Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 42 (1916)
Heft: 19

Artikel: L'application du principe de similitude en mécanique
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-32382

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: 07.08.2025

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

plutôt à des imperfections dans la construction, inévitables même avec l'exécution la plus soignée et le contrôle le plus strict du travail dans les ateliers.

Le succès obtenu par l'insertion de ressorts dans les roues dentées est d'autant plus précieux que le système de transmission du couple moteur du type *1-E-1*, excellent en soi, risquait d'être compromis par les accidents produits par les vibrations dans les organes de cette transmission, tandis qu'actuellement, grâce à l'adoption des ressorts, la qualité de ce système est partout reconnue et d'ailleurs confirmée par les résultats d'exploitation suivants : jusqu'à ce jour les locomotives *1-E-1* ont parcouru chacune en moyenne 135 000 km. Pour un parcours maximum journalier de 636 km. des locomotives, la charge maxima remorquée en un jour a été de 10 600 tonnes brutes. L'usure des engrenages, après 135 000 km. peut être qualifiée de très minime

L'usure des collecteurs et des balais de charbon est aussi très faible. Après qu'on eut, dans les premiers temps de l'exploitation, procédé à un nouveau tournage des collecteurs, nécessaire à l'équilibrage des tensions internes cette opération n'a dû être répétée qu'après un parcours de 120 000 locom.-km.

Entre temps, il suffit, après 25 000 km. environ, de nettoyer les collecteurs à la main, au moyen de papier d'émeri, ce qui se fait, en l'espace de 15 minutes, sur la locomotive, tandis qu'elle court sur une voie devant le dépôt, actionnée seulement par un moteur, l'autre étant hors-circuit pendant le nettoyage de son collecteur ; la poussière de métal produite au cours de l'opération est aspirée sur place par un ventilateur qui la refoule au dehors. La durée des balais de charbon, d'après les résultats d'expériences, est de 200 000 à 250 000 km., ce qui correspond à 0,11 à 0,09 centime par locom.-km. La consommation d'huile est, en chiffres ronds, de 27 grammes par locom.-km., au lieu de 40 grammes pour les locomotives à vapeur d'un même nombre d'essieux accomplissant le même service.

En ce qui concerne la consommation d'énergie de ces locomotives, nous renvoyons à la publication[1] détaillée de M. *L. Thormann*, ingénieur-conseil de la Compagnie du Lötschberg.

L'application du principe de similitude en mécanique.

On dit que deux systèmes matériels sont semblables, au point de vue mécanique, quand les dimensions linéaires, les temps, les masses et les forces sont, pour l'un dans des rapports constants λ, τ, μ, φ avec les éléments homologues de l'autre.

Si F est la résultante de toutes les forces qui agissent sur un élément du premier système de masse m et j son accélération, on a :

$$F = m j. \qquad (1)$$

[1] *Schweiz. Bauzeitung*, t. 68, page 9 et suivantes.

Pour l'élément homologue du second système la force est φF, la masse μm, l'accélération $\frac{\lambda}{\tau^2} j$; et on a :

$$\varphi F = \mu m \frac{\lambda}{\tau_2} j \qquad (2)$$

d'où, par comparaison avec (1)

$$\mu = \frac{\varphi \tau^2}{\lambda} \qquad (3)$$

c'est-à-dire que pour qu'il y ait similitude mécanique entre les deux systèmes, il faut que les masses de leurs éléments homologues soient dans le rapport $\frac{\varphi \tau^2}{\lambda}$; c'est la relation de *Newton*.

Si les deux systèmes sont constitués des mêmes matériaux, le rapport des masses est λ^3 et $\varphi = \mu = \lambda^3$; l'égalité (3) devient $\tau = \sqrt{\lambda}$ et le rapport des vitesses des deux systèmes homologues est égal à $\sqrt{\lambda}$. L'illustre ingénieur *Froude* fut un des premiers à faire usage de cette relation lorsqu'il démontra que pour deux carènes dont le rapport de similitude linéaire est λ et le rapport des vitesses $\sqrt{\lambda}$, le rapport des résistances à la formation du sillage (wave-making) est λ^3.

Les applications de la similitude mécanique sont nombreuses et ont retenu, tout récemment, l'attention de plusieurs associations d'ingénieurs anglais [1] et américains [2] par les prévisions qu'on en peut tirer sur la façon dont se comporteront des ouvrages projetés, sous l'effet des forces auxquelles ils seront soumis. Soit, par exemple, telle caractéristique d'un système dont on veut étudier la variation, non sur le système lui-même, mais sur un modèle réduit : on établira la liste des variables dont cette caractéristique est fonction, puis, appliquant le principe de similitude, on déterminera les conditions auxquelles ces variables doivent satisfaire pour que le modèle réduit et le système soient semblables, c'est-à-dire pour que les mesures de la caractéristique envisagée, sur le modèle et sur le système, soient entre elles dans un rapport constant.

Ce principe de similitude constitue donc un moyen de recherche précieux puisqu'il permet, appliqué judicieusement, de remplacer l'expérience à laquelle il s'agit de soumettre un système donné dans un milieu donné par la même expérience réalisée, plus facilement, avec un système semblable mais de dimensions moindres et dans un autre milieu. Voici quelques-unes de ces applications.

Percussions. — Lord Rayleigh a étudié la percussion de deux systèmes géométriquement semblables lorsque la limite d'élasticité n'est pas dépassée.

Admettant que la pression développée par le choc dépend seulement des dimensions linéaires des corps, de leur densité, de leur élasticité et de leur vitesse respective au moment du choc, l'application du principe de similitude donne l'équation de condition

$$\frac{\rho_1 v_1^2}{\rho_2 v_2^2} = \frac{E_1}{E_2}$$

[1] *Engineering* du 15 septembre 1916. — Conférence de M. *E. Stanton* à laquelle nous avons fait de nombreux emprunts.

[2] *Journal of the American Society of Mechanical Engineers*, de septembre 1915.

où ρ est la densité, v la vitesse de choc et E le module d'élasticité. Cette condition de similitude étant réalisée, on a, pour le rapport des pressions f_1 et f_2

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{\rho_1 v_1^2}{\rho_2 v_2^2}$$

Ce rapport est donc indépendant des dimensions linéaires des corps percutants et si les deux systèmes comparés sont de même densité, à l'égalité de vitesse correspondra l'égalité des pressions.

Ce fait avait déjà été constaté, en 1873, par Osborne Reynolds, qui démontra que l'effet produit sur une plaque de verre par un jet de sable était indépendant des dimensions des particules. Une autre conséquence, et d'une actualité bien évidente, est que la limite d'élasticité d'une plaque de blindage sera atteinte par tous les projectiles semblables ayant la vitesse nécessaire, quel que soit d'ailleurs leur calibre.

Résistance des fluides. — Il s'agit de la résistance de frottement, de celle qui est opposée à un corps qui se meut dans un fluide où il est complètement immergé de façon à ne pas provoquer de vagues à la surface. En appelant v la vitesse, l la dimension linéaire du corps et ν la viscosité cinématique des fluides, si la condition de similitude entre les deux corps

$$\frac{v_1 l_1}{\nu_1} = \frac{v_2 l_2}{\nu_2} \qquad (1)$$

est remplie, les résistance R_1 et R_2 opposées par les fluides de densités ρ_1 et ρ_2 aux deux corps semblables sont dans le rapport :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_1 l_1^2 v_1^2}{\rho_2 l_2^2 v_2^2} \qquad (2)$$

Appliquons cela au cas d'un ballon dirigeable, se mouvant à raison de 7 m. à la seconde, dont on désire étudier la résistance à la propulsion sur un modèle à l'échelle $^1/_{20}$. En vertu de l'équation (1) où nous supposons $\nu_1 = \nu_2$, les essais se faisant dans l'air, la vitesse du modèle réduit devra être de 140 m. à la seconde, vitesse pratiquement irréalisable. Mais, faisons notre essai dans l'eau dont la viscosité n'est que $^1/_{13}$ de celle de l'air; la vitesse nécessaire à la réalisation de la similitude ne sera plus que 140 : 13 = 11 m. environ. C'est encore une vitesse très considérable, mais qui serait réduite de moitié si l'opération pouvait être faite dans de l'eau à 80°.

Si on ne considère plus seulement la résistance due au frottement mais la résistance totale opposée à une carène par l'eau, les équations de conditions sont

$$\frac{v_1^3}{v_2^3} = \frac{l_1^{3/2}}{l_2^{3/2}} = \frac{\nu_1}{\nu^2} \qquad (3)$$

Si $\nu_1 = \nu_2$, c'est-à-dire si le fluide est le même dans les deux cas, les équations (3) excluent l'expérimentation sur un modèle réduit. Mais, si l'on pouvait disposer en quantité suffisante d'un fluide dont la densité serait $^1/_{64}$ de celle de l'eau, on pourrait étudier, en vertu des conditions (3), la résistance opposée à une carène marchant dans ce fluide à 12 nœuds sur un modèle à l'échelle de $^1/_{16}$, remorqué à la vitesse de 3 nœuds, et le rapport de la résistance de la carène à celle du modèle serait 4096.

Résistance des projectiles. — Les conditions de similitude sont exprimées par les équations suivantes, où V est la vitesse du son

$$\frac{v_1 l_1}{\nu_1} = \frac{v_2 l_2}{\nu_2} \qquad \frac{v_1}{V_1} = \frac{v_2}{V_2} \qquad (1)$$

et le rapport des résistances opposées par le fluide au mouvement des projectiles est

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_1 l_1^2 v_1^2}{\rho_2 l_2^2 v_2^2} \qquad (2)$$

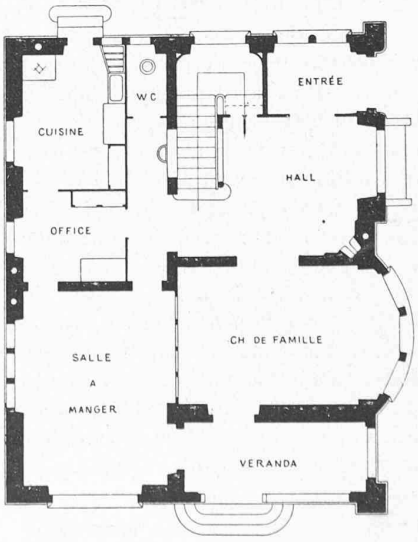
Ici encore, s'il s'agit d'un même fluide, $\nu_1 = \nu_2$ et $V_1 = V_2$ et les équations (1) donnent $l_1 = l_2$, c'est-à-dire que l'expérimentation sur un modèle réduit est impossible.

Quand il s'agit de projectiles on n'aurait aucun avantage — contrairement à ce que nous avons vu pour le ballon dirigeable — à expérimenter sur un modèle dans l'eau, puisque, la vitesse du son dans l'eau étant environ 4 fois plus grande que dans l'air, la vitesse du modèle devrait, en vertu de la deuxième égalité (1) être 4 fois celle de l'original et que, la viscosité cinématique de l'eau étant 13 fois plus petite que celle de l'air, la première équation (1) fournit $\frac{l_1}{l_2} = \frac{1}{52}$, c'est-à-dire que, dans ces conditions, le modèle semblable à un obus de 75 mm. aurait un calibre de 1,4 mm.!

Villa à la Tour-de-Peilz.

(Planches 15 et 16).

Nous reproduisons les plans et quelques vues de cette villa, œuvre de M. *Ch. Gunthert*, architecte, à Vevey.



Plan du rez-de-chaussée. — 1 : 200.