pas suffisants pour stopper la propagation de la flamme si la dispersion de l'eau était déclenchée à l'instant où la flamme pénètre dans la zone où sont installés les disperseurs.

On rappelle que le mode de déclenchement de l'ABDB (effets mécaniques ou thermiques de l'explosion) dépend de la position des détecteurs dans la galerie (paragraphe 2.3.a). Ces expériences suggèrent l'importance que peut avoir la disposition des éléments de l'ABDB (disperseurs et détecteurs) sur l'efficacité de ce dispositif d'extinction. L'objectif de la troisième série d'essais est l'étude de cet aspect particulier de l'efficacité de l'ABDB.

2.4.- Troisième série d'essais.

La troisième série d'essais est actuellement en cours. Il s'agit principalement d'étudier l'efficacité de l'ABDB lorsque les éléments qui le composent sont placés à des distances croissantes du front de la galerie. En pratique, cette situation correspond au cas des galeries de mine en creusement dans lesquelles, par suite de l'encombrement par du matériel ou en raison de l'avancement du front, l'ABDB est "loin" du front (à 50 m par exemple).

Des expériences ont été effectuées dans la galerie expérimentale du CERCHAR (équipée du convoyeur à bande ; voir paragraphe précédent). Les conditions expérimentales utilisées pour provoquer les coups de poussières sont de "type B" (tableau 2).

Six disperseurs répartis sur une longueur de 15 m ou de 30 m ont été utilisés pour chaque essai et suspendus au-dessus du convoyeur à bande (configuration de type LC du tableau 6). Un seul détecteur a été utilisé (placé dans la zone où sont installés les disperseurs). Les principales configurations testées sont présentées dans le tableau 8.

Les résultats des expériences sont présentés dans le tableau 9. L'examen de ces résultats permet de faire les commentaires suivants :

a) pour toutes les expériences présentées, le détecteur a été déclenché par le souffle de l'explosion ($t_{dD1} < t_{FD1}$). Quelle que soit la position du détecteur dans la galerie (abscisse 25 m, 45 m ou 60 m), le déclenchement se produit au même instant (environ 500 ms après le passage de la flamme à l'abscisse 5 m). L'analyse des signaux délivrés par les capteurs optiques pendant les expériences révèle que la vitesse de la flamme au moment du déclenchement est de l'ordre de 40 m/s : on rappelle qu'une flamme qui se propage à 40 m/s engendre, dans les conditions expérimentales considérées, une pression dynamique de l'ordre de 10 mbar, ce qui correspond au "seuil" de déclenchement du détecteur (voir paragraphe 1.1) ;

b) toutes les configurations d'ABDB testées ont permis de stopper l'explosion. Néanmoins, on peut constater que, si l'ABDB est proche de la source d'inflammation (disperseurs entre les abscisses 27,5 m et 42,5 m ou 27,5 m et 57,5 m), l'extinction de la flamme se produit à l'intérieur de la zone où sont installés les disperseurs (entre les abscisses 35 m et 60 m : essais 1763, 1766,

Numéro d'essai	Nombre de disperseurs	Position des disperseurs par rapport au fond de la galerie (m)		Concentration totale d'eau dans la zone où sont installés les disperseurs (l/m ³)	Position du détecteur rapport au fond de la galerie D ₁ (m)
		premier	dernier		
1 763	6	27,5	42,5	3,46	25
1 766	6	27,5	42,5	3,46	45
1 774	6	27,5	42,5	3,46	45
1 767	6	27,5	57,5	1,60	45
1 768	6	45	60	3,46	45
1 771	6	45	60	3,46	60
1 769	6	45	75	1,60	45
1 770	6	45	75	1,60	60

Tableau 8 : Configurations d'ABDB testées au cours de la troisième série d'essais.

Numéro d'essai	Détection du passage de la flamme (1) aux abscisses suivantes (repérées au fond de la galerie en mètres)									(2) t _{dD1} (ms)	(3) t _{FD1} (ms)	t _{dD1} - t _{FD1} (ms)
	5	15	35	60	75	90	105	125	140			
1 763	1	1	1	0	0	0	0	0	0	430	630	- 200
1 766	1	1	1	0	0	0	0	0	0	460	1 250	- 790
1 774	1	1	1	0	0	0	0	0	0	590	1 160	- 570
1 767	1	1	1	0	0	0	0	0	0	450	1 070	- 620
1 768	1	1	1	1	1	1	0	0	0	470	1 200	- 730
1 771	1	1	1	1	1	1	0	0	0	480	1 240	- 760
1 769	1	1	1	1	1	1	0	0	0	450	1 080	- 630
1 770	1	1	1	1	1	1	1	0	0	500	1 210	- 710

(1) "1" signifie que le passage de la flamme a été détecté par le capteur optique situé à l'abscisse correspondante
"0" signifie que le passage de la flamme n'a pas été détecté par le capteur optique situé à l'abscisse correspondante
(2) t_{dD1} est l'instant de déclenchement du détecteur D₁ (l'instant 0 ms correspond à l'instant de la détection du passage de la flamme à l'abscisse 5 m)
(3) t_{FD1} est l'instant de passage de la flamme au droit du détecteur D₁ (l'instant 0 ms correspond à l'instant de la détection du passage de la flamme à l'abscisse 5 m)

Tableau 9 : Résultats des expériences de la troisième série d'essais.

1774 et 1767). En revanche, si l'ABDB est plus éloigné de la source d'inflammation (disperseurs entre les abscisses 45 m et 60 m ou 45 m et 75 m), l'extinction de la flamme se produit bien au-delà de la zone où sont installés les disperseurs (entre les abscisses 90 m et 125 m : essais 1768, 1771, 1769 et 1770). Or, dans le premier cas (lorsque l'ABDB est disposé dans la galerie à partir de l'abscisse 27,5 m), l'analyse des signaux délivrés par les capteurs optiques pendant les expériences révèle que la vitesse de la flamme lorsqu'elle pénètre dans la zone où sont installés les disperseurs est de l'ordre de 40 m/s alors que dans le second cas (lorsque l'ABDB est disposé à partir de l'abscisse 45 m), cette vitesse est de l'ordre de 80 m/s. Cela indique que le nuage de gouttelettes issus des disperseurs est susceptible de "dériver" sous l'effet du souffle vers l'extrémité ouverte de la galerie et dans ces conditions la flamme peut s'éteindre au-delà de la zone où sont installés les disperseurs.

Les résultats présentés ne permettent pas de mettre en évidence l'influence de la disposition des disperseurs par rapport au front de la galerie sur l'efficacité de l'ABDB. Néanmoins, des éléments incitent à penser que l'efficacité de l'ABDB décroît lorsque les disperseurs sont éloignés de la source d'inflammation. En effet :

- le délai, t_r , entre l'instant de déclenchement de l'ABDB et l'instant où la flamme pénètre dans la zone où sont installés les disperseurs augmente lorsque la distance entre la source d'inflammation et le premier disperseur croît (ce délai est en moyenne de 230 ms lorsque le premier disperseur est à 27,5 m du front et de 710 ms lorsque le premier disperseur est à 45 m du front). Comme la durée totale de la phase de "dispersion active" (pendant laquelle les gouttelettes sont produites et dispersées par la détonation du cordeau détonant des disperseurs) est de 500 ms (voir paragraphe 1.3), il est probable que l'efficacité optimale de l'ABDB est obtenue lorsque $t_r < 500$ ms. Lorsque t_r est supérieur à 500 ms, la flamme pénètre dans la zone où sont installés les disperseurs alors que la phase de "dispersion active" est achevée et l'efficacité de l'ABDB est susceptible de décroître ;

- l'extinction de la flamme, provoquée par l'activation des disperseurs, se produit parfois au-delà de la zone où sont installés les disperseurs (essais 1768, 1771, 1769 et 1770). Il semble que le nuage de gouttelettes d'eau (produit par les disperseurs) puisse dériver vers la sortie de la galerie sous l'effet du souffle de l'explosion. Ce phénomène a été évoqué ci-dessus (paragraphe 2.4.b) mais l'interaction de l'onde de souffle avec les gouttelettes d'eau issues des disperseurs peut avoir une autre conséquence. En effet, si on suppose que la

vitesse de l'air dans l'onde de souffle est négligeable, l'eau contenue dans les disperseurs est injectée approximativement dans le volume de galerie où est installé le dispositif d'extinction : ainsi avec 6 disperseurs répartis sur une longueur de 15 mètres et contenant chacun 90 kg d'eau, on obtient, en prenant 10 m^2 pour la surface de la section droite de la galerie, une concentration maximale d'eau dispersée de l'ordre de $6 \times 90/15 \times 10 = 3,6 \text{ kg/m}^3$. Lorsque l'onde de souffle est intense, l'eau contenue dans les disperseurs est entraînée, au moins partiellement, dans l'écoulement d'air et la concentration maximale d'eau du nuage peut être estimée en faisant le rapport du débit d'eau injectée et du débit d'air circulant : si on suppose que chaque disperseur se vide en 1 seconde (valeur parfois admise) et que la vitesse moyenne de l'air dans la galerie est de 50 m/s au moment de la dispersion, on obtient un débit moyen total d'eau de $6 \times 90/1 = 540 \text{ kg/s}$ et un débit d'air de $50 \times 10 = 500 \text{ m}^3/\text{s}$, soit une concentration maximale d'eau dans le nuage de $540/500 = 1,1 \text{ kg/m}^3$. Pour une vitesse d'air de 100m/s, on obtient une concentration maximale d'eau dans le nuage de $540/1000 = 0,54 \text{ kg/m}^3$. On peut donc constater que, dans ces conditions, la concentration d'eau du nuage extincteur diminue lorsque la force de l'onde de souffle augmente ; ce phénomène est susceptible d'avoir une influence sur l'efficacité de ce système d'arrêt-barrage, surtout lorsque le nombre de disperseurs utilisés est faible et que l'onde de souffle pendant la dispersion de l'eau est importante (ce cas est susceptible de se produire, dans les conditions expérimentales présentes, lorsque les disperseurs sont éloignés de l'origine de l'explosion).

3./ L'ARRET-BARRAGE DECLENCHE BELGE - UTILISATION DANS LES MINES FRANCAISES.

En France, les autorités administratives et l'industrie extractive du charbon sont intéressées par ce nouveau dispositif et dans les Houillères du Bassin de Lorraine (HBL) des tentatives d'implantation de l'ABDB en mine dans des conditions réelles d'exploitation ont été effectuées.

Des tests ont été effectués dans deux types d'ouvrage :

- galeries en voie de creusement par machine à "attaque ponctuelle",
- galeries (inclinées) en voie de creusement par abattage à l'explosif.

Les résultats de ces tentatives sont exposés ci-après.

3.1.- Utilisation de l'ABDB dans les galeries en voie de creusement par machine à attaque ponctuelle.

La plupart des tests ont été réalisés dans ce type d'ouvrage. Ils peuvent être décomposés en trois phases :

a) des tests ont été effectués avec une "version inerte" de l'ABDB (dispositif dépourvu du système pyrotechnique) afin de tester la possibilité d'inscrire ce matériel dans l'équipement du chantier. Cette tentative a duré 2 mois pendant lesquels 560 m de galerie ont été creusés ;

b) la deuxième phase des essais s'est déroulée avec le dispositif complet dans une version prototype : la finalité était de mettre au point l'ABDB. L'équipement a été installé successivement dans quatre chantiers différents et a été associé à 2 500 m de creusement. Pendant cette période, 3 déclenchements intempestifs ont eu lieu et ont permis de mettre en évidence une sensibilité au choc du détecteur lors des opérations de "ripage" de l'installation et une fragilisation de la goupille du volet du détecteur sous l'effet des vibrations. Ces constatations ont permis de modifier les goupilles et prévoir un dispositif pour amortir l'effet des vibrations. Il peut être signalé que les déclenchements intempestifs de l'ABDB se sont, comme prévu, révélés sans danger pour le personnel situé à proximité ;

c) pour les essais suivants, une nouvelle version du matériel (ABDB) a été préparée en prenant en compte les observations faites précédemment. Les améliorations concernaient essentiellement les disperseurs : en particulier, le cylindre de mousse polyuréthane a été modifié afin de favoriser la dispersion de l'eau et le matériau de l'enveloppe extérieure des disperseurs a été changé afin d'améliorer la résistance à la chaleur de la gaine. Ce nouveau matériel a été installé dans 5 chantiers différents où 2 050 m ont été creusés en 1989 et 1990. Durant cette période, 3 nouveaux déclenchements intempestifs ont eu lieu, ce qui a conduit à de nouvelles modifications des détecteurs.

Ces tentatives ont montré que l'ABDB s'intègre bien dans l'équipement mobile d'un chantier de creusement par machine à "attaque ponctuelle" muni d'une seule ligne d'aérage. La présence de ce dispositif n'implique aucune gêne pour le ripage de l'installation ni pour la circulation du personnel et le transport du matériel. Cependant, des améliorations restent à effectuer afin, par exemple, de faciliter le remplissage des disperseurs, de faciliter le contrôle du niveau

d'eau dans chaque disperseur et d'améliorer la fiabilité du détecteur vis-à-vis des chocs.

3.2.- Utilisation de l'ABDB dans des galeries inclinées en voie de creusement par abattage à l'explosif.

Un seul essai a été réalisé dans un chantier de ce type en 1988. Les projections induites par les tirs d'explosif entraînaient rapidement une accumulation de produits dans le détecteur disposé le plus près du front, qui bloquait le volet et rendait ainsi le système inefficace. Une solution avait été envisagée, elle consistait à modifier le détecteur pour permettre l'évacuation des produits, mais n'a pas été réalisée.

Par ailleurs, l'installation d'un arrêt-barrage déclenché dans ce type de chantier imposait l'installation d'une ligne de monorail spécifique et d'un dispositif de traction pour le déplacement.

Compte tenu de ces inconvénients, du nombre restreint de chantiers concernés et de leur faible durée de vie, les HBL ont décidé de ne pas poursuivre les essais dans ce type de chantier.

4./ CONCLUSION.

Les arrêts-barrages déclenchés sont des dispositifs d'extinction susceptibles de stopper des explosions de poussières dans les mines de charbon dans la première phase de leur développement (vitesse de propagation de la flamme inférieure à 100 m/s). Cette caractéristique fait de ces systèmes d'extinction un moyen de protection contre les "coups de poussières" complémentaire des arrêts-barrages passifs à eau classiques (on rappelle que les arrêts-barrages passifs à eau ne sont susceptibles de fonctionner convenablement que si le souffle de l'explosion est suffisant pour fragmenter les conteneurs remplis d'eau. En pratique, la vitesse de la flamme doit être de l'ordre de 100 m/s). Les arrêts-barrages déclenchés peuvent en particulier être utilisés pour la protection de secteurs où les arrêts-barrages passifs (à eau ou à poussières incombustibles) ne peuvent pas être mis en oeuvre telles les galeries en voie de creusement ("cul-de-sac").

Le dispositif dont cet article fait l'objet est l'arrêt-barrage déclenché de conception belge (ABDB). Le principe de fonctionnement est de disperser un agent extincteur dans la galerie en avant du front de flamme dès qu'une explosion est détectée. Dans le cas de l'ABDB, l'agent extincteur est de l'eau. La pulvérisation de l'eau et la dispersion des gouttelettes formées est provoquée par la détonation d'un explosif et la détection de l'explosion est assurée à l'aide d'un détecteur susceptible de se déclencher sous l'effet du souffle de l'explosion et sous l'effet de la chaleur de la flamme qui se propage.

L'administration française et l'industrie extractive du charbon en France ont manifesté leur intérêt pour cet appareil. Des tentatives d'utilisation de ce dispositif dans des chantiers de creusement de galeries ont montré que l'ABDB pouvait être intégré sans encombre au matériel de chantier.

Des expérimentations, pour partie réalisées au CERCHAR, ont permis de tester l'aptitude de l'ABDB à stopper les explosions de poussières (de charbon). Les résultats obtenus indiquent notamment que l'ABDB est susceptible d'arrêter les explosions de poussières engendrées dans des conditions très différentes (amorçage du "coup de poussières" par la détonation d'explosifs ou par la mise à feu d'un volume de grisou).

Par ailleurs, la présence de matériel de chantier (par exemple, un convoyeur à bande) peut nuire à l'efficacité de l'ABDB. Il est alors nécessaire de choisir la position des organes contenant l'eau (les disperseurs) de manière que le nuage de gouttelettes puisse remplir toute la section de la galerie. Enfin, il paraît important de choisir convenablement le nombre de disperseurs, la longueur de la zone où installer les disperseurs, la distance entre le front de la galerie où est susceptible d'apparaître la flamme et le premier disperseur et la disposition des détecteurs. Les résultats actuels montrent qu'il est préférable d'utiliser deux détecteurs qu'un seul. L'un des détecteurs peut être installé très près du front (à 5 m ou 10 m) et est principalement destiné à se déclencher sous les effets thermiques de l'explosion, en particulier dans le cas d'explosions qui induisent un effet de souffle assez faible dans la première phase de leur développement (tels les "coups de poussières" dont le phénomène initiateur est la combustion d'une nappe de grisou). L'autre détecteur peut être installé plus loin du front (à 50 m par exemple) de manière à favoriser un déclenchement par les effets de souffle de l'explosion (on rappelle que lorsque le détecteur est trop près de la source d'inflammation, le souffle de l'explosion ne permet pas le déclenchement). De plus, il semble préférable que la distance entre le premier détecteur et le premier disperseur soit telle que la flamme parvienne dans la

zone où sont installés les disperseurs juste après que le nuage de gouttelettes issu des disperseurs ait obturé la section de la galerie : compte tenu de la vitesse de la flamme près du front de la galerie (environ 50 m/s) et du délai nécessaire entre l'instant de passage de la flamme au niveau du premier détecteur (cas d'un déclenchement produit par les effets thermiques de l'explosion) et l'instant où les gouttelettes issues des disperseurs atteignent toutes les parois de la galerie (environ 500 ms), on peut estimer que le premier disperseur doit être installé entre 20 et 30 mètres du front de la galerie). Enfin, l'analyse du fonctionnement de l'ABDB indique qu'il est préférable de réaliser un arrêt-barrage réparti ; dans le cas d'explosions de poussières engendrées par la déflagration d'un mélange homogène stoechiométrique de méthane et d'air, on a pu montrer qu'une concentration volumique d'eau de $1,5 \text{ l/m}^3$ dans la zone d'arrêt-barrage (la concentration volumique d'eau est approximativement le rapport entre la quantité totale d'eau contenue dans les disperseurs et le volume de la portion de galerie où sont installés les disperseurs) est nécessaire pour stopper l'explosion lorsque les disperseurs sont répartis sur une longueur de 30 m. Toutefois, de nombreux problèmes doivent être résolus. En particulier, il est des situations d'exploitation en mine telles qu'il s'avère impossible de disposer les disperseurs suffisamment près du front (à moins de 30 m par exemple). On peut alors s'interroger sur l'évolution de l'efficacité de l'ABDB lorsque ce dispositif est éloigné du front : des expérimentations sont en cours afin d'examiner ce problème. Par ailleurs, les critères d'implantation de l'ABDB en mine ont jusqu'à présent pu être abordés essentiellement dans le cas d'explosion dont le phénomène initiateur est la déflagration d'un mélange homogène de méthane et d'air. Il est possible que ces critères ne s'appliquent pas dans le cas d'explosions dites faibles, c'est-à-dire d'explosions pour lesquelles la phase de développement est longue, comme celles susceptibles d'être provoquées par la mise à feu d'une nappe de grisou. Ce point devrait faire l'objet d'une étude ultérieure.

Remerciements :

Le CERCHAR remercie la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier (CECA : programme "Sécurité") et la Société chargée de la commercialisation de l'ABDB pour leur concours financier.

Les auteurs expriment leur gratitude à ceux qui ont réalisé les expériences : J. WINTER, J. POSTIC, D. DEGAUGUE, G. VICOT, J.C. GOSSARD.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CORTESE R.A., SAPKO M.J. (1989).
Flame powered trigger device for activating explosion suppression barrier.
Communication présentée au 12th ICDERS, Michigan, USA, Août 1989.
- [2] CYBULSKI W. (1973).
Coal dust explosions and their suppression.
Traduit du livre de W. CYBULSKI "Wybuchy pyłu węglowego i ich zwalcanie",
US Dept of Commerce, National Technical Information Service, Springfield,
Virginia 22161, USA.
- [3] GOFFART P.R. (1983).
La détection des explosions en mine au moyen du système belge d'arrêt-
barrage à déclenchement.
Communication présentée au colloque "La Belgique face aux nouvelles
techniques charbonnières", 3 octobre 1984, Bruxelles, Belgique.
- [4] GOFFART P., BROWAEYS P. (1982).
Le système belge d'arrêt-barrage déclenché.
Explosifs, vol. 35, pp. 31-60.
- [5] LIEBMAN I., RICHMOND J.K. (1974).
Suppression of coal dust explosions by passive water barriers in a single
entry mine.
Bureau of Mines Report of investigations, RI 7815, US Bureau of Mines,
USA.
- [6] LUNN G.A., BROOKES D.E., QUINCE B.W. (1987).
The effect of water suppressant barriers on the heat output of large scale
dust explosions.
Communication présentée à la 25ème conférence des experts "arrêts-barrages
déclenchés".
- [7] MAYNE J. (1988).
Les arrêts-barrages déclenchés dans les charbonnages de la communauté
européenne.
Annales des Mines de Belgique, ISSN 0003-4290.

- [8] MERCX W.P.M. (1990).
The effects of explosions on humans.
Europex Newsletter, Edition 13, Sept. 1990.
- [9] MICHELIS J.
The application of the triggered barrier type "Tremonia" as a stationary and mobile explosion barrier.
Communication présentée à la 21ème conférence internationale des instituts de recherche sur la sécurité dans les mines, Octobre 1985, Sydney, Australie.
- [10] RAE O., WEST L.C.W., BROOKES D.E. (1982).
Experimental coal dust explosions in the Buxton full scale surface gallery. Tests during the development of the Mark II water disperser for triggered barriers.
HSE Research Paper 20, 1982.
- [11] Règlement miner français (1976).
Mines de combustibles minéraux solides.
Circulaire du 13 juillet 1976, N° 76-199, complément de la brochure n° 1126.
- [12] TAFFANEL J. (1910).
Expériences sur les poussières de houille et sur les moyens de combattre leurs dangers. Conclusions générales.
Annales des Mines, XVIII, 1910, pp. 14-66, pp. 73-187 et pp. 189-241.
- [13] WINTER J. (1973).
Etude sur les arrêts-barrages déclenchés.
Compte rendu interne CERCHAR, CEO-JWi/DC, F 41 c/25, 19 novembre 1973, CERCHAR, France.
- [14] WINTER J. (1982).
Comportement des bacs à eau d'un arrêt-barrage réparti vis-à-vis d'une explosion faible.
Compte rendu interne CERCHAR, CEO-JWi/DC, F 41 a/56, 21 octobre 1982, CERCHAR, France.

- [15] WINTER J. (1983).
Lutte contre les explosions de poussières par neutralisation et emploi simultané d'arrêts-barrages à eau répartis.
Communication présentée à la 20ème Conférence Internationale des Instituts de Recherches sur la sécurité dans les Mines, Octobre 1983, Sheffield, U.K.
- [16] WINTER J. (1987).
Etude de l'efficacité de l'arrêt-barrage déclenché belge en galerie encombrée.
Rapport final de contrat CECA, convention CECA n° 7258/03/099/02, intitulé "Les applications techniques, essais de performances et perfectionnements du système belge d'arrêt-barrage déclenché".