

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1. Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par [Eclydre](#).
2. Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :
 - la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue (Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - <https://cnum.cnam.fr>)
 - la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.
3. Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :
 - les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
4. Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)
5. L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.
6. Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA GRANDE MONOGRAPHIE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Auteur collectif
Auteur(s)	Auteur collectif
Titre	Conférences du dimanche
Adresse	Paris : Librairie de l'enseignement technique : Cnam, 1920-1926
Collation	23 vol.
Nombre de volumes	23
Sujet(s)	Sciences et industrie
Notice complète	0
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?12KY48_2CC20
LISTE DES VOLUMES	
	Conférence faite le 11 janvier 1920 sur les métallurgies
	Conférence sur l'aviation faite le 18 janvier 1920
	Conférence sur les recherches et les inventions faite le 25 janvier 1920
	Conférence faite le 1er février 1920 sur l'évolution du matériel d'artillerie
	Conférence faite le 15 février 1920 sur les chars d'assaut : historique technique, historique tactique, vues d'avenir
	Conférence faite le 22 février 1920 sur le service géographique de l'armée pendant la guerre
	Conférence faite le 29 février 1920 sur la fabrication des poudres et explosifs
	Conférence faite le 7 mars 1920 sur les radio-éléments et leurs applications
	Conférence faite le 14 mars 1920 sur la chimie de guerre : les gaz de combat
	Conférence faite le 21 mars 1920 sur le rôle du laboratoire d'usine
	Conférence sur les industries chimiques faite le 28 mars 1920
	Conférence faite le 16 janvier 1921 sur l'aide des colonies au relèvement de l'industrie nationale
	Conférence faite le 23 janvier 1921 sur les moteurs à combustion
	Conférence faite le 23 janvier 1921 sur les chemins de fer pendant et après la guerre
	Conférence faite le 30 janvier 1921 sur les richesses de l'Alsace et de la Lorraine
	Conférence faite le 13 février 1921 sur l'utilisation du combustible dans la métallurgie
	Conférence faite le 20 février 1921 sur la Roumanie nouvelle
	Conférence faite le 6 mars 1921 sur les banques d'émission et la guerre
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	Conférence faite le 6 mars 1921 sur l'aluminium : emplois industriels du métal et de ses principaux alliages
	Conférence faite le 20 mars 1921 sur la valorisation du travail humain
	Conférence faite le 19 mars 1922 sur une mission au Canada
	Conférence faite le 2 avril 1922 sur l'état actuel de la télégraphie et de la téléphonie sans fil
	La structure de la matière et l'électricité [14 février 1926]

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Auteur collectif
Titre	Conférences du dimanche
Volume	Conférence faite le 6 mars 1921 sur l'aluminium : emplois industriels du métal et de ses principaux alliages
Adresse	Paris : Librairie de l'enseignement technique Léon Eyrolles, éditeur, 1921
Collection	Conférences faites au Conservatoire national des arts et métiers , Deuxième série, 9 [8]
Collation	1 vol. (86-[1] p.) : ill. ; 18 cm
Nombre de vues	92
Cote	CNAM-BIB 12 Ky 48 (19)
Sujet(s)	Aluminium -- Alliages Aluminium -- Fonderie Aluminium -- Gisements Aluminium -- Industrie et commerce
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	29/10/2026
Date de génération du PDF	29/10/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/09498123X
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?12KY48.19

10-10 10-10 10-10
CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

89
Conférence faite le 6 Mars 1921

SUR

L'ALUMINIUM

(Emplois industriels
du Métal et de ses principaux Alliages)

PAR M. R. GUÉRIN,

Ingénieur, Chef des Laboratoires de « l'Aluminium Français »
Secrétaire de la Commission de l'Aluminium



PARIS

LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

LÉON EYROLLES, Éditeur
3, rue Thénard (V°)

—
1921

TOUS DROITS RÉSERVÉS

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

292, rue Saint-Martin, Paris (3°)

Le Conservatoire National des Arts et Métiers comprend :

1° Un **musée industriel** contenant des collections uniques d'appareils et de modèles dont le nombre s'élève à plus de 15.000 et parmi lesquels se trouvent des objets historiques de la plus haute importance.

2° Un **enseignement public et gratuit** pour l'application des sciences aux arts industriels et ne comprenant pas moins de 23 cours :

Géométrie appliquée aux arts. — Mécanique. — Machines. — Physique appliquée aux arts. — Electricité industrielle. — Métallurgie et travail des métaux. — Chimie générale dans ses rapports avec l'industrie. — Chimie agricole et analyse chimique. — Chimie industrielle. — Chimie appliquée aux industries des matières colorantes. — Chimie appliquée aux industries des chaux et ciments. — Filature et tissage. — Constructions civiles. — Art appliqué aux métiers. — Agriculture. — Économie industrielle et statistique. — Assurance et Prévoyance sociales. — Associations ouvrières. — Hygiène industrielle. — Économie sociale. — Droit commercial. — Géographie commerciale et industrielle. — Économie politique.

En outre, des conférences sur des sujets d'actualité sont faites dans le courant de l'année.

3° Un **enseignement pratique** donné dans la journée et qui constitue une préparation directe à l'industrie.

Cet enseignement porte actuellement sur les machines, la métallurgie, la mécanique, la physique, l'électricité industrielle, la filature et le tissage.

4° Une **bibliothèque** contenant une riche collection d'ouvrages relatifs aux sciences, aux arts, à l'agriculture et à l'industrie et renfermant environ 53.000 volumes ou cartes. C'est un centre de documentation pour les industriels, les commerçants, les ouvriers ; les étudiants, les élèves des grandes Écoles y trouveront aussi les ouvrages utiles à leurs études.

5° Un **laboratoire d'essais industriels** dont le but est de permettre aux Services de l'État, aux industriels, commerçants et particuliers, de soumettre les produits bruts ou manufacturés de toute nature, les machines et les appareils, aux essais mécaniques, physiques, chimiques ou aux essais de machines susceptibles de les qualifier.

6° Un **musée de prévention des accidents du travail et d'hygiène industrielle** qui constitue une exposition permanente des appareils protecteurs et des dispositifs de sécurité et d'hygiène industrielle les plus pratiques et les plus perfectionnés.

7° Enfin un **laboratoire de recherches sur le travail professionnel** qui poursuit l'application, au monde économique, des méthodes de discipline et d'ordre de l'activité humaine. Le but à atteindre est le rendement social maximum ; les moyens sont dans l'organisation de l'outillage et de la main-d'œuvre, et, avant tout, de l'apprentissage.

11. 1. 1919

L'ALUMINIUM

(Emplois industriels du Métal et de ses principaux Alliages)



Conférence faite le 6 Mars 1921

SUR

L'ALUMINIUM

(Emplois industriels
du Métal et de ses principaux Alliages)

PAR M. R. GUÉRIN,

Ingénieur, Chef des Laboratoires de « l'Aluminium Français »
Secrétaire de la Commission de l'Aluminium



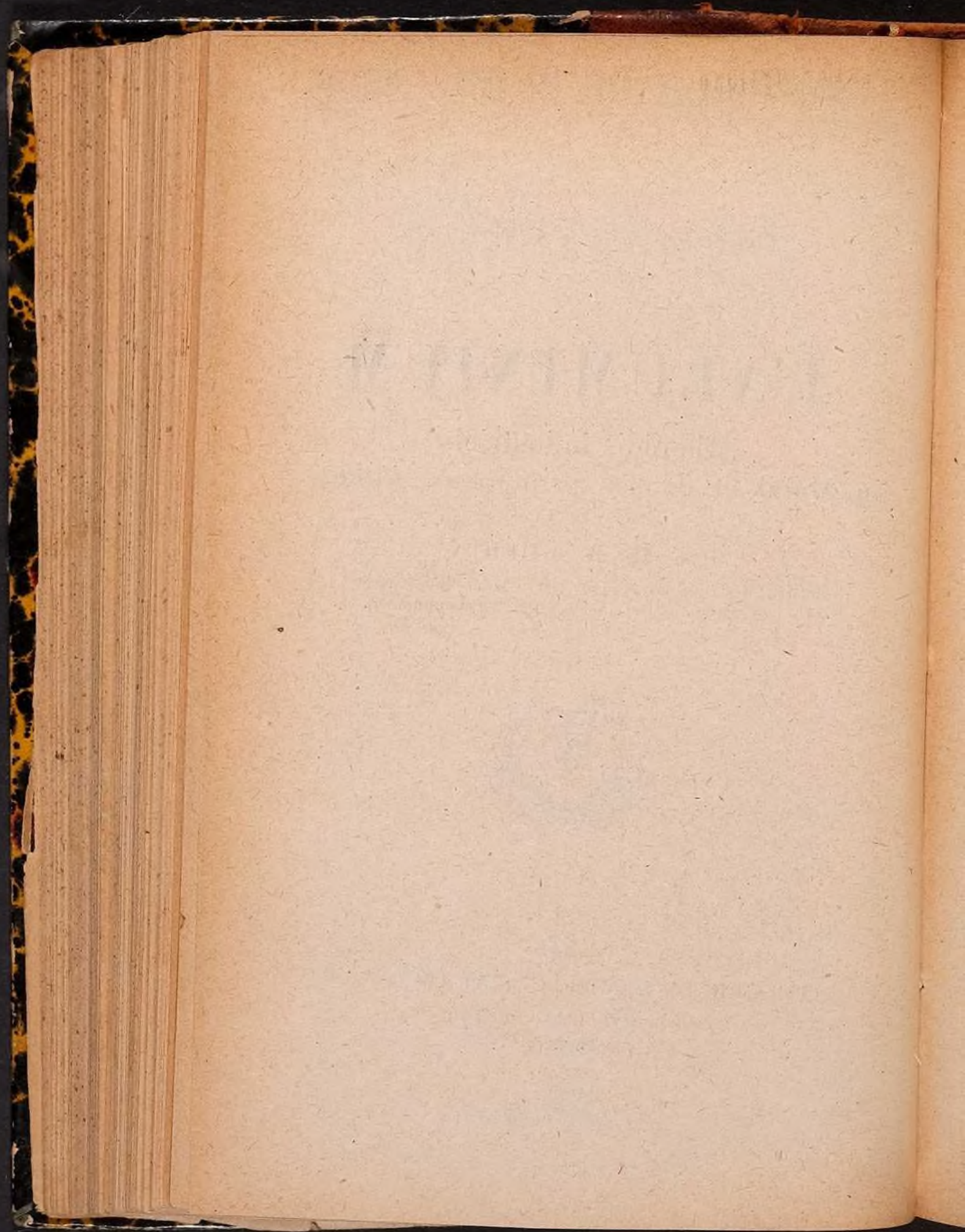
PARIS

LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

LÉON EYROLLES, Éditeur
3, rue Thénard (V°)

1921

TOUS DROITS RÉSERVÉS



MESDAMES, MESSIEURS,

La Conférence que je vais avoir l'honneur de vous faire porte sur un sujet qui n'est pas entièrement nouveau. On a déjà beaucoup dit et beaucoup écrit sur l'Aluminium : toutefois, ce métal qui n'était encore qu'une curiosité il y a peu d'années, a pris un tel développement dans ses applications, que la Direction du Conservatoire des Arts et Métiers a pensé qu'il y avait un intérêt général à inscrire, au nombre des Conférences intéressant les grands problèmes de notre activité industrielle, une causerie sur l'état actuel de nos connaissances sur ce métal, sur les nombreuses applications qu'il a déjà reçues, et susceptible d'en suggérer de nouvelles aux personnes qui ont bien voulu me faire l'honneur de venir m'écouter.

Je vais m'efforcer de vous faire entrevoir l'horizon des emplois nouveaux d'un métal que (toute autre considération étant mise à part) l'intérêt national nous conseille d'utiliser, la nature ayant généreusement doté notre sol des plus beaux gisements de minerais d'aluminium que l'on connaisse actuellement. Je m'efforcerai également de vous convaincre que, dans beaucoup des cas où l'on emploie le cuivre, métal importé, on peut lui substituer l'aluminium, métal na-

tional. Ma tâche sera aisée, car vous connaissez certainement déjà les progrès qui ont été réalisés dans les emplois de l'aluminium en aéronautique et dans les industries automobiles pendant la guerre.

Je passerai très rapidement sur la partie historique, l'exploitation des bauxites et la fabrication du métal, ainsi que sur ses propriétés générales ; ce sont des sujets sur lesquels de nombreuses publications ont été faites. J'insisterai, au contraire, tout particulièrement sur ses emplois et applications. Pour vous les montrer sous une forme pratique, j'ai fait appel à un certain nombre d'industriels spécialisés dans les travaux de l'aluminium : ils ont bien voulu me prêter leur concours, soit en mettant sous vos yeux un grand nombre d'objets manufacturés, soit en réalisant ici-même quelques essais. Je les en remercie très vivement, et leur présence dans cette salle permettra aux auditeurs intéressés d'obtenir auprès d'eux des renseignements qui viendront compléter très utilement ceux que j'aurai pu vous donner.

Après ces généralités, nous verrons les procédés de refonte et de transformation du métal pur ou allié en produits industriels : lingots, tôles, tubes, fils, etc. Je n'insisterai que sur les principaux alliages ; je vous indiquerai les principes de standardisation qui ont été adoptés pour ces produits ; nous verrons les méthodes de fabrication des objets manufacturés, les procédés de jonctionnement et de soudure, de recouvrement et aluminothermiques ; je terminerai par une vue d'ensemble sur les emplois généraux de l'aluminium en électricité, dans les industries automobiles, dans l'aviation, dans la marine et dans les industries chimiques.

HISTORIQUE ET FABRICATION

La poudre grise obtenue par le chimiste Wohler en 1827, en décomposant le chlorure d'aluminium par le potassium, et dont il parle dans un mémoire publié en 1845, serait restée sans doute une curiosité de laboratoire si le génie de Sainte-Claire Deville ne s'était attaché, avec un acharnement admirable, à en faire sortir le métal devenu un des principaux métaux industriels de l'avenir. Dans son ouvrage publié en 1856 sur *les Propriétés, la Fabrication et les Applications de l'Aluminium*, Sainte-Claire Deville rend compte de la première expérience qui lui a permis d'obtenir l'Aluminium avec l'aspect métallique que nous lui connaissons : « Ce n'est qu'après des essais de toute espèce qu'il m'a été possible de réunir en un culot cette poudre grise que j'ai possédée pendant plus d'un an dans mon laboratoire. Si on l'introduit dans un tube de verre chauffé au rouge et préalablement rempli d'hydrogène et si l'on fait passer sur le métal de la vapeur de chlorure d'aluminium, on voit bientôt distiller une matière huileuse qui se concrète à une température de 150 à 200°, c'est du chlorure double d'aluminium et de sodium que j'ai analysé à la fin de l'expérience. On trouve dans le tube une matière différant entièrement de l'aluminium spongieux : c'est un métal bien fondu, absolument dénué de sodium. L'expérience en vue de produire un protochlorure d'aluminium, en m'éclairant sur les pro-

priétés véritables du métal, m'a fourni un mode de purification et indiqué les conditions nécessaires pour l'obtenir avec toutes ses qualités ».

La réalisation de la fabrication industrielle du nouveau métal fut remplie de difficultés, car il fallut mettre au point les opérations préliminaires de fabrication du sodium au laboratoire de l'Ecole Normale avec l'aide de Debray, et dans les usines de MM. Rousseau frères, à Javel et à La Glacière.

A l'Exposition de 1855 figurèrent les premiers lingots d'aluminium ; ils revenaient à 1.250 francs le kilo, après une série d'opérations délicates et dangereuses ; en 1856, le prix put déjà en être abaissé à 300 francs et l'usine de la Glacière fut transportée à Nanterre où, sous la direction de Paul Morin, elle put fournir du métal en quantités régulières.

Vers la même année, les docteurs Percy à Londres et Rose à Berlin obtinrent de l'aluminium en partant d'un produit qu'ils avaient reçu du Groënland et qu'ils désignèrent sous le nom de soude minérale ou cryolithe. Ce procédé de décomposition de la cryolithe (fluorure d'aluminium et de sodium) fut exploité dès 1856 à Rouen par les frères Tissier.

Les procédés chimiques de Castner, Netto et Grabau, dérivés des méthodes de Sainte-Claire Deville et de Percy cédèrent le pas aux procédés électro-chimiques de Cowles, de Héroult, de Hall et de Minet qui se réalisèrent pendant les années 1886 et 1887 et qui sont ceux employés actuellement. Ils consistent à électrolyser l'alumine pure dans un bain de cryolithe au moyen d'électrodes en charbon qui constituent les anodes mobiles qui plongent verticalement dans ce bain.

Les *fours de fabrication* sont constitués par des cuves dont la sole conductrice constitue la cathode et qui comportent une pente vers le trou de coulée. Ces cuves sont en tôle d'acier, généralement rectangulaires, avec garnissage intérieur en matériaux réfractaires recouvert d'un pisé de charbon bon conducteur de l'électricité. Les anodes sont formées par des prismes de charbon aggloméré qui peuvent monter ou descendre individuellement et qui sont suspendues sur une barre transversale placée au-dessus du four, qui reçoit le courant. Le courant est utilisé sous une tension de 8 à 10 volts avec un ampérage de 1 1/2 à 3 ampères par centimètre carré de section d'électrode. Ces électrodes ont une forme carrée ou rectangulaire, et pour combattre l'usure due à la combustion, on leur donne parfois la forme d'un tronc de pyramide dont la petite base plonge dans le bain. Elles sont constituées par un mélange de coke d'anhracite et de goudron, ou de préférence de coke de pétrole concassé, broyé et mélangé avec du goudron chaud ; la pâte est comprimée et étirée à la presse hydraulique et les électrodes sont ensuite cuites dans des fours spéciaux, à l'abri de l'air, au rouge vif.

L'aluminium fondu étant éminemment oxydable, on effectue la réduction de l'alumine dans un bain de cryolithe ($F^6 Al^2$, 6 Na F). Au fur et à mesure que cette réduction se produit, le métal descend au fond de la cuve et les sels fondus lui assurent une protection efficace contre l'oxydation. En pratique, la température du bain de fusion est comprise entre 900 et 950° ; la densité du métal fondu — 2,54 — légèrement supérieure à celle de la cryolithe fondue — 2,08 — lui permet de se rassembler parfaitement au-dessous de cette

matière. Le réglage des fours se fait en élevant ou en abaissant les électrodes autour desquelles vient brûler le carbone, sous forme d'oxyde de carbone, et en réglant constamment les quantités d'alumine que des ouvriers ajoutent à la pelle à la surface du four au fur et à mesure de sa consommation. Si les quantités d'alumine étaient trop faibles, l'action électrolytique se traduirait par une décomposition des fluorures et le voltage monterait immédiatement, ce qui, en pratique, se reconnaîtrait par l'allumage de lampes témoins placées au-dessus des fours, qui permettent aux ouvriers de les surveiller avec soin ; un autre inconvénient serait le dégagement de fluor qui attaquerait le matériel de l'usine et la production de sodium dans le métal, désastreux pour sa conservation.

La *cryolithe* venait autrefois presque exclusivement du Groënland occidental, mais aujourd'hui on la fabrique synthétiquement en partant du fluorure de calcium que l'on trouve très abondamment dans la nature.

L'alumine provient du traitement des *bauxites* : ce sont des hydrates d'alumine correspondant à la formule $Al^2 O^3 \cdot 2H^2O$. Elles proviennent, comme les argiles, de la décomposition de certaines roches feldspathiques et elles peuvent offrir des compositions très variées. Parfois complètement blanches, elles contiennent alors une assez forte proportion de silice pouvant aller jusqu'à 10 % ; d'autres fois rougeâtres, la coloration est due principalement au sesquioxyde de fer que l'on peut y trouver jusqu'à 25 % et à l'acide titanique, 1 à 2 %. Ces roches contiennent de 10 à 15 % d'eau.

Les bauxites blanches, généralement très siliceuses,

roche doit son nom, où elle a été découverte en 1822. Il en existe également aux Etats-Unis, en Géorgie et dans l'Arkansas, dans le Labama et le Tennessee, en Irlande et en Italie, et il s'en trouve de médiocre qualité en Allemagne et en Autriche. On en a trouvé aux Indes, mais assez loin de la mer. On en a découvert récemment dans l'Afrique du Sud et dans la Guyane anglaise où les gisements sont déjà en exploitation ; il se peut que les gisements se prolongent en Guyane française.

En 1913, on évaluait la *production* dans le monde à 436.000 tonnes, dont plus de la moitié pour la France, répartie de la façon suivante :

Var	258.000 tonnes
Hérault	44.000 —
Bouches-du-Rhône	4.000 —
Ariège	3.000 —

La production des Etats-Unis fut de 213.000 tonnes, mais, en 1917, elle atteignit 568.000 tonnes dont 333.000 tonnes pour l'Arkansas.

Il existe plusieurs procédés de purification de la bauxite en vue d'obtenir l'alumine pure. Le principe consiste à transformer l'alumine en un aluminat soluble.

Dans le procédé Deville, le minerai est attaqué au rouge par du carbonate de soude dans un four à réverbère fixe ou tournant, et dans le procédé Bayer, généralement employé actuellement, la bauxite grillée est soumise sous pression dans des autoclaves, à l'action d'une solution de soude. La solution filtrée, pour en séparer l'oxyde de fer et autres impuretés, est décomposée en présence d'eau par de l'alumine libre qui facilite l'hydrolise de l'aluminat. L'alumine précipi-

tée, parfaitement lavée, est séchée et calcinée dans des fours tournants. Elle répond en moyenne à l'analyse suivante : silice, $< 0,10$ % ; oxyde de fer, $< 0,05$ %.

Cette préparation demandant des soins et des frais élevés de main-d'œuvre, on a cherché à fabriquer directement l'alumine à partir de la bauxite, au four électrique. Un procédé auquel un avenir intéressant est peut-être réservé, est la transformation de la bauxite en nitrure d'aluminium, (Az Al), en la chauffant au four électrique entre 1800 et 1900° en présence d'azote. Le nitrure d'aluminium décomposé dans un autoclave en présence de soude, donne d'une part, de l'ammoniaque qui peut être transformé en un engrais, le sulfate d'ammoniaque, et d'autre part, l'aluminate de soude duquel on peut extraire l'alumine, comme précédemment.

Avec les méthodes généralement suivies à l'époque actuelle, c'est-à-dire préparation de l'alumine par le procédé Bayer et réduction dans des fours dont je vous ai donné la description, il faut compter pour la production d'un kilo d'aluminium une énergie électrique de 30 à 40 kilowatts-heures et une dépense de 800 à 1.000 grammes d'électrodes en charbon, 150 grammes de cryolithe 200 grammes d'autres fluorures (fluorure de calcium et fluorure d'aluminium) et 2 kilogs d'alumine (théoriquement 1 kilog. 88). Une tonne d'aluminium exige donc 2 tonnes d'alumine qui demandent 4 tonnes de bauxite pour leur préparation. On voit qu'une tonne d'aluminium consomme 4 tonnes de bauxite et que la préparation de l'alumine et sa réduction absorbent 8 tonnes de combustible et une tonne de charbon sous forme d'anodes.

La métallurgie de l'aluminium est donc, à l'encon-

tre de ce que beaucoup de personnes croient, tributaire du charbon qui intervient pour une très large part dans son prix de revient.

Les méthodes actuelles assurent une *production de métal* qui atteignit 70.000 tonnes en 1914. Le métal qui, de 1855 à 1866 valait plus de 1.200 francs le kilo, tomba à l'apparition des procédés électro-chimiques, en 1889, à 12 francs. En 1900, sa production était de 7.300 tonnes et il ne valait plus que 2 fr. 50. Cette production augmenta successivement pour passer de 20.000 tonnes en 1907 à 50.000 tonnes en 1912 et 70.000 tonnes en 1914. En 1918, la capacité de production des divers pays pouvait être évaluée comme suit :

France	20.000 tonnes
Etats-Unis	90.000 —
Canada	15.000 —
Norvège	18.000 —
Suisse	15.000 —
Italie	8.000 —
Angleterre	14.000 —
Allemagne et Autriche	20.000 —

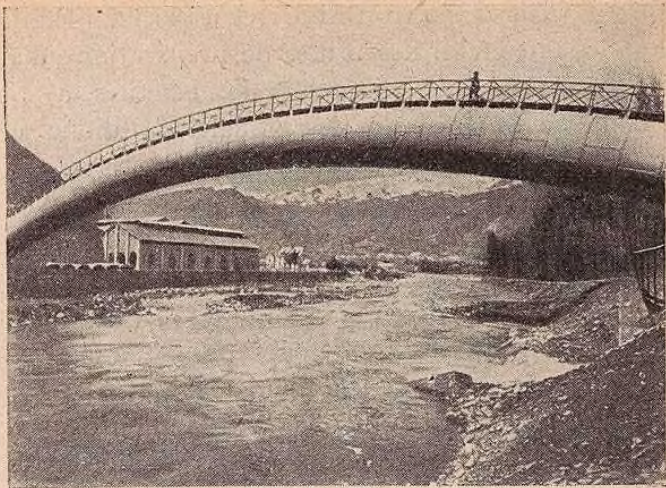
Aux Etats-Unis, le professeur Richards prévoit pour 1925 une production de 325.000 tonnes pour l'Amérique du Nord seule. Quoique cette affirmation semble exagérée, il est incontestable que la production a triplé de 1914 à 1918 et qu'actuellement les Etats-Unis produisent, dans les usines de Niagara Falls, Massena, Shawinigan Falls, Maryville et Withney, la moitié de l'aluminium fabriqué dans le monde entier.

En France, les *usines productrices d'aluminium* sont groupées en Sociétés : Société Electro-Métallurgique Française ; Compagnie des Produits Chimiques d'Alais et de la Camargue, qui ont fusionné récem-

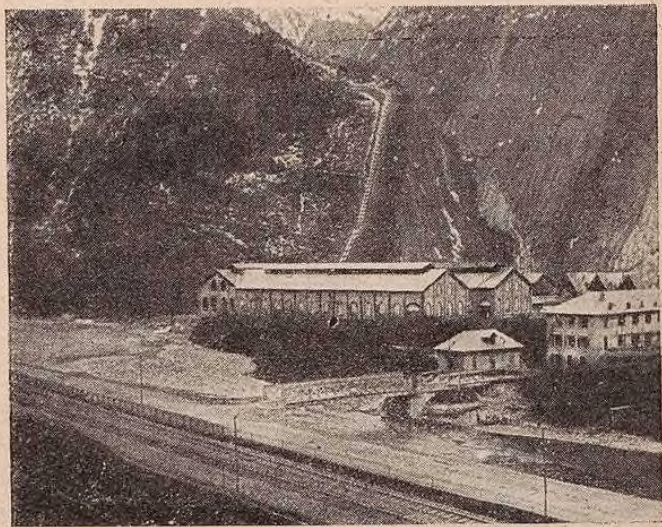
ment ; Société d'Electro-Chimie et d'Electro-métallurgie. Elles ont établi des usines de préparation d'alumine à proximité des gisements de bauxites, à Gardanne et La Barasse dans les Bouches-du-Rhône, et à Salindres dans le Gard. La matière première transportée dans les usines groupées dans la vallée de l'Arc et que l'on aperçoit lorsqu'on se rend de Chambéry à la frontière italienne sont susceptibles de produire, à l'heure actuelle, environ 20.000 tonnes d'aluminium et prennent leurs dispositions pour augmenter leur production, au fur et à mesure que les conditions économiques concernant le combustible, la main-d'œuvre, les matériaux de construction, etc., s'amélioreront. Il faut considérer également que ces établissements, qui ont travaillé d'une façon intensive pendant la guerre, ont eu besoin d'apporter de nombreuses réparations à un matériel surmené.



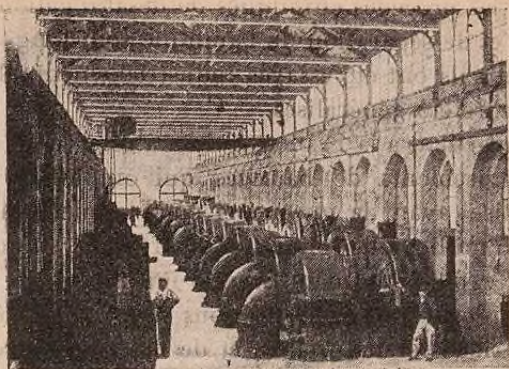
Vue générale de l'usine de Saint-Jean-de-Maurienne, appartenant à la Compagnie d'Alais et de la Camargue.



Conduite de 3 m. 30 de diamètre traversant la rivière de l'Arc et amenant l'eau aux turbines de l'usine de Saint-Jean-de-Maurienne. (Compagnie d'Alais et de la Camargue.)



Vue générale de l'usine de Calypso, appartenant à la Compagnie d'Alais



Salle des machines de l'usine de Saint-Michel-de-Maurienne, appartenant à la Société Electro-Métallurgique Française.

La guerre ayant privé l'Allemagne des bauxites françaises, les industriels allemands ont utilisé des minerais autrichiens et essayé de tirer parti des ressources de leur pays ou de celles de leurs alliés. Des quantités importantes de bauxites, mais de qualité inférieure, ont été obtenues en Dalmatie, en Hongrie, dans le duché de Hesse et dans les formations volcaniques d'Erfeld, près de Cologne. Il ressort clairement, à l'heure actuelle, que si les besoins de l'Allemagne ont été considérables pendant la guerre, et sans doute supérieurs à la consommation des années de paix, elle a tout mis en œuvre pour utiliser des minerais de qualité parfois médiocre.

On a souvent écrit et répété que l'industrie allemande avait utilisé comme matières premières des argiles et autres roches alumineuses : la vérité est que des essais de laboratoire, conduits avec beaucoup de méthode, ont été effectués pendant près d'un an et demi à l'Ecole Technique Frédéric Sciana, de Carls-

ruhe ; les procédés chimiques de désagrégation de ces roches et de séparation de l'alumine sont longs et coûteux, et s'ils ont été essayés industriellement, ils n'ont pas encore été généralisés.

Il appartient à la France, qui en a réserve les magnifiques gisements de bauxites qui ont attiré tant de convoitises avant la guerre, et pour lesquels on a évalué à 60 millions de tonnes les réserves de minerais de qualité exploitable, d'en tirer le maximum de profits.

Il est de notre devoir de nous réserver la plénitude de ces richesses naturelles, et de ne pas mettre bénévolement à la disposition de nos concurrents une des matières premières dont la nature a généreusement pourvu notre pays. Les Pouvoirs publics s'en sont préoccupés : le 22 octobre dernier, un décret a prohibé l'exportation des bauxites, en attendant que le Parlement vote une loi assimilant les gisements de bauxite aux mines, et non aux carrières, qui suivent le sort du sol superficiel et qui appartiennent par conséquent aux propriétaires de ce sol.

★★

Les *propriétés de l'aluminium* ont été bien souvent décrites : la principale et la plus curieuse, celle à laquelle il doit le plus grand nombre de ses applications, la légèreté, a été établie dès sa découverte, par Sainte-Claire Deville. Un certain nombre de ses autres propriétés, très importantes au point de vue des applications, notamment la résistance qu'il présente aux agents physiques ou chimiques, ont donné lieu à de très nombreuses discussions, montrant parfois des désaccords qui ont dérouté les industriels ou les ont conduits à des emplois irrationnels ; dans d'autres cas

ils ont entraîné une exclusion radicale, alors qu'une étude méthodique aurait permis de procéder avec plus de circonspection.

Il est incontestable qu'avant l'emploi des méthodes d'électrolyse, alors que le métal était fabriqué exclusivement par des procédés chimiques, il pouvait contenir du sodium qui, en présence d'eau ou simplement en présence d'humidité, amenait son altération rapide. Il y a même là un procédé très simple, indiqué par Moissan, pour le dosage du sodium dans l'aluminium en laissant séjourner dans de l'eau distillée, pendant un temps prolongé, la limaille du métal et en dosant la soude dans la liqueur aqueuse.

Le métal produit dans les cuves d'électrolyse est très pur si l'alumine employée est elle-même rigoureusement pure, les seules impuretés pouvant le souiller étant celles apportées par les électrodes. Pendant la guerre, les usines d'aluminium se sont vues privées de coke de pétrole, coke extrêmement pur, ne contenant que 0,1 à 0,5 % d'impuretés minérales ; elles furent obligées d'employer des électrodes fabriquées avec du coke d'antracite dont la teneur en matières minérales peut s'élever à 1, 2 et même 3 % ; la pureté du métal a pu s'en ressentir légèrement, mais il s'est agi là d'une situation transitoire bien indépendante de la volonté des industriels.

Les usines productrices s'efforcent actuellement, non seulement d'intensifier leur production, mais encore d'obtenir le métal à un degré de pureté aussi satisfaisant que possible. Qu'entend-on par pureté de l'aluminium ? Il y a là un point qu'il y a lieu de définir. Nous avons vu que la présence du sodium, incriminé parfois comme cause d'altération, ne s'y trou-

ve pas lorsque le fonctionnement de la cuve électrolytique est normal. Les autres impuretés sont de petites quantités de fer et de silicium, des traces de titane, de carbone probablement à l'état de carbure, de soufre et d'azote probablement à l'état de sulfure et de nitrure ; enfin, de très petites quantités d'alumine produites par l'oxydation lors de la coulée.

Commercialement, ce sont les quantités de fer et de silicium qui sont prises en considération pour établir la qualité ou *titre* du métal :

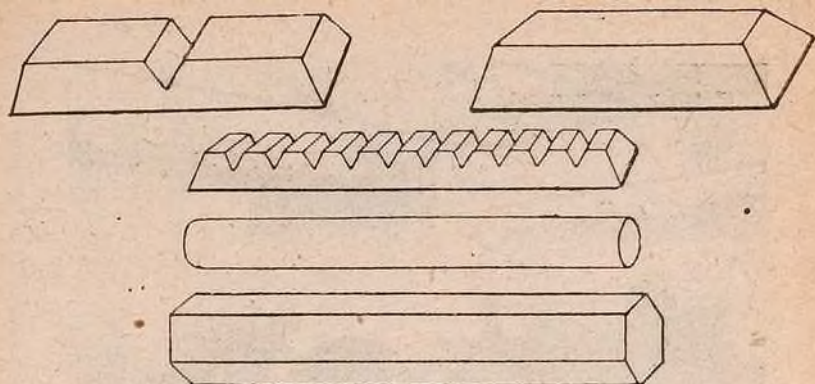
1° Le métal à 99,5, c'est-à-dire celui dans lequel la somme des impuretés, fer et silicium, est au plus égale à $1/2$ % ;

2° Le métal à 99, c'est-à-dire celui dans lequel le total des mêmes impuretés est au plus égal à 1 %, et

3° Le métal à 98, dans lequel la somme des mêmes impuretés est au plus égale à 2 %.

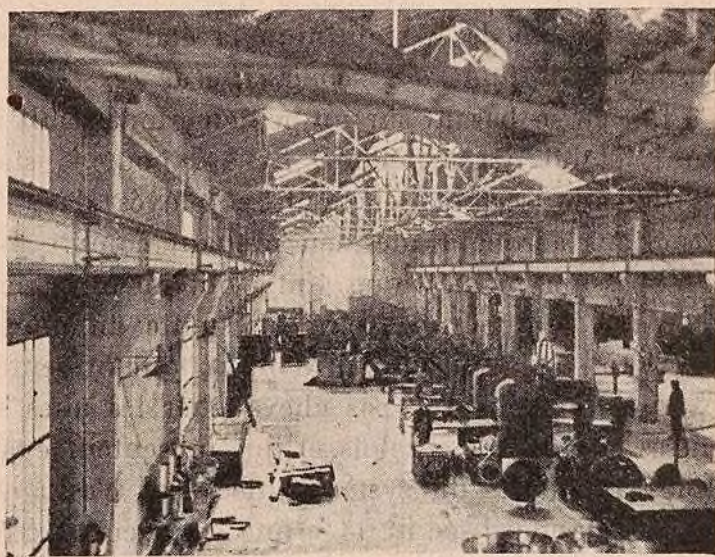
Cette classification a été sanctionnée par la Section de l'Aluminium de la *Commission Permanente de Standardisation des Produits Métallurgiques*, nommée par le Ministre du Commerce. Elle a même unifié une méthode d'analyse simple pour la détermination de ces éléments.

Le métal est livré à l'industrie, avec ces garanties de pureté chimique, en lingots de forme et de poids divers, afin d'en permettre le transport et la manutention faciles : lingots prismatiques de 2 à 12 kilogs, lingots quadrillés ou cannelés de 1 à 3 kilogs, lingots plats de 1 kilo, lingots demi-ronds d'un faible poids, 150 à 300 grammes ; ces derniers, ainsi que les lingots cannelés, peuvent être facilement fragmentés par un simple coup de burin, ce qui permet aux fondeurs d'ajuster très facilement leurs pesées.

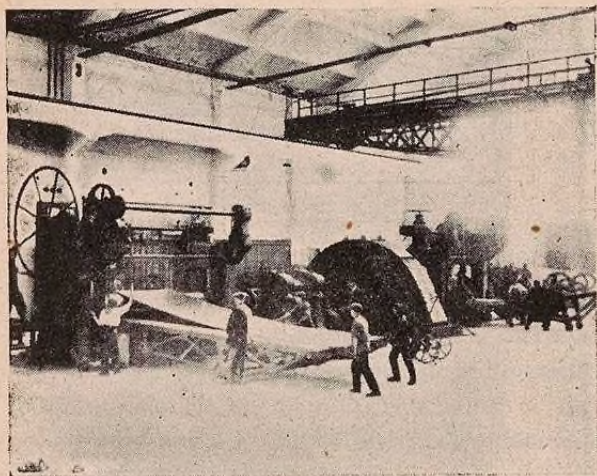


Types de Lingots et Billettes d'aluminium

Le métal brut est également livré pour le tréfilage sous forme de billettes rondes, carrées ou hexagonales, et pour le laminage sous forme de plaques dont les poids peuvent varier de 2 kgs $1/2$ à 500 kilogs ; ce sont ces plaques d'une demi-tonne de métal que l'usine de L'Aluminium Français, à Chambéry, transforme en tôles de 3 mètres de large sur 7 m. 50 de long.



*Usine de l'Aluminium Français à Chambéry.
Laminage des petites tôles de 1 m. X 2 m.*



*Usine de l'Aluminium Français à Chambéry.
Laminage des grandes tôles de 3 m. X 7 m. 50.*

La Commission de L'Aluminium a établi les bases de la *standardisation des épaisseurs de ces tôles*, et elle l'a fait en se basant sur un principe tout à fait intéressant, établi par le colonel Renard pour la standardisation de certains éléments employés dans les constructions aéronautiques, en prenant comme base une progression géométrique ; on a obtenu un tableau d'unification comportant treize épaisseurs différentes, depuis $3/10^{\circ}$ de m/m jusqu'à 5 m/m, qui présentent le grand avantage de ne pas chevaucher les unes sur les autres dans leurs emplois et qui présentent également les avantages du système décimal, c'est-à-dire que la tôle standardisée n° 11 a une épaisseur dix fois plus grande que la tôle standardisée n° 1. Ces tôles sont généralement livrées au commerce aux dimen-

sions de 1 m. $\times$ 2 m., et sur demandes spéciales, ces dimensions peuvent aller jusqu'à 3 m. $\times$ 7 m.

Au-dessous de 3/10^e d'épaisseur, le métal qui est surtout employé pour la fabrication des petits objets de bimbelerie : étuis, boîtes pour la parfumerie, articles de Paris, est livré sous forme de bandes enroulées dont la largeur peut varier de 10 à 400 m/m et la longueur jusqu'à 250 mètres.

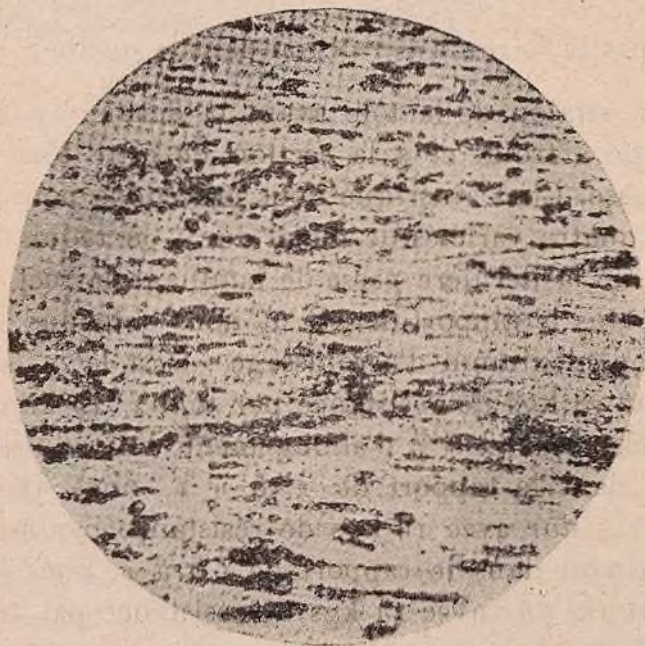
Les tolérances sur les épaisseurs de ces tôles et de ces bandes ont été spécifiées, ainsi que les poids moyens, par mètre carré. Le *taux d'écrouissage* a été

défini par la formule $\frac{S-s}{s} \times 100$ dans laquelle S repré-

sente la section de la tôle avant la dernière passe de laminage à froid, et s la section de cette tôle après cette passe. C'est ainsi que nous procédons pour obtenir les quatre variétés de métal dur : en réduisant au moyen de la dernière passe de laminage la section de la tôle dans le rapport de 2 à 1, nous obtenons le métal à son maximum d'écrouissage : c'est le *métal dur* donnant 18 kgs de résistance par m/m², 15 kilogs de limite élastique et 5 % d'allongement. En réduisant la section dans le rapport de 1,75 à 1, nous avons le *métal 3/4 dur* avec 16 kgs de résistance par m/m² ; en laminant dans le rapport de 1,5 à 1, nous avons le *métal 1/2 dur* avec 14 kgs de résistance par m/m² ; en laminant dans le rapport de 1,25 à 1, nous avons le *métal 1/4 dur* avec 12 kgs de charge de rupture. Enfin, le *métal recuit* avec 9 kgs de charge de rupture, 5 kgs de limite élastique et 35 % d'allongement complète la série des produits que les industriels ont à leur disposition pour tous les emplois dont ils peuvent avoir besoin.

La qualité du métal recuit est déterminée par un essai introduit par la Commission de Standardisation : essai d'emboutissage exécuté au moyen d'un appareil créé au Laboratoire de l'Aéronautique, et indiquant la charge nécessaire pour fissurer une rondelle de métal avec mesure de la flèche de la calotte au moment de cette rupture.

Le laminage produit un écrouissage du métal dont les lignes indiquent le sens.



*Aluminium écroui par le laminage.
Grossissement 100 diamètres.*

Le recuit fait disparaître les modifications internes résultant de la transformation et redonne au métal une structure cristalline.

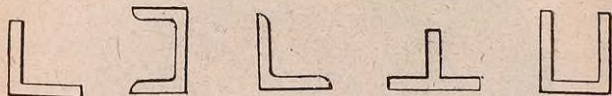


*Aluminium recuit après écrouissage.
Grossissement 100 diamètres.*

Les conditions du recuit intégral et complet de l'aluminium ont donné lieu à des déterminations importantes au National Physical Laboratory en Angleterre, de la part du professeur Anderson, et ont été reprises tout dernièrement par M. Guillet. Elles ont montré qu'un recuit prolongé n'était pas nécessaire, qu'il pouvait même être préjudiciable, et que les conditions les plus favorables consistaient à porter le métal à 350° pendant 30 minutes.

Si l'emploi de l'aluminium en tôles laminées s'est généralisé de plus en plus pour les garnitures ou les revêtements et pour la fabrication des pièces embouties ou matricées, la fabrication des profilés en aluminium ou en alliages spéciaux a pris également un développement intéressant ; on peut naturellement ob-

tenir toutes les formes de cornières, de profils en T, en U ou en double T que l'on obtient avec les autres métaux.

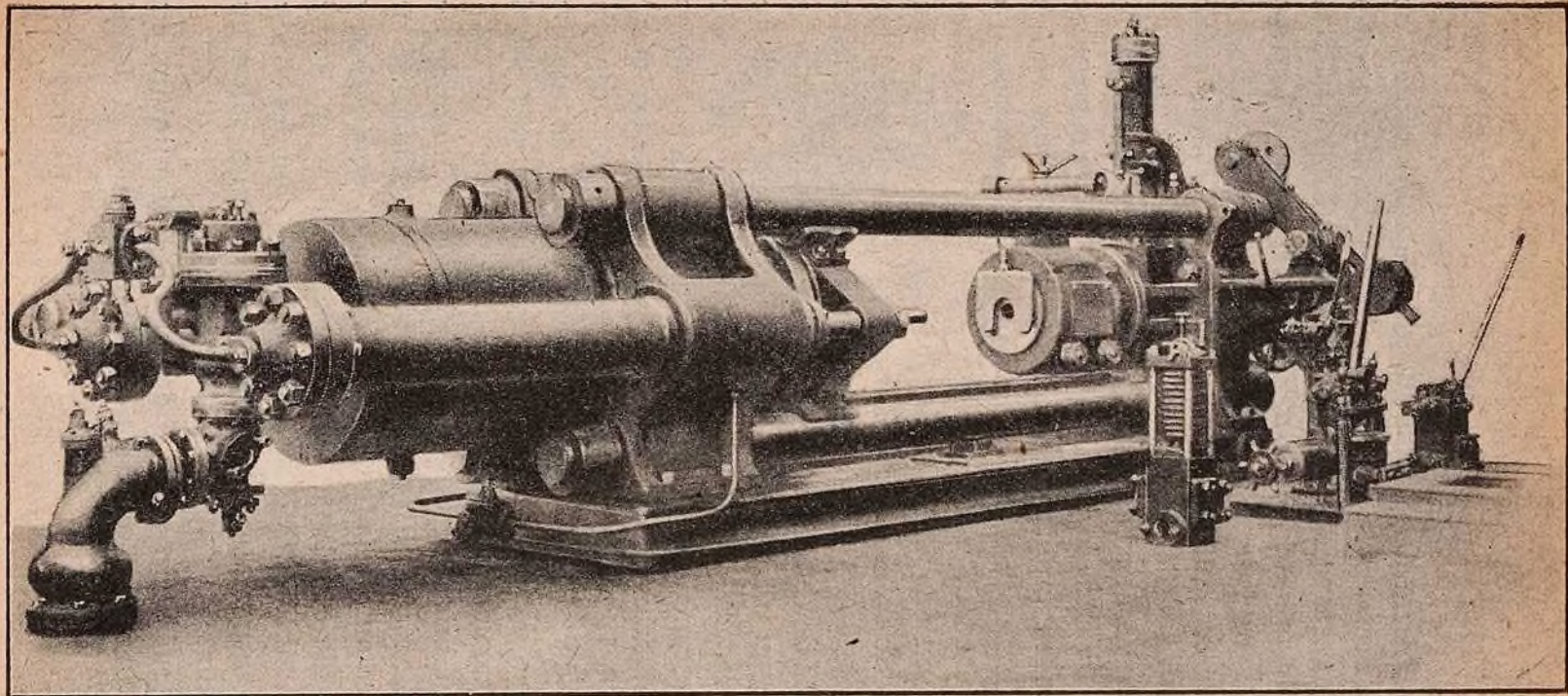


Profils en Aluminium

Ici encore, un certain nombre de profils types, variant en progression géométrique, conformément aux principes et aux avantages énumérés pour les tôles, ont été adoptés par la Commission de Standardisation.

Les tubes ronds peuvent être obtenus depuis les plus petits diamètres, 1/10 de m/m, jusqu'à des diamètres de 100 et 150 m/m ; ils ont également été standardisés d'après les mêmes principes en ce qui concerne ces diamètres et les épaisseurs. Afin de tenir compte des besoins de l'Aéronautique et de la construction de matériel des Chemins de fer et des Tramways, on a établi trois séries différant par leurs épaisseurs : la série mince dont les épaisseurs varient de 5/10^e à 25/10^e, la série normale dont les épaisseurs varient de 5/10^e à 50/10^e et la série épaisse dont les épaisseurs varient de 16 à 50/10^e également.

Ces tubes et profilés sont obtenus généralement par filage à froid du métal au moyen de puissantes presses hydrauliques pouvant donner des pressions allant jusqu'à 1.000 tonnes, comprenant un solide cadre en acier moulé, à l'intérieur duquel sont disposés les deux organes essentiels : le pot de presse où se développe la pression et le conteneur par lequel s'effectue l'écoulement du tube ou de la pièce à produire.



Presse de 600 tonnes à filer les métaux . (S. O. M. U. A.). (Aluminium et alliages.)

On obtient de la même façon des tubes ovales, carrés ou rectangulaires, et pour les besoins de l'Aviation des tubes avec des profils spéciaux qui offrent l'avantage de présenter une moindre résistance à l'avancement dans l'air que les tubes cylindriques.

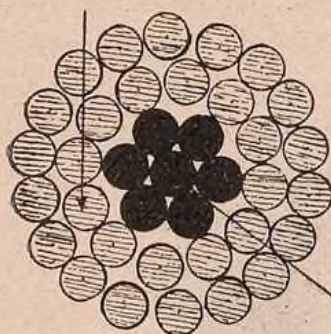
Pour les autres métaux, acier, fer, fonte, cuivre, etc., un coefficient de résistance connu et admis permet de calculer l'épaisseur d'un tuyau en raison de son diamètre et de la pression qu'il supporte. En vue d'une généralisation des emplois des tubes ronds en aluminium, nous avons déterminé expérimentalement ce coefficient de résistance en soumettant des tubes à des pressions intérieures jusqu'à éclatement. Nous avons trouvé un chiffre moyen au moment de l'éclatement de 6 à 8 kilogs par millimètre carré. En tenant compte de ce qui est fait pour les autres métaux, c'est-à-dire en adaptant le tiers de la charge unitaire de rupture, on peut prendre comme coefficient de sécurité 3 et même 2 kilogs, chiffre d'autant plus suffisant que les tubes utilisés pour des pressions sont généralement à l'état écroui, état dans lequel la limite élastique du métal est proche de la charge de rupture : il n'y a donc pas à redouter de déformations dans le voisinage de cette période.

On fabrique également des *fils d'aluminium* de tous diamètres. Ces fils, dont l'emploi s'est généralisé surtout comme conducteurs d'électricité, sont étirés en métal de deuxième catégorie, c'est-à-dire au titre de 99 % ; ils sont utilisés à l'état écroui pour les conducteurs suspendus et à l'état recuit pour les autres conducteurs.

Les méthodes d'essais de ces fils d'aluminium, consistant en essais de traction, d'enroulement et de plia-

ge, ont été définies dans un cahier des charges spécial. En aluminium recuit, ils doivent fournir une résistance maxima de 9 kilogs par m/m^2 , avec un allongement minima de 30 %, et ceux en aluminium écroui pour conducteurs suspendus doivent offrir une résistance minima de 20 kilogs par m/m^2 avec un allongement minima de 2 %. Pour les lignes de transport de force à grande portée, au-dessus de 6 m/m de diamètre, on emploie des câbles formés de plusieurs brins en aluminium, ou plutôt des câbles à brins en aluminium avec une âme d'acier.

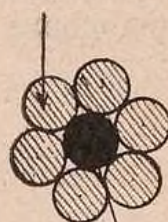
Aluminium



Acier

Câble aluminium-acier à 37 brins
Densité moyenne : 3,85

Aluminium



Acier

Câble aluminium-acier à 7 brins.
Densité moyenne 3,55.

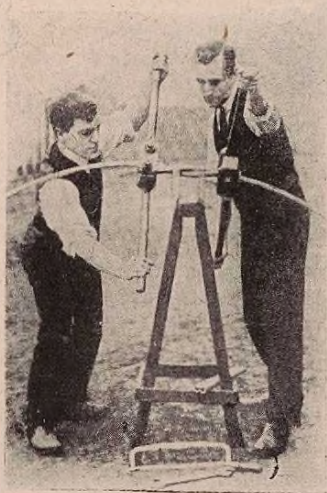
Dans ces conditions, la résistance mécanique d'un câble est égale à la résistance mécanique des brins composants, la section utile étant la somme de ces brins. Toutefois, l'expérience a prouvé que la résistance totale du câble ne devait être prise que pour les 85/100^e de la somme des résistances totales de l'âme en acier et des brins d'aluminium composants.

On livre couramment à l'industrie des câbles depuis 5 m/m^2 de section, composés de trois brins, jusqu'à 500 m/m^2 de section, composés de 61 brins ; la série

comprenant une centaine de dimensions intermédiaires permet de donner satisfaction à tous les besoins industriels. Le projet de standardisation de ces câbles, actuellement à l'étude, permettra d'en réduire le nombre avec les mêmes avantages que cela a été fait pour les tôles.

L'électricité emploie également des barres en aluminium pour les tableaux de distribution : ce sont des barres plates à section rectangulaire, à bords arrondis de 40 à 60 m/m de largeur, avec une section variant de 150 à 600 m/m².

Le jonctionnement de ces câbles se fait au moyen de manchons torsadés.



*Jonctionnement de câbles
par manchon torsadé.*

Le jonctionnement des tôles et profilés au moyen de rivets généralement en aluminium pur ; ils doivent être choisis à tête large et placés très rapprochés, le trou de pénétration du rivet devant être exactement du diamètre de celui-ci.

En ce qui concerne les *boulons et écrous*, il s'agit là de pièces obtenues par décolletage. Le *décolletage de l'aluminium* pur peut être réalisé par des ouvriers exercés et soigneux, en mouillant constamment l'outil avec du pétrole ou de préférence de l'huile lourde de pétrole. On peut également employer de l'huile de lin mélangée de benzine, de la glycérine, de la vaseline, de la stéarine dissoute dans l'essence de térébenthine, ou simplement de l'huile soluble employée pour les autres métaux, mais il est préférable d'utiliser pour ces travaux des alliages spéciaux. Nous en avons étudié un certain nombre : l'introduction de magnésium en petite quantité, soit seul, soit avec un peu de cuivre, le zinc avec un très faible pourcentage de plomb, nous ont fourni des métaux offrant toutes les qualités des bons laitons de décolletage, se travaillant facilement et produisant des pièces qui peuvent rivaliser avec celles obtenues avec d'autres métaux.

La solution de cette question a permis de réaliser la fabrication, non seulement des boulons de gros diamètres, sinon des petites vis et autres accessoires. On a pu ainsi substituer l'aluminium au cuivre dans l'appareillage électrique : les Etablissements Grivolos se sont spécialisés dans cette fabrication et vous pouvez voir des spécimens variés de leur fabrication.

L'aluminium s'est également substitué à l'étain pour l'emballage et la conservation des produits et matières alimentaires (viandes, conserves, féculs, choco-

lats, confiserie, etc...) et pour cet usage on fabrique couramment du *papier d'aluminium* à diverses épaisseurs, aussi solide que le papier d'étain et naturellement beaucoup plus léger. Les épaisseurs peuvent descendre jusqu'à $7/1000^{\circ}$ de millimètre et sous cette forme, un kilo de métal permet d'obtenir plus de 50 mètres carrés de papier. Des essais nombreux ont montré l'inocuité complète de l'aluminium dans l'économie humaine ; le métal n'est du reste nullement attaqué par ces substances, et il est à désirer que ces emplois se généralisent de plus en plus, le prix très élevé de l'étain, à l'heure actuelle, étant presque prohibitif pour cet usage.

Ces papiers sont obtenus par laminage ou par battage. Cette opération s'effectue à l'aide de marteaux pneumatiques donnant plusieurs centaines de coups à la minute. On peut obtenir avec ces papiers des effets de moirage et de coloration d'un très joli effet ; le froissement d'une feuille d'aluminium lui communique une teinte très spéciale par suite des multiples facettes irisées : il y a peut-être là des applications intéressantes pour la décoration.

On emploie également du papier métallisé à l'aluminium obtenu en recouvrant une des faces du papier d'une légère couche d'un vernis (dissolution de résine dans un solvant volatil) et en saupoudrant de poudre d'aluminium que l'on soumet ensuite à une action mécanique pour produire l'adhérence. Ce papier métallisé est peu perméable à l'air et à l'humidité et peut être également employé avec intérêt pour la conservation des substances alimentaires.

Une autre forme industrielle intéressante à signaler est celle des *poudres d'aluminium*. Ces poudres ont

deux usages principaux : emploi dans les vernis et peintures et emploi en aluminothermie. Pour ce dernier usage, comme il s'agit uniquement d'avoir de l'aluminium finement divisé, la pulvérisation est obtenue par arrivée d'un gaz inerte sous pression sur du métal fondu, ou par centrifugation en faisant arriver le métal fondu dans un creuset percé de petits trous et animé d'un vif mouvement de rotation. Le métal s'échappe en longs fils qui viennent frapper violemment les parois de la chambre qui l'entoure, et la violence du choc, qui est fonction de la vitesse de rotation, transforme ces fils en fines gouttelettes qui se solidifient rapidement ; la poudre est recueillie au bas de la chambre conique et tamisée.

On peut également opérer par frottement : l'aluminium ayant une chaleur spécifique considérable, comparativement aux autres métaux, se refroidit lentement, et à 550°, il est encore pâteux. A cette température, sa structure est celle d'une masse de grains de petites dimensions dont la cohésion est faible ; il suffit, pour séparer ces grains, d'exercer un travail mécanique à l'intérieur du bain pour obtenir une poudre poreuse offrant une large surface d'oxydation, tout à fait favorable aux opérations aluminothermiques.

Il est intéressant de noter que ces poudres chauffées et soumises en même temps à des pressions énergiques peuvent s'agglomérer et reconstituer un métal très homogène dans lequel on peut même incorporer d'autres métaux ou des éléments non métalliques : il y a là une voie nouvelle de fabrication d'alliages et de produits industriels des plus intéressante que nous étudions actuellement.

La poudre d'aluminium employée dans l'industrie

des peintures et des vernis est obtenue d'une façon différente : on emploie des tombées de coupes de tôles minces ou de papier d'aluminium que l'on désagrège en les amincissant de plus en plus jusqu'à pulvérisation au moyen de pilons qui viennent tomber à raison de 75 coups à la minute dans une cuvette de construction spéciale : la poudre est constituée, dans ces conditions, par une infinité de paillettes de quelques millièmes de millimètres d'épaisseur. Il s'agit en somme d'un véritable bocardage de la matière ; pour empêcher le collage des paillettes, on ajoute dans la batterie de pilons une petite quantité de matière grasse ; la poudre est ensuite blutée.

Le classement par finesse peut être fait par l'emploi du vent, le produit le plus fin étant transporté à une plus grande hauteur ; on peut recueillir dans des machines élévatrices des poudres de finesse différentes qui, avant leur emploi, doivent être brillantées à la surface. Cette opération s'effectue dans des brillanteuses composées d'un cylindre horizontal dont l'axe porte des brosses qui appuient sur la surface intérieure du cylindre dans toute sa longueur. Le frottement de ces brosses pendant plusieurs heures donne à la poudre un aspect brillant tout à fait propre à la fabrication des peintures. Il convient d'ajouter que cette opération du brillantage se fait toujours en plein air à cause des dangers d'explosion qui ont parfois causé des accidents très graves. Des expériences récentes ont même prouvé que l'inflammation de cette poudre en suspension dans l'air pouvait être produite par l'étincelle électrique ; il y a là un danger contre lequel il est bon d'être averti.

Ces poudres brillantées et incorporées dans un subs-

tratum liquide séchant et durcissant rapidement à l'air, vernis gras au copal, solution d'acétate ou de nitro-cellulose dans les solvants habituels employés pour dissoudre ces produits, donnent d'excellentes peintures ou vernis métalliques, dont le pouvoir couvrant est parfait en raison de la structure lamellaire de la poudre métallique et qui résistent parfaitement aux variations de température et à l'influence des agents extérieurs. Elles peuvent être employées pour recouvrir les autres métaux, et en particulier la fonte et l'acier qu'elles protègent efficacement de l'oxydation. On se rappelle que les enduits d'acétate de cellulose métallisés à l'aluminium ont été largement employés, pendant la guerre, pour l'enduisage des ailes d'avions.

Ces poudres d'aluminium sont également employées pour la métallisation des écrans cinématographiques, et les projections que vous voyez défiler sous vos yeux apparaissent sur un écran métallisé à l'aluminium par les Établissements Durand et Jacquet : on obtient des images plus chaudes et la luminosité est fortement augmentée.

Enfin, les poudres d'aluminium trouveront probablement un débouché intéressant dans les nouveaux procédés de *calorisation des métaux*, analogues à la shérardisation, qui assurent une protection très efficace à la corrosion des pièces métalliques soumises à de fortes températures.

★
★★

ALLIAGES D'ALUMINIUM. — Depuis longtemps déjà, on a cherché à modifier les propriétés de l'aluminium en y incorporant par fusion d'autres métaux. Les formules d'alliages, dont certaines ont fait l'objet et font

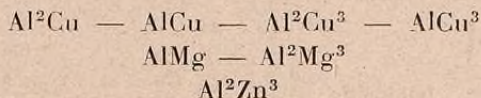
encore journellement l'objet de brevets spéciaux, sont aussi nombreuses que disparates. En général, leurs auteurs ont cherché, en s'efforçant de conserver la légèreté du métal, d'augmenter ses propriétés mécaniques, principalement sa résistance et sa dureté. Beaucoup de ces formules n'ont eu d'applications que dans l'imagination de leurs inventeurs et certaines d'entre elles, d'une composition complexe, ne semblent avoir été obtenues que par le hasard d'une expérience entreprise sans méthode, alors que d'autres fois les alliages étaient affublés d'un nom commercial rappelant celui de l'inventeur ou d'un métal rare que l'on retrouvait rarement à l'analyse.

Il n'en subsiste pas moins que quelques métaux usuels : le cuivre, le zinc, le magnésium, le manganèse, le nickel, alliés en proportions bien définies, permettent de compléter heureusement les qualités de l'aluminium.

La Commission de Standardisation de l'Aluminium a cherché à sanctionner un certain nombre de types d'alliages ayant des caractéristiques et des propriétés bien déterminées et qui pourraient, à l'exemple de ce qui existe déjà pour les bronzes et les laitons, constituer des produits commerciaux devant être livrés avec des garanties de composition et répondant à des usages spéciaux et à des emplois industriels bien définis.

Nous n'en sommes heureusement plus au temps où l'essai des alliages industriels se faisait d'une façon toute empirique. On connaît aujourd'hui leur mode de formation, leur théorie a été parfaitement expliquée et la représentation de leur constitution et de leurs propriétés se fait sous une forme graphique que l'on désigne sous le nom de *diagramme*.

Il m'est impossible d'insister sur un sujet qui demanderait de longs développements : les diagrammes sont des courbes ou un ensemble de courbes limitant les zones dans lesquelles les métaux réagissent l'un sur l'autre et la forme sous laquelle ils réagissent : solution solide lorsqu'un métal reste dessous dans un métal solvant ; mélange lorsque les métaux solubles à l'état solide se séparent au refroidissement avec formation d'un eutectique ; liquation lorsque les deux métaux ne sont solubles, ni à l'état liquide, ni à l'état solide, et combinaison lorsque les deux métaux, réagissant l'un sur l'autre, forment un composé défini répondant à une formule déterminée, comme par exemple :



Une façon tout à fait originale de faire naître ces combinaisons et d'en faire l'observation directe par les méthodes micrographiques qui, comme vous le savez, ont permis le développement de nos connaissances sur les alliages, est ce que l'on désigne sous le nom de *filiation*. Le principe consiste à superposer à l'état fondu, pendant quelques minutes, deux métaux dans l'ordre de leur densité : la diffusion d'un métal dans l'autre permet d'obtenir dans le même lingot toute la série de combinaisons que ces métaux sont susceptibles de former entre eux.

C'est en se basant sur ces théories modernes que les expérimentateurs français, américains et anglais ont étudié les principaux alliages que l'aluminium forme avec le cuivre, le zinc, le magnésium, etc.

Afin de vous présenter sous une forme simple les

compositions de ces principaux alliages, j'ai essayé d'en faire un essai de classification en prenant comme base les caractères dont a tenu compte la Commis-

ALUMINIUM

Lingots	{ 99,5%. Emplois spéciaux industries chimiques
Billetes de tréfilage	{ 99%. Fils et câbles pour l'électricité.
Plaques de laminage	{ 98/99%. Produits industriels laminés et filés. (Tôles, Tubes, Profilés, Poudres et Papiers)

ALLIAGES

Ultra-légers $d = 1,8$	{ Haute teneur en magnésium : $Mg \geq 90\%$ +	{ Al Zn
Légers à résistance moyenne $d < 3,5$ $R < 36$ k.	Fonderie	{ 6 à 12 % Cu 8 % Cu + 4 % Zn 3 Cu + 13 Zn 10 à 20 % Zn
	Laminage	{ 1 à 6 % Cu 2 à 3 % Cu + 1 à 2 % Mn 1 à 2 % Mn 1 à 3 % Ni
	Profilés Barres de décolletage	{ Zn 3 à 10 % Zn 10 à 20 % + 1 % Pb Zn (10 à 20 %) + Mg (5 à 10 %)
	Robinetterie	{ Cu (1 à 2 %) + Mg (1 à 2 %)
Légers à haute résistance $d < 2,9$ $R > 36$ k.	genre duralumin	{ Cu 3 à 5 % Mg 0,5 % Mn 0,5 %
Alliages lourds $d > 3,5$	Cupro-aluminiums	{ Bronze Ste-Claire Deville $Cu_{30} Al_{10}$ — doux $Cu_{88} Al_{8 \text{ à } 9} Mn_{1 \text{ à } 2}$ — dur $Cu_{88} Al_{9 \text{ à } 10} Mn_{1 \text{ à } 2}$
	Laitons à Al	{ doux pour tôles, tubes { $Cu_{67} Zn_{30} Al_3$ dur { $Cu_{61} Zn_{37} Al_{2 \text{ à } 3}$ Laitons { $Cu_{70} Zn_{27} Al_3$ de Froges { $Cu_{66} Zn_{30} Al_4$
	Bronzes à Al	{ (Cu — Sn) + Al 3 à 4 %
	Maillechorts à Al	{ (Cu — Ni) + Al 3 à 4 %

sion de Standardisation dans ses désignations : *Alliages Légers*, ceux dont la densité est inférieure à 3,5 ; *Alliages Lourds*, ceux dont la densité est supérieure à ce chiffre ; *Alliages à Résistance Moyenne*, ceux dont la résistance est inférieure à 36 kilogs par m/m^2 ; et *Alliages à Haute Résistance*, ceux dont la résistance est supérieure à ce chiffre.

★★

Les *alliages ultra-légers* qui figurent en tête de ce tableau sont constitués principalement par un métal également très intéressant dont je ne puis vous dire que quelques mots : le magnésium. C'est un magnifique métal blanc comme l'argent, extrêmement léger, plus léger que l'aluminium (densité 1,75), malléable et ductile, fusible à 650° . On l'obtient par l'électrolyse de son chlorure ; il est fabriqué en France, dans l'usine des Clavaux, en Isère, appartenant à la Société d'Electro-Chimie, dont vous voyez une photographie. De même que l'aluminium, c'est un oxydant extrêmement énergique dont l'introduction en petites quantités dans l'aluminium et dans beaucoup d'autres métaux produit une action purificatrice et améliorante.

Avant la guerre, la Chemisch Fabrik Griesham s'était déjà spécialisée dans la fabrication de ces alliages ultra-légers qu'elle livrait au commerce sous le nom d'elektron. Ces alliages présentent certainement un intérêt en aéronautique et météorologie.

Je suis heureux d'ajouter que les fondeurs bien connus, MM. De Fleury et Labruyère, ont entrepris la fabrication de pièces fondues en magnésium ; ils ont orienté leurs travaux d'une façon très rationnelle qui

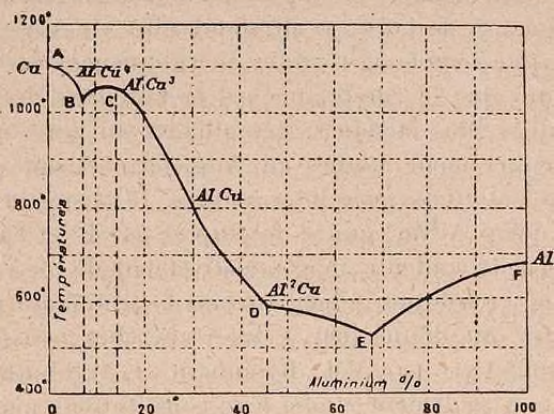
leur a permis d'arriver au minimum de poids et de dimensions par pièces de séries pesant jusqu'à 60 kilogs et utilisées pour les moteurs Bréguet 1.000 HP.

La caractéristique principale de ces alliages est la légèreté ; celui contenant 91 % de magnésium, 6 % de zinc, 2 1/2 % d'aluminium et 0,5 % de manganèse a pour densité 1,83, est fusible à 620°, et donne 24 kilogs de résistance avec 6 à 8 % d'allongement.

Les deux éléments qui agissent le plus activement et qui entrent le plus couramment dans la fabrication des alliages légers sont le cuivre et le zinc ; le premier surtout a un rôle extrêmement important et la constitution des *alliages au cuivre* est aujourd'hui parfaitement connue, grâce aux travaux de Le Châtelier, Carpenter, Edwards et Carry. Si nous examinons le diagramme de ces alliages, nous distinguons trois zones principales : la première concernant des alliages contenant plus de 86 % de cuivre : c'est dans cette zone que sont circonscrits les alliages lourds à haute résistance, les cupro-aluminums ou bronzes d'aluminium dont nous examinerons les propriétés dans un instant ; la deuxième zone comprend les alliages de 86 à 54 % de cuivre correspondant à des métaux fragiles n'offrant aucun intérêt industriel ; et la troisième se réfère aux alliages contenant moins de 54 % de cuivre, dans laquelle la seule partie offrant un intérêt industriel est celle allant de 12 % à 1 % de cuivre, correspondant aux alliages légers employés principalement pour les moulages.

La courbe de fusibilité de ces alliages, établie par Carpenter et Edwards et que vous avez sous les yeux, indique les points de fusion des constituants définis AlCu , Al^2Cu , AlCu^3 et AlCu^4 ; on y voit que les

alliages contenant de 40 à 95 % d'aluminium ont un point de fusion inférieur à celui de ce métal.



Courbe de fusibilité des alliages aluminium-cuivre

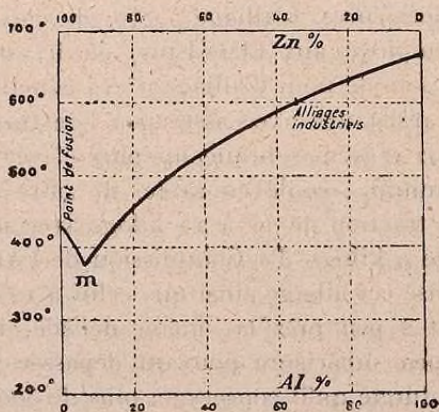
La résistance à la traction, ainsi que la limite élastique et surtout la dureté, augmentent avec la teneur en cuivre, mais l'allongement tombe brusquement à partir de 2 % et s'abaisse ensuite lentement avec des teneurs supérieures. L'alliage à 8 % de cuivre, extrêmement employé aux Etats-Unis, où il est livré au commerce sous le nom d'alliage n° 12 concilie un bon chiffre de résistance avec assez peu de fragilité ; sa densité 2,92 n'est pas beaucoup plus élevée que celle de l'aluminium ; coulé en sable, il offre une résistance à la traction de 11 à 12 kilogs avec une limite élastique de 9 kilogs. La Commission de l'Aluminium a standardisé cet alliage ainsi que celui à 12 % de cuivre offrant à peu près la même densité, une résistance un peu supérieure pouvant dépasser 13 kilogs, et plus de dureté qu'il conserve à plus de 300°.

Au-dessous de 8 % de cuivre, le laminage s'effectue

facilement, et jusqu'à 4 % ces alliages s'étirent également bien. Les alliages à 3 et 4 % de cuivre sont couramment livrés et employés en tôles ou en barres. Celui à 4 % de cuivre a été standardisé en Angleterre.

Le zinc semble agir moins énergiquement sur l'aluminium que le cuivre, mais il le fait dans des limites utiles plus étendues. Les alliages au zinc ont été particulièrement étudiés en Angleterre et ont donné lieu à des études très intéressantes. Il existe un composé défini Al^2Zn^3 qui se décompose à 256° et l'aluminium peut contenir approximativement de 20 à 40 % de zinc en solution solide, suivant la température. Ces alliages ont donné lieu à des recherches poursuivies en Angleterre par MM. Rosenhain et Archbuth qui ont, non seulement étudié leur constitution, mais ont effectué un grand nombre d'essais de chocs et d'efforts alternatifs sur ces alliages moulés et laminés à diverses températures, ainsi que des essais concernant la corrosion de ces métaux.

Les conclusions de ces travaux conduisent à dire



Courbe de fusibilité des alliages aluminium-zinc.

que jusqu'à 30 % le zinc peut être incorporé avec intérêt à l'aluminium ; ce sont des alliages qui fondent à des températures comprises entre 600 et 630°.

La résistance et la limite élastique augmentent régulièrement avec les teneurs en zinc et l'allongement ne s'abaisse rapidement qu'à partir de 15 %. Jusqu'à cette teneur, ces alliages sont d'un usinage facile, ils se moulent aisément, quoique légèrement plus sujets aux criques de retrait que les alliages au cuivre ; ils sont inaltérables à l'air sec. L'alliage à 20 % de zinc a été recommandé ; il a une densité de 3, 5, une résistance de 18 kilogs, une limite élastique de 12 kilogs et un allongement de 7 %. Le ziskon à 25 % de zinc a été préconisé pour la construction d'instruments de précision, et le métal alzinc à 30 % a été recommandé comme métal dur pour remplacer le laiton dans la fabrication d'objets de quincaillerie. Les alliages au zinc semblent moins résistants aux efforts vibratoires que les alliages au cuivre. En vue de diminuer cette fragilité on a été conduit à leur ajouter du cuivre, et un alliage contenant 13 % de zinc et 1 % de cuivre, standardisé en Angleterre sous le nom d'alliage n° 6 l'a été également en France par la Commission de l'Aluminium. La formule de l'alliage macdamite est très voisine de la précédente (15 % de zinc et 3 % de cuivre) et nous avons également standardisé l'alliage à 8 % de cuivre et 4 % de zinc. On peut compter pour ces alliages sur une résistance de 14 à 17 kilogs et une dureté Brinell d'environ 60. Ce sont en somme des alliages extrêmement intéressants qui, lorsqu'ils sont bien préparés, peuvent rendre de grands services.

Sur les conseils de M. Guillet, nous avons été amenés à introduire dans les alliages au zinc, que nous

avons cherché à employer pour le décolletage, à l'exemple de ce qu'il se fait pour les laitons, un léger pourcentage de plomb (1 à 2 %) ; nous avons obtenu, dans ces conditions, un métal se décolletant très facilement, donnant des pièces parfaites, qui a permis sa substitution au laiton, tout particulièrement dans la fabrication de l'appareillage électrique.

Le manganèse semble également un élément durcissant dont l'introduction en petites quantités est tout à fait favorable dans l'aluminium. Il se forme un composé $MnAl^3$ donnant un eutectique avec l'aluminium à 3 à 4 % de manganèse et à 650°, insoluble dans le métal. Ces alliages ont été également étudiés en Angleterre par Rosenhain et Lantsberry qui ont fait de nombreux essais sur les alliages légers de la série aluminium-cuivre-manganèse ; ils ont étudié tout spécialement l'alliage à 2 % de cuivre et 2 % de manganèse et celui à 3 % de cuivre et 1 % de manganèse. Ces alliages donnent de 11 à 18 kilogs selon qu'ils sont coulés en sable ou en coquille, et, laminés à chaud, une moyenne de 25 kilogs avec 15 à 20 % d'allongement. Leur résistance à la corrosion dans l'eau de mer est supérieure à celle de l'aluminium. Il semble du reste, d'une façon générale, que le manganèse tend à diminuer l'attaquabilité des alliages dans lesquels il est introduit, alors que, dans beaucoup de cas, les alliages sont plus attaquables que le métal lui-même. L'industrie automobile américaine emploie couramment de la tôle extra-dure à 1 1/2 % de manganèse, et les arsenaux des Etats-Unis utilisent dans leurs fabrications l'alliage à 2 % de cuivre et 1 1/2 % de manganèse. L'alliage à 1 1/2 % de manganèse a été utilisé en Allemagne pour la frappe des monnaies.

Le *nickel* est également un élément durcissant très actif. Il forme avec l'aluminium un composé NiAl^3 , un eutectique à 7 % de nickel et à 630° , insoluble dans l'aluminium. En pratique, le métal est introduit à la teneur de 2 ou 2 1/2 %, parfois seul et parfois avec un léger pourcentage de cuivre. Toutefois, les alliages au nickel ont semblé plus facilement altérables à l'humidité et aux solutions légèrement acides que le métal pur ou que les alliages au cuivre. L'alliage à 2 1/2 % de nickel a été standardisé en Angleterre.

Le *magnésium* (dont nous avons déjà parlé) est également un élément extrêmement intéressant; sa grande affinité pour l'oxygène en fait un désoxydant parfait des métaux usuels (cuivre, bronzes, laitons, etc.) Il forme avec l'aluminium un composé Al^3Mg^4 fusible à 465° , donnant un eutectique avec l'aluminium à 453° et 35 % de magnésium. On a désigné sous le nom de *magnalium* toute une série d'alliages à teneurs variables pouvant aller jusqu'à 30 % de magnésium, intéressants par leur faible densité, leur belle couleur blanche, leur facilité de moulage. Jusqu'à 6 % ils peuvent être laminés; au-dessus de cette teneur, leur dureté augmente ainsi que leur fragilité, mais l'aptitude au polissage devient de plus en plus grande.

Sous le nom de *zimalium* on a proposé l'alliage contenant 6 % de magnésium et 20 % de zinc, plus dur et plus facile à travailler que l'aluminium, avec une résistance double et un poids spécifique de 2,6.

Nous avons trouvé dans les alliages jusqu'à 2 % de cuivre et 2 % de magnésium un excellent métal pour pièces légères soumises à des pressions hydrauliques que nous avons utilisé pour la fabrication des robinets que vous avez sous les yeux. A une teneur de

30 % et plus de magnésium, ces alliages prennent un très beau poli et ont été préconisés comme métaux à miroirs.

L'influence du magnésium, évidente à toutes les proportions, en fait un élément non seulement intéressant pour l'amélioration que son introduction produit dans l'aluminium, sinon parce qu'il lui confère également la propriété de prendre la trempe dans certaines conditions et d'obtenir toute une série d'alliages classés sous le nom d'*Alliages Légers à Haute Résistance* ; leur densité ne dépasse pas 2,9 et ils doivent avoir une résistance minima d'au moins 36 kilogs, chiffre adopté par la Commission de Standardisation.

L'un d'eux, bien connu depuis l'application qu'il a reçue dans les constructions aéronautiques pendant la guerre, sous le nom de *duralumin*, contient de 3 à 5 % de cuivre, 1/2 % de magnésium et 1/2 % de manganèse. Il fond à 650°, résiste bien à l'eau de mer et aux solutions acides étendues ; il est susceptible de durcir par la trempe et de prendre, lorsqu'il est suivi d'un écrouissage à froid, le maximum de dureté. Chauffé à 475° et trempé dans l'eau on obtient une résistance qui, chose tout à fait curieuse, augmente pendant plusieurs jours à la température ordinaire ; ce phénomène, que l'on a désigné sous le nom de vieillissement, permet d'atteindre une résistance de 38 kgs par m/m² en conservant un allongement de 20 %. C'est un exemple rare de modification apportée par le temps aux propriétés d'un métal trempé.

Des travaux récents poursuivis en Angleterre et simultanément en France par M. Guillet ont éclairé le mécanisme de la trempe de cet alliage. Ces essais

semblent montrer que le magnésium est un élément amplificateur de la trempe que peuvent prendre les alliages d'aluminium avec le cuivre ou avec d'autres éléments. Il semble que la trempe de ces alliages produit le maintien de l'état stable à température élevée et que la dureté est acquise par un revenu qui peut se produire à la température ordinaire, mais dont la vitesse est augmentée par une élévation ne dépassant pas 200° ; il existe donc entre le mécanisme de la trempe de ces alliages et celle des aciers un parallélisme frappant mis en relief par le savant professeur du Conservatoire des Arts et Métiers.

Il y a là une orientation toute nouvelle et si les essais en cours apportent une confirmation définitive aux premiers résultats acquis, la découverte du duralumin n'aura été qu'un cas particulier d'un phénomène qui permet d'envisager pour l'aluminium une évolution de la même envergure que celle que les aciers ont réalisée à l'égard du fer.

Tout le monde connaît les applications du duralumin dans les constructions aéronautiques. Les Allemands l'ont utilisé pour la construction de leurs fameux Zeppelins et les poutrelles et croisillons dont nous avons eu l'occasion d'analyser des échantillons étaient constitués par un métal contenant 4 % de cuivre, $1/2$ % de magnésium et $1/2$ % de manganèse, donnant 40 kilogs de résistance à la traction. Il constitue une matière excellente pour la fabrication de tôles, tubes, barres et pièces forgées. On peut le souder à lui-même de la même manière que l'aluminium pur, mais il est préférable de faire les constructions en duralumin par rivetage ou par tout autre procédé mécanique.

Je ne vous parlerai pas des alliages dont de nombreuses formules ont été et sont chaque jour publiées et dans lesquelles entrent des métaux courants ou rares, vulgaires ou précieux : chrome, tungstène, vanadium, molybdène, étain, cadmium, or, argent ou platine. Ces formules n'ont pas donné lieu à des applications importantes ; il y a là un champ d'investigation qui doit être exploré méthodiquement et nous avons déjà préparé quelques alliages intéressants avec ces métaux.

Je n'insisterai pas non plus sur l'alliage d'aluminium avec le fameux glucinium qui revient périodiquement dans la presse semi-scientifique allemande ou américaine, avec des chiffres de résistance et des caractéristiques mécaniques, alors que l'on est, pour préparer le glucinium, à peu près au point où en était resté Wohler dans la préparation de l'aluminium.

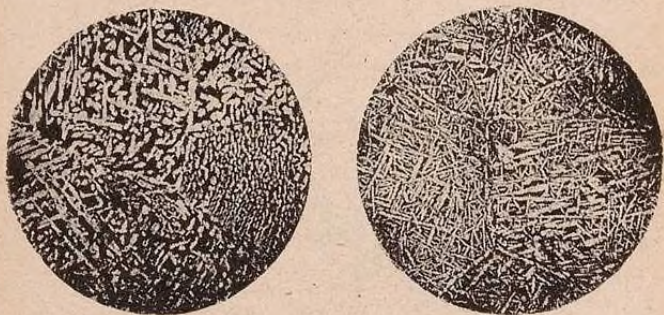
♦♦

Dans la série des *alliages lourds*, c'est-à-dire celle correspondant aux alliages dans lesquels le métal principal n'est plus l'aluminium, mais où il n'existe au contraire qu'en proportions minimales (10 % environ dans les cupro-aluminums et moins encore dans les laitons et les bronzes à l'aluminium), nous trouvons en premier lieu les produits désignés sous le nom de *Bronzes d'aluminium*. Nous conserverons cette désignation qui date du jour où leurs remarquables qualités ont été mises en évidence par les travaux de Sainte-Claire Deville. On pourrait les appeler en toute justice « Bronzes Français » ; l'application que vient d'en faire l'Administration des Monnaies en les adop-

tant pour la frappe des pièces divisionnaires est un hommage rendu à la mémoire du savant qui, il y a plus d'un demi-siècle, en a montré les qualités et en a prévu les emplois, comme il l'avait fait pour l'aluminium.

Toutes les propriétés de ce métal ont été, en effet, signalées par Sainte-Claire Deville ; elles sont remarquables et si l'on peut s'étonner que cet alliage n'ait pas été vulgarisé sur une plus vaste échelle, c'est que sa fabrication offre certaines difficultés ; coulé avec certaines précautions, on l'obtient sans inclusions alumineuses et permettant d'avoir ce poli admirable qui en fait particulièrement sa valeur.

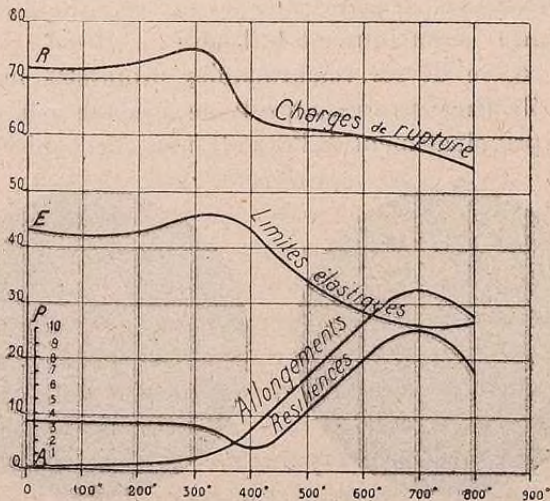
Dans son ouvrage sur l'aluminium, publié en l'année 1859, Sainte-Claire Deville, dit, en fin du chapitre concernant les bronzes d'aluminium : « J'ai cru devoir insister sur les propriétés de cet alliage parce qu'elles m'ont paru présenter les caractéristiques d'une substance éminemment utilisable ». Il est certain qu'en outre de ses remarquables propriétés mécaniques, il offre une résistance toute spéciale à la corrosion, principalement à l'eau de mer, ce qui l'a fait



*Micrographies du bronze d'aluminium 90/10 à l'état naturel
et après trempe et revenu à 700°*

employer par l'Amirauté anglaise pour la construction des hélices. Poli, il prend un brillant magnifique comparable à celui des aciers durs qui se conserve sans altération à l'air, et chauffé, il ne prend qu'une très légère coloration sans oxydation profonde, comme le font presque tous les alliages au cuivre. Cette inoxydabilité aux températures élevées permet de le forger et de le travailler à chaud, et c'est dans ces conditions qu'il possède la remarquable propriété de prendre la trempe à partir de 550° jusqu'à 900° ; si cette trempe à $8-900^{\circ}$ est suivie d'un revenu de 650° , on obtient, comme vous le voyez par les micrographies, une normalisation des éléments caractérisée par l'obtention d'une extrême division des constituants.

Il y a là une analogie frappante entre les propriétés de ce métal et les conditions de refroidissement des aciers. La courbe indique que c'est au voisinage de



Caractéristiques mécaniques du bronze d'aluminium 90/10 en fonction du revenu après trempe à 900° .

700° que le revenu fournit un métal offrant les caractéristiques les plus intéressantes ; charge de rupture d'environ 60 kilogs, allongement de plus de 30 %, limite élastique supérieure à 30 kilogs avec un maximum de résilience atteignant 10 kilogrammètres ; ce sont des caractéristiques analogues à celle de l'acier Bessemer de Suède.

L'examen des micrographies indique comme constitution intime de cet alliage des grains fins d'un constituant dur enrobé dans une masse plastique ; c'est une structure qui correspond à celle des métaux anti-frictions ; aussi peut-on employer cet alliage pour la construction des coussinets avec des épaisseurs moindres que celles des alliages généralement utilisés, ou simplement garnir d'une couche mince de bronze d'aluminium des coussinets en fonte ou en acier.

Une légère modification de la teneur en aluminium ou son remplacement par un autre métal : fer, manganèse, nickel, etc., fournit une gamme de produits qui, tout en conservant les qualités du bronze à 10 %, peuvent offrir, par des traitements thermiques appropriés, des propriétés spéciales : les alliages à 8 et 9 % d'aluminium, par exemple, traités thermiquement, sont malléables à froid, ce qui en a permis l'adoption pour la frappe des monnaies divisionnaires et comme vous pouvez le voir par ce fragment de tube écrasé, à la presse sans présenter la moindre crique.

Ces alliages peuvent également se souder par brasure ou par soudure autogène ; ils sont anti-magnétiques et leur résistivité huit fois plus grande que celle du cuivre qui, en outre, augmente avec la température, permet d'envisager leur emploi pour la construction d'appareils de chauffage électrique. C'est

donc, comme vous le voyez, des métaux tout à fait intéressants dont les principales propriétés : forgéabilité, inoxydabilité, résistance à l'usure et au frottement, laissent entrevoir de nombreux emplois industriels, ce qui a permis à M. Le Chatelier de dire que « l'on aurait intérêt à employer le bronze d'aluminium dans un grand nombre de pièces de machines exigeant une précision plus grande, et pour la conservation desquelles la rouille, dans le cas de l'acier, est un obstacle sérieux ».

Je n'insisterai pas sur les autres alliages lourds d'aluminium. D'une façon générale, l'introduction d'une petite quantité d'aluminium dans les laitons, les bronzes, les maillechorts, a été reconnue très favorable. Depuis longtemps on désigne sous le nom de Laiton de Froges un laiton à 70 % de cuivre, 27 % de zinc et contenant 3 % d'aluminium, et c'est généralement à cette teneur de 3 à 4 % que son introduction est favorable dans les laitons, les bronzes ou les maillechorts.

Le nombre des formules d'alliages lourds dont on a cherché à améliorer la qualité par l'introduction d'aluminium est considérable et cela s'explique, si l'on considère qu'aux propriétés indéniablement épuratrices de l'aluminium s'ajoutent ses qualités améliorantes.

Cet examen rapide des principales formules d'alliages d'aluminium vous convaincra que l'industrie dispose d'un nombre très suffisant de formules pour satisfaire les besoins de l'ingénieur et du constructeur. C'est tout spécialement en ce qui concerne les alliages légers qu'il y a lieu de continuer les recherches, car nous avons là un champ énorme d'ap-

plications que nous allons passer rapidement en revue ; mais auparavant, il nous faut voir quels sont les moyens dont nous disposons pour réaliser les constructions, c'est-à-dire pour réunir et assembler le métal pur ou ses alliages, et en constituer des charpentes ou du matériel de chaudronnerie.

★★

PROCÉDÉS DE JONCTIONNEMENT. — Le *jonctionnement* des tôles et profilés peut se faire par des procédés analogues à ceux employés pour les autres métaux : rivetage, agrafage, soudage, cette dernière opération pouvant s'effectuer :

1° Au moyen d'une soudure ou brasure qui devient plastique ou liquide par la chaleur et dont les constituants sont capables de s'allier avec les métaux à joindre ;

2° Par chauffage et martelage autogène du métal suivant le procédé Héraüs

3° Par fusion autogène dans laquelle les deux parties étant chauffées à fusion, un métal liquide de même nature est coulé entre les surfaces.

En ce qui concerne cette importante question de la *soudure de l'aluminium*, il faut bien distinguer s'il s'agit d'alliages industriels ou d'aluminium pur. La confusion existe toujours dans les nombreuses formules et les brevets non moins nombreux qui ont été pris ou qui le sont encore journellement. Nous ne saurions mieux, pour la mettre au point, que de citer quelques lignes publiées dans la *Revue de la Chambre Syndicale de la Soudure autogène*, au mois de novembre dernier : « Des centaines de brevets ont été pris concernant les compositions destinées à souder l'aluminium

et nous ne croyons à aucune véritable nouveauté en cette matière. Ces alliages offrent quelque intérêt pour boucher les soufflures ou pour réparer les cassures qui n'affectent pas la solidité de la pièce : leur emploi est analogue à celui des mastics que l'on vend pour boucher les soufflures ou faire disparaître les criques superficielles des pièces de fonte ; ce sont généralement des collages constitués par adhérence sur l'aluminium de ces alliages à base d'étain qui constituent le produit. »

Aux Etats-Unis, où le nombre de formules de soudures d'aluminium est au moins, si non plus considérable qu'en France, une étude très documentée en a été faite par le « Bureau of Standards ». Toutes les formules examinées étaient constituées par des métaux d'apport dont les deux principaux sont le zinc et l'étain. Il semble du reste inutile d'y introduire d'autres métaux et les conclusions de l'étude américaine sont que les formules ayant donné les meilleurs résultats sont celles qui correspondent aux compositions suivantes : zinc : 15 à 50 %, le reste étant de l'étain, ou zinc : 8 à 15 %, aluminium : 5 à 12 %, le reste étant de l'étain.

Une petite quantité d'aluminium dans la soudure contribue à augmenter sa résistance. Tous ces produits s'emploient de la même façon : sur la pièce parfaitement dégraissée et nettoyée à la lime ou à la râpe, on applique le métal fondu et on laisse refroidir aussi lentement que possible.

Il ne nous appartient pas de citer aucune des nombreuses marques commerciales que nous avons examinées ; leurs qualités dépendent de la pureté des métaux employés et des soins spéciaux apportés à la confec-

tion de l'alliage. Nous devons reconnaître que certains produits nous ont semblé avoir des qualités très supérieures à d'autres similaires, et nous jugeons que ces soudures ou brasures sont susceptibles de rendre des services indéniables dans certains cas.

En ce qui concerne la soudure de l'aluminium pur, la seule solution donnant toutes les garanties de sécurité est la *soudure autogène*.

Tout ce que je pourrai vous dire concernant cette question ne sera que d'un ordre très général : il s'agit là d'un art dont le résultat dépend non seulement du mode opératoire, mais encore de l'habileté professionnelle de l'ouvrier. On conçoit, en effet, que la soudure autogène de l'aluminium soit très différente de celle du fer et de l'acier et que, de même que les excellents ouvriers chaudronniers habitués à travailler le cuivre sont incapables de travailler l'aluminium sans un apprentissage préalable, les soudeurs autogènes en fer sont également incapables de réaliser immédiatement la soudure de l'aluminium, les premiers parce qu'ils sont habitués à travailler un métal plus dur, et les seconds parce que, habitués à fondre un métal beaucoup moins fusible, surchauffent les pièces et les percent invariablement.

J'attire l'attention de tous ceux que l'avenir de l'aluminium intéresse sur l'importance des soudures pour la construction du matériel dont nous nous efforçons de développer les emplois dans la brasserie et dans les industries chimiques. Nous avons été appelés à constater de très grandes différences dans la résistance des soudures à l'action des liquides, différences qui semblaient résulter uniquement du travail d'exécution de ces soudures.



Il est tout à fait désirable que les industriels trouvent de bons soudeurs autogènes pour l'aluminium, et c'est pourquoi nous ne pouvons qu'applaudir la décision prise par la Chambre syndicale de la Soudure Autogène, d'organiser des cours pratiques de soudure de l'aluminium.

Les obstacles qui se sont présentés pour réaliser la soudure autogène de l'aluminium sont : son point de fusion peu élevé, son grand coefficient de dilatation et surtout la formation superficielle d'une pellicule d'alumine infusible aussitôt que le métal est chauffé ou fondu à l'air. Il faut donc tenir compte de ces trois facteurs : le premier constitue l'art du chaudronnier en aluminium, le second exige l'emploi de chalumeaux spéciaux, et le troisième l'emploi d'un flux décapant, c'est-à-dire d'un fondant assurant la destruction de l'alumine par dissolution ou formation de composés faciles à éliminer à la surface du métal.

Un grand nombre de substances ont été proposées et les formules généralement adoptées se rapprochent de celle indiquée par l'Union de la Soudure Autogène : mélange de 15 % de chlorure de lithium, 45 % de chlorure de potassium, 30 % de chlorure de sodium, 7 % de fluorure de potassium et 3 % de bisulfate de potasse.

Le flux décapant que l'on trouve dans le commerce, préparé par les Etablissements Odam avec toutes les garanties désirables de soin et de pureté, et qui sont eux-mêmes spécialisés dans les travaux de chaudronnerie d'aluminium, s'emploie généralement en imprégnant l'extrémité de la tige du métal d'apport. Celui-ci est généralement constitué par un fil d'aluminium

pur (nous insistons sur la nécessité de prendre du métal pur) ; au moment où commence la fusion des bords du métal à souder on laisse tomber le métal d'apport fondu, de manière à former un seul bain de fusion avec le métal des pièces à réunir. Il est indispensable que le métal soit parfaitement gratté à vif, et pour les pièces épaisses, il est nécessaire de prévoir un chanfrein de quelques millimètres d'épaisseur dans lequel le métal d'apport est fondu.

Il faut obtenir une pénétration complète de la soudure qui doit présenter un aspect régulier sous la forme d'une bande recouvrant les bords du métal, sans épaisseur exagérée. Après refroidissement lent, la pièce soudée est énergiquement brossée sous l'eau courante, de manière à éliminer les sels qui produiraient, par la suite, une corrosion du métal ; on peut ensuite marteler la pièce à froid, la recuire légèrement si l'on veut faire disparaître l'écrouissage, la gratter et la sabler. Dans ces conditions, une soudure bien exécutée constitue un jonctionnement parfait, homogène et infusible, présentant exactement les mêmes qualités que le métal initial et par conséquent les mêmes conditions de résistance et de durée.

Un certain nombre d'établissements industriels de Paris et des départements se sont spécialisés dans la fabrication de la chaudronnerie en aluminium ; ils sont en mesure de livrer à l'industrie les appareils de toutes formes, toutes dimensions et de toutes capacités dont vous pouvez voir des spécimens dont l'exécution ne laisse rien à désirer. Les Etablissements Girel et Odam vont exécuter devant vous quelques essais de soudure.

La *soudure électrique*, qui a fait dans ces derniers

temps de rapides progrès et qui s'est développée pour la soudure du fer et de l'acier, a été essayée également pour l'aluminium. Elle présente l'avantage d'être très rapide et son seul inconvénient est d'exiger une installation et des machines coûteuses ; mais il est incontestable que pour la soudure des pièces en séries, elle offre des avantages tout à fait intéressants. En principe, les machines à résistance établissent une pression des pièces l'une contre l'autre au moment même où passe un courant intense susceptible de fondre du métal et par conséquent d'en assurer le jonctionnement parfait.

L'emploi de ces machines est extrêmement simple : les pièces à souder sont maintenues dans la position voulue sur l'électrode inférieure ; l'opérateur appuie sur la pédale, ce qui abaisse l'électrode supérieure jusqu'à ce qu'elle vienne en contact, créant ainsi une source calorifique intense au point de contact : une pression un peu plus forte coupe à ce moment le circuit et comprime les métaux chauffés, réalisant ainsi une soudure parfaite.

En ce qui concerne l'aluminium, la haute conductibilité calorifique du métal est un inconvénient pour l'application de ce procédé et l'on n'a pu l'employer jusqu'à ce jour que pour des tôles de faible épaisseur. La soudure électrique peut également s'employer pour jonctionner en bout des fils de fer, d'acier, de cuivre, de laiton, etc. ; nous l'avons fait essayer également avec des fils d'aluminium et nous avons obtenu d'excellents résultats : des fils soudés essayés à la traction ont généralement cassé en dehors de la soudure. La Société « La Soudure Electrique » va réaliser devant vous quelques-unes de ces soudures.

Il me reste maintenant à insister sur certaines propriétés de l'aluminium tout à fait intéressantes, à voir quel est le matériel le plus approprié pour la préparation des alliages que nous avons étudiés, et, pour terminer, voir quels sont les moyens que nous avons à notre disposition pour les protéger des actions nocives de certains agents extérieurs et en permettre les applications dans tous les cas que réclame l'industrie.

Une des propriétés principales de l'aluminium est sa grande affinité pour l'oxygène ; nous avons vu que la poudre d'aluminium finement divisée était susceptible de s'enflammer spontanément par simple frottement ; si nous favorisons cette oxydation en mettant le métal en contact avec une substance oxydante, nous aurons une combustion instantanée et une transformation immédiate de la masse métallique en alumine avec un développement de chaleur considérable : 7.000 calories par kilog de métal.

Cette affinité spéciale de l'aluminium pour l'oxygène est, comme nous le verrons tout à l'heure, une des difficultés qui se présente dans la refonte du métal et de ses alliages ; mais, à côté de cela, elle permet d'en faire un agent tout à fait intéressant pour d'autres opérations. Les principales sont les applications d'ordre métallurgique dans lesquelles les propriétés réductrices de l'aluminium sont utilisées pour l'*affinage des fontes et des aciers*. Introduit dans de la fonte liquide, il déplace son carbone sous forme de graphite et lui donne un grain serré et plus homogène. La chaleur dégagée au moment de son oxydation augmente la température, provoque une émulsion rapide dans la

masse et un entraînement dans les scories de l'alumine insoluble. Pour les aciers, la proportion d'aluminium, variable suivant leurs qualités et leurs emplois, est d'environ 150 à 300 grammes par tonne de métal ; de l'aluminium en grains de diverses grosseurs est spécialement préparé pour cet usage.

Le haut pouvoir réducteur de l'aluminium, joint à la quantité de chaleur considérable dégagée par la réaction, a permis de l'utiliser pratiquement pour la réduction d'un grand nombre d'oxydes réfractaires et la préparation des métaux correspondants. Ce sont les *méthodes alumino-thermiques* appliquées spécialement à la préparation des métaux dits réfractaires (chrome, molybdène, titane, manganèse, vanadium) et des ferro-alliages.

Cette réaction a permis également de réaliser la soudure du fer et de l'acier, et vous la voyez exécuter journellement dans les rues de Paris pour la soudure des rails des lignes de tramways.

Due à Goldschmidt, la méthode alumino-thermique consiste à mélanger l'aluminium avec l'oxyde à réduire : ce mélange est introduit dans un creuset en matières réfractaires garni intérieurement d'un enduit à base de magnésie ; sur le mélange, on place une poudre d'allumage, généralement aluminium et bioxyde de baryum, à laquelle on communique le feu par un fragment de ruban de magnésium. La masse entre en fusion : on peut à ce moment rajouter des quantités successives de mélange d'aluminium et des oxydes à réduire qui sont rapidement fondus à une température de plus de 1500°. Si on laisse refroidir la masse, on obtient un culot métallique formé par le métal pur recouvert d'une scorie alumineuse fondue

qui constitue un genre de corindon artificiel. Cette méthode a l'avantage de permettre l'obtention de métaux réfractaires extrêmement purs ; on obtient de cette façon du chrome, du manganèse à moins de 1 % de fer, des ferro-chrome, ferro-tungstène, ferro-vanadium et ferro-molybdène.

Les Etablissements Delachaux, spécialisés dans la préparation des métaux purs par l'alumino-thermie et qui livrent couramment au commerce des mélanges alumino-thermiques pour la soudure et la réparation des pièces métalliques, vont réaliser devant vous une opération alumino-thermique qui vous permettra de vous rendre compte de ces procédés.

★ ★

REFONTE DE L'ALUMINIUM. — Cette grande oxydabilité de l'aluminium est, comme vous le voyez, la base d'emplois extrêmement intéressants et importants ; elle est malheureusement une source de difficultés pour d'autres applications. Nous avons vu que c'était elle qui s'opposait à la soudure avec des métaux d'apport ; c'est elle qui oblige également le fondeur d'aluminium à apporter des soins spéciaux dans ses opérations, soins sans lesquels on obtient des produits défectueux qui ont été la cause de reproches injustifiés à l'égard de ce métal ou de ses alliages.

La *refonte de l'aluminium* est une opération extrêmement importante, car elle est indispensable pour obtenir des pièces moulées dont les applications augmentent journellement. Ce métal acquiert, lorsqu'il est bien fondu, une fluidité parfaite qui lui permet d'atteindre les profondeurs des moules les plus com-

pliqués et d'obtenir directement des pièces dont les surfaces n'ont presque pas besoin de retouches.

En principe, l'art du fondeur d'aluminium consiste à éviter, autant que possible, la formation d'oxydes qui s'incorporent facilement dans le métal et produisent dans les pièces fondues des inclusions dont l'influence se fait sentir sur les propriétés physiques et mécaniques. D'un autre côté, le métal fondu offre une structure cristalline et la dimension des cristaux se traduit par une finesse du grain qui a également une influence sur les qualités du métal.



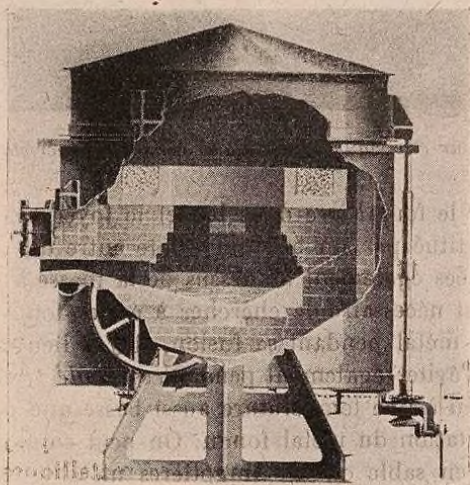
Aluminium coulé en sable. Grossissement 40 diamètres.

Il est donc nécessaire d'éviter toute surchauffe de l'aluminium, surchauffe qui, en outre d'une oxydation désastreuse, est susceptible de donner lieu à des phénomènes de carburation ou d'azoturation et à des

dissolutions de gaz qui, par la suite, peuvent être la cause de soufflures qui apparaissent au laminage.

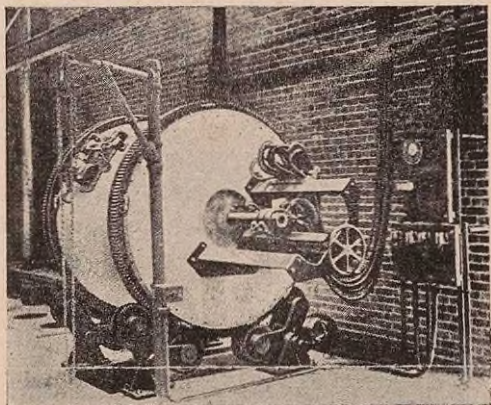
En principe, tous les fours peuvent être employés pour la refonte de l'aluminium ; pour des petites quantités, fours à creusets, fours potagers, en employant de préférence des creusets en plombagine afin d'éviter toute introduction de silicium dans le métal ; pour de grandes quantités, fours à réverbère permettant de fondre des charges de plusieurs tonnes, comme ceux en usage à l'usine de l'Aluminium Français à Chambéry.

On a essayé l'emploi de *fours électriques* pour refondre l'aluminium. Ces appareils tendent à se généraliser de plus en plus dans la métallurgie pour la refonte des laitons ; ils évitent les pertes de zinc par volatilisation et procurent, de ce fait, une économie.



Four électrique à résistance, système Baileys.

Les fours électriques en service aux Etats-Unis pour la fusion des métaux non ferreux, dont le nombre dépasse un millier, peuvent se rapporter à deux types : le four à résistance, dans lequel la chaleur est produite par une masse résistante placée au-dessus du métal à fondre et qui est échauffée par le passage du cou-



Four électrique rotatif à arc, système Rennerfeldt.

rant, et le four à arc dans lequel le foyer calorifique est constitué par un arc qui éclate entre des électrodes placées également au-dessus de la masse à fondre.

S'il est nécessaire de chercher à éviter toute oxydation du métal pendant sa fusion, il y a lieu de chercher à l'éviter également pendant sa *coulée* ; elle doit avoir lieu à une température aussi basse que possible, sans agitation du métal fondu. On peut employer des moules en sable ou des lingotières métalliques, coulée en coquille, comme on l'appelle, qui a l'avantage

de fournir un métal à grains fins présentant une constitution dentritique et plus résistant.

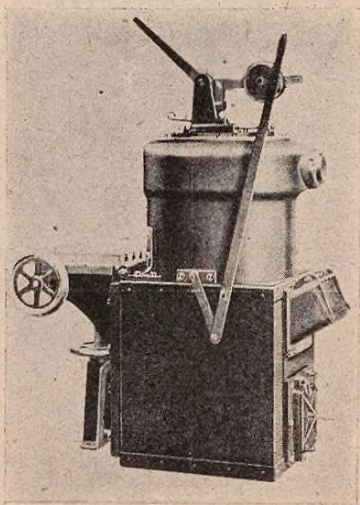


*Aluminium coulé en coquille.
Grossissement 40 diamètres.*

La conception et la construction des coquilles métalliques est également un point extrêmement important dans l'art du fondeur ; il faut tenir compte de la nécessité du déplacement rapide de la coquille après la coulée et du retrait important du métal pouvant atteindre 18 m/m. par mètre.

Une amélioration peut être apportée par l'application du procédé de *coulée sous pression*. Dans ce procédé, généralisé aux Etats-Unis, et applicable à tous les métaux fusibles à basse température, le métal est introduit sous pression dans les moules métalliques, soit au moyen d'une pompe à piston, soit au moyen d'air comprimé. Les moulages obtenus sont

rigoureusement exacts et absolument exempts d'irrégularités. Le métal a une texture plus fine, sa densité est légèrement augmentée (2,87 contre 2,84) et sa résistance mécanique plus élevée. La précision



Machine "Idéal" type A. I. pour la coulée sous pression.

que l'on peut atteindre par ce procédé permet de diminuer les épaisseurs des pièces moulées ; on coule par ce procédé des pièces de machines de précision, des pièces de moteur, et en particulier des pistons. Sous sa forme la plus simple, le moulage sous pression est opéré dans des machines du genre linotype, le métal étant envoyé dans les moules sous l'action d'un piston qui plonge dans le récipient où l'alliage

est fondu. La machine « Ideal » que vous avez sous les yeux, construite en Suisse, est une machine de ce type, et la pièce que vous voyez contenant six noyaux, a été fondue avec cette machine, à raison de 50 pièces par heure et par ouvrier.

L'emploi de l'air comprimé comme moyen de pression a donné également d'excellents résultats : il offre le mérite de la simplicité, puisque sur un creuset fermé d'une façon parfaitement étanche et relié à un réservoir d'air comprimé, il suffit de la manœuvre d'un robinet pour soumettre le métal à une pression considérable qui le force à remplir toutes les interstices des coquilles les plus compliquées. On peut arriver ainsi à produire de 200 à 250 pièces à l'heure. La machine Doehler employée aux Etats-Unis, est basée sur ce principe.

★★

Les objets manufacturés étant obtenus, soit à l'état fondu par les procédés de coulée dont je viens de vous parler, soit par matriçage, estampage ou emboutissage, il y a souvent lieu d'en nettoyer les surfaces afin de faire disparaître certaines irrégularités, de leur donner un aspect mat ou une coloration uniforme, en un mot, d'en rendre l'aspect extérieur plus séduisant.

Comme moyens de *décapage*, nous pouvons utiliser l'action de certains réactifs. J'en profite immédiatement pour vous rappeler les principales propriétés de l'aluminium au point de vue chimique : très sensible à l'action des alcalis : potasse, soude ou carbonates alcalins dans lesquels il peut même se dissoudre complètement. C'est pourquoi l'on recommande de ne pas

employer ces substances pour le nettoyage des appareils culinaires. Fortement attaqué par l'acide chlorhydrique pur ou dilué, il l'est très lentement par l'acide sulfurique et reste insensible à l'action de l'acide nitrique pur ; c'est ce qui a permis de l'utiliser sur une très vaste échelle pour la fabrication de cet acide pendant la guerre, dont les besoins, comme vous le savez, ont été considérables.

Il est intéressant de remarquer que les corps qui, lorsqu'ils sont hydratés attaquent l'aluminium très énergiquement, sont absolument sans action sur lui lorsqu'ils sont anhydres : SO^2 — SO^3 — Cl — Hcl — acide acétique, gaz ammoniac AzH_3 .

Sensible également à l'action de certains sels, chlorures alcalins, par exemple, il l'est également à l'action de certains composés métalliques : sels de cuivre, sels de plomb, et tout particulièrement aux composés du mercure : c'est là le métal qu'il ne faut jamais mettre en contact avec l'aluminium. Des traces de mercure ou d'un composé mercuriel suffisent pour amener sa destruction rapide en présence d'eau ; si nous agissons énergiquement ou si nous frottons une lame l'aluminium avec un peu de mercure, cette lame introduite dans l'eau produira immédiatement sa décomposition avec un violent dégagement d'hydrogène et transformation complète du métal en alumine. L'aluminium est *activé*, comme nous disons. Ce phénomène se produit même à l'air : il suffit de déposer sur une feuille d'aluminium un peu d'une solution, même très étendue, d'un sel de mercure, pour voir apparaître à sa surface, après quelques instants, une couche abondante d'alumine extrêmement ténue qui forme à la surface du métal une végétation blan-

châtre que l'on voit se former et pousser rapidement.

Il y a là un procédé simple pour reconnaître si un métal est de l'aluminium pur ou un de ses alliages : en effet, de petites quantités (moins de 1 %) d'un métal étranger (cuivre, zinc, manganèse, etc.) empêchent complètement cette réaction de se produire. On peut, de cette façon, faire un essai à la touche, comme le font les bijoutiers pour reconnaître si un métal jaune est de l'or, du cuivre ou un alliage.

Certaines particularités chimiques de l'aluminium activé par le mercure ont été signalés par M. Kohn-Abrest, notamment la propriété de précipiter complètement et rapidement les matières tanniques et pectiques et de les séparer facilement des matières cristalloïdes ; cette propriété est susceptible d'emplois intéressants dans les laboratoires et dans l'industrie.

★ ★

PROCÉDÉS DE RECOUVREMENT. — Il nous reste à voir rapidement quels sont les moyens que nous avons à notre disposition pour assurer la conservation, dans les conditions les plus favorables, des objets en aluminium obtenus par moulage ou emboutissage. Pour tous les métaux industriels, on a recherché depuis très longtemps des *moyens de protection* : on en a trouvé heureusement d'excellents et sans eux, le métal le plus commun, le fer, aurait vu ses emplois bien restreints. Il ne faut pas être plus exigeant pour l'aluminium que pour les autres métaux, et ce qu'il y a lieu de retenir, ce sont les meilleurs procédés permettant d'en rendre l'application possible dans presque tous les cas.

Nous nous sommes occupés tout spécialement de

cette question et les résultats que nous avons obtenus nous permettent de dire qu'elle est complètement résolue. Si l'on veut conserver au métal sa surface brillante obtenue par polissage, on pourra appliquer des *verniss transparents* : si l'on introduit dans ces mêmes vernis des matières colorantes solubles, on obtiendra des tons colorés du plus joli effet. Si l'on veut, au contraire, recouvrir des surfaces mates avec un enduit protecteur et coloré, on pourra employer des *peintures* ; la seule précaution, dans ces conditions, est, afin d'obtenir une adhérence parfaite, de nettoyer la surface métallique à la ponce pulvérisée, de frotter légèrement avec un chiffon imprégné d'essence de térébenthine et d'étendre la peinture aussitôt après. Les autobus de Paris vous offrent le meilleur exemple de cette application : le panneauage extérieur de ces voitures est en aluminium recouvert de peinture.

Toutefois, les vernis au copal et les peintures ordinaires susceptibles de résister aux agents extérieurs, pluie, humidité, etc., n'assurent pas toujours une protection efficace contre les liquides salins, l'eau de mer, et les solutions acides ou alcalines employées dans certaines industries. Nous pouvons employer, dans ce cas, les nitro et les acéto-celluloses qui, dissous dans certains solvants, donnent des enduits d'une solidité dont les meilleures preuves ont été données pendant la guerre ; c'est en effet avec ces produits que nous enduisions les ailes entoilées des avions pour en assurer la rigidité et l'imperméabilité ; ces produits peuvent s'appliquer, soit au pinceau, soit à l'aérographe : ils peuvent être transparents ou colorés et ils sont d'une résistance à l'eau tout à fait remarquable.

Nous pouvons obtenir un véritable *émaillage* des surfaces d'aluminium en employant des vernis à base de bakélytes : ce sont des résines synthétiques obtenues par polymérisation des phénols, solubles dans certains solvants qui fournissent, comme vous le voyez, des surfaces émaillées d'un poli et d'un brillant remarquables résistantes à la chaleur, à l'humidité et aux solutions acides ou légèrement alcalines.

Un autre procédé qui nous a donné également les meilleurs résultats, résistant bien aux solutions acides ou alcalines froides ou chaudes, est le *laquage* par l'emploi de la laque indo-chinoise. Il s'agit là d'une application toute nouvelle que nous avons eu également occasion d'étudier pendant la guerre pour le recouvrement et l'imperméabilisation des hélices d'avions. La laque indo-chinoise, que l'on récolte en très grandes quantités au Tonkin, est le latex obtenu par incision du *Rhus succedanea* ou arbre à laque. C'est une matière crémeuse, d'aspect blanchâtre, que l'on étend sur les surfaces au moyen de pinceaux plats (au Tonkin, ces pinceaux sont faits avec des cheveux de Chinois). Le séchage s'opère en exposant les objets à une température assez élevée dans une atmosphère humide. Sous l'influence d'un phénomène biologique, dont le mécanisme a été étudié par le professeur Bertrand, à l'Institut Pasteur, il se produit au bout de peu de temps un durcissement de la matière qui constitue un recouvrement tout à fait remarquable. En effet, la laque participe à la déformation de la matière sous-jacente tout en conservant sa dureté et son élasticité; on peut marteler l'objet, le déformer, le soumettre à l'action des liquides chauds ou froids, acides ou alcalins, le revêtement reste intact. J'ajoute que les émaux

bakélites et les laques sont d'excellents isolants, ce qui peut rendre leur emploi précieux en électricité.

A la suite des essais faits pendant la guerre et des excellents résultats obtenus sur les hélices de nos avions, une Société Coloniale, établie à Paris, a entrepris le laquage industriel et est en mesure de laquer des objets de toutes dimensions. Je dois ajouter que les liquides organiques, les boissons fermentées, vin, bière, etc., se conservent parfaitement et indéfiniment sans aucune altération dans des récipients en aluminium laqués ou bakélisés.

Nous avons enfin le recouvrement par un autre métal par voie galvanique : il s'agit là des opérations d'*argenture*, *dorure*, *cuvrage* ou *nickelage*. Pendant longtemps ces opérations ont passé pour irréalisables sur l'aluminium. Elles ne le sont nullement, et aujourd'hui elles sont exécutées journellement ; la seule difficulté est d'assurer une adhérence parfaite entre le métal déposé et l'aluminium. La légère pellicule d'alumine qui existe toujours et qui se forme immédiatement sur le métal nuit à cette adhérence, il faut donc l'enlever avec soin, éviter qu'elle ne se reforme et introduire immédiatement la pièce d'aluminium dans le bain galvanique.

L'opération préalable du décapage doit donc être faite avec le plus grand soin ; elle peut être réalisée chimiquement, comme dans le procédé Canac, avec de la soude, ou par un moyen mécanique : sablage énergique de la pièce, comme l'ont réalisé dernièrement MM. Guillet et Gasnier.

Le recouvrement métallique sur l'aluminium peut également être réalisé par le *procédé de Schoop*, exploité par la Société de *Métallisation*. Ce procédé

consiste à fondre un fil de métal et à pulvériser le métal fondu par un violent courant d'air ; dans ces conditions, il se forme un brouillard métallique dont les gouttelettes sont projetées sur les surfaces à métalliser avec une violence qui transforme la force vive en chaleur, les rend fluide, de sorte que ces particules se soudent les unes aux autres en formant une couche adhérente. L'emploi du pistolet Schoop permet de recouvrir l'aluminium de zinc, d'étain, de plomb, de cuivre, de laiton, de bronze, etc., ou réciproquement d'appliquer une couche d'aluminium sur l'un de ces métaux.

Il est curieux de remarquer que le phénomène de détente qui se produit à la sortie de l'appareil amène un refroidissement suffisant pour permettre de recouvrir de métal du bois, du carton, du papier, du verre, etc. La Société de Métallisation a bien voulu réaliser devant vous quelques essais qui vous en montreront toute l'élégance.

★★

APPLICATIONS. — Quelques mots pour terminer sur les *applications générales de l'aluminium*. Une d'entre elles, très importante, est son *emploi en électricité*. Il faudrait une séance entière pour traiter ce sujet. Je me bornerai donc (en vous rappelant que la densité du cuivre étant de 8,9 et celle de l'aluminium de 2,7) à vous dire que la résistivité électrique (r) de

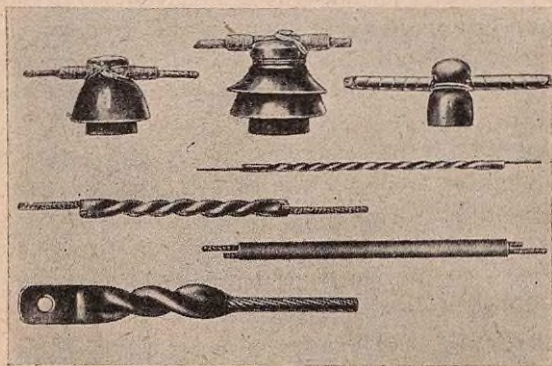
(1) La résistivité à 20 degrés centigrades de l'aluminium commercial recuit sera au plus égale à 2,89 microhms-centimètre (ohm international).

Pour l'aluminium écroui, on comptera sur une résistivité de 2 p. 100 plus élevée.

Le mesure de la résistivité se fera toujours sur des échantillons préalablement recuits. La tolérance sera de 1 p. 100.

On prendra pour coefficient de température à 20 degrés

l'aluminium, égale à 2,89 microhms centimètres, correspond à 60 % de celle du cuivre. Si l'on établit les rapports des poids de ces métaux à celui de ces conductibilités, on trouve que les conducteurs d'aluminium ne pèsent que la moitié des conducteurs de cuivre, à égalité de conductibilité.



Joints et connections des câbles en aluminium

Les conditions d'emploi des conducteurs d'électricité en aluminium ont fait l'objet d'une série d'études de la part de l'Union des Syndicats de l'Electricité, et ont donné lieu à des rapports indiquant les conditions d'emploi du métal. Je vous ai indiqué les qualités du métal que l'on emploie pour la fabrication des

la valeur de 0,0039, de sorte que la résistivité à t degrés centigrade sera :

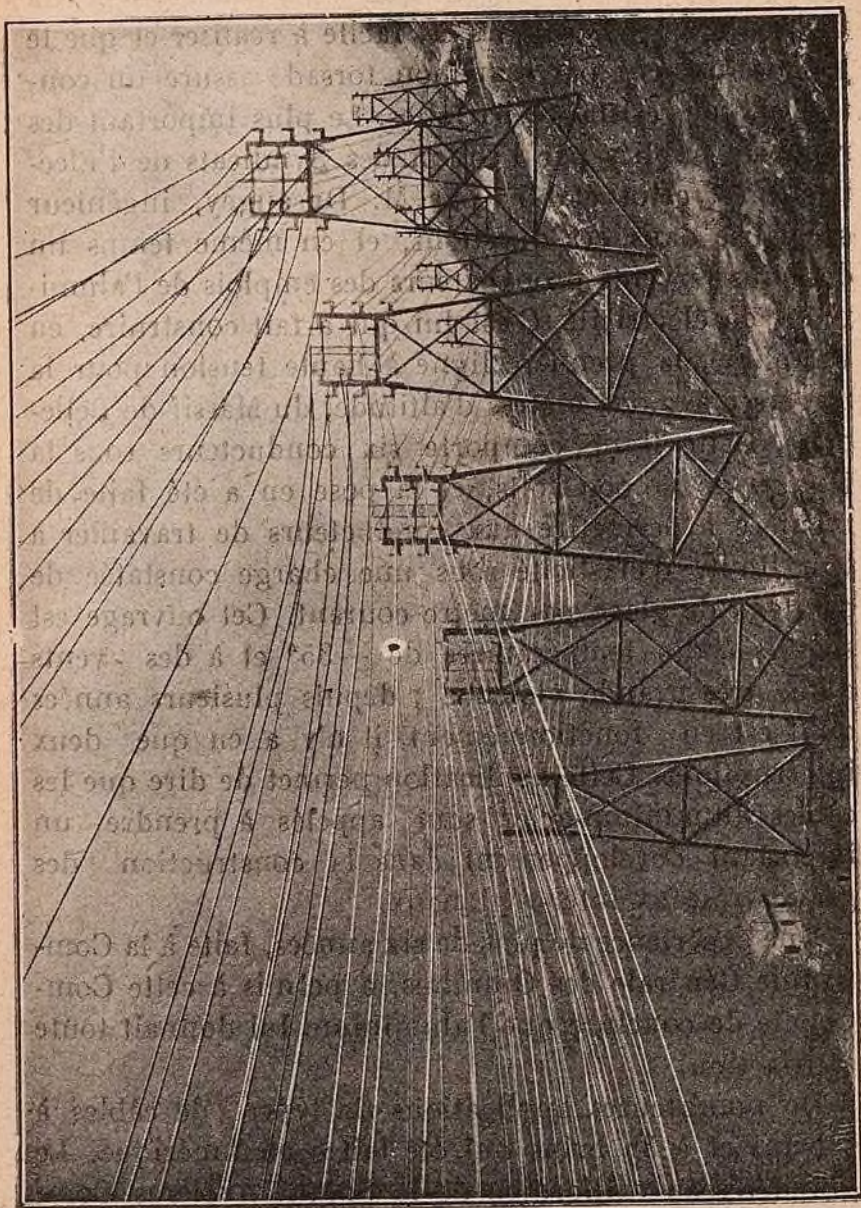
$$R_t = 2,89 [1 + 0,0039 (t - 20)]$$

Extrait du Cahier des Charges pour la fourniture des conducteurs d'électricité en aluminium de la Commission de Standardisation.)

fils et câbles : vous voyez que les connexions et la fixation sur les isolateurs est facile à réaliser et que le jonctionnement par manchon torsadé assure un contact et une résistance parfaites. Le plus important des rapports publiés par l'Union des Syndicats de l'Électricité est celui établi par M. Dusaughey, ingénieur spécialisé dans ces questions, et en même temps un des plus fervents propagateurs des emplois de l'aluminium en électricité. C'est lui qui a fait construire, en Dauphiné, la première ligne à haute tension pour la traversée à 2.000 mètres d'altitude, du Massif de Belledone. Cette ligne comporte six conducteurs sous la tension de 60.000 volts, et la pose en a été faite de manière à permettre aux conducteurs de travailler à leur limite d'élasticité sous une charge constatée de 9 kilogs de glace par mètre courant. Cet ouvrage est soumis à des températures de -35° et à des vents d'une très grande violence ; depuis plusieurs années qu'il est en fonctionnement, il n'y a eu que deux interruptions. Cette application permet de dire que les câbles aluminium-acier sont appelés à prendre un important développement dans la construction des grands réseaux inter-régionaux.

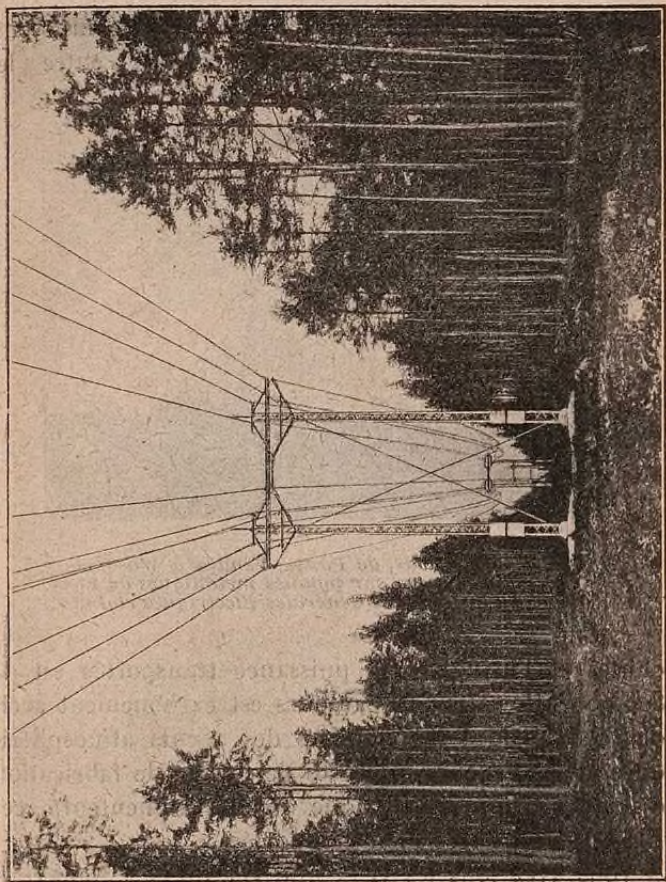
Une expérience de plus de six années, faite à la Compagnie Générale des Omnibus, a permis à cette Compagnie de conclure que l'aluminium lui donnait toute satisfaction.

De nombreuses applications de types de câbles à 7 brins et à 37 brins ont été faites en Amérique. Le grand réseau californien de la Southern Sieras Company est établi en câbles aluminium-acier sur 600 kilomètres et fonctionne, partie à 55.000 volts et partie à 140.000 volts. La Pacific Light and Power Corpora-



Lignes en aluminium à Rjukanfos (Norvège).
60 conducteurs pour courant triphasé 10.000 volts.
Puissance transmise : 150.000 kw.

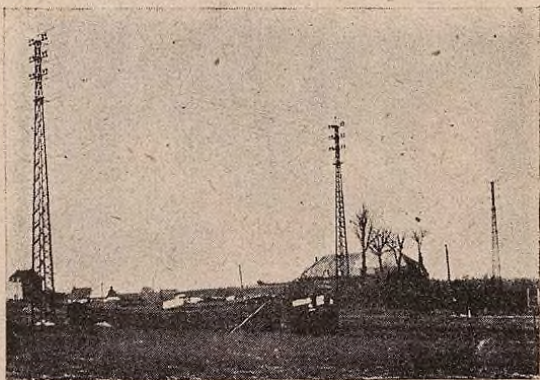
tion a adopté, pour son réseau californien, sur les deux lignes Big-Creek à Los-Angeles, des câbles aluminium-acier d'une longueur de 400 kilomètres fonc-



*Lignes en aluminium de l'Uddeholm C^o (Suède).
Portées normales : 220 mètres*

tionnant sous 150.000 volts. En Pensylvanie, les lignes qui alimentent Baltimore sont des câbles d'aluminium à 19 torons.

En Norvège les usines de Rjukanfos utilisent des lignes remarquables par le grand nombre et la forte section des câbles en aluminium qui les composent. On a établi une vingtaine de circuits entre les



Ligne à 45.000 volts, de Pont-à-Vendin à Wasquehal traversant le canal sur pylônes métalliques de 27 m. (Société d'Entreprises Générales Electriques et Industrielles.)

chutes et l'usine, et la puissance transportée est de 800.000 kilowatts : le parcours est extrêmement accidenté et malgré les rigueurs des agents atmosphériques et les vapeurs nitreuses de l'usine de fabrication d'acide nitrique synthétique qu'elles alimentent, ces lignes se sont très bien comportées.

Vous avez sous les yeux une vue de la « New-York Edison Company », une vue de la ligne qui traverse le canal de Welland dans la province d'Ontario, au

Canada, une vue des pylônes supportant les conducteurs de la « Uddeholm Company », en Suède, offrant des portées de 700 pieds et des vues de la ligne à 45.000 volts à 6 conducteurs sur poteaux en ciment et pylônes métalliques de Pont-à-Vendin à Wasquehall construite tout dernièrement par la Société d'Entreprises Générales Electriques à Paris.

Leur emploi est donc aujourd'hui sanctionné par la pratique, et dans l'établissement des nombreuses lignes électriques qu'il y a lieu de rétablir dans les régions dévastées, ainsi que dans la réalisation du problème de la mise en valeur de notre richesse hydraulique et l'électrification de nos réseaux, l'aluminium est appelé à rendre les plus grands services.

★★

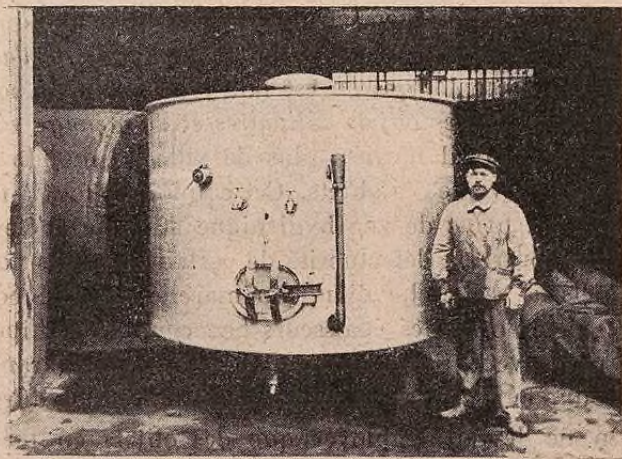
Le temps ne me permet plus de vous dire que quelques mots concernant les *autres applications de l'aluminium*. L'emploi qui en est fait journellement pour la fabrication des *objets culinaires et de ménage* vous est connu, car il n'existe plus de ville au monde où l'on ne trouve de ces objets. Cet emploi est tout à fait justifié au point de vue hygiénique et je ne m'élèverai que contre la défectuosité de certains articles pour lesquels la recherche d'un bon marché exagéré conduit à employer des épaisseurs beaucoup trop minces qui ne peuvent, par conséquent, offrir aucune garantie de bonne cuisson des aliments, de solidité et de durée.

On ne devrait employer que des objets en métal fondu ou obtenus par emboutissage dans de la tôle d'une épaisseur d'au moins 1 m/m $1/2$ à 2 m/m . Les qualités physiques du métal permettent d'obtenir des

objets de poids et de dimensions considérables ; vous pouvez voir une marmite de 50 litres, faisant partie de l'arsenal culinaire des paquebots des Messageries Maritimes, obtenue à la Manufacture de Tournus, par emboutissage d'un disque de tôle de 5 m/m d'épaisseur et de un mètre de diamètre.

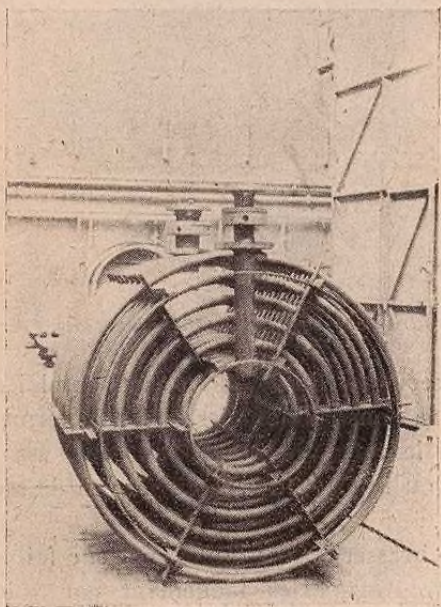
Les *emplois de l'aluminium dans l'Aéronautique* vous sont bien connus : sans ce métal, les dirigeables n'auraient jamais pu être construits et l'avion entièrement métallique qui doit certainement, dans un avenir rapproché, remplacer l'avion en bois entoilé, ne pourra l'être que par l'emploi de l'aluminium ou plutôt de ses composés à haute résistance, dont je vous ai parlé.

Dans l'industrie automobile, ce n'est pas simple-



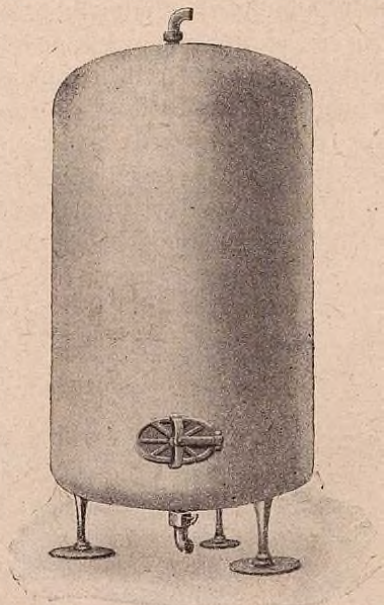
Cuve de fermentation en aluminium, de 120 hectolitres, en tôle d'aluminium de 7 m/m (diamètre 3 mètres, hauteur 1 m. 60).

ment dans le moteur que l'aluminium est appelé à jouer un rôle important, sinon dans la construction des organes en mouvement à faibles inerties, bielles motrices, poulies, afin, comme l'ont montré MM. De Fleury et Labruyère, en diminuant les chocs et vibrations, d'augmenter les vitesses et le rendement. On a introduit également le métal dans la construction du véhicule : vous avez sous les yeux une voiture construite en Angleterre, et vous avez pu voir dans la cour de cet Etablissement une automobile construite par assemblage de panneaux fondus dans les ateliers Montupet.



*Serpentin en aluminium à 6 enroulements.
longueur totale développée 360 mètres,
(Etablissements Girel.)*

Enfin, et pour terminer, c'est dans le domaine des *industries chimiques*, des *industries de fermentation* et de distillation que l'aluminium est appelé à rendre

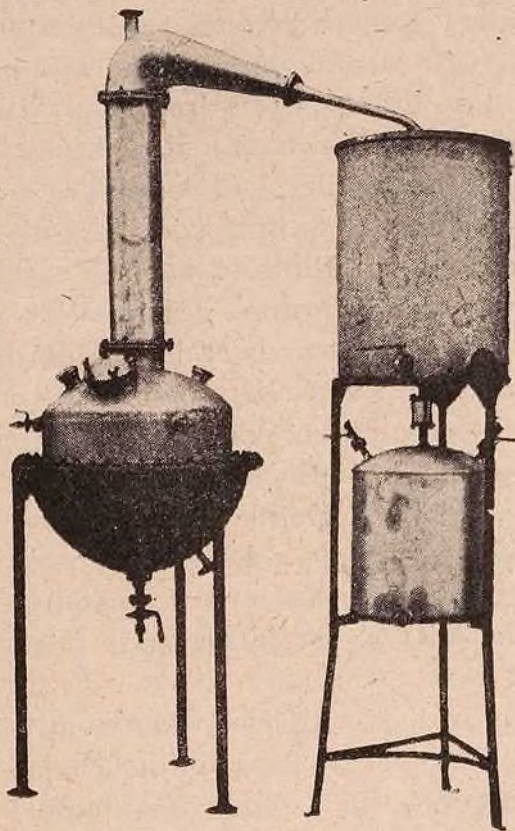


Foudre pour canetterie (15 à 20 hectos).

de grands services. En *brasserie*, son emploi se généralise pour la construction des cuves de fermentation, cuves dont le refroidissement peut être assuré extérieurement ou intérieurement au moyen de serpentins métalliques.

Tanks de brasserie : ces tanks, vu leur faible poids, peuvent être transportés facilement par voie ferrée et leur installation se fait avec toute facilité dans les caves aménagées à cet effet.

On peut également construire des wagons-réservoirs pour le transport des liquides neutres, comme vous le voyez par le modèle réduit que vous avez sous les yeux construit par les Etablissements Girel.



*Appareil pour la distillation des essences.
(Etablissements Odam.)*

De l'étude systématique que nous avons faite pour répondre en toute connaissance de cause à des demandes relatives à l'emploi de l'aluminium pour la construction de matériel, je me bornerai à vous énumérer quelques-unes des industries dans lesquelles ce métal a donné toute satisfaction : en premier lieu, son

emploi s'impose pour tout matériel soumis aux émanations sulfureuses, ce métal étant complètement insensible à ce produit. Il peut être utilisé pour les appareils et la tuyauterie dans les usines de fabrication d'acide nitrique synthétique, appareils pour l'extraction des huiles et corps gras au moyen de dissolvants (benzine, éther, sulfure de carbone, acétone, etc.), déshuilage des chiffons, récupération et filtration des huiles usagées, hydrogénation des huiles, industrie des suifs et de la stéarine, fabrication des margarines, glycérides, oléines, etc., industrie des colles et gélatines, des cires et paraffines, des encres et cirages, des couleurs, vernis et peintures, des matières plastiques et colorantes, du caoutchouc et de la gutta-percha, de la soie artificielle ; appareils pour l'extraction des alcaloïdes, des essences, et pour la fabrication des parfums et produits de synthèse, matériel pour la distillation des phénols, la rectification et le transport des huiles minérales, des pétroles, des benzols, matériel de laiterie (ramassage, pasteurisation, transport et distribution du lait) et de fromagerie, fabrication du lactose, etc., etc.

Cette liste, bien incomplète, vous montre le champ immense des emplois de l'aluminium, et je ne saurais mieux terminer qu'en rendant hommage à la mémoire de Sainte-Claire Deville qui, avec une clairvoyance admirable, avait su prévoir l'avenir réservé au métal dont il venait d'industrialiser la préparation.

Tels sont les points principaux concernant les applications de l'aluminium sur lesquels je désirais appeler votre attention. Je n'ai fait que les effleurer ; il y

aurait certes bien d'autres choses à dire. J'espère toutefois que vous aurez entrevu l'importance des emplois de ce métal. Dans l'ordre scientifique, il nous réserve encore des surprises, et dans l'ordre industriel, nous n'en sommes plus heureusement au temps où, en quelques lignes, ses propriétés étaient indiquées dans les programmes d'enseignement : il figure maintenant à côté des métaux industriels ; le haut enseignement s'y intéresse, et je suis également certain qu'ici même, l'éminent professeur de métallurgie du Conservatoire des Arts et Métiers a su réserver une place importante dans son enseignement à la Métallurgie de l'Aluminium et de ses alliages.

Je suis heureux de signaler à ceux que peut intéresser le sujet que je viens de traiter bien rapidement qu'ils pourront se documenter beaucoup plus complètement pendant l'Exposition de l'Aluminium, organisée sous les auspices de la Société d'Encouragement, qui aura lieu à la fin du mois de mai prochain : nous y réunirons tout ce qui se rapporte à la métallurgie de l'Aluminium, du Magnésium, du Calcium et du Sodium, aux points de vue historique, métallurgique et des emplois industriels de ces métaux. Des conférenciers, choisis parmi les professeurs et les industriels spécialisés dans ces questions, vous donneront des détails qui compléteront un sujet dont je me suis efforcé de vous faire entrevoir l'importance.

D'autre part, la Direction du Conservatoire des Arts et Métiers veut bien réserver, au milieu des riches collections qui constituent l'Histoire des Sciences et des Arts de notre pays, une section dans laquelle sera installé, à titre permanent, tout ce qui concerne l'aluminium et ses composés.

Il me reste à vous remercier de la bienveillance avec laquelle vous avez bien voulu m'écouter. Mon seul désir a été de vous intéresser en vous entretenant d'un produit dont la nature a pourvu généreusement notre sol à proximité des réserves de houille blanche, facteur principal d'une industrie nationale qui contribuera certainement, pour tous ceux qui ont foi en l'avenir de la France, à son relèvement économique.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Avant-Propos	5
Historique et Fabrication. — Matières premières : bauxites-alumine-cryolithe ; production et consommation.	7
Produits industriels et manufacturés ; tôles, tubes, profilés, fils et câbles, poudres et papiers. — Emboutissage, estampage, découpage et décolletage. — La standardisation appliquée aux produits de l'aluminium	18
Alliages d'aluminium : alliages ultra-légers, alliages légers à moyenne et à haute résistance, alliages lourds, bronzes d'aluminium	35
Procédés de jonctionnement. — Soudures : soudure autogène, soudure électrique	53
Principales propriétés : Affinage des fontes et aciers ; méthodes alumino-thermiques	59
Refonte de l'aluminium ; fusion électrique ; procédés de coulée	61
Procédés de recouvrement : peintures et vernis, émaillage et laquage, dorure, argenture, cuivrage et nickelage, métallisation	69
L'avenir de l'aluminium : ses applications en électricité, en aéronautique, dans la marine, dans l'industrie automobile et dans les industries chimiques	79



ÉCOL

C

Présic
de l
Vice-Pr
teu

MM. C

I

I

I

I

I

I

É

L'E
seme
amph
lista
oplica
74.00
L'E
prenc
partie

É

É

Édi

I. B
ion.
V. C
. Bi

ÉCOLE SPÉCIALE DES TRAVAUX PUBLICS, DU BATIMENT ET DE L'INDUSTRIE

Reconnue par l'État. — Décret du 5 février 1921

Rue Du Sommerard, rue Thénard et boulevard Saint-Germain, Paris (5^e)

CONSEIL DE PERFECTIONNEMENT

Président : M. CLAYVILLE, inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, sénateur de la Dordogne, ancien ministre des Travaux Publics et des Transports.

Vice-Président : M. KLEINE, inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, directeur honoraire de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Membres :

MM. CORBIER, président de la Chambre Syndicale des Forces hydrauliques.

RATEAU, membre de l'Institut, ancien professeur à l'Ecole Nationale des Mines, Industriel.

BLONDEL, membre de l'Institut, Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

RECHNIEWSKY, Ingénieur, administrateur de la Compagnie Française Thomson-Houston.

PHILIPPE-FOUGEROLLE, ancien président du Syndicat des Entrepreneurs de Travaux Publics, membre du Conseil Supérieur des Travaux Publics.

DUFOUR, Ingénieur-Constructeur.

MM. AUBURTIN, architecte en chef des Bâtiments civils et des Palais Nationaux, membre du Conseil supérieur des Bâtiments civils.

Lieutenant-colonel ESPITALIER, ancien professeur du cours de construction à l'Ecole d'Application de Fontainebleau.

VERDIN, Ingénieur-Constructeur, président de l'Association Amicale des Anciens Elèves.

Général GAGES, ancien directeur des Ateliers de Construction de Bourges.

LÉON EYROLLES, Ingénieur, directeur de l'Ecole.

ETÈVE, ingénieur des Ponts et Chaussées, directeur-adjoint de l'Ecole.

ÉCOLE DE PLEIN EXERCICE (EXTERNAT ET MAISON DE FAMILLE)

L'Ecole de plein exercice (Enseignement sur place) comprend deux établissements ayant un rôle distinct : à Paris, 3, rue Thénard, se trouvent les amphithéâtres des Cours et le siège de l'Administration ; à Arcueil-Cachan, distant de quelques minutes de Paris, fonctionne la plus vaste Ecole d'Application d'Ingénieurs existant en France et qui ne couvre pas moins de 74.000 mètres carrés.

L'Ecole de plein exercice fréquentée chaque année par 900 élèves, comprend trois grandes écoles bien distinctes, ayant chacune un enseignement particulier conduisant aux diplômes supérieurs ci-après :

ÉCOLE SUPÉRIEURE DES TRAVAUX PUBLICS

Diplôme d'Ingénieur des Travaux publics

ÉCOLE SUPÉRIEURE DU BATIMENT

Diplôme d'Ingénieur-Architecte

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE MÉCANIQUE

ET D'ÉLECTRICITÉ

Diplôme d'Ingénieur-Electricien

LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

(Édition d'ouvrages techniques de premier ordre)

- I. Encyclopédie industrielle et commerciale. — II. Le livre de la Profession. — III. Collection des monographies industrielles et commerciales. — IV. Cours et conférences du Conservatoire national des Arts et Métiers. — V. Bibliothèque des Annales et Ouvrages de l'Administration des P. T. T.

Catalogue gratuit sur demande

LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

LÉON EYROLLES, Éditeur

3, rue Thénard, Paris (V^e)

CONFÉRENCES

*faites au Conservatoire National des Arts et Métiers
éditées et mises en vente*

PREMIÈRE SÉRIE (1920)

1. **Les Métallurgies.** — M. LÉON GUILLET, professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers et à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures. Prix..... 1 fr. 50

2. **L'Aviation.** — M. R. SOREAU, professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers, vice-président de l'Aéro-Club de France. Prix..... 1 franc

3. **Les recherches scientifiques et industrielles et les inventions.** — M. J.-L. BRETON, député, directeur des recherches scientifiques et industrielles et des inventions. Prix..... 2 francs

4. **L'évolution du matériel d'artillerie.** — M. le lieutenant-colonel RIMAILHO. Prix..... 2 fr. 50

5. **Les chars d'assaut. — Leur rôle sur le champ de bataille. — Leur utilisation dans les travaux de la paix.** — M. le général ESTIENNE. Prix..... 2 fr. 50

6. **Le Service géographique de l'armée pendant la guerre.** — M. le général BOURGEOIS, membre de l'Institut, directeur honoraire du Service géographique de l'armée. Prix..... 2 fr. 50

7. **De la fabrication des poudres et explosifs.** — M. LHEURE, ancien directeur du Service des poudres. Prix..... 2 francs

8. **Les radio-éléments et leurs applications.** — M^{me} CURIE, professeur à la Sorbonne. Prix..... 1 fr. 50

9. **La chimie de guerre. Les gaz de combat.** — M. MOUREU, membre de l'Institut, professeur au Collège de France. Prix..... 1 fr. 50

10. **Le rôle du laboratoire d'usine.** — M. ALBERT PORTEVIN, maître de conférences à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures. Prix..... 2 fr. 50

11. **Les industries chimiques.** — M. FLEURENT, professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers. Prix..... 1 fr. 50

DEUXIÈME SÉRIE (1921)

1. **La main-d'œuvre agricole pendant et après la guerre.** — M. SOUTCHON, professeur à la Faculté de Droit, membre de l'Institut.

2. **L'aide des colonies au relèvement de l'industrie nationale.** — M. JEAN DYBOWSKI, membre de l'Académie d'agriculture.

3. **Les moteurs à combustion.** — M. DROSNE, ingénieur en chef aux Etablissements Schneider.

4. **Les richesses économiques de l'Alsace et de la Lorraine.** — M. LEBRUN, sénateur de Meurthe-et-Moselle, ancien ministre.

5. **Les chemins de fer pendant et après la guerre.** — M. PESCHAUD, secrétaire général de la Compagnie d'Orléans.

6. **L'utilisation du combustible dans la métallurgie.** — M. DE LOISY, ingénieur civil des Mines.

7. **La Roumanie nouvelle.** — M. DE MARTONNE, professeur à la Sorbonne.

8. **Les banques d'émission et la guerre.** — M. RIST, professeur à la Faculté de Droit.

9. **L'aluminium (emplois industriels du métal et de ses principaux alliages).** — M. GUÉRIN, ingénieur, chef des laboratoires de l'Aluminium français.

10. **Le commerce extérieur de la France depuis l'armistice.** — M. EDGARD ALIX, professeur à la Faculté de Droit.

11. **La valorisation du travail humain (applications aux reconstructions des régions dévastées).** — M. PAUL RAZOVS, commissaire contrôleur au Ministère du Travail.

Prix de chaque conférence :
1 fr. 50 à 2 fr. 50