

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 48 (1957)  
**Heft:** 16

**Artikel:** Introduction aux prescriptions pour les matériels d'installation et appareils électriques antidéflagrants (prescriptions pour le matériel antidéflagrant)  
**Autor:** Bitterli, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058689>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 25.12.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET  
DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

## Introduction aux Prescriptions pour les matériels d'installation et appareils électriques antidéflagrants (Prescriptions pour le matériel antidéflagrant)<sup>1)</sup>

Par E. Bitterli, Zurich

621.31-213.44 : 614.838

### 1. Généralités

La fabrication, la transformation, l'utilisation et le stockage d'un grand nombre de matières présentent un danger d'explosion, car toutes les substances inflammables peuvent, en principe, donner lieu à des explosions lorsqu'elles sont réparties avec une finesse suffisante dans de l'air, porteur d'oxygène. C'est surtout le cas des gaz combustibles, des vapeurs de liquides combustibles et des matières solides combustibles. Dans cet article, nous ne nous occuperons pas des explosions qui ne sont pas dues à des substances combustibles réparties dans de l'air, car elles n'ont pas d'importance pour les installations électriques.

La combustion de gaz, vapeurs et poussières est un processus chimique, au cours duquel de l'oxygène (généralement celui de l'air) se combine avec ces substances, la chaleur de combustion provoquant une très forte expansion des produits de la combustion et une augmentation de la pression.

Une *explosion* est une action soudaine de l'énergie de gaz ou vapeurs qui subissent une forte expansion. La combustion se propage avec une grande vitesse, qui dépasse le plus souvent celle du son, et les pressions peuvent atteindre plusieurs kg/cm<sup>2</sup>. Outre les effets de la chaleur, ce sont donc aussi les fortes augmentations de pression qui font qu'une explosion a très souvent des conséquences désastreuses pour les êtres humains, ainsi que pour les bâtiments, leur aménagement et leurs alentours. Une pression de 10 kg/cm<sup>2</sup>, qui peut se produire par exemple lors de l'explosion d'un mélange gazeux, exerce une force de 100 t sur 1 m<sup>2</sup> de paroi, à moins qu'un équilibre des pressions n'ait lieu par des parties plus faibles de la construction, telles que des fenêtres et des portes.

Une *déflagration* est un processus de combustion qui se déroule à une vitesse de quelques m/s, mais sans forte augmentation de pression, tandis que dans le cas d'une *détonation* la combustion peut se propager à des vitesses de quelques km/h et provoquer des pressions jusqu'à 60 kg/cm<sup>2</sup>.

<sup>1)</sup> voir page 728 du présent numéro.

### 2. Risque d'explosion par des gaz et des vapeurs

Pour faciliter la compréhension du projet des Prescriptions pour le matériel antidéflagrant, il nous paraît utile de faire suivre ces considérations générales d'un exposé plus détaillé de l'explosion de gaz et de vapeurs, car ce sont principalement ceux-ci qui ont une importance pratique dans le domaine de l'électricité et que, d'autre part, les Prescriptions en question concernent le matériel destiné à être utilisé dans des locaux où peuvent se produire des mélanges explosifs de gaz et d'air ou de vapeur et d'air.

Afin de bien s'entendre, disons d'emblée que l'on désigne par *explosibles* les substances ou leurs mélanges avec de l'air, susceptibles de provoquer des explosions, tandis que les locaux ou parties de locaux renfermant ces substances ou mélanges sont désignés comme *exposés aux dangers d'explosion*. En outre, il y a lieu de faire remarquer que ce ne sont pas les instances chargées de la surveillance des installations électriques (Inspectorat des installations à courant fort, entreprise électrique fournissant l'énergie) qui doivent décider de la présence d'un danger d'explosion, mais bien les instances compétentes pour la protection des travailleurs et pour la protection contre les incendies (Inspections des fabriques, CNAA, police du feu). Il est d'ailleurs souvent fort malaisé de juger du danger d'explosion et cela ne peut se faire qu'en tenant compte de toute une série de facteurs, qui concernent notamment les propriétés des substances utilisées, la disposition des locaux, le procédé de fabrication ou le mode de stockage, le genre de travail, etc.

#### a) Limites d'explosion

Mélangés avec de l'air, les gaz et vapeurs combustibles ne sont explosibles que dans les limites d'une certaine concentration caractéristique pour chaque gaz et vapeur. Une explosion est impossible lorsqu'il y a soit trop d'oxygène, soit trop de combustible. On considère donc une *limite inférieure* et une *limite supérieure* d'explosion. En dessous de la

limite inférieure d'explosion, le mélange n'est pas dangereux, tandis qu'au-delà de la limite supérieure il ne peut se produire qu'une déflagration ou un incendie. Les limites d'explosion sont indiquées en pour cent de volume (% vol.) ou en g de gaz ou de vapeur par m<sup>3</sup> d'air (g/m<sup>3</sup>). Les limites d'explosion indiquées par les différents auteurs sont souvent plus ou moins divergentes, ce qui provient surtout des dispositifs utilisés pour les essais. Le tableau I indique les limites d'explosion, ainsi que les pressions constatées lors des essais, pour quelques gaz et vapeurs qui se présentent souvent. Ce tableau montre que les limites d'explosion sont très rapprochées pour certaines substances (benzine), tandis qu'elles sont beaucoup plus écartées dans d'autres cas (acétylène). Les gaz et vapeurs les plus dangereux sont ceux qui ont basse limite inférieure d'explosion et ceux dont les limites sont très écartées.

Limites d'explosion, pression d'explosion

Tableau I

	Limites d'explosion <sup>1)</sup>				Pression maximum d'explosion <sup>2)</sup> kg/cm <sup>2</sup>
	inférieures		supérieures		
	% vol.	g/m <sup>3</sup>	% vol.	g/m <sup>3</sup>	
Benzine	0,9	48	4,0	215	≈ 8,6
	à	à	à	à	
	1,25	52	7,5	281	
Benzol	1,4	49	8,0	280	9,0
Alcool éthylique	2,8	57	18,0	370	7,45
Acétone	2,15	56	13	337	8,93
Méthyléthyl- cétone	1,8	58	10	322	8,5
Etherdiéthylique	1,8	59	48	1585	7,94
Acétate de butyle	1,7	88	15	788	7,66
Acétate d'amyle	1,1	64	10	580	7,45
Sulfure de carbone	1,0	34	50	1700	7,8
Hydrogène	4,0	3,6	74	66,6	7,39
Acétylène	2,5	29,2	80	930	> 10,3
Oxyde de carbone	12,5	157	74	926	7,3
Ammoniac	16	123	26	198	4,85...5,97

<sup>1)</sup> Selon: Propriétés des solvants, carburants et gaz usuels, CNA A, Form. 1469.  
<sup>2)</sup> Selon: Publication n° 79 de la Commission Electrotechnique Internationale.

Lorsqu'ils sont présents en quantité suffisante, les gaz peuvent former avec l'air des mélanges dans toutes proportions, du fait de leur pouvoir diffusant. Les vapeurs de liquides se comportent d'une façon analogue, mais la formation d'un mélange explosible dépend de la pression de vapeur et par conséquent de la température, qui doit être suffisamment élevée pour que des vapeurs puissent se produire au-dessus du liquide. Une bonne indication pour le danger d'un liquide est son point d'éclair, qui est la température la plus basse à laquelle se forme (dans un appareil normalisé pour la détermination du point d'éclair) au-dessus du liquide une quantité de vapeur suffisante pour être enflammée. La température à laquelle un mélange devient explosible est un peu inférieure à celle du point d'éclair. Les liquides sont dangereux lorsque leur point d'éclair est inférieur aux températures qui existent dans un local où sont atteintes durant un processus de travail (voir tableau II).

Points d'éclair <sup>1)</sup>

Tableau II

Substance	Point d'éclair °C
Benzines . . . . .	jusqu'à - 30
Benzine à vernis . . . . .	+ 30
Benzol . . . . .	- 11
Alcool d'éthyle . . . . .	+ 18
Acétone . . . . .	- 20
Méthyléthylcétone . . . . .	- 14
Ether diéthylique . . . . .	- 41
Acétate de butyle . . . . .	+ 24
Acétate d'amyle . . . . .	+ 23
Sulfure de carbone . . . . .	- 30

<sup>1)</sup> Selon: CNA A, Form. 1469.

## b) Température d'inflammabilité

Même en présence d'un mélange explosible, une explosion ne peut se produire que si l'on fournit suffisamment d'énergie au mélange pour en amorcer la combustion, autrement dit, il faut qu'en un endroit quelconque du mélange une certaine température soit atteinte, dite température d'inflammabilité (ou point d'inflammation spontanée). Lorsque cette température d'inflammabilité est présente dans un mélange explosible, il se produit une explosion, même s'il n'y a pas de flamme ou d'étincelle dans la région du mélange. Cette température n'est, comme le point d'éclair, toutefois pas une grandeur physique bien définie, mais une valeur déterminée par des essais et qui dépend plus ou moins du dispositif utilisé pour ceux-ci, de même que de la concentration, de la pression et de la température du mélange explosible.

Il existe actuellement deux procédés pour déterminer la température d'inflammabilité: la méthode allemande selon le VDE et la méthode américaine selon l'ASTM. La méthode allemande consiste à conduire par un tube chauffé le mélange de gaz et d'air ou de vapeur et d'air qui s'inflamme le plus facilement entre les limites d'explosion, puis à mesurer la température de la paroi du tube, à laquelle l'inflammation se produit. La méthode américaine consiste à laisser tomber une goutte du liquide à essayer dans un récipient normalisé, qui est chauffé dans un bain, puis à mesurer la plus basse des températures de la paroi du récipient, à laquelle se produit encore une inflammation. Pour toute une série de liquides inflammables, les valeurs selon l'ASTM sont nettement inférieures à celles déterminées selon la méthode allemande; les écarts atteignent jusqu'à 250 °C.

Dans le projet des Prescriptions pour le matériel antidéflagrant, on s'est basé sur la température d'inflammabilité déterminée par la méthode allemande, car les températures selon l'ASTM n'ont de l'importance que dans les cas où il faut compter sur la possibilité d'un égouttement de liquides inflammables sur des endroits chauds et qu'en outre il n'y a pas de courant de convection notable. Néanmoins, cette possibilité est considérée par les valeurs les plus basses (voir chiffres 13.2, 13.3, tableau III et commentaire, du projet des Prescriptions). Récemment, la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) s'est décidée plutôt pour la méthode de l'ASTM et, en Allemagne, on a même mis

au point une méthode qui est une modification de celle de l'ASTM, de sorte qu'il se pourrait que l'on doive également tenir compte, en Suisse, de certaines températures d'inflammabilité déterminées d'une autre façon que selon la méthode du VDE, si des motifs pertinents l'exigent.

Groupes et températures d'inflammabilité

Tableau III

Groupe d'inflammabilité <sup>1)</sup>	Température d'inflammabilité <sup>2)</sup> °C	Substance <sup>3)</sup>
A	Plus de 450	Acétate d'amyle <sup>3)</sup> Acétate de butyle <sup>3)</sup> Acétone Alcool éthylique <sup>3)</sup> Alcool méthylique <sup>3)</sup> Ammoniac Benzine <sup>4)</sup> Benzol Hydrogène Méthyléthylcétone Oxyde de carbone
B	Plus de 300...450	Acétylène
C	Plus de 175...300	Éther diéthylique
D	Plus de 120...175	Sulfure de carbone

<sup>1)</sup> Autres exemples, voir:  
 [1] Form. 1469 de la Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents.  
 [2] Nabert K. et G. Schön: Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe, Deutscher Eichverlag, Berlin W.  
 [3] Zabetakis M. G.: Minimum spontaneous ignition temperatures of combustibles in air. Ind. Engng. Chem. t. 46(1954), n°10, p. 2173...2178.  
<sup>2)</sup> Déterminée par la méthode du VDE.  
<sup>3)</sup> En cas de détermination de la température d'inflammabilité selon la méthode de l'ASTM: Groupe B.  
<sup>4)</sup> En cas de détermination de la température d'inflammabilité selon la méthode de l'ASTM: Groupe C.  
<sup>5)</sup> Les groupes d'inflammabilité désignés par les lettres A, B, C, D ne sont pas identiques aux catégories de marchandises A, B, C, D, figurant dans les Directives pour les prescriptions de la police du feu des Etablissements cantonaux suisses d'assurance contre l'incendie.

Les gaz et les vapeurs sont répartis en groupes selon la température d'inflammabilité, surtout en vue de la construction de matériels électriques anti-déflagrants (tableau III). Cette répartition présente l'avantage que ce matériel n'a ainsi pas besoin d'être spécialement adapté pour tel gaz ou telle vapeur, mais simplement pour le groupe d'inflammabilité auquel il est destiné.

La plupart des températures d'inflammabilité selon le VDE sont comprises entre 300 et 700 °C. Seules quelques-unes sont inférieures à 300 °C, notamment pour l'éther éthylique (180 °C) et le sulfure de carbone (120 °C, température la plus basse). Au groupe de 300 à 700 °C appartiennent principalement les solvants organiques et les carburants les plus souvent utilisés.

### 3. Protection contre les explosions

Comme nous venons de le dire, une explosion ne peut se produire que lorsqu'un mélange de gaz et d'air ou de vapeur et d'air se trouve entre les limites d'explosion et qu'une source d'inflammation est présente. En d'autres termes, on peut empêcher des explosions soit en évitant la formation de mélanges explosibles, soit en supprimant toute possibilité d'inflammation.

Dans les locaux où séjournent constamment des personnes, il est généralement peu probable que des mélanges explosibles soient présents assez longtemps, car la plupart des gaz et vapeurs combustibles sont également délétères, de sorte que les concentrations qui risqueraient d'être nocives à la longue n'atteignent guère la limite inférieure d'explosion. La concentration maximum à un emplacement de travail, dite valeur CMT, est celle des gaz et vapeurs délétères qui ne doit pas être dépassé durant 8 heures de travail par jour; quelques valeurs sont indiquées au tableau IV, à titre de comparaison. Pour de nombreuses substances, il serait manifestement impossible de travailler entre les limites d'explosion où l'odeur attirerait l'attention sur le danger. Il existe toutefois des gaz inodores, tels que l'hydrogène ou le dangereux oxyde de carbone qui peut provoquer la mort pour une concentration plus faible que celle de la limite inférieure d'explosion.

Limite inférieure d'explosion et valeur CMT<sup>1)</sup>

Tableau IV

Substance	Limite inférieure d'explosion g/m <sup>3</sup>	Valeur CMT g/m <sup>3</sup>
Benzol . . . . .	49	0,11
Benzines . . . . .	48...52	~ 2
Alcool méthylique . . . . .	79	0,25
Acétone . . . . .	56	1,14
Éther diéthylique . . . . .	59	1,17
Acétate de butyle . . . . .	88	0,92
Oxyde de carbone . . . . .	157	0,11
Ammoniac . . . . .	123	0,067
Sulfure de carbone . . . . .	34	0,06
Hydrogène . . . . .	3,6	plus de 3,6

<sup>1)</sup> Selon: CNA, Form. 1469.

Pour des raisons de protection de la santé, on est donc obligé de prendre des précautions, afin que des concentrations dangereuses ne puissent pas être atteintes. Les meilleures précautions sont, par exemple, une bonne aération naturelle ou artificielle, l'aspiration de gaz et vapeurs à l'endroit même de leur formation, ainsi que l'emploi d'appareillages en circuit fermé. Malgré cela, les accidents qu'il faut compter sur la possibilité d'une formation de mélanges explosibles, notamment par suite d'inétanchéités ou de ruptures de tuyauteries, de vannes, de regards vitrés et de réservoirs, du comportement intempestif d'un processus de travail ou d'une réaction chimique, d'erreurs de manipulations, d'une défaillance de dispositifs de surveillance, etc. En outre, à la suite de tels incidents, il peut arriver que des mélanges explosibles se maintiennent relativement longtemps, lorsque les gaz ou vapeurs sont plus lourds que l'air (ce qui est par exemple le cas pour les vapeurs de tous les solvants), parviennent dans des parties basses du local, dans des canaux ou s'infiltrent même dans d'autres locaux.

Lorsque des mélanges explosibles risquent de se former, il faut donc également supprimer toute source d'inflammation, telle qu'un feu nu, l'action de fumer, les étincelles provenant de machines à meuler, les substances ayant tendance à s'enflammer spontanément, les étincelles et arcs électriques, les endroits atteignant les températures d'inflam-

mabilité (appareils de chauffage), lampes à incandescence, coffrets d'appareils électriques, etc.).

#### 4. Matériels d'installation et appareils électriques antidéflagrants

Contrairement à d'autres pays, il n'existe pas en Suisse de Prescriptions relatives au matériel antidéflagrant; même dans les Prescriptions de l'ASE sur les installations intérieures, il n'y a guère que quelques dispositions à ce sujet, qui ne sont d'ailleurs pas des prescriptions relatives à ce matériel.

Le besoin de Prescriptions à l'intention des fabricants se faisant également de plus en plus sentir dans notre pays, le Comité Electrotechnique Suisse (CES) institua, il y a six ans, le Comité Technique (CT) 31, Matériel antidéflagrant, chargé d'établir des Prescriptions pour ce matériel. Etant donné que l'on n'avait, en Suisse, que peu d'expérience dans la construction de ce matériel, le CT s'est basé principalement sur les Prescriptions de l'Association Allemande des Electriciens (VDE), qui sont très détaillées et le fruit d'une longue expérience dans ce domaine, de même que sur les prescriptions d'autres pays, tels que le Royaume-Uni, la France et la Belgique, ainsi que sur les Recommandations de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI).

Conformément à une décision prise à l'unanimité, le projet élaboré par le CT 31 ne renferme que des prescriptions relatives à la sécurité. Ce projet a été examiné, au point de vue de la sécurité, par la Commission de l'ASE et de l'UCS pour les installations intérieures, et approuvé par le CES, puis le Comité de l'ASE accepta qu'il soit publié, afin que les membres puissent exprimer leurs opinions à ce sujet.

Ces Prescriptions concernent le matériel approprié à l'utilisation dans des locaux ou parties de locaux où peuvent se produire des mélanges explosibles de gaz et d'air ou de vapeur et d'air. Elles doivent également être appliquées en conséquence au matériel destiné à des installations à courant faible, à faible tension ou à haute tension, car pour ces installations les considérations sont les mêmes en ce qui concerne le danger d'explosions. Elles ne renferment que des dispositions sur la sécurité contre les explosions; elles doivent donc être considérées comme des prescriptions supplémentaires aux Prescriptions de l'ASE qui concernent la sécurité générale du matériel. Le matériel antidéflagrant n'est pas prévu pour des locaux où peuvent se produire des déflagrations dues à des poussières. Nous indiquons brièvement les précautions à prendre dans ce cas dans un chapitre spécial.

Le projet des Prescriptions comprend deux parties. La première renferme les Prescriptions proprement dites, qui devront être homologuées par le Département fédéral des postes et des chemins de fer. Elle établit les principes auxquels le matériel antidéflagrant doit répondre; on a volontairement renoncé à indiquer des détails d'ordre constructif, ceux-ci étant reportés dans la deuxième partie, qui renferme des Recommandations, de sorte qu'ils ne sont pas obligatoires pour les constructeurs. Le CT 31 estime que cette division présente l'avantage de permettre aux constructeurs d'agir avec le maxi-

um de liberté et qu'en cas de nouvelles connaissances dans ce domaine — ce qui est parfaitement possible pour le matériel antidéflagrant, comme cela ressort des discussions au sein du Comité d'Etudes n° 31 de la CEI — les principes fixés dans la première partie de ces Prescriptions n'aient guère à être modifiés et qu'il suffirait alors de remanier les Recommandations, afin de renseigner les fabricants sur des innovations éventuelles. Bien que les Recommandations n'aient pas un caractère obligatoire, il y a lieu d'attirer l'attention sur le fait que la construction et la fabrication de matériel antidéflagrant exigent une grande expérience et d'amples connaissances au sujet des processus chimiques et physiques qui se déroulent lors d'une explosion. L'élaboration du projet de ces Prescriptions a exigé, en effet, de plus amples connaissances de ce genre que dans le domaine de l'électrotechnique. Lorsque le constructeur s'en tient aux indications fournies dans les Recommandations, il est très probable que son matériel sera réellement antidéflagrant et capable de subir avec succès les épreuves, qui pourront alors être éventuellement simplifiées, car une épreuve d'explosion n'aura pas besoin d'être exécutée pour chaque matériel.

##### a) Exigences posées au matériel antidéflagrant

Le matériel antidéflagrant doit satisfaire aux exigences suivantes:

1° Les parties auxquelles se produisent des étincelles susceptibles de provoquer une inflammation, des arcs ou des températures dangereuses ne doivent pas provoquer d'explosion dans des mélanges de gaz et d'air ou de vapeur et d'air, ou une explosion se produisant à l'intérieur du matériel ne doit pas pouvoir se propager à l'extérieur.

2° La production d'étincelles susceptibles de provoquer une inflammation, d'arcs ou de températures dangereuses doit être empêchée efficacement dans le cas de perturbations prévisibles également.

3° Des risques d'inflammation ne doivent pas non plus être possibles par suite de fausses manipulations.

4° Le matériel ne doit seulement remplir les conditions de sécurité contre les explosions mais en plus être capable de supporter les sollicitations et exigences particulières au service considéré, par exemple l'effet de l'humidité ou les phénomènes de corrosion.

Avant d'examiner de plus près ces exigences, nous devons attirer l'attention sur le fait que des précautions d'ordre purement technique ne suffisent pas pour garantir une protection impeccable. Ces précautions, y compris les mesures particulières pour le matériel antidéflagrant, peuvent parfois présenter des défaillances. En outre, et même surtout, des erreurs peuvent être commises par des personnes chargées de manœuvrer, surveiller et entretenir les installations et les dispositifs. Il est nécessaire que la surveillance et la suppression des perturbations, ainsi que les réparations, soient assumées par du personnel connaissant ou sachant reconnaître parfaitement les dangers effectifs et même ceux qui sont simplement possibles. Il faut également renseigner et surveiller convenablement le personnel chargé de la fabrication, de même que celui auquel sont confiés les réparations, l'entretien et le montage.

Le projet des Prescriptions prévoit diverses mesures dans le but d'éviter que des travaux à du matériel antidéflagrant soient exécutés par des per-

sonnes non autorisées. C'est ainsi que l'ouverture des carters doit être rendue impossible, tant que les parties intérieures sont sous tension, ou que l'on exige des fermetures spéciales qui ne peuvent être actionnées que par des personnes possédant une clé spéciale. Dans certains cas, on peut toutefois considérer comme suffisantes des fermetures qui ne peuvent être ouvertes qu'à l'aide d'outils.

b) Les genres de protection

La sécurité du matériel électrique contre des explosions peut être obtenue par différents genres de protection. Dans le projet des Prescriptions, on a prévu les genres de protection selon le tableau V.

Genres de protection

Tableau V

Genre de protection	Symbole
Carter résistant à la pression . . . . .	d
Immersion dans l'huile. . . . .	o
Ventilation séparée . . . . .	f
Sécurité renforcée . . . . .	e
Protection spéciale . . . . .	s

Les genres de protection sont équivalents et l'expression «à sécurité renforcée» ne signifie aucunement qu'il s'agit d'une protection moins bonne contre les explosions. Par contre, en dépit de ce que l'on croit souvent, le matériel antigrisouteux n'est pas capable de satisfaire aux multiples exigences posées à la sécurité contre les explosions dues à d'autres gaz ou vapeurs que le grisou. La construction de ce matériel n'empêche que l'inflammation dans des mines grisouteuses, où se forment surtout des mélanges de méthane et d'air; en outre ce matériel est construit de façon à résister aux sollicitations accrues de l'exploitation minière, en ce qui concerne les contraintes mécaniques, l'influence des poussières et celle de l'humidité.

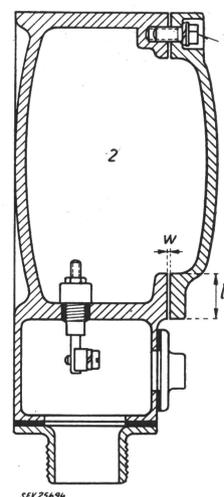
Dans quelques pays, on utilise également d'autres genres de protection, tels que des carters hermétiquement fermés (soudés) ou remplis de sable, ainsi que la mise en œuvre d'énergies plus faibles, incapables de provoquer des inflammations. Ces genres de protection n'étant pas appliqués jusqu'ici en Suisse, il n'en a pas été tenu compte dans le projet des Prescriptions. Ils seront au besoin considérés comme le genre de protection spécial s. Celui-ci, qui est surtout appliqué dans le Royaume-Uni et appelé «Intrinsic Safety», consiste à utiliser des sources d'énergie si faibles, qu'il ne peut jamais se produire d'étincelles susceptibles de provoquer une inflammation, ni d'échauffements inadmissibles, même dans le cas d'une perturbation. La détermination de l'énergie d'étincelle la plus faible qui soit encore susceptible de provoquer une inflammation est toutefois passablement difficile et dépend beaucoup des conditions des essais. De plus, le processus d'inflammation n'est pas encore suffisamment connu. Il semble que, d'une part, il faut qu'une certaine quantité de chaleur soit fournie au mélange explosible mais que, d'autre part, des phénomènes d'ionisation et de dissociations jouent également un rôle. Il est toutefois certain que l'énergie nécessaire pour amorcer l'inflammation est très faible, de l'ordre de quelques millièmes de Ws seulement, le courant d'amorçage étant de quelques

dixièmes d'ampère, jusqu'à environ 1 A. Le pouvoir d'inflammation dépend beaucoup de la nature du circuit, de la résistance ohmique et surtout des résistances inductives et capacitives, de même que de la grandeur et de la forme des contacts, de leur matière et de leur rapidité de séparation. Pour juger de la qualité de ce mode de protection, il faut donc essayer non seulement le matériel, mais également l'ensemble du circuit.

A ce propos, nous ajouterons qu'une bonne précaution consiste à disposer le matériel électrique, surtout les interrupteurs et les coupe-circuit, en dehors des locaux présentant des dangers d'explosion.

Protection par carter résistant à la pression d

Les parties auxquelles peuvent se produire des étincelles, des arcs ou des températures dangereuses doivent être logées dans des carters, comme le représente schématiquement la figure 1. Ces carters doivent:



a) Supporter la pression due à l'explosion qui résulte de l'inflammation de mélanges explosibles qui auraient pu y pénétrer.

b) Empêcher toute transmission d'une déflagration intérieure à un mélange explosible se trouvant à l'extérieur du carter.

Fig. 1  
Représentation schématique du carter résistant à la pression  
1 Fermeture spéciale; 2 Carter résistant à la pression; l Longueur du joint; w interstice

c) Empêcher que des températures trop élevées ne provoquent l'inflammation de mélanges explosibles se trouvant à l'extérieur du carter.

Concernant a): Pour le genre de protection par carter résistant à la pression, on renonce volontairement à exiger une étanchéité par rapport à des mé-

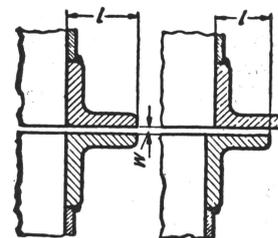


Fig. 2  
Longueur du joint l et interstice w entre surfaces d'assemblage de parties d'un carter

langes explosibles d'un carter qui doit être ouvert de temps à autre, car cette étanchéité ne serait guère réalisable. Ces mélanges peuvent donc pénétrer dans le carter et s'y enflammer, en passant par les joints des surfaces d'assemblage de parties correspondantes du carter ou de pièces de jonction (fig. 2), ainsi que par les jeux diamétraux entre alésages et arbres ou axes (fig. 3 et 4). En conséquence, les carters doivent être capables de supporter la pression d'une explosion interne, selon le tableau VI.

Lors de la construction, il y a lieu de tenir compte du fait que la pression normale atteint en

## Surpression intérieure minimum

Tableau VI

Classe d'explosion	Surpression intérieure minimum, compte tenu d'un facteur de sécurité, pour contenance du carter de <sup>1)</sup>	
	2 à 100 cm <sup>3</sup> <sup>2)</sup>	plus de 100 cm <sup>3</sup>
1	8 kg/cm <sup>2</sup>	10 kg/cm <sup>2</sup>
2	8 kg/cm <sup>2</sup>	10 kg/cm <sup>2</sup>
3	1,5 fois la pression d'explosion la plus élevée mesurée dans le carter fermé, dont les joints sont obturés, mais au moins <sup>3)</sup>	
	8 kg/cm <sup>2</sup>	10 kg/cm <sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Par contenance du carter, on entend celle du carter vide, mais dont on peut toutefois déduire le volume des pièces qui y sont logées et sont absolument indispensables pour le service et ne provoquent pas d'élévation locale de la pression.

<sup>2)</sup> Pour les carters d'une contenance inférieure à 2 cm<sup>3</sup>, la résistance résultant de la fabrication est normalement suffisante.

<sup>3)</sup> Voir les explications au sujet de l'acétylène et de l'hydrogène sous lettre b) dans le texte.

quelques centièmes de seconde la pression d'explosion la plus élevée, voire même en quelques millièmes de seconde dans le cas de l'acétylène et de l'hydrogène. D'autre part, quand il s'agit de mé-

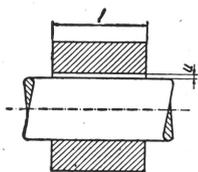


Fig. 3  
Longueur du joint  $l$  et jeu diamétral  $u$   
dans le cas d'arbres tournants

langes agités, par exemple dans le cas de machines tournantes, la vitesse de propagation des flammes, lors d'une explosion, est bien plus grande que pour des mélanges immobiles. Or, plus la vitesse de propagation de la flamme est grande, plus brève est la durée jusqu'à la pression maximum, car les gaz ou vapeurs ne peuvent s'échapper qu'en faible quantité par les interstices du carter. De plus, une subdivi-

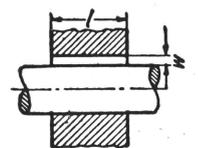


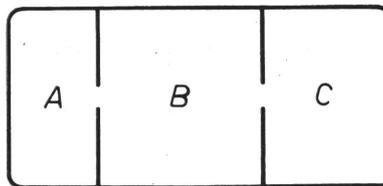
Fig. 4  
Longueur du joint  $l$  et interstice  $w$  entre  
axe et alésage (parties se déplaçant occasionnellement l'une par rapport à l'autre)

sion du carter résistant à la pression (fig. 5) ou une forme défavorable du carter provoquent des pressions qui dépassent nettement 10 kg/cm<sup>2</sup>. Ces pressions ne peuvent être déterminées qu'au cours d'un essai d'explosion.

Concernant b): Afin que la déflagration ne puisse pas être transmise par les joints aux mélanges entourant le carter, c'est-à-dire pour empêcher toute transmission de la déflagration, la flamme doit s'éteindre dans les joints et la température des gaz sortants doit être inférieure à la température d'inflammabilité, y compris un coefficient de sécurité, ou bien les gaz qui ont traversé le joint doivent se mêler si rapidement au mélange explosible environnant et se refroidir si fortement, qu'une inflammation n'ait pas le temps de se produire. Le soutirage de chaleur nécessaire pour refroidir la flamme et les gaz, ainsi que le tourbillonnement dans le mélange environnant, s'obtiennent par un dimensionnement convenable de la longueur du

joint et de l'interstice; ces effets sont d'autant plus efficaces que l'interstice est plus étroit.

Le pouvoir déflagrant, c'est-à-dire la propriété d'un mélange explosible de transmettre la déflagration de l'intérieur à l'extérieur, dépend d'une part de la composition du mélange ou de sa chaleur de combustion, d'autre part également de l'endroit auquel se produit l'inflammation (par exemple à proximité des joints ou au centre du carter).



SEV 25695

Fig. 5

Représentation schématique de la subdivision du carter, résistant à la pression  
(Exemple: Coffrets de couplage et de distribution combinés, espaces A, B et C)

La longueur du joint et l'interstice doivent être choisis selon le pouvoir déflagrant, car la plus petite longueur admissible du joint et le plus grand interstice admissible diffèrent selon les gaz et les vapeurs, pour un même degré de sécurité. Il est préférable de grouper les gaz et vapeurs en trois classes d'explosion, chacune de ces classes étant caractérisée par l'interstice pour lequel peut encore se produire une transmission de la déflagration hors d'un carter normalisé pour les essais, lorsque la longueur du joint est de 25 mm. Ces interstices limites n'ont naturellement pu être déterminés qu'à la suite de très nombreux essais entrepris surtout en Allemagne et au Royaume-Uni, puis interprétés statistiquement. La classification de quelques gaz et vapeurs en classes d'explosion et les interstices limites correspondants sont indiqués au tableau VII.

Ces interstices limites sont toutefois affectés d'une certaine incertitude, aussi doit-on tenir compte d'un coefficient de sécurité lors de la construction. Le projet des Recommandations renferme des indications sur les dimensions des joints et des interstices qui ne devraient plus permettre une transmission de la déflagration, dimensions basées sur des essais et sur l'expérience. Lors de la fabrication du matériel, il faut veiller à ce que ces dimensions ne puissent pas être modifiées au cours du service, par exemple par suite de l'ouverture et de la fermeture des carters ou d'une usure.

L'hydrogène et l'acétylène se comportent différemment. L'hydrogène présente une grande vitesse de combustion, de sorte qu'un soutirage de chaleur ne devient suffisant qu'avec des longueurs des joints dépassant 25 mm, tandis que la pression élevée qui résulte de l'explosion de l'acétylène peut donner lieu à des inflammations spontanées à l'extérieur des carters. Dans les locaux présentant un danger d'explosion par de l'acétylène, on doit donc prévoir du matériel avec d'autres genres de protection appropriés (par exemple avec ventilation séparée ou à sécurité renforcée) et il est même préférable de disposer toutes les installations et appareils électriques en dehors de ces locaux. Les carters utilisés dans des

## Classes d'explosion et interstices limites

Tableau VII

Classe d'explosion	Interstices limites <sup>1)</sup> mm	Substance <sup>2)</sup>
1	Plus de 0,8	Acétate d'amyle Acétate de butyle Acétone Alcool éthylique Alcool méthylique Ammoniac Benzine Benzol Méthyléthylcétone
2	Plus de 0,5	Éther diéthylique Oxyde de carbone
3	Moins de 0,5	Acétylène] <sup>1</sup> Hydrogène] Sulfure de carbone

<sup>1)</sup> A l'interstice limite et pour une longueur du joint de 25 mm la transmission de la déflagration a lieu.

<sup>2)</sup> Autres exemples, voir:  
Nabert K. et G. Schön: Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe, Deutscher Eichverlag, Berlin W.

mélanges d'acétylène et d'air ou d'hydrogène et d'air doivent être soumis à des épreuves d'explosion avec ces deux mélanges. L'expérience montre d'ailleurs que le matériel pour la classe d'explosion 3 ne peut généralement empêcher toute transmission de déflagration que lorsque les parties du carter sont vissées entre elles ou munies de rebords de centrage.

Concernant c): Des températures d'inflammabilité ne doivent pas être atteintes à la surface des carters résistants à la pression. Du fait que l'on tient compte d'un coefficient de sécurité, de même que de l'incertitude dans la détermination des températures d'inflammabilité, les températures admissibles sont nettement inférieures à celles-ci. Les valeurs admissibles déterminées par l'expérience sont indiquées au tableau VII du projet des Recommandations.

Afin d'éviter que, lorsqu'un carter est ouvert ou n'a pas été correctement fermé, des étincelles ou des arcs risquent de provoquer l'inflammation de mélanges explosifs se trouvant dans le local, les parties amovibles qui sont importantes pour la résistance à la pression doivent comporter des fermetures spéciales, qui ne peuvent être actionnées que par du personnel compétent, ou des verrouillages électriques ou mécaniques, qui empêchent la suppression de la résistance à la pression, tant qu'une manipulation est possible sous tension.

Les parties du matériel auxquelles ne se présentent normalement pas d'étincelles, d'arcs ou de températures dangereuses peuvent être du genre de protection à sécurité renforcée e, comme nous l'expliquons plus loin.

## Protection par immersion dans l'huile o

Pour ce genre de protection, les parties provoquant des étincelles ou des arcs sont immergées dans l'huile, à une profondeur suffisante pour éviter toute inflammation d'un mélange explosible se trouvant au-dessus de l'huile, même lorsque le niveau de l'huile est le plus bas et que celle-ci est froide. Pour le matériel mobile ou transportable, ce genre

de protection n'est admis que si la sécurité contre les explosions est assurée dans toutes les positions de service et pour toutes les sollicitations (position inclinée de disjoncteur dans l'huile, par exemple).

Les carters doivent être prévus de façon qu'il ne puisse y pénétrer ni poussière, ni projection d'eau et qu'aucune surpression ne puisse s'y produire du fait de la présence d'arcs. De plus, ces carters ne doivent pas pouvoir être ouverts par des personnes non autorisées, c'est-à-dire qu'ils doivent être munis de fermetures spéciales.

## Protection par ventilation séparée f

Comme pour la protection par immersion dans l'huile, les mélanges explosibles sont maintenus écartés des parties du matériel susceptibles de provoquer une inflammation de ces mélanges. Pour la protection par ventilation séparée, cela s'obtient en faisant passer de l'air ou un gaz inerte (azote, par exemple) dans les carters ou les armoires d'installations de couplage et en l'y maintenant avec une légère surpression par rapport à l'atmosphère ambiante.

La protection par ventilation séparée est un moyen simple, pratique et efficace pour rendre anti-déflagrant tout matériel. Ce genre de protection convient particulièrement aux armoires de couplage ou de distribution, ainsi qu'aux grands moteurs. Ces armoires peuvent être d'exécution normale, car il suffit de les raccorder à une installation d'amenée d'air ou de gaz inerte.

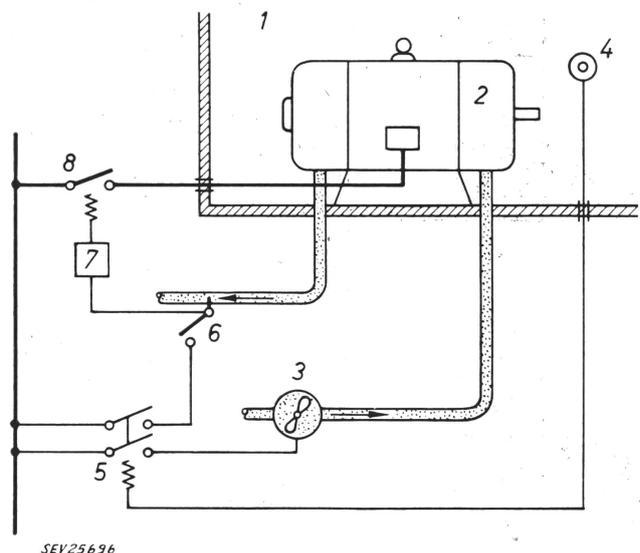


Fig. 6

Représentation schématique du mode de protection par ventilation séparée

1 Local présentant des dangers d'explosion; 2 Moteur à bagues; 3 Ventilateur pour la ventilation séparée; 4 Interrupteurs à boutons-poussoirs pour l'actionnement des appareils de couplage du ventilateur et du moteur; 5 Contacteur de couplage pour le moteur du ventilateur, avec contact auxiliaire pour le contacteur de couplage du moteur; 6 Contrôleur de débit; 7 Relais temporisé; 8 Contacteur de couplage du moteur

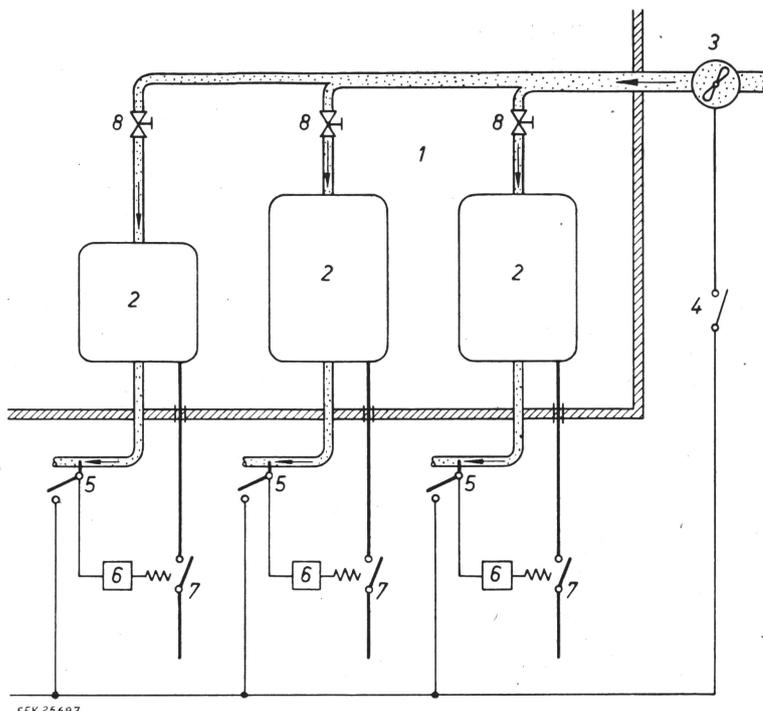
Pour tout matériel qui doit être protégé par ventilation séparée, les carters ou les armoires doivent être balayés à fond avec de l'air ou un gaz inerte, avant la mise en service des parties intérieures susceptibles de provoquer des inflammations, et les

parties dangereuses doivent être mises hors service dès que la ventilation séparée cesse de fonctionner. Le courant d'air ou de gaz interte doit être conduit de façon qu'aucun reste de mélanges explosibles ne puisse demeurer à l'intérieur, ou bien les carters ou armoires seront aménagés dans ce but. Les figures 6 et 7 représentent schématiquement le mode de protection par ventilation séparée. Celle-ci peut également être appliquée à du matériel existant, qui devrait être remplacé par du matériel antidéflagrant, par exemple à des moteurs à bagues ou à démarreur centrifuge.

Fig. 7

#### Armoires de couplage et de distribution protégées par ventilation séparée

- 1 Local présentant des dangers d'explosion;
- 2 Armoires de couplage et de distribution;
- 3 Ventilateur pour la ventilation séparée;
- 4 Interrupteur du ventilateur;
- 5 Contrôleur de débit;
- 6 Relais temporisé;
- 7 Interrupteurs;
- 8 Interrupteurs de la ventilation

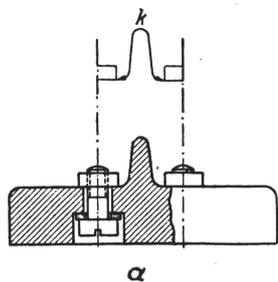


SEY 25697

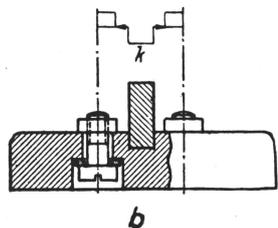
#### Protection à sécurité renforcée e

Contrairement aux genres de protection dont il vient d'être question, la protection à sécurité renforcée n'est applicable qu'à du matériel qui ne donne normalement pas lieu à des étincelles, à des arcs ou à des températures dangereuses. Malgré ce

champ d'application limité, la sécurité renforcée est souvent prévue, car ce genre de protection est plus simple, plus facile et meilleur marché que les autres. Il convient surtout pour les moteurs à induit en court-circuit, les luminaires, les boîtes de jonction, les bornes de connexion, les accumulateurs, mais non pour les interrupteurs, les moteurs à bagues, à collecteur ou à démarreur centrifuge, ni pour



a



b

Fig. 8  
Subdivision des lignes de fuite par nervure (a) ou traverse (b)

les dispositifs d'interruption en cas de surintensité et les dispositifs de connexion à fiches. Par rapport à l'exécution usuelle du matériel, il faut toutefois tenir également compte du risque spécial dans des locaux présentant des dangers d'explosion, c'est-à-dire prendre des précautions spéciales au point de vue du pouvoir isolant et de la résistance aux courts-circuits. Lors du dimensionnement des lignes de fuite et des distances dans l'air, il y a lieu d'appliquer un coefficient de sécurité, en augmentant les lignes de fuite et les distances dans l'air par rapport à l'exécution normale. Des indications et des exemples sont donnés à ce sujet dans le projet des Recommandations (voir également fig. 8). Les

connexions de conducteurs doivent être assurées contre tout dégagement intempestif.

Il va de soi que pour le matériel à sécurité renforcée la température et l'échauffement limites ne doivent pas non plus dépasser certaines valeurs, ceci non seulement à la surface, mais également à l'intérieur du matériel. Le tableau VII du projet des Recommandations indique les températures qui, comme l'expérience l'a montré, ne doivent pas être dépassées.

La protection à sécurité renforcée peut également être prévue avantageusement avec d'autres genres de protection. C'est ainsi qu'il est utile de prévoir des bornes de connexion à sécurité renforcée pour du matériel protégé par carter résistant à la pression ou par immersion dans l'huile.

#### Protections spéciales s

Il est fort possible que du matériel puisse être construit pour un genre de protection qui ne correspond pas à celles prévues dans le projet de Prescriptions, mais satisfait néanmoins à toutes les exigences concernant la sécurité contre les explosions. Cela peut être, par exemple, le cas pour du matériel utilisant des masses isolantes, des résines coulées durcissables, des carters en métal ou autre matériau absolument étanches aux gaz, des contacts à mercure, des dispositifs spéciaux pour la protection contre une transmission de déflagrations, des circuits ne provoquant pas d'inflammation, etc. Un tel matériel qui a subi avec succès les épreuves peut être admis dans la catégorie du genre de protection spécial.

#### c) Dispositions particulières

Les machines tournantes peuvent être construites d'une façon antidéflagrante selon les genres de protection par carter résistant à la pression, par ventilation séparée et à sécurité renforcée, ce dernier genre de protection n'entrant en considération que pour les machines qui ne produisent pas d'étincelles. Lorsque des machines à bagues, à collecteur

Suite de la page 704.

**Introduction aux Prescriptions pour les matériels d'installation et appareils électriques antidéflagrants (Prescriptions pour le matériel antidéflagrant) (Suite)**

ou à démarreur centrifuge sont protégées par carter résistant à la pression, il suffit d'enfermer dans des carters résistants à la pression les parties produisant des étincelles, pour réaliser la sécurité contre les explosions. Les autres parties des machines, c'est-à-dire le stator et la partie bobinée du rotor, peuvent être à sécurité renforcée, genre de protection qui est normalement adopté pour les moteurs à induit en court-circuit. Une machine entièrement blindée de façon résistante à la pression est plus grande et plus lourde que si elle est simplement à sécurité renforcée.

Afin d'éviter la formation d'étincelles dans le cas des moteurs à induit en court-circuit à sécurité renforcée, les anneaux de court-circuitage doivent toutefois être reliés par brasure ou soudure lorsque les barreaux et les anneaux ne sont pas d'une seule pièce. De plus, il y a lieu de prendre des précautions spéciales pour qu'il ne puisse pas se produire d'étincelles entre les barreaux et le fer de l'induit, ni entre des parties tournantes et des parties fixes. En d'autres termes, l'isolement doit être renforcé par rapport à l'exécution normale et l'entrefer agrandi. Enfin, il faut soigner tout particulièrement les paliers.

Les machines tournantes dont le courant nominal n'atteint pas 0,1 A ne sont admises avec protection à sécurité renforcée qu'à la condition que la température et l'échauffement limites admissibles ne soient pas dépassés dans le cas d'un courant de court-circuit permanent, car les dispositifs d'interruption en cas de surintensité ne fonctionnent pas avec une sûreté suffisante avec d'aussi faibles intensités de courant, de sorte qu'ils n'empêchent pas toujours un échauffement inadmissible.

Quant aux grandes machines à bagues, collecteur ou démarreur centrifuge, elles peuvent être avantageusement protégées par ventilation séparée, ce genre de protection convenant tout particulièrement aux machines d'exécution non antidéflagrante, mais qui doivent être utilisées dans des locaux présentant des dangers d'explosion. La figure 6 représente schématiquement la ventilation séparée d'un moteur à induit bobiné.

*Transformateurs, bobines de réactance et appareils à résistances* sont admis selon les genres de protection par carter résistant à la pression, par immersion dans l'huile, par ventilation séparée et à sécurité renforcée. Les transformateurs dont le courant nominal du côté basse tension est inférieur à 0,5 A sont soumis à la même limitation que les machines tournantes avec intensités inférieures à 0,1 A et pour les mêmes motifs. Les températures et échauffements limites admissibles sont indiqués dans le projet des Recommandations en tenant compte d'un coefficient de sécurité.

Pour les appareils à résistances à sécurité renforcée, des précautions spéciales sont nécessaires afin d'éviter la formation d'étincelles et des températures trop élevées. En service normal, il ne doit pas pouvoir se produire de rupture dans les résistances,

qui seront fixées de façon à exclure tout contact entre elles et avec le carter.

En raison de la formation d'étincelles ou d'arcs qui résulte de leur actionnement, les *appareils de couplage et de commande* ne peuvent pas être à sécurité renforcée. Ceux à courant continu ne peuvent pas non plus être protégés par immersion dans l'huile, car les arcs en courant continu ne peuvent être que difficilement éteints et donnent lieu à des quantités relativement grandes de produits de décomposition gazeux.

Outre les précautions mentionnées pour la protection par carter résistant à la pression, les appareils de couplage et de commande de ce genre de protection doivent être verrouillés de façon que la résistance à la pression ne puisse être supprimée qu'à l'état déclenché et que l'enclenchement soit rendu impossible, tant que le blindage résistant à la pression n'a pas été rétabli. Cette exigence peut être satisfaite au moyen d'une fermeture centrale ou individuelle. Avec la fermeture centrale, toutes les parties intérieures peuvent être mises hors tension avant que la résistance à la pression soit supprimée, c'est-à-dire que l'on puisse commencer à ouvrir le couvercle. Des fermetures spéciales ne sont pas nécessaires dans le cas d'une fermeture centrale. Par contre, les bornes de raccordement au réseau qui demeurent sous tension après l'ouverture du carter doivent être protégées contre tout contact fortuit par des recouvrements à fermetures spéciales. Cette précaution a pour but d'empêcher que des personnes non autorisées puissent avoir accès aux parties sous tension. Quand il s'agit de grands carters, il est préférable de les exécuter avec fermeture individuelle, car leur construction est rendue extrêmement malaisée du fait que, pour la classe d'explosion 3, les interstices doivent être inférieurs à 0,1 mm. La fermeture individuelle consiste en un vissage des brides du carter, prévu de façon que les vis ne puissent être dégagées que lorsque les parties intérieures sont hors tension ou le deviennent par suite du dégagement de ces vis. Cette exigence conduit à un verrouillage passablement compliqué et le dégagement de nombreuses vis est également une complication lorsque le carter doit être fréquemment ouvert et refermé durant le service. Il est donc permis d'exécuter sans verrouillage les interrupteurs et contacteurs qui ne renferment pas de coupe-circuit à fusible, à la condition qu'ils soient munis de fermetures spéciales et que leur couvercle porte d'une façon bien visible l'avertissement que les circuits principaux et pilotes doivent être mis hors tension avant l'ouverture. Une réglementation analogue est prévue pour les sectionneurs de protection de lignes, lorsqu'ils peuvent être actionnés sans les ouvrir.

Les *coupe-circuit à fusible* ne doivent être exécutés que selon le genre de protection par carter résistant à la pression ou par ventilation séparée, en raison de la formation d'étincelles lors de la fusion ou du remplacement des fusibles ou en cas de dégagement intempestif. Lorsqu'ils sont protégés par carter résistant à la pression, ils doivent en outre être verrouillés de façon que la mise en place et l'enlèvement des fusibles ne soient possibles qu'à l'état hors tension. Cette exigence est pratiquement satis-

faite par le montage d'un interrupteur spécial, qui est verrouillé avec le couvercle du carter, de telle sorte que celui-ci ne puisse être ouvert que lorsque cet interrupteur est en position déclenchée, et que le réenclenchement de celui-ci ne soit possible que lorsque le carter a été refermé d'une manière résistante à la pression.

Les *interrupteurs* protégés par immersion dans l'huile doivent offrir la garantie que l'inflammation d'un mélange explosible se trouvant au-dessus de la surface de l'huile ne puisse en aucun cas se produire du fait des étincelles de déclenchement, ceci même en cas de déclenchements de courts-circuits ou de moteurs qui démarrent. Le recouvrement d'huile doit atteindre une hauteur d'au moins 10 mm à la température ambiante la plus basse et sans échauffement par le courant de service. Les gaz et vapeurs qui prennent naissance, lors du couplage, par suite de la vaporisation et de la décomposition thermique de l'huile ne doivent pas produire de surpression mesurable dans le récipient. Lorsque de notables quantités de gaz et vapeurs se dégagent, il faut donc que ceux-ci puissent s'échapper par des interstices du carter ou par des orifices d'aération.

Dans certains pays, on admet également une combinaison de carter résistant à la pression et d'immersion dans l'huile. Nous estimons qu'un tel genre de protection est non seulement inadmissible, mais aussi franchement dangereux. En effet, lors du déclenchement de forts courts-circuits, les gaz de décomposition peuvent produire une surpression à l'intérieur du carter résistant à la pression, car ces gaz ne peuvent pas s'échapper assez rapidement par les étroits interstices du carter. Il en résulte une certaine précompression et, étant donné que la pression d'explosion est directement proportionnelle à la pression initiale, il peut en résulter des pressions incontrôlables (jusqu'à 20 kg/cm<sup>2</sup>), auxquelles les carters devraient pouvoir résister, ce qui ne serait économiquement guère réalisable.

Dans le cas des interrupteurs à protection par immersion dans l'huile, seuls les éléments de couplage peuvent être immergés, tandis que les autres accessoires, tels que des dispositifs d'interruption en cas de surintensité, des lampes témoins et des bornes de connexion, doivent être exécutés selon un autre genre de protection approprié, par exemple par carter résistant à la pression pour les dispositifs d'interruption en cas de surintensité et à sécurité renforcée pour les lampes témoins et les bornes de connexion.

Lorsque plusieurs interrupteurs, dispositifs d'interruption en cas de surintensité, coffrets de distribution, ainsi que d'autres appareils et instruments, doivent être installés dans un local exposé aux dangers d'explosion, chacun de ces appareils peut être exécuté avec le genre de protection qui est admis dans son cas, ou bien ils peuvent être tous groupés dans une même installation prévue avec un seul genre de protection. Une solution pratique consiste à prévoir pour les interrupteurs et les dispositifs d'interruption en cas de surintensité la protection par carter résistant à la pression et pour les coffrets de distribution la protection à sécurité renforcée, les différents carters étant assemblés selon le système de la boîte de construction.

Pour les installations de couplage et de distribution, la protection par ventilation séparée convient tout particulièrement, car elle permet d'utiliser du matériel d'exécution normale. Cela nécessite toutefois les dispositifs supplémentaires qu'indique la figure 7. Lors de la construction, il y a lieu de veiller à ce que les armoires de couplage et de distribution soient convenablement ventilées. Dans les locaux où règnent de l'humidité ou des gaz et vapeurs corrosifs, la ventilation séparée permet d'en supprimer les effets.

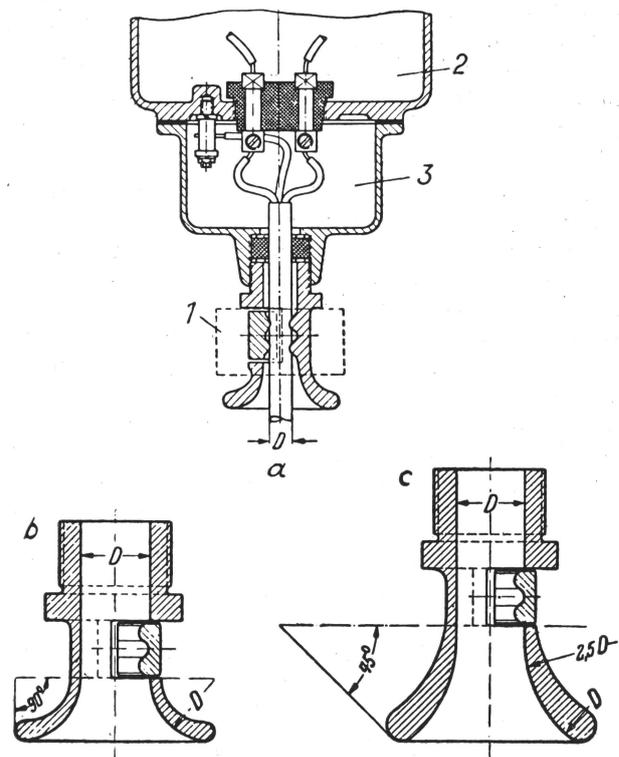


Fig. 9

## Introduction de conducteurs

- 1 Endroit d'introduction
- 2 Carter résistant à la pression
- 3 Sécurité renforcée

Dans le cas des *dispositifs de connexion à fiches*, la protection par carter résistant à la pression entre seule en considération et les contacts doivent être enfermés selon ce genre de protection lors du passage du courant. Le carter résistant à la pression peut être réalisé soit par le carter de la fiche et du socle, soit par un blindage des endroits de contact eux-mêmes. Dans le premier cas, la profondeur d'introduction de l'un des carters dans l'autre, à l'instant de la coupure du courant, doit présenter encore une longueur du joint plus grande que celle qui est nécessaire, à l'état embroché, pour le carter résistant à la pression. La raison de cette exigence est que, d'une part, les interstices ne peuvent pas être maintenus avec une extrême précision et que, d'autre part, la résistance à la pression doit encore être garantie à la position extrême, qui peut encore donner lieu à une formation d'étincelles. Par contre, lorsque chacun des endroits de contact dans le dispositif de connexion à fiche est blindé individuellement, les espaces dans lesquels une explosion pourrait se produire sont alors si restreints que les longueurs des joints peuvent être prévues avec une moins grande précision. Les dimensions recomman-

dées pour les joints et les interstices sont indiquées dans le projet des Recommandations.

La plupart des dispositifs de connexion à fiches mis sur le marché sont combinés avec un interrupteur, de telle sorte que l'embrochage et le débrogage ne peuvent avoir lieu qu'à l'état hors tension, ce qui est également prévu dans le projet des Prescriptions.

Une détérioration des *amenées de courant mobiles* du matériel antidéflagrant pouvant donner lieu à une formation d'étincelles ou à un échauffement inadmissible, les endroits d'introduction doivent être en forme de trompette. La figure 9a représente une introduction de conducteurs à sécurité renforcée dans un carter résistant à la pression, tandis que les figures 9b et 9c montrent l'exécution d'entrées pour cordons jusqu'à 30 mm de diamètre et de plus de 30 mm, respectivement.

A ce propos, il y a lieu de faire remarquer que non seulement tous les récepteurs d'énergie électrique, mais aussi les conducteurs fixes ou mobiles, doivent être protégés contre des surcharges, afin d'éviter des températures dangereuses. Les conducteurs doivent être soigneusement tirés et les boîtes de raccordement et de jonction amplement dimensionnées, afin que les connexions puissent être établies en observant les lignes de fuite et les distances dans l'air prescrites.

Les *luminaires* peuvent être exécutés selon les genres de protection par carter résistant à la pression, à sécurité renforcée ou par ventilation séparée. Les luminaires à ventilation séparée n'ayant guère d'importance pratique jusqu'ici, les dispositions ne concernent que le carter résistant à la pression et la sécurité renforcée. Au cas où des luminaires à ventilation séparée seraient pratiquement utilisés, ils pourront être éprouvés et admis comme protection spéciale, en appliquant en conséquence les dispositions concernant le genre de protection par ventilation séparée.

Les parties translucides des luminaires à carter résistant à la pression font partie de ce blindage et doivent donc satisfaire aux dispositions concernant ce genre de protection et supporter une pression de 8 à 10 kg/cm<sup>2</sup>. De même, le carter résistant à la pression ne doit pouvoir être supprimé qu'à l'état hors tension, de sorte qu'il y a lieu de prévoir des verrouillages qui ne permettent une ouverture du carter que lorsque toutes les parties accessibles sont hors tension.

Dans des luminaires à sécurité renforcée, les lampes ne doivent pouvoir être remplacées qu'à l'état hors tension, à moins de prévoir des douilles spéciales, confinant dans un espace blindé, résistant à la pression, les étincelles produites lors du remplacement de la lampe.

Les parties translucides de tous les luminaires doivent être protégées contre les endommagements mécaniques par des dispositifs appropriés, tels que paniers ou grillages; des exceptions sont admissibles dans le cas où les luminaires sont disposés de façon qu'il est peu probable qu'ils puissent être endommagés par inadvertance.

La fabrication de luminaires à sécurité renforcée pour groupes d'inflammabilité C et D présente certaines difficultés pour des lampes en forme d'am-

poule, car les températures d'inflammabilité, qui ne doivent pas être atteintes (y compris un coefficient de sécurité) pour les gaz et vapeurs de ces deux groupes, sont inférieures aux températures des lampes à incandescence. En effet, la température des ampoules de ces lampes peut atteindre 200 °C environ, suivant la puissance, tandis que la température d'inflammabilité de l'éther diéthylique est de 180 °C et celle du sulfure de carbone de 120 °C seulement. Etant donné que, dans le cas de la protection à sécurité renforcée, les gaz et vapeurs viennent en contact avec les endroits chauds de la lampe, on ne doit utiliser que des lampes offrant toute garantie que les températures et échauffements limites indiqués dans le projet de Recommandations ne seront pas dépassés. Dans des locaux présentant des dangers d'explosion par des gaz ou vapeurs des groupes d'inflammabilité C et D, il n'est donc guère possible d'utiliser des luminaires à sécurité renforcée. Pour estimer le danger d'explosion, il y a toutefois lieu de tenir compte que ces gaz et vapeurs sont nettement plus lourds que l'air. D'entente avec les organes compétents de l'Inspection du travail et de la Police du feu, il peut donc être possible d'utiliser de tels luminaires, lorsque la hauteur et le volume des locaux considérés, ainsi que le genre de l'installation et le système d'aération, l'autorisent.

Un dégagement intempestif des lampes en forme d'ampoule et des lampes à fluorescence doit être efficacement empêché par des dispositifs spéciaux, tels que le montage de ressorts. Les douilles des lampes à fluorescence doivent également être assurées contre tout dégagement intempestif, compte tenu des écarts de longueurs des lampes de commerce, afin d'éviter la formation d'étincelles.

Comme tous les équipements électriques transportables, les *baladeuses* et lampes pour fûts sont soumises à des sollicitations supplémentaires et doivent être particulièrement résistantes. Les globes de verre doivent supporter une chute d'une hauteur de 1,5 m sur une plaque en bois de hêtre, de même qu'un refroidissement brusque de 100 à 0 °C. Il faut également éviter la formation d'étincelles par suite de chocs, c'est-à-dire que les parties extérieures des baladeuses et lampes pour fûts doivent être en métaux non ferreux ou être protégées par des revêtements suffisants.

#### d) Protection contre les poussières

Ainsi que nous l'avons dit au début, le projet des Prescriptions ne concerne pas le matériel destiné à des locaux exposés aux dangers de déflagration de poussières. Dans cet article d'introduction, il paraît toutefois indiqué de donner également quelques explications sur le danger de telles déflagrations engendrées par du matériel électrique et sur les genres de protection applicables.

Chaque matière combustible solide peut donner lieu à des déflagrations de poussières, lorsqu'elle est répartie d'une façon suffisamment fine et en concentration suffisante dans l'air. Le danger de déflagration doit cependant être jugé selon d'autres critères que dans le cas des gaz et des vapeurs. Il dépend principalement de la grandeur et de la forme des grains de poussière, ainsi que de la nature

de la surface de ceux-ci et de leur composition chimique. Le danger est d'autant plus grand que les grains sont plus fins. On peut admettre que des grains de plus de 0,3 mm de diamètre sont sans danger. Pour la plupart des poussières, les essais ont montré que les limites inférieures d'explosion sont de l'ordre de 20 à 40 g/m<sup>3</sup>. Ces limites sont donc relativement élevées, mais toutes ces indications doivent être adoptées avec circonspection, car les résultats des essais dépendent beaucoup des conditions de ceux-ci et surtout de la composition des particules solides de la poussière. La répartition des différentes grandeurs des grains joue un rôle essentiel.

Contrairement aux mélanges de gaz et d'air ou de vapeur et d'air, la poussière est déjà visible pour des concentrations de quelques g/m<sup>3</sup>, l'air devenant alors opaque à une faible distance. On est donc averti longtemps avant que la limite inférieure d'explosion soit atteinte. Un danger particulier provient toutefois d'un tourbillonnement des particules solides de la poussière, ce qui peut se produire par exemple par suite d'un échauffement, d'inétanchités, de processus mécaniques ou de courants d'air. Il suffit alors qu'une très faible couche de poussière se mette à tourbillonner, pour qu'il en résulte une concentration dangereuse. S'il y a une source d'inflammation, la formation de très petits nuages de poussière ainsi concentrée, dépassant la limite inférieure de déflagration, devient suffisante pour provoquer une première déflagration qui serait sans danger, si elle ne provoquait pas de nouveaux nuages de poussière, qui entrent à leur tour en inflammation. Il s'ensuit une sorte de réaction en chaîne, capable de produire de graves explosions.

Les étincelles, les arcs ou un fort échauffement du matériel électrique constituent des sources d'inflammation susceptibles d'amorcer des déflagrations de poussière. Néanmoins, il ne faut pas surestimer ce danger, car les intensités capables de provoquer une inflammation sont plus élevées que dans le cas des gaz et des vapeurs. On peut empêcher efficacement de telles explosions en logeant les parties provoquant des étincelles dans des carters étanches aux poussières, par exemple en les vissant dans des trous borgnes et en utilisant de bonnes garnitures d'étanchéité. Une parfaite étanchéité aux poussières n'est toutefois réalisable qu'avec des carters capables de supporter les écarts de densités entre l'intérieur et l'extérieur.

Lorsque des matières combustibles se déposent à la surface ou à l'intérieur de matériel électrique, elles peuvent s'enflammer spontanément dès qu'une certaine température est dépassée, de sorte qu'il en résulte une déflagration par tourbillonnement de poussière. Dans les locaux poussiéreux, le matériel doit donc être prévu de façon que les températures soient modérées, à empêcher que des matières solides puissent facilement s'y déposer et à permettre sans difficulté un enlèvement des couches de poussière éventuelles. En tout cas, de la poussière ne doit pas pouvoir se déposer sur des parties qui dépassent une température d'environ 100 °C, les matières organiques ayant déjà tendance à s'enflammer spontanément à cette température, voire même à une température encore plus basse.

### *Epreuve du matériel antidéflagrant*

Selon les dispositions du Règlement concernant le signe distinctif de sécurité (Publ. n° 0204 de l'ASE), le matériel antidéflagrant doit être soumis à un épreuve de type, destiné à constater s'il est conforme aux exigences prescrites. Le projet des Prescriptions sur ce matériel renferme donc également des dispositions concernant les épreuves, mais les détails de l'exécution de celles-ci ne figurent pas dans les Prescriptions proprement dites, mais uniquement dans les Recommandations, afin de permettre une certaine latitude et de tenir compte de nouvelles expériences faites dans ce domaine.

Le matériel *protégé par carter résistant à la pression* doit être éprouvé au point de vue de la résistance à la pression et de la résistance à la transmission de la déflagration (également en cas de déformation), ces trois essais pouvant être groupés dans un même cycle d'essais. Dans ce but, les carters sont soumis à un épreuve d'explosion. Pour prouver la résistance à la transmission de la déflagration, les carters sont placés dans une chambre et remplis, de même que la chambre, d'un mélange explosible choisi selon la classe d'explosion. On provoque l'inflammation du mélange se trouvant dans le carter. Celui-ci doit supporter la pression d'explosion et la déflagration ne doit pas se transmettre au mélange se trouvant dans la chambre. En outre, il y a lieu d'apporter la preuve que l'explosion n'a pas provoqué de déformations permanentes du carter.

Dans le cas du matériel *protégé par immersion dans l'huile* (il s'agit surtout d'appareils de couplage), l'essai doit prouver qu'un mélange explosible se trouvant au-dessus de l'huile ne subit pas d'inflammation par suite de la formation d'étincelles et d'arcs dans l'huile. Les énergies dépassant la puissance nominale, par exemple celle de démarrage d'un moteur, doivent également pouvoir être déclenchées avec certitude, aussi l'épreuve a-t-elle lieu pour une puissance supérieure à celle de service. Les couplages sont répétés à des intervalles de 10 s, afin de tenir compte de l'échauffement de l'huile et d'une augmentation éventuelle de la pression en cas de désaération insuffisante du carter.

L'épreuve d'explosion du matériel antidéflagrant nécessite des dispositifs spéciaux et prend passablement de temps. Il peut également en résulter une destruction du matériel en épreuve. Certains matériels d'installation et appareils peuvent toutefois être vérifiés sans subir un épreuve d'explosion. On a donc prévu que le matériel ne doit être soumis à un épreuve d'explosion que lorsque l'Inspectorat des installations à courant fort estime qu'une telle est nécessaire. On pourra pratiquement renoncer à l'épreuve d'explosion pour le matériel à sécurité renforcée et celui qui est protégé par ventilation séparée. Pour le matériel protégé par carter résistant à la pression, une épreuve d'explosion ne sera probablement pas nécessaire lorsqu'on sait, par expérience, qu'il est d'une exécution capable de supporter la pression d'explosion considérée. Ce sera par exemple le cas d'un matériel de faible volume, tels que les petits interrupteurs, qui doivent d'ailleurs être dimensionnés plus fortement que ne l'exige la pression d'explosion. La longueur des joints et les interstices peuvent être contrôlés par une mesure. De même,

les appareils de couplage dans l'huile n'ont pas besoin d'être soumis à une épreuve d'explosion, lorsque les pièces de couplage sont recouvertes d'une couche d'huile d'au moins 15 mm et qu'il s'agit d'appareils ne dépassant pas une certaine puissance, ni une certaine tension (1 kVA, 500 V).

*f) Inscriptions*

Le matériel électrique doit être désigné conformément à ce qui est spécifié dans les Prescriptions sur les installations intérieures et les Prescriptions correspondantes de l'ASE, relatives à la sécurité. Le matériel antidéflagrant doit porter en outre certaines inscriptions *supplémentaires*. Tout matériel qui a subi avec succès les épreuves de résistance à l'explosion doit porter le symbole *Ex*. Les nombreuses possibilités de construction exigent également d'autres désignations, qui sont d'ailleurs utiles dans le cas d'une modification de la production et par conséquent d'une modification du danger d'explosion (présence de gaz ou vapeurs d'autres groupes d'inflammabilité et classes d'explosion), afin que l'on puisse constater d'après les inscriptions si le matériel répond ou non aux nouvelles exigences. Il importe surtout d'indiquer par des inscriptions supplémentaires le genre de protection, ainsi que les groupes d'inflammabilité et les classes d'explosion, pour lesquels le matériel est construit.

Outre le symbole *Ex*, tout le matériel antidéflagrant doit porter le symbole de son genre de protection (d, o, f, e, s) et le symbole du groupe d'inflammabilité (A, B, C, D). De plus, le matériel protégé par carter résistant à la pression doit porter le symbole de la classe d'explosion (1, 2, 3).

Exemples d'inscriptions supplémentaires:

a) Moteur à sécurité renforcée, admis pour les quatre groupes d'inflammabilité: *Ex-e-D*.

b) Interrupteur protégé par carter résistant à la pression, admis pour les groupes d'inflammabilité A, B, C et pour les classes d'explosion 1, 2: *Ex-d-C-2*.

Les appareils de couplage et de commande protégés par immersion dans l'huile doivent porter non seulement le symbole *Ex*, le symbole du genre de protection et le symbole du groupe d'inflammabilité, mais en outre la désignation du genre de courant et du courant de déclenchement maximum admissible.

Les luminaires pour lampes en forme d'ampoule doivent porter de façon bien visible l'indication de la puissance de celle des lampes pour laquelle la température admissible n'est pas dépassée.

**Bibliographie**

- [1] Müller-Hillebrand, Dietrich: Grundlagen der Errichtung elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Betrieben. Berlin: Springer 1940.
- [2] Freytag, Helmut: Raumbexplosionen durch elektrische Anlagen. Berlin: Verlag Chemie 1949.
- [3] Sicherheit im Chemiebetrieb, hg. von der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie. Düsseldorf: ECON-Verlag 1954.
- [4] VDE 0170/IV. 44 und 0171/IV. 44: Vorschriften für schlagwetter- und explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel. Berlin-Charlottenburg: VDE-Verlag 1944.
- [5] CEI Publ. 79: Recommendations pour la construction des carters antidéflagrants d'appareils électriques. Genève: Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 1957.

Adresse de l'auteur:

E. Bitterli, ing. dipl., inspecteur fédéral des fabriques du 3° arr., 37, Utoquai, Zurich 8.

**Communications de nature économique**

**Prix moyens (sans garantie)  
le 20 du mois**

*Métaux*

		Juillet	Mois précédent	Année précédente
Cuivre (fils, barres) <sup>1)</sup>	fr.s./100 kg	267.—	270.—	365.—
Etain (Banka, Billiton) <sup>2)</sup>	fr.s./100 kg	916.—	932.—	918.—
Plomb <sup>1)</sup> . . . . .	fr.s./100 kg	114.—	114.—	145.—
Zinc <sup>1)</sup> . . . . .	fr.s./100 kg	94.—	92.—	122.—
Fer (barres, profilés) <sup>3)</sup>	fr.s./100 kg	67.50	67.50	63.—
Tôles de 5 mm <sup>3)</sup> . . .	fr.s./100 kg	73.—	73.—	65.—

<sup>1)</sup> Prix franco Bâle, marchandise dédouanée, chargée sur wagon, par quantité d'au moins 50 t.

<sup>2)</sup> Prix franco Bâle, marchandise dédouanée, chargée sur wagon, par quantité d'au moins 5 t.

<sup>3)</sup> Prix franco frontière, marchandise dédouanée, par quantité d'au moins 15 t.

*Combustibles et carburants liquides*

		Juillet	Mois précédent	Année précédente
Benzine pure / Benzine éthylée <sup>1)</sup> . . . . .	fr.s./100 kg	40.—	41.—	41.—
Carburant Diesel pour véhicules à moteur . . .	fr.s./100 kg	40.25	41.20 <sup>3)</sup>	37.30 <sup>2)</sup>
Huile combustible spéciale <sup>2)</sup> . . . . .	fr.s./100 kg	21.10	21.10 <sup>3)</sup>	18.80
Huile combustible légère <sup>2)</sup> . . . . .	fr.s./100 kg	20.30	20.30 <sup>3)</sup>	17.80
Huile combustible industrielle moyenne (III) <sup>2)</sup> . . . . .	fr.s./100 kg	16.55	16.55 <sup>3)</sup>	14.35
Huile combustible industrielle lourde (V) <sup>2)</sup>	fr.s./100 kg	15.35	15.35 <sup>3)</sup>	13.15

<sup>1)</sup> Prix-citerne pour consommateurs, franco frontière suisse, dédouané, ICHA y compris, par commande d'au moins 1 wagon-citerne d'environ 15 t.

<sup>2)</sup> Prix-citerne pour consommateurs (industrie), franco frontière suisse Buchs, St-Margrethen, Bâle, Genève, dédouané, ICHA non compris, par commande d'au moins 1 wagon-citerne d'environ 15 t. Pour livraisons à Chiasso, Pino et Iselle: réduction de fr.s. 1.—/100 kg.

<sup>3)</sup> Prix-citerne pour consommateurs (industrie), franco frontière suisse Bâle, dédouané, ICHA non compris, par commande d'au moins 1 wagon-citerne d'environ 15 t. Pour livraisons à Chiasso, Pino et Iselle, les prix doivent être diminués de fr.s. 1.—/100 kg; pour livraisons à Buchs, St-Margrethen et Genève, les prix doivent être majorés de fr.s. —.80/100 kg.

*Charbons*

		Juillet	Mois précédent	Année précédente
Coke de la Ruhr I/II . . . . .	fr.s./t	149.—	149.—	133.—
Charbons gras belges pour l'industrie				
Noix II . . . . .	fr.s./t	135.50	135.50	115.—
Noix III . . . . .	fr.s./t	135.50	135.50	112.50
Noix IV . . . . .	fr.s./t	135.50	135.50	109.—
Fines flambantes de la Sarre . . . . .	fr.s./t	102.50	102.50	89.50
Coke français, Loire . .	fr.s./t	155.50	155.50	139.50
Coke français, nord . .	fr.s./t	149.—	149.—	129.50
Charbons flambants polonais				
Noix I/II . . . . .	fr.s./t	136.—	136.—	117.50
Noix III . . . . .	fr.s./t	133.50	133.50	115.—
Noix IV . . . . .	fr.s./t	133.50	133.50	115.—

Tous les prix s'entendent franco St-Margrethen, marchandise dédouanée, pour livraison par wagons entiers à l'industrie, par quantité d'au moins 15 t.