

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

**Artikel:** Les roues dentées à ressorts des locomotives électriques du Lötschberg type 1-E-1  
**Autor:** Kummer, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-32381>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 22.01.2025

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

Chaque alternateur peut être branché soit sur le réseau triphasé (force motrice), soit sur le réseau monophasé (lumière).

Les différents départs sont également répartis par panneaux; ils sont au nombre de quatre, chacun est muni d'un ampèremètre avec interrupteur automatique.

Deux panneaux totalisateurs, un pour le courant triphasé, l'autre pour le courant monophasé, sont munis chacun d'ampèremètres, wattmètre enregistreur et compteur, celui pour le triphasé est en outre doté d'un phasemètre pour indiquer le décalage du réseau de force motrice.

Sur ceux-ci sont également fixés les voltmètres généraux, les fréquencemètres ainsi que les lampes et voltmètres de mise en phase.

Pour sortir de la construction courante, ce tableau, qui ne contient aucun appareil à haute tension, est en métal, constitué par des tôles martelées, fixées par des baguettes de fer nickelées, dont l'effet est agréable à l'œil.

Le derrière du tableau, dont l'accès est fermé par deux portes spéciales, forme un couloir de 4 m. de largeur. Sur le côté opposé au tableau, adossés contre le mur du bâtiment, se trouvent les appareils de protection contre la foudre (fig. 29 et 30).

Ce sont des condensateurs de la Société générale de Fribourg, placés directement dans le sol dans le but de réduire à sa plus simple expression la ligne de terre; des bobines de self, en fer, sont placées avant et après les condensateurs, système de montage qui a donné jusqu'ici toute satisfaction (fig. 26).

Au premier étage se trouvent placés, dans les niches en matériel isolant, les appareils à haute tension, séparateurs, transformateurs de tension et de courant, interrupteurs, etc., etc. Les niches des interrupteurs sont munies d'un canal d'écoulement, afin qu'en cas d'incendie d'un de ceux-ci l'huile puisse s'échapper au dehors du bâtiment.

A cet étage se trouvent également les mises à la terre hydrauliques branchées directement sur les barres-omnibus.

A l'étage supérieur ont lieu les différents départs de lignes aériennes avec leurs séparateurs.

Ce même local contient les barres de distribution avec les différentes connexions qui communiquent avec l'étage inférieur.

Tout le montage des connexions est exécuté avec le nouveau système de serrage centrifuge; les traversées de cloison, les supports isolants sont tous constitués au moyen d'isolateurs lisses, de forme moderne.

Cette usine est en service depuis le 27 juin 1914; depuis cette date elle a assuré toute la production de courant nécessaire à la ville de Neuchâtel. Aucun défaut quelconque de construction ou de montage ne s'est manifesté. Elle a fonctionné jusqu'ici à complète satisfaction, sans autre arrêt que ceux réclamés par l'exploitation.

## Les roues dentées à ressorts des locomotives électriques du Lötschberg type 1-E-1

par le Professeur-Dr W. KUMMER, ingénieur, à Zurich.

On sait que le parc des locomotives du chemin de fer du Lötschberg comprend, actuellement, une locomotive du type C-C et 13 du type 1-E-1. Toutes ces machines sont actionnées par des moteurs-série monophasés compensés, en vue d'assurer une bonne commutation, au moyen de champs auxiliaires. Dans toutes ces locomotives le couple de chaque moteur de traction est transmis, au moyen d'engrenages frontaux à un faux essieu tournant plus lentement que l'arbre des moteurs et logé, comme celui-ci, dans des paliers rigides dans le châssis. Des faux essieux, le couple moteur est réparti, au moyen de bielles, aux essieux moteurs qui sont suspendus élastiquement et situés plus bas que les faux essieux. Tandis que dans la locomotive C-C à chaque boggie du type C ne correspond qu'un seul moteur, dans les locomotives 1-E-1, deux moteurs attaquent conjointement le groupe d'essieux-moteurs du type E par l'intermédiaire d'un système triangulé de bielles d'accouplement qui relie, d'une part, les boutons de manivelle des faux essieux avec, d'autre part, les boutons de manivelle des essieux médians.

Mais avec ce dispositif à triangle, en raison de la grande énergie cinétique que peuvent accumuler les boutons de manivelle des faux essieux ou, — au cas d'emploi de moteurs à faible vitesse, les arbres des moteurs eux-mêmes — la possibilité existe d'une compensation oscillante de l'énergie résultant des forces d'inertie et de celle d'élasticité des organes de transmission et particulièrement lorsqu'on a affaire à des forces dissymétriques agissant sur les dits boutons de manivelle et causées par l'inégalité des couples moteurs, par le jeu des paliers ou des défauts de pièces de construction, etc. Dans tous ces cas naissent, dans les organes moteurs et, surtout dans le triangle articulé et les manivelles, des oscillations complexes dont la périodicité est en corrélation simple soit avec le nombre de tours de la manivelle, soit avec la masse et l'élasticité des organes de transmission, ainsi que l'auteur l'a démontré dans divers mémoires dont le *Bulletin Technique* a publié un résumé à la page 248 du volume de 1914.<sup>1</sup>

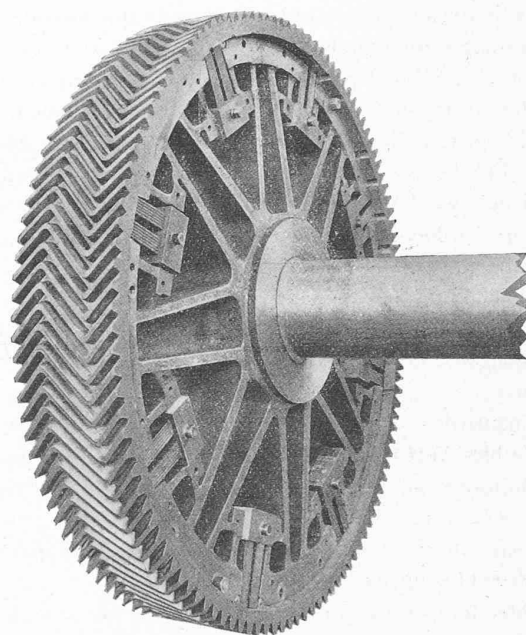
Ce sont les chemins de fer de l'Etat italien qui ont fait la première constatation, d'une certaine gravité, de ces effets, sur les locomotives du type 38 de la Valteline. Ces locomotives étaient, primitivement, équipées chacune de deux moteurs de puissance et de nombre de pôles différents, à savoir un moteur de 8 pôles, de 1500 HP, et un de 12 pôles et de 1200 HP, pour fournir trois vitesses de traction correspondant à la mise en circuit d'un seul des

<sup>1</sup> Dans ce résumé, il faut lire pour le domicile de l'éditeur de ces mémoires, « Zurich et Leipzig » au lieu de « Leipzig ».

deux moteurs et à la connexion en cascade des deux moteurs, soit les vitesses de 25  $\frac{1}{2}$ , 42 et 64 km./h. Pendant la marche à un seul moteur, particulièrement celle à 64 km./h., alors que le moteur de 8 pôles entraînait et que celui de 12 pôles était entraîné, la compensation oscillatoire de l'énergie des forces d'inertie et de déformation élastique sollicitait si violemment les engrenages qu'il en résulta de nombreux dommages et qu'on dut procéder à une transformation des machines. Cette transformation eut pour but de créer, au moyen de deux locomotives du type 38, une locomotive du type 38 *a* à deux moteurs de 12 pôles et une du type 38 *b*, à deux moteurs de 8 pôles, de sorte que dans chaque type la connexion en parallèle et en cascade des deux moteurs serait possible, mais pas la marche à un seul moteur.

Des accidents semblables se produisirent aussi, en 1913, sur la ligne du Lötschberg, peu après la mise en service des locomotives du type 1-E-1, sur lesquelles on constata l'apparition, entre certaines vitesses, notamment 38 et 42 km./h., de vibrations qui provoquèrent la rupture des boutons de manivelle du faux essieu et, par suite, des dommages aux organes de transmission. Des recherches approfondies montrèrent qu'il s'agissait, là aussi, d'un phénomène de compensation oscillatoire de l'inertie des masses et de l'élasticité des organes de transmission qu'il fallait éliminer. On envisagea surtout l'augmentation de l'élasticité de ces organes, parce qu'elle entraînerait une diminution de la fréquence du phénomène conditionnée par les masses en mouvement et par l'élasticité des organes et qu'il en résulterait que la superposition, particulièrement nuisible, des différentes oscillations isolées, ne serait plus à craindre qu'avec les petites vitesses, pour lesquelles il n'y a que de petites forces vives en jeu. Comme support de ce supplément d'élasticité entraient en ligne de compte : le système triangulaire de bielles d'accouplement, ou les roues dentées entre les moteurs et les faux essieux, ou les induits des moteurs eux-mêmes; dans le premier cas, les paliers des boutons de manivelle sur le cadre triangulaire auraient dû être munis de ressorts horizontaux; dans le second et le troisième cas, ce sont les jantes des roues dentées ou les induits des moteurs qui auraient été pourvus de ressorts tangentiellement à leur arbre. On s'arrêta à l'insertion de ressorts dans les grandes roues dentées frontales, entre les arbres des moteurs et les faux essieux, constituant ainsi de véritables *roues dentées à ressorts* telles qu'il n'en avait jamais été utilisé de cette dimension dans la traction des chemins de fer. Ajoutons que, pour autant que nous sommes exactement renseigné, c'est M. E. C. Fischinger, de Dresde, qui préconisa le premier l'emploi des roues dentées à ressorts sur les véhicules à adhérence des chemins de fer électriques et que c'est sur les tramways de la ville de Dresde qu'on en fit le premier essai en vue de combattre l'usure ondulatoire des rails<sup>1</sup>. Mais il ne s'agissait, en l'espèce, que de roues dentées actionnées par des moteurs de 40 HP environ, tandis

que les roues dentées du Lötschberg l'étaient par des moteurs de 1500 HP. La figuré ci-dessous montre que la



transmission élastique est réalisée au moyen de ressorts à lamelles insérés entre la jante des grandes roues dentées et leurs rayons, dispositif très satisfaisant au point de vue constructif. Dès qu'on eut muni de ces ressorts la grosse roue dentée d'un des côtés moteurs des locomotives où des vibrations avaient été constatées, celles-ci cessèrent totalement. Aussi, on pourvut de ces ressorts, sur chaque locomotive défectueuse, la grosse roue dentée de l'un des faux essieux et l'exploitation ne fut plus troublée par ces vibrations.

Dans la suite, on se décida à munir du même dispositif et de la même façon toutes les locomotives du type 1-E-1 en raison de l'économie qui en résulte sur l'entretien des cadres, paliers et engrenages. Ainsi, par exemple, on a constaté que sur une locomotive à roues dentées à ressorts les paliers des faux essieux ont pris la moitié moins de jeu, après un temps quatre fois plus long, que ceux d'une locomotive sans ressort bien qu'elle marchât sans vibrations, c'est-à-dire que les dépenses d'entretien et de réparation de ces paliers étaient tombées au huitième de leur montant antérieur. Il va sans dire que l'emploi de ces ressorts n'améliore pas seulement le fonctionnement des paliers des faux essieux, mais encore de tous les autres organes de la locomotive, tels que cadre et ses articulations, engrenages, manivelles, etc., dont la durée est ainsi accrue.

Le fait que ces vibrations ne se produisent pas sur toutes les locomotives mais seulement sur quelques-unes du type 1-E-1 conduit à la supposition que les dissymétries des forces motrices qui en sont la cause ne sont pas dues au principe même de la transmission du couple moteur, mais

<sup>1</sup> *Elektrische Bahnen und Betriebe*, 1915, page 45.

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 *I-E-I*, 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 *I-E-I* 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<sup>1</sup> 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  $\lambda$ ,  $\tau$ ,  $\mu$ ,  $\varphi$  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 :

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

<sup>1</sup> Schweiz. Bauzeitung, t. 68, page 9 et suivantes.

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

$$\varphi F = \mu m \frac{\lambda}{\tau^2} j \quad (2)$$

d'où, par comparaison avec (1)

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

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  $\lambda^3$  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  $\lambda$  et le rapport des vitesses  $\sqrt{\lambda}$ , le rapport des résistances à la formation du sillage (*wave-making*) est  $\lambda^3$ .

Les applications de la similitude mécanique sont nombreuses et ont retenu, tout récemment, l'attention de plusieurs associations d'ingénieurs anglais<sup>1</sup> et américains<sup>2</sup> 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

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

<sup>1</sup> *Engineering* du 15 septembre 1916. — Conférence de M. E. Stanton à laquelle nous avons fait de nombreux emprunts.

<sup>2</sup> *Journal of the American Society of Mechanical Engineers*, de septembre 1915.