



HAL
open science

Détermination des modes d'extinction les mieux adaptés aux risques d'incendies d'engins roulants en mines

Julien Broz

► **To cite this version:**

Julien Broz. Détermination des modes d'extinction les mieux adaptés aux risques d'incendies d'engins roulants en mines. Journée technique CdF, Jun 1995, Hombourg-Haut, France. ineris-00971942

HAL Id: ineris-00971942

<https://ineris.hal.science/ineris-00971942>

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.

**DETERMINATION DES MODES D'EXTINCTION
LES MIEUX ADAPTES
AUX RISQUES D'INCENDIES
D'ENGINS ROULANTS EN MINES**

J. BROZ

INERIS

1 - PRESENTATION DE L'ETUDE ET DES MOYENS MIS EN OEUVRE

Cette recherche s'inscrit dans le cadre de la sécurité incendie des engins diesels sur pneus et sur rails, utilisés pour le transport et pour la manutention dans les mines.

Les travaux ont été réalisés avec la participation des différents organismes concernés par les activités minières qui ont été sollicités au cours de l'enquête dans le monde minier, avec la collaboration des Houillères françaises et en particulier de l'Unité d'Exploitation de Provence des Houillères du Bassin du Centre et du Midi.

Tous les résultats et mesurages relatifs aux essais d'extinction avec le gaz Halon 1301, dont il est fait état dans cette recherche, sont tirés d'une étude demandée et financée par les HBCM qui en autorisent la publication.

1.1 OBJECTIF DE L'ETUDE

Destinée à compléter les travaux qui ont été réalisés à ce jour dans la CEE en matière d'analyse des accidents et des incidents, d'identification des dangers et des risques potentiels d'incendie et de recherche sur le traitement des causes, l'étude a eu pour but :

- ◆ d'évaluer la sûreté globale d'un véhicule diesel minier, de façon à cibler les points encore sensibles, susceptibles de générer un foyer d'incendie et de retarder, voire d'empêcher dans certains cas la maîtrise d'un feu naissant, malgré les mesures de prévention et les moyens de protection existants,
- ◆ de déterminer, par voie expérimentale, le mode d'extinction le mieux adapté aux risques d'incendie et de valider ses performances, pour garantir un haut niveau de sécurité.

1.2 ORGANISATION DE LA RECHERCHE

La méthodologie adoptée pour la réalisation du programme de recherche est schématisée sur la *figure 1*.

Le programme de recherche comprend deux étapes principales.

Première étape

La première partie des travaux relatifs à l'évaluation de la sûreté globale d'un engin roulant minier a été menée dans deux axes : étude bibliographique et enquête dans le monde minier.

L'étude bibliographique a été effectuée à partir des moyens de documentation de l'INERIS (revues spécialisées tels que les *Annales des Mines*, le *Glückauf* ...) et de l'interrogation de plusieurs banques de données, dans les différents secteurs d'activités en mines (houille, fer, potasse) et carrières.

L'enquête dans le monde minier a été réalisée à partir de la diffusion, d'abord d'un courrier définissant le thème de la recherche et la nature des informations attendues en retour, puis d'un questionnaire ciblé sur la sécurité des engins roulants, à différents organismes choisis en Afrique du Sud, Allemagne, Australie, Canada, France, Grande-Bretagne, Suisse et USA (organismes officiels concernés par la sécurité dans les mines, constructeurs de matériels roulants, constructeurs et installateurs de moyens de détection et d'extinction, sociétés spécialisées dans l'utilisation des moteurs diesels dans les lieux confinés).

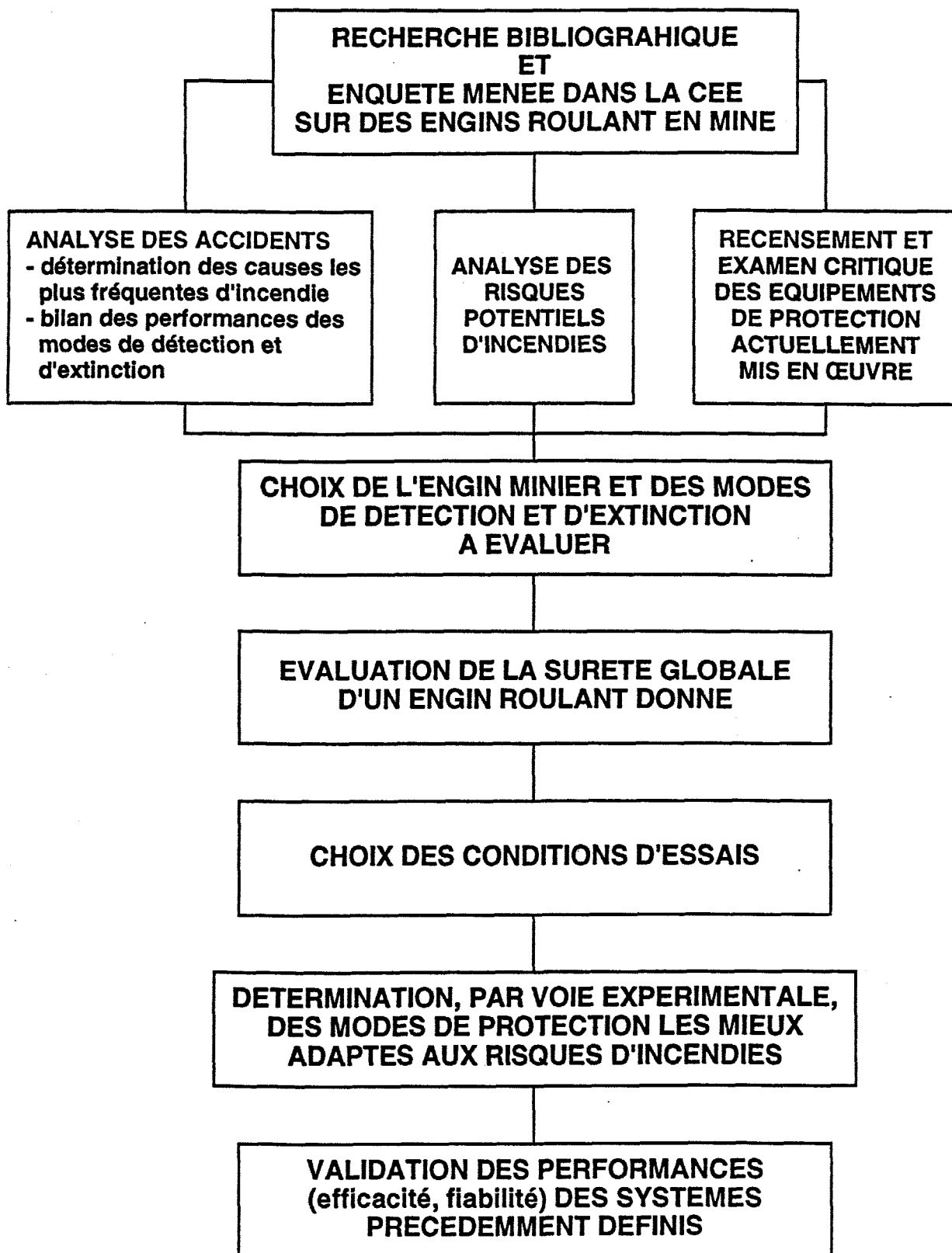


FIGURE 1

DESCRIPTION DU PROGRAMME DE RECHERCHE

Le traitement de l'ensemble des données recueillies a porté sur :

- ◆ l'analyse des statistiques d'accidents et d'incidents, pour déterminer les origines les plus fréquentes des incendies (classement des sources d'inflammation et des causes primaires d'incendie) et pour dresser un bilan des performances des systèmes de détection et d'extinction placés en situation réelle d'incendie,
- ◆ l'analyse des risques potentiels d'éclosion d'un feu, pour compléter la première analyse des incendies ou débuts d'incendies connus à partir de l'identification d'autres causes possibles ou insidieuses (cas des auto-échauffements de dépôts de charbon, par exemple) et pour appréhender la probabilité d'occurrence d'un gros incendie d'engin roulant,
- ◆ l'étude d'un cas réel d'incendie développé et de cas expérimentaux (essais de Trémonia), pour définir les principales causes de développement des incendies et les conséquences ou dommages à prévoir dans l'hypothèse d'un feu qui ne serait pas maîtrisé rapidement,
- ◆ l'examen des dispositions prises en matière de sécurité incendie, pour faire le point sur les moyens et les performances possibles des installations de détection et d'extinction actuellement disponibles, pour souligner l'importance capitale du choix des modes, des conditions d'implantation, de maintenance et d'entretien vis-à-vis de l'efficacité et de la fiabilité des systèmes et pour mettre l'accent sur le rôle tout aussi primordial de la formation du personnel et des conditions de contrôle de l'application des procédures, dans la recherche d'un haut niveau de sécurité.

La conclusion des travaux relatifs à l'exploitation des données bibliographiques et d'enquête dans le monde minier a conduit à un classement des actions à renforcer et a aussi orienté le choix du mode d'extinction et des scénarios d'incendie pour la réalisation du programme expérimental.

Seconde étape

La seconde partie des travaux a porté sur la réalisation, en vraie grandeur dans la galerie ventilée de l'INERIS, d'une campagne d'essais d'extinction de feux de compartiment moteur et de freins, simulés sur un chargeur transporteur représentatif du parc d'engin des Houillères du Bassin du Centre et du Midi, pour :

- ◆ contrôler d'abord l'efficacité du mode d'extinction choisi (poudre polyvalente) et les effets secondaires possibles des extinctions (toxicité des produits de décomposition sur les foyers), à partir d'une série d'essais de faisabilité,
- ◆ vérifier ensuite la fiabilité des résultats des opérations d'extinction (maîtrise des feux, sans effets nocifs sur les personnes), à partir d'une série d'essais de reproductibilité.

Les résultats des essais ont conduit à comparer les effets physiques et les effets chimiques des extinctions à la poudre à ceux qui avaient été observés au cours d'une première campagne réalisée à la demande de HBCM, en 1991, à l'aide du gaz HALON 1301 et à préciser les critères de choix des agents d'extinction.

L'état de la recherche sur les substituts des halons a été également abordé dans la conclusion de l'étude.

2 - TRAITEMENT DES DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES ET D'ENQUETE DANS LE MONDE MINIER

L'exposé des travaux porte d'abord sur le bilan des informations recueillies au cours de l'enquête, puis des résultats de l'analyse des accidents et des incidents et enfin sur les conclusions de l'analyse de la sûreté globale d'un engin diesel roulant en mines.

2.1 BILAN DES INFORMATIONS RECUEILLIES AU COURS DE L'ENQUETE

Le *tableau 1* indique les retours d'informations correspondant aux principales actions qui ont été menées auprès de 41 organismes concernés par les activités minières.

<i>Retours d'informations par types de destinataires</i>	Organismes concernés par la sécurité dans les mines	Exploitants miniers	Constructeurs et distributeurs de matériel roulant	Constructeurs et installateurs de moyens de protection incendie
<i>Réponses à la lettre missive</i>				
- données incendies	H.S.E (Angleterre)		WAGNER MINING EQUIPMENT (U.S.A.)	
- données sécurité incendies		H.B.L. (France)	BEDIA (Allemagne)	PLEIGER (Allemagne)
- documents de synthèse (incendie et sécurité engins)	D.M.T (Allemagne)	U.E. PROVENCE des H.B.C.M. (France)		DEUGRA (Allemagne)
<i>Réponses au questionnaire sur la sécurité incendie</i>	S.I.M.S.T.A.R. (Australie)	U.E. Provence (France)	CONTINENTAL INDUSTRIE,	AEROFEU (France)
	S.A.B.S. (Afrique du Sud)	SAARBERG (Allemagne)	distributeur Wagner (France)	
			SCHALKE (Allemagne)	
			DEILMANN-HANIEL (Allemagne)	
<i>Divers</i>			EM France Loader (Fr)	CERBERUS GUINARD (France)
(hors sujet ou sans infos)			Caterpillar (Suisse)	

TABLEAU 1

BILAN DE L'ENQUETE DANS LE MONDE MINIER

Le dépouillement de l'enquête montre que près de la moitié (46,5% environ) des destinataires de la lettre missive et du questionnaire ont répondu, d'une façon ou d'une autre, à notre demande, les 16 retours d'informations utiles pour l'étude se répartissant de façon équitable entre les deux documents de prospection (19,5% environ chacun).

Seuls le Canada et la Suède n'ont pas répondu à nos courriers.

Les informations nous ont été communiquées enfin par :

- ◆ 4 organismes concernés par la sécurité dans les mines,
- ◆ 3 exploitants miniers dont les Houillères françaises (HBCM et HBL),
- ◆ 5 constructeurs et/ou distributeurs de matériels roulants, parfois installateurs d'équipements de protection incendie.
- ◆ 3 constructeurs et/ou installateurs de moyens de protection incendie.

Une analyse plus fine des résultats indique toutefois un recouvrement partiel des informations (cas de documents provenant d'une même source, mais communiqués par des correspondants différents), ce qui réduit à environ 25% le nombre total de réponses distinctes et utiles pour l'exploitation des données provenant des pays autres que la France.

Pour les données recueillies au cours de l'enquête figurent deux rapports de synthèse d'origine allemande sur la protection des véhicules à moteur diesel.

Le *tableau 2* présente à titre d'exemple, quant à lui, une synthèse des réponses au questionnaire qui nous ont été adressées par un exploitant minier allemand et par deux constructeurs et/ou distributeurs de matériels roulants, l'un français, l'autre allemand.

Sociétés ou organismes concernés	DEILMANN-HANIEL (Allemagne) Mines de houille, sel et minerais	SAARBERG (Allemagne)	CONTINENTAL INDUSTRIE distrib. de Wagner pour la France
Caractéristiques générales	Chargeurs et engins spéciaux d'exploitation sur rails, diesels, électriques, air comprimé	Locos et autres engins d'exploitation diesel et électriques sur rails transport matériel et personnel	Chargeurs diesels et électriques sur pneus - transport matériel
Equipements de détection	détecteur de température détection fumée chez l'exploitant minier	détecteur de température détecteur de CO	détecteur de température
Dispositifs d'extinction			
<i>a) équipement mobile</i>			
agent d'extinction		poudre	poudre
nombre d'extincteurs		2/engin	2 /engin
capacité totale transportée			
<i>b) équipement à poste fixe</i>			fabriqué par ANSUL sous le nom de FORAY
système d'extinction	auto + manuel	manuel	auto + manuel
agent extincteur	poudre, eau	poudre	
agent propulseur			
nombre buses projection	1 buse/tête de découpe	6	
capacité totale	machine de taille: 50kg, engins diesels: 2x10 kg	30 kg	< 50 kw: 15 kg, de 50 à 150 kw: 25 kg, >150 kw: 40 kg
Conditions de maintenance, d'entretien et dispositions particulières	Vérification quotidienne, ou selon besoin. Vérification, remise en état à ch. changement de lieu d'exploitation refroidissement têtes de coupe/vaporisation d'eau	Selon règle inspection 1/an mini. refroidissement par eau sur circuit d'échappement	

TABLEAU 2

EXEMPLES DE REPONSES AU QUESTIONNAIRE DIFFUSE DANS LE MONDE MINIER

Les renseignements obtenus portent essentiellement sur les équipements de détection et d'extinction, très peu d'informations nous ayant été communiquées sur les conditions de maintenance, d'entretien ou dispositions particulières prises en cours d'exploitation.

2.2 ANALYSE DES INCENDIES DES ENGIN ROULANTS SUR PNEUS ET SUR RAILS

L'exposé des travaux relatifs à l'analyse des incendies des véhicules miniers se limite à présenter ici :

- ◆ la répartition des sources d'inflammation et des causes primaires d'incendie en fonction des types de véhicules et des pays, lorsque les données en notre possession le permettent et en particulier le bilan des performances des installations d'extinctions fixées à bord des véhicules, lorsqu'il y a eu commande ou tentative de déclenchement des dispositifs après la découverte d'un feu,
- ◆ les principaux paramètres qui régissent le développement d'un incendie.

Les études de cas ne figurent pas dans le résumé des travaux.

2.2.1 ORIGINE DES ACCIDENTS ET DES INCIDENTS

Malgré les mesures de sécurité existantes, les débuts d'incendie sur les engins miniers ne sont pas rares.

A titre d'exemple, des statistiques d'incendies extraites de *Glückauf* indiquent que 17% des incendies survenus dans les mines de charbon en Grande-Bretagne pendant la période de 1990/1991, concernent des matériels roulants.

Les informations sur les accidents et les incidents recueillies au cours de l'enquête, et précisées ci-après, en témoignent également. Les données utilisées dans l'étude concernent des incendies ou débuts d'incendies qui sont survenus entre :

- ◆ le 09/06/1988 et le 04/12/1992 principalement sur des locotracteurs à accumulateur, tracteurs, chargeurs et transporteurs diesels, correspondant à 23 cas de débuts d'incendies relevés par le HSE (Grande-Bretagne),
- ◆ le 10/05/1963 et le 21/11/1986 sur des locomotives et des chariots diesels concernant 16 cas d'incendies qui sont décrits dans le rapport de thèse du Dr. Lothar Pautz (Société allemande DEUGRA),

Ces dernières données concernent l'Exploitation Houillère Rhéno-Westphalienne auxquelles s'ajoutent 2 incendies de locomotives diesels, dans l'Exploitation de la Sarre.

- ◆ le 26/02/1976 et le 14/06/1990 sur des véhicules diesels sur pneus relatifs à 43 cas consignés dans les registres des Houillères françaises (Unité d'Exploitation de Provence des HBCM),
- ◆ 1970 et le 03/11/1993 sur tous types d'engins miniers répertoriés par la Société WAGNER MINING AND CONSTRUCTION EQUIPMENT où figurent plus de 300 cas d'incendies ou de débuts d'incendies d'engins diesels utilisés soit pour le transport et la manutention, soit pour les travaux de creusement et autres, l'analyse n'ayant porté cependant que sur 196 cas en raison de l'imprécision d'une partie des données.

A ces informations s'ajoutent des données sur 29 incendies qui sont survenus sur des véhicules sur pneus utilisés dans les mines de sel et de minerai de la République Fédérale Allemande et qui émanent des documents de synthèse de DMT et des Houillères françaises (HBCM).

Principales caractéristiques des incendies

L'analyse des accidents a montré qu'il s'agissait dans la majorité des cas de débuts d'incendies rapidement maîtrisés, à l'aide souvent d'extincteurs portatifs uniquement, mais aussi que les cas d'incendies développés concernaient essentiellement les engins diesels sur pneus, la fréquence de ceux-ci étant différente d'un pays à l'autre, selon l'étendue des périodes considérées, l'importance des parcs d'engins et des contraintes particulières (réglementation, exigences de maintenance, entretien, formation).

Le résumé des cas d'incendies développés figure dans le *tableau 3*.

Origine des données	Incendies développés d'engins diesels sur pneus
USA (de 1970 à 1993)	16 incendies d'une durée au moins égale à 24 h (15 en mines souterraines autres que charbon + 1 en mines de charbon en surface) 17 incendies d'une durée de 4 h (9 en mines souterraines autres que charbon + 8 en mines de charbon en surface)
Allemagne (jusqu'en 1988)	au moins 5 incendies en mines de sel et de minerai
France (1969 et 1990) (1969 et 1972)	2 incendies en mines de charbon 2 incendies en mines de potasse

TABLEAU 3

RESUME DES INCENDIES DEVELOPPES

Classement des sources d'inflammation

La répartition des principales sources d'inflammation en fonction des types de véhicules miniers (sur rails et sur pneus, à accumulateur et à moteur diesel) et des pays (Grande-Bretagne, Allemagne, USA et France), figure dans le *tableau 4*.

De façon globale, il ressort que les surfaces et les points chauds des moteurs et des installations d'échappement des gaz de combustion de moteurs diesels constituent l'une des premières sources, voire la première source d'inflammation principalement sur les véhicules sur pneus. Cette première place :

- ◆ concerne particulièrement les véhicules sur pneus utilisés dans toutes mines confondues aux USA (52,5%) et déjà à moindre titre les véhicules sur pneus utilisés aux Houillères françaises (46,5%) pour lesquels la chaleur de friction occupe une seconde place assez rapprochée,

- ◆ est partagée avec les défauts électriques dans le cas des véhicules sur pneus utilisés en Allemagne (34,5%).

Pour les véhicules à accumulateurs et à moteurs diesels sur rails, la chaleur de friction constitue la première source d'inflammation ($\geq 55\%$).

Il faut souligner enfin que les défauts des installations électriques (courts-circuits) n'apparaissent ni sur les engins diesels sur pneus utilisés dans les Houillères françaises ni sur les engins diesels sur rails liés aux données allemandes et peu dans le cas de la Grande-Bretagne (8,3%).

Répartition des sources d'inflammation (%)	Véhicules sur rail			Véhicules sur pneus		
	à accumulateurs	à moteur diesel		à moteur diesel		
	GB.	GB.	ALL.	ALL.	U.S.A.	F.
Surfaces et points chauds moteur/échappement	-	25	38,9	34,5	52,5 (34)*	46,5
Chaleur de friction						
• freins	36,3	8,3	22,2	10,3	4,6	32,6
• autres (boîte d'essieu, embrayage, ressorts ...)	27,3	46,7	38,9	6,9	6,6	7
Court-circuits électriques	27,3	8,3	-	34,5	18,4 (23)*	-
Divers (inconnus, flammes nues, autres)	9,1	-	-	13,8	17,9 (23)*	13,9
Nombre d'incendies	11	12	18	29	196	43

* Données de l'US Bureau of Mines

TABLEAU 4

**CLASSEMENT DES PRINCIPALES SOURCES D'INFLAMMATION
PAR TYPES DE VEHICULES ET PAR PAYS**

Causes primaires d'incendies

La répartition des causes primaires d'incendie concernant les engins à accumulateurs et à moteur diesel, sur rails (données anglaises et allemandes) et les engins diesels sur pneus (Houillères françaises), figurent dans le *tableau 5*.

Pour les locotracteurs à accumulateurs, les défaillances ou défauts aux niveaux des circuits de commande des freins, des boîtes d'essieu et des installations électriques ont constitué à parts égales (27,3% chacune), les principales causes primaires des débuts d'incendie.

REPARTITION DES CAUSES PRIMAIRES D'INCENDIE (%)	VEHICULES SUR RAILS			VEHICULES SUR PNEUS
	à accumulateurs	à moteur diésel		à moteur diésel
	<i>GB</i>	<i>GB</i>	<i>ALL</i>	<i>F</i>
MOTEUR / INSTALLATION ECHAPPEMENT				
- défaut lubrification moteur	-	8,3 %	6,2 %	-
- défaut refroidissement moteur	-	-	12,5 %	4,6 %
- défaut d'étanchéité joint de culasse	-	-	-	2,3 %
- défaut d'étanchéité système carburant (fuite, rupture tuyauterie réservoir)	-	-	6,2 %	4,6 %
- défaut courroie ventilateur/turbine	-	-	-	7 %
- défaut arbre entraînement turbine/culbuteur	-	-	-	2,3 %
- défaut serrage empilage d'échappement	-	-	-	4,6 %
- défaut refroidissement circuit (fuites, panne injection, bac de barbotage vide)	-	16,7 %	25 %	23,2 %
- défaut circuit compresseur (fuite, clapet anti-retour défectueux)	-	-	-	7 %
FREINS				
- défaut circuit commande	27,3 %	-	-	-
- défaut d'étanchéité circuit freinage	-	-	6,2 %	16,3 %
- défaut manoeuvre (serrage abusif)	9,1 %	-	12,5 %	4,6 %
- défaut d'équilibrage (ajustement)	-	8,3 %	-	2,3 %
- rupture lame de frein	-	-	6,2 %	-
BOITES D'ESSIEU				
- paliers/accouplements défectueux	27,3 %	-	18,7 %	-
- défaut de lubrification (fuite et bouchage)	-	33,4 %	-	-
AUTRES				
- embrayages défectueux	-	8,3 %	-	4,6 %
- dysfonctionnement ou casse ressorts	-	16,7 %	6,2 %	-
- rupture de fusée de roue/perde de roue	-	-	-	4,6 %
INSTALLATION ELECTRIQUE	27,3 %	8,3 %	-	-
DIVERS (non défini précisément)	9,1 %	-	-	11,6 %
NOMBRE D'INCENDIES	11	12	29	43

TABLEAU 5

**CLASSEMENT DES PRINCIPALES CAUSES PRIMAIRES
D'INCENDIE PAR VEHICULES ET PAR PAYS**

L'analyse des principales causes à l'origine des débuts d'incendies sur des véhicules à moteur diesel sur rails, a montré que le point le plus sensible a concerné la circulation des fluides sur les engins. Tous les résultats confondus relatifs aux défauts de lubrification des moteurs et des boîtes d'essieu, de refroidissement des moteurs et des installations d'échappement, d'étanchéité des circuits carburant et freinage ont représenté plus de la moitié des causes primaires d'incendies. (Grande-Bretagne, 58,4% et Allemagne, 56,1%).

Il en est de même dans le cas des engins diesels sur pneus où les causes primaires d'incendie liées à la circulation des fluides ont concerné la moitié des origines des feux répertoriés sur les véhicules utilisés dans les mines françaises (51% dont 23,2% par défaut de refroidissement des installations d'échappement en raison de fuite, de pannes d'injection d'eau, de bacs de barbotage vides et 16,3% par défaut d'étanchéité des circuits de freinage) et environ un tiers dans le cas des données allemandes (35%) et américaines (33%).

Bilan des performances des installations fixes d'extinction

Les résultats des actions d'extinction réalisées à partir du déclenchement effectif des installations fixées à bord des véhicules miniers, figurent dans le *tableau 6*.

Ne figurent pas dans le tableau, 5 cas où les installations d'extinction, non déclenchées, ne protégeaient pas la zone du foyer (données allemandes) et 2 cas où les conducteurs ne connaissaient pas suffisamment la manoeuvre d'extinction.

Les résultats montrent aussi, pour les engins diesels sur rails et sur pneus (données allemandes et françaises), que les principales causes de l'inefficacité des installations ont concerné des défaillances ou des défauts des dispositifs liés aux conditions de maintenance et d'entretien des installations (25% et 54,5%), à un défaut de formation et de vigilance du personnel et à des choix d'implantation des installations a priori mal adaptés aux risques (12,5% et 9,1%).

Résultats des extinctions par installations fixes (%)	Véhicules à moteur diesel	
	sur rails (Allemagne)	sur pneus (France)
Actions d'extinction efficaces	50	36,4
• extinction définitive	25	27,3
• avec réinflammation ultérieure	25	9,1
Actions sans succès d'extinction	50	63,6
• installation ne protégeant pas les zones des foyers	12,5	9,1
• défaut de confinement sur l'engin	12,5	
• installation défectueuse	25	54,5
Nombre de déclenchement des installations d'extinction	8	11

TABLEAU 6

**BILAN DES PERFORMANCES DES INSTALLATIONS D'EXTINCTION
FIXEES A BORD DES VEHICULES**

2.2.2 PRINCIPALES CAUSES DE DEVELOPPEMENT DES INCENDIES

Les paramètres qui régissent le développement d'un incendie sont liés :

- ◆ aux délais de découverte d'un feu et de première intervention sur le foyer,
- ◆ aux conditions d'intervention et aux performances des moyens d'extinction disponibles,
- ◆ aux caractéristiques de la source d'inflammation qui a généré l'incendie et à la présence d'autres sources susceptibles de réactiver le foyer après une première opération d'extinction,
- ◆ aux caractéristiques d'inflammabilité et de combustibilité des produits, matières et matériaux transportés et à la répartition de la charge d'incendie sur le véhicule,
- ◆ aux conditions de ventilation et au délai d'intervention des secours dans un cas extrême.

Dans l'hypothèse de la découverte d'un foyer d'incendie sur un véhicule, l'exposé des travaux a clairement mis en évidence que les premières causes de développement d'un incendie se rapportent à une préparation insuffisante des moyens de lutte contre un feu naissant ou encore peu développé c'est-à-dire à un défaut possible de maîtrise de la situation par un conducteur (problème de formation aux risques et à l'approche du feu) et à une inadaptation ou défectuosité des matériels d'incendie disponibles (extincteurs portatifs et/ou installations d'extinction fixées à bord des engins).

Les autres causes qui ont été citées (charge d'incendie...) ne constituent que des facteurs aggravants qui favoriseront d'autant plus vite la propagation d'un incendie que l'inhibition des flammes sera tardive ou que le délai d'intervention après une réinflammation éventuelle du foyer sera long.

Les dispositions à prendre pour réduire les risques et les effets d'un incendie sont traités dans l'exposé des travaux relatifs à l'analyse de la sûreté globale d'un engin diesel minier.

2.3 ANALYSE DE LA SURETE GLOBALE D'UN VEHICULE DIESEL MINIER

Les points forts de l'analyse de la sûreté globale d'un véhicule diesel minier portent sur la probabilité d'occurrence d'un gros incendie, et sur les traitements préventifs et curatifs qui s'avèrent être actuellement les mieux adaptés pour réduire les risques d'incendie.

2.3.1 ANALYSE DES DANGERS ET DES RISQUES POTENTIELS D'INCENDIE

L'évaluation des risques, réalisée sur la base des données d'une statistique des défectuosités des véhicules sur pneus concernant l'ensemble du domaine de recherche de l'association allemande RWTÜV a souligné que la probabilité d'occurrence d'un gros incendie est faible et que celui-ci ne pouvait survenir que si les niveaux de sécurité réfrigération (moteur, échappement, réducteur et freins), surveillance et installation d'extinction sont simultanément défailants et que les charges incendiaires primaires (substances inflammables) et secondaires (transmission d'incendie) existent en même temps.

Dans les conditions de travail difficiles où les véhicules sont soumis à de rudes épreuves (vibration, choc, empoussiérage,...) et où le personnel doit être particulièrement vigilant, l'analyse des causes possibles d'incendie a mis une nouvelle fois en exergue que les risques sont nécessairement liés aux choix des techniques et des matériaux utilisés pour la réalisation des engins et de leurs équipements, mais aussi aux niveaux de performances (efficacité, fiabilité) des systèmes de surveillance et d'extinction et enfin aux différents aspects liés au facteur humain : niveau de qualité des opérations de maintenance et d'entretien, degré d'application des procédures et des consignes de sécurité, niveaux de sensibilisation du personnel aux risques et à la sécurité incendie et de formation à l'approche et à la lutte contre un début d'incendie.

2.3.2 SYSTEMES DE SURVEILLANCE ET DE DETECTION INCENDIE

En complément des capteurs fonctionnels concernant notamment la surveillance des températures aux points les plus chauds des installations (empilements ou collecteur d'échappement, ...), les détecteurs de type "fusible" et câble linéaire de chaleur, peuvent constituer des moyens efficaces et fiables d'alarme et d'alerte au feu dans la mesure où le principe dit de globalisation (influence du milieu sur la détection) est respectée.

Les points sensibles peuvent être par exemple, selon les types de matériels, les parasites électriques liés aux moteurs ou aux canalisations électriques ou bien encore les changements aléatoires des conditions d'aération ou de confinement du milieu (cas des compartiments moteur).

Une installation de détection ne doit en aucun cas, par ailleurs, être modifiée ou perturbée lors des opérations classiques de maintenance et d'entretien, ce qui signifie que les interventions ne peuvent être réalisées que par du personnel averti des conditions de mise en oeuvre et de suivi des systèmes de détection.

2.3.3 INSTALLATIONS FIXES D'EXTINCTION

Celles-ci concernent essentiellement des systèmes d'extinction à la mousse (eau + émulseur) et à la poudre qui peuvent être soit à moyenne pression où l'agent extincteur est maintenu sous une pression d'azote de 15 bar, soit à vitesse de décharge rapide HRD (High Rate Discharge) où l'agent extincteur est soumis à une pression d'azote d'au moins 60 bar, toutes les installations pouvant être asservies à une détection incendie (déclenchement manuel et automatique).

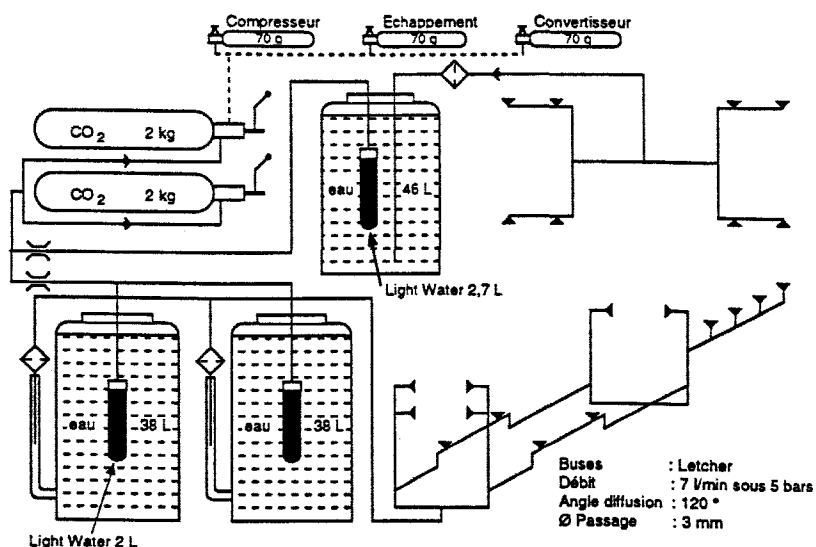
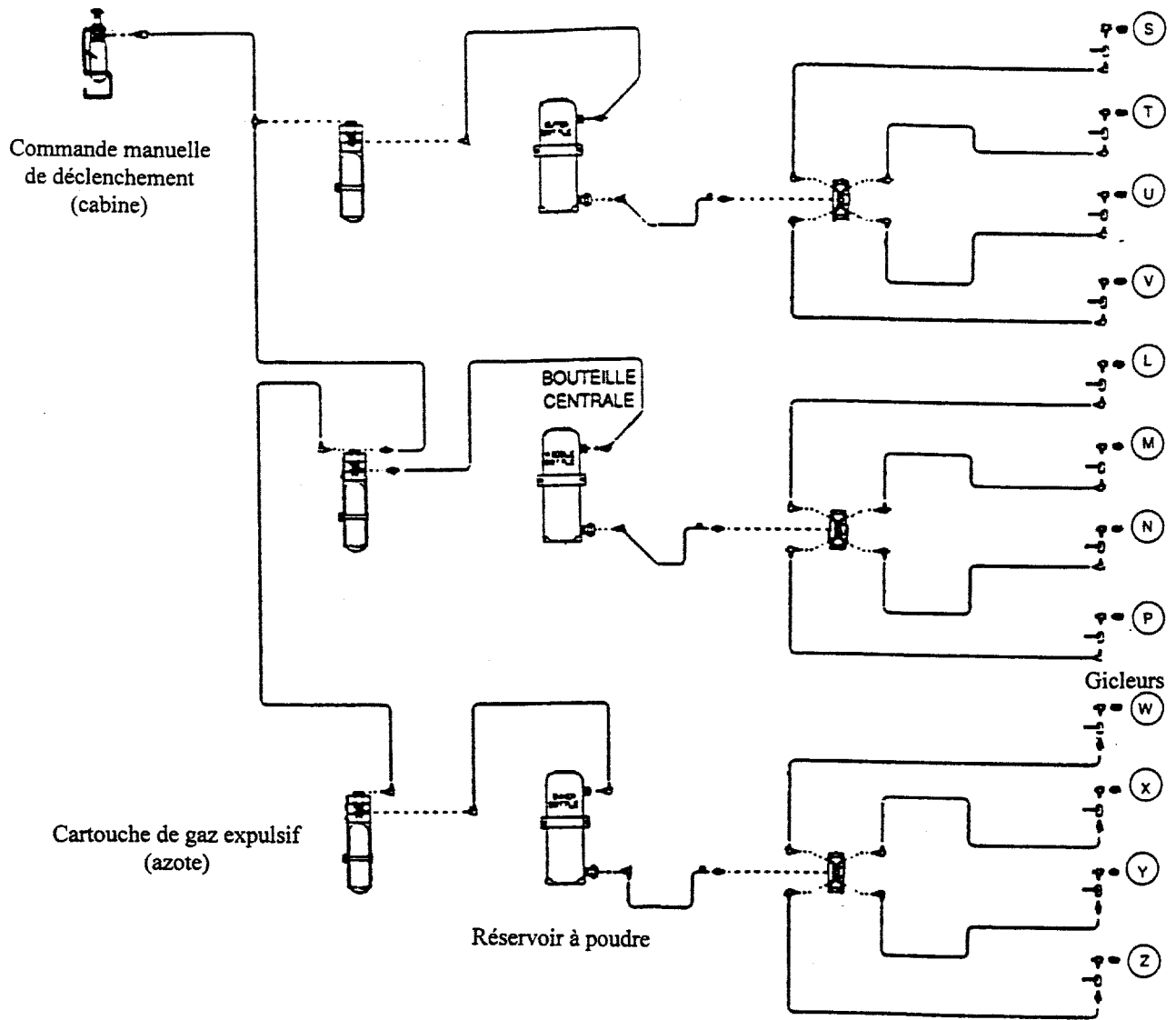


FIGURE 2

**INSTALLATION D'EXTINCTION A LA MOUSSE
(DONNEES HBL)**



EMPLACEMENT DES GICLEURS

QTE	EMPLACEMENT	REPÈRE
(1)	- AVANT BOITE DE VITESSES.....	"N"
(1)	- ARRIERE BOITE DE VITESSES.....	"P"
(1)	- SUPERIEUR CONVERTISSEUR.....	"S"
(1)	- INFÉRIEUR CONVERTISSEUR.....	"T"
(2)	- CALANDRE ARRIERE.....	"W" "Z"
(2)	- INFÉRIEUR MOTEUR.....	"U" "V"
(2)	- SUPERIEUR MOTEUR.....	"X" "Y"
(2)	- ARTICULATION CENTRALE INFÉRIEURE.....	"L" "M"

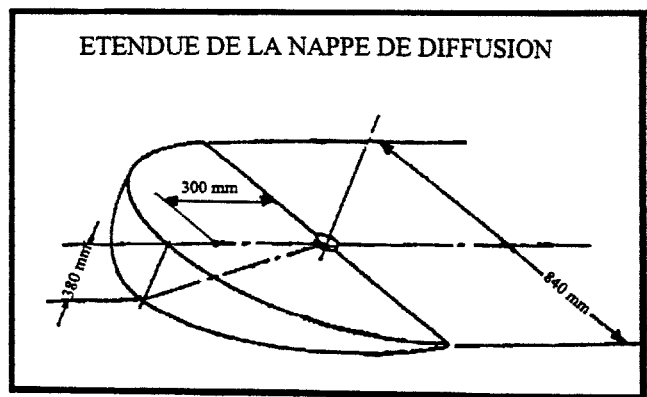


FIGURE 3

**SCHEMA DETAILLE D'UNE INSTALLATION FIXE D'EXTINCTION
DE TYPE ANSUL A 101
UTILISEE POUR LA PROTECTION D'UN VEHICULE SUR PNEU**

Des schémas de principe de deux types d'installation (mousse et installation HRD à poudre) précisant chacun le nombre de buses protégeant le moteur, le convertisseur et les freins sont présentés respectivement sur les figures 2 et 3.

L'installations fixe d'extinction à la poudre représentée schématiquement sur la figure 4 peut être considérée à sécurité augmentée dans le sens où la fiabilité du système est renforcée par :

- ◆ un contrôle permanent de l'étanchéité de l'installation pendant la durée d'utilisation du véhicule minier, en raison de la mise sous pression de gaz du circuit (5 à 7 bar d'air comprimé),
- ◆ la commande de l'arrêt de l'arrivée de combustible et du moteur lorsque la pression d'air dépasse un seuil dans le circuit. (chute de pression à 0,7 bar dans la ligne de surveillance ou montée de la pression avant la décharge de l'agent extincteur).

Un temporisateur permet d'assurer l'arrêt du moteur avant la décharge de poudre (délai de 7 secondes).

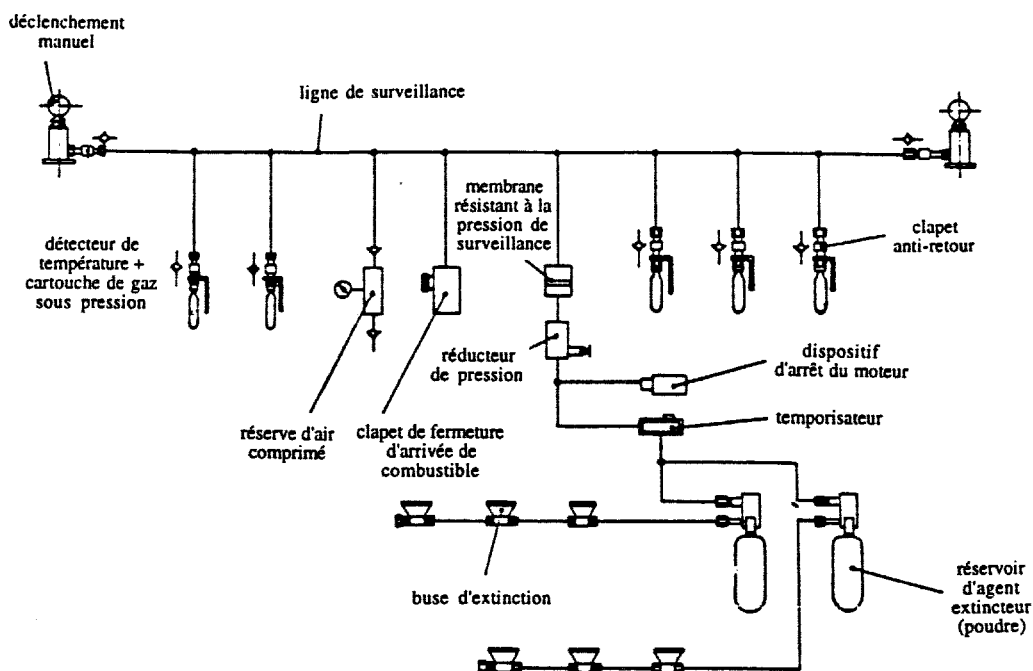


FIGURE 4

**INSTALLATION D'EXTINCTION A LA POUDRE
A DECLENCHEMENT MANUEL ET AUTOMATIQUE
(DONNEES BEDIA)**

2.4 RESUME DES POINTS ENCORE SENSIBLES VIS-A-VIS DES RISQUES D'INCENDIE

En conclusion des travaux relatifs au traitement des données bibliographiques et d'enquête dans le monde minier, il s'avère que la fiabilité des installations d'extinction et la formation du personnel de maintenance et d'exploitation constituent les deux points faibles vis-à-vis du risque de développement d'un incendie.

Un classement des points encore sensibles, présenté par ordre de priorité d'actions à renforcer pour améliorer la sécurité des engins roulants miniers, figure dans le tableau 7.

Toutes les analyses réalisées dans le cadre du projet ont mis l'accent, souvent certes, sur la fiabilité des installations dans le sens le plus large du terme, mais surtout aussi sur la fiabilité humaine (conditions de maintenance, d'entretien, sensibilisation, formation).

Le Guide de la Sécurité des Etablissements Classés rappelle à ce propos qu'un accident est généralement la conséquence de la conjonction d'une succession d'anomalies, d'une perte de vigilance (démotivation), d'une faiblesse de l'organisation et d'un geste brutal ; ce dernier pourrait être remplacé dans le cas présent par un dysfonctionnement ou une défectuosité des moyens disponibles.

Si, dans le cas présent, les statistiques d'incendie et les groupes de défectuosités constituent des repères et contribuent à orienter les priorités d'actions pour réduire les risques, seule l'approche personnelle et régulière des risques et de la sécurité par les divers intervenants peut permettre de garantir un haut niveau de sécurité.

Cette dernière observation souligne les limites de nos travaux et doit tendre à inciter les exploitants miniers à faire participer le personnel d'exploitation (conducteurs, personnel de maintenance) à la recherche du risque minimal, aux côtés des spécialistes, par la mise en oeuvre sur site d'un concept de formation dit de sécurité intégrée à l'entreprise.

Priorité	Points sensibles vis à vis de la sécurité incendie
1	<p>FIABILITE DES INSTALLATIONS D'EXTINCTION</p> <p>a) Choix de l'implantation, du nombre et de l'orientation des buses liés: - aux résultats d'une analyse des risques (localisation des foyers potentiels) - aux caractéristiques des installations (étendue des nappes...)</p> <p>b) Conditions de maintenance, entretien et contrôle des installations</p> <p>c) Disponibilité / accessibilité à d'autres moyens d'extinction (extincteurs...)</p>
1 bis	<p>FORMATION DU PERSONNEL / PROCEDURES QUALITE (concerne personnels de maintenance, d'exploitation et la maîtrise)</p> <p>a) Concept dit de sécurité incendie intégrée à l'entreprise - vigilance au poste de travail (compétence, motivation, communication) - approche personnelle des risques et de la sécurité - savoir-faire en matière d'intervention sur un feu</p> <p>b) Modes et fréquences des contrôles d'application des procédures</p>
2	<p>EFFICACITE ET FIABILITE DES MOYENS DE SURVEILLANCE ET DE DETECTION INCENDIE</p>
3	<p>CONCEPTION DES INSTALLATIONS DE REFROIDISSEMENT DESCIRCUITS DE CIRCULATION DES FLUIDES DES SYSTEMES ELECTRIQUES</p>
4	<p>REACTION AU FEU DES MATERIAUX ET REPARTITION DES CHARGES D'INCENDIE</p>

TABLEAU 7

**CLASSEMENT DES POINTS ENCORE SENSIBLES
PAR ORDRE DE PRIORITES D' ACTIONS A RENFORCER**

3 - ESSAIS D'ÉVALUATION ET DE VALIDATION DES PERFORMANCES DE DEUX MODES D'EXTINCTION

Le résumé des travaux porte sur la description sommaire des installations et de ses équipements, les conditions générales des essais et sur les principaux résultats des essais d'extinction à la poudre et au gaz Halon 1301.

3.1. DESCRIPTION SOMMAIRE DES INSTALLATIONS ET DE LEURS ÉQUIPEMENTS

La configuration des installations et de leurs équipements de mesure et d'analyse concernant les essais à la poudre et au gaz Halon 1301, est présenté sur la *figure 5*.

Ce schéma précise le mode d'implantation du chargeur transporteur dans le tunnel d'essai (position permettant d'assurer l'arrivée d'air frais sur le moteur), la nature et la localisation de l'instrumentation en trois points : aux niveaux de l'engin minier, du poste de conduite et dans la galerie incendie (point de mélange situé dans la tour avant lavage et évacuation des gaz).

Tous les essais d'extinction de feux de compartiment moteur ont été réalisés, par ailleurs, sur un engin peu capoté.

Concernant la simulation des foyers d'incendie, les moyens mis en oeuvre dans chacun des scénarios d'incendie, ont été :

- ◆ dans le cas des feux de compartiment moteur, d'une part des feux de gazole pour simuler fuite et petite flaque de carburant au niveau du bloc moteur et de ses accessoires (gouttière de 600 cm² de section placée sous le collecteur d'échappement des gaz) et sous le châssis du moteur (bac de 240 cm² de section) et d'autre part de petits tas de charbon en état d'auto-échauffement (cube de 10 cm de côté environ) placés dans la zone du bloc moteur faisant front au ventilateur,
- ◆ dans le cas des feux de freins réalisés uniquement pour les essais d'extinction à la poudre, des feux de flaque de gazole (environ 220 cm² de surface par bac) se développant au sol, à proximité immédiate des deux roues arrières de l'engin.

Les installations d'extinction fixées à bord des véhicules ont été implantées enfin de façon à protéger, en partie basse et sur le pourtour, le bloc moteur (respectivement 8 buses pour le gaz Halon et 3 buses pour la poudre dirigées vers le bloc moteur + 1 buse dans les deux cas orientée vers le bas du bloc moteur) dans le cas des scénarios d'incendie de compartiment moteur, l'installation comprenant deux buses encadrant chacun des foyers situés au sol dans le cas des scénarios d'incendie de freins.

3.2. CONDITIONS GÉNÉRALES DES ESSAIS

Les essais ont été réalisés sous des vitesses d'aérage de l'ordre de 1 m/s et 4 m/s.

Les quantités d'agent extincteur mis en oeuvre à partir des installations à poste fixe ont été respectivement au cours des essais de 10 kg par décharge de gaz Halon 1301 et de l'ordre de 11 kg par décharge de poudre polyvalente.

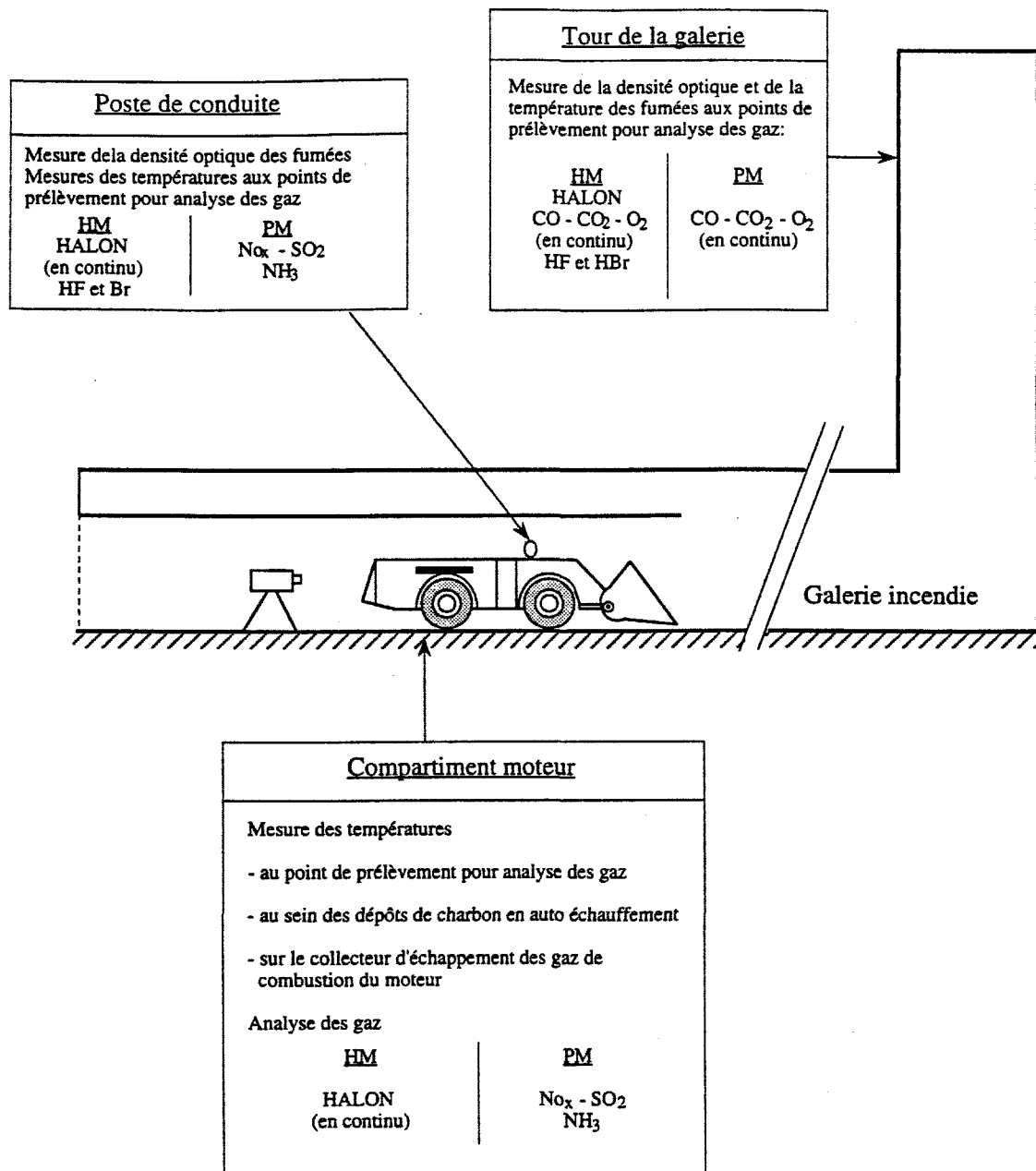


FIGURE 5

LOCALISATION DES POINTS DE MESURE DES TEMPERATURES ET DES POINTS DE PRELEVEMENT POUR ANALYSE DES GAZ CONCERNANT LES ESSAIS D'EXTINCTION AU HALON 1301 (réf. HM) ET A LA POUDRE POLYVALENTE (réf. PM)

Dans tous les cas, les feux de gazole ont été maintenu pendant un temps suffisant pour permettre le développement des incendies.

Dans tous les cas de feux de compartiment moteur, le moteur a été mis en régime d'accélération puis de ralenti dès que la température mesurée sur le collecteur était stable et enfin arrêtée quelques secondes avant une décharge d'agent extincteur.

3.3. RESULTATS DES ESSAIS

3.3.1 EFFETS PHYSIQUES DES EXTINCTIONS

Au cours des essais d'extinction des incendies de compartiment moteur à l'aide tant du gaz Halon 1301 que de la poudre polyvalente, on observe, en tout premier lieu, l'extinction immédiate des feux de gazole (inhibition des flammes).

Les décharges de gaz Halon 1301 et de poudre sont, par contre, à proprement parlé, sans action sur les feux couvants.

Elles ne modifient pratiquement pas les cinétiques d'évolution des auto-échauffements des dépôts de charbon ni les températures des points chauds et la poudre paraît agir, quant à elle, encore moins en matière de refroidissement des points chauds.

L'opacité des nuages formés au moment des décharges se distingue quant à elle nettement selon la nature de l'agent d'extinction utilisé (*figure 6*).

Dans les mêmes conditions d'essais (vitesse d'aéragé de 4 m/s) et de mesures (tour de la galerie incendie), l'utilisation de la poudre conduit ponctuellement à la formation de nuages (D.O⁰0,8/m) environ 10 fois plus denses que l'extinction au gaz Halon 1301 (D.O⁰0,08/m) aux moments des décharges.

La visibilité se trouve réduite au poste de conduite dans le cas de l'essai d'extinction à la poudre en raison d'une densité optique des fumées de l'ordre de 0,5/m.

Les mesures de densité optique conduisent, dans le cas des essais réalisés sous une vitesse d'aéragé de l'ordre de 4 m/s, à des visibilitées respectives de :

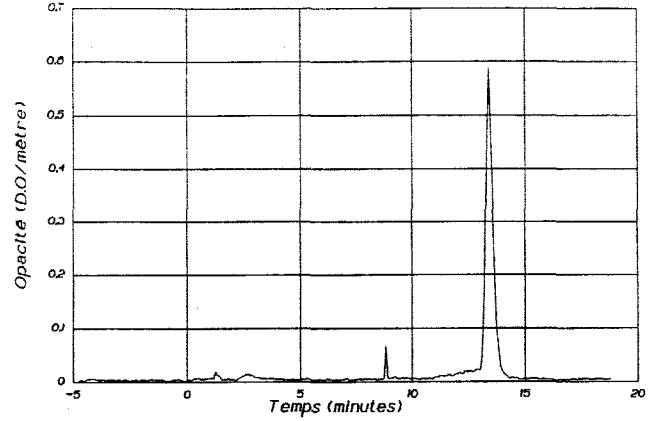
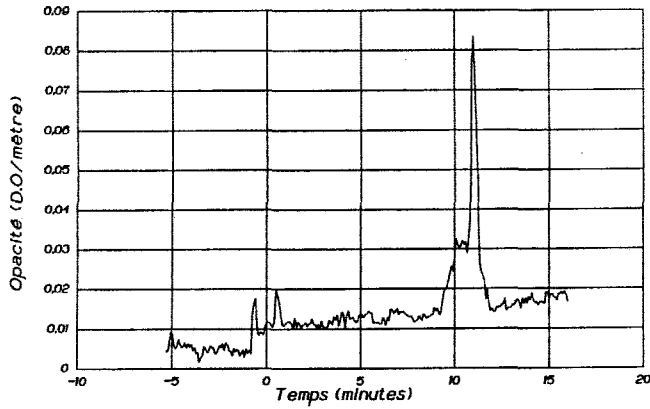
- ◆ ~ 12 m pour extinction au gaz Halon 1301 (point de mélange galerie)
- ◆ ~ 2 m pour extinction à la poudre (au même point)
- ◆ ~ 2 m pour extinction à la poudre (poste de conduite)

3.3.2 EFFETS CHIMIQUES DES EXTINCTIONS

Les principaux résultats des analyses qui ont été effectuées au cours des essais d'extinction réalisés sous des vitesses d'aéragé de l'ordre de 4 et 1 m/s, sont regroupés respectivement dans les *tableaux 7 et 8* (essais au gaz Halon 1301, Réf. HM) et dans le *tableau 9* (essais à la poudre chimiques, Réf. PM).

Les concentrations maximales obtenues après la première minute des essais d'extinction au gaz Halon 1301, ont été inférieures d'une part à 0,6 ppm pour l'acide fluorhydrique et d'autre part à 0,2 ppm d'acide bromhydrique, au poste de conduite et respectivement inférieures à 0,4 ppm (HF) et à 0,1 ppm (Br), dans le compartiment moteur.

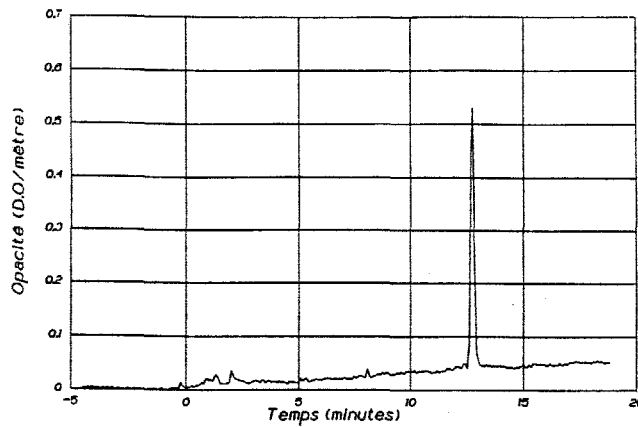
Densité optique des fumées au point de mélange des gaz
(tour de galeries incendie)



Essai d'extinction au gaz Halon 1301

Essai d'extinction à la poudre polyvalente

Densité optique des fumées au poste de conduite



Essai d'extinction à la poudre polyvalente

FIGURE 6

**EFFETS PHYSIQUES DES DECHARGES DE GAZ HALON 1301
ET DE POUDRE POLYVALENTE CONCERNANT LES ESSAIS D'EXTINCTION
REALISES SOUS UNE VITESSE D'AERAGE DE L'ORDRE DE 4 M/S**

Analyse des produits de décomposition du gaz HALON 1301	Références des prélèvements de gaz par barboteurs			
	Prélèvement pendant la 1ère minute d'essai		Prélèvement pendant la durée totale de l'essai	
	(µg/l)	(ppm)	(µg/l)	(ppm)
* concentration d'acide fluorhydrique				
. au poste de conduite	≤ 0,5	< 0,6	< 0,33	< 0,4
. dans la tour de la galerie	≤ 0,3	< 0,4	< 0,2	< 0,3
* concentrations d'acide bromhydrique				
. au poste de conduite	≤ 0,5	< 0,2	< 0,33	< 0,1
. dans la tour de la galerie	≤ 0,3	< 0,1	< 0,2	< 0,1

TABLEAU 8

**EFFETS CHIMIQUES DES DECHARGES DE GAZ HALON 1301
SUR LES FOYERS D'UN ESSAI REF. HM
(VITESSE D'AERAGE DE L'ORDRE DE 4 M/S)**

Analyse des produits de décomposition du gaz HALON 1301	Références des prélèvements de gaz par barboteurs			
	Prélèvement pendant la 1ère minute d'essai		Prélèvement pendant la durée totale de l'essai	
	(µg/l)	(ppm)	(µg/l)	(ppm)
* concentration d'acide fluorhydrique				
. au poste de conduite	≤ 0,5	< 0,6	≤ 0,2	< 0,3
. dans la tour de la galerie	≤ 0,33	< 0,4	< 0,15	< 0,2
* concentrations d'acide bromhydrique				
. au poste de conduite	≤ 0,5	< 0,2	< 0,2	< 0,1
. dans la tour de la galerie	≤ 0,33	< 0,1	≤ 0,15	< 0,1

TABLEAU 9

**EFFETS CHIMIQUES DES DECHARGES DE GAZ HALON 1301
SUR LES FOYERS D'UN ESSAI REF. HM
(VITESSE D'AERAGE DE L'ORDRE DE 1 M/S)**

Analyse des produits de décomposition de la poudre polyvalente utilisée sur les foyers	Références			
	Essais à 4 m/s		Essais à 1 m/s	
	PM1	PM2	PM3	PM4
Concentration en ppm (vol.)				
1) au poste de conduite				
- NO _x (exprimé en NO ₂)	1,1	0,9	0,4	1,7
- SO ₂	0,8	0,7	0,9	1,7
- NH ₃	4,1	3	3,5	2,8
2) dans le compartiment moteur				
- NO _x (exprimé en NO ₂)	9,4	12,3	14,8	7,4
- SO ₂	2,8	3	3,7	3,5
- NH ₃	30,2	28,9	14,4	45,4

TABLEAU 10

**EFFETS CHIMIQUES DES DECHARGES DE POUDRE POLYVALENTE
SUR LES FOYERS DES ESSAIS DE REF. PM
(VITESSE D'AERAGE DE L'ORDRE DE 1 ET 4M/S)**

Les concentrations maximales obtenues au cours des essais d'extinction à la poudre polyvalente ont été, d'une part de 1,7 ppm (NO_x et SO₂) et de 4,1 ppm (NH₃) au poste de conduite et d'autre part de 14,8 ppm (NO_x), 3,7 ppm (SO₂) et 45,4 ppm (NH₃) dans le compartiment moteur.

La comparaison des résultats des analyses et des valeurs limites d'exposition données dans la littérature, révèle que la nocivité des produits de décomposition du gaz Halon 1301 (HF, HBr) et de la poudre chimique (NO_x, NH₃, SO₂), formés au cours des scénarios d'extinction, est réduite.

3.4 CONCLUSION DE L'ETUDE EXPERIMENTALE

Bien que les résultats des essais d'extinction au gaz Halon 1301 soulignent les performances de ce mode de protection contre l'incendie des feux de compartiments moteur, le programme expérimental réalisé ne constitue, en fait, que des essais de faisabilité d'une extinction par un agent gazeux, compte-tenu de la réglementation concernant les limites d'utilisation des Halons.

On peut penser que ces résultats pourront être utilisés pour tout produit de substitution gazeux ayant des performances équivalentes, des conditions d'utilisation semblables et un mode d'action identique (inhibition de la flamme).

Dans ces conditions et de par les résultats obtenus, l'extinction à la poudre chimique s'avère donc aujourd'hui, la mieux adaptée pour les feux d'engins roulants, en raison de son action aussi immédiate (extinction instantanée) et de la nocivité très réduite des produits de décomposition formés au moment d'une décharge sur un foyer.

La poudre présente l'avantage, comme le gaz Halon 1301, de ne pas engendrer de contraintes particulières de maintenance et d'entretien après une opération d'extinction à l'inverse d'autres agents d'extinction (mousse ou eau + additif).

Les deux points sensibles liés à son utilisation sur des engins roulants, surtout en mines, sont cependant, d'une part le risque de tassement de la poudre dans les bouteilles ou réserves, et d'autre part, la formation d'un nuage plus ou moins dense au moment d'une décharge sur un foyer.

Ces deux derniers points conduisent à rappeler, en conclusion à l'étude, les limites des performances des moyens de lutte contre un incendie d'engin roulant, particulièrement important dans le domaine minier :

- ◆ un dispositif d'extinction par action d'un nuage gazeux ou un nuage de poudre installé à poste fixe ne constitue qu'un premier moyen d'extinction d'un début d'incendie et doit permettre au chauffeur d'un engin roulant de réagir en vue d'une intervention manuelle (extincteur portatif ...). En effet, s'il éteint les flammes il n'aura pratiquement pas d'effets sur les points chauds et une réinflammation est possible,
- ◆ les conditions de maintenance, d'entretien et de formation du personnel sont déterminantes pour la sécurité incendie des engins roulants, la garantie d'un bon état de fonctionnement du matériel incendie transporté et d'une réaction satisfaisante du personnel en cas d'incendie étant principalement liées à l'application de consignes de prévention bien adaptées aux risques d'incendie d'engins roulants en mines.