**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens

**Herausgeber:** Association suisse des électriciens

**Band:** 27 (1936)

**Heft:** 25

**Artikel:** Aluminium : fabrication - les usines de Chippis - applications dans l'électrotechnique

**Autor:** Preiswerk, M.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-1057553

**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:** 22.08.2025

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

# Aluminium.

## Fabrication. Les usines de Chippis. Applications dans l'électrotechnique.

Par *M. Preiswerk*, Neuhausen.

669.71(494)

*Le programme des assemblées générales de l'ASE et de l'UCS à Zermatt en 1935 prévoyait, en cas de mauvais temps, une conférence sur l'aluminium. Ce sujet était indiqué, d'une part pour donner un aperçu préliminaire aux participants à l'excursion du 9 septembre aux Usines de Chippis (voir Bull. ASE 1935, No. 26, page 764), d'autre part, parce que l'assemblée s'était réunie dans le canton du Valais, où se trouve, à Chippis, la plus importante entreprise suisse de production et d'usinage d'aluminium.*

*L'assemblée ayant été favorisée par le beau temps, comme les participants en auront gardé l'heureux souvenir, on renonça à la conférence de Monsieur Preiswerk, ingénieur en chef, pour profiter de la belle nature. Nous sommes très heureux de pouvoir publier après coup pour nos lecteurs les passages les plus intéressants de la conférence projetée. En effet, nous pouvons être fiers en Suisse de prétendre que l'industrie de l'aluminium, actuellement une des plus importantes industries du monde, doit une bonne part de l'essor qu'elle a pris à l'initiative d'une Société suisse très entreprenante: la S. A. pour l'Industrie de l'Aluminium, à Neuhausen.*

*L'article ci-dessous traite de la fabrication de l'aluminium, des installations électriques des Usines de Chippis et des applications de l'aluminium dans l'électrotechnique.*

*(La Rédaction.)*

*An den Jahresversammlungen 1935 des SEV und des VSE in Zermatt war vorgesehen, bei schlechtem Wetter einen Vortrag über Aluminium halten zu lassen, einerseits als Vorbereitung auf die Exkursion vom 9. September in die Aluminiumwerke Chippis (siehe Bull. SEV 1935, Nr. 26, S. 764), anderseits, weil die Tagung im Kanton Wallis stattfand, wo sich, in Chippis, das grösste Aluminiumerzeugungs- und -verarbeitungswerk der Schweiz befindet.*

*Da die erwähnte Jahresversammlung, wie sich die Teilnehmer wohl mit grosser Befriedidung erinnern werden, von chönstem Wetter begünstigt war, musste zugunsten der herrlichsten Naturgenüsse auf den Vortrag von Herrn Oberingenieur Preiswerk verzichtet werden. Es freut uns aber ausserordentlich, dass wir nun nachträglich das wesentlichste daraus hier veröffentlichen und damit unsern Mitgliedern doch noch zugänglich machen können, dürfen wir Schweizer doch stolz darauf sein, dass die zu gewaltiger Weltgeltung gelangte Aluminiumindustrie ihren Aufschwung zum guten Teil der grosszügigen Tätigkeit einer wagemutigen schweizerischen Firma, der Aluminium-Industrie A.-G., Neuhausen, verdankt.*

*Im folgenden wird über die Gewinnung des Aluminiums, die elektrischen Anlagen des Werkes Chippis und die Verwertung des Aluminiums in der Elektrotechnik berichtet.*

*(Die Redaktion.)*

Pour leur production d'aluminium, les Usines de Chippis atteignent à elles seules une capacité de consommation annuelle de plus de 500 millions de kWh, soit le huitième environ de la somme d'énergie absorbée en Suisse, estimée à env. 4 milliards de kWh. Depuis la crise, cette capacité de consommation est malheureusement réduite. La majeure partie de l'énergie absorbée est produite par ses propres centrales hydro-électriques. En électrotechnique, il est incontestable que l'aluminium joue sans cesse un rôle plus considérable, car il possède, après le cuivre, la meilleure conductibilité de tous les métaux utilisables en technique, et il est employé avec succès dans nombre de machines et appareils. En économie nationale, l'aluminium est le seul métal produit en Suisse pour la consommation indigène et pour l'exportation, de sorte qu'il influe favorablement sur notre balance commerciale.

### 1° Fabrication de l'aluminium.

L'aluminium est un métal brillant, blanc-argent, caractérisé par sa faible densité, ses hautes conductibilités électrique et thermique et sa résistance aux agents chimiques.

L'aluminium tire son nom de la pierre d'alun, en latin «alumen», sel déjà connu dans l'antiquité et dans lequel on trouva d'abord une substance minérale: l'alun ou alumine. Le métal contenu dans l'alumine sous forme d'oxyde prit le nom d'aluminium avant même qu'il ait été possible de l'isoler de l'alumine.

L'aluminium est le métal le plus répandu dans la terre. Il constitue environ le 7,3 % de l'écorce terrestre prospectée. Cependant, l'aluminium ne s'y trouve pas à l'état métallique, mais sous forme de combinaisons, le plus souvent avec l'oxygène et le silicium. Le seul minerai utilisé actuellement pour la production de l'aluminium est la bauxite, qui tire son nom des Baux (Midi de la France), où furent découverts les premiers gisements. La bauxite est un produit de désagrégation des roches primitives sous l'action de conditions climatériques déterminées. Ses principaux gisements se trouvent dans le Midi de la France, en Dalmatie, en Hongrie, en Russie, dans les Indes Britanniques, dans l'Arkansas et en Guyanne. On distingue deux sortes de bauxite: la bauxite rouge et la bauxite blanche. La bauxite rouge, dont la teneur en alumine (oxyde d'aluminium) atteint 55 à 65 %, est la seule qui puisse être utilisée pour la fabrication de l'aluminium.

L'extraction de l'aluminium de ses combinaisons présente des difficultés bien plus considérables que celles que connaît l'extraction des métaux lourds usuels de leurs minerais. Tandis qu'il suffit par exemple de chauffer les minerais de fer ou de cuivre en présence de charbon, la fabrication de l'aluminium doit recourir aux procédés de réduction les plus actifs, en premier lieu à l'énergie électrique.

Il y a plus de cent ans (1825/27), le chimiste danois Oerstedt et le savant allemand Friedr. Wöhler réussirent à isoler l'aluminium sous sa forme métallique en réduisant le chlorure d'aluminium par le potassium. Au début du XIX^e^ siècle, l'anglais Davy avait déjà tenté d'extraire l'aluminium de l'alumine après avoir reconnu que cette dernière n'est autre chose que de l'oxyde d'aluminium. Entre autres, il tenta également de décomposer l'oxyde d'aluminium au moyen du courant électrique en soumettant de l'alumine en fusion à l'action d'une forte pile voltaïque. Ces efforts ne devaient cependant pas encore connaître le succès. En 1854

seulement, le chimiste allemand Bunsen parvint à isoler l'aluminium par électrolyse en substituant à l'alumine en fusion un bain de chlorures d'aluminium et de sodium fondus.

Le Français Sainte Claire Deville fut le premier à reconnaître l'importance industrielle de l'aluminium et s'efforça de découvrir un procédé de fabrication industrielle d'après le système Wöhler (1854).

Après la découverte de la dynamo (1872), le procédé d'extraction de l'aluminium par électrolyse, déjà à la base des expérience de Deville et Bunsen, fut développé et pratiquement mis au point vers 1880, simultanément et indépendamment par le Français Paul Héroult en Europe et par le chimiste

Fig. 1.
Histoire de la métallurgie de l'aluminium.

Hall en Amérique. La réalisation pratique de la production d'aluminium par électrolyse permit de fabriquer ce métal en plus grandes quantités et à meilleur prix. Déjà alors, le prix du kilo d'aluminium, estimé au début à fr. 3000.—, fléchit jusqu'à fr. 4.— à 5.—. Actuellement, le prix du kg d'aluminium n'atteint guère plus de fr. 2.—.

A cette époque, les Fils J. G. Neher, qui exploitaient depuis 1810 des forges installées au pied de la Chute du Rhin, se voyaient contraints par la concurrence étrangère de trouver à leurs forces hydrauliques une autre utilisation rationnelle. Leur attention ayant été retenue par le brevet d'Héroult, ils conclurent en 1887 une convention pour l'exploitation industrielle de son invention. La même année, cette convention donna naissance à la Société Métallurgique Suisse, transformée plus tard en Société Anonyme pour l'Industrie de l'Aluminium à Neuhausen (AIAG). Ainsi Neuhausen devint le berceau de l'industrie européenne de l'aluminium.

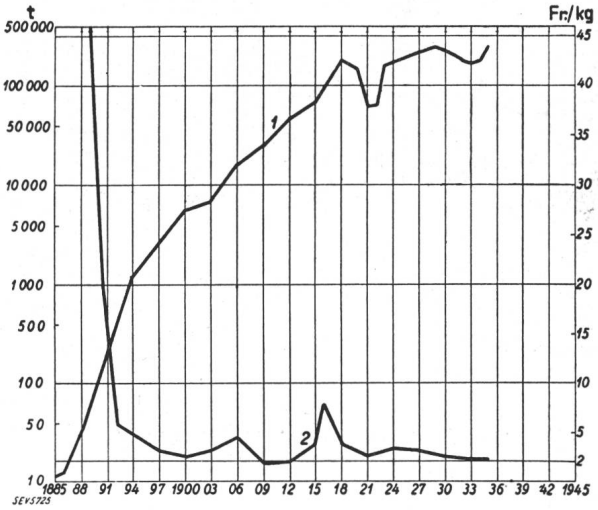


Fig. 2.
Diagrammes comparés de la production mondiale de l'aluminium (*1*) (en tonnes) et de son prix (2) (en fr./kg) de 1885 à 1935.

Sous l'énergique direction de Martin Schindler, qui assuma pendant longtemps les charges de directeur général de la Société, la jeune entreprise prit un essor et une extension rapides. En 1897, la seconde usine de la Société fut créée à Rheinfelden (Bade) et, de 1898 à 1901, une troisième usine fut construite à Lend (Autriche). Dès 1905 fut entreprise la construction des Usines de Chippis (Valais),

Fig. 3.
Martin Schindler, fondateur et directeur général de la S. A. pour l'Industrie de l'Aluminium, Neuhausen, 1888 à 1920.

la plus importante des 4, dont les extensions successives s'échelonnèrent jusqu'en 1928. Exclusivement pour leur production d'aluminium, les Usines de Chippis utilisent les forces hydrauliques du Rhône, de la Navizance, de la Borgne, du lac de l'Illsee et de la Tourtemagne, aménagées en 5 cen-

trales électriques. En outre, la Société suisse est intéressée à l'exploitation d'une fabrique d'aluminium à Porto-Marghera, près de Venise (Italie), dont les forces motrices sont situées dans les Dolomites; de même, elle est co-propriétaire d'une petite entre-

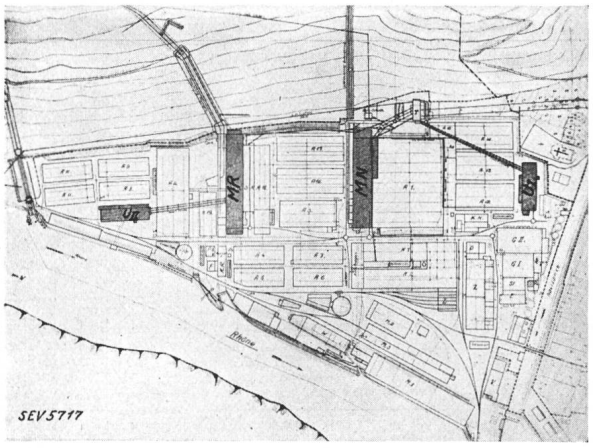


Fig. 4.
**Plan de situation des Usines de Chippis.**
*M R* centrale du Rhône.
*M N* centrale de la Navizance.
*U I* et *U II* sous-stations I et II.

prise espagnole. Pour assurer son alimentation en matières premières, elle prit dès l'origine diverses participations: exploitation de gisements de bauxite et de fabriques françaises d'alumine; plus tard, gisements de bauxite en Roumanie et fabrique d'alumine en Allemagne.

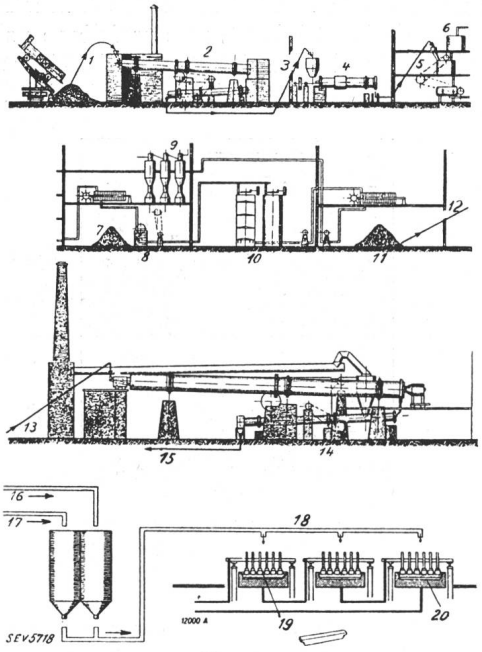


Fig. 5.
**Schéma des opérations successives pour l'extraction de l'aluminium.**
*1* Bauxite concassée. *2* Calcination de la bauxite. *3* Bauxite calcinée. *4* Mouture de la bauxite. *5* Bauxite moulue. *6* Autoclaves (désagrégation). *7* Boue rouge. *8* Filtres-presses pour boue rouge. *9* Evaporateurs. *10* Mouture finale. *11* Filtres-presses pour alumine. *12, 13* Hydrate d'alumine. *14* Calcination de l'alumine. *15* Expédition de l'alumine calcinée. *16* Alumine. *17* Cryolithe. *18* Cryolithe et alumine. *19* Bain de cryolithe-alumine en fusion. *20* Aluminium.

La fabrication actuelle de l'aluminium à partir de la bauxite se fait en 2 étapes distinctes: La première opération consiste à transformer la bauxite rouge en alumine, oxyde d'aluminium chimiquement pur, poudre blanche comme neige. La seconde comprend la réduction par électrolyse de l'alumine en aluminium. Tandis que la fabrication de l'alumine s'installe généralement à proximité des gisements de bauxite ou de charbon, afin d'éviter des frais de transport inutiles, les fabriques d'aluminium se fixent là où elles peuvent disposer d'énergie électrique à des conditions avantageuses. En Suisse, on ne trouve ni gisements de bauxite, ni mines de charbon. Par contre, nous possédons des fleuves et des torrents, sources d'énergie électrique qui permettent une fabrication rentable de l'aluminium.

La fabrication actuelle de l'alumine s'opère généralement par le procédé Bayer. Cela nous mènerait trop loin d'exposer ici ce processus, purement chimique. Disons seulement que l'alumine utilisée pour la préparation de l'aluminium doit être aussi exempte que possible d'impuretés, car la qualité du métal obtenu dépend de celle de l'alumine.

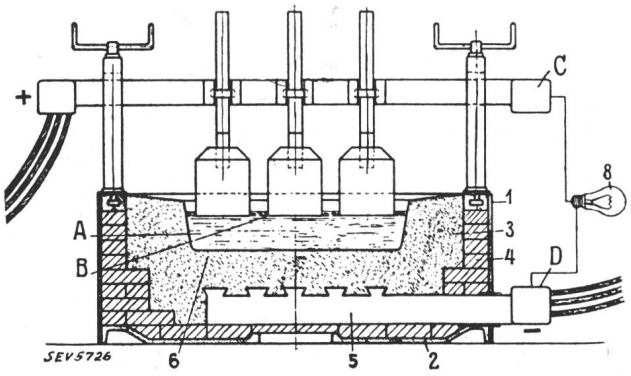


Fig. 6.
**Cuve 8000 A pour électrolyse de l'aluminium.**

*A* Electrolyte.
*B* Anode.
*C* Conducteurs de courant.
*D* Cathode.
*1* Manteau en tôle.
*2* Fond.
*3* Pisé damé.
*4* Revêtement de maçonnerie.
*5* Plaque de fonte (cathode).
*6* Fond du bain électrolytique.
*8* Lampe-contrôle de tension.

L'extraction proprement dite de l'aluminium s'effectue dans des cellules électrolytiques, appelées «cuves», par électrolyse ignée; c'est-à-dire que, sous l'action du courant électrique, l'aluminium se sépare de l'électrolyte, bain en fusion contenant de l'oxyde d'aluminium. De forme ronde ou carrée, les cuves mesurent environ 1 mètre de hauteur. Le type le plus connu se compose d'un manteau en tôle de fer revêtu intérieurement d'une maçonnerie réfractaire et d'un pisé en charbon damé sur une plaque de fonte. Cette plaque est reliée à l'extérieur à plusieurs gros câbles qui assurent la conductibilité électrique entre la garniture de la cuve, servant de cathode, et le pôle négatif de la source de courant. L'anode est constituée par un certain nombre d'électrodes en charbon, réglables et remplaçables, fixées au-dessus de la cuve et plongeant dans l'électrolyte. Ce dernier est constitué par un bain

de cryolithe fondue, dans lequel est dissoute l'alumine à transformer. La chaleur dégagée par le passage du courant électrique maintient le bain à l'état liquide, à une température voisine de 1000° C. Les cuves se trouvent sous une tension d'environ 6 V et, selon leur grandeur, absorbent une intensité allant de 8000 à 40 000 A. Par le passage du courant électrique à travers le bain, l'alumine dissoute est dissociée en aluminium et oxygène. L'aluminium se porte sur l'électrode négative, appelée cathode, et se rassemble sur le fond de la cuve, au-dessous du bain, tandis que l'oxygène libéré va à l'électrode positive, l'anode, où il consume l'électrode de charbon en acide carbonique.

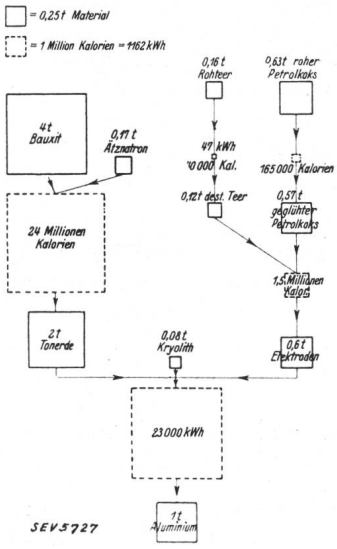


Fig. 7.
Matières premières et énergie électrique nécessaires à la fabrication de l'aluminium.

Sans que l'électrolyse soit interrompue, le métal liquide rassemblé sur la cathode est périodiquement puisé ou coulé, puis moulé en lingots dans des formes en fonte. L'aluminium pur marchand contient 99,0 à 99,5 % d'aluminium; le reste se compose principalement de fer et de silicium. Actuellement, il est d'ailleurs parfaitement possible, en employant de l'alumine et des anodes en charbon d'une grande pureté, d'obtenir par électrolyse du métal titrant plus de 99,9 %.

La préparation de 1 kg d'aluminium nécessite, dans l'ordre des opérations successives:

4 kg de bauxite,
26 000 grandes calories,
0,17 kg de soude caustique,
24 kWh de courant continu,
0,63 kg de coke,
0,16 kg de goudron,
0,08 kg de cryolithe.

De cette façon, on peut produire dans une cuve chargée à 8000 A environ 50 à 60 kg par jour.

L'aluminium brut sortant d'électrolyse est classé selon son titre d'analyse, puis refondu dans des fours à coke ou électriques, et moulé en formes marchandes selon la destination: laminage, tréfilage, étirage, pressage, etc. Soit pur, soit sous forme d'alliages, l'aluminium peut être ensuite usiné en tôles, barres, profils, tubes, fils, feuilles, ou transformé en fonte de moulage.

Il ressort de cet exposé théorique que la préparation de 1 kg d'aluminium absorbe env. 24 kWh de courant continu. On en déduit que la production annuelle des Usines de Chippis, évaluée à 20 000 tonnes (moyenne des années 1926 à 1930), nécessite environ 480 millions de kWh de courant continu. Rapporté à l'unité de poids, aucun autre produit électrochimique ne consomme, de loin, autant d'énergie que l'aluminium.

La condition primordiale pour la fabrication de l'aluminium est donc de disposer d'énergie électrique en quantité suffisante et à des conditions avantageuses. C'est pourquoi l'industrie de l'aluminium a pris pied en Valais, canton si riche en houille blanche.

## 2° Installations électriques des usines de Chippis.

Comme cela a été relevé précédemment, les Usines de Chippis tirent leur énergie de 5 centrales hydro-électriques alimentées par la Navizance, le Rhône, la Borgne et la Dixence, la Tourtemagne et le lac d'Illsee.

Tandis que les centrales de la Navizance et du Rhône sont situées dans l'enceinte même des Usines de Chippis, les 3 autres centrales transmettent leur énergie à Chippis par des lignes de transport.

Captée à Vissoie, dans le Val d'Anniviers, l'eau de la *Navizance* est amenée par une galerie à écoulement libre, puis par 2 conduites forcées sous 567 mètres de chute à la centrale équipée de 15 turbines Pelton. A part 3 petites machines destinées aux services auxiliaires, 1 développe une puissance de 2700 kW et 11 autres 1850 kW chacune. Elles sont accou-

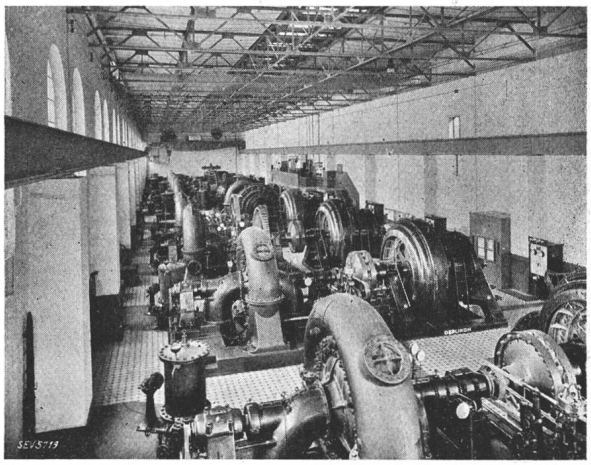

Fig. 8.
Centrale du Rhône: halle de machines.

plées directement à des génératrices à courant continu de 8000 A sous 350 resp. 220 V.

La centrale du *Rhône* est alimentée par l'eau du Rhône dérivée du fleuve à Loèche-La Souste, conduite en partie dans un canal à ciel ouvert, puis en partie dans une galerie jusqu'au château d'eau d'où 2 conduites forcées de 3 mètres de diamètre la mènent sous une chute de 78 mètres à la centrale. Cette dernière comporte 11 turbines Francis, dont 5 ont une puissance de 5500 kW, 4 développent

3000 kW et 2 plus faibles sont affectées aux services auxiliaires. Des 5 turbines 5500 kW, 2 sont accouplées directement à des génératrices triphasées et chacune des 3 autres entraîne 2 génératrices à courant continu. Chacune des 4 turbines 3000 kW actionne directement 1 génératrice à courant continu. Ainsi dans cette centrale, la majeure partie de la puissance disponible est aussi transformée directement en courant continu.

La centrale de *Bramois*, qui utilise les eaux de la Borgne et de la Dixence sous une chute de 366 mètres, compte 4 turbines Pelton avec génératrices triphasées de 6000 kW chacune. Une accumulation a été réalisée au barrage de Luette et au château d'eau et sert de réserve journalière. L'énergie électrique produite à Bramois est conduite à Chippis par une ligne de transport sous 42 kV.

Les installations hydro-électriques les plus récentes, qui datent de 1924 à 1927, sont celles de l'*Illsee-Turtmann*. Les eaux de l'Illsee, lac d'accumulation dont la capacité de retenue est de 5 à 6 millions de m³ et qui sont pompées en majeure partie de Meretschi pour agrandir son bassin de précipitation naturel, ne sont utilisées que pendant l'étiage et pour les pointes. La centrale d'Oberems est

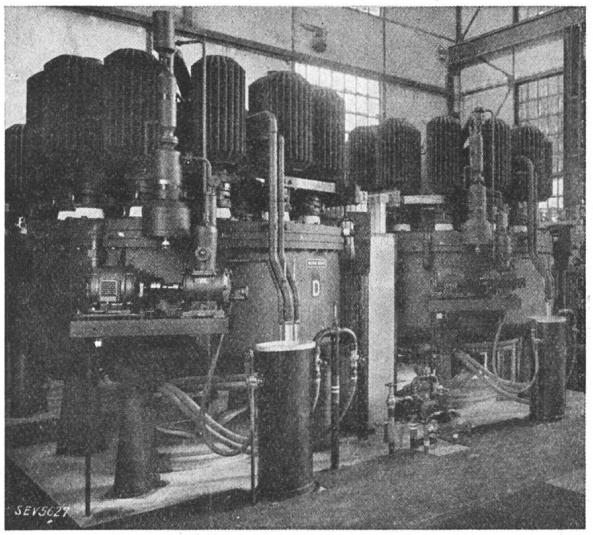

Fig. 9.
Sous-station à mutateurs à vapeur de mercure des Usines de Chippis pour 16 000 à 18 000 A sous 450 V avec réglage automatique à intensité constante par grilles polarisées.

équipée de 2 groupes d'une puissance totale de 8000 kW qui sont alimentés par l'Illsee sous une chute de 985 mètres. L'eau de fuite de cette centrale se mêle à celle de la Tourtemagne captée à la même cote à 3,4 km de là et amenée à Oberems en galerie sous pression. Ces 2 eaux descendent par une chute de 735 mètres sur la centrale de Tourtemagne. Cette centrale dispose de 2 groupes de turbines produisant ensemble 14 000 kW. La liaison électrique entre la station de pompage de Meretschi, la centrale d'Oberems et la centrale de Tourtemagne est effectuée par câbles. L'énergie produite est amenée à Chippis par 2 lignes sous 60 kV courant triphasé.

L'énergie livrée à Chippis y est transformée à 5,5 kV puis amenée dans des sous-stations à moteurs-générateurs ou à mutateurs à vapeur de mercure. Ces sous-stations comportent des moteurs synchrones ou asynchrones accouplés directement à 1 ou 2 génératrices à courant continu. Chacune d'elles produit 8000 à 8500 A sous 200 à 400 V. Pour les intensités plus élevées, plusieurs de ces génératrices sont couplées en parallèle. La sous-station à mutateurs a pour caractéristiques 16 000 à 18 000 A sous 450 V. Elle est équipée de 4 redresseurs de 12 anodes chacun, travaillant en parallèle et réglés automatiquement à intensité constante par des grilles polarisées.

Les fours à aluminium, dont la construction a été décrite précédemment, travaillent sous une tension d'environ 6 V. C'est pourquoi chaque machine alimente un groupe de fours couplés en série et dont le nombre varie de 30 à 70 par série, selon la tension disponible.

En plus de l'énergie consommée par l'électrolyse, une fabrique d'aluminium absorbe une puissance non négligeable pour ses services auxiliaires. Nous ne citerons ici que la fonderie et l'installation électrique pour la calcination du coke. D'autre part, les laminoirs utilisent beaucoup d'énergie pour leurs nombreux moteurs, ainsi que les fours de traitement thermique des alliages.

Cette importante concentration de production et de consommation d'énergie électrique rend naturel un échange d'énergie avec les centrales hydro-électriques environnantes. C'est ainsi que les Usines de Chippis se sont reliées au réseau des Forces Motrices Bernoises (BKW) par une ligne de tranport franchissant la Gemmi. D'autres lignes de raccordement sont également établies avec la Lonza, l'Energie de l'ouest Suisse, la Dixence et la Dala.

### 3° Applications de l'aluminium dans l'électrotechnique.

Les diverses installations de la S. A. pour l'Industrie de l'Aluminium, en particulier les Usines de Chippis, permirent une large utilisation de l'aluminum dans l'aménagement de leurs stations de couplage et de leurs lignes à haute tension. Employé dès la construction des Usines dans les stations de couplage à haute et basse tensions, ce métal a donné les meilleurs résultats. Les conducteurs de la ligne à haute tension Bramois-Chippis sont également en aluminium pur. En 1924, la construction de la ligne de transport Tourtemagne-Chippis fournit l'occasion d'expérimenter pour la première fois l'«Aldrey», alliage d'aluminium spécialement étudié pour la construction de lignes aériennes, offrant une conductibilité très voisine de celle de l'aluminium jointe à une résistance mécanique bien supérieure. Dès lors, les applications de l'aluminium en électrotechnique créèrent d'importants débouchés sur les marchés indigène et étranger. Il est

utilisé sans cesse sur une plus grande échelle, principalement pour la construction de lignes électriques. La Suisse compte déjà un grand nombre de lignes de transport en Aldrey, aluminium-acier ou aluminium pur [1]). Nous ne citerons ici que la

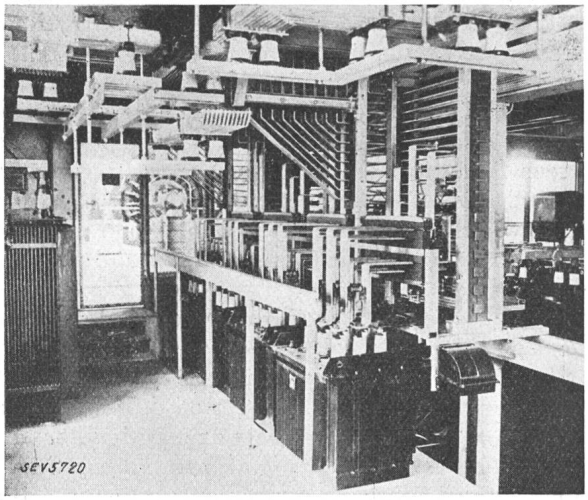


Fig. 10.
Barres de connexions en aluminium d'une station de transformation.

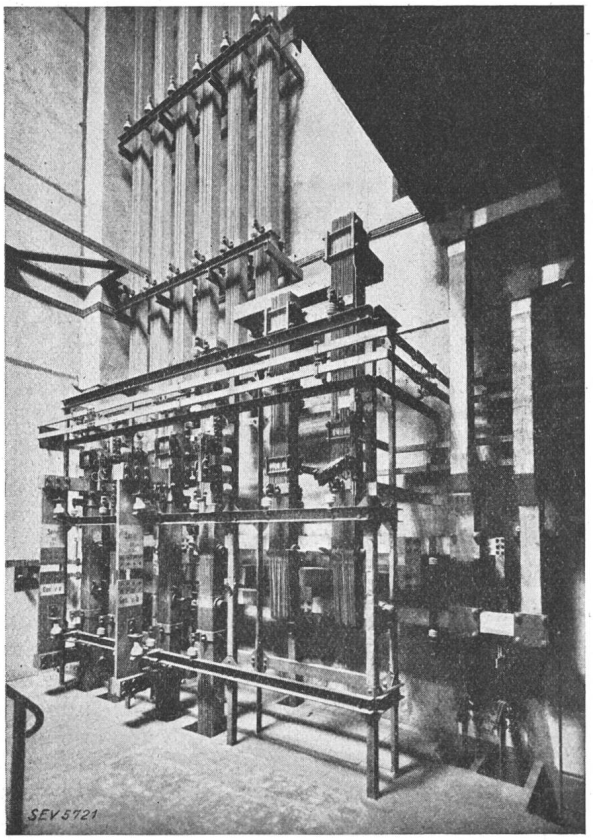


Fig. 11.
Vue partielle d'une station de couplage à haute tension des Usines de Chippis, avec barres en aluminium.

première grande ligne en Aldrey, construite en 1925 par les CFF pour relier Puidoux et Rupperswil sous 132 kV et qui a pleinement répondu à l'attente de ses constructeurs.

Cependant, l'aluminium ne s'est pas limité à jouer en électrotechnique un rôle actif comme conducteur. L'extension récente de ses divers alliages

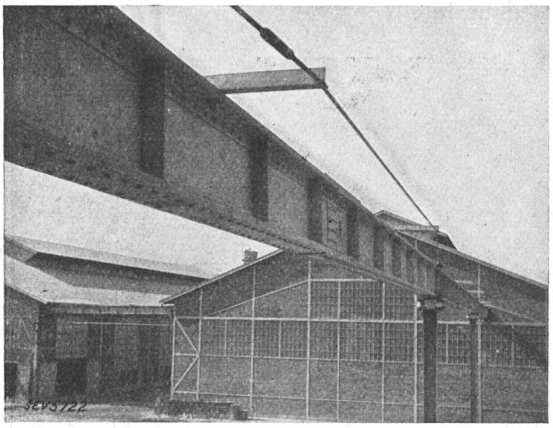

Fig. 12.
Poutrelle en aluminium servant de conducteur pour 18 000 A.

a contribué efficacement à mettre en valeur ses qualités comme matériau de construction mécanique. En Suisse, ces alliages d'aluminium sont ainsi baptisés: Anticorodal, Avional, Aluman, Silumin et Alufont. Les applications de l'aluminium et de ses alliages doivent être appropriées à leurs caractéristiques:

1° Haute conductibilité.
2° Faible densité.
3° Bonnes caractéristiques mécaniques (en particulier des alliages à haute résistance).
4° Alliages de fonderie de coulée facile et à allongement élevé.
5° Facilité d'usinage, pliage et soudage.

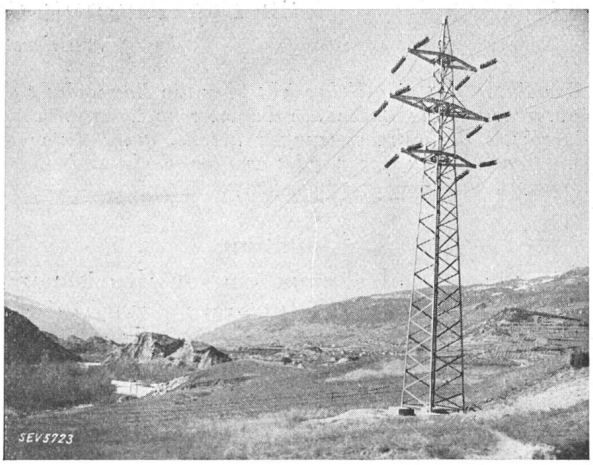


Fig. 13.
Pylône d'amarre de la ligne Tourtemagne-Chippis, la première avec conducteurs en Aldrey.

6° Résistance aux phénomènes de rouille, aux agents chimiques et atmosphériques.
7° Absence de propriétés ferro-magnétiques.
8° Formation de résidus de combustion non-conducteurs.

[1]) Bull. ASE 1934, No. 4, page 99.

Ces propriétés confèrent à l'aluminium un net avantage dans la fabrication de blindages de machines, jougs de porte-balais, cages de moteurs à induit en court-circuit, roues à hélice, carters d'engrenages, couvercles et traverses d'interrupteurs, appareils de radio et de téléphone et dans maint autre domaine.

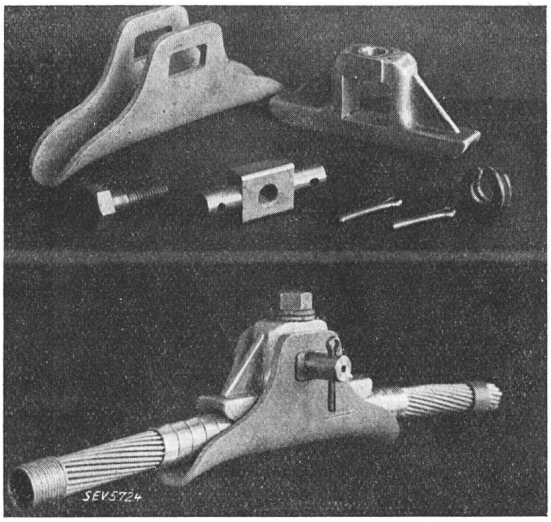


Fig. 14.
Pince de suspension légère et mobile en anticorodal pour lignes aériennes, spécialement pour câbles en aluminium, Aldrey ou aluminium-acier.

Les premières applications de l'aluminium ne donnèrent pas toujours de bons résultats. Les mauvaises expériences étaient presque exclusivement imputables à l'emploi que l'on avait fait de ce nouveau matériau sans tenir compte de ses propriétés particulières: dans des assemblages constructifs conçus pour le cuivre ou le bronze, sans autre, on leur substitua l'aluminium. Signalons par exemple qu'il est important d'éviter dans toutes les installations à air libre, exposées à l'humidité, le contact de l'aluminium et de métaux avec lesquels il se corrode, spécialement le cuivre et les alliages à teneur de cuivre. Presque toutes les traces de corrosion peuvent être attribuées à des attaques électrolytiques entre cuivre et aluminium.

Les fabriques d'aluminium ont à leur service des laboratoires de recherches et d'essais, ainsi que des bureaux d'information qui étudient par tous les moyens la nature de ce métal encore si récent et donnent tous les renseignements utiles, afin de prévenir — dans la mesure du possible — les erreurs, et d'orienter les applications de l'aluminium selon ses propriétés.

Malheureusement, l'utilisation de l'aluminium, le cadet de tous les métaux, ne connaît pas encore en Suisse l'extension qu'elle a prise à l'étranger, en particulier dans les pays pauvres en devises, comme l'Allemagne [2]). Nous ne devons pas ignorer que l'aluminium est le seul métal produit en Suisse, dans la fabrication duquel n'entre qu'un faible pourcentage de matières premières importées, tandis que la majeure partie est tirée du marché et de la main-d'œuvre indigènes. Bien que la Suisse ne recourra pas, comme cela est à espérer, à la prohibition du cuivre ou à d'autres mesures restrictives analogues à celles qui sont décrétées en Allemagne, l'aluminium n'en devrait pas moins jouer un rôle plus important dans notre économie nationale [3]).

[2]) Voir Bull. ASE 1934, No. 14, p. 393.

[3]) L'excursion du 9 septembre 1935 aux Usines de Chippis offrit l'occasion d'assister à la fabrication de tôles, profils, et tubes en alliages d'aluminium et opéra un revirement complet dans l'esprit de nombre de participants pour lesquels l'aluminium n'évoquait encore que l'image d'une casserole cabossée! *(Réd.)*

# Zur Begründung der Operatorenrechnung.

Von *Ernst Völlm*, Zollikon.

517.43

*Der Autor gibt eine Uebersicht über die Begründung der Operatorenrechnung durch die Laplacesche Transformation und arbeitet die Voraussetzungen heraus, unter denen die Operatorenrechnung angewendet werden darf. Auf Einzelheiten wird nicht näher eingegangen.*

*L'auteur donne un aperçu des bases du calcul opératoriel par la transformation de Laplace et déduit les conditions à remplir pour pouvoir appliquer ce mode de calcul, sans entrer dans les détails de la méthode.*

## 1. Einleitung.

Die Operatorenrechnung, ein von Heaviside eingeführtes Verfahren zur Integration von Differentialgleichungen, erfreut sich besonders bei den Elektroingenieuren steigender Beliebtheit. Es existieren bereits einige Lehrbücher über diesen Gegenstand. Wie wertvoll diese von Praktikern verfassten Werke hinsichtlich der gebotenen Anwendungsbeispiele auch sind, so befriedigen sie weder den Ingenieur noch den Mathematiker vollständig.

Heaviside selbst hat die Rechenregeln des nach ihm benannten symbolischen Kalküls zum Teil, von Analogien geleitet, ohne Beweis auf intuitivem Wege gewonnen. Andere Autoren haben die Richtigkeit der Ergebnisse der symbolischen Methode für gewisse Typen von Differentialgleichungen nachgewiesen, indem sie die Uebereinstimmung mit den auf klassischem Wege gewonnenen Lösungen feststellten. Dieses Verfahren ist offenbar unbefriedigend, da es weder neue Ergebnisse noch neue Begründungen bekannter Sätze liefert. Wieder andere, um eine selbständige Begründung bemühte Verfasser beweisen gewisse Sätze und wenden sie dann auf viel allgemeinere Fälle an, die den Voraussetzungen des Satzes nicht genügen.

Einwandfrei begründen und leichtfasslich herleiten lassen sich die bekannten Regeln der Operatorenrechnung, seitdem man weiss, dass sie eng mit der Laplaceschen Transformation zusammenhängt. Der Zweck der folgenden Zeilen ist, die Leser dieser