

**Zeitschrift:** IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht

**Band:** 1 (1932)

**Artikel:** La dynamique du pont: rapport d'introduction

**Autor:** Homann

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-462>

### **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:** 24.01.2025

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

Für unser Handbuch entspringt daraus aber die Aufgabe, die störenden Bewegungen der Lokomotiven, soweit sie nicht innerhalb der Maschinen selbst oder innerhalb der Schienen ausgeglichen werden, sondern auf die Brücken übergehen, zusammenfassend zu behandeln. Für Strassenbrücken, bei denen die Resonanzerscheinungen noch eine grössere Rolle spielen, als bei den Eisenbahnbrücken, käme dazu der Bau der Strassenfahrzeuge und die Untersuchung ihrer dynamischen Eigenschaften.

3. Wenn so die mathematischen und technischen Grundlagen zusammengefasst sind, so fehlt für dass volle Verständnis des Schrifttums als Drittes nur noch die Lehre von den Messgeräten und ihre Theorie. Es würde genügen, wenn die neuen Geräte und Messverfahren behandelt würden, aber es bleibt wünschenswert, dass auch diese Kenntnisse auf eine breitere Grundlage gestellt würden, indem auch die Messtechnik im allgemeinen zur Behandlung käme.

### TRADUCTION

par M. GOSSIEUX, Ing., Paris.

Jusqu'à maintenant et dans la plupart des pays, les Règlements concernant les Ponts introduisent dans les calculs les influences dynamiques exercées par les charges, en prescrivant l'emploi, sous forme de courbes ou de tableaux, de coefficients déterminés, dits « coefficients de choc », par lesquels il faut multiplier les moments fléchissants déterminés statiquement et les efforts tranchants qui résultent de l'intervention des charges roulantes. Il convient d'ailleurs de remarquer que ces coefficients diffèrent très sensiblement entre eux d'un pays à l'autre. Ce fait montre déjà leur caractère empirique et indique que ces coefficients ne peuvent pas être considérés comme quelque chose de définitif.

En fait, pour pouvoir indiquer des coefficients de choc qui soient rigoureux, il faudrait savoir par l'expérience quels sont les efforts dynamiques qui prennent naissance, dans les diverses conditions de la pratique et être en mesure de les introduire dans les calculs, ou bien être à même de résoudre le problème par des voies théoriques.

Où la question en est-elle, à ce point de vue ?

L'expérience doit s'appuyer sur des mesures, mesures de déformations ou mesures d'efforts. Elle est donc en défaut tant que l'on ne dispose pas d'appareils qui permettent de déterminer exactement les grandeurs à mesurer et tant que les résultats fournis par les observations ne permettent pas de pénétrer à fond les phénomènes oscillatoires et de les expliquer entièrement. Jusqu'au moment où furent publiés des règlements tenant compte des phénomènes de choc, on n'avait pas encore disposé d'appareils de mesure satisfaisants ; si ces appareils ont, depuis, subi des perfectionnements notables, on ne possède toutefois pas encore aujourd'hui des résultats expérimentaux suffisants pour pouvoir combler les lacunes et remédier aux imperfections des prescriptions qui concernent le point de vue dynamique.

Par ailleurs, en ce qui concerne la théorie, la science mathématique met à la disposition des investigateurs des moyens puissants ; il existe toutefois un

grand nombre de questions auxquelles la théorie seule ne pourra jamais donner de solution, telles que la question de savoir dans quelle mesure les ouvrages que nous construisons répondent aux notions théoriques de principe sur le processus des oscillations et quelles valeurs il convient de donner, dans les calculs, aux coefficients que comportent les formules.

En ce qui concerne la justification scientifique des coefficients de choc, aucune évolution notable n'est intervenue au cours de ces dernières années ; il importe toutefois de signaler que la construction des appareils de mesure et les méthodes d'investigations ont réalisé des progrès satisfaisants. Il est, par conséquent, bien naturel que l'on se soit demandé si, d'une manière générale, il est possible d'établir des prescriptions pratiques, reposant sur des bases scientifiques théoriques, ou s'il ne convenait pas plutôt de s'en tenir tout simplement aux résultats fournis par l'expérience. Quoique l'on y ait déjà consacré beaucoup de temps et d'efforts, l'on n'est pas encore actuellement en mesure d'interpréter d'une manière satisfaisante les diagrammes fournis par les appareils et encore moins de prévoir les caractéristiques dynamiques d'un ouvrage. On a bien élucidé des points intéressants, tels que les phénomènes de résonance et d'accouplement des oscillations, mais lorsque l'on a voulu pousser à fond, par le calcul, l'étude de ces questions, on a été réduit à toutes sortes d'hypothèses, parce que les observations effectuées n'étaient fréquemment pas suffisantes pour fournir au calcul des bases précises. Il ne faut toutefois pas jeter le discrédit sur ces observations ; bien au contraire, les recherches qui ont été effectuées jusqu'à maintenant doivent être considérées comme conservant toute leur valeur ; elles ont permis, en effet, de constater quelles étaient les difficultés de la tâche et elles ont fourni tout au moins une base préliminaire pour les travaux ultérieurs. Il convient de faire remarquer à ceux qui manifestent encore un doute, d'ailleurs fort compréhensible, que si les phénomènes de résonance et d'accouplement des oscillations présentent les caractères des phénomènes qui obéissent à des lois, par contre, à côté de ceux-là, il s'en présente d'autres qui apparaissent comme si irréguliers et liés à tant de conditions diverses que l'on ne sait vraiment pas comment en aborder l'étude rigoureuse.

En fait, il ne s'agit pas, pour eux, de renoncer à l'étude théorique de la question, mais ils n'entrevoient, comme résultats possibles, que l'obtention de formules empiriques résultant d'un grand nombre d'essais. Si nous avons bien saisi la question telle qu'elle se présente, ils estiment qu'il faut répéter, dans les conditions normales d'exploitation, et sans se lasser, les mesures d'efforts et de déformations ; l'expérience montrera alors dans quelles limites s'exercent les influences dynamiques. On pourrait s'en tenir à cette méthode, si les mesures courantes effectuées dans les conditions les plus diverses donnaient, des phénomènes, une image à partir de laquelle on puisse tirer des lois déterminées. Ce n'est toutefois pas le cas. On trouve souvent, en effet, des valeurs qui sortent des limites normales et ces exemples réclament des justifications, faute de quoi il subsisterait un doute dans l'interprétation des prescriptions et on ne pourrait pas y trouver l'assurance qu'elles doivent donner. Cette raison suffirait, à elle seule, pour que l'on entreprenne tous les efforts nécessaires afin de pousser d'une manière très serrée le développement des connaissances

que l'on a acquises jusqu'à maintenant. Il est donc de toute importance de savoir si, dans la dynamique du Pont, il faut attribuer le plus grand rôle à la régularité des lois physiques ou à la fantaisie du hasard et si l'on pourra s'affranchir, tout au moins partiellement, de cette dernière. Il en dépendra l'emploi des formules purement empiriques élaborées par la méthode quasi-statistique, ou celui de moyens dus à un niveau scientifique plus élevé.

Pour éclaircir quelque peu la question et pour pouvoir prendre position à ce sujet, nous allons jeter un coup d'œil sur les processus dynamiques qui interviennent dans la manière dont se comporte un pont, tout en nous limitant à des faits connus.

Considérons tout d'abord une poutre à âme pleine admettant un moment d'inertie constant, sans oublier toutefois, en même temps, que les poutres en treillis ne se comportent pas d'une manière sensiblement différente, ainsi que le montrent la théorie et la pratique.

Le premier cas auquel on se reporte généralement tout d'abord est celui d'une charge constante, appliquée en un point fixe. La poutre, tendant à se mettre en équilibre avec la charge, subit un fléchissement. Comme toutefois les efforts (efforts dans les barres lorsqu'il s'agit d'une poutre en treillis) croissent progressivement à partir de zéro, tandis que la charge se maintient à sa pleine valeur normale, l'énergie potentielle qui s'accumule dans la poutre (par suite du travail de déformation) reste tout d'abord inférieure au travail produit par la charge. L'excès du travail extérieur passe sous forme d'énergie de mouvement à la masse de la poutre, ainsi qu'à la masse inerte de la charge; cette énergie atteint sa valeur maximum lorsque la poutre a pris la forme qui correspond à son état d'équilibre statique.

L'énergie ainsi accumulée chasse maintenant la poutre au delà de cette position d'équilibre. Par suite, la charge descend encore et produit un nouveau travail. Mais cette fois, l'accroissement du travail de déformation (qui croît en effet avec le carré du fléchissement) est supérieur à l'accroissement du travail extérieur. L'oscillation de la masse subit un amortissement et finit par atteindre, après une double déformation statique, un point correspondant à un repos instantané, l'oscillation reprenant ensuite dans le sens opposé.

Cette considération ne permet pas de conduire à l'hypothèse qu'une charge roulante devrait provoquer également sur la poutre la double déformation statique. La théorie indique plutôt que dans ce cas, la déformation d'origine dynamique est seulement légèrement supérieure à la déformation statique. On en déduit une idée de ce qui se passe, par exemple, dans le cas d'une poutre qui serait surélevée en son milieu d'une quantité  $f$ , qui correspondrait au fléchissement provoqué sur la poutre par une charge  $Q$ . La charge à laquelle se trouve tout à coup soumis le milieu de la poutre a produit un travail  $Q \cdot f$  au moment où la poutre a subi ce fléchissement  $f$ . La charge roulante venant de l'appui n'a toutefois subi aucune dénivellation par rapport à cette position du milieu de la poutre. Pour pouvoir subir le fléchissement  $f$ , elle a tout d'abord subi évidemment une certaine dénivellation vers le haut, quoique d'une importance inférieure à  $f$ . Le fléchissement qui résulte de l'intervention de la charge roulante s'exerce de telle sorte que celle-ci parcourt un trajet incurvé

et qu'elle met par suite en jeu des efforts centrifuges s'exerçant dans le plan vertical.

Dès que le phénomène d'oscillation commence à se produire, le trajet suivi par la charge roulante devient extrêmement compliqué ; il ne peut en effet pas être confondu avec la courbe de déformation de la poutre, pas plus qu'avec le diagramme de flexion des nœuds de l'assemblage. Il n'est pas sans présenter une certaine analogie avec ces dernières courbes ; en effet, sur une courbe de fléchissement moyen, se superpose un parcours ondulatoire correspondant aux oscillations libres de la poutre ; le trajet ainsi parcouru n'est toutefois pas symétrique par rapport au milieu de la poutre et sa pente est plus accusée du côté non chargé que du côté chargé de la poutre. Suivant que, à un instant donné, la trajectoire se trouve incurvée vers le haut ou vers le bas, la charge par essieu s'en trouve augmentée ou diminuée, par suite de l'intervention de la force centrifuge. Il existe donc la possibilité de compenser l'une par l'autre les influences qui peuvent être exercées par plusieurs charges et c'est d'ailleurs généralement le cas. En outre, il est à noter que la valeur de la force centrifuge ne dépend pas de la courbure propre des voies elles-mêmes, sur lesquelles circulent les essieux, mais bien de la trajectoire parcourue par le centre de gravité de la charge qui se rapproche d'une droite, grâce à la suspension élastique des véhicules.

Aux oscillations prises en considération jusqu'à maintenant, s'ajoutent des oscillations forcées, provoquées par des efforts centrifuges indépendants qui prennent naissance sous l'action des contrepoids additionnels des essieux moteurs et des essieux couplés des locomotives, ainsi que, dans certains cas, par les efforts verticaux, périodiquement alternés que les crosses des pistons exercent sur leurs glissières.

L'influence des efforts centrifuges indépendants est double ; à côté des impulsions verticales, ils donnent également naissance à un moment de torsion périodiquement alterné perpendiculairement à l'axe de l'ouvrage et qui provoque dans les poutres principales des oscillations qui se trouvent en opposition de phase. Les efforts périodiques qui en résultent doivent être pris en considération d'une manière particulière, tant au point de vue théorique qu'au point de vue pratique, car ils peuvent dans certains cas amorcer dans un pont des phénomènes de résonance très intenses. L'influence de ces derniers est, en pratique, plus importante que celle des phénomènes de résonance provoqués par la superposition des oscillations, et dont il sera question plus loin, car cette influence ne subit en effet que l'amortissement exercé par la charpente, et qui est toujours très faible.

Des efforts rythmés se produisent également aux joints de dilatation des rails et ces efforts transmettent aux ponts des impulsions qui se produisent à des intervalles de temps plus ou moins réguliers.

Les oscillations résultantes se composent donc d'oscillations propres (amorties et qui, par suite, tendront à disparaître) et d'oscillations forcées (ou entretenues). Par suite, il est très important que l'amortissement soit faible dans les charpentes de ponts ; cela a en effet pour conséquence que les oscillations propres, qui se superposent aux oscillations forcées et assurent par suite, par résonance, une certaine protection contre le « balancement » ne s'amortissent

que lentement, et même qu'elles ne cessent jamais complètement, étant renouvelées par de nouvelles impulsions.

La période des oscillations est déterminée par la résistance de la poutre à la flexion et par l'importance et la répartition des masses participant à ces oscillations; ces dernières sont constituées par la masse totale du pont et par celle du train, qui varie sans cesse dans son parcours, en valeur et en position. Cette variation de la masse qui est soumise aux oscillations présente une grosse importance, car elle a pour conséquence une modification incessante de la période d'oscillation; donc, elle gêne ces oscillations. Toutefois, dans un autre ordre d'idées, les charges roulantes et les efforts qui en résultent ne constituent pas non plus un système de charges constantes, mais bien variables. En particulier, la charge unitaire par essieu se compose du poids de l'essieu lui-même et d'une pression exercée par le système de suspension, et qui peut varier entre des limites très étendues. C'est ce qui se produit, par exemple, lorsque l'accélération du mouvement oscillatoire du pont prend une valeur telle que la résistance au frottement des guides des boîtes d'essieu et des lames des ressorts se trouve surmontée et que les ressorts de suspension entrent en oscillation. A ce moment, réagissent réciproquement les uns sur les autres, d'une part, les masses des véhicules suspendus, d'autre part, l'ensemble constitué par la masse du pont et celle des véhicules qui ne sont pas suspendus; il en résulte des phénomènes de superposition d'oscillations libres, les oscillations résultantes pouvant être constituées par deux oscillations harmoniques distinctes, en général, l'une d'elles ayant une fréquence plus faible et l'autre une fréquence plus élevée, mais pouvant également ne comporter que l'une des deux. Dans le cas de l'oscillation à faible fréquence, les masses qui se trouvent ainsi accouplées par l'intermédiaire des ressorts de suspension des véhicules oscillent dans le même sens (en concordance de phase); lorsqu'il s'agit de l'oscillation de fréquence plus élevée, elles se trouvent en opposition de phases. Dans le dernier cas, tout se passe comme si la masse des véhicules avait un sens opposé à celui de l'ensemble des autres. Outre ces oscillations libres, il peut encore se produire des oscillations forcées résultantes.

Lorsque la période des oscillations rapides coïncide avec celle des efforts centrifuges dans les trains de vitesse, les efforts mis en jeu deviennent très importants, mais les oscillations dues à la résonance sont fortement amorties par l'intervention du frottement entre les lames des ressorts et dans les guides des boîtes d'essieux. On a bien observé la mise en jeu d'efforts dynamiques considérables, par suite de la composition des oscillations à fréquence élevée. Toutefois, ces efforts ne se produisent pas seulement dans les trains de vitesse, mais également dans les trains de marchandise à marche accélérée, car ceux-ci, pour une vitesse plus faible, développent toutefois la même vitesse angulaire et les mêmes efforts centrifuges, donc les mêmes fréquences et les mêmes efforts d'excitation.

Les efforts dynamiques que subit un élément du treillis sont souvent la résultante d'influences multiples. A côté des efforts auxquels il est soumis par suite de l'état d'oscillation de la charpente et en tant que partie constitutive de cette charpente, il a également à supporter des efforts résultant des oscillations longitudinales, transversales et de torsion auxquelles il est soumis par

lui-même ; d'autres efforts supplémentaires prennent encore naissance dans certaines régions particulières des sections, telles que les brides écartées des centres de gravité auxquels elles appartiennent et qui peuvent, dans une certaine mesure, osciller par elles-mêmes, indépendamment de la section correspondante.

Les poutres supportant les voies sont également soumises à des oscillations propres et subissent par suite des efforts de choc de toute nature.

Que résulte-t-il maintenant de toutes ces oscillations qui peuvent se manifester en se composant de la manière la plus variée sur un même diagramme ? Suivent-elles une loi définie et peut-on les analyser mathématiquement, ou faut-il y voir plus encore l'effet du hasard ?

Nous avons déjà signalé que l'influence dynamique d'une charge roulante isolée n'est pas inaccessible à l'étude théorique. La même remarque peut s'étendre à l'influence exercée par un train, constitué par un ensemble de charges individuelles. On peut toutefois également éliminer complètement l'influence de l'effort centrifuge exercé par la charge roulante, ou la rendre pratiquement sans danger, par un surhaussement des poutres, de manière telle que la courbe de déformation soit une droite pour la pleine charge. On supprime ainsi une difficulté considérable. Les autres phénomènes oscillatoires se prêtent en effet plus facilement à l'investigation, tant en ce qui concerne le point de vue théorique que les recherches expérimentales. En fait, d'ailleurs, c'est surtout du côté de la recherche expérimentale qu'il importe de s'orienter. On peut espérer, par des essais exécutés sur des bases scientifiques, déterminer les limites dans lesquelles s'exercent les causes particulières qui provoquent les oscillations. Si les recherches qui ont été effectuées jusqu'à maintenant à ce sujet, n'ont pas encore fourni de résultats positifs, c'est parce qu'il est très difficile d'analyser les phénomènes dynamiques suivant leurs causes ou bien de réaliser des dispositifs qui permettent de les isoler.

Si l'on était sûr que ces causes de perturbations s'entravent toujours mutuellement, empêchant ainsi à des chocs oscillatoires plus importants de prendre naissance et entravant par suite la mise en jeu d'efforts dynamiques plus considérables, on pourrait se dispenser de recherches scientifiques systématiques et se contenter de recherches empiriques exécutées en grand nombre. Malheureusement, on n'est nullement sûr qu'il ne puisse jamais en être autrement. Il nous faut donc chercher à approfondir nos connaissances et l'on ne pourra y parvenir qu'en séparant tout d'abord les différentes causes élémentaires, puis en étudiant leurs relations réciproques. Les progrès qui ont été réalisés au cours de ces dernières années, dans la conception des appareils de mesure et dans les méthodes d'investigation paraissent légitimer cet espoir. La nécessité pour les appareils de fournir des indications nettes peut être considérée aujourd'hui comme réalisée. Étant donné l'importance que présentent, dans l'établissement des Règlements, les valeurs accusant une grande dispersion, on a obtenu un résultat très intéressant en ce sens qu'à l'avenir on n'aura plus à craindre que les valeurs ainsi obtenues au cours des essais soient hypothétiques ou qu'elles reposent sur des indications fausses. Ce seront bien des valeurs effectives et elles resteront peut-être dans des limites plus étroites que celles dans lesquelles on devait travailler jusqu'à maintenant. De plus, la machine

pour l'essai aux oscillations, telle que celle à laquelle on a eu recours en 1923 pour les essais qui ont été effectués en Angleterre et que l'on emploie actuellement dans les Chemins de fer allemands, offre la possibilité d'essayer un pont à toutes les fréquences propres qui sont intéressantes dans la pratique. Le truck suisse d'essai à un seul essieu permet d'éliminer les perturbations simultanées provoquées par plusieurs essieux et d'étudier ainsi le mode d'action d'une charge constante. Enfin, l'appareil conçu par le professeur Kulka (*Die Bautechnik*, 1931, n° 26) met à notre disposition un procédé grâce auquel on peut mesurer simultanément les oscillations en tous les points d'assemblage d'une membrure et en déduire le régime d'oscillation de cette membrure.

Grâce à ces progrès, on peut établir un vaste programme de recherches. La connaissance de toutes les fréquences propres permet d'écartier, au cours des essais, les influences indésirables et facilite la détermination des diagrammes, car on connaît ainsi les périodes des oscillations élémentaires qui servent de base à l'établissement du diagramme. L'extension des observations à la détermination des conditions d'amortissement sur les ponts et sur les véhicules constitue un autre objectif indispensable et d'ailleurs plein de promesses. L'importance des amortissements doit pouvoir être exprimée numériquement. Ainsi qu'on l'a déjà indiqué, on a échoué jusqu'à maintenant dans l'étude analytique de nombreux résultats d'observations, par suite de l'incertitude qui règne dans ce domaine.

Par contre, il ne sera jamais possible de déterminer à l'avance par le calcul les efforts dynamiques élémentaires qui correspondent à un pont déterminé et à un système de charges données. Dans la pratique, interviennent toujours en effet, comme on l'a déjà vu, de nombreuses causes qui donnent naissance à des phénomènes oscillatoires; ces causes dépendent d'ailleurs de conditions si diverses que le processus de leur coïncidence dans le temps ne peut être prévu par aucune loi mathématique. Le but des recherches expérimentales peut donc uniquement être de déterminer des coefficients de choc qui, ainsi qu'on le réalise déjà aujourd'hui, tiennent compte de la somme des efforts dynamiques élémentaires considérés comme agissant dans les sens les plus défavorables, mais établis toutefois sur des bases plus certaines que ceux que l'on adoptait précédemment.

De même que l'on a réussi, au cours des remarquables essais effectués en Angleterre et publiés dans le « Report of the Bridge Stress Committee », à établir que certains types de locomotives sont défavorables à ce point de vue et par suite à pouvoir les éliminer, de même est-on en droit d'espérer que l'on réussira, grâce à des essais systématiques, à déterminer des bases permettant d'éviter la composition des efforts dynamiques dans le sens le plus défavorable; ces bases pourront être utilisées pour déterminer les dispositions à adopter pour la construction des ponts. On peut déjà prévoir un tel résultat en ce qui concerne les efforts centrifuges. On doit donc s'efforcer, par la suite, d'arriver à la suppression des valeurs expérimentales accusant une forte dispersion.

L'objectif qui s'offre ainsi aux recherches expérimentales est important et difficile à atteindre. On ne pourra y parvenir qu'au prix d'une préparation scientifique systématique, à condition d'ailleurs que l'édification ultérieure de la théorie soit poursuivie également. Les essais ne devront pas être effectués au



laboratoire, mais bien sur des ponts réels et avec les propres véhicules que l'on utilise pour le trafic. Il est également évident que les efforts qui seront déterminés au cours des mesures ne pourront pas être comparés avec ceux que l'on obtient par l'application des méthodes de calcul simplifiées que l'on emploie couramment et dans lesquelles les nœuds des charpentes sont considérés comme des articulations. Si l'on veut obtenir des coefficients de choc ayant quelque valeur, il faudra plutôt les déduire des efforts statiques qui correspondent d'une manière aussi rapprochée que possible à la réalité. C'est-à-dire qu'il faudra introduire dans les calculs la rigidité des assemblages et des barres. Si ce travail est de longue haleine, il présente par contre cet avantage que l'on est obligé de se préoccuper à fond des efforts secondaires ; on se trouvera ainsi amené en même temps à jeter plus de lumière dans ce domaine et l'on obtiendra en tout cas des notions plus claires sur la valeur de ces efforts.

D'après ce qui vient d'être exposé, il ne paraît aucunement douteux que l'exécution de ce programme ne peut pas être assurée par un tiers, mais qu'elle appartient toujours à l'initiative des compagnies de chemins de fer. Dans l'état actuel de la question, il faut se réjouir de constater que l'on trouve toujours, dans les rangs des Congressistes, des énergies prêtes à servir la Science et des moyens permettant l'exécution des recherches. Et c'est pourquoi il n'est peut-être pas inopportun, dans le thème d'un exposé général, de demander si l'Association Internationale ne pourrait pas donner l'impulsion correspondante, en jetant les bases d'un travail embrassant l'ensemble de la Dynamique du Pont. Nombre de nos Collègues doivent déjà en avoir senti la nécessité et cette question se présente actuellement de la manière suivante :

Pour pouvoir comprendre pleinement la question de la dynamique du pont ou pour pouvoir seulement suivre avec profit la littérature technique, il faut disposer de connaissances très étendues en Mathématiques, en Mécanique proprement dite, en Construction Mécanique et en Appareils de Mesure. Un ingénieur de ponts qui ne possède pas ces connaissances spéciales de par sa formation d'étudiant ou sa pratique technique, tout en s'étant exclusivement occupé de statique pendant des années, et qui veut ensuite se consacrer à l'étude des phénomènes et des mesures dynamiques, ainsi que des oscillations qui se produisent dans les ponts, se trouve devant une tâche particulièrement ardue. Elle peut, à première vue, lui paraître impossible à embrasser d'un seul coup d'œil s'il l'étudie d'après la littérature existante. Il existe en effet d'innombrables ouvrages qui traitent de ces questions, mais il ne pourra jamais y trouver ce dont il a besoin sous une forme qui lui convienne ; il sera obligé de se documenter en faisant des recherches dans un grand nombre d'ouvrages techniques et de mémoires. De cette situation, les ingénieurs du Contrôle souffrent les premiers, car c'est à eux qu'est confié le contrôle des ponts et leur surveillance permanente en service ; ils doivent employer toutes sortes d'appareils dont ils ne possèdent pas à fond la théorie et ils obtiennent par suite des indications d'essais qui peuvent constituer pour eux de véritables énigmes.

Leur situation est donc en contradiction avec la pratique courante dans les compagnies de chemins de fer. Partout ailleurs, on donne au personnel des règlements d'Exploitation qui groupent d'une manière claire les connaissances techniques dont il a besoin. Ici, cela fait défaut — pour des raisons faciles à

comprendre. On ne donne même pas de directives succinctes, car elles ne seraient pas comprises faute de connaissances spéciales approfondies sur les phénomènes correspondants. Il faudrait disposer d'une instruction qui analyse les principes scientifiques de base et qui apporte en même temps une aide pratique à ceux qui ont à réaliser au premier chef des progrès techniques et économiques.

Plus encore : jetons un coup d'œil sur les derniers travaux publiés par la presse technique. N'a-t-on pas l'impression qu'il y a une disproportion entre la somme de travail et de connaissances qu'ils impliquent et le profit que l'on en retire? Lorsque le lecteur ne possède pas à fond, du point de vue mathématique, les lois qui régissent les phénomènes d'oscillation, telle remarque très intéressante lui échappera et il « nagera » dans les contradictions et les obscurités.

Et peut-être peut-on même pousser la chose un peu plus loin et émettre une idée qui ne doit pas être considérée comme une critique blessante envers les travaux de recherches. Lorsque l'on lit ces différents mémoires, on peut très bien en arriver à se poser la question suivante : les investigateurs eux-mêmes sont-ils d'accord sur les conceptions fondamentales concernant la route à suivre? Que se passerait-il s'il fallait se prononcer à ce sujet? Est-on sûr qu'il ne se manifesterait pas de différences dans les conceptions individuelles? Pensons maintenant à l'importance des recherches à effectuer, au temps et aux frais nécessaires. Une seule Direction, et à plus forte raison, un chercheur isolé, ne peut pas en venir à bout, mais seuls réussiront des efforts communs, s'exerçant d'après des directives scientifiquement établies. Toutefois, avant qu'il puisse être question d'un plan de travail général, judicieusement établi, il conviendrait de supprimer toutes ces divergences d'opinion.

Cela ne pourra être réalisé que si l'on se décide, comme base et comme point de départ des travaux, à exposer une bonne fois la question d'une manière qui se prête à la discussion. Dégager les divergences d'opinion et les éliminer, voilà qui pourrait constituer le premier objectif de ce plan concernant la détermination des « Bases de la Dynamique du Pont ». Ce plan serait l'objet d'une discussion, jusqu'à ce qu'il devienne après accord de tous les spécialistes les plus qualifiés, ce qu'il doit être : le guide sûr et effectif et le point de départ des investigations.

Si l'on admet maintenant que l'Association soit à même de s'occuper du groupement des Bases de la Dynamique du Pont, on trouvera indiquées ci-dessous quelques considérations plus développées sur la teneur et la forme d'un tel travail.

1. Les lois qui régissent les phénomènes oscillatoires ne peuvent pas être étudiées parfaitement en se basant sur de simples notions élémentaires. Il faut donc supposer certaines connaissances mathématiques, y compris celle des éléments de l'analyse supérieure. L'étude mathématique commencera par celle des oscillations harmoniques simples, puis s'étendra aux oscillations libres amorties et enfin aux oscillations forcées. Toutefois dès ce moment, les travaux de recherche expérimentale devront naturellement aller de pair avec les recherches théoriques. Les ouvrages mathématiques se contentent, au sujet de l'amortissement, de faire des hypothèses commodes et de jouer sur des lettres. Le constructeur de ponts, lui, a besoin de renseignements chiffrés et doit savoir

dans quelle mesure ses ouvrages peuvent répondre aux hypothèses théoriques. La théorie des oscillations forcées s'occupe principalement du régime permanent et elle ne s'intéresse aux oscillations propres qui les accompagnent que dans la mesure où elles sont nécessaires pour l'obtention de l'intégrale générale de l'équation d'oscillation. Par contre, pour le constructeur de ponts, les déplacements initiaux caractérisés par l'apparition des oscillations propres sont importants, car les oscillations propres qui prennent naissance dans les ponts sont très faiblement amorties ; elles sont donc de longue durée et elles se trouvent en outre constamment soumises à des impulsions nouvelles.

Jusqu'à maintenant, la théorie des oscillations forme, à proprement parler, un premier degré et constitue une base pour la compréhension des principes des appareils de mesure qui sont utilisés dans la construction des ponts. Par contre, le point de vue qui consiste à considérer une poutre comme un élément élastique pénètre plus profondément dans les détails du processus du mouvement. Ce domaine présente une certaine complexité ; il doit être considéré comme difficilement abordable, tant du point de vue mathématique, que du point de vue expérimental. Si nous nous basons sur les observations déjà effectuées, nous ne sommes, par exemple, pas très sûrs qu'une poutre oscille sur toute sa totalité ou en formant plusieurs ondes, c'est-à-dire en présentant des nœuds d'oscillation. Il est cependant très important de le savoir, car si l'on veut passer des flexions aux efforts, les deux points de vue sont très différents ; une flexion déterminée peut être en effet considérée, suivant le cas, comme flèche correspondant soit à une courbe fondamentale, soit à une harmonique supérieure. Il en résulte que l'on ne peut utiliser les résultats fournis par les mesures des déformations que si l'on connaît avec précision le mode d'oscillation de la poutre, ce que permet d'obtenir le procédé du Professeur Kulka, mentionné plus haut.

On constate également, dans cet ordre d'idées, que l'on ne peut pas tirer parti de la littérature technique existante, mais qu'il faut faire appel à des travaux techniques spéciaux.

Considérons maintenant le cas particulier que constituent les ponts de protection, qui sont destinés à recevoir le choc des blocs qui peuvent tomber des berlines d'extraction ou autres dispositifs de manutention. Il y a là précisément un cas dans lequel le mode d'oscillation joue un rôle particulier et qui repose, jusqu'à maintenant, sur des bases incertaines. Il existe bien, à ce sujet, une série de règles, mais tous les calculs sont basés sur des hypothèses théoriques, auxquelles la confirmation de l'expérience fait défaut. On est ici en droit d'attendre des résultats intéressants de l'application de la méthode de Kulka. Si l'appareil de mesure des fléchissements Zeiss-Kulka est adopté pour les recherches expérimentales, il appartiendra à ceux qui seront chargés d'établir les « Bases de la Dynamique du Pont » de suivre le développement des essais et de les mettre en valeur, c'est-à-dire de faire appel aux notions positives de différence et interpolation.

Nous avons déjà parlé plus haut des phénomènes d'accouplement des oscillations. Les recherches importantes qui ont été effectuées en Angleterre, et qui font l'objet du rapport mentionné plus haut, ont montré que l'influence réciproque des ponts et des véhicules pouvait être considérable. On ne peut donc pas

laisser de côté les phénomènes dits de couplage des oscillations. Les investigateurs se trouveront par suite en présence de la nécessité de faire un travail scientifique absolument nouveau, que les études qui ont été publiées jusqu'à maintenant ne traitent pas, car elles ne sont pas destinées aux constructeurs de ponts, mais abordent plutôt d'autres problèmes. Ces études seront nécessaires pour pouvoir répondre aux questions pratiques de cet ordre que soulève la construction des ponts.

Il est évident que le groupement des principes mathématiques de base ne doit pas laisser de côté l'analyse harmonique, qui constitue le moyen indispensable pour analyser et interpréter les diagrammes obtenus. L'étude d'approximation des diagrammes obtenus, par séries trigonométriques limitées ou illimitées, doit particulièrement être poussée à fond.

Enfin le travail de groupement des éléments de base aurait une valeur encore plus importante s'il résumait également les travaux les plus intéressants qui ont déjà été effectués, pour autant qu'ils ne trouvent pas emploi, par ailleurs, dans les développements de la théorie. On trouve souvent en effet mention de travaux célèbres, mais ce renseignement ne suffit pas ; le lecteur a besoin d'une étude détaillée, qui, à côté des résultats, fasse ressortir d'une manière claire l'évolution du raisonnement dans la suite du travail et qui mette en évidence les hypothèses sur lesquelles repose ce raisonnement. Le travail sur des études antérieures est souvent très fructueux, car il permet d'approfondir et de voir nettement des questions capitales qui ne sont qu'effleurées brièvement dans les nouveaux ouvrages, par suite de l'abondance des matières. Les indications qui s'y rapportent sont donc précieuses.

En ce qui concerne la forme pratique à donner au travail la remarque suivante paraît indiquée.

Un exposé qui se limiterait à développer et à discuter les formules, sans les commenter, ne peut pas être suffisant pour le praticien. Avoir les formules présentes à la mémoire et embrasser leur portée d'un simple coup d'œil n'est pas à la portée de tout le monde. Pouvoir se reporter à la théorie elle-même assure un gros avantage, à condition que les résultats principaux y soient exposés également sous forme de texte. Ils sont ainsi bien plus vivants et ils frappent davantage. C'est précisément la facilité qu'il donne au lecteur de pouvoir travailler dans les conditions ci-dessus, qui constitue la valeur intrinsèque d'un exposé scientifique limité à un domaine restreint.

2. Dans les nouveaux ouvrages, et tout particulièrement dans ceux d'origine russe, on attire l'attention sur le fait que les diagrammes des efforts et des déformations devraient également porter extérieurement le caractère des phénomènes oscillatoires, même lorsque les déformations se sont produites d'après des lois purement statiques, sans intervention de masse. Il s'agirait des lignes d'influence résultantes introduites, à notre connaissance, par Rabut, pour l'étude des groupes de charges. Par exemple, s'il s'agit du moment fléchissant ou du fléchissement en un point d'une poutre supportant la voie, on obtient en réalité des tracés dentelés, qui sont tout à fait analogues à ceux des diagrammes dynamiques, tels qu'ils sont tracés en pratique par les appareils de mesure. Cela se produit même lorsqu'il s'agit de charges constantes. Or les charges sur les essieux ne sont pas constantes, mais elles varient avec les modi-

fications que subit la tension des ressorts. Dans les ponts de chemins de fer, il arrive que les charges sur les essieux moteurs et sur les essieux couplés augmentent et diminuent périodiquement avec la valeur des efforts centrifuges libres. La charge roulante est également soumise à des variations importantes, ainsi que nous l'avons développé au début et ces variations doivent, même au point de vue statique, exercer une influence analogue sur tous les diagrammes, de même que le changement des points d'application des charges.

S'il est également certain que les déformations que subissent les ponts ne constituent pas seulement une image statique des variations statiques de charge qui viennent d'être indiquées, d'une part, la théorie montre toutefois que les amplitudes des oscillations forcées provoquées par les charges roulantes et par l'influence des forces d'inertie des masses roulantes sont en général très faibles ; d'autre part, l'expérience montre que les variations périodiques de charge aux essieux apparaissent nettement dans les diagrammes, sans conduire toutefois, en général, à un balancement régulier. Il serait par suite certainement intéressant d'étendre les recherches, en tenant compte des suggestions russes, jusqu'à déterminer dans quelle mesure les diagrammes tirés des lignes d'influence, pour des groupes de charges, peuvent être interprétés en tenant compte des variations de charges signalées ci-dessus.

Pour notre « Manuel », il en résulte toutefois la nécessité de considérer l'ensemble des influences perturbatrices créées par les locomotives, dans la mesure où elles ne sont pas compensées soit sur la machine elle-même, soit avant d'exercer leur influence sur les roues, c'est-à-dire dans la mesure où elles se transmettent aux ponts eux-mêmes. En ce qui concerne les ponts-routes dans lesquels les phénomènes de résonance jouent un rôle encore plus important que dans les ponts-rail, il faudrait faire intervenir la construction des véhicules routiers et l'étude de leurs caractéristiques dynamiques.

3. Lorsque les principes fondamentaux mathématiques et techniques seront ainsi rassemblés, il ne manquera plus, en troisième lieu, pour la pleine compréhension de la littérature technique, que l'étude des appareils de mesure et de leurs principes théoriques. A première vue, il paraîtrait suffisant d'étudier les nouveaux appareils et les nouvelles méthodes de mesure ; toutefois, il est désirable d'envisager la chose d'une manière plus large et de traiter également, dans ses lignes générales, la technique des mesures elle-même.

### **Zusammenfassung.**

Die bisherigen Bestimmungen der Brückenvorschriften über die Berechnung der dynamischen Wirkung der Lasten können nicht als endgültig angesehen werden.

Theoretische Betrachtungen allein können eine vertiefte Erfassung der dynamischen Vorgänge nicht erschliessen, sondern nur planmässige, durch wissenschaftliche Überlegung geleitete praktische Versuche, Hand in Hand gehend mit dem Ausbau der Theorie. Beschränkung auf Grosszahlforschung mit den bisherigen Methoden bedeutet wissenschaftlichen Verzicht, zu dem kein Zwang vorliegt, solange man hoffen kann, durch Versuche mit wissenschaftlicher Fragestellung tiefer einzudringen. Die Schwierigkeiten, Mühen und Kosten der Forschungsaufgaben weisen auf internationale Zusammenarbeit hin. Der Forschung wäre auch gedient mit einer Zusammenstellung und zweckmässigen Bearbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen der Brückendynamik.

### **Résumé.**

Dans les prescriptions actuelles relatives aux ponts, les règlements concernant la détermination de l'action dynamique des charges ne peuvent pas être considérés comme définitifs.

Ce n'est pas par des considérations théoriques seules qu'on arrivera à une conception plus approfondie des procédés dynamiques, mais seulement par des essais pratiques bien organisés et guidés par des considérations scientifiques, allant de pair avec le développement de la théorie. Se restreindre à des analyses d'essais exécutés en grand nombre avec les méthodes actuelles signifie un renoncement scientifique, auquel on n'est nullement contraint tant qu'on peut avoir quelque espoir de pénétrer plus profondément ces questions par des essais de base scientifique. Les difficultés, le labeur et les frais des recherches exigent une collaboration internationale. Le groupement et l'étude judicieuse des principes fondamentaux de la dynamique des ponts seraient également de grande utilité.

### **Summary.**

Stipulations hitherto laid down in bridge specifications regarding calculating the dynamic effect of the loads cannot be regarded as final.

A fuller conception of the dynamic action cannot be obtained from theoretical considerations alone, but only from systematic practical experiments, conducted according to a scientific plan, proceeding hand in hand with the development of the theory. Limiting oneself to searching for empirical formulae with the methods hitherto used, means an abandonment of scientific principles, for which there is no justification as long as one can hope to learn more by conducting tests, with scientific enquiry as to the meaning of the results. The difficulties, trouble and cost of research point to the necessity of international cooperation. Research would also be assisted by the bringing together and suitably working up of the scientific bases of the dynamics of bridges.

---

Leere Seite  
Blank page  
Page vide