

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 73 (1947)  
**Heft:** 12

## Sonstiges

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 28.01.2026

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

cation n'est pas une petite affaire. Si l'on veut réaliser les conditions imposées par les exigences actuelles, que nous résumerons comme suit :

- 1<sup>o</sup> assurer un éclairage suffisant et aussi uniforme que possible, avec un contraste suffisant, un bon rendement et, dans les agglomérations, créer une ambiance lumineuse agréable ;
  - 2<sup>o</sup> réaliser une installation robuste à l'épreuve du temps, régulière dans son fonctionnement, économique au triple point de vue des frais d'installation, d'exploitation et d'entretien ;
- une foule de facteurs doivent être pris en considération. Et quand la technique a satisfait ses exigences, l'esthétique revendique les siennes, souvent opposées.

Du vieux réverbère en passant par le candélabre surcharge de motifs décoratifs en fonte grise, on est arrivé au style du tube de fer étiré à faux télescope et à la lampe suspendue. Tous ces supports, tous ces filins sont bien fâcheux pour l'harmonie d'une rue. Et c'est pourquoi on utilise actuellement, aux endroits convenables, des luminaires montés sur consoles qui ne sont, en somme, qu'un retour perfectionné au réverbère.

L'éclairage nocturne est avant tout utilitaire. A de rares exceptions près il n'a aucun caractère architectural car il y a trop souvent opposition entre ces deux qualités. Donnons comme exemple l'éclairage d'un pont : ou bien le pont est mal éclairé parce que la moitié du flux lumineux des armatures incorporées à l'architecture tombe... à l'eau, ou bien l'éclairage est correct et la superstructure du pont est abîmée le jour par la présence des supports et accessoires.

Las ! notre propos n'est pas de prétendre à une solution mais de relever simplement la difficulté.

(A suivre).

## D I V E R S

### Les propergols fluides moteurs des engins autopropulsés<sup>1</sup>.

#### Introduction.

Depuis l'apparition dans le ciel européen des engins allemands V1 et V2, l'autopropulsion est à l'ordre du jour dans tous les pays du monde.

La balistique, l'aérodynamique, la thermodynamique, la radiotéchnique, la chimie sont mises à contribution dans l'étude de ce problème, auquel, il y a à peine quelques années, seuls les traités d'astronautique consacraient quelques chapitres.

En ce qui concerne la chimie, le problème n'était pour ainsi dire pas étudié : il était à peine posé. Si aujourd'hui les chimistes ont eu vent de l'emploi de comburants tels que le peroxyde d'azote, l'acide nitrique, le perhydrol, de combustibles spéciaux tels que l'hydrate d'hydrazine, des éthers, des amines, il n'en reste pas moins vrai qu'une telle utilisation de ces corps reste pour eux un sujet d'étonnement.

C'est dans le but de familiariser les chimistes avec ces nouveaux emplois de substances qu'ils connaissent bien, et c'est pour leur définir plus clairement les problèmes nouveaux qui se posent ou pourront se poser à eux, que nous nous sommes proposés d'exposer dans cet article l'état de nos connaissances à cet égard. Nous avons tenu compte des solutions connues

<sup>1</sup> Nous reproduisons ici un article paru au numéro de mars 1947 de la revue « Chimie et Industrie » sous la signature de M. R. Levy, ingénieur P. P. C. I., licencié ès-sciences.

et proposées à ce jour, dont un grand nombre ont été mises au point en Allemagne pendant la dernière guerre.

Afin de mettre en relief les questions qui se posent dans le domaine de l'autopropulsion, il est utile de donner quelques définitions et de rappeler quelques formules élémentaires.

#### Autopropulseur.

On appelle autopropulseur tout engin susceptible de se mouvoir sans utiliser de point d'appui extérieur, « la force propulsive étant engendrée par le recul que crée, d'après le principe d'inertie, l'éjection à grande vitesse, dans une direction déterminée, d'une partie de la substance même du mobile propulsé ».<sup>1</sup>

Les autopropulseurs transforment de l'énergie thermique en travail de la force propulsive au cours de réactions dans lesquelles, contrairement aux réactions des moteurs thermiques normaux, l'oxygène atmosphérique ne doit pas intervenir comme corps réagissant, ni l'azote atmosphérique comme gaz inertie.

On peut classer ces réactions dans l'ordre de grandeur des énergies spécifiques libérées en trois types principaux :

- 1<sup>o</sup> La désintégration de l'atome ;
- 2<sup>o</sup> La transformation de l'hydrogène atomique en hydrogène moléculaire ;

- 3<sup>o</sup> Les réactions exothermiques courantes de la chimie et, plus particulièrement, les réactions d'oxydation.

A l'heure actuelle, on ne sait utiliser pratiquement que les réactions du troisième type. Ce sont celles que nous nous proposons d'étudier, dans un esprit limitatif cependant, puisque nous ferons volontairement abstraction de la combustion des poudres.

Pour utiliser ces réactions exothermiques, on les provoque dans une chambre de combustion. Les produits gazeux qui en résultent sont portés à une pression définie et atteignent une température élevée. On les détend ensuite dans une tuyère de Laval, qui permet ainsi de les éjecter à grande vitesse.

#### Propergols.

On appelle propergol un corps ou un ensemble de corps (auxquels s'ajoutent, le cas échéant, des corps inertes), dont la décomposition ou la réaction est génératrice de l'énergie d'autopropulsion.

Dans le cas d'une combustion (dans le sens le plus large du terme), on appellera :

*comburant* le système porteur d'oxygène,

*combustible* le système qui brûle dans cet oxygène.

On évitera le terme « carburant » qui prête à confusion.

#### Caractéristiques spécifiques des propergols.

Une grandeur souvent utilisée pour caractériser les propergols est la vitesse d'éjection atteinte par les gaz de combustion dans la section de sortie d'une tuyère d'essais. Si  $\omega_s$  est cette vitesse d'éjection,  $\mu$  le débit des gaz éjectés (et, par conséquent, celui du propergol),  $F$  la force de propulsion,  $p_s$  la pression des gaz dans la section de sortie de la tuyère,  $p_a$  la pression atmosphérique,  $\Sigma_s$  l'aire de la section de sortie de la tuyère, la force  $F$  a pour pression :

$$F = \mu \omega_s + (p_s - p_a) \Sigma_s \quad (1)$$

Si la pression de détente,  $p_s$  est égale à la pression atmosphérique  $p_a$ , la formule (1) se réduit à :

$$F = \mu \omega_s \quad (2)$$

<sup>1</sup> J.-J. BARRE, Autopropulseurs et tuyères aérothermiques, « Bull. Inf. Sci. Techn. », 1945, n° 7 G, janvier.

Souvent on caractérise également un propergol par la consommation spécifique : c'est le rapport du débit de ce propergol à la force propulsive lorsque pour la tuyère d'essai  $p_s = p_a$ . Il en résulte que si  $C_s$  est cette consommation spécifique, elle est exprimée par l'égalité :

$$C_s = \frac{1}{w_s} \quad (3)$$

*La consommation spécifique est donc l'inverse de la vitesse d'éjection.*

On démontre, d'autre part, que la densité d'un propergol doit être aussi élevée que possible pour que la portée de l'engin autopropulsé soit elle-même maxima. Pour cette raison, on introduit souvent une nouvelle caractéristique : la consommation spécifique en volume, qui est le rapport de la consommation spécifique en masse à la densité moyenne du propergol.

Elle a pour expression, si  $d$  est cette densité :

$$(C_s)_v = \frac{C_s}{d}.$$

La consommation spécifique en masse s'exprime en grammes par kg × seconde (ou en kg par tonne × seconde) et la consommation spécifique en volume, en litres par tonne × seconde.

Si, d'autre part, la vitesse d'éjection  $w_s$  est exprimée en mètres par seconde il vient :

$$C_s = \frac{9.810}{w_s} \text{ gr/kg} \times \text{sec.}$$

La vitesse d'éjection  $w_s$  et les consommations spécifiques peuvent servir à caractériser les propergols en première approximation tout comme l'indice d'octane les essences.

#### Classification des propergols.

On est amené à distinguer quatre classes de propergols : les propergols à un liquide : Catergols et Monergols ; les propergols à deux liquides : Normaux ou non autoréagissants ; Hypergoliques ou autoréagissants ; les propergols à un liquide et un solide : Lithergols ; les propergols solides (autres que les poudres).

#### Propergols à un liquide.

##### Catergols.

Dans les « catergols », le propergol est constitué par un liquide unique dont la décomposition exothermique est provoquée par un catalyseur.

C'est ainsi que le protoxyde d'azote liquide se décompose en passant sur des anneaux de céramique imbibés de sel de cobalt et préalablement portés à des températures élevées (une molécule de protoxyde d'azote libère en se dissociant en azote et oxygène 20 600 calories).

Le perhydrol se décompose également en dégageant une grande quantité de chaleur en passant sur certains catalyseurs solides ; on aura l'occasion de revenir ultérieurement sur la décomposition exothermique du perhydrol.

##### Monergols.

Dans les « monergols », le propergol est constitué soit par un liquide unique, mélange du comburant (porteur d'oxygène), du combustible et éventuellement de la matière inerte, soit par un corps porteur sur une même molécule, des éléments comburants et combustibles<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> L'allumage initial du monergol est réalisé soit par son injection dans une chambre dont les parois sont préalablement chauffées, soit par un dispositif pyrotechnique.

Il est évident que, dans un tel système, si la réaction doit se faire aisément et complètement dès l'entrée du liquide dans la chambre de réaction, elle ne doit pas, par contre, se propager en retour par les canalisations jusqu'au réservoir. Ces deux desiderata semblent contradictoires. Pour les satisfaire, il faut, d'une part, réaliser une vitesse d'injection dans la chambre de réaction supérieure à la vitesse de propagation de la réaction et, d'autre part, employer des corps susceptibles d'absorber de grandes quantités d'énergie (chaleur de vaporisation élevée, formation exothermique).

Une solution particulièrement élégante de ce problème consiste à employer le *liquide de Divers* comme monergol. On sait que ce liquide se forme en dégageant une quantité de chaleur appréciable lorsque le nitrate d'ammonium absorbe du gaz ammoniac. L'ammoniac constitue le combustible de ce monergol et répond particulièrement bien aux desiderata exprimés (chaleur de formation positive, chaleur de vaporisation élevée). Le nitrate d'ammonium comburant a également une chaleur de formation positive à partir des éléments.

Le nitrate d'ammonium étant très corrosif et ayant tendance à cristalliser, dans le liquide de Divers, aux basses températures, on a également proposé de le remplacer par un mélange de protoxyde d'azote et de tétranitrométhane ; l'ammoniac reste le combustible de ce monergol.

Un autre monergol est constitué par un mélange de nitrate de méthyle et de méthanol de préparation facile, puisqu'il suffit à cet effet de distiller simultanément dans un appareil à colonnes de l'acide nitrique à 60 % et du méthanol.

Il est également possible de faire usage du perhydrol dans un monergol constitué par une solution concentrée d'hydroxyquinoléine (combustible) dans le perhydrol concentré à 80-85 % (comburant), la réaction étant provoquée par pulvérisation du liquide sur du bioxyde de manganèse en paillettes.

#### Propergols à deux liquides « non auto-réagissants. »

L'allumage des deux liquides doit être provoqué par un dispositif extérieur lorsqu'ils entrent en contact dans la chambre de réaction. C'est ainsi que, dans le V2, l'allumage était réalisé par simple introduction dans la tuyère d'un dispositif pyrotechnique : soleil d'artifice à quatre cartouches.

Ces propergols peuvent se différencier d'après le comburant utilisé : on a employé l'oxygène liquide, le protoxyde d'azote et le peroxyde d'azote.

Avec l'oxygène liquide on a l'avantage de réaliser des pouvoirs calorifiques élevés, mais le remplissage en comburant du réservoir de l'autopropulseur ne devant se faire que lors du lancement de l'engin et en employant un matériel important, il en résulte que ce comburant convient uniquement aux engins à grande portée à temps de lancement prédéterminés. On peut associer de nombreux combustibles à l'oxygène liquide. L'hydrogène liquide permet de réaliser les vitesses d'éjection les plus élevées, mais sa faible densité (0,07) et sa préparation difficile en ont fait rejeter l'emploi. On a également apparié à l'oxygène liquide le méthane liquide, des essences, des huiles, le benzène, le méthanol, l'éthanol et l'on a également songé à des hydrocarbures contenant des métaux légers tels que l'aluminium, le magnésium, le glucinium en solution colloïdale. Ainsi, dans le V2, le méthanol à 70 % apparié à l'oxygène liquide permettrait de réaliser une consommation spécifique de 4,5 gr par kg × seconde.

Le protoxyde d'azote a été apparié à l'essence comme combustible ; le rapport des débits massiques étant égal à 3, la consommation spécifique atteignait 6,3 gr par kg × seconde.

Le peroxyde d'azote comburant est liquide dès la température de 20° C à la pression atmosphérique ; comme le protoxyde d'azote, sa formation est endothermique ; il donne avec les combustibles des mélanges à potentiel élevé, mais qui sont très sensibles au choc et, de fait, on ne peut guère songer à l'apparier qu'au benzène qui doit sa stabilité à sa symétrie. Il présente, en outre, le grave inconvénient d'être toxique et de posséder un pouvoir corrosif élevé qui entraîne les mêmes difficultés que pour l'acide nitrique.

#### Propergols à deux liquides auto-réagissants ou « hypergols ».

L'emploi de propergols à deux liquides comporte un grave danger : le mélange de ces deux liquides constitue, en général, un explosif de pouvoir brisant élevé. En outre, il se peut, lors de l'extinction, du fait d'un apport de chaleur temporairement insuffisant, que la réaction s'arrête au stade de formation de produits intermédiaires (peroxydes) qui sont également explosifs.

Si l'on considère que les débits massiques de propergols sont très élevés et peuvent dépasser 100 kg par seconde, on voit qu'on peut accumuler des quantités importantes d'explosifs résultant de ces rats de fonctionnement.

Il est donc nécessaire, pour des propergols non auto-réagissants, de prévoir un dispositif d'allumage quasi instantané et énergique *qui devra, autant que possible, fonctionner pendant toute la durée de la réaction*. Ceci entraîne à des complications de construction qui, par des appareils réglables, sont onéreuses.

Les propergols auto-réagissants ou hypergols, au contraire, doivent apporter eux-mêmes la parade à tout danger d'explosion du fait que :

- le simple contact du combustible et du comburant provoque l'« allumage » de la réaction ;
- La réaction étant amorcée, elle se poursuit toujours de façon complète jusqu'à la formation des produits gazeux finaux.

Il existe deux types d'hypergols fondamentaux différents par le comburant utilisé : perhydrol ou acide nitrique.

#### Initiateurs et catalyseurs.

Il vient à l'esprit que pour la réalisation des deux desiderata précédents il serait nécessaire :

- que lors du mélange du comburant et du combustible, deux substances amenées en contact apportent, par réaction exothermique, une quantité de chaleur initiale susceptible de déclencher la réaction ; on appelle initiateurs ces substances qui réagissent initialement ;
- que l'emploi éventuel de catalyseurs spéciaux permette à cette réaction initiale de se produire ou à la réaction globale de se poursuivre complètement.

L'emploi de ces corps spéciaux (initiateurs et catalyseurs) est caractéristique des hypergols. Nous allons rapidement examiner les substances qui sont utilisées comme initiateurs et catalyseurs.

#### 1. Initiateurs.

Les mêmes initiateurs conviennent au perhydrol et à l'acide nitrique ; d'après leur nature chimique, on peut distinguer :

*Les amines.* — Avec l'acide nitrique, la chaleur de formation des sels d'amines suffit pour augmenter la température, au niveau des surfaces de contact des deux liquides, de façon telle qu'il y a inflammation.

Avec le perhydrol, il se produit, aux surfaces de contact, des peroxydes instables qui se décomposent avec inflammation.

Les nitriles se comportent comme les amines.

*Les substances réductrices.* — Toutes ces substances sont celles qui permettent de réduire énergiquement à froid les solutions permanganiques. Des exemples de ces substances sont constitués par des révélateurs employés en photographie, tels que la pyrocatechine, l'hydroquinone, des hydrocarbures insaturés tels que le vinylacétylène, des éthers non saturés tels que le furane, l'alcool furfurylique, etc.

Toutes ces substances réduisent énergiquement l'acide nitrique et le perhydrol à froid, de sorte que la chaleur dégagée par la réaction primaire suffit pour provoquer l'inflammation.

*Les substances à la fois aminées et réductrices.* — Quelques exemples de ces substances sont : l'hydrazine, le pyrrole, les aminophénols.

La réunion des propriétés basiques et réductrices sur une même molécule provoque une élévation de son pouvoir d'allumage plus intense que celle qui correspondrait à un simple effet d'addition.

De ces considérations générales, on ne peut déduire aucune donnée concernant une substance particulière. Chacune d'entre elles doit être étudiée ainsi que l'influence de différentes substances les unes sur les autres. C'est ainsi que les mélanges de pyrocatechine et d'aniline appariés à l'acide nitrique donnent de meilleurs résultats que ces substances isolées. Les combustibles d'addition peuvent également influencer considérablement l'allumage.

#### 2. Catalyseurs.

*Contrairement à l'acide nitrique, le perhydrol nécessite l'emploi de catalyseurs*, tels que des combinaisons du vanadium, du cuivre et du fer. Ces catalyseurs ne peuvent être ajoutés qu'aux combustibles. Ce sont des sels minéraux ou organiques. C'est ainsi qu'avec l'hydrate d'hydrazine, combustible apparié au perhydrol concentré, on emploie, comme catalyseur, du cuprocyanure de potassium. Parmi les sels organiques, les sels de certains acides sulfoniques présentent l'avantage d'être solubles dans les combustibles, de n'être par corrosifs et d'avoir une grande efficacité catalytique.

#### Caractéristiques des hypergols.

L'emploi des hypergols fait apparaître, dans la mesure où interviennent initiateurs et catalyseurs, une caractéristique importante : le retard à l'allumage. Il est indispensable que ce retard à l'allumage soit aussi faible que possible : un retard d'un dixième de seconde n'est pas acceptable. Il est par conséquent nécessaire de mettre au point des méthodes de détermination de ce retard à l'allumage.

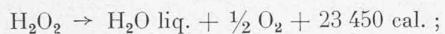
Une particularité des combustibles pour hypergols réside, en outre, dans le fait qu'ils sont constitués par des mélanges de corps. On est ainsi conduit à l'étude des variations de certaines de leurs caractéristiques en fonction de la nature et des teneurs relatives de ces mélanges. Ces caractéristiques seront, par exemple : l'affinité de réaction<sup>1</sup> du mélange combustible avec le comburant ; le point de froid ou température minima du mélange comburant-combustible compatible avec des valeurs acceptables des autres caractéristiques ; les viscosités qui doivent rester comprises entre certaines limites et varier parallèlement, en fonction de la température, pour le comburant et le combustible, etc.

#### Hypergols à perhydrol.

L'intérêt de l'emploi du perhydrol soit comme cétrogol, soit comme comburant de monergol ou d'hypergol, provient

<sup>1</sup> Cette affinité de réaction n'a aucun rapport avec l'affinité thermochimique ; elle sera définie, par exemple, pour un hypergol à acide nitrique, par la plus faible concentration de cet acide permettant d'obtenir, avec un combustible hypergolique, un retard à l'allumage acceptable et défini.

de sa dissociation exothermique<sup>1</sup>. Le perhydrol est, en effet, de l'eau oxygénée à haute concentration. La dissociation de l'eau oxygénée pure se fait suivant la réaction :



soit une libération d'énergie de 690 kilocalories par kilogramme.

C'est cette libération considérable d'énergie qui fait du perhydrol un comburant intéressant (bien qu'il ne contienne que 47 % d'oxygène comburant) et qui permet de le classer au même niveau que d'autres oxydants plus riches en oxygène comburant, tel que l'acide nitrique qui en contient 63,5 %.

Dans les propergols, on utilise des solutions de perhydrol à 80-85 % ; leur densité est relativement élevée (1,34 pour une solution à 80 %).

Lorsque la température s'élève, le perhydrol se décompose d'abord lentement et, au-dessus d'une température critique voisine de 140° C, rapidement et complètement.

Le perhydrol concentré a toujours eu la réputation d'être dangereux ; en fait, il a provoqué de nombreux accidents par explosion. Ceci provenait surtout de l'ignorance de ses propriétés et de techniques insuffisantes, principalement en ce qui concerne sa préparation. Le perhydrol doit être, en effet, très pur pour être conservé sans danger. Le perhydrol technique, même distillé sous vide, doit être stabilisé par des substances spéciales telles que le phosphate de soude ou la 8-hydroxyquinaléine.

#### *Catalyseurs de décomposition du perhydrol.*

En introduisant des stabilisateurs dans le perhydrol, on veut éviter sa décomposition spontanée. Lorsqu'on l'emploie dans les autopropulseurs, au contraire, on veut provoquer cette décomposition avec libération d'oxygène et formation de vapeur d'eau. Dans ce but, on fait appel à des catalyseurs de décomposition. On a déjà vu qu'on utilise la décomposition du perhydrol seul comme cétrogol. Les principaux catalyseurs employés sont : la pyrolusite (oxyde de manganèse naturel), des permanganates et des bichromates portés sur des supports poreux, tels que de la porcelaine, des grès, des ciments spéciaux.

Lorsqu'on emploie ces catalyseurs solides, le perhydrol ne doit contenir aucune substance susceptible de les empoisonner ; en particulier, il ne devra pas, pour cette raison, être stabilisé au phosphate de soude.

Outre ces catalyseurs de décomposition, on emploie également des catalyseurs de combustion que l'on ajoute aux combustibles appariés au perhydrol.

#### *Liquides (combustibles ou non) appariés au perhydrol dans les hypergols.*

L'oxygène libéré par la décomposition du perhydrol n'est pas toujours utilisé comme comburant. Dans ce cas, on a des systèmes à perhydrol dits « froids ». Si, au contraire, l'oxygène libéré sert à brûler un combustible, on a des systèmes dits « chauds ».

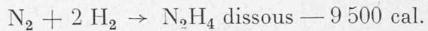
*Solutions permanganiques.* — Lorsqu'on injecte simultanément, dans une chambre de réaction, du perhydrol et une solution concentrée de permanganate, les deux corps réagissent en dégagant de l'oxygène tandis que le manganèse passe à l'état d'un oxyde plus ou moins voisin de MnO<sub>2</sub> qui agit comme catalyseur de décomposition. On a utilisé des solutions très concentrées en ion permanganique, ce qui a fait rejeter le permanganate de potassium peu soluble et uti-

lisé les permanganates de sodium ou de calcium ou leur mélange. Ces solutions ont un poids spécifique élevé (1,5).

Ce système a été employé dans la rampe de lancement du V1 et dans le V2, pour actionner la turbine d'entraînement des pompes à comburant et à combustible.

*Combustibles à base d'hydrate d'hydrazine.* — Dans ces hypergols, la décomposition du perhydrol et la combustion du combustible dans l'oxygène libéré sont quasi simultanées.

L'hydrate d'hydrazine a comme le perhydrol l'avantage d'être endothermique :



Cette quantité de chaleur s'ajoutera donc à la chaleur de combustion de l'hydrogène libéré par la dissociation de l'hydrazine, si on le fait brûler. L'hydrate d'hydrazine, corps couteux, a été remplacé par des combustibles où il est mélangé avec du méthanol, de l'eau et éventuellement du chloroforme, contenant en solution du cuprocyanure de potassium comme catalyseur.

Ces combustibles appariés au perhydrol permettent de réaliser une consommation spécifique de 6 gr par kg × seconde.

Dans tous ces combustibles, on dissout un catalyseur de réaction dont le plus communément employé est le cuprocyanure de potassium (Cu(CN)<sub>4</sub>)K<sub>3</sub>. Malheureusement, l'hydrazine réduit lentement le cuivre à l'état métallique, ce qui fait décroître la teneur du combustible en catalyseur ; il en résulte une augmentation des retards à l'allumage, d'une part, et un dépôt de boues cupriques qui obstruent les canalisations, d'autre part. Ces inconvénients ont conduit à introduire le catalyseur dans le combustible au moment de son emploi. A cet effet, on fait passer le combustible à travers une cartouche de nitrate de cuivre pour atteindre la concentration en cuivre nécessaire pour déclencher la réaction. Le nitrate est réduit, le cuivre est entraîné et, en peu de temps, la cartouche est vidée.

*Combustibles à base de pyrocatéchol.* — Dans ces combustibles, le pyrocatéchol, ainsi que le dibutylnaphtalenesulfonate de fer comme catalyseur, sont dissous dans un solvant tel que le méthanol, le xylol, etc. Ces combustibles sont injectés en même temps que le perhydrol dans la chambre de réaction et sont hypergoliques. Il existe d'autres systèmes où le perhydrol est préalablement décomposé par action d'une solution permanganique ; les gaz de réaction à la température de 450-500° C sont ensuite dirigés vers une chambre de combustion alimentée en combustible ; la température du gaz comburant est suffisante pour provoquer l'allumage sans autre artifice. Dans ce cas, le pyrocatéchol est dissous dans du méthanol, des éthers vinyliques ou des hydrocarbures chlorés.

*Autres combustibles.* — En décomposant le perhydrol préalablement, par passage sur un catalyseur solide, on peut faire brûler du *gas-oil* dans le gaz comburant chaud ainsi engendré.

On a également utilisé la décaline comme combustible ; elle présente l'avantage d'être rigoureusement définie au point de vue chimique, d'avoir un pouvoir calorifique élevé et de donner des gaz de combustion solubles dans l'eau de mer, ce qui est important pour certaines applications marines de l'autopropulsion. Le système perhydrol-décaline n'est pas un hypergol vrai, car il ne peut se produire d'auto-allumage, du moins avec le catalyseur au cuprocyanure de potassium, car il n'est pas soluble dans les hydrocarbures. L'allumage est effectué en injectant simultanément dans la chambre de

<sup>1</sup> Dans ce paragraphe, on examinera les propriétés du perhydrol intéressantes pour son emploi général dans les propergols, en insistant particulièrement sur son emploi dans les hypergols.

combustion un combustible de démarrage à base d'hydrate d'hydrazine chargé en cuivre ou en sel de cuivre comme catalyseur.

#### *Hypergols à acide nitrique.*

L'acide nitrique se décompose facilement sous l'effet de la chaleur, ce qui place au premier plan de ses caractéristiques chimiques son pouvoir oxydant. Si donc on lui oppose, comme substance réductrice, un corps susceptible de brûler dans l'oxygène qu'il libère, il se comporte comme un véritable comburant.

A température relativement basse, l'acide nitrique subit une dissociation réversible avec production de peroxyde d'azote ; à partir de 700° C environ, il se décompose de façon irréversible en donnant naissance à de l'azote, de l'eau et de l'oxygène. Lorsque la température s'élève, tous les oxydes de l'azote sauf le bioxyde NO sont instables. Aux températures réalisées dans une chambre de combustion, seul NO est susceptible d'exister ; en outre, sa formation étant très endothermique, il est produit d'autant plus facilement que la température est plus élevée. Pour éviter cet inconvénient, il faut injecter un excès de combustible dans les points chauds des chambres de combustion.

Un facteur important, qui accroît l'intérêt de l'emploi de l'acide nitrique comme comburant d'autopropulseur, est sa densité élevée (1,51 pour une concentration de 98 %).

On a employé l'acide seul (concentration : 98 %), ou contenant du chlorure ferrique (qui catalyse sa réaction sur les amines aromatiques employées comme initiateurs), ou en mélange avec l'acide sulfurique (10 % d'acide sulfurique) pour diminuer son pouvoir corrosif.

#### *Combustibles appariés à l'acide nitrique dans les hypergols.*

C'est particulièrement pour les hypergols à acide nitrique qu'a été développée la technique des initiateurs. Ces substances ont déjà été passées en revue ; ce sont des corps relativement rares que l'on dissout le plus souvent dans des solvants spéciaux.

*Solvants combustibles des initiateurs.* — Le choix de ces solvants n'est pas seulement imposé par la nécessité d'obtenir d'autant bons délais d'allumage qu'avec les initiateurs seuls, mais aussi par celle d'obtenir des viscosités acceptables et variant peu avec la température. Avec les amines, certains éthers vinyliques dits « Visols » donnent des propriétés particulièrement intéressantes. Ces corps, sans être auto-allumeurs, réduisent les délais d'allumage des amines qui y sont dissoutes. Outre ces éthers, on a employé d'autres solvants tels que le benzol, le xylol, le tétrahydrofurane, etc.

Ces solvants étant assez coûteux, on a essayé de les remplacer par d'autres plus courants, tels que l'éthanol, le méthanol, l'essence, l'huile pour Diesel, mais il est alors nécessaire d'employer des initiateurs particulièrement actifs.

*Combustibles auto-réagissants.* — Ces combustibles, qui sont appariés à l'acide nitrique, sont des mélanges des initiateurs et de leurs solvants. On a mis au point certains d'entre eux qui permettent de réaliser une consommation spécifique totale de 5,2 gr par kg × seconde.

*Combustibles mixtes.* — Pour économiser les précédents combustibles, on les a associés à des combustibles normaux non auto-réagissants ; on n'emploie alors qu'une petite fraction de combustible hypergolique qui assure l'allumage initial au contact de l'acide nitrique, la combustion se poursuivant ensuite avec un combustible ordinaire non auto-réagissant.

#### **Comparaison sommaire des différents types des propergols à deux liquides.**

On aura une idée des qualités relatives de différents propergols à deux liquides en comparant les valeurs de leurs consommations spécifiques et de leurs vitesses d'éjection correspondantes rassemblées dans le tableau I.

TABLEAU I.

Propergols	Observations	$C_s$ g/kg × sec	$w_s = \frac{9810}{C_s}$ m/sec.
Oxygène liquide-hydrogène liquide	Valeurs théoriques	3,5	2 800
Oxygène liquide-méthanol . . . .	Valeurs théoriques	4,3	2 280 2000 réelle (V2)
Acide nitrique - combustible aminé		5,2	1 890
Perhydrol - combustible à base d'hydrate d'hydrazine . . . . .		5,5 à 7	1 785 à 1 400
Protoxyde d'azote liquide-essence . .	Rapport 3/1	9,3	1 560
Perhydrol - solution concentrée de permanganates de sodium et de calcium . . . . .	Rapport 20/1	9,3 à 10	1 055 à 981
Oxygène liquide-méthane liquide .		10	981
Oxygène liquide-essence + eau . .	Rapports 3,5/1/2	12	818

#### **Propergols à un liquide et un solide ou « lithergols ».**

Le solide (combustible) est tout entier en permanence dans la chambre de réaction ; le liquide (comburant) est emmagasiné dans un ou plusieurs réservoirs et injecté dans cette chambre.

On peut apparaître du carbone à l'oxygène liquide ou au protoxyde d'azote liquide. Pour réaliser de tels propulseurs, on peut disposer le charbon dans un manchon cylindrique sous forme de rondelles percées de canaux parallèles à leur axe. Afin d'assurer une propagation radiale de la combustion, on remplit de celluloïd les canaux de combustion, de sorte que toute leur surface est portée instantanément à la température d'inflammation. La longueur du manchon est imposée, pour la vitesse optimale d'écoulement, par la durée de réaction. Il est difficile de réaliser des autopropulseurs à lithergols dont la phase propulsive ait une durée supérieure à 40 sec et dont la force propulsive soit supérieure à 500 kilogrammes.

#### **Propergols solides (autres que les poudres).**

Ce type de propergols correspond à une idée originale, mais ne semble pas avoir été employé même à titre d'essai.

La réaction libératrice d'énergie thermique dite « à la thermite » est la réduction de l'oxyde ferrique par l'aluminium en poudre :



Cette réaction fortement exothermique peut être amorcée par le relai d'allumage classique utilisant la réaction de l'aluminium en poudre sur le bioxyde de baryum :



La chaleur dégagée par la réaction peut servir :  
à vaporiser :  
— de l'eau liquide,

- de l'eau de cristallisation de sels cristallisés (aluns) ; à dissocier :
- des sels dont les produits de dissociation sont entièrement gazeux (carbonate d'ammonium).

Avec ce procédé, il serait possible d'obtenir, au moins théoriquement, des vitesses d'éjection considérables, mais l'alimentation d'une chambre de combustion en produits solides à très haute température est une des premières difficultés auxquelles on se heurte.

#### Conclusion.

On a résumé dans cet article l'état de nos connaissances sur la chimie de l'autopropulsion. De nouveaux horizons se dévoilent au chimiste et les perspectives de travaux qui apparaissent sont diverses et nombreuses.

En particulier, on voit s'ouvrir un chapitre bien mal connu de la chimie organique (pour se limiter à elle). En effet, dans les réactions que le chimiste a l'habitude d'étudier, il s'efforce d'agir en modérateur pour éviter la destruction de la matière réagissante. Ici, au contraire, le but poursuivi est la destruction totale de cette matière avec, comme produits ultimes, le gaz carbonique, l'eau ou leurs produits de dissociation et, éventuellement, l'azote ; c'est donc toute une branche de la chimie organique qui doit être édifiée.

D'autre part, ni la classification, ni les différents types de produits chimiques qui figurent dans cet article n'ont un caractère limitatif. Les comburants, les combustibles, les initiateurs susceptibles d'être utilisés comme constituants de propergols ne doivent pas seulement être choisis en fonction de leurs qualités techniques approximativement définies par la consommation spécifique, mais également en fonction de la possibilité de leur production économique dans le cadre national.

C'est ainsi que des sous-produits de valeur médiocre ou nulle de l'industrie chimique (en particulier de l'industrie organique) pourraient être valorisés s'ils étaient utilisables comme combustibles de propergols ou tout au moins comme constituants de ces combustibles, alors que leur emploi eût été impossible dans des moteurs normaux tels que moteurs à explosion ou moteurs Diesel.

La présence dans ces sous-produits de certains corps réducteurs, ou porteurs de fonctions phénol, amine, ou de composés fortement insaturés, peut constituer, en outre, un facteur avantageux s'ils sont employés comme combustibles hypergoliques.

Les industries chimiques les plus diverses pourraient contribuer, par leurs apports, à la mise au point de véritables « propergols nationaux ».

## SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

### Communiqué du Comité central.

#### Honoraires d'ingénieurs et d'architectes.

A la suite des pourparlers laborieux avec le Contrôle fédéral des prix, de nouvelles prescriptions n° 643 A/47 sur le calcul des honoraires pour les travaux d'ingénieurs civils, mécaniciens, électriciens ainsi que d'architectes sont entrées en vigueur le 19 mai 1947.

Sans renoncer à sa position de principe, selon laquelle une réduction du taux des honoraires du fait de l'augmentation du coût de la construction est injustifiée, la S. I. A. s'est déclarée d'accord avec ce règlement, considérant qu'il réalise le maximum de concessions que l'on peut espérer obtenir du Contrôle fédéral des prix dans la période actuelle. A l'encontre de l'intention du Contrôle fédéral des prix, qui projetait d'aggraver la sévérité des prescriptions jusqu'alors en vigueur, la S. I. A. a pu obtenir une sensible amélioration de ces prescriptions.

Enfin, la S. I. A. n'a donné son accord que sous les réserves suivantes, qui ont été admises par le Contrôle des prix :

1. Le coefficient 1,8 de l'article 2 de l'ordonnance restera en tout cas en vigueur jusqu'au printemps 1948.

2. Le Contrôle fédéral des prix reconnaît officiellement l'adjonction n° 102 a au Tarif d'honoraires pour travaux d'architecture.
3. En cas de doute quant à la possibilité d'application du paragraphe 3 de l'ordonnance n° 634 A/47, concernant les constructions nécessitant des prestations extraordinaires d'ordre architectural ou technique de la part de l'ingénieur ou de l'architecte, le Contrôle fédéral des prix consultera la S.I.A. avant de prendre une décision.

Zurich, mai 1947.

Le Comité central de la S. I. A.

Le président : Le secrétaire central :  
M. KOPP. P.-E. SOUTTER.

### Calcul des honoraires pour les travaux d'ingénieurs civils, mécaniciens et électriciens, et les travaux d'architectes.

(Du 19 mai 1947.)

Prescriptions n° 643 A/47  
de l'Office fédéral du contrôle des prix.

L'Office fédéral du contrôle des prix, vu l'ordonnance 1 du Département fédéral de l'économie publique, du 2 septembre 1939, concernant le coût de la vie et les mesures destinées à protéger le marché, pour remplacer ses prescriptions n° 643 A/43,

prescrit :

1. Les honoraires calculés en pourcentages du coût des constructions avant le 1<sup>er</sup> septembre 1939 peuvent être augmentés de 53 % au maximum.
2. Le coût de la construction divisé par 1,8 est déterminant pour l'établissement des honoraires.
3. Les constructions qui demandent des prestations extraordinaires d'ordre architectural ou technique ne sont point touchées par ces prescriptions.
4. Les taux de vacations effectivement pratiqués avant le 1<sup>er</sup> septembre 1939 peuvent être augmentés de  
40 % au maximum pour les ingénieurs et architectes,  
45 % pour les employés.
5. Les arrangements spéciaux concernant les honoraires, conclus entre les commettants et les ingénieurs ou architectes, doivent être conformes aux principes énoncés sous chiffres 1 à 4 ci-dessus.
6. En cas de doute, on s'adressera par écrit à l'Office fédéral du contrôle des prix.
7. Demeurent réservées, les dispositions des prescriptions n° 747 A/45, du 21 mars 1945, interdisant d'exiger ou d'accepter à l'intérieur du pays pour des marchandises ou prestations quelconques, des prix ou contreprestations qui — compte tenu des prix de revient usuels — procureraient des bénéfices incompatibles avec la situation économique générale.
8. Quiconque contrevient aux présentes prescriptions est passible des sanctions prévues à l'arrêté du Conseil fédéral, du 17 octobre 1944, concernant le droit pénal et la procédure pénale en matière d'économie de guerre.
9. Les présentes prescriptions entrent en vigueur avec effet rétroactif dès le 1<sup>er</sup> janvier 1947. Elles sont applicables à tous les travaux d'ingénieurs et d'architectes exécutés postérieurement à cette date. Simultanément, les prescriptions n° 643 A/43 sont abrogées.

Les faits intervenus avant la publication des présentes prescriptions seront jugés d'après les dispositions précédemment en vigueur.

Montreux-Territet, le 19 mai 1947.

### Echange de stagiaires.

Le nombre de demandes de jeunes collègues étrangers, désireux de faire un stage dans des bureaux suisses d'ingénieurs et d'architectes, augmente rapidement ces derniers temps. Par contre, le nombre de bureaux qui nous ont annoncé leur accord d'engager des stagiaires étrangers est relativement restreint. Nous nous permettons donc d'attirer l'attention de nos collègues sur le communiqué paru dans le *Bulletin technique* du 10 mai à ce sujet.

Bureau S. I. A. de reconstruction  
Tödistrasse 1, Zurich.