

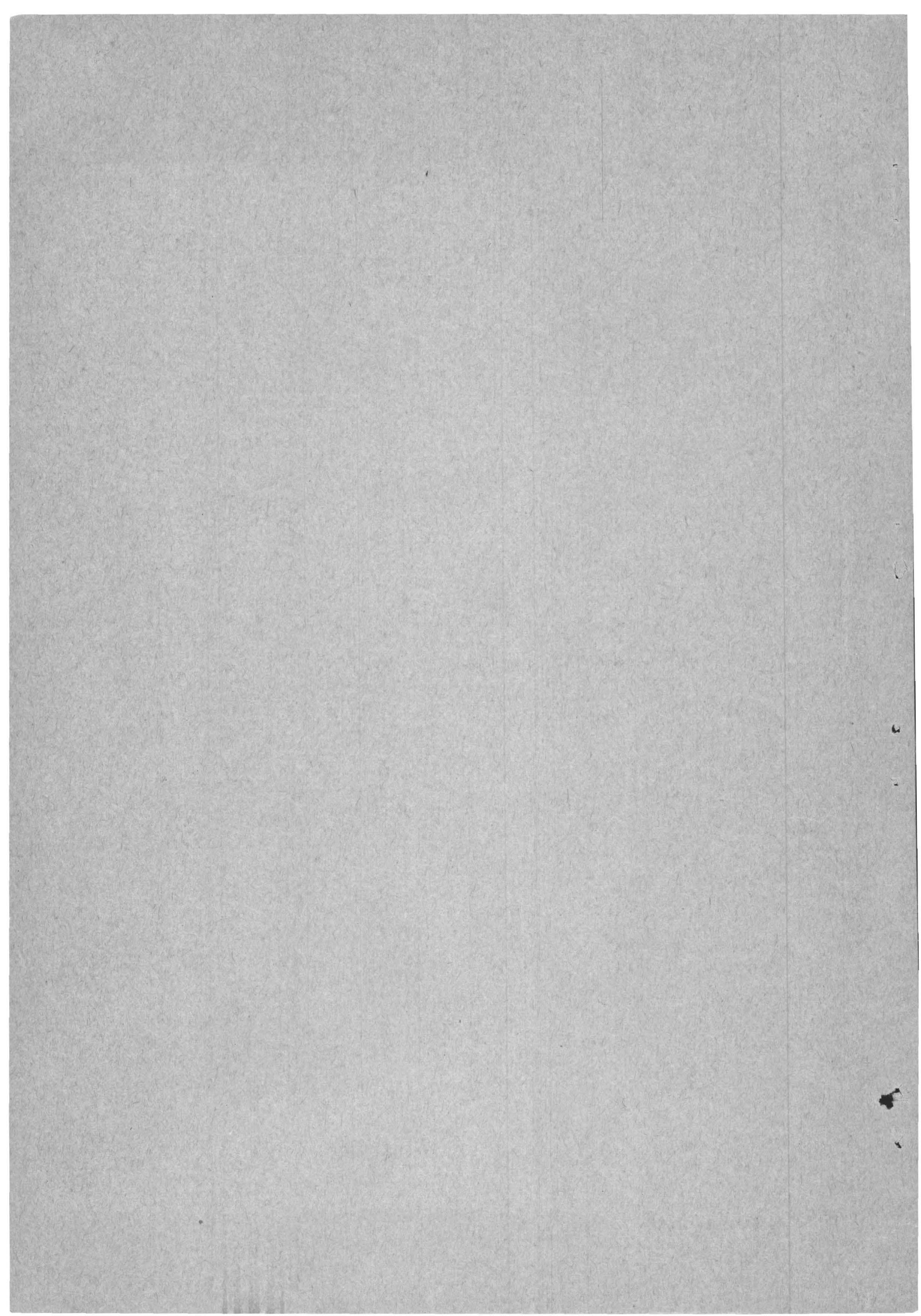
COMMISSION DES COMMUNAUTÉS  
EUROPÉENNES

DIRECTION GÉNÉRALE  
Affaires sociales

**Commission générale de la sécurité du travail  
dans la sidérurgie**

**OXYGENE**

**Organes de sectionnement et de réglage**





COMMISSION DES COMMUNAUTÉS  
EUROPÉENNES

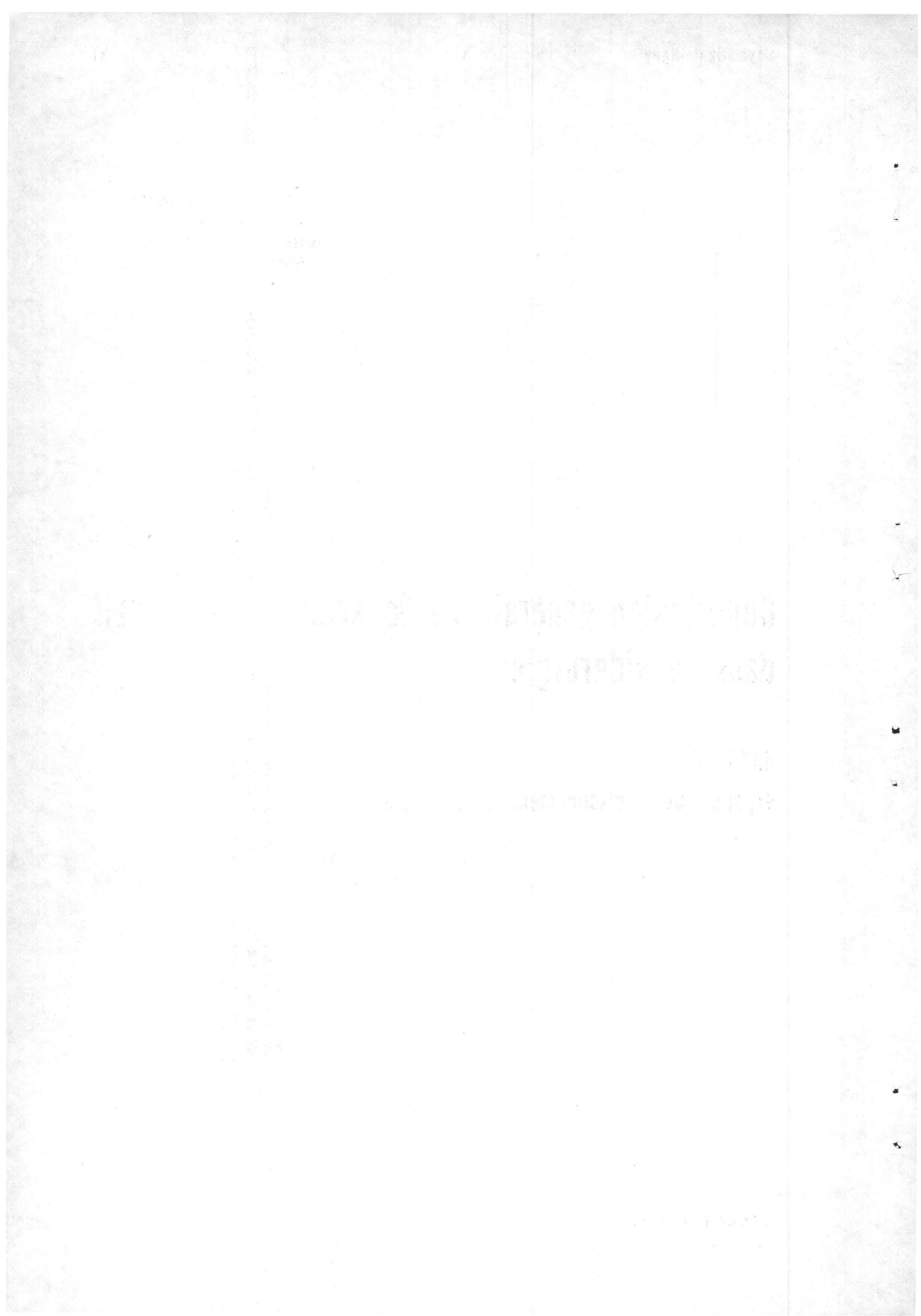
DIRECTION GÉNÉRALE  
Affaires sociales

**Commission générale de la sécurité du travail  
dans la sidérurgie**

**OXYGENE**

**Organes de sectionnement et de réglage**

LUXEMBOURG 1970





A l'initiative de la commission générale de la sécurité du travail, les problèmes de prévention des accidents soulevés par la distribution d'oxygène dans les usines sidérurgiques sont en cours d'étude par un groupe de travail composé d'ingénieurs ayant la responsabilité de ces installations et appartenant aux six pays de la Communauté.

L'ensemble de l'étude portera sur les points ci-après :

- 1 - Organes de sectionnement et de réglage
- 2 - Filtres
- 3 - Appareillage de mesure
- 4 - Organes d'assemblage et joints
- 5 - Postes d'utilisation
- 6 - Tuyaux flexibles
- 7 - Réservoir de stockage
- 8 - Lubrifiants

La commission générale de la sécurité du travail dans la sidérurgie présente en premier lieu le texte du 1er point :

"Organes de sectionnement et de réglage"

D'autres points de l'étude sont actuellement discutés par le groupe de travail et viendront la compléter au fur et à mesure de leur adoption.

Le but de la commission générale est de procéder à des échanges d'expériences, de fournir des éléments d'appréciation aux professionnels de la spécialité, et, en fin de compte, de présenter des exemples de solutions valables basées sur la pratique.

Il convient donc de rappeler que l'étude du sujet traité n'a pas pour base les diverses réglementations des pays de la Communauté, mais bien l'expérience.

La commission générale se réjouirait vivement si les textes qu'elle propose faisaient l'objet, de la part des spécialistes, d'examens attentifs voire même critiques ainsi que de discussions constructives, lesquelles sont toujours génératrices de progrès.

REMARQUE IMPORTANTE

Ce présent document n'a qu'un aspect provisoire et ce pour différentes raisons :

- l'étude a débuté en 1966 et depuis lors, les techniques relatives aux appareillages à oxygène ont évolué;
- la vitesse limite dans les conduites en acier au carbone non allié ou faiblement allié n'a pas été déterminée par le groupe de travail (problème qui toutefois a été abordé, mais partiellement seulement lors de l'examen des conditions d'emploi des organes de sectionnement et de réglage).

Du fait que les incidents et accidents n'intéressent que le matériel nécessaire à l'exploitation des canalisations dans la très grande majorité des cas, il était logique que le groupe de travail se penche tout d'abord sur les points indiqués page 2. Toutefois, l'étude des canalisations (dimensionnement, conception, tracé, pose, exploitation) fera l'objet de travaux ultérieurs, après lesquels le groupe de travail réexaminera le présent texte.



1 - AVANT-PROPOS

L'industrie sidérurgique, depuis la dernière guerre mondiale, a mis en oeuvre de nouvelles techniques, afin d'améliorer la qualité de ses produits et de diminuer ses frais d'exploitation et, parmi celles-ci, il est incontestable que les multiples applications de l'oxygène en sidérurgie ont pris un développement spectaculaire; en ne retenant uniquement que la diversité actuelle des débits instantanés, celle-ci s'étend entre le débit du chalumeau oxy-coupeur qui est de l'ordre de quelques Nm<sup>3</sup>/h, et les débits de soufflage des récents convertisseurs du type LD, qui sont de plusieurs dizaines de milliers de Nm<sup>3</sup>/h. Pour faire face à des consommations d'oxygène sans cesse grandissant, les usines de production se sont donc développées, tant en nombre qu'en importance, et, comme les fournitures à l'aide de récipients mobiles de ce gaz sur les lieux de consommation ne devenaient ni possibles ni rationnelles, les usines de production furent raccordées aux lieux de consommation par des réseaux de canalisations. L'usine sidérurgique, qui a suivi cette évolution technique, distribue dans ces conditions l'oxygène à chacun des postes d'utilisation par un réseau de tuyauteries, plus ou moins complexe, car très souvent il doit s'adapter à la diversité des débits entrevue plus haut; autrement dit, c'est la fonction; c'est-à-dire la nature et le lieu de l'utilisation, qui conditionne le tracé et la section de la conduite ainsi que les caractéristiques des organes d'exploitation.

Il est certain que dès que ces réseaux ont vu le jour, des précautions toutes particulières ont été prises par les spécialistes chargés de leur construction, et ceci dans tous les pays; ces précautions ont tenu compte notamment de la propriété fondamentale de l'oxygène d'être un comburant très énergétique, des pressions de distribution très supérieures à celles normalement utilisées dans une usine sidérurgique pour les autres gaz, (vents froid et chaud, gaz de four à coke et de haut fourneau par exemple) et des conditions particulières d'utilisation. Sans vouloir mettre en doute, ni la bonne volonté de ces

spécialistes, ni leur compétence et leur expérience, on peut se demander si la conception et la réalisation de ces réseaux de distribution n'ont pas été faites avec un certain pragmatisme, c'est-à-dire n'ont pas suivi des idées toutes faites et couramment admises, s'appuyant sur des hypothèses sans que des essais méthodiques aient prouvé leur bien-fondé. Il en résulte qu'on peut constater en pratique que les principaux constructeurs à l'échelle mondiale, qui ont réalisé et continuent de réaliser des installations à oxygène de grande importance, ne sont pas toujours d'accord sur certains concepts à retenir pour l'établissement de projets, parmi lesquels il faut noter en particulier les concepts concernant la sécurité des personnes et des installations elles-mêmes; souvent même, il arrive que ces concepts s'opposent résolument entre eux.

Le développement de l'oxygène en sidérurgie pose des problèmes comme tout procédé industriel en évolution et a eu des répercussions, aussi bien pour les hommes que pour les équipements, répercussions résultant, soit de négligences et d'erreurs, soit de causes extérieures, soit enfin peut-être de ce que "les concepts s'opposent résolument entre eux". Une telle situation est troublante et ne devrait plus exister. Afin d'y remédier, une initiative s'imposait dans l'espoir qu'un examen méticuleux montrerait que les divergences actuelles dans le domaine de la conception, de la réalisation de l'exploitation et de l'entretien des circuits de distribution et d'utilisation d'oxygène, sont plus réelles dans leurs apparences que dans leurs fonds.

C'est dans ce but que dans le cadre des travaux de la commission générale de la sécurité du travail dans la sidérurgie, un groupe de travail "Sécurité - Conduites à oxygène" a été constitué.

Le présent document a pour but, d'exposer les conclusions auxquelles les experts sont arrivés.



Le lecteur non averti de la présente note pourra se poser différentes questions au sujet des positions prises par les experts, de leurs conclusions et de leurs divergences éventuelles; aussi, afin de l'éclairer, il paraît judicieux, au préalable, de s'étendre quelque peu sur les différents états d'esprit au sein du groupe de travail.

Relater de façon objective des échanges de vues est déjà assez peu facile, exposer objectivement des états d'esprit est chose difficilement réalisable, car l'observateur ne peut pas "se vider de son moi"; c'est pour cela que ce chapitre risque fort d'être subjectif. Néanmoins cet essai vaut la peine d'être tenté.

Les experts ont des formations, des activités professionnelles et des préoccupations fort diverses : culture scientifique à l'Université, formation technique à l'école d'ingénieurs, goût de la technologie concernant les problèmes sidérurgiques ou les problèmes de production et de distribution d'oxygène, goût de la recherche appliquée, intérêt pour les méthodes et solutions pratiques améliorant la sécurité des personnes et des installations, intérêt pour les dispositions diminuant les frais d'exploitation. Autrement dit, ils ont examiné les sujets avec des optiques différentes : pour les uns, le but est d'arriver à des conclusions pratiques qui tiennent compte des différentes expériences actuelles, d'adopter ce qui marche et d'éliminer ce qui est douteux, alors que pour les autres, le fond du problème est de formuler des hypothèses sur l'origine des causes des incidents, de ne les retenir que si l'expérimentation méthodique a révélé leur bien-fondé, de définir les dispositions pratiques qui, fruits logiques de l'expérimentation, éviteront le renouvellement des incidents; "progressistes", ceux-ci pensent à l'avenir, attachant beaucoup d'importance sur ce qui doit être rationnellement fait, prenant une attitude libérale vis-à-vis de certaines questions et qui risque d'être difficilement admises par ceux qui restent attachés aux notions devenues traditionnelles, alors que les premiers ont une position à la fois pragmatique et conservatrice.

Qui a raison ? Telle est la question qui peut être posée. Car en fait "adopter ce qui marche et éliminer ce qui est douteux" signifie que sur le plan de l'amélioration de la sécurité (c'est uniquement le but final à atteindre) toute solution technique qui a été la cause de difficultés, aussi bien pour la mise en oeuvre du procédé sidérurgique que pour l'homme, doit systématiquement être écartée; en a-t-il été ainsi dans les inventaires dont il sera question plus loin ? Les récents détaillés d'incidents ou d'accidents, les enquêtes qui presque toujours les suivent, sont les seuls critères qui permettent de dire si telle ou telle solution est réellement industriellement valable. Mais là aussi, ne peut-on pas se poser une autre question; un incident, voire un accident isolé sur une solution très répandue et exploitée intensément peut-il autoriser la condamnation de cette solution ? Est-ce une faute de l'exploitant ? Est-ce une malfaçon du constructeur ? L'enquête a-t-elle été bien conduite ? ....

## 2 - INCIDENTS SURVENANT DANS LES DISTRIBUTIONS D'OXYGENE GAZEUX SOUS PRESSION PAR CANALISATIONS

### 2.1. - Explication sommaire d'une inflammation spontanée

Les canalisations (\*) d'oxygène présentent une particularité qui leur est propre, celle de mettre le comburant par excellence en contact direct avec des matériaux qui, dans certaines conditions, peuvent réagir avec lui; selon les propriétés des combustibles (les matériaux) - les réactions d'oxydation (donc de combustion) seront plus ou moins vives et les énergies libérées plus ou moins importantes.

---

(\*) Afin qu'il n'y ait pas d'équivoque, le terme "canalisation" s'applique aux tuyauteries proprement dites, dans ce qui suit, et aux organes qui les équipent.



La condition fondamentale pour amorcer l'inflammation est que les matériaux soient portés à une "température d'inflammation dans l'oxygène". Si au sein d'une canalisation, le dégagement calorifique engendré par l'inflammation initiale d'un certain matériau est suffisant pour porter (phénomène de conductibilité, entre autres) à leur température d'inflammation d'autres matériaux, ceux-ci pourront s'enflammer à leur tour et leur combustion pourra également se faire sentir sur de nouvelles masses de produits combustibles. On a une "réaction en chaîne" dont les effets pourront, et c'est presque toujours le cas, occasionner la perforation, par combustion ou par fusion, de parois métalliques. On désigne par "inflammation spontanée", l'amorçage et le développement de la combustion d'une paroi sans cause apparente.

## 2.2 - Ce qui favorise une inflammation spontanée

Les tubes utilisés dans la confection des canalisations d'oxygène en sidérurgie sont normalement en acier non allié à faible teneur en carbone, matériau qui est donc combustible. Aussi dès le début de ce mode de distribution, il a été reconnu indispensable d'approfondir la combustion dans l'oxygène de cette nuance d'acier (quelle est notamment sa température d'inflammation ?), ainsi que les causes susceptibles de l'amorcer. Il fut alors généralement admis que des particules solides déplacées par le gaz peuvent être portées à des températures élevées et dangereuses, car susceptibles d'amorcer l'inflammation par leur percussion ou leur frottement sur la paroi interne des tubes. Afin de remédier à cette éventualité, la vitesse maximale de la veine gazeuse fit l'objet de limitations, le nettoyage des tubes fut effectué avec soin et, tout fut mis en oeuvre pour diminuer le nombre et l'importance des obstacles en contact avec le fluide. L'expérience acquise au cours du développement intensif de ces distributions semble avoir montré l'intérêt de ces dispositions, car dans différents pays, l'analyse d'inflammations spontanées survenues

en exploitation ne paraît pas avoir montré que celles-ci avaient pour origine les canalisations proprement dites. Par contre, la même analyse a montré que les inflammations spontanées prenaient toujours naissance dans les organes montés sur les conduites. Par ailleurs, les incidents rencontrés en exploitation ont mis en évidence deux phénomènes significatifs; d'une part, lorsque des conduites se sont rompues pour des causes qui leur étaient extérieures (arrachement par un engin de manutention, par exemple) les vitesses engendrées par l'échappement à l'air libre de l'oxygène, bien que très élevées, n'ont pas été capables de les enflammer à l'endroit de la rupture; d'autre part, lorsqu'un organe a été le siège d'une inflammation spontanée il renfermait des matières organiques (\*).

Cette dernière constatation est logique, car, les nombreux travaux qui ont été faits dans divers pays sur le comportement d'un nombre important de produits en présence d'oxygène sous pression, (\*\*), ont effectivement montré, d'une façon irréfutable, d'une part, que les températures d'inflammation des matières organiques sont nettement plus faibles que celles des métaux et de leur alliages, d'autre part, que pour la plupart d'entre elles, les chaleurs de réaction sont plus élevées que celles des matériaux métalliques. A partir de ceci, on conçoit facilement que pour un organe utilisant des matières organiques ce sont avant tout celles-ci qui diminueront sa capacité de résistance vis-à-vis des causes susceptibles d'amorcer son inflammation spontanée, et qui aggraveront les effets de cette dernière une fois amorcée; autrement dit, la présence de matières organiques, favorise l'amorçage et le développement d'une inflammation spontanée.

---

(\*) Par "matières organiques" il faut entendre les matières plastiques thermodurcissables, les élastomères, les résines et les lubrifiants spéciaux.

(\*\*) Voir notamment à ce sujet le document américain "NASA" Technical Note D 182".



### 2.3 - Conclusions

- Une inflammation ne peut se produire que si un matériau combustible est porté, par une ou plusieurs des causes faisant l'objet du chapitre 3, à sa température d'inflammation.
- Une inflammation est d'autant plus facile à amorcer, que la température d'inflammation et la conductibilité thermique des matériaux combustibles (organiques et métalliques) sont faibles.
- La propagation d'une inflammation est facilitée et, par là même, ses effets seront d'autant plus importants, si les matériaux combustibles ont :
  - un pouvoir calorifique élevé,
  - une masse importante,
  - une mauvaise conductibilité thermique,
  - des produits de combustion qui n'entravent pas leur contact intime avec l'oxygène.
- Par l'intermédiaire de matières organiques, l'échauffement et la combustion d'un matériau de très faible masse peuvent provoquer la fusion et la combustion de masses métalliques importantes.
- Une inflammation se propage préférentiellement dans le sens de l'écoulement de la veine gazeuse; elle s'arrête lorsque la quantité de chaleur écoulee par le débit gazeux est supérieure à celle engendrée par la combustion.

### 2.4 - Observation

Sur les organes équipant les canalisations d'oxygène, les incidents résultant d'inflammations spontanées sans rapport de chaleur de l'extérieur sont les plus caractéristiques et les plus dangereux par la soudaineté de leurs effets; ils ne laissent au personnel que de très courts instants pour se mettre hors de portée. Ce ne sont pas les seuls incidents possibles; des organes ou des éléments tubulaires soumis

à un rayonnement calorifique intense, à des projections ou à des déversements de matières en fusion à la température de celles couramment rencontrées en sidérurgie, peuvent éventuellement s'enflammer. Des fuites d'oxygène s'échappant d'organes mal conçus ou mal entretenus, implantés dans des endroits peu ventilés, élèveront la teneur en oxygène de l'atmosphère et pourront être à l'origine d'incidents graves pour un personnel non averti (cette question, ainsi que celle du voisinage de matières incandescentes, seront d'ailleurs examinées plus loin). Enfin, il va de soi que les conduites d'oxygène, comme toutes conduites véhiculant des gaz, sont à la merci de défaillances mécaniques qui, banales en elles-mêmes, peuvent avoir des conséquences plus ou moins graves.

### 3 - CAUSES D'INFLAMMATION DES ORGANES (\*)

#### 3.1 - Généralités

Le chapitre 2 vient de montrer que, dans une conduite d'oxygène, celui-ci est en contact direct avec des matériaux plus ou moins combustibles et que l'inflammation de ces derniers ne se produira que si un apport suffisant d'énergie amorce la réaction. Cet apport d'énergie peut avoir des origines différentes, provenir de plusieurs causes.

La majeure partie des causes susceptibles de provoquer la combustion des matériaux constituant les conduites à oxygène peuvent être considérées comme identifiées, et elles sont reconnues comme telles par la plupart des techniciens spécialisés.

Ce qui au contraire, n'est pas encore bien connu et déterminé, c'est le poids qu'une cause donnée peut avoir sur un incident survenant sur une conduite à oxygène lorsqu'elle coexiste avec d'autres. En effet, en pratique, on constate que les incidents surviennent presque toujours par suite du concours de deux causes ou même davantage.

---

(\*) Voir annexe 1.



Six catégories de causes ont été retenues, à savoir :

- les causes physiques,
- les causes chimiques,
- les causes physico-chimiques,
- les causes électro-physiques,
- les causes électro-chimiques,
- les causes extérieures.

Certaines d'entre elles mettent en évidence l'influence néfaste des poussières et des particules déplacées par l'oxygène. Quelques mots sur celles-ci; elles proviennent des installations de compression d'oxygène, mais surtout, et c'est logique, des conduites; s'il est incontestable que le nettoyage interne de celles-ci retire la majeure partie des oxydes et de la calamine qui adhèrent peu ou mal sur leur support, il n'en demeure pas moins que vouloir retirer, avant la mise en gaz d'une canalisation, toutes les particules susceptibles de se décrocher de sa paroi inférieure, est pratiquement irréalisable. Quel serait d'ailleurs le critère de propreté ? En supposant même qu'un tel critère puisse exister, il ne faut pas perdre de vue qu'en service, les déformations élastiques de la tuyauterie, sous la pression finiront tôt ou tard par décoller les plaques d'oxydes réfractaires au nettoyage et que celles-ci, sous l'action déshydratante de l'oxygène sec, se dégageront sous la forme d'une fine poussière qui sera peut-être susceptible de s'accumuler en un endroit préférentiel de la canalisation. Autrement dit, poser à priori qu'une canalisation d'oxygène est parfaitement propre est un point de vue idéaliste.

### 3.2 - PREMIERE CATEGORIE - Les causes physiques -

#### 3.2.1 - Percussion (et incrustation) de particules

Considérons une particule percutant un obstacle; au moment où sa vitesse s'annule, son énergie cinétique se transforme en chaleur et, par là même, sa température s'élève. Le calcul montre, et l'expérience le confirme, qu'il est nécessaire que les particules aient des vitesses d'impact, très élevées pour que leur élévation de température par percussion soit notable par rapport à leur température initiale (cette élévation est de l'ordre de 70° C pour une particule d'oxyde de fer soumise à un choc de 300 m/s); autrement dit, ce n'est qu'en partant d'une température initiale élevée, que l'élévation de température due au choc peut être dangereuse, notamment, vis-à-vis des matières organiques.

Prenons maintenant le cas d'une particule percutant un élément d'un organe. Quatre cas sont à considérer en supposant, dans chacun des cas, constantes la masse et la température résultant du choc de la particule et

#### Premier cas - Particule non combustible percutant un élément métallique -

La chaleur de la particule se transmet à l'élément, et; suivant sa conductibilité, la chaleur absorbée par celui-ci se localise en un point ou diffuse dans sa masse; ~~quoiqu'il en soit, le rapport~~ masse de l'élément / masse de la particule et la température d'inflammation des métaux étant élevés, l'inflammation de l'élément métallique est improbable.



Deuxième cas - Particule non combustible percutant une matière organique -

La chaleur prise par la matière organique diffuse moins que dans le cas ci-dessus; le rapport des masses est plus faible et, ce détail est essentiel, le contact a une possibilité d'être meilleur car la particule peut s'incruster à l'endroit du choc; néanmoins, l'apport calorifique d'une particule non combustible étant réduit, la matière organique a une possibilité limitée de s'enflammer en dépit d'une température d'amorçage plus faible que celle des métaux.

Troisième cas - Particule combustible percutant un élément métallique -

Si la particule s'enflamme, elle transmet à l'élément sa chaleur de combustion; néanmoins, le rapport élevé des masses et la conductibilité de l'élément rend improbable l'inflammation de celui-ci.

Quatrième cas - Particule combustible percutant une matière organique -

C'est le cas le plus sérieux, car si dans le second cas, l'inflammation était possible (mais limitée), cette fois-ci il faut tenir compte de l'apport de la chaleur de combustion de la particule; deux éventualités :

- la matière organique atteint sa température d'inflammation, la vitesse de l'oxygène étant nulle à son voisinage : elle brûle et s'il n'y a pas de mouvement de convection, il se forme une gaine de gaz inertes autour de sa zone incandescente capable d'arrêter la combustion;
- la température de la matière organique s'élève pendant le passage de l'oxygène : si le débit est suffisant pour évacuer les calories transmises par la particule à la matière, celle-ci ne pouvant atteindre sa température d'inflammation ne brûlera pas, mais par contre, si l'évacuation est insuffisante, l'inflammation est certaine.



### 3.2.1.1.- Mesure préventive d'ordre général

- Il est indispensable que les éléments en matières organiques des organes de sectionnement et de réglage soient soustraits de la percussion et de l'incrustation des particules. Ceci implique notamment :

- le type de l'organe, c'est-à-dire la position de la garniture par rapport à la veine gazeuse,
- la vitesse en amont de l'organe,
- l'absence de particules en amont de l'organe - (filtre ou nettoyage).

### 3.2.2 - Frottement de particules

Des particules frottant sur la paroi interne d'une tuyauterie verront leur température s'accroître; cet échauffement dépend simultanément de :

- la nature et la forme des particules,
- la nature, la forme et l'état interne de la canalisation,
- la pression et la vitesse du gaz.

Des essais méthodiques ont montré que, s'il ne faut pas sous-estimer les températures atteintes par des particules lors de leur frottement, il faut néanmoins des circonstances exceptionnelles (conduite au tracé tourmenté, forte oxydation de la paroi, vitesse d'écoulement très élevée) pour que les échauffements ainsi engendrés offrent un risque.

### 3.2.2.1 - Mesure préventive d'ordre général

- Il faut que la forme de l'organe de sectionnement ou de réglage ne provoque pas de tourbillons au sein de la veine gazeuse car ceux-ci sont générateurs de frottements, notamment dans le cas de vitesses élevées.

### 3.2.3 - Compression adiabatique

L'élévation brutale de la pression d'un gaz dans une enceinte s'accompagne toujours d'une augmentation de la température de celui-ci et cette augmentation est liée à :

- la vitesse d'accroissement de la pression,
- à la température du gaz dans l'enceinte avant la compression,
- au rapport des pressions finale et initiale du gaz dans l'enceinte,
- aux caractéristiques (volume, forme, nature, etc.) de l'enceinte.

D'un point de vue pratique, une enceinte peut être constituée par un élément de tuyauterie d'un certain volume, communiquant avec un organe de sectionnement raccordé à une source de pression. L'ouverture rapide de ce dernier est capable d'échauffer considérablement le gaz (de l'oxygène contenu à 20° C et sous la pression absolue de 1 kg/cm<sup>2</sup> dans une enceinte thermiquement isolée prend une température de 550° C, lorsque sa pression s'élève à 40 kg/cm<sup>2</sup>), et, par là-même, de porter éventuellement à leur température d'inflammation des matières organiques contenues soit dans l'élément, soit dans l'organe.

#### 3.2.3.1.- Mesures préventives d'ordre général

- Ouvrir lentement un organe de sectionnement sur un élément de tuyauterie de volume réduit.
- Adjoindre dans certains cas des by-pass d'équilibrage aux organes de sectionnement.

### 3.2.4 - Phénomènes thermodynamiques

Il faut entendre par là les phénomènes liés au mécanisme de l'échauffement d'un gaz en expansion dans une enceinte, notamment lorsque l'homogénéité de la veine gazeuse est perturbée par des tourbillons. Comme ces phénomènes semblent être encore mal connus, ils ne seront cités que pour mémoire.



### 3.2.5 - Phénomènes vibratoires

Un matériau soumis à des vibrations voit sa température s'élever si sa faible conductibilité thermique ne lui permet pas d'évacuer sous forme de chaleur l'énergie vibratoire qu'il a ainsi reçue; l'élévation de température est notable pour les matières plastiques qui conduisent mal la chaleur.

#### 3.2.5.1 - Mesure préventive d'ordre général

Eviter que des joints qui sont susceptibles de vibrer par leur nature, débordent à l'intérieur de la tuyauterie sur laquelle ils sont placés.

### 3.3 - DEUXIEME CATEGORIE - Les causes chimiques -

Des phénomènes d'oxydation peuvent se produire lorsque des produits chimiques sont en présence d'oxygène; dans certains cas, les températures de réaction semblent être relativement peu élevées. Avec certains liquides, ces réactions sont parfois brutales (explosions).

#### 3.3.1 - Mesures préventives d'ordre général

- Prohiber la stagnation dans les organes de solvants hydrocarbonés ou hydrochlorés et de lubrifiants hydrocarbonés quelle que soit leur origine minérale, animale ou végétale.

### 3.4 - TROISIEME CATEGORIE - Les causes physico-chimiques -

Des phénomènes catalytiques seraient susceptibles d'abaisser la température de combustion des matériaux dans l'oxygène, notamment celle des matières organiques; comme ils sont mal connus, ils ne seront cités que pour mémoire.

B

### 3.5 - QUATRIEME CATEGORIE - Les causes électro-physiques

#### 3.5.1 - Effet Joule

Lorsqu'un organe comporte un équipage mobile qui se déplace sur des matières plastiques, celles-ci par leur nature permettent à l'équipage d'être isolé électriquement du corps de l'organe. Si des poussières conductrices déplacées par le gaz, viennent en se déposant à reliaison de façon continue, l'équipage au corps, l'isolement électrique est alors rompu et si, de plus, l'organe est soumis au passage d'un courant électrique, les poussières seront également traversées par le courant électrique, ~~compensées~~ ~~l'apport d'énergie~~, elles pourront ainsi éventuellement s'échauffer; si le dépôt s'est fait sur un élément en matière plastique, celui-ci pourra s'échauffer par conductibilité et atteindre, par là même, sa température d'inflammation.

#### 3.5.1.1 - Mesures préventives d'ordre général

- Assurer de façon permanente par des moyens efficaces, la continuité électrique entre les divers éléments d'un organe et, entre l'organe et la tuyauterie.

- Rendre très bons conducteurs de l'électricité les éléments en matières plastiques en incorporant à celles-ci des charges appropriées. C'est un problème complexe qui ne peut être résolu que par les transformateurs de matières plastiques.

#### 3.5.2 - Charges électrostatiques

Des particules entraînées par un gaz sec peuvent se charger et, en heurtant un corps conducteur très bien isolé, elles pourront éventuellement transmettre leur charge à ce dernier si la résistance d'isolement est suffisante; celle-ci devant être très élevée, ce sont surtout les matières plastiques qui pourront ainsi se charger, car leur résistivité ne leur permet pas d'évacuer les charges électrostatiques qui se développeraient à leur surface; elles peuvent donc



ainsi attirer et retenir les particules conductrices, porteuses de charges opposées, et faciliter par là même les échauffements par effet Joule.

### 3.6. - CINQUIEME CATEGORIE - Les causes électro-chimiques

En présence d'oxygène humide, des phénomènes électrolytiques peuvent résulter du contact intime de métaux et alliages de natures différentes; en supposant que ces phénomènes aient la possibilité de provoquer des échauffements localisés, il faut tenir compte qu'en pratique, la distribution et l'utilisation de l'oxygène humide sont de plus en plus abandonnées.

### 3.7. - SIXIEME CATEGORIE - Les causes extérieures

Ce sont celles qui proviennent avant tout du milieu où se trouvent la canalisation et ses organes, parmi celles-ci on relève plus particulièrement :

- la présence proche de produits incandescents ou en fusion (échauffement par rayonnement);
- des projections de matières incandescentes ou en fusion (échauffement par conductibilité);
- le voisinage immédiat de conducteurs électriques dont la qualité de leur fixation ou de leur isolant laisse à désirer (possibilité d'échauffement par arc jaillissant entre le conducteur et la conduite);
- des ruptures mécaniques provoquées par des engins de manutention ou de levage;
- des travaux faisant appel à une source de chaleur, sur la conduite en pression;
- l'apport de lubrifiants non recommandables ou non autorisés;
- etc.

### 3.7.1 - Mesures préventives d'ordre général

- Etudier soigneusement l'implantation de la canalisation en fonction des conditions d'exploitation des installations avoisinantes.

- Former soigneusement le personnel d'exploitation et d'entretien.

- Prescrire des consignes d'entretien et d'exploitation explicites; les faire appliquer et respecter.

## 4 - CLASSIFICATION DES PRESSIONS ET DES MATERIAUX

### 4.1 - Pressions

Les pressions ont été rangées en quatre classes :

- de 0 à 1            kg/cm<sup>2</sup>
- de 1 à 15         kg/cm<sup>2</sup>
- de 15 à 40        kg/cm<sup>2</sup>
- de 40 à 64        kg/cm<sup>2</sup>

### Observations

- Dans les deux tableaux qui vont suivre , ces quatre classes sont respectivement repérées 0-1, 1-15, 15-40, 40-64.

- Des usines sidérurgiques utilisent du matériel et notamment des bouteilles d'oxygène à une pression supérieure à 64 kg/cm<sup>2</sup>. La présente étude ne concerne pas les organes utilisés sur ce matériel.

### 4.2 - Métaux et alliages

Ceux susceptibles d'être retenus dans la construction des organes ont été classés en cinq catégories :



- A - Les aciers au carbone non alliés ou faiblement alliés
- B - les fontes spéciales
- C - les aciers inoxydables ( contenant au minimum chrome et nickel )
- D - le cuivre et ses alliages
- E - l'aluminium et ses alliages

Dans les deux tableaux ci-après, ces cinq catégories sont respectivement repérées A, B, C, D, E.

#### 4.3. - Matières organiques

Parmi la grande diversité de matières organiques offertes aujourd'hui par l'industrie, celles qui sont retenues pour leurs propriétés et leur comportement en présence d'oxygène ont été groupées également en cinq catégories, à savoir :

- 1 - les élastomères à chaînes hydrocarbonées avec adjonction éventuelle de chlore ou d'azote ( caoutchoucs synthétiques ),
- 2 - les polyamides,
- 3 - les résines et les élastomères fluorés,
- 4 - les compounds d'amiante et de liants ( caoutchoucs synthétiques, résines ) plus ou moins combustibles,
- 5 - les matières incombustibles et métalliques. \*

Dans les deux tableaux ci-après, ces cinq catégories sont respectivement repérées 1, 2, 3, 4, 5.

#### 5 - CHOIX DES MATIERES ORGANIQUES UTILISEES DANS LES GARNITURES DES OBTURATEURS ET DES PRESSE-ETOUPE EN FONCTION DE LA NATURE DES MATERIAUX METALLIQUES ET DES PRESSIONS

##### 5.1.- Raisons de ce choix

Les experts ayant unanimement admis que, comme ce sont les produits organiques qui, d'une part s'enflamment les premiers lors de

---

\* Bien qu'il ne semble pas logique de les classer dans les matières organiques, cette façon de faire a été adoptée pour des raisons de commodité.

l'élévation requise de la température due aux causes exposées précédemment par suite de leurs températures d'inflammation nettement plus faibles que celles des matériaux métalliques, et qui, d'autre part, favorisent le développement de l'inflammation en communiquant à ces derniers leur chaleur de combustion, il leur paraissait donc indispensable de les choisir en retenant deux critères : la nature des éléments métalliques et la valeur des pressions d'utilisation.

La nature des éléments métalliques : à une matière organique facilement inflammable (faible température d'inflammation) et ayant un pouvoir calorifique élevé, il est rationnel de n'associer qu'un matériau métallique diffusant très bien par conductibilité la chaleur de combustion de la matière organique (le matériau métallique a ainsi des difficultés pour atteindre sa propre température de combustion) et brûlant mal; le cuivre et certains de ses alliages possèdent ces deux qualités; l'aluminium et ses alliages ont la première, mais non la seconde lorsque la couche protectrice d'alumine est détruite. Inversement, à un matériau métallique ne réunissant pas ces deux qualités (les aciers au carbone non alliés ou faiblement alliés, les aciers inoxydables par exemple), il est logique de n'associer que des matières organiques difficiles à brûler (température d'inflammation élevée, combustion se propageant lentement, faible chaleur de réaction).

La valeur des pressions d'utilisation; pour certains experts, lier la nature des matières organiques à la pression signifierait que leur comportement (température d'inflammation, vitesse de réaction.....) dépendrait de cette dernière.



## 5.2 - Position prises par les experts (\*)

Dans les pages suivantes, on trouvera les positions prises par les experts quant au choix à réaliser des différents types de vanne, de la nature de leur métal, de leur garniture, de leur bourrage, etc.

Les critères qui ont pu les guider dans ces prises de position peuvent avoir varié suivant les cas examinés.

Sans vouloir les situer de manière précise, il semble que les diverses méthodes de choix pouvaient être les suivantes :

- Première méthode : le choix est le fruit d'une expérience industrielle; liée à une certaine forme de pragmatisme, cette façon de faire, logique d'ailleurs, signifie : ce qui donne satisfaction mérite d'être adopté et conservé, en dépit des quelques incidents ou accidents, qui éventuellement se seraient produits.
- Deuxième méthode : le choix est également le fruit d'une expérience industrielle qui profite, soit d'observations faites après des incidents voire des accidents, soit d'essais en laboratoire, ceux-ci portant principalement sur l'utilisation de nouveaux matériaux et de pressions supérieures à celles couramment utilisées.
- Troisième méthode : applique par la pensée à une classe de pression pour laquelle l'expérience est pratiquement nulle, la technologie d'organes utilisés sous de fortes pressions (150 kg/cm<sup>2</sup> et au-delà) mais dans des conditions d'exploitation très différentes de celles rencontrées maintenant couramment en sidérurgie.

---

(\*) Les experts italiens estiment inutile la présence de ce paragraphe.

- Quatrième méthode : repose sur l'adage "qui peut le plus peut le moins"; autrement dit ce qui convient à des conditions sévères d'utilisation ( pressions élevées par exemple ) s'adapte, a priori, à des conditions qui le sont moins; cette façon de voir peut être amenée à écarter l'aspect économique ainsi que le souci de l'exploitant d'avoir un matériel simple et d'entretien aisé.
- Cinquième méthode : adoptée pour les faibles pressions ( de 0-1 kg/cm<sup>2</sup> et à la rigueur de 1 à 15 kg/cm<sup>2</sup>) des organes d'usage courant sur d'autres fluides gazeux ou liquides, avec ou sans modification.
- Sixième méthode : s'appuie sur la connaissance approfondie d'essais méthodiques confirmés par l'expérience industrielle des causes d'inflammations qui permet, en plus de diminuer la probabilité de celles-ci, d'être plus libéral en ce qui concerne le choix des matériaux.

### 5.3 - Choix des matières organiques en fonction de la nature des matériaux métalliques

Le tableau n° 1 concerne les garnitures des obturateurs ; le terme "obturateurs" désigne les éléments, fixes ou mobiles de l'organe, qui arrêtent ou autorisent l'écoulement de la veine fluide.

Le tableau n° 2 concerne les garnitures des presse-étoupe.

Sur ces deux tableaux : les cases blanches indiquent la nature de la matière organique choisie.



5.4 - Observations accompagnant le tableau n° 1

En faisant leur choix, certains experts ont fait des observations sommaires se rapportant aux conditions d'utilisation de certains matériaux; bien qu'éventuellement développées, elles sont relatées ci-après. Ces observations sont reprises avec l'indication du pays d'origine des experts qui les ont présentées.

5.4.1 - Matières organiques des obturateurs

5.4.1.1 - Classe de pressions de 0 à 1 kg/cm<sup>2</sup> : aucune observation

5.4.1.2 - Classe de pressions de 1 à 15 kg/cm<sup>2</sup> :

Allemagne : Vitesse maximale (\*) de 25 m/s dans l'acier (A) et la fonte (B)

Pas de limitation de vitesse pour l'acier inoxydable (C), le cuivre (D) et l'aluminium (E).

Belgique : Vitesse maximale de 30 m/s dans l'acier au carbone, de 60 m/s dans le bronze.

France : Vitesse maximale de 60 m/s, sous réserve de certaines dispositions.

Italie : La vanne en acier au carbone avec garniture 3 n'est utilisée que comme vanne d'isolation.  
La vanne en fonte revêtue intérieurement d'alliage cuivreux, avec garniture 3, sert au sectionnement mais est peu répandue.  
La vanne, en acier inoxydable ou en bronze est largement répandue et est utilisée, tant pour le sectionnement que pour le réglage.

---

(\*) Par vitesse maximale, il faut entendre la vitesse en régime établi dans la vanne.

~~Luxembourg~~ : Vitesse maximale de 25 m/s pour l'acier.

Vitesse supérieure pour le cuivre ou autre métal revêtu intérieurement de cuivre.

Pays-Bas : Vitesse maximale de 25 m/s pour l'acier.

Vitesse maximale de 60 m/s pour l'acier inoxydable et le cuivre.

#### 5.4.1.3 - Classe de pressions de 15 à 40 kg/cm<sup>2</sup>

Allemagne : la température en service des matières 3 et 4 ne doit pas dépasser 70° C (cette observation s'applique également à la classe suivante de pressions).

Vitesse maximale de 25 m/s dans l'acier avec les matières 3 et 4 si celles-ci ont subi un contrôle de leur qualité.

Pas d'expérience avec les fontes spéciales; elles peuvent néanmoins être utilisées dans les mêmes conditions que l'acier.

Pas de limitation de vitesse pour l'acier inoxydable et le cuivre avec les matières 3 et 4 si celles-ci ont subi un contrôle de leur qualité.

Belgique : l'intérieur d'un organe dont le corps est en fonte doit être en bronze.

France : Vitesse maximale de 60 m/s sous réserve de certaines dispositions, la matière organique est sélectionnée parmi celles de la classe 1.

L'intérieur d'un organe dont le corps est en fonte ou en acier doit être en bronze.



Italie : La vanne en acier au carbone avec garniture 3 n'est utilisée que comme vanne d'isolation.  
La vanne en fonte revêtue intérieurement d'alliage cuivreux, avec garniture 3, sert au sectionnement mais est peu répandue.  
La vanne, en acier inoxydable ou en bronze est largement répandue et est utilisée, tant pour le sectionnement que pour le réglage.

Luxembourg : Vitesse maximale de 25 m/s pour l'acier.  
Vitesse supérieure pour le cuivre ou autre métal revêtue intérieurement de cuivre.

Pays-Bas : Vitesse maximale 25 m/s pour l'acier et 60 m/s pour le cuivre et les alliages.

#### 5.4.1.4 - Classe de pressions de 40 à 64 kg/cm<sup>2</sup>.

Allemagne : Pas de limitation de vitesse pour le cuivre avec les matières 3, 4 et 5 et ceci sans le contrôle de qualité de ces dernières.

Pas de limitation de vitesse pour l'acier inoxydable avec les matières 3 et 5; contrôle de la qualité de 3.

Belgique : Pas d'expérience

France : Vitesse maximale de 60 m/s sous réserve, d'une part de certaines dispositions, et, d'autre part de la confirmation d'essais en cours.

Italie : Pas d'expérience

Luxembourg : Pas d'expérience

Pays-Bas : Vitesse maximale de 60 m/s.

#### 5.4.2.- Matières organiques des presse-étoupe

Les experts n'ont pas fait d'observations.

#### 5.5 - Conclusions

- Pour un matériau métallique défini, le choix se porte vers des matières organiques reconnues comme difficiles à brûler (la matière 3) et, à un degré sensiblement moindre, la matière 4) et vers des matières incombustibles ou métalliques lorsque la pression s'élève; ceci semble surtout logique vis-à-vis des échauffements par compression adiabatique.
- Lorsque la pression s'élève, le choix se porte vers des métaux reconnus comme difficiles à brûler ou ayant des caractéristiques mécaniques élevées; c'est ainsi :
  - que dans l'ensemble l'aluminium a peu de partisans,
  - qu'au-delà de 15 kg/cm<sup>2</sup> la fonte est moins retenue que l'acier,
  - qu'au-delà de 40 kg/cm<sup>2</sup>, l'acier inoxydable et le cuivre sont principalement choisis, une légère préférence allant au cuivre.
- Pour que le tableau n° 1 soit valable, il faut poser à priori que le choix des matières organiques a été également fait en considérant leur position par rapport au sens de l'écoulement gazeux; en effet, une matière de la catégorie 1 qui n'est pas directement placée en face de la veine gazeuse s'écoulant dans l'organe, est susceptible de présenter nettement moins de risque qu'une matière des catégories 3 et 4 qui fait face à la veine (possibilité d'échauffement par percussion et incrustation de particules).
- Tout laisse à penser que c'est la considération ci-dessus qui a permis d'aboutir au tableau n° 2 car. le choix plus large de celui-ci, se justifie par le fait que les presse-étoupe sont pratiquement toujours éloignés de la veine gazeuse.



- Si les matières organiques ont été choisies en ne considérant que leur comportement vis-à-vis d'une cause d'échauffement, la sélection ainsi faite peut néanmoins présenter des inconvénients plus ou moins graves en exploitation; c'est ainsi notamment que l'étanchéité avec une garniture métallique de la catégorie 5 est bien souvent aléatoire, que la diminution des dimensions d'une garniture de la catégorie 4 par réduction de son taux initial d'humidité (passage d'oxygène sec) est presque toujours la cause de fuites; dans le même esprit, certaines résines fluorées, particulièrement recommandables pour leur température élevée d'inflammation, peuvent conduire à des déboires si leur utilisation ne tient pas compte de leur faible résistance au fluage; autrement dit, il est indéniable que l'aspect "comportement mécanique" d'une matière ne doit être, en aucun cas, écarté.
  
- Il semble qu'il faille formuler une autre réserve vis-à-vis des tableaux n° 1 et 2, réserve qui découle également de la considération ci-dessus; dans ces tableaux, n'apparaît pas la notion de dimensions. Des garnitures homothétiques de même matière, montées et utilisées dans des conditions semblables, peuvent conduire à des résultats différents; c'est ainsi par exemple que l'expérience montre que les fuites éventuelles dues à la déshydratation de garnitures prises dans une matière de la catégorie 4 ne sont pas liées à leurs dimensions, que les étanchéités métal sur métal sont relativement plus faciles à obtenir sur des faibles surfaces que sur des surfaces importantes.
  
- Les experts et plus particulièrement les deux représentants de l'Allemagne ont attiré l'attention du groupe de travail sur la nécessité qu'il y a parfois de contrôler soigneusement la qualité des matières organiques. Cette observation est fort judicieuse, car, le développement technico-commercial d'un produit de base bien défini, peut conduire à adjoindre à celui-ci des ingrédients en compositions différentes et de natures diverses, dans le but louable d'améliorer ses propriétés mécaniques, mais bien souvent au détriment de ses propriétés chimiques (un tel cas se rencontre dans les additifs apportés à certains élastomères fluorés).

### Observation

Au sujet du choix des matériaux en présence d'oxygène gazeux sous pression, il est opportun d'indiquer :

- qu'en Allemagne, il y a une prescription officielle; les matériaux doivent être notamment soumis à l'agrément d'un organisme officiel,
- qu'en Belgique, il n'y a pas de réglementation,
- qu'en France, il n'y a pas de réglementation dans le domaine des pressions objet du présent document; les constructeurs d'organes sélectionnent leurs matériaux à partir de l'expérience et des travaux de sociétés privées,
- qu'en Italie, et au Luxembourg, il n'y a ni réglementation officielle, ni limitation de la pression maximale,
- qu'aux Pays-Bas, il est d'usage courant d'observer les prescriptions allemandes.

## 6 - CONDITIONS D'UTILISATION DES DIFFERENTS TYPES D'ORGANES

### 6.1 - Avant-propos

La forme de la veine gazeuse à l'intérieur d'un organe de sectionnement ou de réglage est déterminée par la conception et la disposition de son obturateur; l'aérodynamique interne d'un organe à clapet est différente de celle d'un organe à opercule. De plus, en faisant varier la conception de l'obturateur, on peut modifier la position des garnitures en matières organiques vis-à-vis de l'écoulement. Les experts ont donc estimé que chaque type d'organe avait des conditions d'utilisation qui lui sont propres et qu'il était nécessaire de les définir. Leur définition s'est faite, d'une part en fonction du mode d'utilisation, c'est-à-dire le sectionnement ou le réglage, d'autre part en fonction des classes de pressions déjà adoptées. Au préalable, dans l'esprit de ce qui vient d'être dit, ils ont décomposé les différents types d'organes, qu'ils soient pour le sectionnement ou pour le réglage, de la manière suivante :



- organes à opercule : à opercule proprement dit, simple ou double
  - à piston
  - à manchette
- organes à clapet : à clapet plat avec garniture sur le clapet
  - à clapet plat avec garniture sur le siège
  - à clapet profilé avec garniture sur le clapet
  - à clapet profilé avec garniture sur le siège
- organes à boisseau : à boule
  - à papillon

Il a été demandé, à chaque expert, de donner son avis en fonction de son expérience, sur les différents types d'organes; les différents avis sont résumés succinctement et, pour chaque classe d'appareils, une conclusion est donnée lorsque cela est possible. Diverses observations doivent être présentées.

- Pour chaque type d'organe, les conditions d'utilisation demeurent valables, que sa commande soit manuelle ou automatique (\*).
- Afin de ne pas alourdir le texte, les classes de pression sont uniquement définies par 0-1, 1-15, 15-40, 40-64.
- Un représentant allemand fut absent pendant les séances de travail consacrées au chapitre 6.

## 6.2 - Les organes de sectionnement

### 6.2.1 - à opercule proprement dit, simple ou double (fig. 1)

---

(\*) L'expression "asservie" semblerait préférable à celle d'automatique.

- Allemagne - peu conseillé  
- 0-1, 1-15, 15-40 : opercule non parallèle ou parallèle à la condition qu'il soit non magnétique et qu'il y ait un by-pass dès que le diamètre atteint 150 mm.
- Belgique - 0-1 : à opercule non parallèle  
1-15, 15-40 : opercule parallèle avec by-pass d'équilibrage des pressions à partir d'un diamètre de 150 mm.
- France - voir Belgique avec en plus l'emploi de l'opercule parallèle pour 40-64.  
- voir Belgique
- Italie - voir Belgique
- Luxembourg- voir Belgique
- Pays-Bas - voir France

### Conclusion

A part une exception, cette classe d'appareils est d'un emploi généralisé, à la condition toutefois que la poussée appliquant l'opercule sur son siège soit diminuée par un équilibrage préalable des pressions, de part et d'autre de l'opercule, avant la manoeuvre d'ouverture .

### 6.2.2 - à piston ( fig.2).

- Allemagne - Peut être utilisé pour les plus hautes pressions ( même pour des réglages) jusqu'à un diamètre de 200 mm.
- Belgique - peu conseillé
- France - 1-15, 15-40 : les garnitures doivent être dans le corps et confectionnées dans une matière organique ne contenant pas d'humidité.  
- 1-15, 15-40 : il est conseillé que les manoeuvres soient peu fréquentes; expérience jusqu'à un diamètre de 150 mm.



Italie - peu conseillé

- 1-15, 15-40 : les garnitures doivent être dans le corps

Luxembourg- peu utilisé

Pays-Bas- 0-1 : n'est pas conseillé

15-40, 40-64 : est conseillé

### Conclusions

Organe d'un emploi généralisé dans certains pays, discuté dans d'autres et parfois conseillé pour les pressions plus élevées que celles actuellement admises; quelques recommandations en ce qui concerne l'emplacement des garnitures d'étanchéité par rapport à l'écoulement gazeux et la fréquence des manoeuvres .

#### 6.2.3. - à manchette ( fig.3 )

Allemagne - a été éliminé; pas d'expérience récente.

Belgique - 0-1 seulement.

France - 0-1 seulement.

- 0-1, 1-15 pour cette dernière classe, se tenir uniquement aux petits diamètres (équipement des prises d'impulsion).

Italie - a été abandonné.

Luxembourg- identique à la seconde position française, avec garniture 3.

Pays-Bas - non utilisé.

### Conclusions

L'utilisation de cet organe est devenue de plus en plus restreinte, car l'expérience en exploitation a montré qu'elle était délicate, et parfois dangereuse: délicate, car le personnel a trop souvent tendance à exagérer le serrage lors des manoeuvres de fermeture (risque de rupture de la manchette ou de la membrane élastique); dangereuse, car la matière organique(généralement de la catégorie 1 et quelquefois de la catégorie 3) de l'organe déformable a une masse importante

et est directement soumise au passage du flux gazeux, et ceci d'autant mieux que les manoeuvres d'ouverture sont difficiles à rendre progressives. Cet appareil a eu incontestablement, à ses débuts, la faveur des exploitants car il permet une très bonne étanchéité, même lorsqu'il est soumis à des manoeuvres fréquentes. Au-delà de 1 kg/cm<sup>2</sup>, et pour des conduites de distribution, il est à déconseiller.

#### 6.2.4 - à clapet plat avec la garniture sur le clapet (fig. 4)

- Allemagne - pour toutes les pressions, aux réserves près, que le diamètre maximal soit de 20 mm et que le clapet en cuivre soit équipé de garnitures prises dans la catégorie 3 ou 5.
- Belgique - 0-1, 1-15, 15-40 : jusqu'à un diamètre de 20 mm avec une filtration.
- France - 0-1, 1-15, 15-40 : jusqu'à un diamètre de 20 mm avec une filtration lorsque la vitesse dépasse 25 m/s; couramment utilisés comme by-pass des organes à opercule.
- 40-64 : attendre la fin des expérimentations en cours.
- Italie - 0-1, 1-15, avec garniture 3, organe en alliage de cuivre, diamètre inférieur à 50 mm.
- Luxembourg - 0-1, 1-15, pour diamètre jusqu'à 15 mm.
- Pays-Bas - 0-1, 1-15, 15-40, organe en acier et en acier inoxydable pour vitesse supérieure à 25 m/s.

#### Conclusions

Cet organe est très largement accepté, et en dépit des quelques divergences sur le diamètre maximal, celui-ci demeure modéré. Il semble pouvoir être conseillé jusqu'à 64 kg/cm<sup>2</sup>. Il n'apparaît pas que la question de la filtration ait été envisagée de façon homogène. Les quelques recommandations sur la nature des matériaux font ressortir que ceux-ci sont difficilement combustibles.



6.2.5 - à clapet avec la garniture sur le siège

- Allemagne - voir 6.2.4.
- Belgique - voir 6.2.4.
- France - 0-1, 1-15, 15-40 : jusqu'à diamètre de 20 mm et pas de filtration jusqu'à 40 m/s; expérimentation en cours pour des diamètres supérieurs à 20 mm.  
- 40-64 : expérimentation en cours jusqu'au diamètre de 25 mm.  
- 1-15 : jusqu'à 20 mm de diamètre et clapet en acier inoxydable avec garniture de la catégorie 3.
- Italie - 0-1, 1-15, 15-40 : vanne en alliage de cuivre avec garniture 3 jusqu'à 100 mm. de diamètre : essai en cours.
- Luxembourg - 0-1, 1-15, 15-40, pour diamètre jusqu'à 25 mm.
- Pays-Bas - pas d'utilisation.

Conclusions

On peut adopter, dans leur ensemble, celles du 6.2.4.

6.2.6 - à clapet profilé avec la garniture sur le clapet (fig. 5)

- Allemagne - pour toutes les pressions jusqu'au diamètre de 150 mm avec des garnitures de la catégorie 3 ou 5.
- Belgique - ne doit pas convenir aux organes de sectionnement.
- France - 1-15, 15-40 : bien qu'un diamètre limitatif ne semble pas justifié, l'expérience montre qu'au-delà de 100 mm les efforts de manoeuvre deviennent importants, notamment si le clapet n'est pas équilibré; si le sens de l'écoulement permet aux matières organiques de ne pas être placées directement en face de la veine gazeuse, la filtration n'est pas nécessaire lorsque la vitesse ne dépasse pas 40 m/s.

Italie - 0-1, 1-15, 15-40 : étanchéité métal sur métal ou garniture 3 avec corps en acier inoxydable ou en alliage de cuivre.

Luxembourg - pas d'utilisation.

Pays-Bas - 0-1, 1-15, 15-40 : corps en bronze, garniture 3, diamètre de 50 à 150 mm.

### Conclusions

Son emploi est plus restreint que dans les deux cas précédents. Lorsqu'il est admis, la tendance est d'utiliser des diamètres plus importants. Là aussi, la question de la filtration n'a été qu'effleurée.

### 6.2.7 - à clapet profilé avec la garniture sur le siège

Allemagne - voir 6.2.6 le corps doit être en cuivre.

Belgique - pas d'utilisation.

France - voir 6.2.6.

Italie - voir 6.2.6.

Luxembourg - pas d'utilisation.

Pays-Bas - voir 6.2.6.

### Conclusion

Voir 6.2.6.

### 6.2.8 - à boisseau sphérique (fig.66)

Allemagne - 0-1, 1-15, 15-40 : cuivre, garnitures de la catégorie 3 avec charge d'amiante.

Belgique - 0-1, 1-15, 15-40 : acier inoxydable, garnitures prises dans la catégorie 3 ou 5.



- France - 1-15, 15-40, 40-64 : jusqu'à 350 mm de diamètre; sphère en acier chromé, dans corps en acier, en acier inoxydable ou en cuivre, avec des garnitures de la catégorie 3 ou 5 (métalliques); avec des garnitures métalliques, la filtration n'est pas nécessaire tant que la vitesse ne dépasse pas 60 m/s.
- 0-0, 1-15, 15-40 : garnitures de la catégorie 3 avec corps en acier ou en acier inoxydable.
- Italie - 0-1, 1-15, 15-40 : jusqu'à 150 mm de diamètre; corps en cuivre, sphère en cuivre chromé avec des garnitures de la catégorie 3 éventuellement chargées d'amiante.
- Luxembourg - pas d'expérience.
- Pays-Bas - pas d'expérience.

#### Conclusions

Incontestablement, ce type d'organe se répand de plus en plus avec une tendance à augmenter les diamètres; la faveur qu'il a en ce moment se justifie par le fait qu'il est compact, relativement simple, protégé des agents atmosphériques, et d'implantation aisée. Sur le plan de la sécurité, un de ses avantages est d'avoir des garnitures de faible masse et qui, de plus, sont souvent placées en retrait de la veine gazeuse; c'est notamment pour cette raison que la filtration à moins d'exigence; toutefois, à des vitesses élevées, celle-ci semble néanmoins souhaitable pour éviter de détériorer la sphère et ses garnitures pendant les opérations d'ouverture et de fermeture.

Mention doit être faite de l'observation faite par un expert au sujet d'un organe à boisseau sphérique en acier avec garnitures dans le cas où ce robinet a été employé avec une vitesse supérieure à 30/m/s, on a enregistré certains cas isolés d'incendie de la vanne ou de la canalisation au voisinage immédiat de celle-ci!.

### 6.2.9 - à papillon

- Allemagne - pas d'expérience.  
Belgique - O-1 : utilisation dans une centrale de production d'oxygène.  
France - 40-64 : expérience en cours.  
Italie - jamais utilisé.  
Luxembourg - pas d'utilisation.  
Pays-Bas - pas d'utilisation.

### Remarques

Il est constaté toutefois que la vanne à papillon n'a reçu d'application que dans un seul pays; aussi a-t-il été décidé de ne pas présenter de conclusion sur ce type de vanne. On peut toutefois signaler que des sociétés américaines et françaises étudient des vannes à papillon étanche, pour de l'oxygène à une pression de l'ordre de 60 kg/cm<sup>2</sup>, en mettant à profit la technologie qu'elles ont mise au point pour le génie nucléaire. Ce sont les progrès faits dans la mise en oeuvre des produits fluorés, et une meilleure connaissance des déformations plastiques de ces derniers, qui permettraient de développer pour l'oxygène gazeux ce nouveau type d'organe.

### 6.3 - Les organes de réglage (de débit ou de pression)

#### 6.3.1 - à opercule proprement dit -(fig. 7)

Tous les experts sont unanimes pour déclarer que ce type d'organe n'est pas utilisé ou n'est pas à recommander.

#### 6.3.2 - à piston (fig. 2)

- Allemagne - pas d'utilisation.  
Belgique - pas d'utilisation.



France - 1-15, 15-40, a été utilisé jusqu'à 200 mm de diamètre avec corps et piston en acier et avec des garnitures de la catégorie 3 ou 4; l'étanchéité devient rapidement mauvaise par suite de l'érosion du piston et des garnitures; à conseiller seulement jusqu'au diamètre de 80 mm; connaissance d'une inflammation.

- 1-15 : acier et garniture de la catégorie 3; six années d'expérience; le manque d'étanchéité caractérise cet organe.

Italie - pas d'utilisation.

Luxembourg - pas d'utilisation.

Pays-Bas - pas d'utilisation.

### Conclusions

Cet organe est dans l'ensemble peu utilisé. Il semble que ce soit sa conception, sa difficulté de manœuvre et l'usure de son obturateur qui conduisent à cette situation. Il est acceptable, plus pour une solution provisoire, utilisée par intermittence, que pour une solution présentant un caractère définitif, utilisée intensément.

### 6.3.3 - à manchette (fig. 3)

Allemagne - a été utilisé pour le réglage du débit des mélanges oxygène + chaux mais abandonné systématiquement pour cause d'inflammation; il n'est toutefois pas interdit, mais de préférence remplacé par un organe à opercule parallèle, le passage du mélange se faisant verticalement de haut en bas.

Belgique - pas d'expérience.

- France - confirme la déclaration de l'expert allemand, car a participé aux enquêtes ayant suivi des inflammations avec des mélanges oxygène + chaux; connaissance de deux inflammations sous une pression de 15 bars d'oxygène pur et pour des diamètres de l'ordre de 30 mm; est parfois utilisé aux U.S.A. comme organe de laminage dans des détendeurs, le corps étant en acier inoxydable et la manchette élastique dans une matière de la catégorie 3.
- 1-15 : expérience jusqu'à 20 mm de diamètre; abandonnée par crainte d'inflammation.

Italie - pas employé.

Luxembourg - pas employé.

Pays-Bas - pas employé.

#### Conclusion

Par suite des inflammations relatées et, à un degré moindre, du manque d'expérience, cet organe est à déconseiller, voire à prohiber lorsque l'oxygène entraîne des poussières (absence de filtration) ou lorsque des produits pulvérulents lui sont incorporés.

#### 6.3.4 - à clapet plat avec la garniture sur le clapet (fig. 4)

- Allemagne - pour toutes les pressions, alliages de cuivre avec garniture de la catégorie 3 ou 5 (cette dernière étant moins employée).
- Belgique - 0-1, 1-15, 15-40 : bronze avec garniture de la catégorie 2 pour des diamètres de 20 à 30 mm.
- France - utilisé dans les détendeurs jusqu'à des diamètres de 100 mm.
- 1-15 : laiton garniture avec de la catégorie 1 (détendeurs).



- 15-40 : garniture de la catégorie 1 ou 3 avec l'acier, les alliages de cuivre et l'aluminium (détendeurs).
- 40-64 : en expérimentation, acier et alliages de cuivre avec garnitures de la catégorie 3 (détendeurs).

Italie - utilisation jusqu'à 30 kg/cm<sup>2</sup>; corps cuivreux avec garniture de la catégorie 3; diamètre de 3 à 4 mm; application comme réducteur de 30 à 15 bars avec un débit de 150 Nm<sup>3</sup>/h.

Luxembourg - même application qu'en France, jusqu'à 40 kg/cm<sup>2</sup>.

Pays-Bas - petites utilisations (soudure, découpage, décriquage).

### Conclusions

Si cet organe semble très utilisé, c'est néanmoins le type de son obturateur qui l'est plus particulièrement; en effet, si celui-ci n'est pas pratique lorsque l'on veut faire un réglage manuel à partir d'un organe qui en est équipé, il donne par contre de meilleurs résultats lorsqu'il est asservi automatiquement, notamment dans un détendeur à action directe; or, si ces derniers sont répandus en sidérurgie, leur diamètre de passage au clapet est assez réduit, pour le moment tout au moins, la tendance actuelle, dans différents pays, étant de développer des détendeurs avec des clapets de section beaucoup plus importante. Si l'acier inoxydable et les alliages de cuivre sont principalement retenus, l'acier et l'aluminium n'en sont pas pour autant écartés. La question de la filtration n'a pas été soulevée et ceci pourrait être une lacune si la pression arrive sous le clapet, car en supposant même que les garnitures soient incombustibles, il n'en demeure pas moins qu'une érosion éventuelle du clapet est toujours à craindre; dans les détendeurs, cette crainte est très sensiblement atténuée, car la pression arrive, dans la majorité des cas, sur le siège et non sous le clapet.

### 6.3.5 - à clapet plat avec la garniture sur le siège

Allemagne - voir 6.3.4.

- Belgique - 0-1, 1-15, 15-40 : corps en alliage de cuivre, clapet en acier inoxydable avec garniture de la catégorie 2.
- France - peu d'expérience, mais solution intéressante si la pression arrive sous le clapet.
- 15-40 : corps en bronze, organes d'étanchéité avec garniture de la catégorie 5; conduite de 30 mm de diamètre.
- Italie - pas d'utilisation.
- Luxembourg - pas d'utilisation.
- Pays-Bas - 1-15 : clapet en acier de 100 mm de passage avec garniture de la catégorie 3.

### Conclusions

L'intérêt de cette solution est que la garniture en matière organique n'est pas placée directement en face de la veine gazeuse s'écoulant dans l'organe lorsque la pression arrive sous le clapet; elle atténue donc, en l'absence de filtre, les risques de persussion et d'incrustation de particules, éventuellement échauffées, sur la garniture. Utilisée généralement sur des organes à commande manuelle, elle est peu répandue dans les détendeurs à action directe ....

### 6.3.6 - à clapet profilé avec la garniture sur le clapet (fig. 8 dans le cas du clapet simple et fig. 9 dans le cas du double clapet)

- Allemagne - jusqu'à 64 kg/cm<sup>2</sup>, construction en bronze ou en acier inoxydable avec garniture de la catégorie 3.
- Belgique - 1-15 : corps en acier inoxydable, équipement mobile à simple siège en acier inoxydable stellite (catégorie 5); garniture de presse-étoupe de la catégorie 3; diamètre de passage de 50 mm.



- 15-40 : corps en cupro-aluminium; équipage mobile à double siège en cupro-aluminium et équipé de garnitures de la catégorie 5, garniture de presse-étoupe de la catégorie 3; diamètre de passage de 100 mm.
- France - voir 10.3.4, et Belgique ci-dessus pour la classe 15-40.
  - jusqu'à 40 kg/cm<sup>2</sup>, corps en bronze, équipage mobile en bronze avec garnitures de la catégorie 5, à simple siège pour une conduite de 150 mm de diamètre et à double siège pour une conduite de 175 mm de diamètre.
- Italie - jusqu'à 40 kg/cm<sup>2</sup>, corps en bronze ou en acier inoxydable, équipage mobile à simple ou double clapet avec garnitures de la catégorie 5.
- Luxembourg - voir Belgique.
- Pays-Bas - jusqu'à 40 kg/cm<sup>2</sup>, construction en bronze avec garniture de la catégorie 3.

#### Conclusions

C'est l'organe classique utilisé presque toujours en régulation automatique. Le clapet profilé, solidaire de l'équipage mobile, permet une variation plus progressive de la section de passage lorsqu'il se déplace; Afin de soulager son dispositif de commande, l'équipage mobile comporte, quand les diamètres sont importants, un double clapet qui fait face à deux sièges; cette disposition est loin de donner une étanchéité absolue; lorsque, l'organe étant fermé, les contacts sont métal sur métal; aussi une amélioration à ce défaut est de garnir le double-clapet de garnitures plastiques donc combustibles. Comme on peut le voir, ce remède n'a pas fait l'unanimité. (Il va de soi que ce qui vient d'être dit s'applique, mais avec moins de rigueur, au clapet simple). C'est la vitesse souvent très élevée au clapet (\*) qui fit adopter, lorsque l'utilisation de cet

---

(\*) Il en est d'ailleurs de même pendant l'ouverture de tout organe de sectionnement, ainsi que dans tout organe de réglage en débit, lorsque le rapport des pressions de part et d'autre de l'équipage mobile est élevé; pour un rapport de l'ordre de 2, la vitesse maximale est celle du son.

organe débuta sans filtration, de cuivre et ses alliages de préférence aux autres métaux et qui fit écarter les matières organiques, car celles-ci étaient incontestablement moins évoluées que celles dont on dispose aujourd'hui; maintenant l'acier inoxydable et les matières fluorées sont utilisés plus couramment.

6.3.7 - à clapet profilé avec la garniture sur le siège

- Allemagne - 0-1, 1-15 : corps en acier inoxydable ou en bronze avec garniture de la catégorie 3.  
- 15-40 : corps en acier inoxydable ou en bronze avec garniture de la catégorie 5.
- Belgique - voir 6.3.6.
- France - expérience partielle : en expérimentation.  
- pas d'utilisation.
- Italie - jusqu'à 40 bars, corps en acier avec siège en acier inoxydable (catégorie 5) clapet simple en acier inoxydable, garniture de presse-étoupe de la catégorie 3, diamètre maximal de 50 mm.  
- jusqu'à 40 bars, corps et clapet en bronze avec garniture de la catégorie 3 ou 5.
- Luxembourg - 1-15, vanne à double clapet, corps en acier inoxydable ou bronze, garniture 3.
- Pays-Bas - jusqu'à 40 bars, corps et clapet en bronze ou en acier inoxydable avec garniture de la catégorie 5, diamètre maximal de 50 mm.

Conclusions

Il semble logique d'appliquer les conclusions du 6.3.6. à cet organe.



6.3.8 - à boisseau sphérique (fig. 10 et 11)

Allemagne - pas d'expérience.

Belgique - pas d'expérience.

France - pas d'expérience. Une société anglaise développe un organe avec une sphère qui est creusée suivant un profil très particulier; le corps et la sphère sont en acier inoxydable et les garnitures sont de la catégorie 3.

- voir 6.2.8; utilisation limitée à 20 bars et à 30 mm de diamètre.

Italie - peu recommandable (érosion des garnitures) mais néanmoins utilisé; parties métalliques en alliage cuivreux, garniture 3.

- aucune expérience.

Luxembourg - pas d'expérience.

Pays-Bas - pas d'expérience.

Conclusions

Son emploi comme organe de réglage est donc beaucoup plus restreint que comme organe de sectionnement.

6.3.9 - à papillon

Tous les experts sont unanimes pour déclarer que cet organe n'est pas utilisé.

## 7 - TECHNOLOGIE ET CONDITIONS D'UTILISATION DES DIFFERENTS TYPES DE SERVO-MOTEURS

### 7.1 - Définition et classement

Par servo-moteurs il faut entendre les dispositifs d'asservissement qui, à partir d'un ordre émis, soit automatiquement par un détecteur de défaut ou un capteur de mesure, soit manuellement, manoeuvrent les organes de sectionnement pour les maintenir ouverts ou fermés (tout ou rien), positionnent les équipages mobiles des organes de réglage en fonction de la valeur de la grandeur qu'ils ont à régler.

Leur classement est le suivant :

- les servo-moteurs pneumatiques utilisant l'oxygène,
- les servo-moteurs pneumatiques n'utilisant pas l'oxygène,
- les servo-moteurs hydrauliques,
- les servo-moteurs électriques.

### 7.2 - Servo-moteurs pneumatiques utilisant l'oxygène.

#### 7.2.1 - Pour les détendeurs à action directe

La partie essentielle du servo-moteur est une membrane élastique qui, en se déformant, permet à un clapet mobile d'obstruer plus ou moins un orifice fixe : le siège. Le gaz se détend, c'est-à-dire que sa pression s'abaisse immédiatement à l'aval du clapet, et pour des pressions stables de part et d'autre de ce dernier, le débit gazeux est une fonction du déplacement du clapet. Les deux faces de la membrane sont soumises à deux forces antagonistes; une face reçoit une force qui est proportionnelle à la pression que l'on se fixe à l'aval du clapet (c'est la pression détendue), l'autre face recevant une force qui est proportionnelle à la valeur réelle de la pression détendue; lorsque l'antagonisme s'annule, la membrane et, par là même, le clapet prennent



une position d'équilibre. En pratique la première force est obtenue, soit par la tension d'un ressort, soit par de l'oxygène à une pression (pression de consigne) sensiblement voisine de la pression détendue; la seconde force l'est en soumettant directement la membrane au fluide qui s'échappe du clapet. En plus, du fait que les pressions détendues sont, en sidérurgie, relativement élevées (de 10 à 15 bars), la membrane ainsi disposée, reçoit donc l'impact du fluide, plus ou moins propre s'échappant à vitesse élevée du clapet, ce qui peut provoquer des inflammations comme l'expérience l'a montré.

Les experts reconnaissent que les détendeurs à action directe étant des appareils simples, robustes et étanches, leurs utilisations sont appelées (et ceci semble se confirmer) à se développer; compte-tenu que les membranes sont toujours dans des matières de la catégorie 1 ou 3 (\*) (les détendeurs avec membrane métallique ont des applications restreintes ou sont encore en cours d'expérimentation) ils concluent qu'il est indispensable qu'elles soient soustraites des percussions et des incrustations de particules chauffées, des vibrations et des compressions adiabatiques.

#### 7.2.2 - pour les organes de réglage (fig. 9)

Ces servo-moteurs ont une conception qui s'apparente à celle des servo-moteurs des détendeurs; une membrane en se déformant sous l'action d'une pression motrice (souvent dénommée "fluide moteur"), comprime plus ou moins un ressort antagoniste et déplace ainsi, dans l'organe de réglage proprement dit, l'équipage mobile qui lui est solidaire. La membrane nettement séparée du corps de l'organe est soumise à une pression maximale d'oxygène d'environ un bar; autrement dit, ses conditions de travail étant moins sévères que dans le cas précédent, les experts estiment qu'une membrane de la qualité 1 convient.

(\*) A ce sujet voici quelques précisions :

France - membranes suivant catégorie 1 ou 3, 1 plus 3, voire plus 3.

Italie - en dessous de 40 kg/cm<sup>2</sup>, membrane de la catégorie 1. Au-dessus de 40 kg/cm<sup>2</sup>, polythène chloré (hors catégorie) pour lequel la température d'inflammation serait de 300° C; pas de membrane métallique; matériel classique.

Pays-Bas - membrane de la catégorie 1.

Remarque

Un tel servo-moteur peut commander une vanne de sectionnement.

7.2.3. - du type " à vérin " (fig. 1)

Ils concernent principalement les organes de sectionnement.

La position des experts à leur sujet est la suivante :

Allemagne - son emploi sur l'oxygène a été longtemps interdit

Belgique - jusqu'à 40 kg/cm<sup>2</sup> : voir France

France - sont d'un emploi très généralisé jusqu'à 40 kg/cm<sup>2</sup> (peuvent être retenus jusqu'à 64 kg/cm<sup>2</sup>); cylindre et piston en alliage de cuivre (ou en acier chromé) équipés de garnitures (particulièrement bien enchassées dans leurs supports métalliques) des catégories 1 et 3, fonctionnant avec ou sans lubrification; des précautions sont à prendre lors du montage des garnitures et des indicateurs électriques de fin de course.

- une longue expérience confirme la position précédente.

Italie - attire l'attention sur la qualité et l'utilisation des lubrifiants.

Luxembourg - jusqu'à 40 kg/cm<sup>2</sup> : voir France

Pays-Bas - voir France.

Conclusions

L'expérience acquise sur un nombre très important de vérins alimentés directement en oxygène à la pression de la canalisation, a montré que c'est une solution qui offre une grande sécurité d'emploi. Afin de diminuer les élévations de température pendant la mise en pression des vérins, et de remédier ainsi aux conséquences éventuelles, il est conseillé d'alimenter progressivement ces derniers avec de l'oxygène dépoussiéré; de plus, ceci évite d'avoir des efforts exagérés sur les équipages mobiles.



Toutefois, les servo-moteurs à vérin ne sont pas à conseiller pour les organes de réglage, car il est pratiquement impossible, sans artifice particulier, de positionner avec précision leur piston.

### 7.3 - Servo-moteurs pneumatiques utilisant un gaz autre que l'oxygène

**Belgique** = signale la possibilité de les alimenter avec de l'air exempt d'huile (emploi d'un compresseur sec dans une aciérie belge).

**France** - quelles que soient la nature et l'origine du gaz, il est impératif d'éloigner, de façon irréfutable, le servo-moteur du corps de l'organe, afin d'éviter toute introduction de corps gras dans ce dernier.

b - le fluide moteur doit être uniquement de l'oxygène dans le cas de la figure 1.

**Italie** - l'air comprimé peut être retenu à condition que le servo-moteur, ainsi alimenté, soit séparé du corps de l'organe par deux presse-étoupe séparés (par une lanterne ou une cage, par exemple).

Voir France.

**Luxembourg** - voir France.

**Pays-Bas** - utilisation exclusive de l'oxygène; pas d'air comprimé.

### Conclusions

Il ne faut pas que des corps gras puissent être au contact de l'oxygène. Si la construction et l'implantation du servo-moteur ne permettent pas d'obtenir cette condition qui est impérative, quel que soit le type d'organe, et en cas de doute sur l'absence des corps gras dans le fluide moteur, il est conseillé d'utiliser de l'oxygène prélevé sur la conduite; il va de soi que ceci ne sera possible que si la nature des matériaux et des matières organiques le permet (voir précédemment); autrement dit le choix et le montage de ces servo-moteurs ne peuvent se faire qu'avec soin.

1447/1/68 f

#### 7.4 - Servo-moteurs hydrauliques

Les experts se sont rapidement mis d'accord pour conclure que si le fluide hydraulique est de l'huile (ou de l'huile mélangée à un solvant), les précautions indiquées au 7.3 s'imposent avec une rigueur qui, impérativement, doit être accrue. En pratique, il est sage de ne pas les utiliser avec ce liquide car peut-on raisonnablement affirmer qu'en exploitation, de l'huile ou des vapeurs d'huile, ne viendra jamais en contact avec l'oxygène ? Il est certain que leur emploi a toujours été limité à des cas particuliers.

#### 7.5.- Les servo-moteurs électriques (fig. 12)

Là aussi, l'unanimité s'est rapidement faite. Il est impératif d'empêcher que des fuites d'oxygène puissent s'infiltrer vers les composants électriques (bobinages, balais, contacts, etc.),...; ceci conduit à canaliser ces fuites en dehors de ces composants et à placer ceux-ci dans des boîtiers étanches.

### 8 - CONDITIONS D'UTILISATION DES ORGANES A COMMANDE MANUELLE EN FONCTION DE LEUR IMPLANTATION

#### 8.1 - Avant-propos

On ne peut plus nier que l'on connaît mieux maintenant les causes qui peuvent provoquer des inflammations dans les différents organes utilisés sur les canalisations d'oxygène car certaines des hypothèses proposées ont été vérifiées par des expérimentations méthodiques; la connaissance de ces causes, le choix des matériaux métalliques et des matières organiques, la disposition des produits combustibles par rapport à l'écoulement gazeux ont notamment permis de disposer d'organes, spécialement conçus pour l'oxygène et qui assurent une bien meilleure sécurité. Les experts ont cependant estimé, par prudence, qu'il pouvait être utopique, voire dangereux, d'affirmer que



les organes offrent maintenant la sécurité absolue que l'on est en droit d'attendre d'eux; aussi, sans vouloir prétendre les exagérer, ils ont estimé que des précautions devaient toujours être prises pendant leur utilisation, afin de protéger avant tout le personnel qui les exploite. Les manoeuvres peuvent s'effectuer suivant deux moyens, à savoir : la "commande directe" qui oblige l'opérateur à venir près de l'organe pour agir manuellement sur son dispositif de commande; la "commande indirecte" qui fait appel soit à un mécanisme manoeuvré à la main, soit à un servo-moteur agissant sur un ordre.

Comme dans le premier moyen, l'opérateur est exposé aux conséquences d'une inflammation éventuelle, il semble alors logique de poser la question suivante : quel est le critère qui permet de déterminer rationnellement que tel organe de sectionnement sera à commande directe ou indirecte ? Sur un plan purement théorique ou idéaliste, la réponse est : si un organe de sectionnement est conçu de telle façon que, quelle que soit sa durée d'exploitation, il ne puisse pas s'enflammer, sa commande peut être directe; dans le cas contraire, elle ne peut être qu'indirecte.

Les experts ont été amenés à prendre position sur la question et sur la réponse. Leurs avis, rapportés ci-après, ont également tenu compte des conditions d'implantation qu'il leur paraît nécessaire de respecter dans le cas de la commande directe (\*).

---

(\*) Cette réponse s'applique également, mais semble-t-il à un degré moindre, aux organes de réglage; en effet, à part les cas particuliers que constitue le réglage manuel de pressions ou de débits dans des canalisations de faible importance, la tendance aujourd'hui est d'automatiser les opérations de réglage.

## 8.2.- La position des experts

- Allemagne - Il faut attacher beaucoup d'importance aux facteurs qui empêchent les inflammations.
- La commande indirecte par mécanisme ou par servo-moteur est préférable à la commande directe.
- Si les garnitures sont ininflammables, la commande peut être directe mais, même dans ce cas, il est souhaitable d'interposer un écran incombustible entre le corps de l'organe et son volant de manoeuvre (cet écran est visible sur la fig. 13). Certains praticiens estiment qu'en cas de commande directe d'une vanne non équipée d'un écran, l'opérateur doit se mettre sur le côté de l'organe plutôt que faire face à son volant.
- Belgique - recommande que les organes
- soient recouverts d'une peinture qui les caractérise vis-à-vis de ceux utilisés avec d'autres fluides,
  - ne soient pas à hauteur d'homme, leur manoeuvre s'effectuant par des chaînes (volants verticaux) ou des tringles,
  - ne soient pas au ras du sol.
- France - partage la position italienne; si la protection du personnel est naturellement impérative il ne faut quand même pas perdre de vue que celle du matériel l'est aussi; les répercussions d'une inflammation sur un organe (de sectionnement) "de sécurité" peuvent être graves.
- Dans le choix du mode de commande, il ne faut pas perdre de vue la fonction que doit remplir l'organe (le débit est faible, les manoeuvres sont peu fréquentes, etc.).
- Il ne faut pas avoir une confiance aveugle dans la fiabilité des commandes indirectes avec servo-moteurs.



Pour qu'une commande directe se fasse, sans brutalité, il est nécessaire que le dispositif de manoeuvre soit protégé contre les infiltrations de poussière.

- Italie - L'aspect économique du problème ne doit pas être systématiquement écarté; s'il y a une équivalence des prix entre la commande directe et indirecte, la préférence doit se porter sur cette dernière. Toute commande directe exige que l'organe soit d'accès et de dégagement aisés et que l'opérateur ait toutes ses aises pour l'exécuter; cela implique que l'organe soit suffisamment éloigné par rapport aux autres vannes (distance minimale de 0,5) mètre entre deux vannes), aux autres canalisations et aux matières incandescentes, et plaide en faveur des installations en plein air.
- Si les organes sont placés dans un bâtiment des consignes d'exploitation très strictes sont indispensables (accès, ventilation .....), des panneaux fixés à chaque organe et portant l'inscription "oxygène" sont à conseiller (\*), les commandes directe et indirecte doivent s'effectuer lentement.
  - Pour les opérations d'entretien, les organes ne doivent pas être en pression.
  - Les précautions sont à prendre en rapport avec le dimensionnement des organes et un certain libéralisme vis-à-vis de ceux de faibles sections de passage est souhaitable. Il faut protéger les organes contre les chocs. La conduite doit être repérée à l'aide des couleurs prescrites.

Luxembourg - Voir Italie

Pays-Bas - La commande directe n'est applicable qu'aux organes peu manoeuvrés.

---

(\*) - Un usage courant est de les compléter par "Attention ne pas graisser. Ne pas utiliser l'oxygène à la place d'air comprimé".

### Conclusions

Un organe de sectionnement peut être à commande directe sans écran de protection, d'une part si ses deux garnitures sont, soit inflammables, soit combustibles à la condition que dans ce cas les causes d'inflammation soient éliminées, et si d'autre part sa fréquence de manoeuvre est faible (\*).

Autrement dit, lorsque les conditions ci-dessus ne sont pas remplies, il faut soit une commande indirecte, soit une commande directe avec un écran de protection incombustible, demeurant efficace dans le temps, et ceci quelles que soient la section de l'organe et sa pression de service. Lorsque des organes sont groupés et afin qu'il n'y ait pas de confusion dans leur utilisation (en commande directe, notamment), indiquer clairement, en plus de l'inscription citée plus haut, la pression de la canalisation sur laquelle ils sont montés ainsi que leur fonction, semble être une sage précaution.

### 8.3. - Autres détails intéressant l'implantation des organes et plus particulièrement le dégagement des lieux

Ceux-ci firent l'objet d'un examen qui peut se résumer ainsi. Tous les experts à l'exception de ceux d'Italie sont d'accord pour estimer que sur un plan horizontal, un dégagement minimal de six mètres dans plusieurs directions préférentielles au départ de l'organe permet à un opérateur de se mettre rapidement hors de portée des projections dangereuses qui seraient dues à une inflammation spontanée; à partir de cette distance, ils estiment qu'un personnel de passage, non averti des risques

---

(\*) Cette fréquence n'est pas précisée car les experts ont été partagés sur celle qu'il aurait été souhaitable de conseiller. Voici à titre d'information quelques valeurs données par certains d'entre eux :

- B :	5 à 6	manoeuvres	complètes	par	heure
- F :	6	"	"	"	"
- I :	1	"	"	"	"
- L :	6	"	"	"	"
- N :	3	"	"	"	"



éventuels serait également en mesure de se mettre à l'abri, et que les dommages aux installations avoisinantes sont fortement atténués. Pour ce qui est du dégagement sur un plan vertical, il faut que la hauteur libre (\*) soit suffisante pour qu'un homme, obligé de se coucher sous un organe ou sous la canalisation, puisse se dégager rapidement. Il est évident que si sa conception, sa manoeuvre et son entretien le permettent, un organe peut reposer à même le sol.

Dans la mesure du possible, le montage d'organes dans des fosses et des caniveaux sera évité, ainsi que dans des endroits mal aérés; toute intervention sur des organes ainsi implantés sera précédée d'un dosage en oxygène de l'atmosphère et, bien que la teneur limite de ce dernier ait été fixée à 26 %, il est vivement recommandé de n'introduire une flamme ou une source de chaleur dans les fosses et dans les caniveaux que lorsque leur teneur en oxygène est égale à celle de l'air.

- Il est de plus conseillé ou précisé :

- Lorsqu'une canalisation d'oxygène longe une conduite de gaz combustible, s'il y a lieu, l'appareillage de la première sera, de préférence, implanté sous la seconde.
- Lorsqu'un organe est près de conducteurs électriques, la fixation et l'isolement de ceux-ci doivent être particulièrement soignés et contrôlés; dans le cas d'une impossibilité, un écran incombustible sera placé entre lui et les conducteurs.

---

(\*) Certains experts ont conseillé une hauteur libre de 0,7 à 0,8 m pour les stations de détente notamment. Cette hauteur libre se justifie pour certains cas et, pour un expert, sa raison d'être est de commodité et non de sécurité.

- Une canalisation d'oxygène, au voisinage des conducteurs électriques (enterrés ou aériens), peut être parcourue par des courants induits lors de la coupure ou du rétablissement du courant dans les conducteurs; en traversant des organes ces courants induits sont en mesure, si les précautions n'ont pu être prises, de rendre plus sensibles les échauffements de poussières par effet Joule, car leur énergie peut être très grande; cette dernière est sensiblement moindre lorsque la canalisation croise les conducteurs au lieu de les suivre.

#### Observations

Quelques points particuliers ont été examinés rapidement; les voici résumés :

- L'entretien des organes se fera avec des gants exempts de corps gras,
- le port de chaussures présentant des pièces métalliques apparentes est à prohiber dans les endroits confinés où l'atmosphère peut être suroxygénée,
- le choix de la nature du vêtement est encore très discuté; la majorité des experts estiment que le vêtement en fibre synthétique n'est pas à conseiller, mais par contre, les vêtements en laine et en coton n'offrent guère plus de protection vis-à-vis des fuites d'oxygène accompagnées de projections incandescentes éventuelles. Quoi qu'il en soit, les vêtements ne devront jamais être gras,
- une vanne à commande directe ne peut être placée à hauteur de la tête de l'opérateur que si elle est pourvue d'un écran de protection,



- La distance entre un organe et un changement de direction doit être de l'ordre de 10 diamètres. Toutefois, l'expert belge estime que si le changement de direction est réalisé en alliage de cuivre, ce rapport peut être inférieur et même très faible,
- La distance entre deux vannes successives équipées de garnitures inflammables sur une même conduite est fonction du type de vanne; lorsque les deux vannes ne présentent pas de changement de direction de la veine gazeuse (vannes à opercule), cette distance est libre; lorsque les deux vannes présentent des changements de direction, elle doit être d'au moins 10 diamètres.

#### CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Lorsque l'on réfléchit aux conséquences que peut avoir, dans un organe, la présence d'éléments en matières combustibles, on a le droit de se poser la question suivante : est-il encore logique de les conserver ? Dans le cas où une solution technique serait en mesure de réaliser des organes qui ne fassent appel qu'à des matériaux réellement ininflammables, tout en ne sacrifiant rien aux exigences logiques des exploitants (bonne étanchéité en dépit des conditions d'utilisation, robustesse, entretien réduit, faible prix d'achat, etc.) la réponse serait naturellement : non ! Or, comme pour le moment tout au moins, il n'est pas possible d'écarter les matières organiques, les utilisateurs de l'oxygène en sidérurgie sont donc dans l'obligation de vivre avec, mais néanmoins, il ne serait pas raisonnable de leur part, d'exagérer les dangers et risques éventuels dus à leur présence, tant pour le personnel, que pour les installations, et qui sont, très souvent, la conséquence d'une inflammation spontanée (auto-inflammation). En effet, la masse des matériaux qui peuvent être fondus ou brûlés, lors

d'une telle inflammation, sera d'autant plus réduite, et par là même des projections incandescentes le seront aussi, que le dégagement thermique résultant de la combustion des matières inflammables est faible. L'abaissement du dégagement thermique peut être atteint en choisissant des matières ayant un faible pouvoir calorifique et en diminuant leur masse. Les experts, compte tenu de leur propre expérience dans différents domaines, ont en conséquence sélectionné les matières organiques qui leur semblent les mieux adaptées; parmi celles-ci, ce sont avant tout les résines fluorées et les produits à forte teneur en amiante qui ont les pouvoirs calorifiques les plus bas.

Pour qu'un organe puisse s'enflammer, il suffit qu'un de ses éléments combustibles ait été porté, localement ou non, à sa température d'inflammation. La création du "point chaud" nécessite la présence d'une ou de plusieurs causes. Parmi les causes retenues par les experts, il faut reconnaître que si certaines semblent plus problématiques que d'autres car, notamment, elles n'ont pas eu le mérite d'avoir pu être vérifiées expérimentalement ou industriellement, il y en a qui s'admettent facilement; ce sont les causes extérieures; on conçoit aisément, par exemple, que le rayonnement infra-rouge d'une matière incandescente peut être suffisant pour créer un point chaud dangereux dans un organe peu éloigné. En examinant, les causes, autres que les causes extérieures, on voit que plusieurs mettent en évidence l'influence néfaste des poussières (les particules) entraînées par le gaz. L'origine des poussières est la paroi interne des tubes en acier qui, comme on l'a vu, constituent les canalisations dans la majorité des cas; il est très difficile en effet d'obtenir, lors de la pose d'une canalisation, que cette paroi soit rigoureusement propre, par décapage et soufflage, et il est donc normal de craindre que de fines particules de rouille et de calamine puissent s'en détacher ultérieurement. Deux nouvelles questions viennent alors à l'esprit.



Pourquoi conserver l'acier puisque ses oxydes peuvent être dangereux ? Pourquoi ne pas le remplacer par le cuivre et les aciers inoxydables qui ne s'altèrent que difficilement ? L'expérience permet de répondre à ceci que, abstraction faite de leur coût élevé et des sujétions de leur mise en oeuvre, le cuivre et les aciers inoxydables ne sont qu'une solution au problème car celui-ci se présente sous deux formes :

- a - ne pas avoir de poussières,
- b - éviter que ces poussières soient dangereuses.

Aussi bien du point de vue pratique qu'économique, (il ne serait pas raisonnable d'écarter celui-ci a priori) le deuxième aspect est, tout compte fait, le plus sûr si les précautions recommandées sont respectées. Parmi les recommandations il faut particulièrement noter : la position des éléments en matière organique par rapport à la veine gazeuse (afin de les soustraire des chocs de particules échauffées), la mise au même potentiel électrique des constituants d'un organe (pour éviter l'échauffement de poussières par effet Joule), l'ouverture lente et progressive des organes (notamment afin d'empêcher l'échauffement des poussières par compression adiabatique).

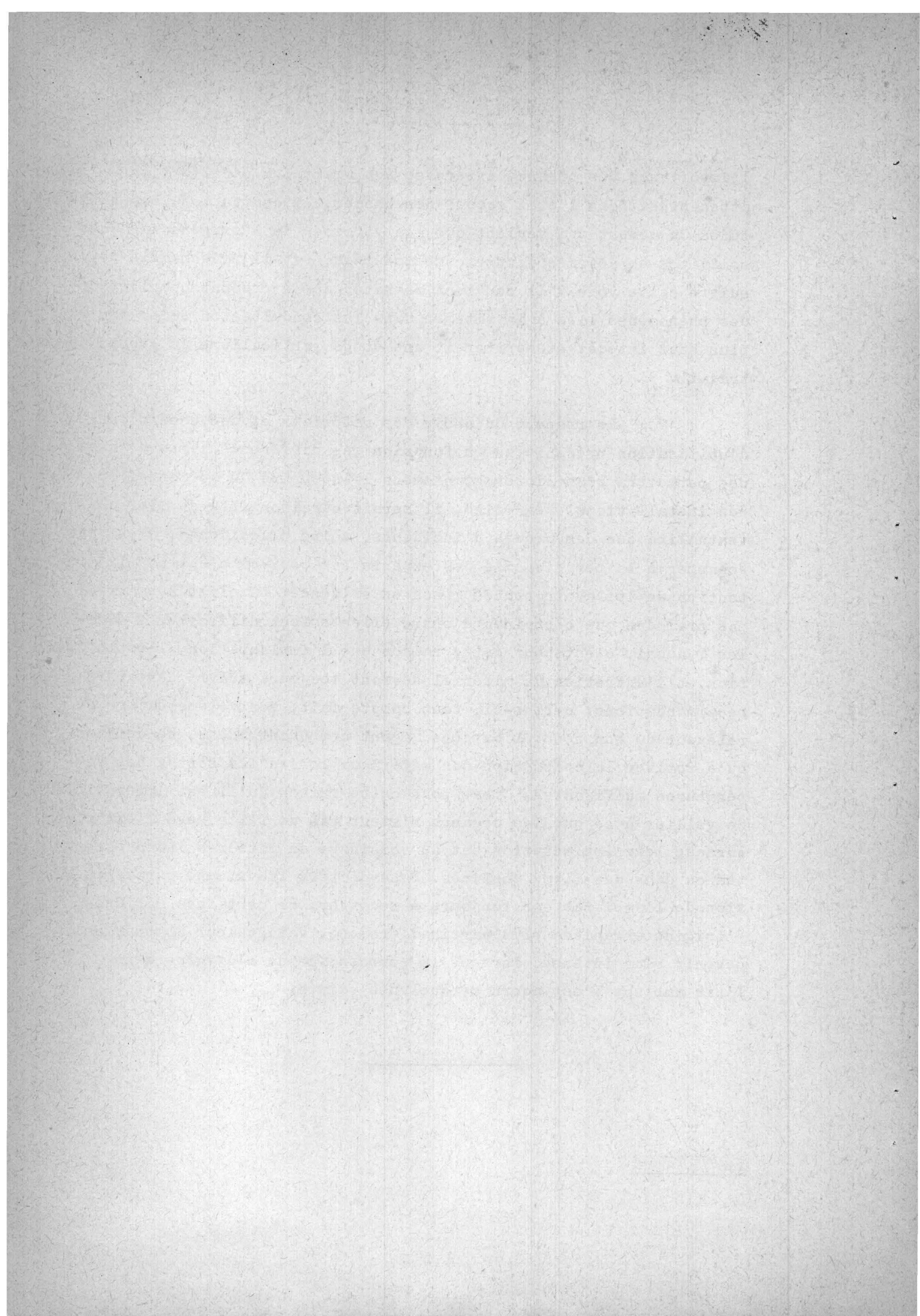
Les recommandations ci-dessus se complètent par une autre : c'est la filtration du gaz à l'amont des organes. En plus de retarder les phénomènes d'usure, elle évite l'accumulation des poussières dans ces derniers.

Un autre intérêt des filtres est de permettre un accroissement des vitesses d'écoulement dans les organes. Des vitesses de 60 m/s ont été avancées, à plusieurs occasions, sans qu'il ait toujours été précisé si elles s'entendaient pour un gaz filtré. De telles vitesses ont entre autres l'avantage, pour un débit donné, de diminuer le volume des organes et, par là même, de réduire la masse des matières organiques. Il serait également séduisant que cette diminution de

l'importance des organes intéresse également les canalisations attenantes. Dans l'état actuel des choses, et compte tenu des habitudes du moment qui veulent que les vitesses de l'oxygène dans ces conduites en acier soient encore modérées, est-il raisonnable de suivre cette voie ? Il convient de noter dès à présent que l'étude des phénomènes liés à la vitesse dans les conduites en acier est du plus haut intérêt et mériterait une étude particulière du groupe de travail.

Le respect du choix des matériaux et des conditions d'utilisation préconisées en fonction des différents types d'organes permettra d'améliorer grandement la sécurité du personnel et des installations. Néanmoins, il serait déraisonnable de nier l'éventualité que des causes d'incidents, voire d'accidents, aient pu échapper à la perspicacité des experts car ceux-ci n'ont pas la prétention de les avoir toutes mises en évidence; en effet ne faut-il pas craindre que certaines d'entre elles soient difficiles à déceler ? Aussi, c'est pour cette raison que l'implantation, l'exploitation et l'entretien du matériel devront toujours suivre certaines recommandations; celles-ci, tout compte fait, sont élémentaires et relèvent du bon sens; l'oxygène, agent comburant idéal, ne demande qu'à activer la combustion des matériaux lorsqu'ils sont à des températures suffisantes. C'est pour cette raison qu'il est impératif de veiller à ce que les organes n'aient pas de fuite vers l'extérieur, lorsque leur implantation est au voisinage de matières incandescentes ou dans des lieux confinés. Dans de tels lieux, une suroxygénation de l'ambiance est toujours à redouter; or certaines matières, d'origine organique plus particulièrement, voient leur combustion devenir plus intense, lorsque le pourcentage de l'oxygène dans l'air ambiant s'est accru de quelques points.





## LEGENDE DES TABLEAUX

Tableau 1 : choix de la nature de la garniture de l'obturateur, en fonction de la nature du métal de l'organe et de la pression de service .

Tableau 2 : choix de la nature de la garniture du presse-étoupe en fonction de la nature du métal de l'organe et de la pression de service.

### Métal de l'organe

- A : aciers au carbone non alliés ou faiblement alliés
- B : fonte spéciale
- C : aciers inoxydables (contenant au minimum chrome et nickel)
- D : cuivre et alliages
- E : aluminium et alliages

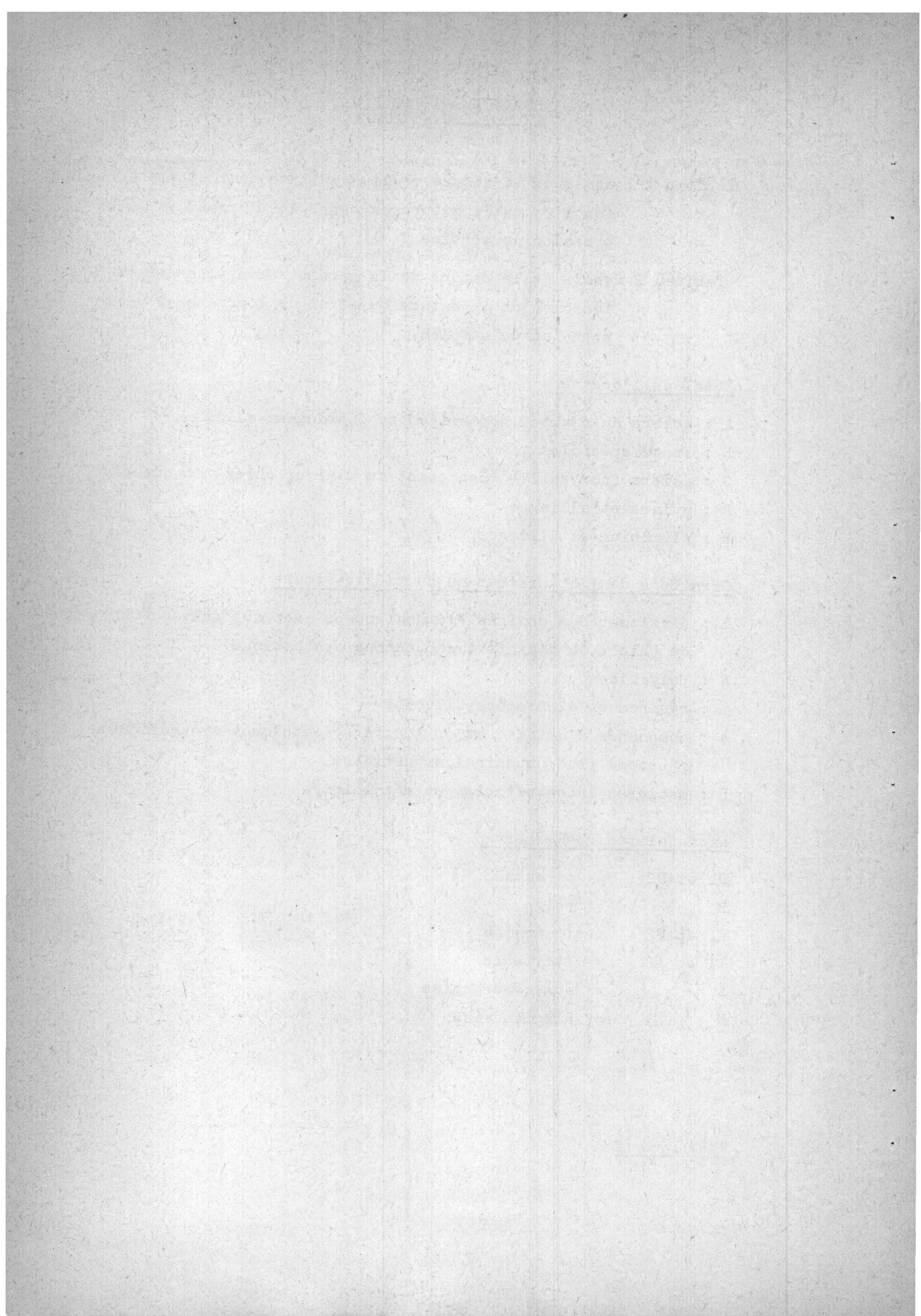
### Garniture de l'obturateur ou du presse-étoupe

- 1 : élastomères à chaînes hydrocarbonées avec adjonction éventuelle de chlore ou d'azote ( caoutchouc synthétique)
- 2 : polyamides
- 3 : résines et élastomères fluorés
- 4 : compounds d'amiante et de liants (caoutchoucs synthétiques, résines) plus ou moins combustibles
- 5 : matières incombustibles et métalliques

### Nationalités des experts

- D1 et D2 = allemande
- B = belge
- F1 et F2 = française
- I1 et I2 = italienne
- L = luxembourgeoise
- N = néerlandaise





OBTURATEURS

VERSCHLUSSSTÜCKE

OTTURATORI

AFSLUITERS

TABLEAU 1 - TABELLE 1

		A					B					C					D					E				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0 - 1 kg/cm <sup>2</sup>	D 1																									
	D 2																									
	B																									
	F 1																									
	F 2																									
	I 1																									
	I 2																									
	L																									
	N																									
1 - 15 kg/cm <sup>2</sup>	D 1																									
	D 2																									
	B																									
	F 1																									
	F 2																									
	I 1																									
	I 2																									
	L																									
	N																									
15 - 40 kg/cm <sup>2</sup>	D 1																									
	D 2																									
	B																									
	F 1																									
	F 2																									
	I 1																									
	I 2																									
	L																									
	N																									
40 - 64 kg/cm <sup>2</sup>	D 1																									
	D 2																									
	F 1																									
	N																									

case blanche = matière organique choisie

- weisse Quadrate = ausgewählter organischer Werkstoff

caselle bianche = sostanza organica prescelta

- witte vakje = gekozen organische stof





PRESSE-ETOUPE  
 STOPFBUCHS  
 PREMISTOPPA  
 PAKKING BUS

TABLEAU 2 - TABELLE 2

		A					B					C					D					E				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0 - 1 kg/cm <sup>2</sup>	D 1																									
	D 2																									
	B																									
	F 1																									
	F 2																									
	I 1																									
	I 2																									
	L																									
	N																									
1 - 15 kg/cm <sup>2</sup>	D 1																									
	D 2																									
	B																									
	F 1																									
	F 2																									
	I 1																									
	I 2																									
	L																									
	N																									
15 - 40 kg/cm <sup>2</sup>	D 1																									
	D 2																									
	B																									
	F 1																									
	F 2																									
	I 1																									
	I 2																									
	L																									
	N																									
45 - 64 kg/cm <sup>2</sup>	D 1																									
	D 2																									
	F 1																									
	N																									

case blanche = matière organique choisie

- weisse Quadrate = ausgewählter organischer Werkstoff

caselle bianche = sostanza organica prescelta

- witte vakje = gekozen organische stof





## LEGENDE DES FIGURES

Figure 1 : vanne à opercule simple; à gauche commande manuelle; à droite, commande pneumatique, type à vérin.

Figure 2 : vanne à piston.

Figure 3 : vanne à manchette.

Figure 4 : vanne à clapet plat avec garniture sur le clapet.

Figure 5 : vanne à clapet profilé avec garniture sur le clapet.

Figure 6 : vanne à boisseau sphérique.

Figure 7 : vanne à opercule.

Figure 8 : vanne à clapet profilé simple avec garniture sur le clapet.

Figure 9 : vanne à clapet profilé double avec garniture sur le clapet.

Figure 10: vanne à boisseau sphérique.

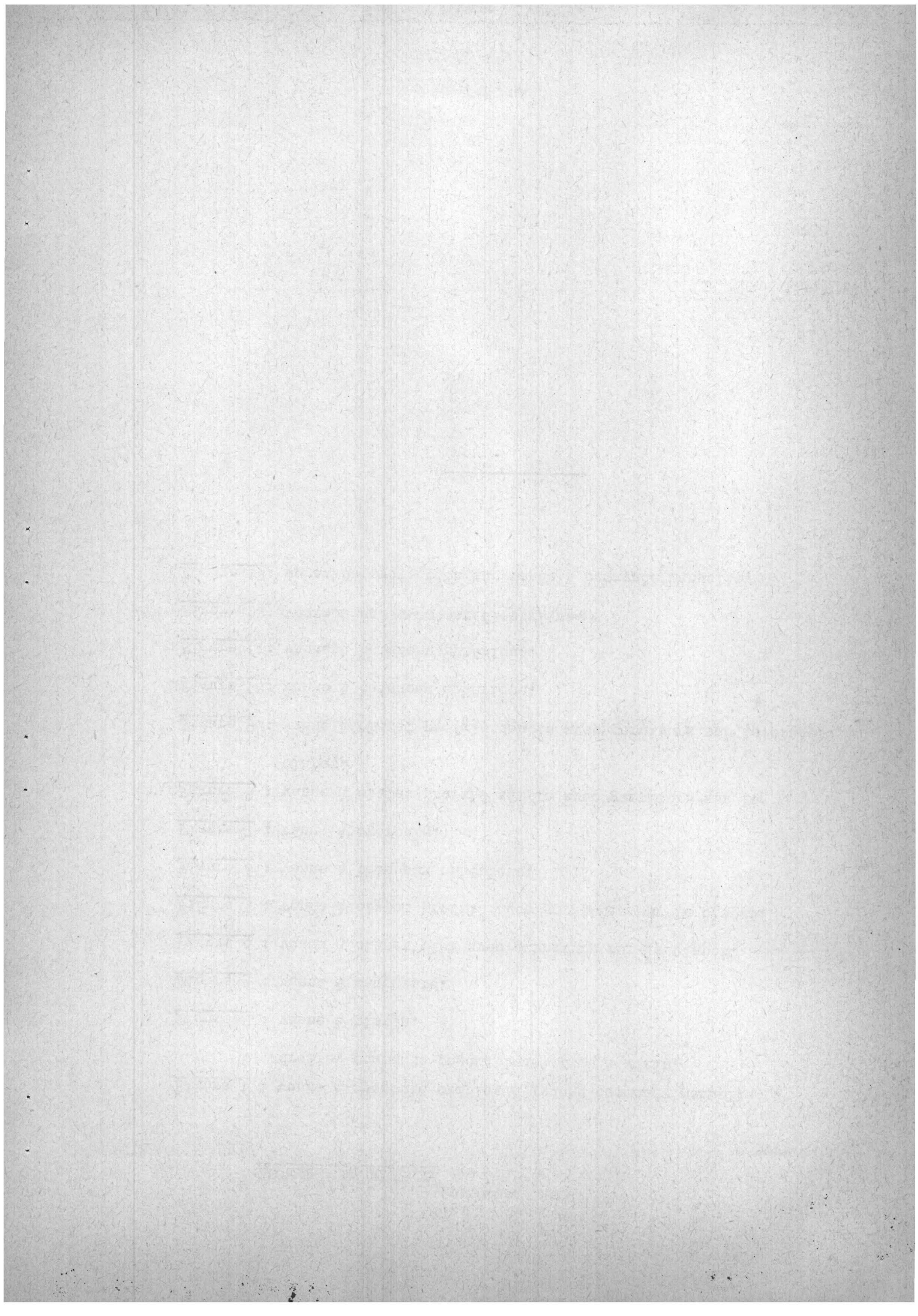
Figure 11: vanne à boisseau sphérique.

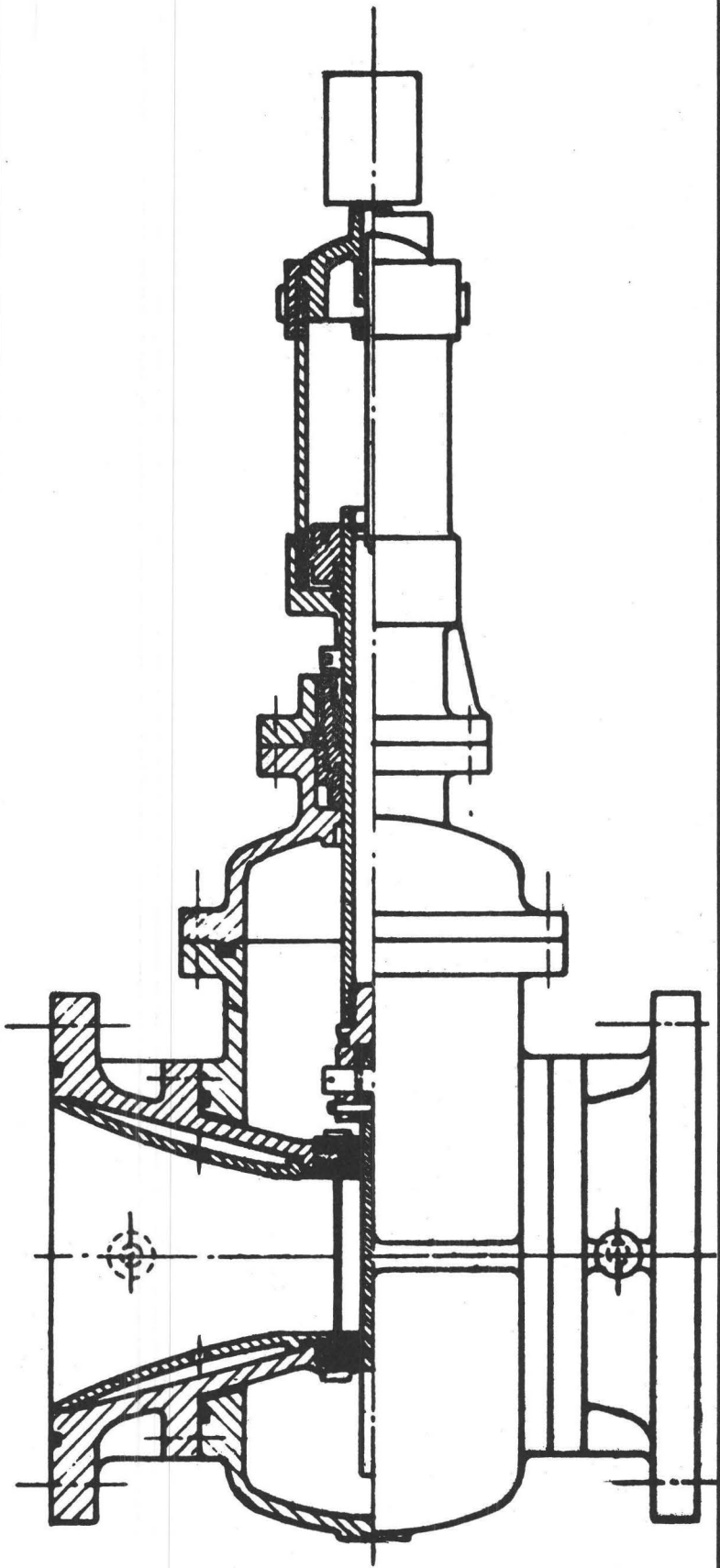
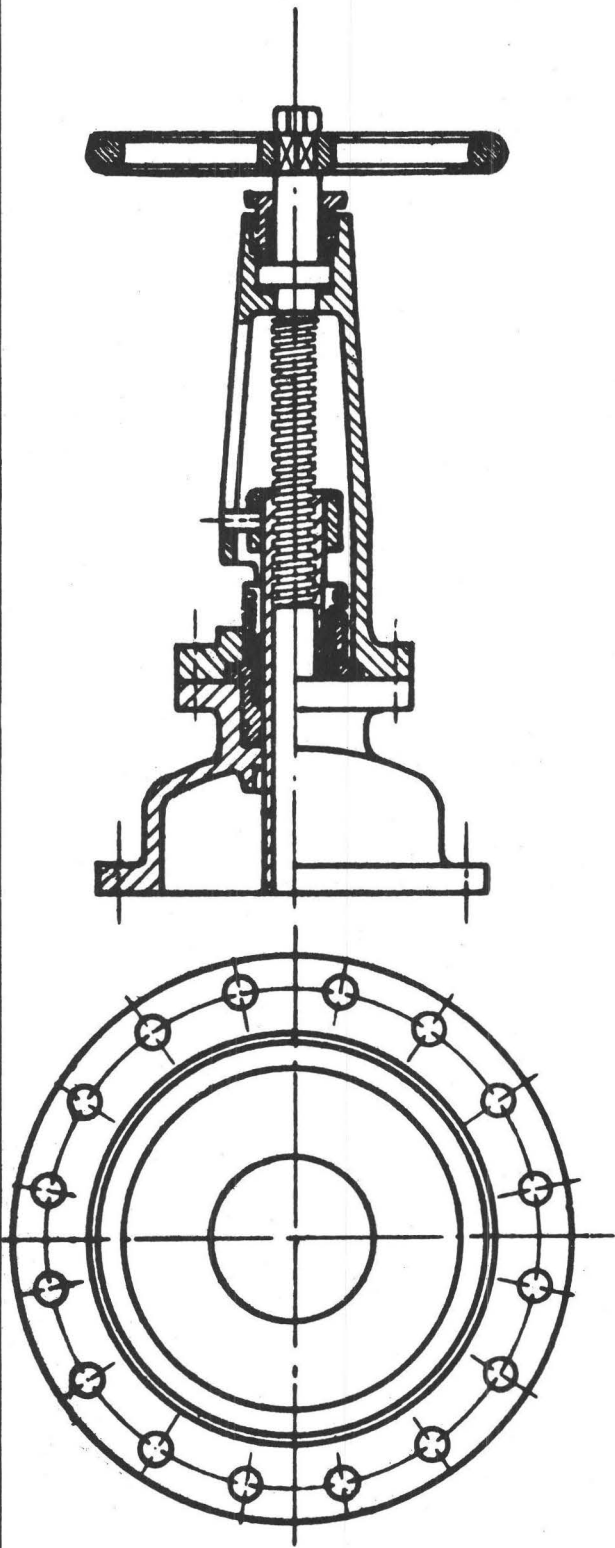
Figure 12: ~~vanne à servo-moteur électrique~~

Figure 13: écran de protection sur vanne à commande manuelle.

---

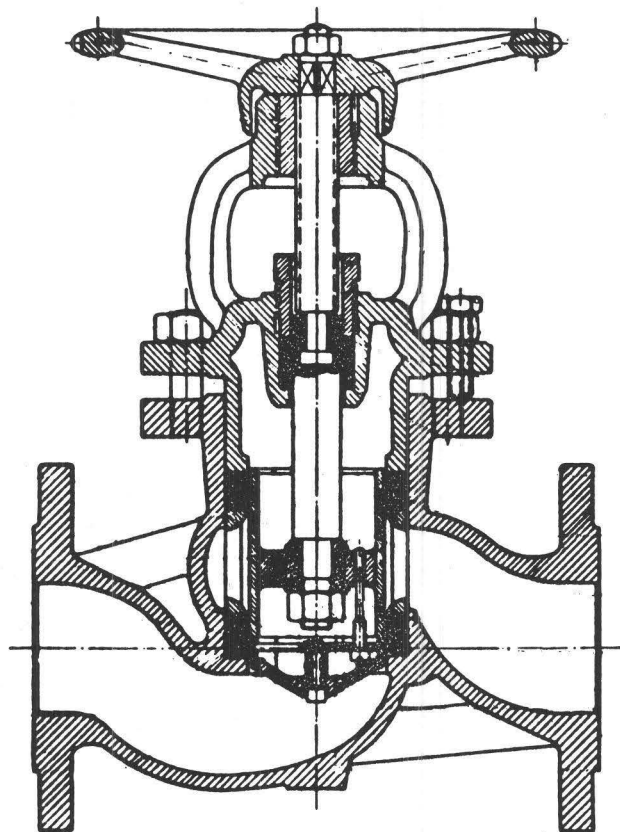
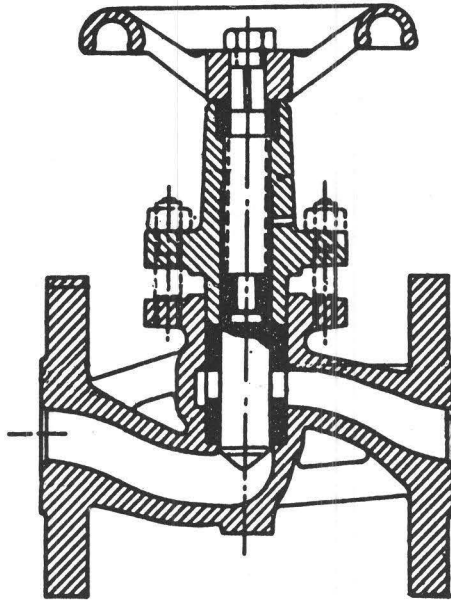






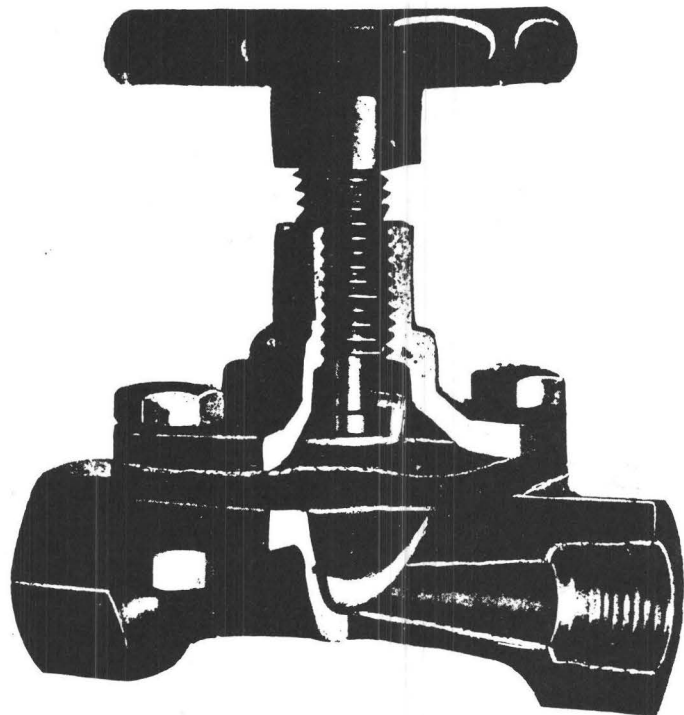
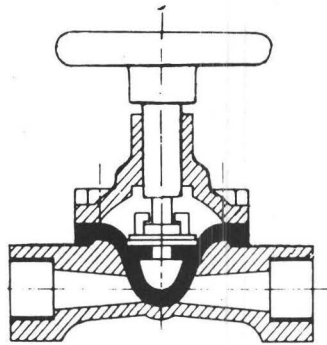












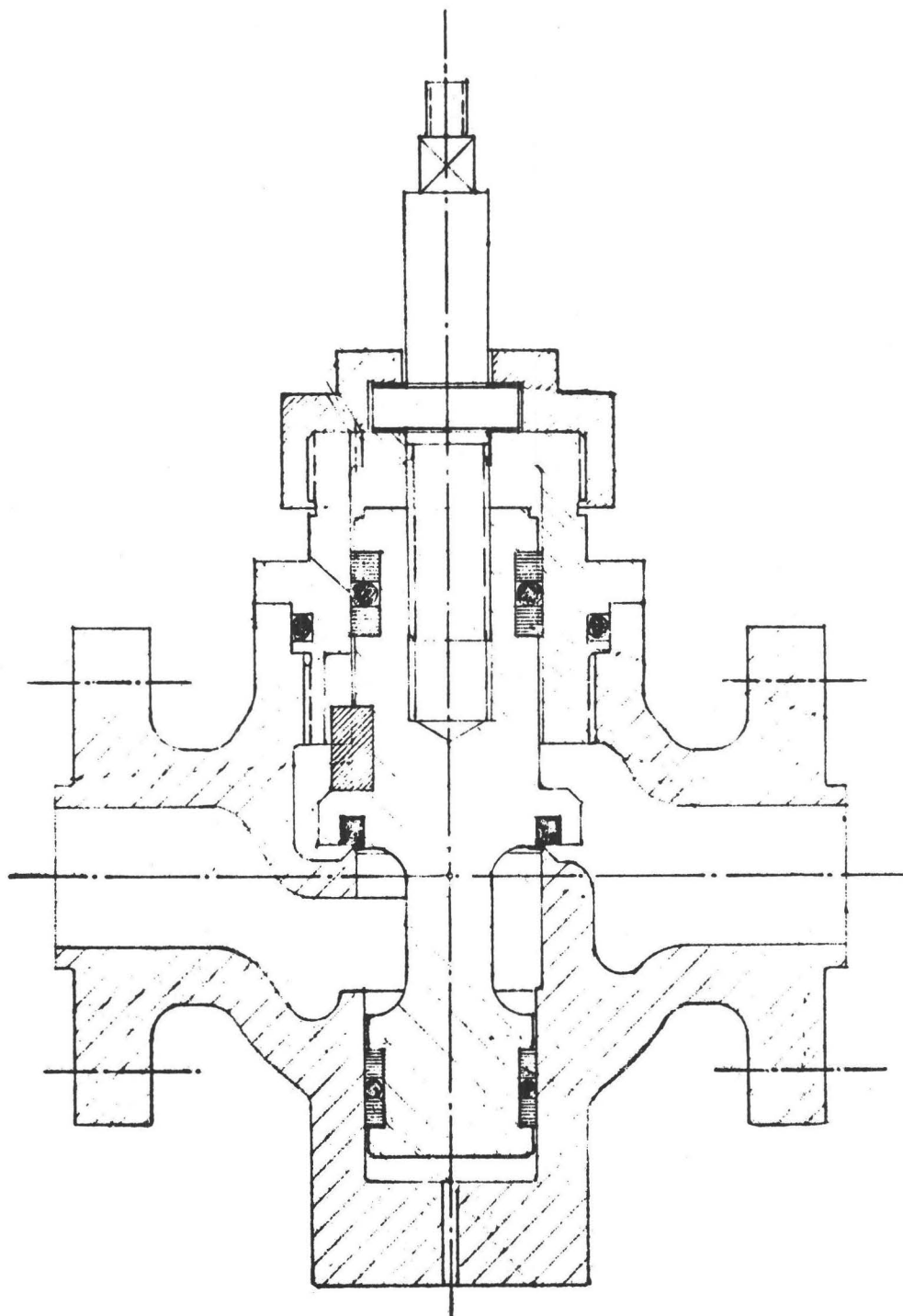


33

18

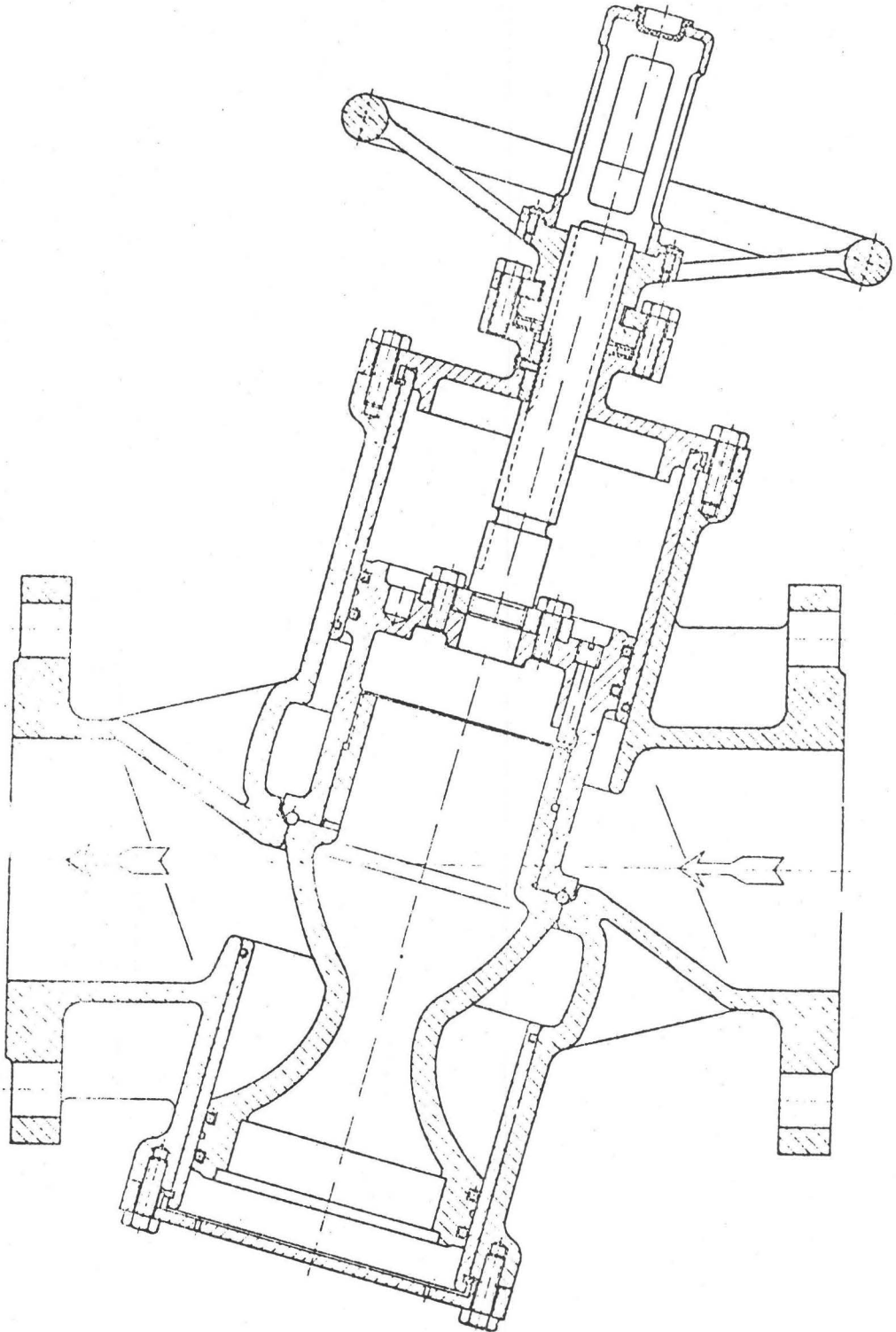
19

20



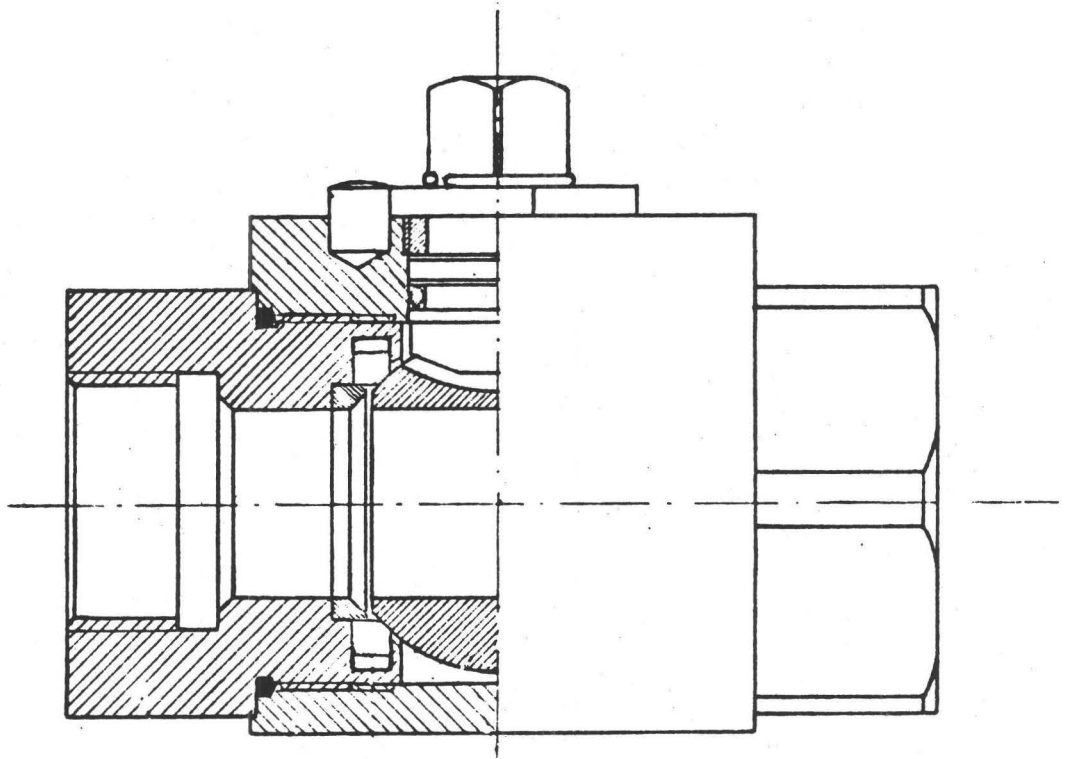






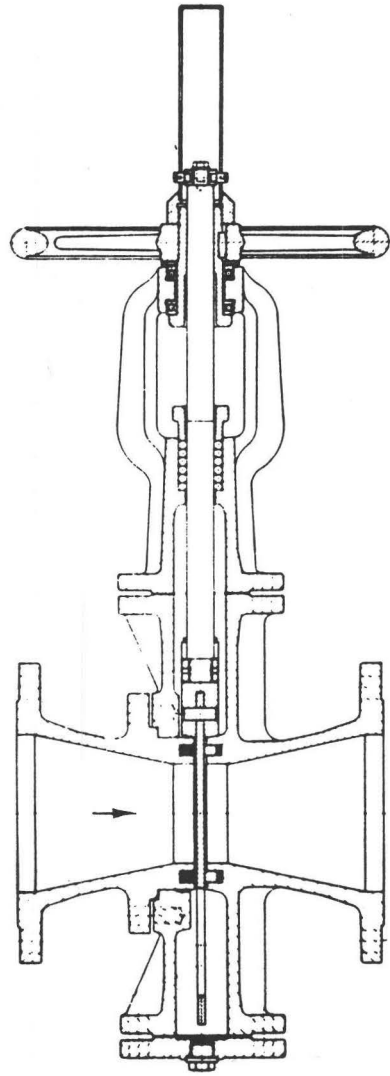
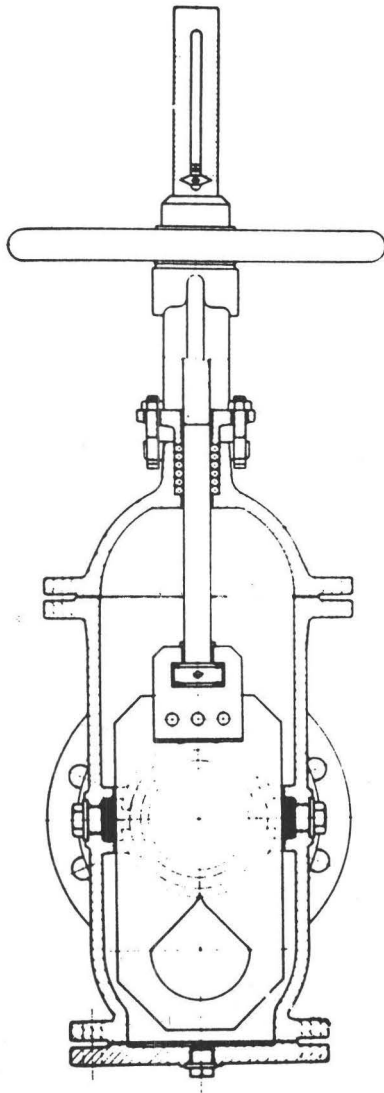






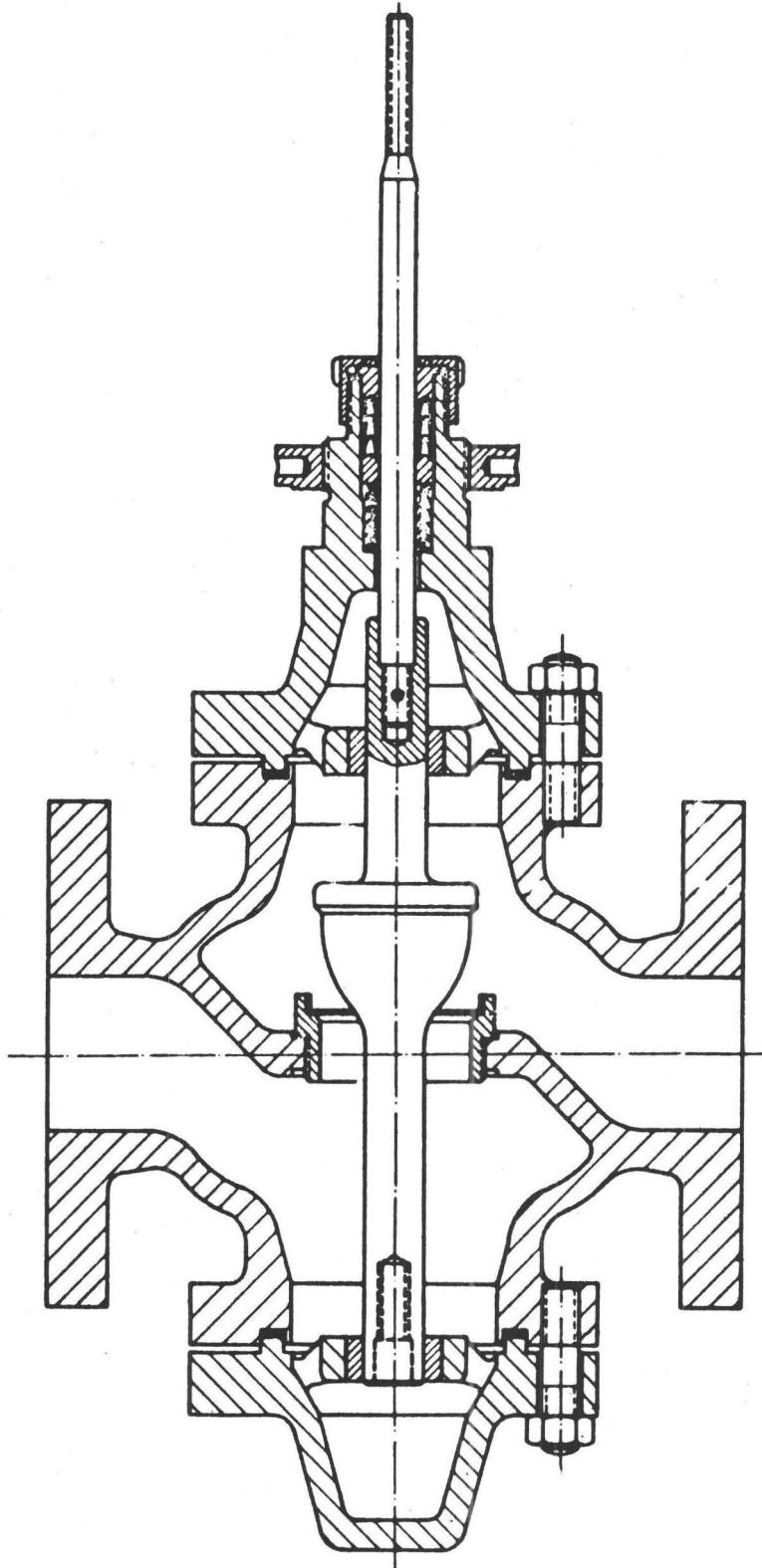






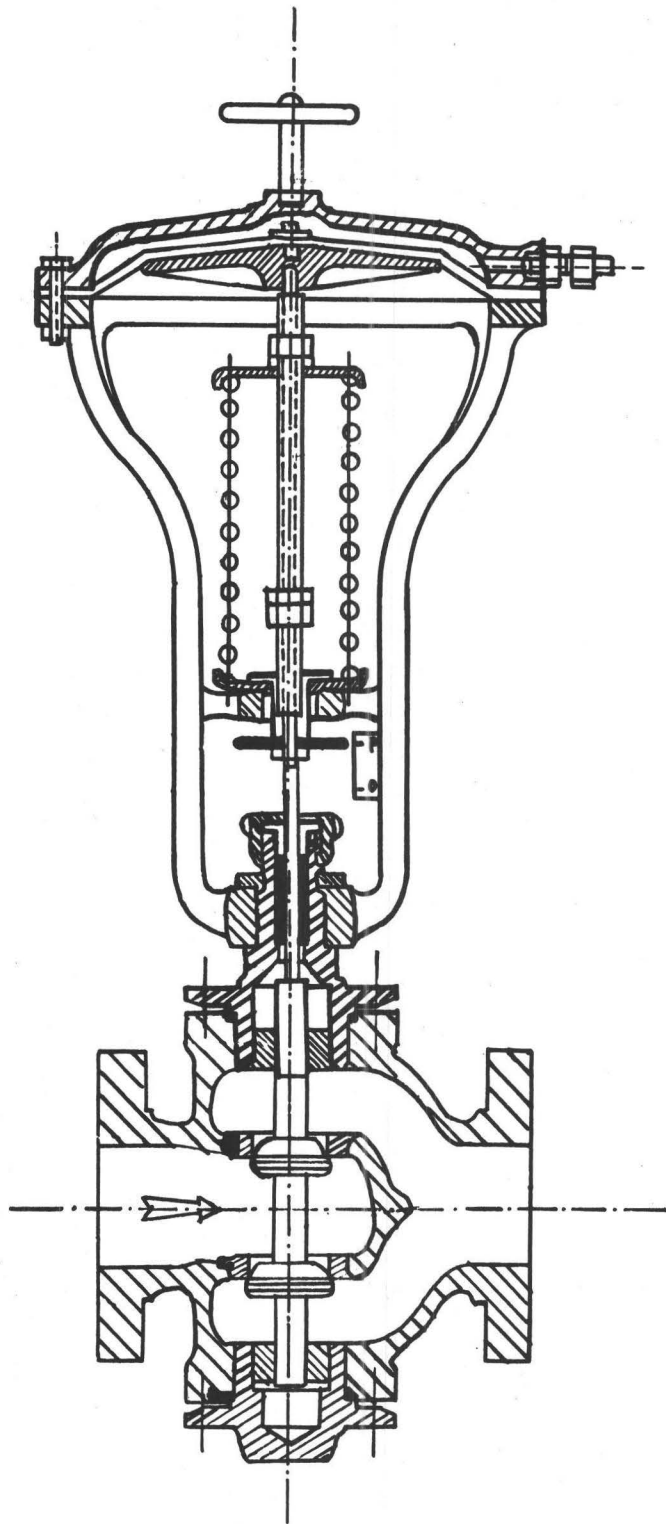






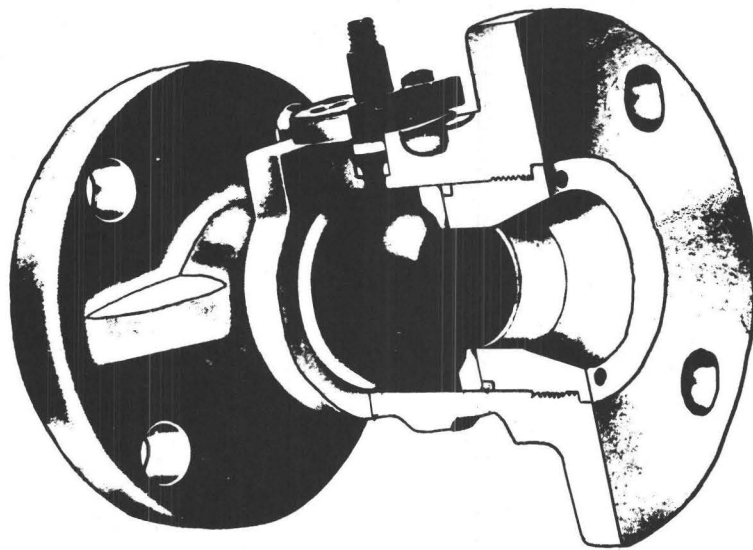
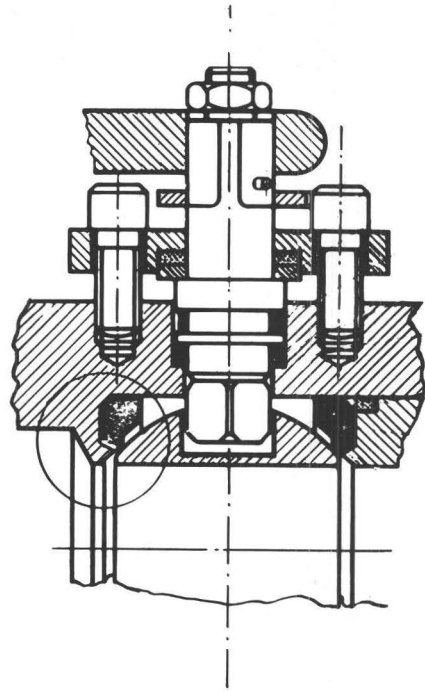






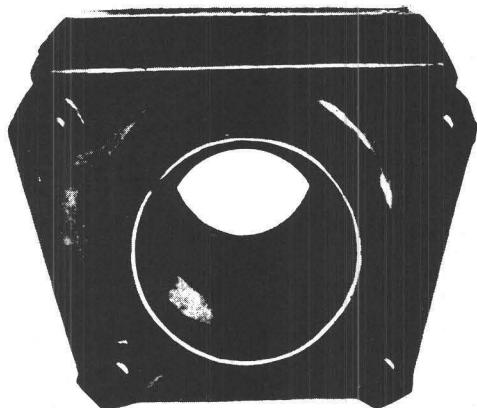
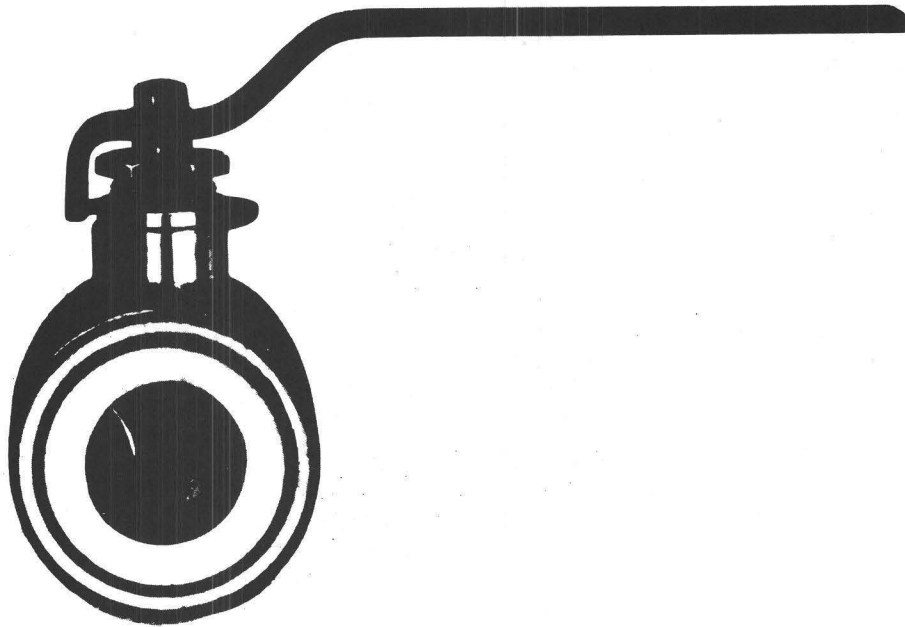
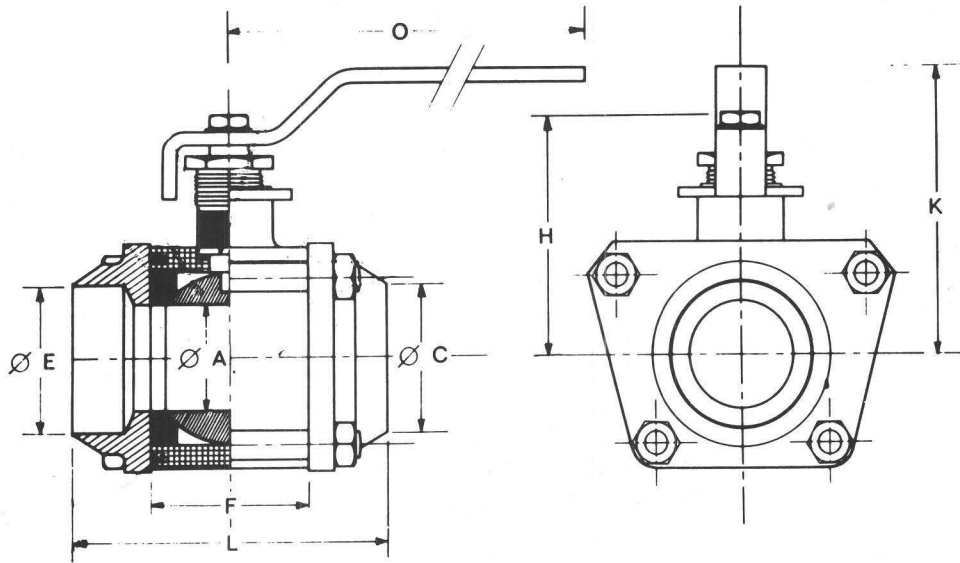






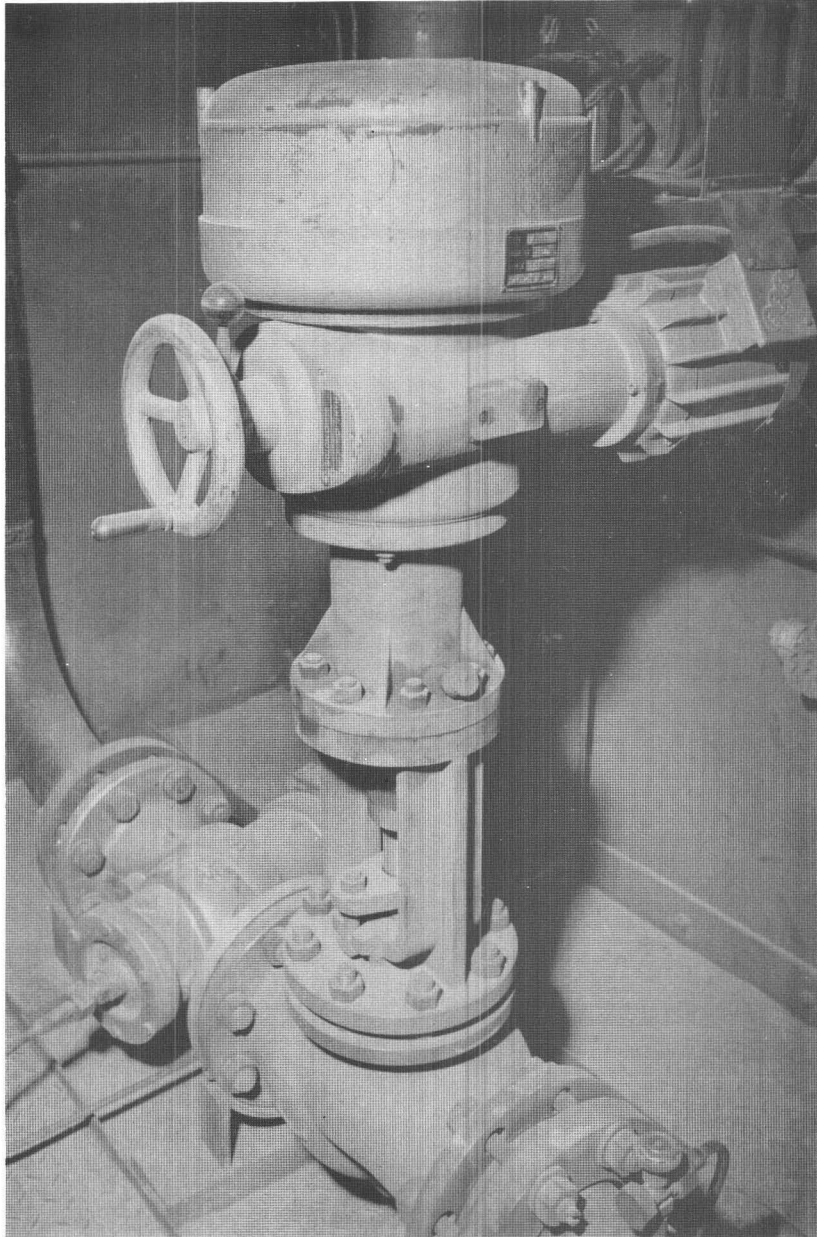






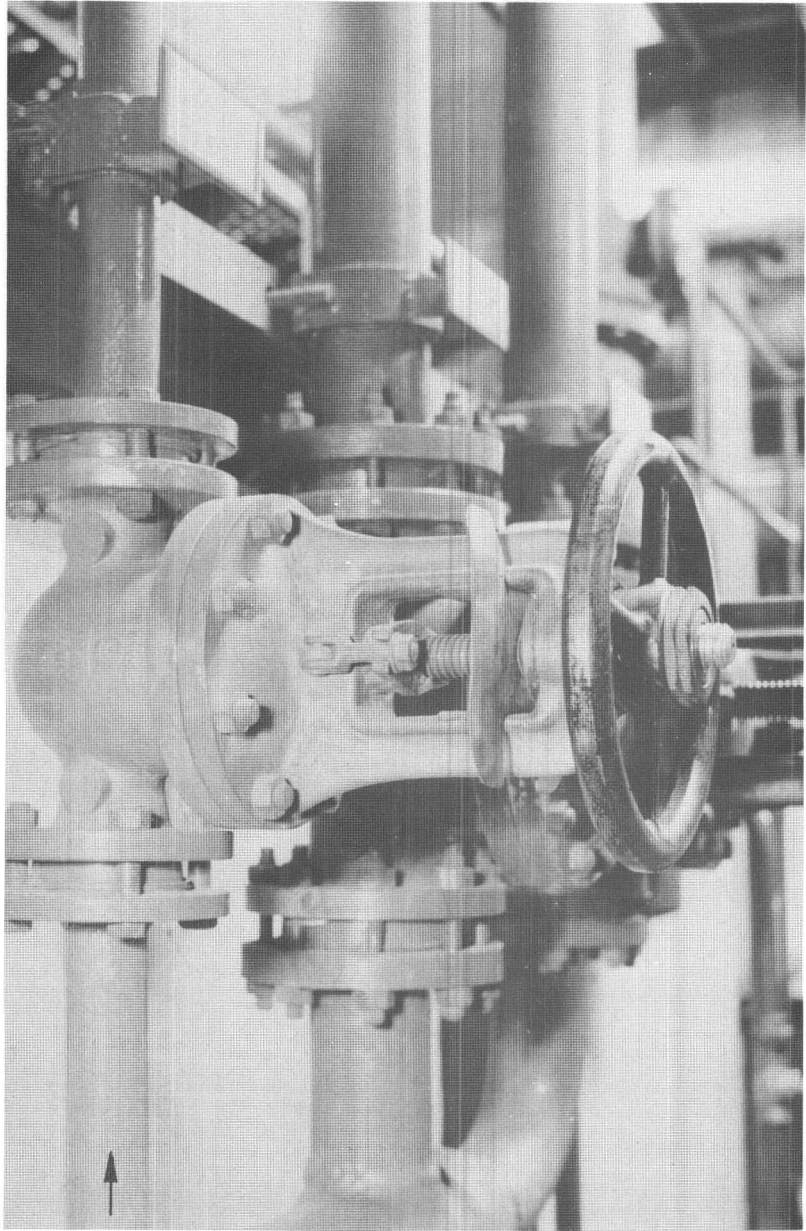














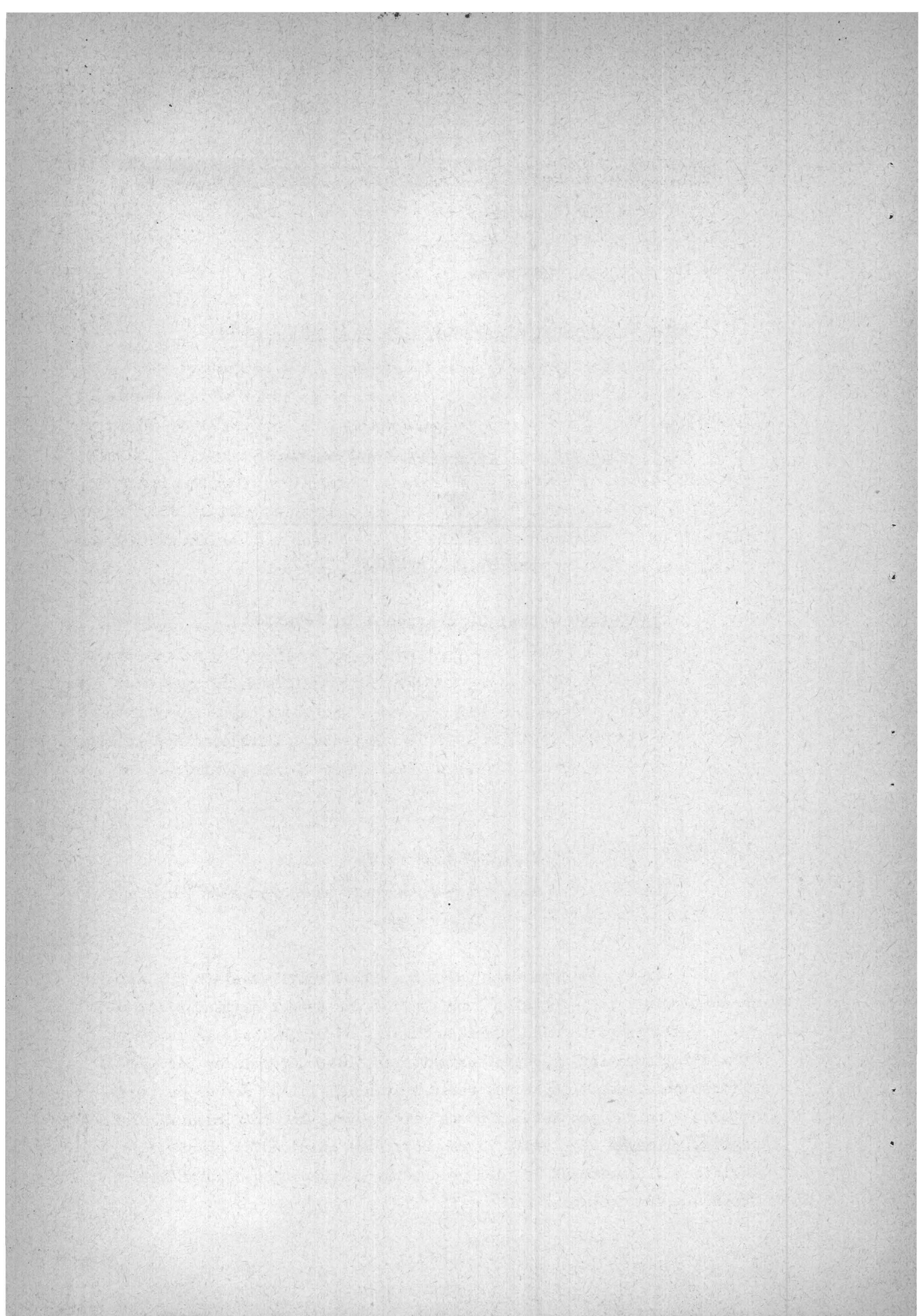


Risques d'inflammation des vannes à  
oxygène

---

par M. PH. ARRAGON

Ingénieur - Chef de service à la Sécurité "Air Liquide"





## 1 - COMPORTEMENT DES MATERIAUX DANS L'OXYGENE GAZEUX SOUS PRESSION

Nous distinguerons :

- les métaux et leurs alliages,
- les matières organiques.

### 1.1 - Comportement des métaux usuels et de leurs alliages.

Lorsque l'on élève leur température, ils réagissent avec l'oxygène en se combinant avec de dernier. A une certaine température, leur combinaison s'accompagne d'un dégagement de lumière et de chaleur; cette température est la "température d'inflammation", appelée également "température de combustion". Une fois la température d'inflammation atteinte, la "combustion" est la période pendant laquelle la réaction se poursuit, en dégageant suffisamment de chaleur pour maintenir les conditions de température nécessaires à l'inflammation.

La combustion elle-même ne pourra se poursuivre, après l'inflammation, que si les produits de la réaction s'éliminent régulièrement au cours de celle-ci, afin que le contact indispensable de l'oxygène et du métal ait lieu de façon continue. Il faut donc que l'oxyde formé ait une température de fusion inférieure à la température d'inflammation du métal, sinon il se formerait une croûte solide formant écran et arrêtant la combustion.

### 1.2 - Comportement des matières organiques

Comme les métaux, elles réagissent avec l'oxygène lorsque l'on élève suffisamment leur température.

Elles ont également une température d'inflammation qui est, la température pour laquelle leur combinaison avec l'oxygène s'accompagne également d'un dégagement de lumière et de chaleur. La température d'inflammation de certaines matières, bien déterminées par leurs natures chimiques et physiques, varie suivant la loi de montée en température; soumises pendant des temps différents à des températures croissantes, elles se dégradent, leurs propriétés chimiques et physiques se modifient différemment et, des propriétés des produits de dégradation dépend la température d'inflammation.



Afin que la combustion se propage, il est également indispensable que l'oxygène soit toujours au contact de la matière organique. Si l'inflammation ne provoque pas dans la masse gazeuse des mouvements de convection, les gaz inertes de combustion stagnent au voisinage immédiat de la zone incandescente, et contraignent ainsi le renouvellement en oxygène; la combustion est ralentie, voire arrêtée. Par contre, lorsqu'il est offert à l'oxygène la possibilité de revenir au contact d'un point en ignition, si minime soit-il, la combustion se développe rapidement.

2.3 - Il y a une certaine analogie entre les processus d'inflammation et de combustion des métaux et alliages et des matières organiques; comme nous le verrons ultérieurement, la différence primordiale dans leur comportement réside surtout dans les valeurs des températures d'inflammation; ces dernières, et ce point est important, sont nettement plus faibles pour les matières organiques que pour les métaux.

Les réactions de combustion sont plus rapides et les élévations de température plus élevées avec de l'oxygène pur qu'avec de l'oxygène mélangé à un autre gaz, inerte comme par exemple de l'azote, car l'absence du gaz inerte favorise, d'une part, le contact des corps participant aux réactions et permet, d'autre part, aux énergies libérées par ces dernières, de n'échauffer uniquement que les produits engendrés par les combustions.

## 2 - ESSAIS ET RESULTATS SUR LE COMPORTEMENT DES MATERIAUX DANS L'OXYGENE GAZEUX SOUS PRESSION

2.1 - Décrire en détail les méthodes d'essais, sortirait du cadre de cet exposé.

Le principe de base des méthodes utilisées est d'avoir, dans une atmosphère d'oxygène qui est à la pression atmosphérique ou à des pressions nettement plus élevées, un échantillon du matériau à essayer à différentes températures. La variation de la température de l'échantillon peut être discontinue ou continue; si elle est discontinue, il est par exemple chauffé, par une source extérieure à l'atmosphère d'oxygène, et pour une température bien définie, il est introduit dans cette dernière; si elle est continue, elle peut être réalisée, en fonction du temps, soit en le chauffant directement (passage d'un courant électrique, concentration d'un rayonnement infra-rouge, dégradation sous forme de chaleur d'une énergie mécanique reçue, etc.), soit en chauffant l'atmosphère d'oxygène (source de chaleur extérieure, compression adiabatique, etc.), la chaleur de celle-ci se transmettant à l'échantillon.

Différentes solutions peuvent être retenues pour mesurer la température d'inflammation. Lorsque celle-ci est atteinte, la chaleur de combustion a une influence immédiate sur la température de l'échantillon et, sur les valeurs de la pression et de la température de l'atmosphère d'oxygène. La température d'inflammation sera obtenue en observant, soit l'échantillon, soit l'atmosphère.

Nous ne pensons pas qu'il faille attacher une importance trop grande aux valeurs absolues des résultats obtenus, car ceux-ci sont souvent fonction des moyens technologiques adoptés par les différentes méthodes couramment employées; de plus, la mise en oeuvre de ces dernières est relativement délicate. Par contre, lorsqu'une méthode a été correctement mise au point, elle donne, pour des conditions opératoires bien définies, des résultats qui sont reproductibles permettant de d'établir ainsi un classement des matériaux.



## 2.2.- Température d'inflammation des corps métalliques

Nous ne mentionnerons que celles se rapportant aux métaux utilisés dans la construction des canalisations d'oxygène et de leurs organes annexes. Elles sont extraites de la littérature américaine et plus particulièrement du document "NASA Technical Note D-182".

Nature du métal ou de l'alliage	Température d'inflammation en °C dans une atmosphère d'oxygène à la pression effective de:			
	0 bar	35 bars	70 bars	126 bars
Acier doux	1 276	1 104	1 018	926
Acier inox. 430	1 315			
Aluminium	1 000			
Cadmium	760			
Cuivre	1 084	885	835	805
Etain	865			
Fer	930	825	740	630
Inconel x	1 404			
Nickel	1 398			



### 2.3 - Températures d'inflammation des matières organiques

Nous ne retiendrons que celles ayant trait aux matières plastiques que l'on rencontre dans les organes faisant l'objet de ce texte; par matières plastiques, nous entendrons les produits "thermo-durcissables", les élastomères caoutchoutés ou non, les résines.

S'il est relativement facile de dresser un tableau donnant les températures d'inflammation d'alliages, d'usage courant, car les limites extrêmes de leur composition chimique sont généralement définies, il n'en est pas toujours de même pour certaines matières plastiques couramment commercialisées. En effet, il arrive qu'à un produit de base déterminé soient ajoutés, en proportions variables, et souvent peu connues, divers ingrédients ou "charges" également mal définis; il s'ensuit que sous la même désignation, on se trouve ainsi en présence de produits qui accusent, en fonction de leur provenance, des températures d'inflammation fort différentes. En conséquence, les températures d'inflammation que nous donnerons pour un produit déterminé et qui proviennent de travaux que nous avons effectués, sont des températures moyennes; dans ces valeurs moyennes, nous avons tenu compte de la dispersion des résultats provenant des erreurs relatives aux mesures et de l'influence de la loi de montée en température de l'échantillon.

Nature du produit	Température d'inflammation en °C dans une atmosphère d'oxygène à la pression effective de 135 bars
compound d'amiante et d'élastomère à base de chaînes hydrocarbonées	160
élastomère à base de chaînes hydrocarbonées	180
élastomère chloré à base de chaînes hydrocarbonées	180
élastomère fluoré à base de copolymères de fluorure de vinyle et de tétrafluoroéthylène et de hexafluoropropylène	330
élastomère à base de chaînes hydro-siliciées	300
polyamides	200
monochlorotrifluoroéthylène	370
polytétrafluoroéthylène	360

En plus des remarques que nous avons faites plus haut, nous ferons sur ce tableau les commentaires suivants :

- bien qu'approximatives, les températures indiquées montrent, d'une part, que les matières plastiques ont, comme nous le disions précédemment, des températures d'inflammation nettement inférieures à celles des métaux et, d'autre part, que ce sont les matières fluorées qui ont les valeurs les plus élevées,
- nous avons indiqué, pour chaque produit, la température d'inflammation pour une seule pression; sans pouvoir porter, dès maintenant, un jugement définitif, il ne semble pas que la pression de l'atmosphère d'oxygène ait, pour les produits indiqués, une influence sensible sur leur température d'inflammation.

Nous terminerons en précisant, que le pouvoir calorifique des matières organiques, est plus élevé que celui des métaux.

CAUSES SUSCEPTIBLES D'ENFLAMMER UN ORGANE UTILISE AVEC DE L'OXYGENE GAZEUX SOUS PRESSION

3.1 - Par "organe" d'une canalisation, nous entendons, sous une forme générale, tout appareillage capable notamment, d'autoriser le passage d'un débit, de l'interrompre, de le stabiliser entre des limites définies; les vannes, avec leurs différents types, font donc partie des organes.

Nous allons essayer de nous représenter comment se comportera un tel organe lorsqu'il sera soumis à une cause éventuelle d'inflammation. Au préalable, nous supposerons à son sujet, conformément à notre expérience :



- que ses dispositifs d'étanchéité utilisent des matières plastiques; compte tenu de l'état actuel de la technique, nous estimons, en effet, que tout au moins pour les organes (automatiques ou manuels) ayant un service intensif, une étanchéité obtenue par le contact des pièces métalliques ne peut être qu'illusoire dans le temps (dégradation de celles-ci, par érosion ou par grippage),
- que l'oxygène traversant l'organe, malgré les précautions prises, véhicule des particules solides, combustibles ou non; l'expérience montre que ces particules sont pratiquement toujours d'origine métallique; les particules d'origine minérale ou organique sont, en effet, facilement évacuées par les opérations de nettoyage qui, normalement, précèdent toujours la "mise en oxygène" d'une conduite.

Avant de traiter ce sujet, il nous a paru souhaitable de nous étendre un peu sur le déroulement d'une "inflammation spontanée".

### 3.2 - Déroulement d'une inflammation spontanée

Nous désignons par "inflammation spontanée", l'amorçage et le développement de la combustion d'un organe, dus à une élévation de température à l'intérieur de celui-ci, c'est-à-dire sans apport de chaleur venant de l'extérieur.

Imaginons que, pour une raison quelconque, un petit élément (que nous dénommerons "particule" dans ce qui suit) d'une matière quelconque se soit échauffé à l'intérieur d'un organe et qu'il vienne, de plus, se plaquer sur une paroi ou un élément de ce dernier. Quatre cas sont à considérer, en supposant, dans chacun des cas, constantes la masse et la température de la particule.



3.2.1 - Particule non combustible au contact d'un élément métallique

La chaleur de la particule se transmettra à l'élément; suivant sa conductibilité thermique, la chaleur absorbée par ce dernier se localisera en un point où se diffusera dans sa masse; quoi qu'il en soit, le rapport élevé des masses entre l'élément et la particule et la température élevée d'inflammation des métaux rendent peu probable, voire improbable, l'inflammation de l'élément métallique.

3.2.2 - Particule non combustible au contact d'une matière plastique

La chaleur prise par la matière plastique peut être assez localisée car, comme tous les produits de cette espèce, elle conduit mal la chaleur; le rapport des masses est plus faible et ce détail est important, le contact a une chance d'être meilleur que dans le cas précédent, car la faible dureté de la matière plastique permet à la particule de s'y incruster; à partir de ceci et de sa température d'inflammation relativement basse, la matière plastique a une possibilité de s'enflammer, possibilité qui est néanmoins limitée, car l'apport thermique d'une particule non combustible est réduit.

3.2.3 - Particule combustible au contact d'un élément métallique

Dans ce cas, et si la particule a été portée à sa température d'inflammation, elle transmet à l'élément une quantité de chaleur supplémentaire qui est sa chaleur de combustion. Néanmoins, comme dans le premier cas, le rapport des masses demeure toujours élevé et, joint à la conductibilité thermique de l'élément, rend difficile l'inflammation de ce dernier.

### 3.2.4 - Particule combustible au contact d'une matière plastique

C'est le cas qui est certainement le plus sérieux.

En effet, nous avons vu qu'une inflammation est possible dans le deuxième cas; or, cette fois-ci, dans l'apport de chaleur, il faut tenir compte de la chaleur de combustion de la particule si celle-ci est à sa température d'inflammation. On se trouve alors en présence de deux éventualités :

- la matière plastique atteint sa température d'inflammation alors que le débit d'oxygène est nul : elle brûle et si les mouvements de convection sont minimes, voire nuls, il se forme une gaine de gaz inertes, autour de sa zone incandescente, qui est capable d'arrêter la combustion,
- la matière plastique atteint sa température d'inflammation pendant le passage de l'oxygène; si le débit est suffisant pour évacuer les calories transmises par la particule à la matière, celle-ci ne pourra atteindre sa température d'inflammation et sa combustion ne pourra pas se produire; par contre, si l'évacuation est insuffisante, l'inflammation est certaine.

La matière plastique brûlant, le dégagement calorifique sera suffisant pour provoquer dans l'organe, la combustion des parties métalliques attenantes à l'élément en matière plastique. Le manque d'oxygène mis à part, la combustion s'arrêtera d'elle-même, lorsque l'apport de calories ou la dissipation de la chaleur de la réaction ne permettra pas le maintien de la température de combustion des éléments métalliques.



3.2.5 - Résumé et conséquences

- une inflammation spontanée nécessite la présence d'un "point chaud" constitué, par exemple, par une particule portée à une certaine température qui peut être sa température d'inflammation, si elle est combustible,
- la particule étant un corps oxydable, sa vitesse de combustion est d'autant plus rapide que l'atmosphère qui l'entoure est renouvelée en oxygène,
- une inflammation spontanée est d'autant plus facile, que la température d'inflammation et la conductibilité thermique des matériaux combustibles (organiques et métalliques) sont faibles,
- la propagation d'une inflammation spontanée est facilitée (et par là même ses effets seront d'autant plus importants) si les matériaux combustibles sont :
  - un pouvoir calorifique élevé,
  - une masse importante,
  - une mauvaise conductibilité thermique,
  - des produits de combustion qui n'entravent pas leur contact intime avec l'oxygène,
- c'est principalement la présence de matières organiques qui facilite la propagation d'une inflammation spontanée; par leur intermédiaire, l'échauffement et la combustion éventuelle d'une particule de très faible masse peuvent provoquer la combustion d'une masse métallique importante.

### 3.2.6 - Essais

Quelques points de l'hypothèse ci-dessus ont notamment été mis en évidence, lors d'essais conduits en vue de déterminer le processus d'inflammation des conduites d'oxygène.

L'installation expérimentale de la figure 1 permet :

- de réaliser dans une conduite de forme et de nature diverses, des débits d'oxygène à des vitesses et des pressions déterminées; ceci est réalisé par l'organe automatique à réglage à clapet B, qui maintient constante une pression préalablement fixée et par l'ajustage sonique F réglant le débit (donc la vitesse) à la valeur choisie,
- d'injecter dans la veine fluide, en quantité voulue, des particules de nature et de forme connues, par l'intermédiaire de l'injecteur de particules C,
- d'observer visuellement en D les échauffements des particules qui, déplacées sensiblement à la vitesse du gaz, frottent sur la paroi de la conduite; l'élévation de température des particules, est une fonction de leurs positions, par rapport à leur point d'introduction dans la veine.

L'organe manuel de sectionnement à clapet E, a été intercalé sur l'installation pour observer son comportement, lorsqu'il est soumis au passage de particules chaudes à vitesse élevée; son corps est en acier au carbone faiblement allié tandis que son équipage mobile est en acier inoxydable 18/8; la garniture de son presse-étoupe est une tresse d'amiante.



Les chambres d'observation visuelle sont chacune constituées d'un tube de verre D1, glissé à l'intérieur d'un tube D2 en résine métacrylique (\*), le tout étant serré entre deux brides D3 en acier au carbone; le rôle de D1 est de protéger D2 (relativement mou par nature) des rayures dues aux passages des particules; le jeu longitudinal (amplifié sur la figure) est d'empêcher que D1 soit soumis à des contraintes de serrage; par suite d'une erreur de conception, le diamètre d1 est plus petit que D2 (les différences sont également amplifiées).

Des billes en acier non allié, de 8/10 de mm de diamètre, furent injectées.

Quelques secondes après la première injection, la résine métacrylique de la chambre, située immédiatement à l'aval du premier coude après l'injecteur, présenta un début d'inflammation (arrêtée par le manque volontaire d'oxygène); des billes ayant certainement suivi le trajet P, P1, P2, P3 s'étaient incrustées dans la résine, leur vitesse de déplacement étant de l'ordre de 90 m/sec. Après qu'il fut remédié à ce défaut (très instructif), cette installation permit d'effectuer un nombre important d'essais. Soumis à de nombreux passages de particules se déplaçant à 150 mètres par seconde et portées au rouge vif, l'organe E ne s'est jamais enflammé. L'examen de ses parties internes a révélé que celles-ci avaient un état de surface semblable à celui qu'aurait donné un sablage ou un granillage à 50 mètres par seconde et portées au rouge vif, l'organe

3.3 - Pour qu'il y ait inflammation, il faut notamment, comme nous l'avons vu, une élévation de température à une valeur suffisante, dépendant de la nature des matériaux en présence; cette élévation de température peut être obtenue par :

---

(\*) La température d'inflammation de la résine métacrylique dans l'oxygène est de 220° C.

- percussion de particules,
- frottement de particules,
- compression adiabatique,
- vibrations,
- effet Joule,
- charges électrostatiques,
- hétérogénéité de température d'une ,masse gazeuse.

### 3.4 - Echauffement par percussion de particules

#### 3.4.1 - Calcul théorique

Soit une particule de masse unité frappant à une vitesse  $V$ , égale à celle du gaz, un obstacle; supposons que la totalité de cette énergie cinétique se transforme en chaleur; nous obtenons dans le système C.G.S.

$$Q = \frac{1}{2} \frac{V^2}{4,18 \times 10^7}$$

( $Q$  en calories,  $V$  en cm/s)

C'est ainsi que :

$V$	$Q$
1 000	0,012
5 000	0,3
10 000	1,2
30 000	10,8



Ces élévations de chaleur sont très faibles; soumises à un choc à 30 000 cm/s (soit 300 m/s), l'élévation maximale de la température d'une particule d'oxyde de fer ne sera que de l'ordre de 70° C.

### 3.4.2 - Essais

La vérification expérimentale de cette formule classique nous a paru superflue, car la méthode aurait été voisine de celle qui a été décrite précédemment, tout au moins en ce qui concerne l'organe E.

### 3.4.3 - Conséquences

Les vitesses utilisées avec l'oxygène dans la pratique courante étant de l'ordre d'une dizaine de mètres par seconde, voire de quelques dizaines de mètres par seconde, dans certains cas particuliers, il s'ensuit que des particules, soumises à ces vitesses, ne peuvent être la cause d'inflammation d'organes, en percutant des constituants de ceux-ci, lors de leur passage; autrement dit, les échauffements par percussion n'interdisent pas l'emploi des matières organiques.

## 3.5 - Echauffement par frottement de particules

### 3.5.1 - Calcul théorique

Il est incontestable, que des particules frottant sur la paroi d'une tuyauterie, verront leur température s'accroître; cet accroissement dépend simultanément :

- de la nature et de la forme des particules,
- de la nature, de la forme et de l'aspect interne de la canalisation,
- de la pression et de la vitesse du gaz.

En supposant, pour simplifier, que :

- les particules de masse semblable sont assimilables à des sphères,
- les seules forces agissantes sont les forces de viscosité et de résistance,
- le régime d'écoulement est turbulent,
- l'accélération des particules admet, pendant un temps très court, une composante normale à la paroi de la canalisation.

On est conduit à la formule suivante :

$$V = K_1 P^{-1/3}$$

Cette formule (\*) lie la vitesse limite (en m/s) que l'on s'impose avec la pression (en bars),  $K_1$  étant un coefficient traduisant une fonction complexe et ne pouvant être déterminé qu'expérimentalement.

### 3.5.2 - Essais

Nos premiers essais en vue de déterminer le coefficient  $K_1$  ont été entrepris avec l'installation de la figure 2.

---

(\*) Il nous a paru intéressant de la rapprocher de la formule américaine de la "Factor Insurance Association" et parue dans "Draft Recommendations For Design and operation of Oxygen Transfer Piping" 1964; celle-ci est :

$$V_{ft/sec} = 100 \frac{165}{P_{psig} + 14,7}$$

Elle est de la forme  $V_{m/s} = K_2 P_{bars}^{-1/2}$ .



- 16 ←

L'organe manuel de réglage 4 permet de créer, dans la conduite 6, un débit à la pression et à la vitesse choisies. Le débit est mesuré par le débitmètre 3 (le manomètre 2 est utilisé pour cette mesure). La conduite 6 a une forme qui favorise le frottement des particules; c'est ainsi qu'elle est entre autres constituée d'un enroulement de quatre spires de un mètre de diamètre en tube d'acier de 7 cm<sup>2</sup> de section. A l'amont de la conduite, un dispositif 5 injecte des billes polies, en acier ordinaire au carbone, de 8/10 de mm de diamètre. Une chambre d'observation 7 permet d'examiner, en chambre noire, la coloration des billes due aux échauffements éventuels; ces dernières sont recueillies, pour examen, par la toile filtrante 8.

Les essais ont été menés avec de l'air déshuilé et sec, provenant de réservoirs pratiquement isobars et isothermes.

Nous résumerons ainsi les résultats : une vitesse de 100 m/s à l'amont de la chambre 7 fut nécessaire, pour que les billes prennent une coloration rouge sombre, décelée en obscurité complète.

### 3.5.3 - Conséquences

Une matière organique, soumise aux chocs de particules ainsi chauffées se serait certainement enflammée, mais il faut reconnaître que dans la pratique, des vitesses de l'ordre de 100 m/s sont, même sur des longueurs relativement réduites, difficilement pensables, car elles engendrent des pertes de charges importantes; de plus, il n'est pas courant de donner à une conduite la forme d'un serpentín (au pire pour des questions de dilatation la forme d'une lyre). Autrement dit, il faut des circonstances exceptionnelles pour que ces échauffements soient notables; toutefois, il ne faut pas perdre de vue qu'ils peuvent être beaucoup plus sensibles que ceux obtenus par la percussion de particules. Compte tenu de la forme rationnelle des conduites d'oxygène, et des vitesses modérées régnant dans celles-ci

pour des considérations de pertes de charge, ce type d'échauffement n'interdit pas l'emploi des matières organiques dans les organes (au prix de quelques précautions toutefois).

### 3.6 - Echauffement par compression adiabatique

#### 3.6.1 - Calcul théorique

Bien qu'il soit connu, nous rappelons ce calcul. Soit,  $T_1$  la température absolue, et  $P_1$  la pression absolue définissant l'état initial d'une masse d'oxygène; si  $T_2$  et  $P_2$  sont respectivement les températures et les pressions absolues, après la transformation adiabatique, on a :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0,280,28}$$

Plus particulièrement si  $T_1 = 293^\circ \text{K}$  et si  $P_1 = 1 \text{ bar}$ .

$$T_2 = 293 \cdot P_2^{0,28}$$

En fonction de ces valeurs initiales, on obtient les valeurs théoriques faisant l'objet du tableau ci-après :

P2 en bars	10	20	30	40	50	60	70
T2 en ° C	285	405	486	550	603	649	690

#### 3.6.2 - Essais

En procédant à des essais, notre intention n'était pas de vérifier cette formule mais plutôt d'observer le comportement de diverses matières (organiques pour la plupart) soumises à des compressions adiabatiques définies par leur état initial et final;



autrement dit, si la température d'inflammation de chacune de ces matières permet de les classer en fonction de leur tenue dans l'oxygène, leur "pression d'inflammation" devrait permettre de procéder à un nouveau classement; nous verrons ultérieurement l'intérêt de ce dernier.

Le processus utilisé pour les essais est le suivant (voir figure 3). Un tube rectiligne 3, en cuivre, supposant figurer un tronçon de canalisation, est initialement rempli d'oxygène à la pression atmosphérique par l'intermédiaire de 10; l'une de ses extrémités communique dans la chambre de compression 6 contenant l'échantillon 5 de la matière et au voisinage duquel est situé le thermocouple à faible inertie 4; l'autre extrémité est raccordée à l'obturateur 2, dont l'ouverture, pratiquement instantanée (durée d'ouverture constante et égale à  $1/5$  de seconde) assurée par le dispositif 1, fait communiquer le tube 3 avec le réservoir de stockage 8 préalablement rempli à la pression P2 d'essai; le volume de l'ensemble situé à l'aval de 2 est pratiquement négligeable par rapport au volume de 8, de sorte que l'ouverture de 2 n'entraîne pas une diminution notable de la pression P2 dans 8.

L'expérience a prouvé que tout se passait comme si l'oxygène de 8, introduit dans 3 à une vitesse supersonique (convergent - divergent) lors de l'ouverture de 2, refoulait dans 6, à la façon d'un piston, l'oxygène préalablement enfermé dans 3; en fin de compression, la pression P2 règne dans le tube 3 et par là même dans la chambre 6.

Le thermo-couple 4 détecte l'évolution de la température et la déviation du galvanomètre, auquel il est relié, s'effectue suivant deux allures :

- le galvanomètre dévie d'une certaine valeur (c'est la montée en température due à la compression), se stabilise sur un palier, puis redescend sensiblement à sa valeur initiale; l'inflammation n'a pas eu lieu, la pression P2 pour l'échantillon considéré, étant trop basse,
- comme ci-dessus le galvanomètre dévie d'une certaine valeur mais, cette fois, au lieu de marquer un temps d'arrêt, sa déviation s'accroît rapidement vers les températures croissantes; l'inflammation n'est pas produite, la pression nécessaire étant obtenue.

Les valeurs données par le galvanomètre ne sont que des ordres de grandeur car son inertie, jointe à celle du thermo-couple, fausse de façon non négligeable les températures réelles.

Par cette méthode, il est possible de connaître pour chaque matière, la valeur P2 de sa pression d'inflammation; là aussi, il est indéniable que ces pressions n'ont que des valeurs relatives, car elles sont fonction de nombreux paramètres tels que: coefficient d'échange entre les parois et l'ambiance, rapport entre la masse des éléments situés à l'aval de l'obturateur 2 et la masse de l'oxygène comprimé, poids et forme de l'échantillon ..... etc. C'est ainsi que la pression moyenne d'inflammation des matières fluorées est de 20 % supérieure à celle des élastomères à chaînes hydrocarbonées et 2,4 fois plus élevée que celle des huiles végétales.

L'installation ne renfermant pas un échantillon de matière organique, même pour des valeurs très élevées de P2, il ne fut pas possible d'obtenir l'inflammation de ses éléments métalliques; ce détail mérite d'être souligné car il est important comme nous le verrons dans un instant.



### 3.6.3 - Conséquences

Rappelons qu'une compression ne peut être réellement adiabatique que si les parois de l'enceinte, dans laquelle est réalisée, n'échangent pas de chaleur avec le milieu extérieur ou, ces parois étant perméables à la chaleur, que si la montée en pression est instantanée. Si la conception et la manoeuvre des organes manuels et automatiques de sectionnement ne permettent pas de remplir ces conditions absolues, il n'en demeure pas moins, que leur ouverture peut, malgré tout, se faire assez rapidement sur des éléments tubulaires et des accessoires de faibles volumes; c'est le cas notamment des organes manuels de sectionnement à boisseau, placés à certains postes d'utilisation et des organes automatiques de sectionnement situés dans des stations de régulation de pression ou de débit. Les conséquences de ceci ne sont jamais graves si l'oxygène et l'organe soumis aux effets de la compression sont exempts de particules combustibles; en effet, dans les organes utilisant des matières plastiques; celles-ci sont presque toujours sous la forme de pièces compactes, enchâssées dans des éléments métalliques, généralement bons conducteurs de la chaleur; aussi, dans ces conditions, leur échauffement à des températures dangereuses est très peu probable. Par contre, si ces mêmes matières présentent des aspérités résultant, par exemple, d'une usure, ou si l'oxygène contient en suspension des poussières combustibles, la faible masse des aspérités ou des poussières rend celles-ci sensibles aux échauffements par compression adiabatique; les effets de ce mode d'échauffement ne se font surtout sentir que sur des matériaux finement divisés. Nous verrons plus loin les conséquences de cet aspect..

### 3.7 - Echauffement par vibrations

#### 3.7.1 - Hypothèse

En soumettant un matériau à un régime vibratoire, il peut accumuler une partie de l'énergie qui lui est ainsi transmise, sous forme de vibrations; dans le cas des matières organiques et plus particulièrement de celles qui sont plastiques, cette énergie se transforme en chaleur et, comme ce sont de mauvais conducteurs de la chaleur, l'élévation de la température peut être notable.

#### 3.7.2 - Essais

Nos premiers essais ont consisté à provoquer la mise en vibration d'une matière plastique par laminage d'un gaz. Sur la figure 4, l'échantillon étudié 2 est placé sur l'orifice de sortie du réservoir 1 qui est alimenté en oxygène sous le débit Q par l'intermédiaire de l'organe 5. L'échappement de l'oxygène est schématisé par les flèches. La fréquence vibratoire est obtenue, par la combinaison d'une charge F placée sur le plateau 3 et d'une valeur de la pression régnant dans 1 et lue sur le manomètre 4.

Avec ce montage, il fut observé que l'échauffement est très rapide; en effet, un élastomère passe, en trois à quatre secondes, de l'état plastique à l'état visqueux, ce dernier mettant fin au régime vibratoire. Aucune inflammation ne put être produite.

Cette méthode ne pouvant intéresser que des matières relativement souples, une deuxième série d'essais utilisant le principe du tube résonateur (voir figure 5) décrit à partir de la page 235 du numéro 10 (octobre 1956) du Journal suisse de la Soudure, appliquée à toutes sortes d'échantillons, ne donna que des résultats semblables. Seule l'inflammation très rapide du bois fut observée. Pour les autres



matières étudiées, le fond de la cavité 2 de l'échantillon 1 passait progressivement à l'état pâteux en stabilisant ainsi la température atteinte. Pour avoir l'effet optimal, le débit de la buse 3 était réglé, par l'intermédiaire de l'organe 5, de telle sorte que le régime vibratoire ait une fréquence de l'ordre de 7 000 à 9 000 Hertz.

### 3.7.3 - Conséquences

L'évaluation des températures ainsi atteintes par les matières étudiées nous a montré, que lorsque celles-ci passent de l'état plastique à l'état visqueux, leur température, à ce moment, est inférieure à leur température de combustion, ce qui conduit à conclure, qu'il est impossible de concevoir un processus d'inflammation ne mettant en cause que des phénomènes vibratoires.

Il convient toutefois de remarquer que la pression maximale de ces essais n'a pas excédé 10 bars, les principes utilisés n'étant pas applicables à des valeurs plus élevées. Cependant,

- les propriétés mécaniques des matières étudiées sont indépendantes de la pression du gaz,
- les températures d'inflammation de ces matières dans l'oxygène, comme nous le disions plus haut, semblent varier extrêmement peu avec la pression.

En conséquence, notre conclusion demeure valable pour des pressions dépassant nettement celles de nos travaux.

Des organes peuvent avoir certains de leurs constituants qui vibrent, en exploitation. Ce sont, plus particulièrement, les sièges flottants des organes manuels et automatiques de sectionnement à opercule, les clapets des organes manuels et automatiques de sectionnement et de réglage. Des observations faites pendant leur utilisation ont pratiquement toujours montré que la vibration de ces

éléments est à fréquence relativement réduite. Pour cette raison, leurs échauffements, si échauffements il y a, sont très faibles et ceci d'autant mieux que, lorsque leurs garnitures sont en matière plastique, la tendance actuelle est de choisir des matériaux assez rigides qui, de ce fait, n'absorbent que très peu d'énergie sous forme de vibrations.

### 3.8 - Echauffements par effet Joule

#### 3.8.1 - Constatations et hypothèse

Les inflammations d'organes sont toujours l'objet d'études conduites par des spécialistes; en interrogeant des témoins, en examinant sur les lieux des traces d'échauffement, des projections de métal en fusion et les débris (s'il en reste) des organes avariés, ils essaient de déterminer l'origine de celles-ci. Bien souvent, pour étayer leurs conclusions, ils se sont appuyés sur les causes dont nous venons de parler et si ces dernières leur ont permis d'échafauder des hypothèses qui ont donné satisfaction à leur esprit, il n'en demeure pas moins qu'elles manquaient parfois de logique; de plus, ces causes laissaient des inflammations sans explication, tel ce cas que nous allons développer.

Un organe automatique de sectionnement à opercule à faces parallèles (matière: cupro-aluminium laminé) et coulissant entre deux sièges flottants en monochlorotrifluoroéthylène, est utilisé, pendant le soufflage d'un convertisseur Thomas, à une vitesse ne dépassant pas 8 m/s; l'oxygène sec qui vient de le traverser n'est pas filtré mais la canalisation d'amenée peut être considérée comme étant propre (pas de calamine mais des traces de fines poussières de rouille) et son tracé est, de plus, peu tourmenté; les pressions, de part et d'autre de l'opercule en position fermée, ont la même valeur.



- 24 -

Trois minutes environ après sa fermeture (due à l'action d'un vérin pneumatique pour lequel la position du piston est signalée électriquement), cet organe prend feu. Or, en fonction de ce qui vient d'être dit, il n'est pas logique, pour expliquer cet incident, d'invoquer des incrustations de poussières échauffées dans les sièges; il n'est pas logique, non plus, de parler de laminage entre l'opercule et ses deux sièges.

Mais l'enquête montre, qu'un court instant avant que débute l'inflammation, des anomalies dans le circuit électrique signalant la position de l'équipage mobile de la vanne, sont observées. Faire un rapprochement entre ces anomalies et l'inflammation, semble alors rationnel. Nous arrivons ainsi à l'explication qui suit (voir fig. 6).

On peut supposer que des poussières en suspension dans l'oxygène se déposent sur les tubulures de l'organe et sur les sièges de l'opercule, lorsque les forces de gravité l'emportent sur les forces d'entraînement (cas de débits faibles ou nuls). Or, par suite de sa construction, lorsque cet organe est fermé avec les mêmes pressions de chaque côté de l'opercule, son équipage mobile (opercule, tige de liaison, piston) est "centré", c'est-à-dire que les garnitures et joints qui y sont attenants et solidaires, empêchent son contact métal sur métal avec le corps de l'organe; comme l'oxygène est sec, ces garnitures et joints (produits fluorés) sont de très bons isolants et l'équipage mobile est isolé électriquement du corps. En conséquence, si l'organe est soumis au passage d'un courant électrique de retour provenant, soit de la tuyauterie, soit de son circuit électrique de commande ou de signalisation, une différence de potentiel s'établira entre son corps et son équipage mobile. Mais si, étant conductrices, les poussières relient, de façon continue, les tubulures à l'opercule, l'isolement électrique est alors rompu; un courant électrique les traverse et, si l'énergie

est suffisante, elles s'échauffent par effet Joule. L'élévation de température ainsi engendrée, et éventuellement la chaleur de combustion des poussières, peut être suffisante pour enflammer les sièges et provoquer par là même une combustion et fusion partielles de l'organe. La figure 7 se rapporte à l'organe dont nous venons de parler (\*); sa perte en métal ( fonte nodulaire et bronzes) est de 50 kg.

### 3.8.2 - Essais ( fig. 6 )

Sur un organe semblable, en position fermée, furent déposées, sur les deux sièges 5, et reliant les deux tubulures 4 à l'opercule 3, des particules 6 recueillies dans une conduite d'oxygène. L'organe 1 communiquant avec l'ambiance, les deux pôles d'une source de courant 7 furent mis au contact de 3 et de 4 ; avant tout ceci, il a été vérifié que l'isolation électrique de 3 par rapport à 4 (donc de 1), est réellement possible sans précaution particulière. En une fraction de seconde, les particules ainsi déposées passèrent au rouge vif; la tension mesurée sur le volt-mètre 8 fut de 1 volt. En plus de confirmer cette hypothèse, l'essai montre que les particules recueillies dans une conduite en acier sont conductrices.

### 3.8.3.- Conséquences

Nous pensons qu'il faut voir dans le phénomène que nous venons d'exposer la principale cause d'inflammation et, alors qu'il est généralement admis que les particules sont dangereuses, par la température qu'elles peuvent atteindre par percussion et frottement, il est maintenant permis d'affirmer qu'un danger existe plus particulièrement lorsqu'elles sont à l'état de repos, entre deux parties conductrices isolées électriquement; le remède à ce danger est simple; ne pas avoir dans un organe( et par extension, dans une conduite d'oxygène) des éléments conducteurs qui soient ainsi isolés.

---

(\*) Diamètre de passage : 250 mm - PN 40



### 3.9 - Echauffement par charges électrostatiques

Des recherches, effectuées notamment aux U.S.A. sur les dangers que peuvent présenter des particules entraînées par des gaz secs, ont montré que ces dernières pouvaient atteindre des potentiels de l'ordre de 70 000 volts.

A partir d'une expérimentation, malheureusement trop succincte car difficile, on estime que ces charges peuvent présenter deux dangers :

- si les particules heurtent un élément de conduite, ou un corps conducteur, très bien isolé, elles transmettent leur charge et, il a été possible de mesurer ainsi des élévations de potentiel de l'ordre de 30 000 volts. Si la capacité du corps conducteur est importante, la décharge par arc peut être dangereuse car elle produit une énergie intense et localisée. Toutefois, il est peu probable de rencontrer en exploitation, des éléments conducteurs qui aient un isolement permettant l'accumulation de telles charges : la résistance d'isolement, en effet, doit être supérieure à  $10^{11}$  ohms/cm/cm<sup>2</sup>; en supposant même que ceci soit possible dans certains organes, les faibles jeux qui, généralement dans ceux-ci, séparent des éléments conducteurs et éventuellement isolés, ne permettent pas l'établissement d'un potentiel dangereux,
- les matières plastiques ont une résistivité de l'ordre de  $10^{11}$  ohms/cm/cm<sup>2</sup> qui ne leur permet pas d'évacuer les charges électrostatiques qui pourraient se développer à leur surface. Elles peuvent donc attirer les particules conductrices, porteuses de charges opposées, et accroissent ainsi les possibilités d'inflammation par effet Joule.

On peut donc penser malgré l'absence d'essais méthodiques que, si les charges électrostatiques ne peuvent être une cause directe d'inflammation, elles peuvent amplifier considérablement les risques par effet Joule.

### 3.10 - Echauffements résultant d'un gaz en expansion

D'après les données de la thermodynamique et de l'aérodynamique classiques, les phénomènes liés à l'expansion d'un gaz circulant dans une enceinte définie notamment par sa forme et ses dimensions ne peuvent donner lieu à des échauffements.

Lorsque l'homogénéité d'une veine gazeuse en expansion est perturbée, en particulier par des tourbillons, les principes de l'aérodynamique peuvent conduire à des erreurs si l'on veut les appliquer à de faibles masses de gaz, formant un ensemble complexe de courants gazeux de propriétés différentes, car l'aérodynamique analyse les phénomènes à l'état macroscopique, sans fournir d'indications précises au sujet des différences intéressant divers points de cet état. C'est ainsi que, dans le cas d'un gaz se détendant et se recomprimant dans une enceinte, elle permettra de calculer la température moyenne prise par le gaz à la fin de la transformation, mais non les températures locales qui peuvent être très élevées avant que la température moyenne (c'est-à-dire la température d'équilibre) soit atteinte si la forme de l'enceinte est génératrice de tourbillons. En effet, l'expérimentation montre qu'une formation intense de ceux-ci transforme l'énergie cinétique en chaleur, et que localement, il peut se produire près de ces tourbillons un échauffement par absorption d'énergie (dû par exemple au travail résultant d'une accélération) et un refroidissement par perte d'énergie.



Une étude plus approfondie du mécanisme de l'échauffement d'un gaz en expansion sortirait du cadre de cet exposé. Une vue d'ensemble de ce mécanisme a été donnée dans le numéro 10, d'octobre 1956, du Journal Suisse de la Soudure; une analyse mathématique a été faite par L.J.F. Broer (Laboratoire de mécanique des fluides de l'Université Technique de Delft, Hollande) et a été publiée dans la revue américaine (section A, volume 7 - 1958) "Applied Sciences Research".

Quoique de tels échauffements soient réels et, dans certains cas, facilement décelables (tube de Ranque), on peut néanmoins se demander s'ils sont suffisants pour enflammer des organes renfermant des matières plastiques et, à plus forte raison, des organes entièrement métalliques, comme cela a été parfois signalé. En l'absence d'essais méthodiques et de fait précis, nous ne nous prononcerons pas sur le danger qu'ils présentent en ne cachant pas toutefois, que vouloir les ignorer serait manquer d'objectivité. Incontestablement, ils méritent d'être mieux connus, et, de faire surtout l'objet de mesures de température; mais celles-ci sont particulièrement délicates.

---

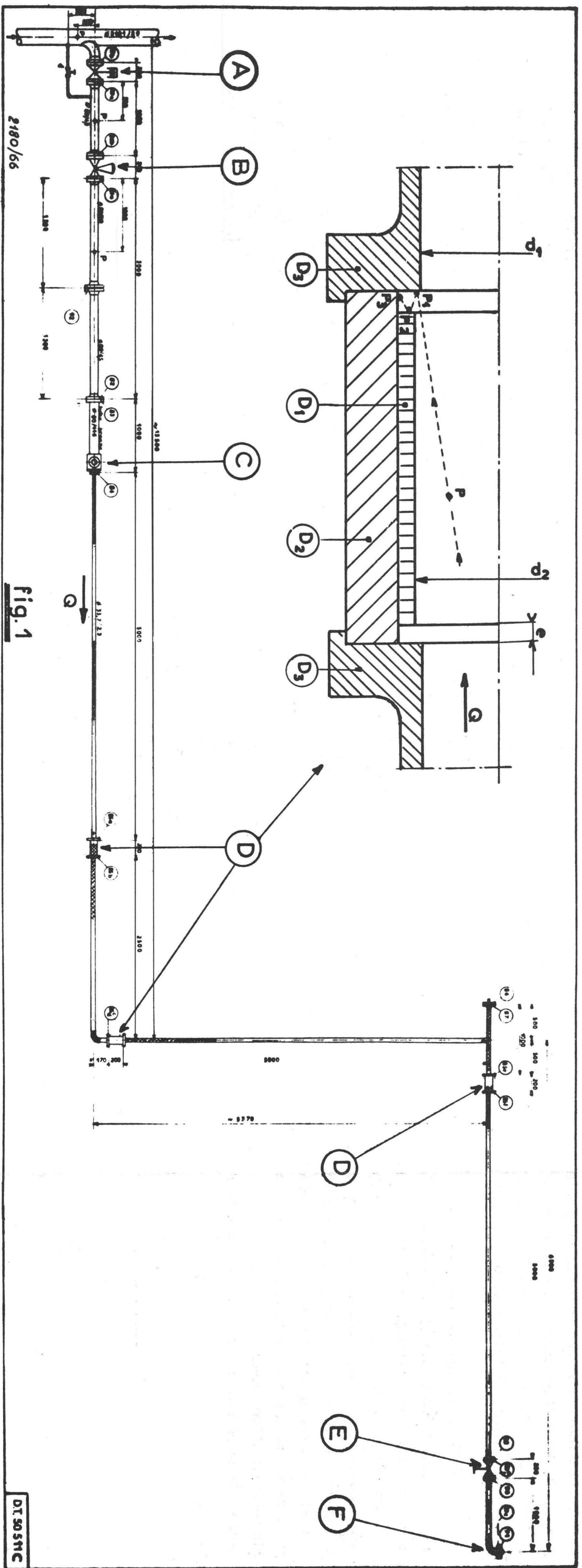


Fig. 1



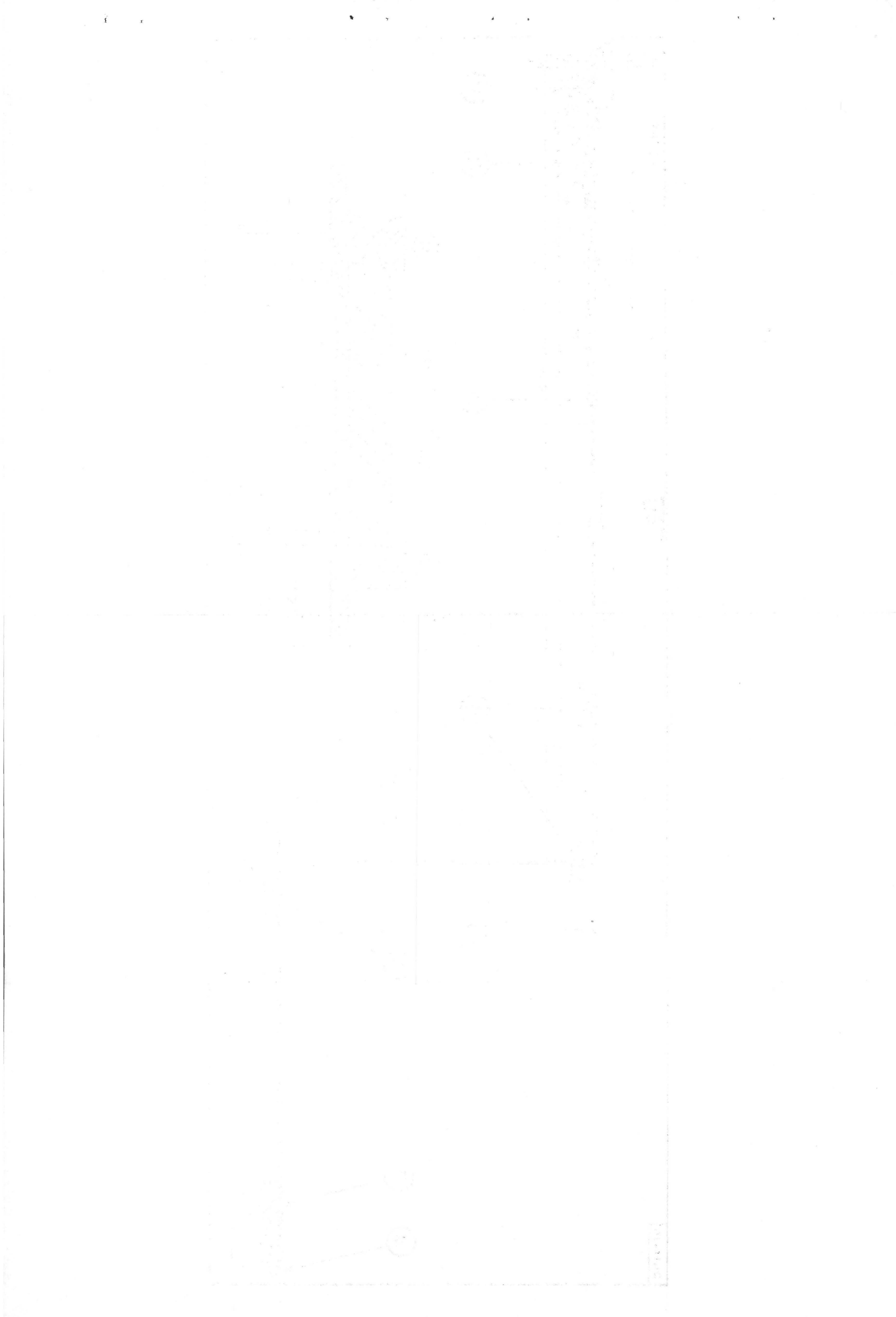
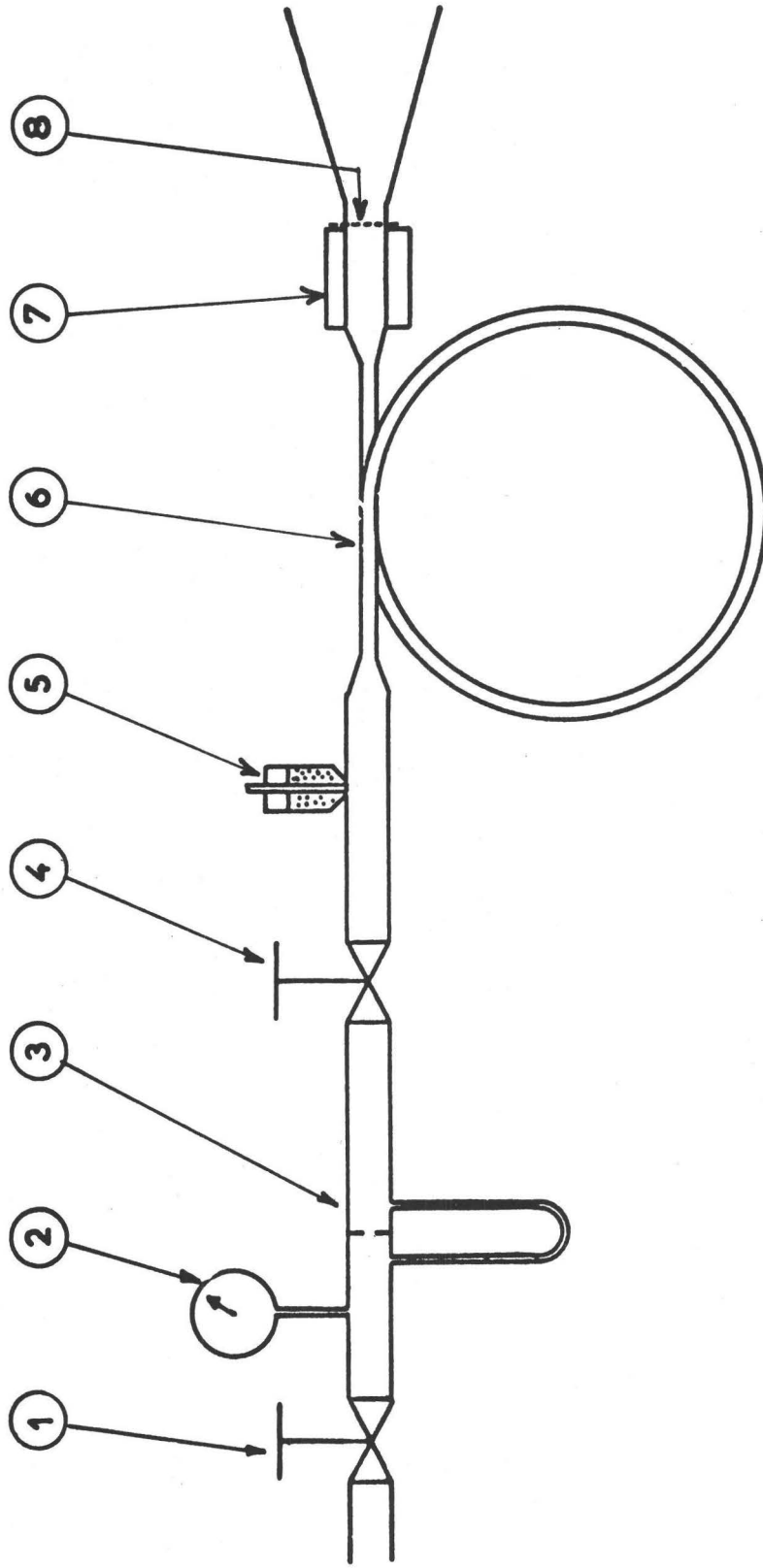


fig. 2







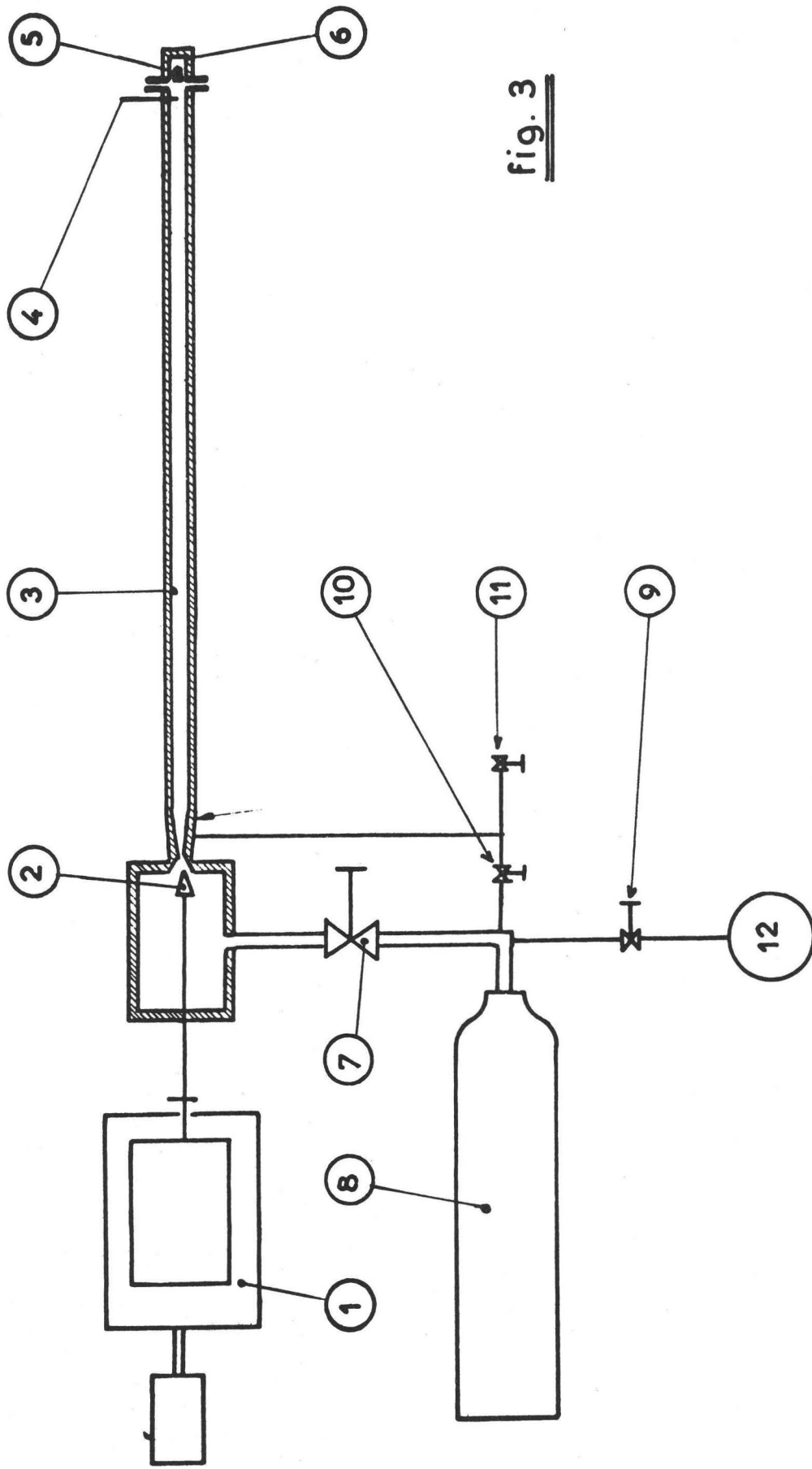


fig. 3

DT. 17395A





fig. 4

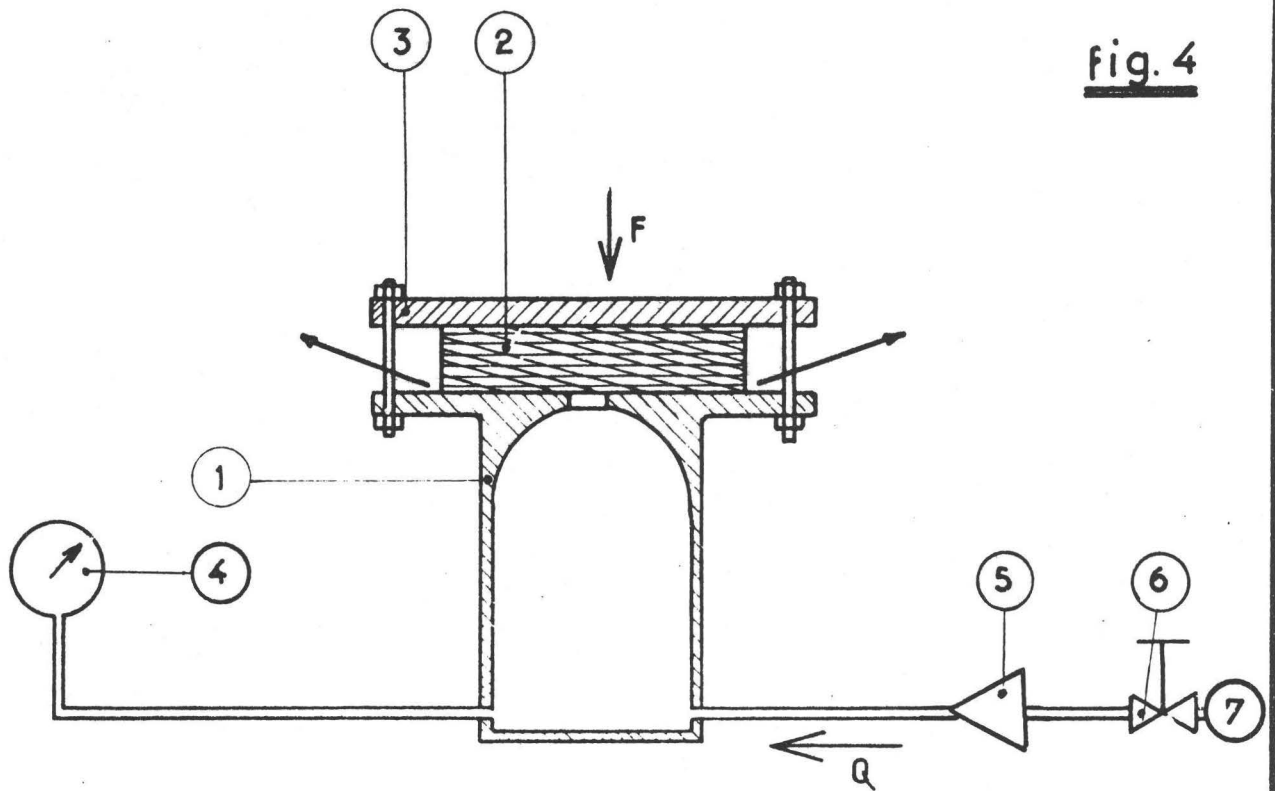
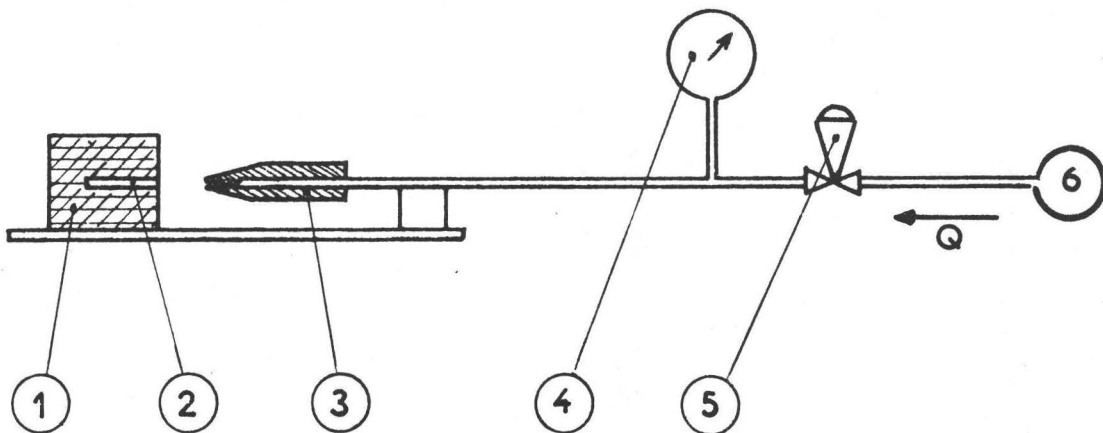
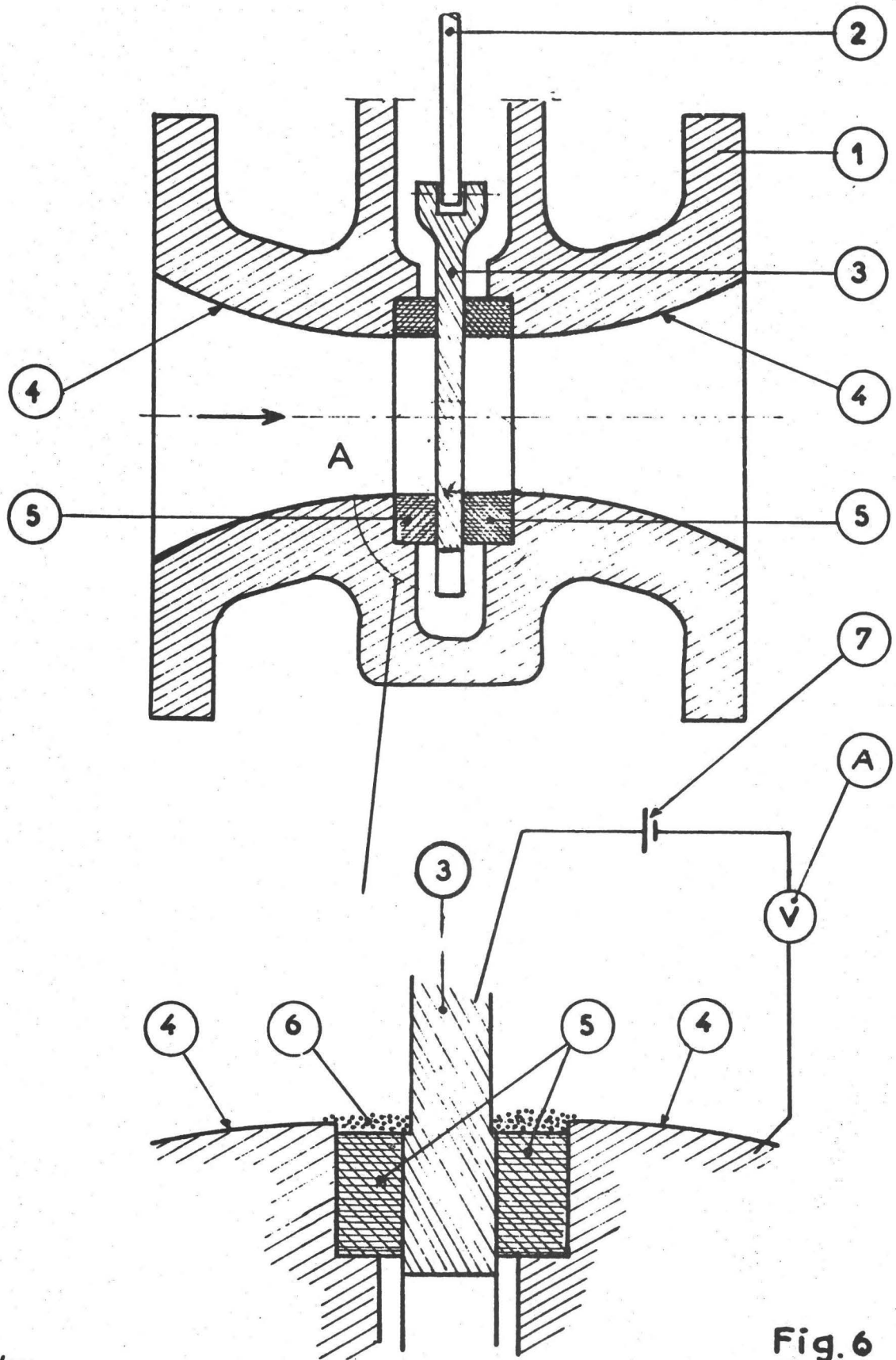


fig. 5











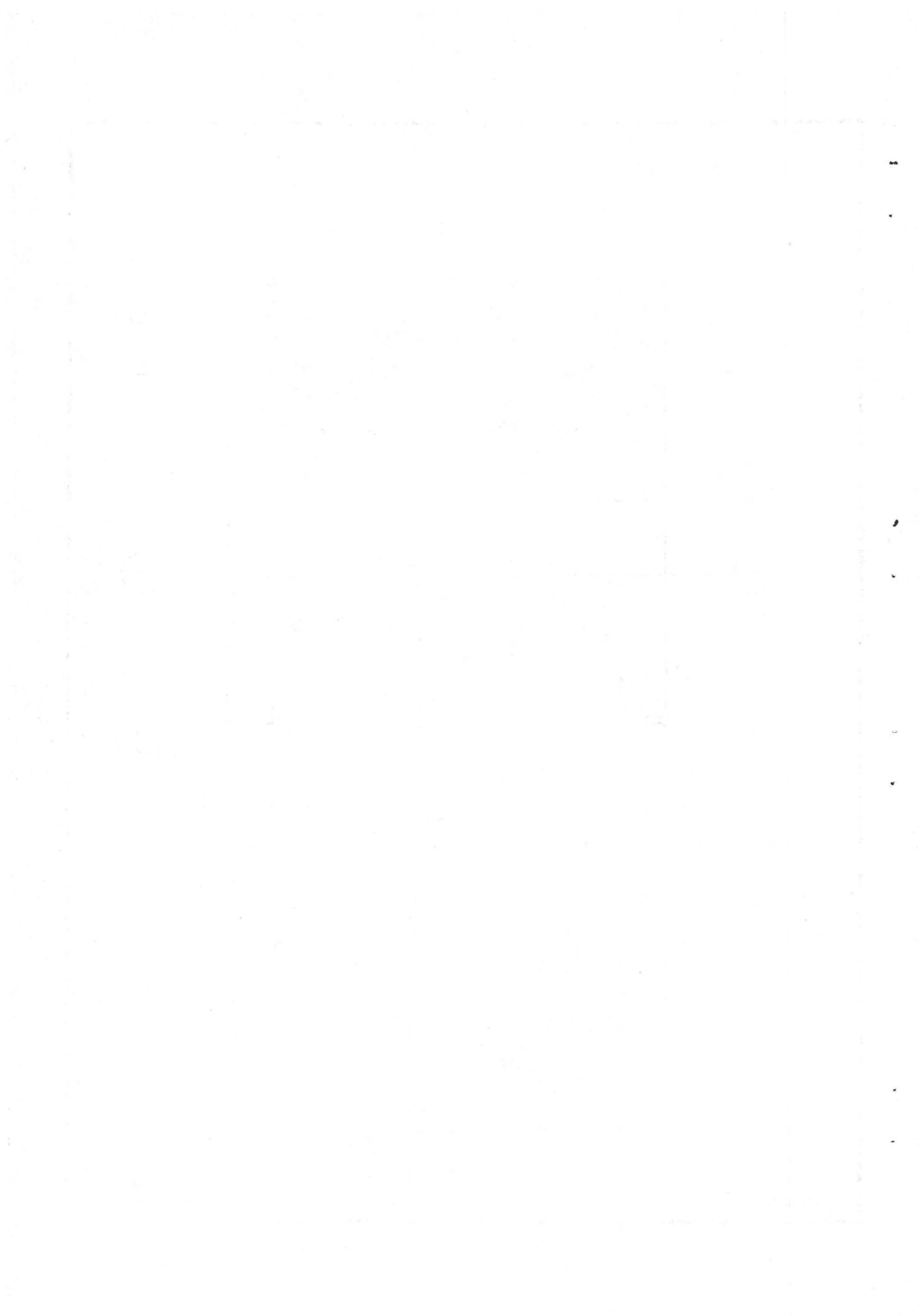
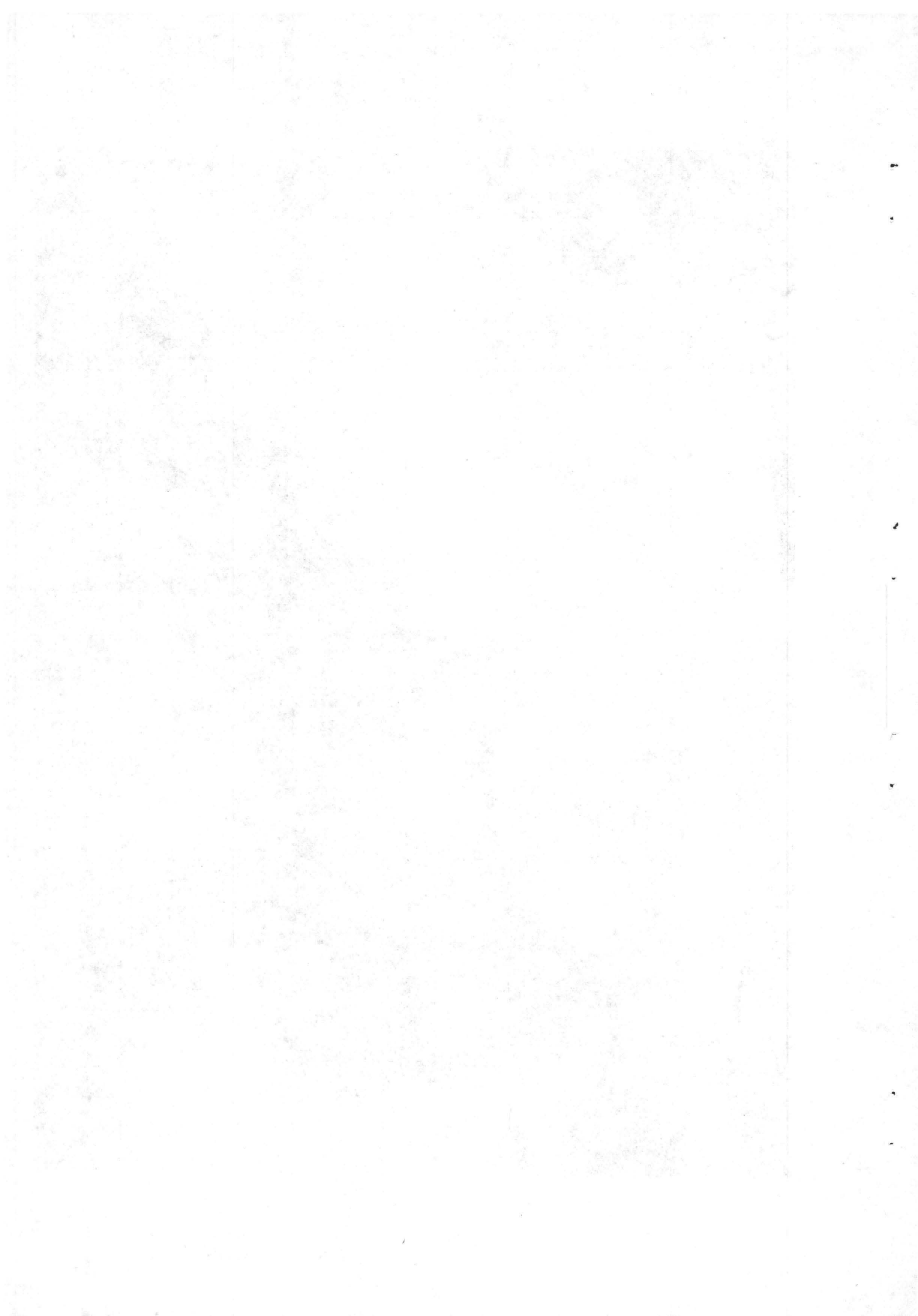




fig. 7





DISPOSITIONS REGLEMENTAIRES

A L L E M A G N E

Extrait du règlement de sécurité contre les accidents "Oxygène"

avec règles d'application et explications - Unfallverhütungsvorschrift

260 - Sauerstoff (VGB 62)

- Texte du règlement

Appareillage

§ 5 (1) Les appareils doivent être construits de telle sorte qu'une inflammation se trouve empêchée ou être disposés ou protégés de telle façon qu'en cas d'inflammation, le personnel ne puisse être blessé.

(2) La figure 1 ne s'applique pas aux appareils de sectionnement manoeuvrés uniquement en l'absence de pression qui sont disposés extérieurement sur des séparateurs ou sur des installations pour oxygène liquide.

(3) Il faut une sécurité qui empêche les axes filetés des appareils de se dévisser.

(4) Le filetage de l'axe des appareils prévus pour fonctionner sous des pressions relatives supérieures à 40 atm doit, pour les diamètres nominaux supérieurs à 15 mm, se trouver en dehors de l'espace occupé par le gaz.

(5) Les appareils de sectionnement pour oxygène liquide ou gazeux à une température inférieure à - 10° C doivent être en une matière qui conserve sa tenacité à basse température .

(6) Il faut ouvrir ou fermer d'un mouvement continu les appareils de sectionnement à commande manuelle; on ne doit pas les actionner brutalement ou par à-coups.

(7) Les dispositifs de sectionnement qu'on ne manoeuvre que rarement doivent être essayés à des intervalles de temps convenablement choisis pour contrôler leur état de fonctionnement.

Règles d'application et explication

ad § 5 alinéa 1

Les appareils pour oxygène gazeux ou liquide sont, par exemple, des dispositifs de sectionnement ou de réglage, des soupapes de sûreté, des clapets anti-retour.

La construction des appareils de façon à empêcher une prise de feu dépend de nombreux facteurs, par exemple :

- le choix des matériaux constitutifs pour le corps, les axes, etc.;
- la nature et disposition des joints d'étanchéité à l'emplacement du sectionnement ou de l'étranglement;
- une configuration favorisant l'évacuation de la chaleur aux endroits particulièrement exposés;
- la nature des garnitures de presse-étoupes.

Les exigences concernant la construction des appareils sont considérées comme satisfaites



1°) s'ils sont construits en :

- a) cuivre ou alliages cuivreux avec utilisation de matériaux d'étanchéité contrôlés et convenant aux températures de fonctionnement correspondantes (par exemple pour les joints à l'obturation, les garnitures de presse-étoupes, etc), ou
- b) aciers austénitiques ou autres matières métalliques, en utilisant des joints métalliques ou en autres matières non-organiques, incombustibles, pour une pression relative de fonctionnement maximum de 10 atm. Les étanchéités des axes filetés, par exemple des garnitures de presse-étoupe, peuvent dans ce cas être en une matière combustible si elles conviennent pour les conditions de fonctionnement prévues; ou

2°) si leur aptitude est certifiée par un rapport d'expertise émanant d'un organisme de contrôle officiellement reconnu, comme par exemple la B.A.M. (Bundesanstalt für Materialprüfung - Etablissement Fédéral de Contrôle des Matériaux), ou de l'organisation professionnelle.

La disposition sûre est réalisée quand l'appareil est monté en dehors des espaces de circulation et de travail et s'il est équipé d'une télécommande ou encore lorsqu'il se trouve à l'intérieur des locaux d'isolement des installations à basse température.

La sécurité est assurée si l'appareil est protégé par un écran solide et incombustible, par exemple une plaque de protection.

ad § 5 alinéa 7 :

La périodicité des contrôles de fonctionnement est fixée par le constructeur compte-tenu de l'expérience acquise sur les appareils en service.

- Texte du règlement -

Manomètres

§ 6 (1) Les manomètres doivent être construits ou disposés de telle sorte qu'au cas où ils cesseraient d'être étanches, le personnel se trouvant devant la vitre d'observation du manomètre ne puisse être blessé par l'oxygène ou par des éclats.

(2) Les manomètres à oxygène doivent porter l'inscription : "Oxygène" !  
Ni huiles, ni graisses ! "

Règles d'application et explications

ad § 6, alinéa 1

Les manomètres doivent satisfaire aux exigences soit par leur disposition convenable, soit par une construction adéquate.

Des constructions adéquates sont :

- a) une cloison résistante disposée entre le mécanisme de mesure et le cadran et une paroi postérieure à étoffe ou pellicule tendue,
- b) une vitre d'observation en verre de sécurité compound et un trou ou une membrane de décharge,
- c) des ressorts tubulaires en une matière non trempée (par exemple matière N° 4571) conjointement avec une vitre en verre de sécurité compound ou un trou de décharge, ou les deux à la fois,
- d) pour les manomètres à faible intervalle de mesure : (jusqu'à 1 atm de pression relative), une vitre en verre de sécurité compound seulement.



Les manomètres ainsi construits sont considérés comme des "manomètres de sécurité"; il convient de les repérer comme tels par un "S" sur le cadran.

Pour les manomètres indiqués ci-après, il n'est exigé dans les installations de mesure et de réglage aucune construction spéciale :

Manomètres à cadran rond jusqu'à 63 mm de diamètre et pour des intervalles de mesure de 0 à 6 kg/cm<sup>2</sup>,

Manomètres profilés dans des appareils pneumatiques de guidage et capteurs télétransmetteurs pour le domaine de fonctionnement de 0,2 à 1,0 kg/cm<sup>2</sup>.

En principe, on ne doit pas utiliser pour les tubes élastiques des matériaux sujets à la corrosion.

Les manomètres à oxygène ne doivent être utilisés que pour ce gaz.

- Texte du règlement -  
-----

Matériaux d'étanchéité

§ 7 Les matériaux d'étanchéité qui contiennent des constituants combustibles ne doivent être utilisés pour les joints de

brides en acier et raccords vissés en acier sur les tuyauteries et appareils pour des pressions relatives de fonctionnement dépassant 1 atm et

brides en aluminium et en alliage d'aluminium en dehors des séparateurs



que s'ils ont été contrôlés par un organisme de contrôle agréé par l'organisation professionnelle et ont été reconnus utilisables pour la pression, le mode de montage et la température de fonctionnement envisagés (\*).

Règles d'application et explications

ad § 7 :

L'établissement agréé est la B.A.M.

Pour le niveau de pression admissible du point de vue de la sécurité, on admet en l'état actuel des connaissances, 40 atm de pression relative.

Les matériaux d'étanchéité qui conviennent sont portés à la connaissance des intéressés dans les revues "Die Berufsgenossenschaft" (L'organisation professionnelle) et "Bundesarbeitblatt, Fachteil Arbeitsschutz" (Gazette fédérale du travail, spécialité sécurité du travail).

- Texte du règlement -  
-----

Réservoirs et conduites

§ 9 (1) L'intérieur des réservoirs et conduites à oxygène gazeux fonctionnant sous des pressions relatives supérieures à 1 atm doit être exempt de substances combustibles.

(2) Les réservoirs et conduites à oxygène liquide et gazeux avec une température de fonctionnement inférieure à - 10 ° C doivent être en une matière tenace à basse température.

---

(\*) Voir aussi liste jointe des lubrifiants essayés par la Bundesanstalt für Materialprüfung (B.A.M.) et reconnus utilisables pour les appareils à oxygène.

(3) Pour les réservoirs à double enveloppe, il faut qu'il y ait des dispositifs empêchant que la pression dans l'espace intermédiaire ne dépasse la pression de fonctionnement maximum admissible indiquée sur la plaque du réservoir.

Règles d'application et explications

ad § 9 alinéa 1 :

On doit considérer comme substances combustibles également les peintures intérieures combustibles. Pour des gazomètres dont la pression relative de fonctionnement est inférieure à 1 atm, il est recommandé d'utiliser pour l'intérieur des peintures difficilement inflammables.

ad § 9, alinéa 3 :

De tels dispositifs sont, par exemple, une pastille d'éclatement, une soupape de sûreté.

- Texte du règlement -  
-----

Pièces combustibles et isolants

§ 10 (1) A l'intérieur de la double enveloppe en tôle des séparateurs et réservoirs ou autres installations à oxygène liquide, on ne doit utiliser que les pièces ou matières combustibles qui figurent sur la liste de l'annexe 1 ou qui ont subi un contrôle de la part d'un organisme de contrôle agréé par l'organisation professionnelle, à la suite duquel elles ont été reconnues aptes à cette utilisation.



(2) Pour l'isolation thermique ou phonique des séparateurs, réservoirs et conduites, on ne doit utiliser que des produits isolants incombustibles.

Règles d'application et explications

ad § 10 alinéa 1 :

L'établissement agréé est la B.A.M.

ad § 10 alinéa 2 :

L'incombustibilité des isolants (par exemple laine de laitier, laine minérale, laine de verre, carbonate de magnésium) reste assurée s'ils ne contiennent pas en moyenne plus de 0,5 % de poids de substances organiques, par exemple des corps gras. Toutefois, on n'entend pas par là les substances qui servent uniquement à protéger les conduites contre la corrosion.

- Texte du règlement -

Annexe 1

Liste relative au § 10 alinéa 1

1. Produits d'étanchéité suivant § 7 et lubrifiants suivant § 12 alinéa 2.

2. Joints et garnitures de presse-étoupes en matières organiques pour des éléments qui véhiculent de l'air gazeux ou ses produits gazeux de décomposition avec moins de 21 % en volume d'oxygène.

3. Joints et garnitures de presse-étoupes en matières organiques pour des éléments qui véhiculent de l'air liquide, pourvu que la matière organique ne soit pas soumise à des sollicitations de frottement ou à des chocs.
4. Joints en matières organiques pour assemblages par brides en acier austénitique, cuivre, aluminium et leurs alliages, véhiculant de l'oxygène gazeux ou liquide.
5. Joints, garnitures de presse-étoupes, segments de piston et clapets de soupape en polytétrafluoréthylène pur ou additionné de verre, produits céramiques, amiante ou autres substances incombustibles pour des éléments qui véhiculent de l'oxygène gazeux sous une pression relative ne dépassant pas 40 atm ou de l'oxygène liquide, ou de l'air liquide.
6. Joints en matières organiques sur les enveloppes de tôle des séparateurs dans les installations construites antérieurement à l'entrée en vigueur du présent règlement de sécurité contre les accidents, pour autant que les joints soient protégés par un mastic spécial (par exemple en silicate de sodium, talc et amiante) contre le contact de l'oxygène liquide.
7. Isolants organiques pour les câbles de conduites électriques de mesure qui sont posés dans des tubes protecteurs incombustibles.
8. Produits organiques à couler pour le remplissage des gaines métalliques de thermomètres à résistance si le produit de remplissage est protégé contre tout contact avec de l'oxygène liquide.
9. Peintures intérieures bien adhérentes à faible teneur en constituants combustibles (organiques) pour les enveloppes en tôle et bâtis-supports de réservoirs des séparateurs.



- Texte du règlement -  
-----

Elimination des huiles et graisses

Lubrifiants

§ 12 (1) Toutes les pièces qui viennent en contact avec de l'oxygène doivent être exemptes d'huile ou de graisse.

(2) On ne doit utiliser des lubrifiants que s'ils ont été contrôlés par un organisme de contrôle agréé par l'organisation professionnelle, à la suite de quoi ils ont été reconnus aptes à l'utilisation dans les conditions de fonctionnement considérées.

Règles d'application et explications

ad § 12 alinéa 2 :

L'établissement agréé est la B.A.M.

Les lubrifiants qui conviennent sont portés à la connaissance des intéressés dans les revues "Die Berufsgenossenschaft" (L'organisation professionnelle) et "Bundesarbeitsblatt, Fachteil Arbeitsschutz" (Gazette fédérale du travail, spécialité sécurité du travail).

- Texte du règlement -  
-----

Marquage d'identification

§ 13 Les conduites et réservoirs d'oxygène doivent être marqués avec des peintures, inscriptions ou plaques caractérisant leur contenu.

1.7/1/68 f

Règles d'application et explicationsad § 13 :

Le marquage caractéristique des réservoirs et conduites à oxygène peut par exemple se faire d'après la norme DIN 2403 "Marquage de canalisations pour caractériser le fluide véhiculé". Voir aussi le règlement de sécurité contre les accidents "Soudure, oxycoupage et procédés apparentés " (VEG 15) et DIN 4678

- Texte du règlement -  
-----

Conduites

§ 26 (1) Pour des conduites d'oxygène, on ne doit utiliser que des tuyaux en matières qui conviennent pour ce gaz dans les conditions de fonctionnement prévues.

(2) Les tuyaux destinés à fonctionner sous des pressions relatives supérieures à 1 atm doivent avoir subi avant montage une épreuve hydraulique sous une pression égale à 1,5 fois la pression de fonctionnement ou une épreuve de pression avec un gaz sous une pression égale à 1,1 fois la pression de fonctionnement, et avoir résisté à ces pressions.

(3) Les conduites qui entrent dans un bâtiment fermé doivent pouvoir être fermées à partir d'un endroit non exposé.

1447/1/68 f



(4) Les conduites doivent être posées de façon à être protégées contre tout ébranlement dangereux, déplacement, déformation, échauffement dangereux et, si elles sont souterraines, contre la corrosion. Des conduites véhiculant de l'oxygène humide doivent pouvoir être purgées sans danger de l'eau de condensation.

(5) Les conduites doivent être nettoyées de leurs souillures intérieures avant la pose. Avec la première mise en service, il faut les souffler.

(6) Dans les hôpitaux, cabinets médicaux et autres domaines d'application médicales, on ne doit utiliser que des tubes de cuivre sans soudure dégraissés (tubes de qualité). Dans les hôpitaux, il faut qu'on puisse isoler les conduites séparément pour chaque étage et elles doivent être posées de façon à permettre des vérifications et travaux de nettoyage.

#### Règles d'application et explications

##### ad § 26 alinéa 1 :

En l'état actuel de la technique, on ne considère comme matières convenables que des matières métalliques, à savoir le cuivre, les alliages cuivreux et l'acier inoxydable, ainsi que, moyennant certaines restrictions, l'acier non inoxydable, l'aluminium et les alliages d'aluminium; en ce qui concerne l'acier non inoxydable, voir § 27.

On peut, sous réserve d'une réglementation ultérieure, utiliser l'aluminium et ses alliages jusqu'à une température de fonctionnement de 60 ° C et sous des pressions relatives de 40 atm comme matière de conduites de raccordement à des installations de fonctionnement de l'air et à des réservoirs d'oxygène liquide qui sont en aluminium ou alliages de ce métal. Il faut alors veiller à ce que l'oxygène ne contienne pas de produits de corrosion ou d'impuretés combustibles et qu'il ne peut pas s'y en former.

Pour les conduites en acier inoxydable pour pressions relatives de fonctionnement supérieures à 25 atm ainsi que pour les conduites en aluminium ou alliages de ce métal, on n'utilise que des tubes dont l'aptitude à ces usages est certifiée (voir par exemple pour les tubes en acier non-allié avec prescriptions de qualité les normes DIN 1629 et DIN 1626, et pour les tubes d'aluminium avec justification de qualité la norme DIN 1746).

Pour les travaux de soudure sur les conduites, on ne doit faire appel qu'à des soudeurs agréés (cf. par exemple DIN 8560 et 8563).

ad § 26 alinéa 2 :

Pour l'utilisation de tubes de qualité (cf DIN 1629), on peut considérer la condition d'une épreuve hydraulique ou sous pression de gaz comme remplie par l'épreuve de pression effectuée chez le fabricant pour autant que celle-ci a eu lieu sous la pression d'essai indiquée au § 26 alinéa 2. L'épreuve sous pression de gaz se fait habituellement à l'air ou à l'azote, sous l'eau ou avec contrôle des fuites à l'eau de savon.

ad § 26 alinéa 3 :

Grâce à cette mesure, on évite qu'en cas d'incendie dans le bâtiment, il y arrive encore de l'oxygène.

ad § 26 alinéa 5 :

Pour le soufflage, il convient de donner à l'azote ou l'air exempts d'huile la préférence sur l'oxygène.



- Texte du règlement -  
-----

Tubes d'acier non inoxydables pour des pressions relatives de fonctionnement dépassant 1 atm.

§ 27 (1) La section de tubes en acier non inoxydables destinés à fonctionner sous des pressions relatives supérieures à 1 atm doit être choisie de telle sorte que la vitesse d'écoulement maximum admissible du point de vue de la technique de la sécurité ne se trouve pas dépassée.

(2) Dans des conduites en tubes d'acier non inoxydable fonctionnant sous des pressions relatives supérieures à 40 atm, on ne doit introduire que de l'oxygène sec.

(3) Il faut éviter que le courant d'oxygène ne vienne frapper perpendiculairement les parois de la conduite.

Règles d'application et explications

ad § 27, alinéa 1 :

Pour déterminer la vitesse d'écoulement, on part du débit maximum sous la pression de fonctionnement la plus basse. Les vitesses d'écoulement admissibles sont, d'après les connaissances actuelles :

- |  |   |        |
|--|---|--------|
| a) pour les pressions relatives de fonctionnement de 1 à 40 atm        | : | 25 m/s |
| b) pour des pressions relatives de fonctionnement supérieures à 40 atm | : | 8 m/s  |

ad § 27 alinéa 2 :

De l'oxygène dont le point de rosée est inférieur à 15 ° C est considéré comme sec si la température ne peut pas descendre au-dessous de cette valeur. Le séchage de l'oxygène s'effectue par exemple au moyen d'absorbants.

ad § 27 alinéa 3 :

Cela signifie que les changements de direction dans les conduites et dérivations ne doivent pas se faire par coudes brusques, mais uniquement par des parties courbes. Pour éviter que le coudage des tubes n'affaiblisse leur épaisseur de paroi par suite d'un allongement exagéré, le rayon de courbure doit en général ne pas être inférieur à la valeur 5 d. Il peut devenir plus faible quand on utilise comme parties courbes des pièces de forme à épaisseur de paroi constante.

- Texte du règlement -  
-----

Conduites mobiles

§ 28 (1) Des conduites mobiles doivent être essayées avant leur mise en service et ensuite suivant les besoins, mais au moins avec une périodicité de six mois. On ne doit les mettre ou les maintenir en service que si, à la suite du contrôle, elles s'avèrent étanches et intactes et si par ailleurs elles répondent aux exigences du présent règlement de sécurité contre les accidents.

17/1/68 f



(2) On ne doit pas utiliser des tuyaux souples en matières organiques pour véhiculer de l'oxygène gazeux sous des pressions relatives supérieures à 40 atm ni pour véhiculer ou transvaser de l'oxygène liquide.

Règles d'application et explications

ad § 28 alinéa 1 :

Les conduites mobiles sont, par exemple, des tuyaux souples de remplissage, des tubes à hélice ou articulés, ou des raccords démontables.

- Texte du règlement -  
-----

Postes de transvasement d'oxygène liquide

§ 31 (1) Le sol au voisinage des postes de transvasement d'oxygène liquide ne doit pas être constitué de matériaux combustibles dans l'oxygène. Le sol doit être exempt d'huile, de graisse ou de toute autre souillure combustible.

(2) Des postes de transvasement d'oxygène en plein air doivent être signalés pendant le transvasement par des signaux avertisseurs.

(3) Pendant le transvasement d'oxygène liquide, il doit toujours y avoir un opérateur présent.

12/7/1/68 r

Règles d'application et explications

ad § 31 (1) :

Un sol revêtu d'asphalte n'est par conséquent pas admissible. Au voisinage du poste de transvasement - c'est-à-dire dans un rayon de 5 m autour des endroits d'où peut, normalement ou par suite de fuites, s'échapper de l'oxygène - il ne doit pas se trouver de feu non protégé.

- Texte du règlement -  
-----

Détente de conduites de transvasement

§ 32 Les conduites de transvasement doivent pouvoir se détendre sans danger.

- Texte du règlement -  
-----

Lances à oxygène et tubes de brûleurs

§ 37 (1) Sur les lances à oxygène et tubes de brûleurs, il faut que les raccords entre le tuyau souple et la lance soient étanches au gaz.

(2) On doit à tout instant pouvoir retirer sans danger les lances à oxygène à refroidissement par eau des convertisseurs, fours, mélangeurs et poches de coulée.



- Texte du règlement -  
-----

Installation des réservoirs

§ 39 (1) Des réservoirs d'oxygène ne doivent pas être placés dans des passages de véhicules ou de piétons ni dans des cages d'escalier ni dans leur voisinage immédiat.

(2) Des réservoirs d'oxygène ne doivent pas être placés dans des locaux où il y a risque d'incendie ou d'explosion, sauf pour les réservoirs d'oxygène d'installations de fractionnement de l'air.

(3) Les réservoirs d'oxygène liquide doivent être mis à l'intérieur. Ils ne doivent pas être placés dans des locaux où séjourne en permanence du personnel. On ne doit les mettre dans des locaux en sous-sol que si ceux-ci sont suffisamment ventilés.

(4) Des réservoirs d'oxygène liquide dont le produit de la pression relative par la capacité est supérieur à 2 000 (atm x l) ne doivent pas non plus être placés au-dessus ou au-dessous de locaux où séjourne en permanence du personnel.

(5) Dans des hôpitaux, on ne doit pas non plus mettre de réservoirs à oxygène liquide au-dessus ou au-dessous de locaux où séjourne en permanence du personnel.

(6) Par dérogation aux alinéas 3 et 4, les vaporiseurs à froid peuvent être mis dans des locaux de travail à la distance de sécurité des postes de travail et des feux non protégés.

(7) Des réservoirs à oxygène liquide dont le produit de la pression relative par la capacité ne dépasse pas 1 000 (atm. l) et les réservoirs à oxygène liquide dont les installations de remplissage peuvent par dérogation aux alinéas 3 et 4 être mis dans les locaux de travail.

(8) Le sol au-dessous des réservoirs à oxygène liquide ne doit pas être en matériaux combustibles dans l'oxygène. Le sol doit être exempt d'huile, de graisse et de toute souillure par d'autres produits combustibles.

Règles d'application et explications

ad § 39 alinéa 6 :

On considère que la distance de sécurité est d'environ 5 m.

- Texte du règlement -  
-----

Réservoirs installés en plein air au-dessus du sol

§ 40 Les réservoirs installés en plein air au-dessus du sol doivent être protégés contre les détériorations mécaniques et les effets d'un feu extérieur. Il faut qu'ils soient accessibles de tous côtés. Les appareils doivent être manoeuvrables à partir d'un poste fixe.

Règles d'application et explications

ad § 40 :

La protection contre les effets d'un feu extérieur est nécessaire quand le réservoir à oxygène non isolé est exposé au danger de propagation d'incendie ou de rayonnement thermique à partir d'objets facilement combustibles situés dans son voisinage. On peut envisager comme mesures de protection :

des distances de sécurité suffisantes, des murs coupe-feu, une installation d'arrosage à l'eau ou la mise en place de lances d'incendie.



- Texte du règlement -

Ballons de stockage

§ 41 (1) Les ballons de stockage doivent être protégés contre un dépassement de la pression maximum de service marqué sur la plaque du constructeur.

(2) Il faut qu'ils soient installés de façon à être protégés contre les détériorations mécaniques.

Règles d'application et explications

ad § 41 (1) :

La possibilité de détériorations mécaniques peut venir, par exemple, de véhicules ou de grues.

-----  
BELGIQUE

néant

-----  
FRANCE

néant

-----  
ITALIE

néant

-----  
PAYS-BAS

néant

-----  
127/1/68 f

LUXEMBOURGDirectives concernant la préparation et l'utilisation de l'oxygène,  
en vigueur à partir du 1er mai 196211 - Construction et équipement11.1. - Canalisations

En règle générale, les canalisations d'oxygène doivent être en cuivre. Si, dans des cas particuliers, on y emploie l'acier, il est recommandé pour des tuyauteries d'acier d'une certaine longueur d'y introduire des tronçons de sécurité en cuivre, pour empêcher la propagation d'un incendie éventuel.

11.2. - Organes de fermeture

(1) Les organes de fermeture doivent, pour les pressions supérieures à 1 atmosphère relative, être constituées de matériaux tenaces.

(2) Pour les pressions supérieures à 30 at. rel., ou pour les vitesses d'écoulement à travers ces organes de fermeture supérieures à 8 m/s, les surfaces qui entrent en contact avec l'oxygène doivent être en cuivre, en bronze, en laiton ou en acier inoxydable approprié.

(3) Les broches filetées et les boîtes presse-étoupe des organes de fermeture doivent indépendamment de leur hauteur de pression être protégées pour qu'elles ne puissent se dévisser.

(4) Les filetages d'entraînement des organes de fermeture de diamètre nominal 12 mm et plus doivent être à l'extérieur du compartiment balayé par le gaz pour les pressions au-dessus de 30 at. rel.; la sûreté de l'assemblage des parties inférieures et supérieures du corps de vanne ne doit pas souffrir lors d'une combustion à l'intérieur du corps de vanne.



11.5. - Produits d'étanchéité

Pour les pressions supérieures à 1 at. rel. on ne peut employer, pour les tuyauteries et leurs accessoires, que des produits d'étanchéité combustibles appropriés à la pression et au genre des brides prévues s'ils sont en contact avec de l'acier (\*).

12 - Exploitation

12.01. - Elimination de l'huile et des graisses

Toutes les pièces entrant en contact avec de l'oxygène doivent être tenues exemptes de toute trace d'huile et de graisse.

12.07. - Protection contre le feu

(2) Les appareils et récipients doivent être protégés contre les charges d'électricité par une mise à la terre suffisante.

12.09. - Manoeuvre des organes de coupure

Les organes de coupure de l'oxygène ne doivent être ouverts que lentement, et non par à-coups. Les volants de ces organes doivent être manoeuvrés autant que possible à la main seulement, sans emploi de clés, pinces et outils analogues.

12.10. - Travaux de montage, de remise en état et de nettoyage

(5) Les organes de coupure pour l'oxygène ne doivent être remis en état que dans des ateliers équipés en conséquence et disposant de personnel compétent pour ces travaux.

---

(\*) Actuellement, les joints de Klingerit pour pression jusqu'à 30 at. rel. et ceux de fibres vulcanisées pour pression jusqu'à 12 at. rel. ont été trouvés appropriés; en cas d'emploi de fibres vulcanisées, les brides doivent être exécutées à rainure et languette.

Groupe de travail " Sécurité - Conduites à oxygène "

Arbeitsgruppe " Arbeitssicherheit - Sauerstoffleitungen "

Gruppo di Lavoro " Sicurezza - Condotte di ossigeno "

Werkgroep " Veiligheid - Zuurstofleidingen "

DEUTSCHLAND

Herrn DREISSIG

Ingénieur

August Thyssen-Hütte AG

Duisburg - Hamborn

Herrn O. GOELLER

Dipl.-Ing

Berufsgenossenschaft der

Chemischen Industrie

Nürnberg

Herrn Dr. A. ERENZ

Hütten- und Walzwerks

Berufsgenossenschaft

Essen

BELGIQUE

LENGLEZ

Chef de Service à la

Centrale Commune d'oxygène

Marcinelle

14/7/1/68 f. d. i. n



FRANCE

H. HERMANN                      Ingénieur au Service Thermique de la  
Société Mosellane de Sidérurgie  
Knutange

Ph. ARBAGON                     Ingénieur à la Direction Technique  
Air Liquide  
Paris

ITALIA

Ing. E. CAGLIARDI                Servizio Sicurezza Lavoro  
Soc. ITALSIDER  
Genova

Sig. Fiorenzo FATICA          Capo Ufficio alla Centrale di  
Produzione Ossigeno  
Soc. AFL FALCK  
Sesto S. Giovanni

LUXEMBOURG

H. KIRSCH                        Ingénieur  
Service Electromécanique  
Arbel  
Differdange

NEDERLAND

G.J. STROBBE                    Koninklijke Nederlandsche  
Hoogovens en Staalfabrieken N.V.  
IJmuiden

\*

\*

\*

... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..









