

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 58 (1932)
Heft: 14

Artikel: Note sur l'onde positive de translation dans les canaux d'usine
Autor: Calame, Jules
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-44856>

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: 23.08.2025

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

Ripage ou pose d'un pont	1 nuit
Excavation de l'ancien radier et des sous-œuvres adjacents.	4 »
Bétonnage en sous-œuvre des piédroits du tunnel	2 »
Maçonnerie du radier proprement dit.	4 »
	11 nuits

Il a été exécuté à ce jour 100 m de radier. Le radier une fois exécuté, et les travaux d'injection et de gunitage terminés, il sera procédé à l'abaissement de la voie. Cet abaissement se fait par étapes successives de 100 m de long sur une hauteur de 15 cm environ. Il n'est pas possible de faire un abaissement plus grand, vu qu'une trop grande dénivellation de la voie mettrait celle-ci en danger. Ce travail exécuté, il sera procédé au changement de ballast et à la pose des supports.

Tunnel de Courchavon, longueur 194,07 m.

Ce tunnel se trouve dans le même état que celui du Château. Il est à pente unique de 9‰ inclinée vers Delle. Le profil est en forme ovoïde comme indiqué au commencement de notre exposé. Par suite de cette forme, il sera nécessaire de procéder à un abaissement de la voie d'environ 15 cm sur toute la longueur du tunnel. De même les injections de mortier liquide seront nécessaires ainsi que le gunitage de la voûte sur les 194 m. Les travaux dans ce tunnel commenceront dans le courant de cet été parallèlement aux tunnels de la Croix et du Château.

Les travaux généraux furent commencés en avril 1931 et se poursuivent pour une durée probable allant jusqu'à la fin de l'année courante ou au printemps 1933.

Ils furent confiés au bureau d'ingénieurs-conseils Rothpletz et Lienhard à Aarau, et dirigés par l'auteur de cette note.

Mars 1932.

Note sur l'onde positive de translation dans les canaux d'usines,

par JULES CALAME, ingénieur-conseil à Genève.

Quand une usine hydraulique est pourvue d'un canal à libre écoulement, on calcule d'abord ce canal d'après les formules classiques pour qu'il conduise convenablement le débit maximum et l'on s'assure que la retenue ne dépasse pas les berges quand l'usine est arrêtée; on pense même avoir pris ses précautions en plaçant le couronnement du mur à 1 m environ au-dessus de la retenue et l'on se préoccupe en général assez peu, dans ce cas, des phénomènes transitoires qui prennent naissance lors de la mise en marche ou de l'arrêt des turbines.

Le calcul de l'onde de translation, qui surgit lors d'une variation rapide du régime des turbines en canal découvert, est d'ailleurs connu de longue date, approximativement tout au moins, pour une section rectangulaire ou

trapézoïdale et il suffit, en général, pour les besoins de la construction, d'estimer la hauteur maximum de l'onde.

Disons tout de suite que, dans une usine-barrage provoquant un remous, la largeur du bassin naturel d'amont est, en général, si grande que l'onde en question ne joue qu'un rôle très effacé et, pour tout dire, négligeable vis-à-vis de la marge qu'on aura prise en établissant le couronnement des ouvrages à une cote nettement supérieure à celle de la retenue des plus hautes eaux.

Mais il n'en va pas toujours de même quand l'usine est précédée ou suivie d'un bief étroit, surtout si le canal, bien qu'à libre écoulement, est constitué par une galerie fermée de section forcément plus réduite: l'onde peut alors occuper momentanément une part importante de la section libre du profil et parfois même provoquer la mise en charge de la galerie.

C'est ce dernier problème qu'on examinera plus particulièrement ici et qui s'est posé, pour la première fois d'une manière urgente, à notre connaissance, à l'occasion de la construction de la galerie de fuite de l'Usine génératrice de Wettingen sur la Limmat, dans les conditions qui seront relatées plus loin (§ 7).

Le problème fut abordé sur l'initiative de M. E. Meyer-Peter, professeur à l'Ecole polytechnique fédérale, lequel avait été chargé par la Ville de Zurich du calcul de la galerie de fuite de Wettingen et en avait déjà déterminé à ce moment-là, la situation, la forme et les dimensions.

Le calcul de l'onde de translation fut alors entrepris, d'une part à l'aide de la méthode que l'on trouvera exposée ici et, d'autre part, simultanément, par le Laboratoire de recherches hydrauliques à Zurich, sous la haute direction de M. le Professeur Meyer, à l'aide d'une méthode analytique que publie actuellement la *Schweizerische Bauzeitung*.

La concordance pratique des résultats du calcul, obtenus d'une manière indépendante par ces deux méthodes, trouva finalement sa confirmation dans l'essai de laboratoire exécuté sur un modèle complet de la galerie et de ses abouts, dont on trouvera la description à la suite de cette note.

§ 1. Définitions et hypothèses.

C'est sauf erreur Scott Russell qui, le premier, observa vers 1845 l'onde de translation qui prend naissance dans un bassin d'eau tranquille, lorsqu'on déplace en ligne droite, d'un mouvement uniforme, un corps immergé selon une direction donnée et toujours dans le même sens. L'onde en saillie qui précède alors le corps déplacé, dans la direction du déplacement, et l'onde en creux qui fuit le dos du corps en sens inverse, se propagent l'une et l'autre à une certaine vitesse, en général différente de celle du corps déplacé.

Un phénomène analogue se produit quand, au lieu de provoquer le déplacement d'un corps immergé dans un milieu tranquille, on arrête un écoulement tranquille¹

¹ Par écoulement tranquille, on entend préciser ici que la profondeur de l'eau dans le canal est supérieure à la profondeur critique, puisqu'alors seulement une onde provoquée a la faculté de se propager régulièrement; ceci par opposition à un écoulement torrentiel.

par un obstacle. Au moment de la fermeture d'une vanne ou d'une turbine (fig. 1), par exemple, dans un canal d'amenée à libre écoulement, l'eau s'accumule devant l'obturateur jusqu'à une certaine hauteur qu'elle ne dépasse pas, puis s'étale vers l'amont en une nappe continue qui s'alimente en saillie au-dessus du niveau primitif et se *propage en sens inverse de l'écoulement*; c'est une *onde positive montante* qui part de l'obturateur vers l'amont.

* * *

Mais en *fermant* ainsi la vanne, on étrangle du même coup l'écoulement d'aval. On crée de la sorte, à l'aval, une *onde négative descendante* (voir fig. 1).

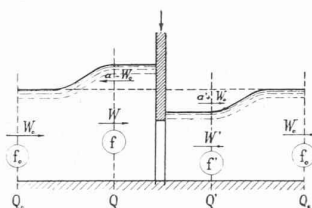


Fig. 1.

Ces deux mouvements de propagation, une fois amorcés vers l'amont et vers l'aval, continuent en vertu de l'impulsion reçue, même quand la cause de la formation de l'onde a cessé par la fin de la manœuvre de la vanne ou du distributeur de la turbine.

Si la section du canal est régulière, ces ondes positive et négative se propagent jusqu'aux extrémités du canal où elles se réfléchissent : leur *vitesse de propagation change alors de signe* et les ondes reviennent vers la vanne ; celle d'amont, sous la forme d'une *onde positive descendante* ; celle d'aval, sous la forme d'une *onde négative montante*.

Une réflexion de ces dernières ondes sur la vanne fermée les renvoie à nouveau dans le sens primitif, mais en changeant leur signe : l'onde d'amont remonte, mais elle est maintenant *en creux* ; l'onde d'aval redescend, mais *en saillie* sur le niveau primitif ; ces ondes suivent, dans leur réflexion, une loi semblable à celle des ondes de conduites forcées, telles que les a décrites M. Allievi, à la différence toutefois que la *vitesse de propagation* de ces ondes est ici relativement très faible et que leur déformation se produit et s'accroît très rapidement du fait de la section ouverte du canal.

Ces diverses réflexions des ondes ne se produisent d'ailleurs pas, en général, au même instant pour l'onde descendante et pour l'onde montante, puisque l'instant de la réflexion dépend de la longueur du canal et de la vitesse de propagation.

* * *

Si, au lieu d'une fermeture, on considérerait une *ouverture* de la vanne ou de la turbine située dans le canal, on constaterait un phénomène inverse, à savoir une dépression à l'amont, sous la forme d'une *onde négative*

montante et une saillie à l'aval sous la forme d'une *onde positive descendante* et ces ondes, à profil généralement peu incliné grâce à la lenteur de la manœuvre d'ouverture, iraient en se déformant et se réfléchiraient aux extrémités du canal pour revenir ensuite, comme ondes de même signe, mais à une vitesse de sens contraire.

* * *

Le front de ces ondes, à leur naissance, a un profil qui dépend de la loi de la manœuvre d'arrêt de la vanne ou de la turbine. Si cette manœuvre pouvait être *instantanée*, le front serait, au début du moins, *vertical* et l'onde aurait alors un profil rectangulaire.

Comme l'onde, en réalité, est provoquée par une manœuvre pratiquement linéaire, de durée appréciable, le front de l'onde est *incliné* ; son profil, au début, serait donc sensiblement triangulaire, si la vitesse de propagation des divers filets liquides n'augmentait, comme on le verra plus loin, avec leur distance du radier ; il s'ensuit alors très vite une déformation de l'onde qui a pour effet *d'arrondir* son profil.

Dans ce qui suit et pour atteindre notre but qui est essentiellement de déterminer les dimensions des ouvrages de façon suffisante, nous ne poursuivrons pas ces ondes de translation dans leur déformation progressive, ce qui demanderait d'ailleurs une étude et des expériences particulières ; nous admettrons au contraire, pour fixer les idées, que l'onde conserve pendant un temps suffisant le profil initial que provoque une manœuvre *instantanée* de l'obturateur, pour qu'il vaille la peine de donner aux ouvrages fermés un tirant d'air adapté à la hauteur maximum qu'aurait l'onde, si elle se formait précisément dans la section considérée.

* * *

L'onde de translation constitue, on le voit, un phénomène fort différent de l'écoulement ordinaire et il sera nécessaire de distinguer, dans la section qu'on considère, la *vitesse moyenne W_0 de l'écoulement tranquille* avant le passage de l'onde, d'une part, et, d'autre part, la *vitesse moyenne de propagation a de l'onde* ; c'est à cette dernière que *Saint-Venant* a donné le nom de *célérité* ; elle existe dans tout milieu liquide, aussi bien au repos qu'en mouvement, c'est dire que la vitesse a est à considérer comme une *vitesse relative*.

L'expérience montre en effet que le phénomène ondulatoire de translation se *superpose*, pour ainsi dire, à l'écoulement ; dans un canal rectiligne, de section constante, les vitesses W_0 et a qui suivent la même direction s'ajoutent algébriquement. Pour un observateur situé sur la rive, une onde positive ascendante montera à la vitesse $a - W_0$, mais il verra redescendre cette onde, après sa réflexion sur un obstacle à l'amont, à la vitesse $a + W_0$.

Nous admettrons encore que l'onde se produise à un moment où le plan d'eau a atteint un niveau constant, ce qui revient à admettre qu'à l'instant où a lieu un arrêt

du débit régnait, d'un bout à l'autre du canal, un régime *uniforme*; ou même une *retenue fixe*, s'il s'agit d'une ouverture exécutée à partir de la fermeture complète.

Il ne sera pas question d'ailleurs d'envisager ici une transformation de l'énergie par choc; on supposera la forme de l'onde due à un phénomène continu auquel sont applicables les théorèmes généraux de la dynamique.

(A suivre.)

Nouveau dispositif pour empêcher le cheminement des rails de chemins de fer.

Le « cheminement » des rails de chemins de fer, phénomène qui n'a rien à voir avec la dilatation des rails sous l'effet de la chaleur, est dû à l'action du freinage et de l'accélération des convois.

Aux approches des gares, des courbes en pleine voie, des aiguillages et des changements de déclivité, l'inertie des convois, dont les roues sont freinées, se transmet aux rails, tendant à disloquer leurs fixations sur les traverses, en les faisant cheminer.

Parmi les nombreux dispositifs en usage pour éviter cet inconvénient souvent coûteux, il est intéressant de signaler la récente invention d'un cheminot italien, M. Amédéo Dantini, qui a imaginé un étai d'ancrage en trois pièces, à serrage automatique, dans la direction de l'axe du rail et dont l'effet s'exerce sous l'action même des forces provoquant le cheminement.

Cet étai d'ancrage anti-cheminant, en fonte malléable, qui vient d'être mis en usage sur les Chemins de fer de l'Etat et sur d'autres lignes en Italie, comporte deux mâchoires *A* et *B* (fig. 1), destinées à épouser la semelle du rail, et une pièce de serrage *C*, en équerre, dont une branche constitue une langue d'appui, venant buter contre la traverse, l'autre branche formant

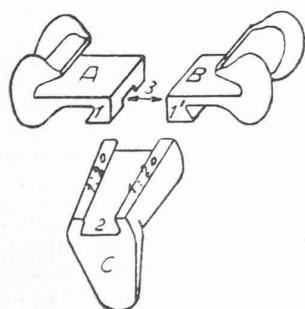


Fig. 1 (a)

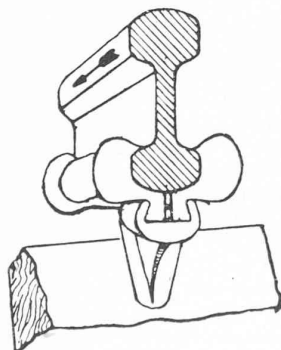


Fig. 1 (b)

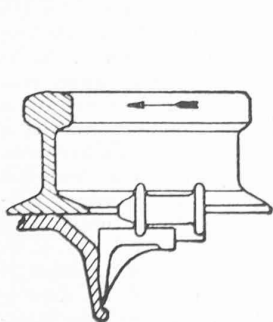


Fig. 1 (c)

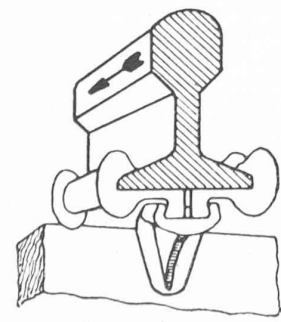


Fig. 1 (d)

coulisse de serrage, à section en queue d'aronde, dans laquelle s'engagent les saillies inférieures des deux mâchoires *A* et *B*.

L'inclinaison des bords de la coulisse et des saillies des mâchoires étant de 1:20, un desserrage est impossible, l'appareil, simplement monté à la main sur la base du rail, se serrant automatiquement sous l'impulsion axiale due au freinage ou à l'accélération des convois, bloquant positivement le rail contre la traverse.

L'invention de M. Dantini, brevetée dans la plupart des pays s'applique à tous les types de rails, elle simplifie l'entretien et sera sans doute appelée à rendre des services sur les lignes où l'on cherche à consolider la voie en vue d'augmenter les charges et les vitesses des convois.

Des essais intéressants eurent lieu vers la fin de 1931 sur la ligne Gênes-Rome. La voie comporte des rails de 18 m, pesant 46,3 kg par m, avec semelle de 135 mm, posés sur des traverses en bois, avec plaques intermédiaires. La vitesse autorisée est de 100 km/h. Aux abords de la gare de Civitavecchia, se trouve une courbe prononcée, nécessitant un freinage énergique, la voie souffrait toujours beaucoup à cet endroit, du fait du cheminement et son entretien était coûteux. On procéda au début de septembre au montage de dix étaux Dantini par rail de 18 m. L'inspection de la voie, en février dernier, permit de constater que tous les étaux étaient en place, fortement appuyés contre les traverses, dans lesquelles les langues d'appui avaient même légèrement pénétré. La voie était parfaitement rigide et ne présentait aucune trace de cheminement des rails.

L'étau Dantini est actuellement à l'étude et à l'essai dans plusieurs pays, son efficacité et sa grande simplicité d'entretien intéressent les ingénieurs de la voie.

C.-H. WAETJEN, ing.-conseil.

Centrales aéro-électriques.

Il est assez peu connu qu'une fois dépassée la zone « tourbillonnaire » de l'atmosphère, dont l'épaisseur est de 70 à 90 m au-dessus du sol, on pénètre dans un « champ de force » des vents dont la régularité est remarquable. Les observations faites par le Service météorologique de l'aéronautique allemande, confirment cette assertion puisqu'il en ressort que, pour Berlin, Hambourg et Königsberg, la vitesse du vent, dans la zone « régularisée » de l'atmosphère est la suivante :

Berlin	9,7 m/sec
Königsberg	10,2 »
Hambourg	10,3 »

Cette régularité a inspiré à M. Hermann Honnef, le constructeur de nombreux ouvrages métalliques hardis, notamment de pylônes pour la T. S. F., l'idée d'un vaste réseau aéro-électrique dont les organes électrogènes seraient des sortes de moulins à ailes assez élevées pour baigner dans la zone atmosphérique des vents régularisés. Un des collaborateurs de M. Honnef, le Dr B. Thierbach, ingénieur à Berlin, caractérise comme il suit ces tours électrogènes :

« Afin d'être hors des tourbillons de la zone atmosphérique avoisinant le sol, les roues réceptrices seront à une altitude de 200 à 300 m. Le capital de premier établissement de ces tours étant très élevé, l'entreprise ne sera rentable que si la puissance individuelle des centrales dépasse un certain minimum, aussi M. Honnef équipe-t-il sa tour « normale » de 3 roues de 160 m de diamètre, développant chacune 7000 kW. Comme il n'est guère possible de réaliser une transmission mécanique rationnelle entre les roues réceptrices et les géné-