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

Band: 1 (1932)

Artikel: Méthodes de mesure dans la dynamique des ponts et charpentes

Autor: Bernhard, Rudolf

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-464

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: 15.07.2025

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

TRADUCTION

par M. Gossieaux, Ing., Paris.

A. Généralités sur la technique des mesures.

La grosse importance que l'on doit attacher, en premier lieu, à la technique pratique des mesures, provient du but utilitaire qu'elle permet d'atteindre. Il est probable que, sans cette aide qu'elle apporte à la théorie, en permettant le contrôle et la mise en valeur des résultats du calcul des processus dynamiques, les études théoriques ne pourraient réaliser que des progrès très lents. La technique des mesures permet donc à l'étude théorique de progresser. Cet appui réciproque que trouvent entre eux la mesure et le calcul permettent, en grande partie, d'établir sur des bases précises une grande partie des hypothèses tout d'abord arbitrairement choisies, et qui servent de point de départ aux études théoriques. On peut ainsi éviter d'adopter dans les différentes parties de la construction, des dimensions trop faibles ou trop fortes et réaliser les conditions présentant le maximum d'économie et de sécurité.

I. Grandeurs à mesurer et limites des mesures.

Dans l'étude des charpentes, les grandeurs dont la mesure est nécessaire sont, en premier lieu, les suivantes :

Flexions,
Allongements, ou plus généralement variations de longueur,
Torsions, ou déviations angulaires,
Oscillations, sous les rapports de la fréquence et de l'amplitude,
Accélérations,
et ultérieurement :
Amortissements,
Taux de travail,
Températures.

La nature exacte des grandeurs effectives sur lesquelles doivent porter les mesures dépend, entre autres considérations, de la nécessité d'étudier soit le matériau lui-même, soit la charpente finie ou en cours de construction.

On ne prendra en considération, dans ce qui suit, que les mesures à effectuer sur la charpente elle-même et, en particulier, celles qui correspondent à des taux de travail inférieurs à la limite d'élasticité.

La manière dont se présentent les grandeurs indiqués ci-dessus est extrêmement variable. Les fléchissements peuvent varier dans des limites très étendues, allant par exemple de 1/10 de millimètre jusqu'à 10 centimètres; par contre les allongements se limitent à des valeurs notablement plus restreintes; si l'on considère les longueurs que l'on a à mesurer le plus couramment, elles dépassent à peine 200 μ soit 0, 2 millimètre (1 $\mu = 10^{-3}$ mm). En ce qui concerne les mesures de torsion, ou de déviations, il faut compter avoir à descendre, pour les valeurs les plus faibles et qui sortent d'ailleurs de la normale, jusqu'à 5 secondes. On observe des oscillations atteignant une fréquence de

800 hertz (1 hertz = 1 oscillation par seconde), donc atteignant facilement déjà le double de la fréquence de 435 hertz qui correspond au la du diapason normal. En ce qui concerne les autres grandeurs qui sont indiquées plus haut, il est encore difficile, à l'heure actuelle, de donner des chiffres précis.

Les ressources dont on dispose pour la mesure de ces dimensions, dont quelques-unes sont extrêmement faibles, sont offertes principalement par la mécanique, l'optique, l'électrotechnique et l'acoustique. La mécanique n'offre toutefois qu'un champ d'investigation rapidement limité, aussi bien dans les valeurs supérieures que dans les valeurs inférieures, par suite de ce fait que les masses interviennent au premier chef ; par contre, les trois autres domaines permettent d'atteindre des marges sensiblement plus étendues.

En optique, par exemple, avec l'ultramicroscope, on peut en solution colloïdale atteindre des valeurs ne dépassant pas quelques $\mu\mu$ (1 $\mu\mu$ = 10^{-6} millimètre). En électrotechnique, avec l'oscillographe cathodique, on peut enregistrer des processus s'étendant sur un intervalle de temps ne dépassant pas 10^{-7} seconde.

Il est évident que les nécessités de la construction n'atteignent pas, en ce qui concerne la technique des mesures, les limites indiquées ci-dessus ; toutefois, on ne saurait se passer de l'aide du rayon lumineux dénué de masse, qu'offre l'optique, ou de la transmission du courant également dénué de masse, qu'offre l'électricité.

II. Exigences auxquelles doivent répondre les appareils de mesure.

En ce qui concerne les exigences auxquelles doivent pouvoir répondre les appareils destinés aux mesures relatives à la construction, on peut distinguer deux catégories : exigences statiques et exigences dynamiques, suivant que les grandeurs à mesurer présentent un caractère fixe ou variable.

Les mesures d'allongements, c'est-à-dire d'efforts, jouent un rôle absolument capital en construction ; ils consistent, en somme, à mesurer les modifications de l'intervalle entre deux points. C'est de cette catégorie de mesures qu'il sera donc question en premier lieu. Le dernier rapport présenté par l'auteur au cours de la Réunion Internationale des Ponts et Charpentes, à Vienne, en 1928 (Edition de 1921 [1]), a déjà traité d'une manière approfondie les nécessités auxquelles doivent répondre les appareils de mesure, tant du point de vue statique, telles que la sensibilité, l'amplification et la précision, que du point de vue dynamique, comme l'enregistrement, le chronométrage, les appareils à haute et à basse fréquence, le synchronisme des phases. Il n'est donc pas utile de revenir sur ces questions.

III. Les sources d'erreur dans les appareils de mesure.

Les erreurs qui s'introduisent facilement dans l'utilisation des appareils de mesure peuvent être provoquées par des causes statiques ou dynamiques. On trouvera, dans les lignes qui suivent, quelques indications sur les causes de perturbation que l'on rencontre le plus fréquemment.

---

1. Neuere Messungen dynamischer Brückenbeanspruchungen. R. Bernhard. Bericht über die II. Intern. Tagung für Brücken-und Hochbau. Vienne, édition 1929.

1. Erreurs d'ordre statique.

a. Les articulations des appareils.

Si l'on emploie des leviers pour assurer la transmission des mouvements, le jeu dans leurs articulations constitue une source d'erreurs, si les articulations ne sont pas particulièrement étudiées. Pour une amplification de 1.000 il suffit en effet d'un jeu de 1 μ pour provoquer à la lecture une déviation de 1 millimètre, ce qui, sur une longueur de mesure de 20 centimètres, peut se traduire par une erreur de 1 kg par mm^2.

b. Variations de température.

Remarquons en outre qu'une variation de température de 1° C s'exerçant sur une pièce d'acier de 20 cm., provoque une modification de longueur de 2,4 μ; on se rend compte par suite de la difficulté qu'il y a à réaliser des articulations qui ne soient pas susceptibles d'introduire des erreurs, et surtout encore à les maintenir telles, dans des conditions de service souvent dures. Si l'on emploie, de plus, plusieurs articulations successives, afin d'obtenir une plus forte amplification, les erreurs correspondantes s'ajoutent dans le même sens.

c. Pointes de mesure.

Les pointes de certains appareils de mesure, qui sont appelées à pénétrer plus ou moins profondément, suivant sa dureté, dans le matériau à étudier, et qui constituent l'organe principal de transmission des déplacements à mesurer, sont également une source d'erreurs. Lorsqu'il s'agit en particulier de mesures d'efforts alternés, pour lesquelles on emploie des pointes qui se déplacent une fois dans un sens, une fois dans l'autre, en prenant par conséquent appui sur des points différents, le jeu, de même que la présence d'articulations, est souvent la cause réelle de phénomènes apparents d'hystérésis, ou de tensions rémanentes, qui n'existent pas en réalité.

d. Flottement des pièces.

Lorsque les pointes ont constitué une sorte de lit dans le matériau à essayer, à la suite des variations de la charge, ou lorsqu'elles ont subi un certain tassement, elles perdent le contact; il est bon alors de disposer d'un mode de fixation qui permettre de rattraper le flottement, afin d'éviter les erreurs correspondantes.

2. Erreurs d'ordre dynamique.

a. Frottement.

Toutes les erreurs d'ordre dynamique proviennent en premier lieu du frottement, que l'on ne peut ni éviter, ni évaluer, et dont l'importance dépend de l'état de l'huile qui se trouve dans les articulations, ainsi que des conditions de température, auxquelles se trouvent soumises les pièces en mouvement. L'amortissement qui en résulte provoque un décalage des indications sur les échelles correspondantes. En outre, le plus petit jeu dans les articulations

conduit à des oscillations dans les organes indicateurs, oscillations qui ne correspondent pas à la réalité. Ces influences devront donc être annihilées dans toute la mesure du possible par l'adjonction de ressorts puissants, qui permettront d'obtenir des indications comparables entre elles et bien définies.

b. Influence de l'inertie.

Si l'on considère que pour une amplification de mouvement de 1.000, le chemin à parcourir par l'organe amplificateur est 1.000 fois plus important que le déplacement à mesurer, et que l'accélération correspondante est également 1.000 fois plus importante, on voit que le moment d'inertie est également tout simplement 10^6 fois plus fort. Toute modification, si faible soit-elle, dans la masse de l'équipage de mesure provoque également des modifications dans les effets d'inertie mis en jeu et conduit, par suite de ce qui précède, à des indications d'autant plus fausses. Il faut remarquer, en particulier, qu'une augmentation de l'amplification, qui correspond à un accroissement des masses, provoque une diminution de la fréquence propre d'oscillation.

Une réduction aussi poussée que possible des masses en mouvement peut seule être efficace dans cet ordre d'idées.

IV. Étalonnage des appareils de mesure.

L'étalonnage des appareils de mesure, qui a pour but de déterminer dans quelle mesure ils sont sujets aux causes d'erreurs indiquées ci-dessus, présente les plus grandes difficultés. Ce n'est que lorsque l'on réussit à construire des appareils étalons qui permettent de déterminer si les appareils de mesure eux-mêmes satisfont aux conditions statiques et dynamiques, que l'on peut être sûr des appareils de mesure.

La question de l'étalonnage a déjà été traitée d'une manière approfondie dans le précédent rapport de l'auteur, il suffira d'indiquer ici que les appareils d'étalonnage dont on avait signalé précédemment la nécessité, ont été établis entre temps.

1. Étalonnage statique.

Pour l'étalonnage statique, c'est-à-dire la détermination précise de l'échelle d'amplification qui correspond à l'ensemble du processus des mesures, on a construit un banc d'étalonnage.

Le banc d'étalonnage (fig. 1) se compose d'une partie fixe et d'une partie mobile. Les appareils de mesure à contrôler sont fixés par leur extrémité mobile à la partie mobile du banc d'étalonnage, et par leur extrémité fixe à la partie fixe de ce banc. En faisant subir à la partie mobile du banc d'étalonnage un déplacement dont on connaît exactement la grandeur, et qui est de l'ordre de 0,5 μ, on imprime un déplacement aux appareils de mesure. Ce faible déplacement doit être contrôlé avec précision au moyen d'un microscope micrométrique. L'indication de l'appareil de mesure à étalonner doit concorder, compte tenu de l'échelle d'amplification, avec le déplacement qui a été imposé à la partie mobile de l'appareil d'étalonnage, c'est-à-dire avec l'indication du microscope de mesure.

2. Étalonnage dynamique.

On a établi un banc d'essai pour l'étalonnage dynamique[1]. Il comporte une partie fixe et une partie mobile, sur laquelle les instruments à essayer sont fixés. La partie mobile est sollicitée pour exécuter des oscillations de fréquences suffisamment élevées, par exemple, des oscillations de forme sinusoïdale allant jusqu'à 300 hertz, sous différentes amplitudes, pendant que d'un autre côté on effectue des observations rigoureuses par comparaison avec le diagramme fourni par l'appareil à contrôler. L'excitation de la partie mobile du banc d'essai, pour produire des oscillations de fréquence et d'amplitude déterminées, est obtenue au moyen d'un électro-aimant, qui est alimenté par un courant alternatif de fréquence et d'intensité correspondantes.

B. Les nouvelles méthodes dynamiques de mesure.

I. Choix des méthodes de mesure.

La question du choix des grandeurs qu'il convient de mesurer, en construction, n'a pas encore reçu de solution effective. Si l'on considère l'objectif final, qui consiste à déterminer les efforts qui sont mis en jeu au cours des phénomènes d'ordre dynamique, on peut dire qu'il est en somme indifférent d'adopter tel ou tel moyen, pourvu qu'il mène au but. Toutefois, il convient de préférer les méthodes qui permettent d'embrasser d'un seul coup le régime complet des charges auxquelles la construction se trouve soumise, avec le plus petit nombre possible de mesures particulières.

Quoi qu'il en soit, la mesure la plus simple est celle des fléchissements, par suite de la manière dont se présente la grandeur à mesurer.

En employant des méthodes optiques, on réussit à déterminer les fléchissements de tous les points d'assemblage d'un pont, pendant le parcours d'un système de charge, et directement. On se trouve alors, du point de vue mathématique pur, en présence de calculs difficiles qui doivent permettre de trouver les valeurs des efforts, à partir des fléchissements ainsi déterminés. Le problème se pose encore également de déterminer de quelle manière se répartissent ces efforts entre les éléments de la charpente, c'est-à-dire dans l'intervalle des nœuds d'assemblage pour lesquels les mesures ont été faites.

Une deuxième méthode qui paraît, au premier abord, plus simple, consiste à mesurer directement les efforts, sans passer par l'intermédiaire de calculs fastidieux. On peut déterminer le régime de charge de toute la charpente en mesurant simultanément, avec de nombreux appareils, les efforts moyens dans les sections ; en disposant des appareils de mesure au voisinage des points d'assemblage de la charpente, ou entre eux, on pourrait également obtenir les efforts qui s'y exercent, y compris les efforts auxiliaires correspondant aux influences dynamiques. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'avoir recours à la mesure des déformations.

Une troisième méthode, qui consiste à mesurer les accélérations, nécessite

---

1. Prüfstand für Messgeräte in Bauwesen. R. Bernhard. Zeitschrift des V. D. I., 1931, n° 52.

également des calculs intermédiaires compliqués pour arriver aux efforts eux-mêmes et son emploi ne pourra, par conséquent, être envisagé que dans des cas particuliers.

Les oscillations se traduisent directement par des variations dans les flèches et dans les efforts ; par suite, dans les cas les plus courants, il n'est pas nécessaire de procéder à des mesures particulières.

Une quatrième méthode pour déterminer la manière dont se comporte l'ensemble d'une construction consiste à communiquer à la construction tout entière un régime d'oscillations appropriées. Dans ce domaine, de nombreuses recherches ont été entreprises en vue de saisir les caractéristiques de la construction sous le rapport des manifestations de l'énergie auxquelles elle est soumise, en utilisant des machines provoquant les oscillations et en étudiant la consommation d'énergie et la marche de la température.

II. Les appareils de mesure.

On trouvera ci-après la description de quelques nouveaux appareils dynamiques de mesure, principalement d'appareils indicateurs de tensions (allongements) et de fléchissements, sous la forme où ils sont employés de préférence en construction, ainsi que la description d'appareils indicateurs d'oscillations et d'accélérations.

Il convient toutefois d'attirer encore une fois l'attention sur le fait que le développement des appareils de mesure n'a pas encore atteint son stade définitif, et qu'il ne l'atteindra même jamais, car les progrès de la technique permettront toujours de les perfectionner.

Ne peuvent en effet être considérés comme susceptibles d'une utilisation pratique effective, que les appareils qui, non seulement, répondent aux exigences indiquées précédemment, mais ont encore permis de réaliser des essais pratiques, sur des constructions, pendant des années, et dont le prix d'achat ne dépasse pas une limite déterminée, considérée comme suffisamment intéressante au point de vue économique.

Suivant le principe général qu'ils mettent en œuvre, les appareils de mesure peuvent être classés, ainsi qu'il ressort du tableau 1 (page 499), dans les catégories suivantes : mécanique, optique, mécanique-optique, électrique-optique.

1. Appareils mécaniques.

On n'a pas encore pu déterminer d'une manière décisive si l'on pouvait, et dans quelle mesure, se fier aux indications qui sont fournies par les appareils mécaniques de mesure.

a. Appareil de mesure d'efforts des Chemins de Fer Fédéraux de Suisse[1] (A. Meyer). Figure 3.

L'appareil de mesure d'efforts a déjà été décrit, à l'occasion de la dernière réunion, par M. le Chef de Section Bühler. C'est un appareil à deux leviers,

1. Ziel. Ergebnisse und Wert der Messungen an Bauwerken.
A. Bühler. Bericht über die II. Intern. Tagung für Brücken- und Hochbau. Vienne, édition 1929.

comportant quatre articulations et un dispositif d'enregistrement sur papier noirci, avec dispositif séparé pour l'entraînement d'une bande de papier de 4 centimètres, destinée à recevoir les diagrammes. L'amplification fixe est de 1 à 100 ; les mesures peuvent intéresser une longueur de 20 ou de 40 centimètres, ainsi que le montre la figure 3, l'encombrement total étant de 30 ou de 50 centimètres ; le poid est de 1 kg., y compris l'appareil d'entraînement du papier. Grâce à une vérification particulièrement minutieuse de chacun des leviers et à la fixation sur une table élastique, cet appareil a atteint un degré de perfectionnement remarquable. Des caractéristiques plus détaillées figurent, à son sujet, dans le tableau.

Il est certain que de tous les appareils mécaniques actuellement existants pour la mesure dynamique des efforts, celui-ci s'est montré de beaucoup le plus pratique.

b. Vibrographe pour la mesure des oscillations[1] (Dr Geiger). Figure 4.

Cet appareil de mesure d'oscillations comporte deux leviers et cinq articulations, un dispositif d'enregistrement par encrage et une minuterie intérieure, pour bandes de diagrammes de 5 centimètres de large. En adoptant des masses différentes, fixées sur des ressorts de différentes forces, on peut faire varier sa fréquence propre de 0,001 jusqu'à 1 hertz.

Il doit être employé comme appareil à basse fréquence (principe des séismomètres). Le poids total atteint environ 4,6 kg. ; l'amplification peut être réglée de 3 à 24, l'encombrement atteint 25 centimètres. L'appareil peut être utilisé pour la détermination des fréquences, tant dans le plan horizontal que dans le plan vertical. La détermination des valeurs absolues des oscillations (amplitudes) n'est pas facile ; elle n'est, en tout cas, possible que si le degré d'amortissement est déterminé également avant et après chaque mesure. Le tableau 1 (page 499) donne les caractéristiques complémentaires de cet appareil.

De tous les appareils pour mesure mécanique des oscillations, c'est ce type qui est employé le plus souvent, par exemple, pour l'étude des oscillations dans les ponts.

c. Appareil de mesure d'efforts, d'après la méthode Ritz, du Bureau allemand de recherches pour la navigation aérienne[2] (Pabst). Figure 5.

L'appareil est mécanique et ne comporte pas de transmission par leviers. Il a été initialement prévu pour intéresser une longueur de mesure de 20 centimètres. Le diamant, monté sur une tête mobile, se déplace sur une plaque de verre, grâce à un mouvement d'entraînement extrêmement lent (parcours de 25 millimètres durant un temps variable de 15 secondes à 160 minutes) ; les modifications de longueur sont reproduites en vraie grandeur. Par suite, les diagrammes obtenus sur cette plaque de verre de 25 millimètres de long doivent être observées au microscope. L'observation au microscope a ainsi permis de réaliser une amplification de 500. La fréquence propre d'oscillation doit atteindre

1. Neuere Fortschritte im Bau von Messgeräten für Maschinenbau.
Geiger. Maschinenbau, 1924, n° 27.
2. Aufzeichnung schneller Schwingungen nach dem Ritzverfahren.
Pabst. Zeitschrift des V.D.I., 1929, n° 46.

environ 2.000 hertz ; le poids n'est que de 500 grammes. Nous croyons d'ailleurs savoir que l'on travaille encore actuellement au perfectionnement de cet appareil.

Cet appareil, très léger et dont le faible encombrement n'est que de 28 centimètres, a été particulièrement utilisé pour la mesure des efforts et des fléchissements, en navigation aérienne.

2. Appareils optiques.

Dans les appareils basés sur des méthodes purement optiques on ne rencontre aucun des dispositifs mécaniques de transmission destinés à mettre en évidence les modifications des points d'appui ou des longueurs, tels que les leviers, les articulations et les dispositifs d'encrage d'enregistrement. Le rayon lumineux, dénué de masse, permet de réaliser une transmission sans aucune inertie.

a. Appareil de mesure des fléchissements et des efforts basé sur la méthode microphotographique[1] (Bloss). Figure 6.

Deux languettes, solidaires à leurs extrémités des points entre lesquels les mesures doivent être effectuées, constituent une fente, de largeur variable, et dont l'image se reproduit sur une bande sensible qui se déplace devant un objectif microphotographique. La bande a une largeur de 4 centimètres. L'amplification (ou réduction) varie entre 1/2 et 20 pour les mesures de fléchissements et 70 pour les mesures d'allongements. L'encombrement est de 60 centimètres et le poids total de l'appareil atteint 15 kg.

Cet appareil est celui qui convient le mieux pour les mesures de flèches et a été particulièrement apprécié, à cette fin, pour l'étude des voies de chemin de fer.

b. Optographe Zeiss-Kulka pour la mesure des fléchissements[2]. Figure 7.

Le principe de cet appareil a été appliqué, pour la première fois, en 1927, en construction navale. L'appareil de mesure lui-même a été étudié avec le concours de la Société des Chemins de Fer Allemands. Il en est encore à la période d'essai. Les fléchissements qui sont destinés à la détermination de la ligne élastique sont observés à l'aide d'une lunette braquée dans la direction de la poutre à étudier, avec dispositif d'enregistrement photographique. Des prismes spéciaux à trois faces, qui possèdent la propriété de réfléchir chaque rayon lumineux suivant une direction rigoureusement parallèle à celle par laquelle il a pénétré, sont disposés aux point où doivent être faites les mesures. Une ampoule électrique disposée dans la lunette est utilisée comme source lumineuse. Les images réfléchies de cette source lumineuse ponctuelle forment

1. Zur Frage der Dehnungs- und Schwingungszeichner. Bloss. « Die Bautechnik », 1930, n° 38.

2. Optisch-photographische Formänderungsmessungen an Luftfahrzeugen. Küssner, Annuaire 1930 : Deutsche Versuchsanstalt für Luffahrt. Berlin Adlershof.

Beitrag zur Ermittlung von dynamischen Beanspruchungen in eisernen Brücken. H. Kulka. « Die Bautechnik », 1931, n° 26.

des points lumineux, dans la chambre de la lunette et elles s'enregistrent sur la bande sensible sous forme de lignes droites. Les perturbations que subissent les prismes produisent des perturbations correspondantes sur la bande sensible ; à chaque fléchissement correspond un coude de la courbe d'enregistrement, et l'image renvoyée par chaque prisme donne une ligne ondulée.

Le gros avantage que présente cet appareil réside dans la possibilité d'enregistrer sur un seul et même diagramme, sans aucune inertie, et absolument simultanément, les fléchissements subis par un grand nombre de points faisant l'objet des mesures. L'interprétation des diagrammeés ainsi obtenus, qui n'est possible qu'à l'aide d'un microscope de mesure spécial à très fort grossissement, nécessite encore des recherches ultérieures.

3. Appareils mécaniques et optiques.

Il est à noter que dans les appareils mixtes mécaniques et optiques, la partie mécanique, douée de masse, n'annihile nullement les avantages que donne la partie optique, dénuée de masse.

a. Appareil de mesure des efforts des Chemins de fer anglais[1] (Fereday-Palmer). Figure 8.

Cet appareil de mesure des efforts a été également signalé, au cours de la dernière réunion, par M. le Chef de Section Bühler. Il constitue un appareil à un levier muni d'un dispositif d'enregistrement photographique. La déviation des rayons lumineux est provoquée par un miroir qui est fixé sur un levier relié lui-même directement à la pointe mobile destinée à enregistrer les efforts. On peut provoquer l'entraînement d'un film de 6 centimètres de large, par commande électrique. La longueur intéressée à la mesure est fixe et de 50,8 centimètres ; l'amplification de 100 est fixe également. Le poids de l'appareil est élevé : il atteint 10 kg et sa longueur est de 80 cm. Le tableau I donne, au sujet ce cet appareil, des renseignements complémentaires.

Les Chemins de fer anglais, en particulier, ont effectué des essais très étendus avec cet appareil. C'est un des premiers appareils qui utilisent l'amplification par rayon lumineux dénué de masse pour compenser l'inconvénient de l'enregistrement photographique.

b. Appareil mécanique et optique pour la mesure des trépidations[2] (Schwayder, Hort, Angenheister). Figure 9.

Le premier appareil lancé sur le marché en 1930 est un appareil de mesure d'oscillations suivant les trois composantes d'après le principe des mesures sismographiques (appareil de mesure de basse fréquence). De même que dans l'appareil de mesure d'efforts qui vient d'être décrit, la déviation subie par un rayon lumineux est enregistrée, à l'aide d'un miroir, sur une bande sensible.

Pour chacune des trois composantes qui correspondent aux axes de coordonnées X, Y et Z, il est prévu un miroir. La déviation du rayon lumineux,

1. Report of the Bridge Stress Committee, Londres, 1928.
2. Drei-Komponenten-Erschütterungsmesser. René Leonhardt. « Die Bautechnik », 1931, n° 49.

c'est-à-dire la rotation du miroir correspondant, est réalisée au moyen de trois masses pendulaires suspendues et mobiles suivant l'axe correspondant. La liaison mécanique (liaison par un levier entre le miroir et la masse pendulaire) ainsi qne l'amplification optique (longueur du rayon lumineux indicateur) sont variables, de telle sorte que l'on peut atteindre une amplification allant jusqu'à 3.000 dans la transmission des déplacements. La fréquence d'oscillation propre des trois masses pendulaires atteint environ 5 hertz.

Il est à noter que l'on a réalisé un amortissement réglable en faisant varier la hauteur du niveau d'un bain d'huile, disposé dans des pots d'amortissement spéciaux. La largeur de la bande sensible est de 6 centimètres ; le poids total de l'appareil est de 33 kg ; le mouvement d'entraînement de la bande est réglable jusqu'à 8 centimètres par seconde.

L'emploi de cet appareil est particulièrement indiqué pour l'évaluation directe des trépidations de très faible amplitude, grâce à sa sensibilité élevée.

4. Appareils électriques et optiques.

Dans les appareils électriques et optiques, on a la possibilité très intéressante de séparer l'appareil de perception (transmetteur) et l'appareil d'enregistrement (récepteur). Cette séparation très facile est réalisé par l'intermédiaire d'une liaison par fil.

Remarquons tout d'abord que l'on n'a toutefois pas la possibilité d'éliminer complètement les organes mécaniques de transmission, ainsi qu'on peut le faire dans les appareils fonctionnant sur un principe purement optique. Ils sont malgré tout limités à quelques pièces d'importance secondaire. On ne peut pas éviter non plus l'enregistrement photographique ; on peut toutefois observer les phénomènes pendant la mesure même. On peut également, au bout de quelques secondes de développement, observer le film d'enregistrement, et, grâce à des chicanes spécialement disposées, avoir accès optique dans la chambre noire. Le transport de l'appareil de mesure et son installation à l'endroit voulu nécessitent, dans tous les cas, l'emploi d'un wagon et d'un abri spécial. Lorsque l'on ne tient pas à effectuer le développement à la cuve spéciale, on peut ainsi prévoir l'installation d'une chambre noire.

On ne poursuit plus actuellement l'étude des appareils qui ne donnent les diagrammes que sous forme de courbes enveloppées dont les enveloppes inférieures et supérieures seules peuvent être utilisées.

Parmi les procédés de mesure électriques et optiques en cours de développement et d'ailleurs déjà utilisés, on peut citer tout d'abord l'emploi de l'oscillographe, utilisé comme appareil de réception et qui fait l'objet de la description ci-après.

Oscillographe de réception[1] (Siemens et Halske). Fig. 10.

L'oscillographe a été signalé par l'auteur dans son précédent rapport.

Il se compose principalement d'un organe de mesure, constitué par un conducteur replié en forme de boucle et qui est suspendu entre les branches d'un puissant électro-aimant, comme dans un galvanomètre. Par suite de l'action

1. Oszillographen : « Zeitschrift des V. D. I. », 1930, n° 8.

électrodynamique qu'exerce un champ magnétique sur un conducteur parcouru par un courant, le circuit constitué par le conducteur qui se trouve entre les branches de l'aimant est animé d'un mouvement d'oscillation dès qu'il est parcouru par un courant. Sur les deux branches du conducteur, est fixé un miroir très petit, de 0,5 sur 0,5 millimètres, que l'on dispose de manière à ce qu'il se trouve dans le pinceau lumineux émis par une lampe ; les déviations que subit ce miroir sont projetées sur une bande sensible. On peut disposer de la même manière, les uns à côté des autres, six circuits et même plus ; on peut en effet enregistrer sur une même bande sensible de 12 centimètres de large, et simultanément, six diagrammes et plus. Avec cette disposition, telle qu'elle est constituée normalement, un courant d'environ 5.10^{-5} ampères provoque sur le film une déviation de 1 millimètre, lorsque la longueur du rayon lumineux est de 1 mètre. Les dispositifs oscillographiques utilisés par les Chemins de fer allemands pour effectuer des mesures sur les ponts possèdent des fréquences propres variant entre 1.500 et 15.000 hertz. En employant, pour l'amortissement des déviations de l'équipage mobile, une huile de composition appropriée, on peut obtenir un système exactement semi-apériodique.

C'est une possibilité que n'offrent pas les appareils mécaniques, dans lesquels on ne peut pas obtenir rigoureusement, à priori, l'amortissement voulu. En effet, suivant les résistances intérieures des appareils et qui proviennent, par exemple, des articulations, l'amortissement se modifie ; il est également modifié en cours de transport et au moment de la mise en place des appareils, de sorte que l'on se trouve, en pareil cas, dans l'obligation de procéder à un nouvel étalonnage des échelles.

Le processus d'oscillation du circuit qui porte le miroir peut être rendu visible, au cours d'un essai, par la méthode stroboscopique, en observant par l'intermédiaire d'un miroir polygonal ; on peut même ainsi fixer un mouvement oscillatoire passager et obtenir un système ondulatoire permanent, visible et mesurable. De plus, l'amplification peut être augmentée d'une manière presque illimitée, sans renforcement de l'épaisseur du tracé. Jusqu'à maintenant, on a pu pousser l'amplification jusqu'à 20.000, en travaillant en liaison avec un appareil transmetteur d'oscillations des Chemins de fer allemands.

L'entraînement du papier est réglable jusqu'à une vitesse régulière de 4 mètres par seconde, ce qui paraît impossible à première vue pour un enregistrement mécanique. On peut monter l'oscillographe et l'utiliser d'une manière tout à fait indépendante et à un éloignement quelconque par rapport à l'emplacement où ont lieu les mesures ; on peut donc en particulier travailler dans un wagon ou sous un abri spécial.

Pour pouvoir étudier dans le temps les phénomènes qui font l'objet des mesures, on utilise les indications données par les vibrations d'un diapason dont la période propre d'oscillation est de 50 hertz ; ces vibrations sont, à cet effet, photographiées simultanément avec les phénomènes à étudier. Lorsque l'on travaille sur les ponts, on monte un interrupteur à commande électromagnétique dont l'excitation est effectuée au moyen de plusieurs contacts que l'on dispose sur le pont, ainsi qu'à l'entrée et à la sortie ; ce dispositif permet de déterminer sur le diagramme la position et la vitesse de la charge roulante,

à chacun des moments où elle actionne un des contacts sur lesquels elle passe.

On peut également envisager l'emploi de l'oscillographe, en construction, comme appareil de mesure ; il sera utilisé en particulier pour l'étude des phénomènes extrêmement rapides, grâce à l'intervention du rayon lumineux dénué de masse.

Appareils transmetteurs.

Les deux méthodes faisant l'objet des paragraphes ci-dessous, ainsi que le procédé décrit dans le paragraphe 4, font appel à des tubes électroniques. On éprouve donc une certaine difficulté à faire fonctionner simultanément plusieurs appareils dont chacun d'eux demande l'emploi d'un ou même de plusieurs tubes. Pour les méthodes indiquées dans les paragraphes 1 à 4 ci-dessous, on n'indiquera que le principe du montage et on renverra aux publications dans la presse technique, car les appareils construits en pratique n'ont pas encore été essayés effectivement au cours de mesures sur des ponts.

a. Mesure des efforts d'après la méthode du condensateur [1]. (Thoma et Sachsenberg). Figure 11.

Les variations de longueur de la zone sur laquelle porte la mesure sont transmises à deux lames de condensateur, disposées l'une contre l'autre ; l'une de ces lames est solidaire de la pointe fixe et l'autre de la pointe mobile. Ces lames sont intercalées dans un circuit excité en haute fréquence par un tube électronique. Toute modification de l'écartement entre les lames provoque des modifications correspondantes dans la capacité du circuit. Il en résulte des variations simultanées dans l'intensité du courant qui parcourt un deuxième circuit, couplé en résonance avec le premier. Le courant de ce circuit est redressé par une autre valve et doit subir une notable amplification. Il est ensuite envoyé dans un oscillographe, où il est décelé ainsi qu'il a été indiqué précédemment.

Le principe ci-dessus a été utilisé tout d'abord pour les mesures à effectuer en construction mécanique.

b. Mesure des efforts par la méthode d'induction [2]. (H. A. Thoma). Figure 12.

Ce procédé ne se différencie de celui qui vient d'être indiqué, en principe, que par le point suivant : à la place des deux lames de condensateur disposées l'une contre l'autre, c'est une bobine qui se trouve disposée contre une plaque métallique de résistance élevée. La bobine et la plaque sont solidaires, l'une de la pointe fixe, l'autre de la pointe mobile de l'appareil de mesure proprement dit. La modification d'écartement qui en résulte entre elles provoque ici également des variations dans l'intensité du courant d'un circuit à haute fréquence. Ces oscillations sont redressées dans un deuxième tube et amplifiées, puis envoyées dans un oscillographe qui permet de les mettre en évidence.

---

1. Aufzeichnung schneller Schwingungen. Z. V. D. I., 1929, n° 19, H. Thoma. Gerät zur Messung von Arbeitswiderständen und Beanspruchungen. Sachsenberg, Osenberg, Gruner. Z. des V. D. I., 1928, n° 14.

2. Report of the Bridge Stress Committee. Londres, 1928.

Cette méthode a été utilisée par les Chemins de fer anglais pour des essais de ponts ; elle ne se prête toutefois que peu aux dures conditions que comporte le service sur place.

c. Mesure des efforts d'après la méthode électromagnétique [1]. (Kammerer-Bernhard). Figure 13.

Ce procédé de mesure a été également employé aux États-Unis. De même que celui qui est indiqué dans le paragraphe précédent, il repose sur l'effet d'induction produit ici par un induit mobile se déplaçant dans un champ électromagnétique. L'induit, qui est disposé entre les bobines de l'appareil transmetteur, est solidaire de la pointe mobile de l'appareil de mesure proprement dit ; les deux bobines étant solidaires de la pointe fixe. Les modifications que subit la longueur étudiée, et les déplacements corrélatifs de l'induit produisent des courants qui sont mis en évidence par un oscillographe muni d'un dispositif wattmétrique (oscillographe à courant alternatif). On a choisi un dispositif wattmétrique c'est-à-dire un équipage mobile qui mesure le produit de l'intensité du courant par la tension, pour éviter les difficultés que présente l'interprétation des courbes enveloppes, que l'on ne pourrait pas éviter autrement. Les bobines du dispositif transmetteur, de même que celles qui produisent le champ de l'oscillographe, sont alimentées par la même source de courant alternatif de période constante. La fréquence du courant alternatif, qui constitue l'onde porteuse, est choisie assez élevée pour que l'équipage mobile de l'oscillographe ne puisse pas entrer en oscillations sous son influence.

L'avantage de ce dispositif, par rapport aux deux premiers, réside en l'absence de tout tube électronique. L'appareil étudié par les Chemins de fer allemands doit prochainement faire l'objet d'essais pratiques sur un pont.

d. Mesure des accélérations par la méthode piézo-électrique [2]. (Risch, Kluge, Linckh). Figure 14.

La modification de pression qui résulte d'une accélération quelconque provoque une modification de la charge électrique d'un cristal de quartz piézo-électrique, ou de plusieurs cristaux placés les uns sur les autres. Le courant anodique d'un tube électronique est soumis par l'intermédiaire de la grille de ce tube, à l'influence des variations de charge du cristal. Le tube doit être disposé directement au voisinage du cristal de quartz piézo-électrique, d'une part pour réduire dans toute la mesure du possible les pertes de charge résultant des fuites dans les isolants, fuites qui ne peuvent jamais être complètement évitées, et d'autre part pour maintenir la capacité aussi faible que possible et par suite, réaliser le maximum de sensibilité. Ce premier tube appartient à la partie transmettrice de l'appareil. Son courant anodique peut être amplifié par un deuxième tube et envoyé dans un oscillographe pour être mis en évidence.

Le procédé a été employé pratiquement en construction, en particulier pour

1. Veröffentlichungen der Westinghouse Electric Mfg. Co, Pitts. Versuchslaboratorium. Messgeräte für kleine Dehnungen. Brevet 31 mars 1931.

2. Messung v. Verkehrserschütterungen. Risch. « Verkehrstechnik », 1929, n° 40, et Piezoelektrische Messungen v. Druck-u. Beschleunigungskräften. Kluge und Linckh. « Zeitschrift des V. D. I. », 1929, n° 37.

l'étude des phénomènes de trépidation provoqués par la circulation. Les efforts d'accélération qui s'exercent sur une masse, placée sur les cristaux de quartz piézo-électrique, provoquent dans ces cristaux des pressions oscillatoires et par suite des oscillations correspondantes dans son état de charge électrique.

L'avantage des méthodes indiquées dans les paragraphes 1, 2 et 4 réside dans la possibilité d'obtenir, grâce à l'emploi des tubes électroniques, une amplification sans intervention de masse et presque illimitée. Des essais pratiques devront montrer jusqu'à quel point les tubes électroniques, qui sont fragiles, pourront supporter un service sévère et les autres influences qui peuvent s'exercer sur place.

e. Mesure des efforts, des accélérations et des fléchissements par la méthode de compression sur des plaques de charbon [1]. Télémètre à disques de charbon (Bernhard). Fig. 15.

Le télémètre à disques de charbon a déjà été décrit dans le précédent rapport de l'auteur. Il n'est donc pas utile de revenir ici sur le principe de la méthode. Il suffira de rappeler qu'il repose sur la variation de résistance électrique de petits disques de charbon soumis à des pressions variables.

Le télémètre à disques de charbon est actuellement le seul appareil transmetteur électrique qui ait fait ses preuves d'une manière pratique et qui ne comporte aucun tube électronique, tout en assurant l'amplification nécessaire. En outre, c'est précisément celui qui, parmi les appareils transmetteurs électriques, a été éprouvé dans des conditions effectives, sur des ponts, pendant plusieurs années. Il est intéressant de faire ressortir, par comparaison avec les autres procédés, qu'il a déjà été employé en construction, sans nécessiter de modifications importantes, à la fois pour mesurer les allongements (efforts), les fléchissements, les oscillations et les accélérations. Le succès de cet appareil provient tout naturellement des résultats qu'ont donné les essais effectués depuis l'année 1925, au cours desquels il a été établi que les appareils existant ne satisfaisaient pas encore aux exigences qui leur sont imposées. Il a permis de réduire le poids de l'appareil transmetteur à 400 grammes et son encombrement à 16 centimètres seulement (figure 16). On procède d'ailleurs actuellement aux essais d'un appareil encore plus petit, qui ne pèse que 75 grammes environ, avec un encombrement réduit à 12 centimètres.

Lorsque l'appareil transmetteur doit être employé comme instrument de mesure des oscillations ou des accélérations, il suffit d'une modification peu importante : la pointe mobile de mesure n'est pas maintenue au contact de la pièce, mais elle est munie d'un faible poids additionnel et elle doit pouvoir dévier librement suivant la direction des accélérations à mesurer (figure 17). Le transmetteur travaille donc, dans ce cas, comme un appareil à haute fréquence et non pas comme les appareils courants pour la mesure des phénomènes sismiques, qui travaillent la plupart du temps comme appareils à basse fréquence.

Lorsque l'on emploie l'appareil pour la mesure des fléchissements, qui sont importants par rapport aux allongements, il faut en réduire l'importance.

1. New Development in Electrical Telemeters. Peters. American Society for Testing Materials, 1923, p. 592. Ferndehnungsmessungen an Schiffkörpern. Siemann. Zeitschrift des V. D. I., 1926, p. 539.

Étant donné le faible poids et les petites dimensions de l'appareil, il suffit d'interposer un ressort à lame léger. Malgré la réduction qu'elle subit, la fréquence propre reste encore bien supérieure au quadruple des fréquences les plus élevées de la flexion.

En liaison avec un oscillographe, on a atteint jusqu'à maintenant des amplifications d'environ 20.000, de sorte qu'il a été possible d'effectuer des mesures sur des ponts-routes de construction massive (pierre et béton) et sans difficultés, même pour un seul véhicule.

En électrotechnique, on n'applique pas volontiers, pour les mesures, le principe de la variation de la résistance de contact. On a toutefois constaté qu'il n'était pas fondé de craindre que les disques de charbon ne suivent pas assez rapidement les oscillations de fréquence élevée. On sait d'ailleurs que dans le microphone, qui repose sur le même principe, les oscillations ou vibrations de la parole sont transmises d'une manière parfaite, quoiqu'il s'agisse de fréquences sensiblement plus élevées.

Quoique cela ait déjà été fait en partie dans le précédent rapport, il est intéressant de résumer et de compléter l'exposé des avantages et des inconvénients que présentent ces appareils.

Les avantages des appareils électriques et optiques de mesure sont les suivants : période élevée d'oscillation propre de l'appareil, grandes possibilités d'amplification, facilité d'employer et de surveiller simultanément plusieurs appareils à partir d'un même point central d'observation, et, par suite, économie de personnel ; il importe en outre d'attirer l'attention sur l'avantage que présente l'absolue coïncidence des divers phénomènes sur la même bande, de même que sur la possibilité de réduire le nombre des diagrammes, grâce à cet enregistrement sur une seule bande, dont la vitesse d'entraînement est réglable dans de larges limites ; on réalise ainsi un gain de temps considérable ; enfin, pour l'enregistrement en différents points, il suffit de se procurer seulement plusieurs appareils transmetteurs, de sorte que les frais ne s'élèvent pas d'une manière importante.

Les inconvénients de ces appareils résident sans aucun doute dans l'emploi délicat de l'oscillographe ; il convient d'ailleurs de faire remarquer que tous les appareils purement statiques, même les plus simples du point de vue mécanique, nécessitent des aides-opérateurs absolument familiarisés avec leur maniement. Enfin, la nécessité d'avoir tout d'abord à développer le diagramme photographique implique inévitablement une certaine perte de temps.

L'exécution de mesures très nombreuses nécessite la mise en œuvre simultanée de plusieurs appareils. Le relevé de plusieurs mesures, même pour un seul trajet de la charge, est notablement facilité par l'emploi de la commande électrique à distance.

Les nombreuses mesures qui ont été effectuées jusqu'à maintenant ont, dans tous les cas, mis en évidence le fait que quelques-uns des procédés reposant sur la transmission électrique et optique ne doivent pas être considérés comme des méthodes scientifiques pures destinées au laboratoire, mais que même dans la technique pratique des mesures concernant la construction, ils pouvaient être employés avec succès. Cette considération ne doit toutefois pas exclure les

mesures de contrôle, pas plus que les recherches qui seraient à faire avec d'autres appareils de mesure, en vue de déterminer leurs possibilités.

5. Conclusion.

Quelques-unes des conditions principales auxquelles doivent satisfaire les appareils de mesure enregistreurs, pour permettre d'étudier le processus des phénomènes dynamiques qui se présentent en construction, sont résumées brièvement ci-après :

1. Fréquence élevée d'oscillation propre de l'appareil.

Cette fréquence doit être supérieure ou égale à 1.200 hertz afin de pouvoir obtenir des indications sûres, pour des fréquence à mesurer pouvant aller jusqu'à 300 hertz.

2. Constance des phases.

La régularité des phases permettra d'éviter les perturbations parasitaires.

3. Précision.

$\pm$ 2,5 % pour une amplification d'au moins 1.000.

4. Facilité d'étalonnage.

5. Facilité de commande.

Dans toute la mesure du possible, commande simultanée de plusieurs appareils de mesure d'un même point central.

6. Rapidité du dispositif d'enregistrement.

Pour l'enregistrement des phénomènes rapides, commande rapide du papier ou de la pellicule, qui doit, dans toute la mesure du possible, être réglable jusqu'à 2 mètres par seconde.

7. Synchronisme.

Dans toute la mesure du possible, on enregistrera sur une même bande les diagrammes provenant d'emplacements de mesure différents.

Pour les appareils de mesure d'efforts (allongements) :

8. Les mesures devront porter sur de faibles distances.

Dans toute la mesure du possible, inférieures à 20 cm.

9. Sensibilité.

On doit pouvoir déceler des efforts de 0,5 kg par mm^2.

Les indications de base qui précèdent sont, en particulier, conformes aux exigences qui avaient été déjà indiquées dans le rapport précédent. Il reste à déterminer si, d'une manière générale, toutes ces conditions peuvent être réalisés par un seul appareil.

III. Appareils auxiliaires spéciaux.

Machine pour l'essai d'oscillation.

Parmi les dispositifs auxiliaires permettant de faciliter les recherches et

Tableau 1. — Les nouveaux appareils pour mesures dynamiques.

Principe	Désignation Fréquence		Applications actuelles	Zones utiles	Amplification	Fréquences propres hertz (env.)	Transmetteur				Récepteur		Avantages particuliers	Inconvénients particuliers
	Haute	Basse					Nb.	Long. de mesure	Type	Poids	Nb.	Dispositif d'enregistrement		
Mécanique	Ch. de Fer Suisses		Allongements	50 à 1.000 kg par cm²	1 à 100		1	20 cm. et 40 cm.	2 leviers 4 articulations	1 kg.	1*	Inscription à l'encre avec mouvement d'horlogerie	Obtention directe du diagramme	Amplification limitée
		Vibrographe	Oscillations		1 à 24	0,001 à 1	1		Masse lourde 2 leviers 5 articul.	4,6 kg.	1			Faible fréquence propre
	Méthode Ritz		Allongements	50 à 1.000 kg par cm²	1	2.000 environ	1	fixe 20 cm.		0,5 kg.	1	Diamant sur verre	Petit transm.	Microscope nécessaire Gros. jusqu'à 500
Optique	Optographe		Flèches				1		Prismes à trois faces	0,5 kg.	env. 12	Bande photographique mouvement d'horlogerie	Synchronisme	Microscope néces. conversion d'allongements **.
	Microphotogr.		Flèches Allongem.	0,01 à 60 mm. 30 à 1.000 kg. par cm²	de 1 à 0,5 à 1 à 20 1 à 70		1	fixe 20 cm.	Bobine	15 kg.	1			Amplification ** limitée
Mécanique et Optique	Fereday-Palmer		Allongements	50 à 1.000 kg. par cm²	1 à 100	env. 170	1	fixe 50,8 cm.	1 levier Miroir	10 kg.	1			Amplification ** limitée
		Trépidations 3 composantes	Oscillations		jusqu'à 1 à 3.000	env. 5	3		3 leviers 3 miroirs	33 kg.	1		Sensibilité	Faible fréquence propre **
Electrique et Optique	Condensateur		Allongements		facultative		1		2 armatures de condensateur		6 env.	Oscillographe Bande photographique avec commande électrique		Deux lampes **
	Induction		Allongements				1		noyau et bobine		6 env.			Deux lampes **
	Electromagnét.		Allongements				1		3 bobines		6 env.			**
	Piézoquartz		Oscillations Accélérations				1		piézoquartz 1 lampe		6 env.			Une lampe **
	Télémètre à disques charbon		Flèches Allongem^t Oscillations Accélérations	5 à 2.000 kg. par cm²	jusqu'à 20.000	1.200 à 4.000	1	2 à 50 millim.	Disques de Charbon	0,4 kg. pour le transm.	6 env.		Petit transmetteur Synchronisme Amplification facultative	**

* Sans dispositif d'entraînement.

** Développement photographique.

essais dynamiques, et qui ont été déjà mentionnés dans le précédent rapport, il convient de signaler la machine pour essais d'oscillation [1].

Le procédé repose essentiellement sur la mise en oscillation des constructions, à l'aide d'impulsions périodiques judicieusement réglées. L'étude de la manière dont se comporte la construction vis-à-vis de charges dont on connaît les caractéristiques de grandeur, de position et de fréquence, permet ensuite de tirer des conclusions en ce qui concerne les caractéristiques propres et éventuellement l'état dans lequel se trouve la construction.

Étant donné la nouveauté de l'ensemble du procédé, il convient de donner quelques précisions sur les dispositions de l'essai et sur l'interprétation des résultats.

1. Mode opératoire.

La mise en oscillation, c'est-à-dire l'application d'efforts d'intensités variées et de directions appropriées, ou de couples de fréquences quelconques, suivant une loi purement sinusoïdale, est réalisée de la manière suivante :

Deux disques excentriques, dont le sens de rotation et l'excentricité sont réglables à volonté, sont entraînés par un moteur électrique (figure 18). Suivant le sens de rotation et la position l'une par rapport à l'autre des deux masses oscillantes (coïncidence ou opposition), on peut exercer sur la construction des impulsions verticales ou horizontales (P) et par suite des efforts ou des moments dans un plan quelconque.

Les efforts verticaux sont intéressants au premier chef, par exemple dans les ponts, lorsqu'il s'agit de l'étude des poutres principales. Les efforts horizontaux interviennent principalement dans une direction perpendiculaire à la voie, pour la détermination de l'importance des éléments de contreventement, des pièces destinées à résister aux influences de freinage ou de roulis. Par l'application de moments dans le plan vertical, éventuellement perpendiculairement à l'axe de la voie, on peut étudier la rigidité de torsion des ponts, c'est-à-dire la manière dont se comportent, dans leur ensemble, les poutres principales, ainsi que les éléments transversaux et de contreventement. Cette question présente une grosse importance, en particulier en ce qui concerne l'influence des charges s'exerçant sur une seule voie, dans les ponts à double voie [2].

On élimine les influences indésirables (P) des deux masses par une disposition réciproque appropriée de ces deux masses l'une par rapport à l'autre. En réglant leurs excentricités, on peut faire varier dans de larges proportions les efforts centrifuges exercés par les deux disques oscillants. Pour déterminer les efforts centrifuges produits suivant ces différentes excentricités, on évalue le moment de torsion exercé par les deux disques sur une balance dite « à centre de gravité », telle que celles que l'on emploie fréquemment pour l'équilibrage des masses tournantes. On peut ensuite, par le calcul, et pour chaque vitesse de

1. Rein dynamische Verfahren zur Untersuchung der Beanspruchung v. Bauwerken. Bernhard und Späth. « Stahlbau », 1929, n° 6.

2. Theorie u. Berechnung der eisernen Brücken. Bleich :
Ueber die Verwindungssteifigkeit von zweigleisigen Eisenbahnfachwerkbrücken. Bernhard. « Stahlbau », 1930, 8, et 1931, 21.

rotation, déterminer l'effort centrifuge correspondant, en appliquant la formule connue :

$$Z = m\,\omega^2\,r$$

dans laquelle on désigne par :

m la masse des disques de la machine d'oscillation.
ω la vitesse angulaire, $\omega = 2\,\pi\,n$ (n tours/sec.)
r l'excentricité.

2. Interprétation des essais.

Pour éviter l'influence des oscillations dans la fréquence du réseau, l'alimentation du moteur d'entraînement doit être effectuée au moyen d'une batterie d'accumulateurs transportables. A partir de la mise en circuit du moteur, la vitesse de rotation monte lentement et l'on observe la manière dont se comporte la construction pour des vitesses de rotation différentes. Toute construction se comporte en effet à ce sujet comme un système oscillatoire mécanique. Les fléchissements provoqués par les charges périodiques sont en général très faibles ; toutefois, lorsque l'on passe entre les limites d'ailleurs très étroites de la résonance, ces déformations peuvent atteindre des valeurs extrêmement élevées.

La manière dont l'ouvrage se comporte peut être étudiée numériquement à l'aide de différentes méthodes. On peut, par exemple, aux endroits voulus, déterminer les fléchissements ou les efforts en employant les appareils de mesure enregistreurs précédemment décrits. On obtiendra une sorte de courbe de résonance de la construction en portant les amplitudes des oscillations en fonction de leur fréquence.

Dans un ouvrage, l'énergie mise en jeu par les oscillations croît proportionnellement au carré de l'amplitude des oscillations ; il y aura donc intérêt à porter non pas les déviations elles-mêmes, mais plutôt leurs carrés.

Une autre mesure extrêmement importante consiste à déterminer la puissance du moteur d'entraînement. En effet, la puissance que doit fournir ce moteur croît exactement suivant la même courbe que l'énergie mise en jeu et dont il a été question ci-dessus, c'est-à-dire comme le carré de la déviation accusée par la construction, lorsque l'on passe dans une zone de fréquence critique.

Par suite, si l'on porte sur l'axe des x le nombre de tours de la machine d'oscillation, et si l'on porte sur l'axe des y les variations correspondantes de la puissance du moteur d'entraînement, que l'on peut déterminer facilement avec des appareils enregistreurs spéciaux, on obtiendra un diagramme donnant la puissance en fonction de la fréquence (figure 19). Ces courbes servent de base pour l'étude dynamique des constructions, ainsi que de point de départ pour toutes les recherches ultérieures.

La courbe en traits discontinus indique la consommation qui correspond à la marche à vide et qui sert à compenser les pertes électriques et mécaniques du dispositif de mise en oscillation. Cette courbe doit être tracée par elle-même au préalable, en plaçant la machine sur un bâti fixe. Le moteur d'entraînement n'a en effet en pareil cas qu'à couvrir les pertes de la marche à vide, aucune puissance utile n'étant fournie, puisqu'aucune oscillation ne peut être produite.

3. Les essais d'oscillation.

Les essais qui sont effectués avec la machine de mise en oscillation ne servent pas à étudier les matériaux de construction eux-mêmes, pas plus qu'à éprouver des points particuliers de la construction, mais à déterminer la manière dont se comporte l'ensemble de la construction, tout particulièrement du point de vue dynamique seul. Ils ne peuvent pas servir à effectuer les mesures statiques ou dynamiques, telles qu'elles ont été exposées plus haut, et qui portent sur les allongements, les efforts, les fléchissements, les oscillations ou les accélérations.

La mise en oscillation des ponts de chemin de fer par le passage d'une locomotive et, d'une manière plus conforme à la réalité, par un train entier est un phénomène si compliqué qu'il devient dans ce cas extrêmement difficile de séparer les effets et les causes. L'emploi de la machine ci-dessus simplifie beaucoup la question et permet de l'étudier d'une manière beaucoup plus nette ; il est donc à souhaiter que son emploi soit largement étendu à des essais systématiques.

Il est bon de signaler que, dans les recherches qui se poursuivent au sujet des ponts, on s'efforce de séparer l'influence d'amortissement exercée par chacun des organes tels que les rails, les traverses, le ballast, de même que les éléments transversaux et longitudinaux constituant le support des voies. On pourra ainsi en même temps déterminer l'influence de chacun de ces organes sur la superstructure du pont elle-même.

4. Essais de fatigue et de destruction.

On a poussé plus loin le champ d'application de cette méthode [1] et on l'a adaptée aux essais permanents, ou essais de fatigue, que l'on pousse jusqu'à destruction de l'ouvrage.

La valeur jusqu'à laquelle il faut pousser une charge permanente alternée pour obtenir la rupture, que l'on appelle la résistance à la fatigue, n'atteint qu'une faible partie, soit moins de 20 °/₀ de la valeur de la charge de rupture statique une fois seulement appliquée. La détermination de la résistance à la fatigue joue donc un rôle important dans les essais actuels.

On a construit des poutres d'essai, des fermes et des ponts réduits, sur lesquels on a monté la machine d'essai d'oscillation ; on a appliqué à ces pièces d'épreuve, des impulsions de fréquences et d'intensités déterminées jusqu'à ce que la rupture s'ensuive.

On donne sur la figure 20, à titre d'exemple, un diagramme d'essai progressif ; en abscisses, sont portés les nombres d'impulsions augmentant progressivement, et en ordonnées, les efforts auxquels ces impulsions ont donné naissance dans le premier élément de l'ouvrage qui ait cédé. Dans l'exemple de la figure 20, la rupture s'est produite après 235.000 impulsions, après une durée d'essai de 9 heures 1/2 et pour un effort de 20 kg par mm² dans l'élément qui a cédé, au cours du cinquième échelon de la mise en charge.

Pour se représenter à quoi peut correspondre un tel diagramme et quelle

---

1. Dauerversuche an genieteten und geschweissten Brücken. — R. Bernhard. Zeitschrift des V. D. I., 1929, n° 47.

est son importance, on peut imaginer un pont sur lequel passeraient 50 trains par période de 24 heures et qui, à chaque passage, subirait un seul effet de choc ayant sa pleine valeur. La rupture au bout de 235.000 influences semblables correspondrait à une durée totale de service d'environ 13 années.

On a déjà essayé, dans ces conditions, un certain nombre de poutres d'épreuve construites en aciers de différentes qualités, et comportant des assemblages rivés aussi bien que des assemblages soudés.

On a pu également faire porter les essais sur les éléments des charpentes, en intercalant des éléments plus faibles, destinés à subir la rupture les premiers.

Les essais ci-dessus peuvent être complétés par des mesures de température. En disposant des appareils de mesure de température aux endroits où l'on s'attend à ce que la rupture se produise en premier lieu, on peut enregistrer les fluctuations de la température de ces points. On a pu, de cette manière, mettre en évidence les points faibles de certaines constructions bien avant que ne se produise la première rupture, grâce à l'échauffement que produit, vraisemblablement, le travail de frottement interne.

5. Conclusion.

Avantages de la méthode de mise en oscillation par la machine spéciale d'essai d'oscillation.

1. — L'exécution des essais est relativement simple et ne pose aucune exigence particulière en ce qui concerne le personnel de service. Très peu de temps après sa mise en place à l'endroit à étudier, la machine pour l'essai de mise en oscillation est prête ; quelques minutes suffisent.

2. — La mesure des caractéristiques principales des ouvrages, c'est-à-dire de leurs fréquences propres, peut être effectuée avec une précision d'environ 1/10 hertz. Cette détermination permet de calculer d'une manière précise les caractéristiques dynamiques courantes.

3. — Les conditions d'essai elles-mêmes, par exemple la valeur de la contrainte dynamique, peuvent être réglées exactement et vérifiées à volonté par des mesures de contrôle, condition indispensable si l'on veut faire des essais de ponts qui soient comparables.

4. — Les essais courants en charge ne sont en général possibles que suivant une seule direction d'efforts ; par contre, les essais ci-dessus sont possibles dans toutes les directions, puisqu'ils ne mettent pas en jeu la pesanteur elle-même.

Inconvénients de cette méthode.

1. — On peut considérer comme un inconvénient de cette méthode le fait que l'on ne sait pas encore aujourd'hui si l'on réussira à trouver une relation entre l'état effectif d'un ouvrage et certaines caractéristiques dynamiques déterminées. Ce n'est en effet qu'à ce moment qu'il pourra être envisagé de donner à la méthode une portée pratique pour la surveillance en service, lorsqu'il s'agit des ponts par exemple.

2. — Une telle méthode ne permet toutefois pas de déterminer en quel endroit se trouve le point faible d'un ouvrage qui donne, à l'essai, des résul-

tats non satisfaisants. Ce problème ne peut être résolu que par des recherches ou des mesures localisées.

IV. Champs d'application des méthodes de mesure.

Les possibilités d'emploi des appareils et des méthodes de mesure dynamiques basés sur les principes exposés ci-dessus s'étendent à la totalité du domaine de la construction proprement dite et de la construction mécanique, quoique l'on ne connaisse actuellement que quelques exemples d'application.

1. Construction (Superstructure et Fondation).

En ce qui concerne les superstructures, il est très important d'empêcher la transmission des oscillations et des bruits causés par les vibrations [1]. L'amortissement des oscillations et des bruits, dans les grandes salles, ou la transmission convenable des sons, est une question de mesures d'accélérations et de vibrations (donc de nature acoustique). Elle doit être liée à la technique des recherches sismiques. Dans de nombreux cas, des appareils plus simples donneront de bons résultats ; les exigences auxquelles ils doivent répondre sont moins sévères, étant donné qu'il s'agit de travailler sur des fréquences d'oscillation plus élevées.

En ce qui concerne les travaux au-dessous du sol, les questions les plus importantes sont l'étude des phénomènes sismiques, la recherche de la résistance des différents sols, la détermination des possibilités d'amortissement qu'ils offrent. On a entrepris, à ce sujet, entre autres essais, des essais avec la machine de mise en oscillation [2]. Il faut signaler également, dans ce domaine, des recherches sur les chaussées des routes, recherches portant sur leur résistance superficielle au passage de véhicules comportant des garnitures de roues diverses et roulant à des allures différentes, recherches concernant la durée des recouvrements, ainsi que la transmission des secousses et des bruits dans les régions voisines.

En ce qui concerne le sous-sol, l'étude des contraintes dynamiques s'étend également, et en particulier, aux fondations. Le calcul des fondations des machines, dont la fréquence propre doit, dans toute la mesure du possible, se trouver au-dessus du nombre de tours des machines qu'elles supportent, est du ressort de l'ingénieur de construction. Dans le cas des turbines à grande vitesse de rotation, pour lesquelles, dans la majeure partie des cas, on ne peut pas réaliser cette condition, on se trouve conduit à des calculs très délicats pour éviter une coïncidence entre le nombre de tours normal et la période propre d'oscillation du massif de fondation, ou une de ses harmoniques.

2. Construction mécanique.

En construction mécanique proprement dite, l'étude des efforts d'ordre dynamique a déjà fait les plus grands progrès ; par contre, en construction aéronautique, les problèmes les plus variés restent encore à résoudre. La coïncidence entre les fréquences propres des oscillations de torsion des vilebrequins et

1. Messung v. Verkehrserschüttenrungen. — Risch : Verkehrstechnik 1929, n° 40 et : Piezoelektrische Messungen v. Druck- u. Beschleunigungskräften. Kluge und Linckh. Zeitschrift des V. D. I., 1929, n° 37.

2. Die dynamische Bodenuntersuchung. — Hertwig : « Bauing », 1931, 25-26.

leur nombre de tours a souvent provoqué des ruptures par fatigue ayant des conséquences tragiques.

En construction navale, il faut signaler les recherches dynamiques, portant particulièrement sur les allures élevées. Les phénomènes de résonance provoqués par la marche des hélices dans les ponts intermédiaires et dans les coques peuvent donner lieu à des perturbations particulièrement gênantes. Ici aussi, on a entrepris des essais avec la machine d'essai aux oscillations.

3. Chemins de fer.

Les chemins de fer offrent un domaine très vaste aux études dynamiques, tant sur les véhicules que sur les superstructures. La détermination des mouvements d'un véhicule, pendant la marche, grâce à des appareils de mesure dynamiques, joue un rôle très important, en particulier pour le choix du profil et la détermination des efforts auxquels se trouvent soumis les châssis.

Pour les superstructures, il faut étudier également l'élasticité du ballastage et les efforts dans les voies au moment du passage des trains rapides.

4. Construction des ponts.

Enfin la construction des ponts ouvre ici le champ technique d'application le plus nouveau, car les efforts dynamiques que l'on y rencontre peuvent atteindre des valeurs élevées et sur lesquelles on n'est encore que peu documenté. La connaissance précise des phénomènes oscillatoires permettra, le cas échéant, de réaliser des économies pratiques. On pourra en effet réduire au maximum l'écart entre l'effort admissible et la limite d'écoulement, ou la résistance à la fatigue, lorsque des mesures sérieuses auront permis de déterminer, dans les cas les plus défavorables, quels sont les efforts statiques et dynamiques auxquels on a affaire, et quelle est la limite exacte de résistance à la fatigue que présentent le métal employé et les assemblages obtenus.

Quelques recherches sur la construction des ponts seront étudiées d'une manière plus détaillée dans le prochain chapitre.

C. Exposé d'ensemble des résultats obtenus.

I. Mesure des efforts et des oscillations.

Si l'on se limite aux oscillations dans le plan vertical, tant en ce qui concerne les superstructures que les véhicules, et si l'on tient compte des observations qui ont pu être effectuées sur les relations dynamiques entre les véhicules et les ponts, on arrive maintenant à la classification suivante, analogue à celle qui figure dans le rapport anglais [1] :

1. Ponts de chemin de fer.

a. Ponts de grande portée.

Les fréquences propres dans le plan vertical sont relativement faibles ; il peut se produire une coïncidence approchée avec les fréquences propres verticales des locomotives et des wagons lourds. Toutefois, l'amortissement exercé par les ressorts de suspension des véhicules permettra d'éviter l'amplification des oscillations de la superstructure et, par suite, l'augmentation des coefficients de choc.

1. Report of the Bridge Stress Committee. London, 1928.

b. Ponts de moyenne portée.

La fréquence propre est plus élevée ; il n'y a par suite pas lieu d'envisager la possibilité d'une coïncidence avec les fréquences propres des véhicules. Par contre, les différents organes de transmission des locomotives à vapeur peuvent intervenir, sous l'influence de leurs masses non équilibrées et se déplaçant un peu dans tous les sens, pour exciter des oscillations. Pour des vitesses élevées, ou vitesses critiques, ces influences excitatrices peuvent se trouver en coïncidence de phase avec les oscillations propres du pont ; elles conduiront alors à un balancement important et, en même temps, à des coefficient de choc plus élevés.

c. Ponts de faible portée.

Les fréquence propres de ces ponts sont élevées. Les oscillations propres verticales des véhicules, relativement lentes, de même que les impulsions produites par les masses non équilibrées, ne provoqueront donc pas de balancement, ne serait-ce d'ailleurs que pour cette raison que l'influence de ces forces d'excitation à l'oscillation n'aurait pas le temps de se manifester, par suite de la courte durée du passage du train sur le pont.

L'intervalle de choc, c'est-à-dire la distance qui sépare les points du trajet correspondant à l'excitation au choc, ou commencement de ce choc, d'une part, et à la fin de sa manifestation, d'autre part, joue ici un rôle considérable. Ces points sont ceux où doivent être effectuées les mesures.

2. Ponts-Routes.

Dans les ponts-routes, les choses se passent quelque peu différemment. Il n'entre pas en jeu de forces excitatrices à l'oscillation et provenant de masses non équilibrées. Les chocs provenant des inégalités du pavage des rues se produisent presque toujours d'une manière tout à fait irrégulière. Ils peuvent quand même donner lieu à des oscillations appréciables dans les châssis des véhicules et, par suite, conduire à un balancement et à des coefficient de choc plus élevés, lorsque les fréquences propres dues à la chaussée et celles du véhicule sont voisines. En particulier, la suspension des véhicules favorise ici la transmission, au pont, d'une certaine quantité d'énergie et peut conduire facilement à des phénomènes de balancement [1]. Par ailleurs, la classification qui a été faite pour les ponts de chemin de fer, en ponts de grandes, de moyennes et de faibles portées, est également légitime ici, dans une certaine mesure. Les superstructures et les éléments non suffisamment rigides, et en particulier les diagonales non rigides, constituent des points dangereux ; il s'en présente particulièrement fréquemment dans les vieux ponts.

Des résultats exposés précédemment, en ce qui concerne les mesures d'allongements, on peut conclure qu'il est possible, uniquement en interprétant le diagramme des efforts, d'obtenir quelques notions sur le processus des oscil-

---

1. Brücke und Fahrzeug. Betrachtungen über ihre dynamischen Zusammenhänge. R. Bernhard. « Bauingenieur », 1930, n° 28.

lations. Il est évident qne ces notions ne constituent que les faibles prémisses de notre connaissance du vaste domaine de la dynamique des ponts et qu'elles devront être complétées par des études théoriques approfondies. Il faudra, en particulier, entreprendre d'une manière systématique un très grand nombre de recherches, en commençant par les types de poutres les plus simples, pour passer progressivement à des charpentes de plus en plus compliquées, si l'on veut finir par arriver à analyser les phénomènes complexes.

Pour résumer, nous pouvons dire que :

1. Le coefficient de choc qui doit englober l'influence dynamique des charges roulantes ne dépend, dans certains cas, que d'une manière indirecte de la portée de l'ouvrage, de la vitesse et du poids des véhicules.

2. Les charges roulantes et les ponts sont nettement liés, dans leurs influences réciproques, par leurs caractéristiques propres d'oscillation. Les constantes dynamiques de la charge roulante exercent une influence notable sur le coefficient de choc.

3. Il convient de distinguer différentes formes, parmi les oscillations auxquelles sont soumis les ponts et les charges roulantes.

4. Pour le calcul des fréquences propres d'oscillation, il importe de tenir compte, en chaque cas, de l'état de charge des ponts et des véhicules.

5. Il importe de déterminer dès le début, par de nombreux essais suivis, tenant compte en particulier des caractéristiques dynamiques propres des charges roulantes, si les cas les plus défavorables que l'on ait observés ne constituent que des exceptions — en particulier, s'il peut se produire, dans les ponts de chemin de fer, des phénomènes oscillatoires systématiques conduisant à une notable augmentation du coefficient de choc, et qui seraient provoqués par un amortissement considérable de la suspension des véhicules, par l'adoption de vitesses de trafic plus fortes (importance et fréquence des impulsions) et par la réduction corrélative de la durée du balancement.

II. Essais d'oscillation.

Si l'on se base sur les résultats des essais qui ont été entrepris jusqu'à maintenant, avec des machines d'essai d'oscillation, et sur des constructions effectives aussi bien que sur des véhicules, on peut fermement espérer que ce nouveau procédé d'investigation permettra de développer nos connaissances sur la dynamique des ouvrages.

Cette méthode permet de faire l'étude, dans un temps relativement court, des phénomènes de fatigue et de vieillissement que provoque l'application de charges soumises à des variations périodiques ; on peut ainsi améliorer les caractéristiques dynamiques des ouvrages et des véhicules, en leur faisant subir des modifications judicieuses.

On peut ainsi espérer se rapprocher plus facilement des formes idéales de l'ouvrage d'égale résistance aux efforts dynamiques. Ce n'est toutefois que lorsque l'on aura effectué de nombreuses mesures de comparaison sur des ouvrages neufs et anciens, dont on connaît l'état exact, bon ou mauvais, par ailleurs, que l'on sera effectivement en mesure d'employer ce nouveau procédé pour étudier la manière dont se comportent dynamiquement les nouveaux ouvrages auxquels on aura à faire subir des essais.

III. Essais de fatigue.

Les résultats actuels des essais de fatigue peuvent être résumés comme suit :

1. La méthode permet l'exécution des essais de fatigue sur des ouvrages d'essai en superstructure ; elle permet également de faire une comparaison, dans un temps relativement court, entre différents ouvrages.

Elle présente une importance toute particulière en ce qui concerne l'essai des constructions soudées, étant donné que les méthodes courantes d'essai dynamique sur les cordons de soudure sont d'une exécution difficile.

2. Il semble que l'application d'un nombre déterminé d'alternances, dans le cas des charges variables, provoque, dans une certaine mesure, une augmentation de la fréquence propre.

3. Lorsque l'influence d'une série continue d'oscillations a dépassé les limites normales, il semble qu'après un temps d'arrêt assez long, la reprise de ces phénomènes exerce une action favorable sur la résistance de la construction à la fatigue. C'est d'ailleurs ce qui se passe toujours dans la pratique.

4. Des ruptures individuelles dans les éléments des ouvrages se manifestent par une réduction brusque de la fréquence propre, pour les différents degrés de liberté.

Zusammenfassung.

Der vorliegende Bericht enthält allgemeine Angaben über Messgrössen, Messgrenzen und Anforderungen an dynamische Messgeräte, sowie ihre Fehlerquellen und ihre Eichung. Nach kurzem Hinweis auf die Wahl der verschiedenen Messverfahren erfolgt eine Beschreibung der seit dem letzten Bericht des Verfassers auf der Internationalen Tagung für Brücken- und Hochbau in Wien 1928 weiter-, sowie neuentwickelten Messverfahren. Auf die in den gemeinschaftlichen Versuchen des internationalen Eisenbahnverbandes, insbesondere der Schweizerischen Bundesbahnen, der Französischen Nordbahn, der Englischen Südbahn und der Deutschen Reichsbahngesellschaft geprüften Messgeräte wird näher eingegangen. Auch einige, in letzter Zeit mehrfach verwendete, besondere Hilfsmittel neuzeitlicher Bauwerksmesstechnik werden beschrieben. Die Anwendungsgebiete der geschilderten Messverfahren sind gestreift. Zum Schluss folgt eine Zusammenfassung der bisherigen Messergebnisse mit den neuen Geräten.

Résumé.

Le rapport qui précède contient des indications générales sur les valeurs à mesurer, sur les possibilités et les limites d'application des méthodes de recherche scientifique, sur les exigences auxquelles doivent satisfaire les appareils de mesures dynamiques, ainsi que leurs sources d'erreurs et les méthodes d'étalonnage.

Après un bref exposé concernant le choix des différentes méthodes de mesure, l'auteur décrit les méthodes qui se sont développées depuis son dernier rapport à la Réunion Internationale des Ponts et Charpentes, à Vienne, en 1928. Il s'étend davantage sur les appareils qui ont fait leurs preuves au cours des essais collectifs entrepris par l'Association Internationale des Chemins de Fer, et en particulier par les Chemins de Fer Fédéraux, le Nord Français, le South Railway en Angleterre, la Société des Chemins de Fer allemands. Il décrit également quelques dispositifs auxiliaires appartenant à la technique des mesures, dans le domaine de la construction, et qui ont été employés à plusieurs reprises au cours de ces derniers temps. Les champs d'application des appareils décrits sont indiqués. Pour conclure, l'auteur résume les résultats déjà obtenus avec les nouveaux appareils.

Summary.

This report contains general rules concerning the magnitudes to be measured, the limits of measurement and the demands made on dynamic measuring instruments, also their sources of error and their calibration. After a short reference to the selection of different measuring systems, a description is given of further systems recently developed, i. e. since the author's last report at the 2nd International Congress for Bridge and Structural Engineering at Vienna in 1928. Details are given of the tests made on measuring apparatus by the International Railway Association undertaken in common, and particularly by the Swiss Federal Railways, the Northern Railway in France, the Southern Railway in England and the German State Railways Co. Several special devices of modern measuring technique are described. The fields of application for the mentioned measuring systems are touched on. Finally a summary is given of the results obtained up to now with the new apparatus.

Leere Seite
Blank page
Page vide