

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 50 (1924)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Sur la charge limite admissible de rouleaux en contact avec des chemins de roulement plans: étude expérimentale  
**Autor:** Dumas, A. / Ros, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-39074>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 13.07.2025

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

## Sur la charge limite admissible de rouleaux en contact avec des chemins de roulement plans.

### Etude expérimentale

par A. DUMAS, Professeur à l'Université de Lausanne,  
Chef du Laboratoire d'Essais de matériaux.

#### AVANT-PROPOS

Quand on calcule les rouleaux des appuis mobiles des ponts, rouleaux qui sont en contact avec des plaques de roulement planes, pour une même charge appliquée à ces rouleaux et une même tension spécifique du métal qui les constitue, on trouve des diamètres très différents suivant que l'on utilise la formule de Culmann-Tetmajer, celle de Hertz ou celle de Barkhausen.

Par exemple, pour une charge de 3 tonnes par cm. de longueur de rouleau et une tension spécifique maximale admissible de  $5 \text{ t/cm}^2$ , on trouve comme diamètre de rouleau, d'après Hertz : 920 mm., d'après Barkhausen : 127 mm. et d'après Culmann-Tetmajer : 93 mm.

Ce fait a engagé la Commission technique de l'Association des constructeurs suisses de ponts et charpentes métalliques à élaborer un rapport préliminaire sur cette question (Commission technique, Groupe 6, M. Ros *Spannungsverteilung und Formänderung von zwei sphärisch gekrümmten, durch eine Auflast aufeinandergedrückten Körpern*, Baden 1921) et à faire exécuter ensuite des essais au Laboratoire d'essais de matériaux de l'Université de Lausanne. Commission technique. A. Dumas « Sur les déformations et pressions spécifiques dans la région du contact de sphères et de cylindres avec des plans », Lausanne 1922, 1923, 1924.

Lorsque les réactions d'appui sont grandes, on utilise, en pratique, plusieurs rouleaux de petit diamètre de préférence à un seul rouleau plus gros. On économise ainsi du métal et l'on évite de construire des appuis trop hauts. Mais dans ce cas de plusieurs rouleaux qui forment un appui hyperstatique, les défauts de la mauvaise répartition des charges sont particulièrement sensibles.

Les variations de diamètres des rouleaux sous l'action des charges et les déformations de ces rouleaux et des plaques d'appui par flexion sont si faibles que les défauts de dressage des rouleaux et des plaques d'appui sont d'un ordre de grandeur qui les dépasse de beaucoup. Il en résulte que certains des rouleaux sont surchargés et qu'ils opposent alors une grande résistance au roulement. Par exemple, le frottement de roulement dans les rouleaux de l'appui mobile du viaduc de la Sitter (Ligne du Toggenburg au lac de Constance), rouleaux qui sont chargés très excentriquement, atteint la valeur considérable du 9 % de la réaction verticale d'appui (Commission technique. M. Ros « Ueber die Ursachen der Bewegungen der steinernen Pfeiler des Sitterviaduktes der Bodensee-Toggenburgbahn », Baden 1924).

On estime que l'emploi de plusieurs rouleaux est utile

pour la sécurité. Mais en réalité, il n'y a que quelques rouleaux, deux le plus souvent, qui portent. Il en résulte des surcharges inattendues et nuisibles (efforts secondaires élevés, fentes dans la maçonnerie).

L'étude scientifique de la question des charges admissibles sur les rouleaux de ponts et de celle des frottements dans les appuis mobiles faits en aciers de diverses nuances et de diverses duretés apportera une contribution utile pour la construction rationnelle de ces appuis et pour l'emploi de matériaux bien appropriés au but à atteindre.

Au point de vue économique, cette étude aura une importance décisive pour les grands ponts ainsi que pour les appuis mobiles des vannes des grands barrages.

M. Ros.

#### Introduction.

Les roulements sont des mécanismes bien connus dont l'emploi se généralise de plus en plus en construction. Les roulements à billes notamment ont atteint un degré de perfection très élevé et leurs caractéristiques sont, dans une certaine mesure, assez bien connues. Mais il est un autre type de roulement d'une importance considérable et qui est relativement mal connu au point de vue des charges admissibles, c'est le roulement à rouleau, dans lequel un cylindre ou rouleau roule entre deux chemins de roulement plans ou cylindriques. Des nombreux types de roulements à rouleaux, nous n'en retiendrons qu'un seul, à savoir celui que l'on rencontre dans la construction des ponts métalliques et dont la disposition est connue : Pour permettre le libre jeu des allongements et raccourcissements de la charpente d'un pont, l'une des extrémités repose sur un roulement à cylindre tandis que l'autre extrémité est fixe.

Le problème que nous nous sommes proposé de résoudre expérimentalement est alors le suivant :

1<sup>o</sup> Quelle est la charge limite que l'on peut faire agir sur un rouleau par l'intermédiaire de chemins de roulement plans, sans produire d'empreintes permanentes ou nuisibles dans le système ?

2<sup>o</sup> Quel est l'ordre de grandeur des déformations du système sollicité jusqu'à sa charge limite admissible ?

Pour comprendre l'importance de ces questions, disons que les formules données par différents auteurs et qui fixent la charge-limite telle qu'elle vient d'être définie, varient fortement entre elles. Suivant la formule adoptée pour le calcul du diamètre à donner à un cylindre, on peut trouver des valeurs variant du simple au décuple ! Comme toutefois les formules auxquelles nous faisons allusion ont été établies par des opérateurs sérieux, on se rend compte que les divergences observées sont dues à des causes plus profondes qu'un examen superficiel de la question ne permet de le penser.

La question demandait ainsi à être reprise à son début, et en n'utilisant qu'avec une extrême prudence les résultats des expérimentateurs ayant étudié la question précédemment.

Dans cette note, nous allons exposer les résultats d'une série d'expériences faites au Laboratoire d'essais de maté-

riaux de l'Université de Lausanne pendant les années 1921 à 1923. Nous n'entrons dans aucun détail mathématique afin de ne pas l'alourdir. Cette note est donc à considérer comme le résumé d'une étude très complète, dont la publication intégrale, ne s'adressant guère qu'à un groupe restreint de lecteurs, doit se faire plus tard.

C'est sur l'instigation de la Commission technique de l'Association suisse de constructeurs de ponts et de charpentes métalliques que ces recherches ont été entreprises.

#### *Exposé de la question.*

Considérons un cylindre de diamètre  $d$  et de longueur  $l$ , placé entre deux plateaux plans chargés par une force  $P$  (voir fig. 1).

Ce qui caractérise le régime de charge du cylindre, c'est le terme  $P/ld$  ainsi que le montrent clairement des considérations théoriques. Nous appellerons dans la suite ce terme la *charge relative* du cylindre.

Sous l'influence de la charge, tant le cylindre que les plateaux se déformeront ; le cylindre pénétrera dans les plateaux et subira en outre une déformation diamétrale, il s'ovalisera. On conçoit que pour de faibles charges relatives  $P/ld$ , il ne se produira aucun dommage dans la région du contact. Par contre, si la charge relative  $P/ld$  est élevée, le cylindre pénétrera plus ou moins profondément dans les chemins de roulement, il y produira des empreintes permanentes ce qui entravera considérablement le jeu du système.

On conçoit que le constructeur ait intérêt à connaître exactement la charge pour laquelle les empreintes commencent à prendre un caractère permanent, et c'est cette question que nous nous sommes proposé de résoudre expérimentalement.

Au point de vue expérimental, le problème est bien complexe ; si l'on disposait de grandes sommes d'argent comme c'était le cas pour certains laboratoires avant la guerre, il n'y aurait qu'à procéder à quelques cycles d'essais réalisés dans des conditions aussi variées que possible pour tirer la question au clair (cylindres de diamètres divers et en acier de différentes nuances). Mais aussitôt que l'on établit un programme sur de telles bases, même en restant très modeste, on arrive bien vite à un coût des essais se chiffrant par dizaines de milliers de francs, ce qui est prohibitif.

En effet, dans la construction des ponts, l'emploi de rouleaux de 30 cm. de diamètre est courant. Or un tel rouleau, de 50 cm. de longueur, ce qui n'est pas exagéré, pèse 250 kg. Ce chiffre fait pressentir les frais matériels qu'entraîneraient quelques cycles d'essais sur des cylindres, accompagnés de leurs chemins de roulements, dont le diamètre devrait aller au moins jusqu'à 50 cm. et d'autre part, on se rend compte des difficultés expérimentales que l'on rencontrerait en devant manipuler soigneusement des échantillons pesant des centaines de kilos.

Enfin pour pouvoir déduire une loi des observations faites, il faut que les cylindres ainsi que les chemins de

roulement soient apprêtés avec une exactitude atteignant en tous cas le 1000<sup>e</sup> de mm. Ce que cela représente comme travail et peine ne peut être apprécié à sa valeur que par le spécialiste. Grâce à des procédés particuliers, nous sommes heureusement arrivés à trancher d'une manière satisfaisante et sans trop de frais cette énorme difficulté expérimentale.

Une méthode d'essai directe, pour les raisons précitées, devient prohibitive. Bon gré, mal gré, si l'on ne voulait pas renoncer aux essais, il fallait avoir recours à une méthode indirecte. Mais toute méthode d'essais indirecte demande à être étudiée avec beaucoup de soins si l'on ne veut pas courir le risque d'en tirer des conclusions entachées d'erreurs qui lui sont inhérentes. La question

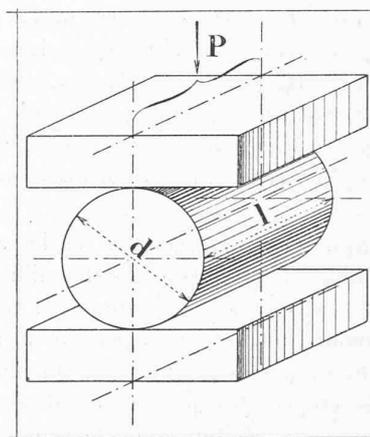


Fig. 1.

demande donc à être étudiée sous toutes ses faces, tant théoriques qu'expérimentales. Les recherches expérimentales ont en conséquence été précédées d'études théoriques considérables aux fins de nous faire pénétrer au fond de la question et de nous permettre de déterminer une méthode d'essai sûre quoique indirecte. Nous nous abstenons d'entrer dans le détail de ces études théoriques pour les raisons données dans l'introduction. Cette note ne contient à proprement parler que des résultats d'essais.

#### *Méthode d'essais.*

Toute cette étude expérimentale est basée sur les remarques suivantes :

La répartition des pressions dans la région du contact d'un cylindre chargé par un plan est définie par des formules établies en son temps par Hertz. Ces formules se trouvent dans la plupart des aide-mémoires modernes.

Des formules de même nature que celles relatives aux cylindres ont été également établies par Hertz et définissent la répartition des pressions spécifiques dans la région du contact de sphères et de plans. Dans les deux cas, les hypothèses ayant servi de base pour l'établissement des formules sont les mêmes.

L'expérience montre que dans bien des cas, en opérant avec des sphères, les formules de Hertz concordent avec

la réalité. Certains observateurs montrent que les formules de Hertz se confirment expérimentalement d'une manière surprenante, tandis que d'autres observateurs mettent en évidence des divergences flagrantes entre les formules de Hertz et la réalité.

Nous avons, de notre côté, repris la question avec des sphères et des plans, nous avons trouvé que les uns et les autres avaient raison et nous en avons tiré la conclusion que les formules de Hertz, pour le cas de la sphère et du plan, étaient à peu de choses près l'expression de la réalité, mais *seulement pour un certain régime de charge du système*. Aussitôt que la charge du système dépasse une valeur limite assez bien définie expérimentalement, les formules de Hertz cessent d'être valables. Et cette limite se trouve coïncider précisément avec l'instant où la charge commence à produire des empreintes permanentes. Il n'y a là rien qui doive surprendre et cela nous autorise à faire cette remarque bien naturelle : *les formules de Hertz sont valables tant que l'on n'a affaire qu'à des déformations élastiques du système considéré, mais elles cessent de l'être dès que les déformations deviennent permanentes*.

Cette remarque va nous permettre de déterminer avec assez d'exactitude sans de trop grandes difficultés expérimentales l'instant où les déformations du système commencent à prendre un caractère permanent : Avec une sphère, on produit des empreintes sur un plan ; l'observation de ces empreintes permet de déterminer sans ambiguïté la pression spécifique dans la région du contact. En opérant avec des charges que l'on fait varier progressivement, on établit expérimentalement la loi suivant laquelle la pression spécifique varie avec la charge. En comparant la loi expérimentale avec celle définie par les formules de Hertz, on arrive à séparer nettement la région où la loi de Hertz est valable de celle où elle ne l'est plus. Cette manière d'opérer nous permet de déterminer sans ambiguïté et sans difficultés la pression spécifique dans la région du contact pour laquelle les déformations commencent à devenir permanentes. Il suffit pour cela d'un bloc de métal présentant une surface plane d'environ 100 cm<sup>2</sup>.

Et maintenant, l'hypothèse que nous faisons et qui nous paraît pouvoir être faite sans scrupules, c'est que les formules de Hertz relatives au cas du cylindre peuvent être considérées comme correctes exactement dans le même domaine de pressions spécifiques que celui où celles relatives au cas de la sphère le sont.

Nous dirons donc que les formules de Hertz définissant la pression spécifique dans la région du contact d'un cylindre et d'un plan peuvent être considérées comme exactes pour toute charge inférieure à une charge limite telle que la pression spécifique dans la région du contact soit inférieure à la pression spécifique produisant des déformations permanentes.

La formule de Hertz définissant la pression spécifique maximum dans la région du contact d'un cylindre et d'un plan pour le cas d'échantillons d'acier, dont le module

d'élasticité est de l'ordre de grandeur de 2 150 000 kg/cm<sup>2</sup>, est la suivante :

$$\sigma_{\max H} = 10 \cdot 0,87 \left( \frac{P}{l \cdot d} \right)^{1/2} \quad (1)$$

où  $\sigma_{\max H}$  représente la pression spécifique maximum définie par les lois de Hertz, en kg/cm<sup>2</sup>,

$P$  la charge du cylindre, en kg.,

$l$  et  $d$  la longueur respectivement le diamètre du cylindre, en cm.,

et  $P/l d$  la charge relative du cylindre, en kg/cm<sup>2</sup>.

Or, expérimentalement, avec des sphères, on a déterminé la pression spécifique pour laquelle des déformations permanentes se produisent. On connaît donc la valeur limite du terme  $\sigma_{\max H}$  de l'équation (1) et par conséquent, on peut en déduire sans ambiguïté la valeur limite du terme  $P/l d$ . Le problème est donc complètement résolu.

En déterminant expérimentalement avec des sphères le terme  $\sigma_{\max H}$  on constate immédiatement que l'on se trouve en présence d'un phénomène semblable à celui qui a servi à définir le chiffre de dureté de Brinell. Depuis bien des années, en effet, on détermine la dureté dite de Brinell d'un échantillon métallique en produisant dans celui-ci une empreinte au moyen d'une bille. Si  $P$  est la force en kg. qui a été appliquée sur la bille pour produire l'empreinte et  $s$  la surface en mm<sup>2</sup> de l'empreinte sphérique, on définit la dureté Brinell par la relation :

$$H = P/s \quad (2)$$

Dans cette formule,  $H$  est exprimé en kg. par mm<sup>2</sup>. (Pour être homogène avec des kg. par cm<sup>2</sup> il faut multiplier le second membre de l'équation (2) par 100).

Or, on remarque que le terme  $H$  n'est pas autre chose que la pression spécifique moyenne dans la région du contact d'une sphère et d'un plan. Et l'on pressent qu'il doit sans doute exister une certaine relation simple entre la pression spécifique maximum-limite et la dureté Brinell, exactement semblable à celle qui existe entre la limite apparente d'élasticité d'un métal et sa résistance à la traction. Et, en effet, l'expérience montre que la pression spécifique limite est à peu près égale à la moitié de celle définissant la dureté Brinell, à condition que ces deux valeurs soient comptées dans les mêmes unités. ]

On peut donc poser approximativement :

$$\sigma_{\max \text{ limite}} = 1/2 H \cdot 100 \quad (3)$$

où  $H$  est le chiffre de dureté Brinell, exprimé comme d'habitude en kg. par mm<sup>2</sup>.

En mettant cette valeur à la place de  $\sigma_{\max H}$  dans l'équation (1) et en effectuant les calculs, on trouve en fin de compte, tous calculs faits :

$$\frac{P}{l \cdot d} = \frac{1}{300} \cdot H^2 \quad (4)$$

Cette formule définit parfaitement la charge relative limite à laquelle un cylindre peut être sollicité sans qu'il se produise d'empreinte permanente. Cette formule tient compte de la nature du métal utilisé.

Cette formule montre, fait intéressant, que la charge limite admissible croît avec le carré de la dureté Brinell. Or comme la dureté Brinell varie entre de très grandes limites d'un échantillon à un autre, on voit que le terme  $P/ld$  varie entre des limites encore bien plus grandes. Pour des aciers doux, la dureté Brinell peut être de l'ordre de grandeur de 120 kg./mm<sup>2</sup> tandis que pour de l'acier trempé, ce chiffre peut s'élever jusqu'à 600 kg./mm<sup>2</sup>. Il en résulte donc que le terme  $P/ld$  est de 48 kg./cm<sup>2</sup> pour le premier cas et qu'il s'élève à 1200 kg./cm<sup>2</sup> pour le second cas. On voit donc que toutes choses égales d'ailleurs, un cylindre d'acier trempé, en contact avec des chemins de roulement de même nuance, supportera avec la même sécurité une charge vingt-cinq fois plus grande qu'un cylindre d'acier doux.

Cette remarque explique les divergences que présentent les formules données par les différents opérateurs : Dès que l'on introduit dans les formules un terme tenant compte de la dureté des aciers considérés, ainsi que nous l'avons fait, les divergences s'expliquent.

Nous avons procédé à des séries d'essais sur quelques échantillons d'acier dont la dureté Brinell varie entre de grandes limites et cela nous a conduit à recommander l'emploi de la formule (4) pour déterminer la charge relative limite avec laquelle un cylindre peut être chargé sans qu'il se produise quelque déformation permanente du système. Dans tous les cas, la structure de la formule est correcte et si l'expérience devait montrer que des rouleaux dont la charge relative limite définie par la formule (4) sont trop chargés, il faudrait en rectifier le coefficient numérique et le remplacer par un autre un peu plus faible.

La formule (4) montre dans tous les cas l'importance de la dureté Brinell et si l'on veut faire des roulements avec peu de matière, il faudra utiliser pour cela des cylindres et des chemins de roulement en substance aussi dure que possible, dont la dureté Brinell soit aussi élevée que possible.

Il est bien entendu que si les chemins de roulement et le rouleau ne sont pas de même nature, c'est celui qui présente la plus faible dureté Brinell qui est déterminant.

Disons encore que nos observations ont porté essentiellement sur des métaux aciers (acier coulé, acier Martin, acier à outils) par conséquent pour des métaux tels que de la fonte grise, dont le module d'élasticité est différent de celui qui a servi de base à nos calculs, le coefficient numérique de la formule (4) doit être rectifié.

Quant aux déformations diamétrales du système, celles-ci sont excessivement faibles. Sans entrer dans le détail de cette question, ce qui conduirait très loin, nous dirons que la déformation totale dans le sens diamétral d'un cylindre de 10 cm. de diamètre chargé à 100 kg./cm<sup>2</sup> ( $P/ld$ ) ce qui est une charge-limite pour un acier non trempé, est de 0,0060 cm. Ce chiffre montre avec quelle exactitude un système de plans et de rouleaux doit être exécuté si l'on veut que la force se répartisse également sur toute la longueur d'un ou même de plusieurs rouleaux.

La figure 2 représente un rouleau de 10 cm. de diamètre sur 10 cm. de longueur qui a été utilisé pour procéder à

une série d'observations directes des déformations définies par les lois de Hertz. Les résultats des observations directes avec le cylindre ont été si concordantes avec toutes les formules établies par des considérations théoriques que cela donne l'assurance que l'on se trouve dans une bonne voie en opérant comme nous l'avons fait. La question toutefois est loin d'être épuisée. Il reste maintenant à reprendre la question de la charge limite en déterminant la résistance au roulement du système, ce qui est en somme la question intéressant le plus directement le

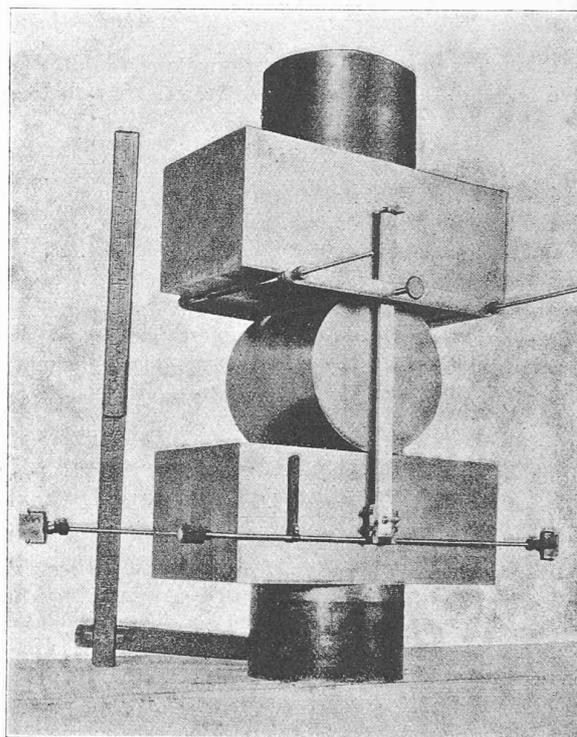


Fig. 2.

constructeur. Et il reste enfin à rechercher une nuance d'acier le plus convenable pour la confection de roulements et c'est ce que nous sommes en train de faire. Nous espérons donc, dans une prochaine note, présenter quelques résultats de recherches dans ces dernières directions.

#### Résumé.

Dans cette note, nous exposons les résultats d'essais ayant pour but de déterminer la charge-limite avec laquelle un roulement formé par un rouleau et deux plans peut être chargé sans que des déformations permanentes se produisent. Nous avons trouvé que cette charge pouvait être définie par la relation

$$\frac{P}{ld} = \frac{1}{300} \cdot H^2 \quad (\text{équation 4})$$

où  $P$  est la charge du système, en kg.,

$l$  la longueur du cylindre,

$d$  le diamètre,

et  $H$  la dureté Brinell, en kg./mm<sup>2</sup> de l'élément le plus doux.

*Remarque.*

La dureté Brinell est déterminée comme suit : Avec une bille de 10 mm. de diamètre, chargée avec 3000 kg. pendant 15 secondes environ, on produit une empreinte sphérique dans l'échantillon considéré. Le chiffre de dureté Brinell est obtenu en faisant le rapport entre la charge de la bille (3000 kg.) et la surface de l'empreinte sphérique, exprimée en mm<sup>2</sup>. Des tableaux accompagnant toute machine organisée pour des essais de ce genre permettent de calculer aisément les chiffres de dureté.

### Concours en vue de l'érection d'une fontaine contre le mur de la terrasse projetée à l'est du temple de la Madeleine.

(Suite.<sup>1</sup>)

N° 4. *Le veilleur de nuit.* Composition générale bonne et idée originale. Répond bien aux données du programme. Le niveau de l'eau est trop élevé et n'intéresse pas le passant. La partie supérieure de la composition n'a pas le même caractère architectural que la partie inférieure.

N° 18. *Restauration.* Bon projet sobre et logique. Il est regrettable que l'étude de la fontaine elle-même manque de recherche et d'originalité.

N° 23. *Jouvence.* Jolie fontaine empire. La composition s'accorde mal de la hauteur du mur au point choisi. Marches trop saillantes sur le trottoir. (A suivre.)

### Nouveaux alliages d'aluminium.

A plusieurs reprises, nous avons eu l'occasion de signaler à nos lecteurs les remarquables progrès accomplis dans la métallurgie des alliages d'aluminium ; certains de ces produits sont même d'un usage si courant que leur nom s'est vulgarisé, témoin le *duralumin* dont la composition est, en moyenne : cuivre 3,5 %, magnésium et manganèse 0,5 % chacun ; aluminium : la différence à 100, et qui est doté de la propriété assez étrange, à première vue, de s'adoucir légèrement par trempe et de durcir énergiquement par revenu, contrairement à la plupart des aciers que la trempe durcit et que le revenu adoucit. En vérité, dans le cas du duralumin il ne s'agit pas d'un revenu dans l'acception qu'on donne généralement à ce terme et qui évoque l'idée d'un réchauffage à température plus ou moins élevée, mais d'un *vieillissement* qui s'opère spontanément par simple séjour à la température ordinaire, du métal trempé. Cependant, malgré cette différence, le *vieillissement* du duralumin est un processus semblable au *revenu* des aciers. Pour préciser cet aperçu nous résumons, au tableau ci-dessous, les caractéristiques mécaniques du duralumin dans trois états à savoir : 1° recuit après forgeage, 2° trempé dans l'eau, à 475°, 3° « vieilli » pendant 48 heures après trempe, à la température de 15°.

	Résistance à la rupture par traction (kg/mm <sup>2</sup> )	Allongement centésimal	Limite élastique (kg/mm <sup>2</sup> )
Recuit . . . . .	22	20 %	9
Trempé . . . . .	20	22 %	8
« Vieilli » . . . . .	40	20 %	20

Ce durcissement par revenu est dû à l'évolution, au cours de la trempe et du vieillissement consécutifs, de la combinai-

son  $Mg_2Si$  dont le magnésium est ajouté intentionnellement, tandis que le silicium est toujours contenu dans l'aluminium commercial à l'état d'impureté. La présence du magnésium étant indispensable au processus que nous venons de décrire, si vous éliminez ce métal du duralumin vous privez ce dernier de sa propriété de durcir *spontanément* par vieillissement après trempe ; mais l'alliage exempt de magnésium conserve son aptitude à « prendre le revenu » par réchauffage à la température convenable. Voici par exemple un alliage à 3,7 % de cuivre, forgé, qui, sitôt après trempe à 530°, possédait une résistance à la traction de 30 kg/mm<sup>2</sup> et un allongement de 24 % (sur 5 cm) et qui, après revenu pendant 24 heures à 150°, accusait une résistance de 35 kg. et un allongement de 22 %. Ce type d'alliage léger d'aluminium, breveté par l'« Aluminium Co of America » et propriété, pour la France, de la « Compagnie des produits chimiques et électro-métallurgiques Alais, Frogès et Camargue » jouit, du fait d'être exempt de vieillissement spontané, de propriétés précieuses que le brevet français N° 559 692, du 20 juin 1923 décrit en ces termes <sup>1</sup> :

« Dans son état trempé, l'alliage est relativement doux et se laisse facilement usiner et ses propriétés physiques restent inchangées ou sensiblement inchangées pendant une période de temps indéterminée, ce qui est un avantage important lorsqu'on désire faire passer l'alliage à la presse, l'estamper ou l'emboutir ou le conformer ou le façonner d'une autre manière à un moment ultérieur, contrairement aux alliages à vieillissement naturel qui doivent être usinés, si même ils peuvent l'être, immédiatement après la trempe », et plus loin : « Les alliages actuels du commerce, à base d'aluminium, contenant du magnésium, sont difficiles à usiner. En premier lieu, il est plue difficile de débiter les lingots que dans les alliages obtenus suivant l'invention. En second lieu, après que les alliages du commerce travaillés mécaniquement ont été trempés à partir d'une température relativement élevée, il n'existe pas de moyen connu de les empêcher de vieillir spontanément, excepté en les refroidissant à une température très basse, par exemple à celle de l'air liquide. Il en résulte que leur durcissement et leur perte de plasticité ne peuvent être contrôlés et il n'y a pratiquement qu'une seule série de propriétés physiques susceptibles d'être obtenues, à savoir celles auxquelles on arrive après que les alliages sont parvenus à un vieillissement complet, bien que ces propriétés puissent être quelque peu améliorées par le vieillissement artificiel. Par contre, les alliages obtenus suivant l'invention restent doux et plastiques à la température ambiante, lorsqu'ils ont été trempés, et leur résistance et leur dureté peuvent être accrues en contrôlant la durée et la température du vieillissement, de sorte qu'on peut communiquer aux articles faits à partir de ces alliages un degré quelconque de résistance et de dureté compris entre celui obtenu immédiatement après trempe et le degré de résistance et de dureté maximum obtenu par le vieillissement le plus efficace. Il est fréquemment nécessaire, dans la fabrication de certains articles en alliages à base d'aluminium, traités mécaniquement, de les amener à une forme déterminée en les façonnant à la température ambiante, par exemple par compression, estampage, emboutissage, etc. Avec les alliages actuels du commerce, il est généralement nécessaire d'effectuer ce travail mécanique dans le délai de quelques heures, et quelquefois, d'une heure après qu'ils ont été trempés, parce que leur vieillissement à la température ambiante peut réduire leur plasticité à un degré tel que des procédés de façonnage à froid peuvent, autrement, ne plus être possibles. Avec les alliages obtenus suivant l'invention, ces opérations peuvent être réalisées à un moment ultérieur quelconque et les objets peuvent être soumis au vieillissement pour accroître leur dureté et leur résistance ».

En choisissant judicieusement la composition chimique et le traitement thermique de ce genre d'alliages on peut obtenir

<sup>1</sup> Voir l'étude détaillée que M. L. Guillet a publiée dans le *Génie civil* du 12 avril 1924 sous le titre « Historique des alliages légers d'aluminium et état actuel de leur fabrication ».

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 24 mai 1924, page 140.