**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande
**Band:** 49 (1923)
**Heft:** 18

**Artikel:** Utilisation et avantages des alliages ultra-légers
**Autor:** [s.n.]
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-38248

**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:** 21.01.2026

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

transformer en continu le courant alternatif arrivant à l'usine, le procédé par l'eau résistera aux plus âpres critiques en raison de ses avantages qui sont :

1. Matières premières : de l'eau et un peu de soude.
2. Simplicité d'exploitation (surtout si les électrolyseurs sont alimentés par des convertisseurs à vapeur de mercure).
3. Main-d'œuvre très réduite.
4. Grande pureté des gaz, très importante pour la longévité des catalyseurs.

IV

Voilà donc réalisé le maximum d'indépendance économique qui, dans notre pays, peut assurer à l'exploitation du procédé de l'ammoniaque synthétique une somme d'avantages indiscutables. De vagues divergences au point de vue de l'état de perfectionnement d'un procédé qui fait ses preuves avec plein succès n'arriveront pas à diminuer ces avantages.

L'hydrogène de l'eau, l'azote de l'air (éventuellement emploi ultérieur de l'oxygène provenant de l'une et l'autre sources) fournissent les matières premières pour l'ammoniaque que le procédé Claude livre sous un état physique très intéressant pour les transformations industrielles que l'on peut lui faire subir [1]. En dehors même de l'état-terme du produit livré par le procédé Claude, l'ammoniaque est de toutes les formes véhiculaires de l'azote celle qui permet le plus de transformations pour la grande industrie chimique.

L'acide nitrique et l'ammoniaque sont les deux produits azotés les plus importants au point de vue industriel. Si divers procédés connus permettent d'obtenir avec plus ou moins de facilité un acide nitrique étendu à 36° Bé. qu'il faudra ensuite concentrer à grand renfort d'acide sulfurique, on ne peut pas « rétrograder » de l'acide nitrique à l'ammoniaque.

Par contre on passe aisément de l'ammoniaque à l'acide nitrique et ce d'autant mieux au point de vue prix, que l'ammoniaque est plus pur et plus concentré.

Le procédé Haber et le procédé Casale [2] livrent l'ammoniaque en solution exclusivement pour le premier, gazeux ou en solution pour le second, nécessitant l'un l'évaporation préalable de la solution, avant emploi ultérieur, l'autre le transport sous pression si l'on veut utiliser l'état gazeux, inconvénients que supprime le procédé Claude.

On obtient à partir de l'ammoniaque non seulement l'acide nitrique industriel, mais une suite de produits destinés en grande partie à l'agriculture, tels que le sulfate d'ammoniaque [3] ; le nitrate d'ammoniaque à double azote, nitrique et ammoniacal ; le chlorure d'ammonium, engrais aussi avantageux que le sulfate ; puis l'urée avec ses composés mixtes : phosphurée ou phosphazote, engrais phospho-azotés-potassiques.

L'industrie des colorants de synthèse et des pharmaceutiques, très développée chez nous [4] malgré la concurrence qu'elle rencontre de la part de pays qui étaient avant la guerre ses meilleurs clients, fait une grosse consommation d'acide nitrique et d'acide nitrique concentré.

Notre agriculture offrira de plus en plus un débouché important aux produits azotés. Si l'on compte en moyenne 75 kg. d'engrais azotés par hectare *en plus* de la quantité fournie par les engrais de ferme et les engrais importés actuellement, il faudra, plus vite peut-être que nous ne nous y attendons, combler ce déficit de 73 000 tonnes d'engrais correspondant à la fixation de 8760 tonnes/an d'azote au taux de 12 % d'azote commercial, en moyenne.

A l'heure où beaucoup d'entreprises électro-chimiques cherchent leur chemin de Damas, où nos producteurs d'énergie électrique ont sur les bras le non-utilisé de ces mêmes entreprises, l'ammoniaque à l'hydrogène d'électrolyse et au procédé Claude offre une chance de sortir de l'inaction.

La possibilité de passer à la réalisation de semblables installations mériterait plus qu'une étude superficielle. Nous avons essayé, dans ce court exposé, de mettre en lumière l'importance actuelle de la question de l'azote par l'ammoniaque, question pressante au triple point de vue de notre industrie chimique, de notre agriculture et si le besoin devait un jour s'en faire sentir, de notre défense nationale.

*Appendice. Prix de revient approximatif de la tonne d'$NH^3$ en solution commerciale 22-25° Bé. pour une usine de 5 tonnes/jour d'$NH^3$ gaz.*

Coût de première installation : environ 3240 fr. par tonne/an de capacité de production comptée en solution ammoniacale.

Répartition des frais de première installation :

| | |
|---|---|
| Acquisition de terrains et aménagements de ceux-ci | 1,99 % |
| Bâtiments industriels et autres | 10,40 % |
| Service électrique complet | 26,90 % |
| Atelier d'électrolyseurs | 33,40 % |
| Ateliers d'azote et d'ammoniaque | 19,30 % |
| Gazomètres | 6,25 % |
| Installations diverses, services annexes, etc. | 1,76 % |
| | 100,00 % |

Répartition des frais d'exploitation sur le prix de revient de la tonne d'ammoniaque-gaz :

| | |
|---|---|
| Intérêts, amortissements | 33,1 % |
| Energie électrique | 40,75 % |
| Main-d'œuvre | 21,85 % |
| Matières premières | 4,30 % |
| | 100,00 % |

pour un prix de revient d'environ 120 fr. à 153 fr. par tonne d'ammoniaque en solution.

NB. — Ces chiffres sont donnés à titre documentaire et représentent l'ordre de grandeur des frais de première installation et des prix de revient. Je tiens à remercier sincèrement la S. A. l'*Air liquide*, Paris ; les Etablissements *Philipps et Pain*, Paris ; la S. A. *Brown, Boveri et C°*, bureau de Lausanne ; MM. *Wartmann-Vallette & C^ie*, à Brugg et Genève ; MM. *Bachmann et Kleiner*, à Oerlikon ; M. *F. Couchepin*, ingénieur à Lausanne, pour l'obligeance avec laquelle ils ont bien voulu me donner les renseignements nécessaires à l'établissement de cette étude de prix de premier établissement.

R. J.

[1] Chlorure d'ammonium par précipitations alternées, procédé Schreib.

[2] Le procédé Casale qui possède encore très peu de références industrielles consiste à préparer le mélange $N^2 + 3\,H^2$ par combustion de l'air dans une atmosphère d'hydrogène ; il livre l'ammoniaque en solution, sauf compression et mise en bouteilles. Une installation Casale est en montage dans une de nos usines électrochimiques.

[3] Auquel on peut passer par le sulfate de calcium (gypse) et l'acide carbonique sans avoir recours à l'acide sulfurique.

[4] La Suisse venait en 1914 immédiatement après l'Allemagne avec 6,14 % de la production mondiale. (Allemagne 82,9 %.) Actuellement, cette proportion a rétrogradé à 5,23 %. (Allemagne 62,49 % ; Etats-Unis 11,78 % ; Grande-Bretagne 10,90 % ; France 7,85 % ; Divers 1,75 %.)

## Utilisation et avantages des alliages ultra-légers.

Dans les numéros du 10 décembre 1921 et du 24 juin 1922, nous avons signalé les remarquables recherches entreprises par M. *de Fleury* en vue de fixer les conditions d'emploi le plus avantageux des métaux ultra-légers dans la construction [1]. De son côté, M. *A. Portevin* a apporté une brillante contribution à ces études par des recherches dont il a présenté récemment les résultats à la *Société des ingénieurs civils de France* et que nous résumons d'après les *procès-verbaux* de cette Société et une notice parue dans la *Revue de Métallurgie* de juin dernier.

Après avoir rendu hommage aux travaux de M. de Fleury, M. Portevin dit : « Mais nous pouvons serrer le problème de plus près dans cette voie de l'allégement en envisageant le cas général de la substitution, à un métal ou alliage de densité $D$, de limite élastique $E$ et de module élastique $M$, d'un autre métal de densité $D'$, de limite élastique $E'$ et de module $M'$.

[1] Le magnésium n'est produit industriellement que par la Société d'Electrochimie et d'Electrométallurgie, en France, la Magnesium C° Ltd., en Angleterre, la Chemische Fabrik Griesheim Elektron, en Allemagne.

Considérons, par exemple, le cas simple de poutres de même portée, de sections géométriquement semblables, soumises à une même surcharge $P$, la charge propre ou poids de la poutre étant d'abord considérée comme négligeable, on trouve, tous calculs faits qu'il y a gain de poids :

1° En supposant les fatigues limitées par les seules limites élastiques, si le *cube du rapport des densités est supérieur ou égal au carré du rapport des limites élastiques.*

$$\left(\frac{D}{D'}\right)^3 \geqq \left(\frac{E}{E'}\right)^2$$

2° En supposant les fatigues limitées par les modules seuls, si *le carré du rapport des densités est supérieur ou égal au rapport des modules élastiques.*

$$\left(\frac{D}{D'}\right)^2 \geqq \frac{M}{M'}$$

De sorte que, pour les alliages ultra-légers, dont la densité est le *quart* de celle des aciers, il suffit, pour qu'il y ait allégement, que leurs limites élastiques soient supérieures au *huitième* de celle des aciers et leurs modules supérieurs au *seizième* de celui des aciers.

Ceci met en évidence, non seulement la supériorité énorme des alliages ultra-légers, mais encore les deux considérations primordiales suivantes :

1° Rôle prépondérant de la densité :

2° Rôle limitatif des modules : pour qu'il y ait sécurité égale par rapport aux limites élastiques et aux modules, il faut que le cube du rapport des modules soit égal à la quatrième puissance du rapport des limites élastiques.

L'avantage des alliages ultra-légers devient encore plus considérable lorsque les charges propres, c'est-à-dire le poids des organes, interviennent dans la fatigue locale.

On déduit également de ces règles les conditions nécessaires pour que l'incorporation, sous forme d'alliage, d'un métal au magnésium permette de réaliser un allégement supplémentaire dans les constructions.

Cette condition d'allégement est, d'après les résultats expérimentaux trouvés, réalisée, quant à la limite élastique, par l'addition d'aluminium, de zinc ou de cuivre, mais non de cadmium.

L'amélioration des modules est un problème beaucoup plus difficile que celui de l'amélioration des autres caractéristiques mécaniques : résistance, limite élastique et dureté.

Dans les métaux purs, le module apparaît comme fonction de la dispersion atomique exprimée par le volume atomique V (quotient du poids atomique par la densité. D'après *Fessenden* cette fonction serait exprimée pour le module de Young par

$$M = \frac{7.8 \times 10^5}{V^2} \text{ kg/mm}^2$$

et pour le module de Coulomb par

$$C = \frac{2.8 \times 10^5}{V^2} \text{ kg/mm}^2.$$

En se basant, notamment, sur des résultats inédits obtenus dans des études poursuivies par l'auteur avec M. Chenevard on peut prévoir que la variation du module élastique des alliages binaires, en fonction de la concentration, semble devoir ne pas s'écarter notablement de la loi linéaire ; le module est, par ailleurs, à peu près indépendant des modifications structurales, ainsi que l'auteur l'a déjà montré. Par contre, les autres propriétés mécaniques, résistance, limite élastique et dureté, peuvent être considérablement influencées par la constitution chimique et la structure, de sorte qu'il est relativement facile d'obtenir pour ces trois dernières caractéristiques, des accroissements dépassant nettement ceux calculés par application de la règle des mélanges. On peut donc satisfaire à la condition d'allégement, en ce qui a trait à la limite élastique.

Par contre, on ne peut guère espérer accroître le module des métaux légers que par incorporation, en proportion suffisante, de métaux à module élevé. Or, les valeurs élevées des modules actuellement déterminés appartiennent toutes à des métaux denses, de sorte que la condition primordiale de la faible densité nous apparaît inversement comme limitative du module.

Les considérations exposées permettent de prévoir que le *glucinium*, métal dont les propriétés mécaniques sont actuellement inconnues, doit posséder, en raison de son très faible volume atomique [1] et de sa haute température de fusion, un module élastique et une résistance considérables, tout en n'ayant qu'une densité à peu près égale à celle du magnésium. Il apparaîtrait donc comme singulièrement intéressant comme métal d'addition vis-à-vis du magnésium.

En résumé, on arrive aux conclusions suivantes :

1° Les alliages ultra-légers, avec les caractéristiques mécaniques atteintes actuellement, présentent un avantage considérable au point de vue de l'allégement des constructions ;

2° Il est illusoire de chercher à accroître les résistances et les limites élastiques de ces alliages, tant que l'on n'augmentera pas les modules dans les proportions qui viennent d'être définies ;

3° Les possibilités d'accroître suffisamment les modules des alliages ultra-légers paraissent des plus restreintes.

Le magnésium et les alliages ultra-légers doivent donc prendre, dans les constructions allégées, la place qui leur revient d'autant plus qu'il est montré, par une série de pièces fabriquées avec ces alliages, qu'ils sont susceptibles d'être laminés filés, étirés, moulés, forgés, estampés, soudés par voie autogène, et qu'enfin ils se travaillent à l'outil très facilement.

Dans le domaine de l'allégement des constructions et des organes de machines, les alliages ultra-légers apparaissent comme appelés à jouer vis-à-vis des alliages légers, le même rôle que celui rempli par les aciers spéciaux par rapport aux aciers ordinaires, dans le domaine des hautes caractéristiques mécaniques.

L'utilisation de ces alliages en pièces minces ou grêles serait un non-sens et une grave erreur, lorsque les propriétés mécaniques entrent en jeu et il faut alors adopter, pour les organes et les constructions, des conceptions entièrement nouvelles et appropriées à ces nouveaux produits, telles qu'elles découlent des recherches de M. de Fleury.

---

## BIBLIOGRAPHIE

**Notes du Cours de résistance des matériaux et de statique graphique professé à l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne,** par M. *Maurice Paschoud*, Dr ès sciences.

Bien que cet ouvrage ne soit pas en vente en librairie, nous nous faisons un devoir d'en signaler l'apparition, non seulement à cause de sa valeur scientifique, mais parce qu'il rompt avec une tradition chère à de trop nombreux maîtres qui infligent à leurs élèves la rebutante corvée d'écrire sous leur dictée.

Alléger la besogne matérielle des étudiants au profit de leur

[1] Ce volume atomique est égal à 5, le poids atomique étant 9,1 et la densité 1,8 de sorte que d'après la formule de Fessenden le module de Young serait de l'ordre de 30000 kg/mm².