

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

Band: 9 (1972)

Rubrik: Theme VIa: Checking of actual structures

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: 05.04.2026

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

Vla

Contrôle des ouvrages existants

Kontrolle bestehender Bauten

Checking of Actual Structures

F. PANCHAUD

Ingénieur Conseil, Professeur
à l'Ecole Polytechnique Fédérale
de Lausanne, Suisse

1. INTRODUCTION

Aujourd'hui, dans la plupart des réglementations nationales, l'auscultation des ouvrages et les épreuves de charge qui les accompagnent sont impérativement imposées pour toutes les constructions de quelque importance, c'est-à-dire que ces opérations sont reconnues indispensables pour s'assurer que la construction satisfait aux exigences requises de sécurité.

Il est vrai que ces épreuves imposent souvent la mise en oeuvre de moyens importants: elles mobilisent un personnel d'observation nombreux; elles gênent l'exploitation des ouvrages en service. En présence de ces inconvénients, on pourrait donc être tenté de les juger superflues. Si l'on ajoute encore, qu'aujourd'hui les méthodes de calcul actuellement disponibles permettent d'étudier d'une manière plus approfondie le comportement statique probable des ouvrages, on est tenté, une fois de plus, de renoncer à de telles épreuves.

L'objet de notre propos est d'analyser dans quelle mesure les auscultations des ouvrages restent encore utiles à la technique actuelle, en examinant successivement les différents problèmes qui se posent à tous ceux qui sont chargés

d'exécuter les opérations, d'en interpréter les résultats et d'en tirer les conclusions.

Nous souhaitons que nos réflexions générales, souvent banales, suggèrent aux spécialistes des exposés de détail, mettant en lumière les difficultés des techniques d'application et la manière de les surmonter pour atteindre, malgré tout, des résultats aussi sûrs que possible et utilisables pour les progrès de la technique.

Nous analyserons successivement les quatre groupes de problèmes essentiels que posent l'auscultation des ouvrages :

- a) Les buts de l'auscultation
- b) Les méthodes de l'auscultation
- c) L'interprétation des résultats
- d) Directives pour un programme d'essais simplifiés.

2. LES BUTS DE L'AUSCULTATION

2.1. GENERALITES

L'auscultation des ouvrages présente deux aspects :

- a) L'auscultation essentiellement qualitative a pour objet l'examen de l'état de l'ouvrage dans ses éléments principaux, en relevant les détériorations de toute nature, en particulier :
 - les fissurations,
 - les dislocations locales,
 - les corrosions des éléments porteurs,
 - l'état de fonctionnement des appareils d'appui.

Il s'agit ici d'une description de l'état de l'ouvrage, afin d'apprécier sa résistance, avec la durée, aux actions agressives des agents atmosphériques. Quoique cette auscultation qualitative puisse présenter certains aspects subjectifs, elle n'en reste pas moins nécessaire pour supputer l'état de vétusté d'une construction et décider des travaux confortatifs éventuels. C'est pourquoi nous avons signalé cet aspect de l'auscultation, bien qu'il ne fasse pas l'objet essentiel de nos réflexions.

- b) L'auscultation quantitative se propose d'étudier le comportement statique de l'ouvrage sous l'effet des surcharges d'épreuve; au cours de cette auscultation, on mesure les déformations sous l'effet des charges; ce qui permet d'analyser le comportement statique en révélant les zones de l'ouvrage les plus sollicitées et finalement le mode de distribution des efforts.

Bien que l'auscultation qualitative, comme dit plus haut, ait son importance pour diagnostiquer immédiatement des désordres graves, nous nous attachons davantage ici à examiner l'auscultation quantitative qui soulève souvent des problèmes complexes dans ses principes et dans ses techniques. En effet, comme nous le verrons plus loin, l'observation des déformations ne conduit pas directement à une appréciation de la résistance, mais elle doit faire au préalable l'objet d'une interprétation tenant compte surtout des qualités physiques du matériau.

2.2. BUTS DE L'AUSCULTATION QUANTITATIVE

Par la mesure des déformations des ouvrages, sous l'effet des charges d'épreuves, on peut viser trois buts :

- a) L'essai initial avant la mise en service, c'est le contrôle réglementaire de réception de l'ouvrage.
- b) Le contrôle périodique de surveillance permet, par comparaison avec l'essai de charge initial, d'évaluer l'évolution du comportement de l'ouvrage avec les années de service.
- c) L'auscultation en vue de l'étude d'un type d'ouvrage

Dans les structures complexes, la mesure des déformations, en mettant en lumière la distribution effective des efforts, permet d'apprécier l'exactitude des hypothèses admises dans le calcul et, éventuellement, de donner des directives pour définir de nouvelles hypothèses de base. Pour les ouvrages en béton armé en par-

ticulier, cette auscultation peut avantageusement être précédée de l'étude d'un modèle réduit, pour procéder à l'analyse du comportement théorique élastique; l'auscultation de l'ouvrage réel donne alors des renseignements complémentaires tenant à la nature du matériau béton armé lui-même.

Les buts (a) et (b) sont semblables et visent tous deux essentiellement à une vérification de la résistance.

Les opérations du but (c) font partie du domaine des recherches. Elles exigent des mesures plus nombreuses, plus fouillées, dont la précision doit être définie méthodiquement. Elles contribuent à la mise au point de méthodes de calcul nouvelles, plus conformes à la physique des choses, en vue de mieux apprécier, à l'avance, la résistance de l'ouvrage.

2.3. IMPORTANCE DES PROGRAMMES D'ESSAIS

Le programme d'essais doit être adapté à chaque ouvrage en vue d'observer les phénomènes qui le caractérisent.

Si les essais ont pour seul but de contrôler le comportement de l'ouvrage pour en déceler les défauts d'exécution, il est essentiel que les observations portent sur l'ensemble de l'ouvrage; par exemple, dans un pont à plusieurs travées, il ne suffit pas d'ausculter une des travées pour porter un jugement sur les qualités effectives de résistance de l'ensemble. On devra donc étendre le programme des essais à toutes les travées.

Nous définirons plus loin l'ampleur d'un programme minimum qui permettrait, d'après nous, de porter un jugement avec quelque certitude.

Par contre, lorsqu'on procède à une auscultation ayant pour but l'étude d'un type d'ouvrage, il n'est plus indispensable d'étendre les mesures sur l'ensemble de la construction. On désire étudier le détail du comportement, on concentrera donc les observations sur la partie restreinte de l'ouvrage, en mesurant les grandeurs caractéristiques en nombre suffi-

sant pour pouvoir s'affranchir le plus possible de l'indétermination. Il faut en effet acquérir la certitude que le comportement observé traduit un principe général, susceptible d'être finalement érigé en loi pouvant être introduite à la base du calcul.

En conclusion, l'auscultation des ouvrages offre à l'ingénieur la double possibilité :

d'une part, de contrôler le comportement des constructions, et,

d'autre part, de définir les règles de calcul plus générales qui doivent être admises pour l'étude future des ouvrages.

3. LES METHODES DE L'AUSCULTATION

3.1. Généralités

Les méthodes de l'auscultation comportent trois groupes d'opérations :

- a) Les mesures des déplacements ou des flèches de la construction.
- b) Les mesures des angles de rotation des sections.
- c) Les mesures des déformations spécifiques locales.

Nous n'avons pas l'intention de décrire ici l'appareillage très varié disponible aujourd'hui pour mesurer ces différentes grandeurs. Nous retiendrons seulement que toutes ces mesures doivent être conduites de façon que les résultats obtenus correspondent effectivement aux exigences du problème posé.

3.2. NATURE DES OBSERVATIONS

La mesure des déformations d'un ouvrage sous les effets d'une charge donnée reste toujours un problème de physique avec toutes les sujétions que cela comporte; les grandeurs à mesurer sont petites et susceptibles d'être entachées de nombreuses erreurs; les opérations ont lieu en plein air. L'opérateur doit être conscient de ces difficultés pour

prendre toutes les précautions nécessaires.

Il s'agit de s'assurer que les valeurs mesurées représentent bien le seul effet des charges et qu'elles ne contiennent pas les effets de causes secondaires tels que les effets des variations de température ou d'humidité et les effets d'une évolution lente dans le comportement du matériau, par exemple une déformation plastique de fluage.

A ce sujet, les conditions sont favorables lorsque l'application des charges est rapide, car, pendant la courte durée des opérations, les variations de température restent le plus souvent négligeables. Néanmoins, on devra toujours relever la température des ouvrages et de l'air ambiant au cours de l'expérience, avant, pendant et après l'essai, en notant une éventuelle variation d'insolation.

Nous ne faisons que relever ici les correctifs principaux qu'il est nécessaire de prendre en compte pour obtenir une valeur correcte de la grandeur cherchée.

Les expérimentateurs chevronnés savent combien des précautions apparemment superflues peuvent se révéler indispensables pour éviter des erreurs de mesure. Ces précautions portent, soit sur la sensibilité des appareils, soit sur la stabilité des montages, soit encore sur les influences secondaires. Ces réserves étant prises en considération, aujourd'hui, on peut dire que les mesures de déformation des ouvrages, sous l'effet des surcharges rapides, peuvent s'effectuer avec une précision satisfaisante.

Lorsque la durée de mise en charge est grande, il n'en est plus de même. Les difficultés deviennent rapidement considérables. C'est le cas, en particulier, lors de l'auscultation des barrages: Entre l'état initial et l'état de charge maximum, s'écoulent souvent plusieurs mois, de sorte que l'état thermique de l'ouvrage peut subir des fluctuations si considérables que les résultats des mesures ne représentent que de loin le seul effet de la charge eau. Il est alors indispensable d'évaluer les effets thermiques pour eux-mêmes et de corriger les mesures brutes en conséquence.

3.3. APPAREILS DE MESURE

Les appareils de mesure comportent des fleximètres, des extensomètres et des clinomètres. Ces appareils sont connus de tous les spécialistes. Aujourd'hui, l'appareillage électrique devient d'un usage courant, bien que les appareils mécaniques, dans l'auscultation des ouvrages, sont encore ceux qui se comportent le mieux hors du laboratoire. Nous serions heureux de connaître l'avis des expérimentateurs sur ce point et en particulier leur opinion concernant les difficultés rencontrées et les précautions à prendre lorsqu'on utilise, en plein air, des équipements électriques de quelque importance.

3.4. ENREGISTREMENT DES VIBRATIONS

L'enregistrement des vibrations des constructions fait partie des auscultations fréquemment demandées parce que le calcul reste encore mal commode pour analyser ce mode de sollicitation.

L'analyse des effets dynamiques dûs aux charges mobiles rentre dans la catégorie des observations des vibrations.

Les appareils enregistreurs doivent avoir des caractéristiques particulières pour donner une représentation correcte des oscillations à observer sans introduire des distorsions gênantes. Souvent l'effet des masses en mouvement des appareils de mesure perturbe les phénomènes à un tel degré que l'enregistrement en est profondément modifié.

Dans le domaine de l'enregistrement des vibrations, les appareillages électriques conviennent particulièrement lorsqu'ils sont bien conçus : Ils sont capables de reproduire plus fidèlement les phénomènes à observer.

4. INTERPRÉTATION DES RESULTATS

4.1. GENERALITES

Les analyses du comportement de l'ouvrage, en partant des résultats nets des mesures, peuvent se présenter sous deux formes :

- a) On interprète les résultats pour eux-mêmes, en faisant abstraction du calcul statique. C'est une analyse du comportement intrinsèque de l'ouvrage.
- b) Les résultats des essais sont à confronter avec les résultats du calcul statique pour mettre en lumière les divergences éventuelles, et en tirer les conclusions concernant la tenue effective de l'ouvrage.

4.2. ANALYSE DU COMPORTEMENT INTRINSEQUE DE L'OUVRAGE

Cette analyse présente les aspect suivants :

- a) Observation des déformations d'ensemble et appréciation du degré d'élasticité de l'ouvrage.
- b) Evaluation des efforts intérieurs.
- c) Evaluation des contraintes locales.

4.2.1. DEFORMATIONS D'ENSEMBLE

Les observations d'ensemble permettent de connaître les déformées de la construction, révélant ainsi l'importance des flèches, le rôle des liaisons de continuité et l'effet des déplacements des appuis.

On peut alors se rendre compte, d'une manière générale, quels sont les éléments qui jouent un rôle déterminant dans le comportement statique de l'ouvrage. En particulier, on peut apprécier le fonctionnement des joints de dilatation.

Il peut arriver en effet qu'un joint de dilatation, séparant deux parties d'ouvrage statiquement indépendantes, fonctionne mal et constitue accidentellement une liaison, de sorte qu'une charge placée sur un des ouvrages se transmet partiellement sur l'autre, à travers ce joint de dilatation. Une telle disposition n'est pas tolérable, car elle peut avoir des conséquences graves sur le comportement de l'une ou de

l'autre des parties dans l'éventualité où, lors de l'application d'une charge plus élevée, la résistance du joint cède brusquement, provoquant alors un choc.

4.2.2. CRITERE D'ELASTICITE DE L'OUVRAGE

En principe, les déformations des ouvrages sous les charges de service doivent être réversibles : Une charge quelconque ne doit pas produire de déformation permanente.

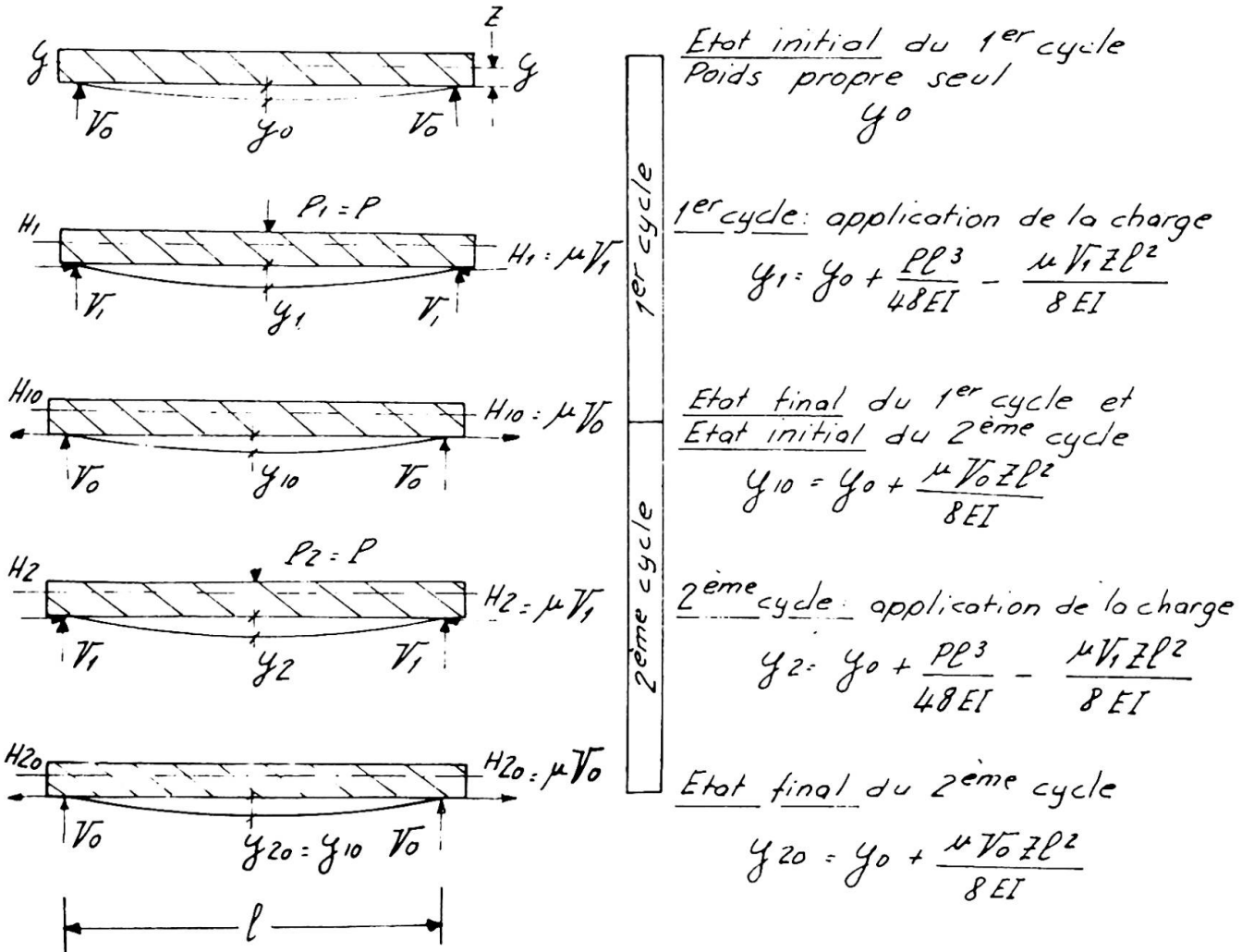
Ce critère est caractéristique d'un comportement satisfaisant. En effet, on peut en déduire que la construction pourra supporter indéfiniment une succession de charges et de décharges sans être compromise. Cela peut signifier aussi que nulle part la matière n'a subi de déformations importantes dépassant l'état élastique.

Pour vérifier si cette condition de réversibilité est remplie, il suffirait de procéder à un seul cycle de charge en mesurant les déformations avant, pendant et après l'exécution du cycle.

En réalité, il est rare que les ouvrages les mieux construits satisfassent d'une manière absolue à cette condition après un seul cycle de charge. Est-à dire que leur comportement ne serait pas satisfaisant ? Il faut se garder de porter un jugement si hâtif. Avant de se prononcer, on doit d'abord analyser méthodiquement l'origine de la déformation permanente observée et son ampleur comparativement à la précision des mesures.

Le problème réel est complexe, car l'expérience montre que souvent, lors de la répétition d'un cycle de charge ayant produit une certaine irréversibilité, la construction se comporte à nouveau élastiquement. Cette irréversibilité temporaire ou anélasticité apparente résulte des effets des forces de frottement agissant simultanément avec les forces élastiques. Le phénomène peut s'expliquer relativement facilement. Considérons, par exemple, (voir figure 1.), une poutre à deux appuis simples sur laquelle on applique une charge verticale. De ce fait, les appuis ont tendance à s'écartier : Ce mouvement fait apparaître des forces

Fig 1: Anélasticité apparente due aux frottements des appuis



Etat initial du 1er cycle
Poids propre seul
 y_0

1er cycle: application de la charge
 $y_1 = y_0 + \frac{Pl^3}{48EI} - \frac{\mu V_1 Z l^2}{8EI}$

Etat final du 1er cycle et
Etat initial du 2eme cycle
 $y_{10} = y_0 + \frac{\mu V_0 Z l^2}{8EI}$

2eme cycle: application de la charge
 $y_2 = y_0 + \frac{Pl^3}{48EI} - \frac{\mu V_1 Z l^2}{8EI}$

Etat final du 2eme cycle
 $y_{20} = y_0 + \frac{\mu V_0 Z l^2}{8EI}$

Les déformations du 2eme cycle sont devenues réversibles, tandis que celles du 1er ne l'étaient pas

de frottement tendant toujours à s'opposer au mouvement, et, par conséquent, à réduire l'importance de la flèche observée de l'ouvrage. On trouvera donc une flèche plus petite que la flèche élastique, sans effets des frottements. Lorsqu'on décharge, le mouvement des appuis se manifeste en sens inverse, mobilisant des forces de frottement de signe contraire des précédentes et

s'opposant au raccourcissement de la fibre inférieure dû à la décharge. Il en résultera une déformation permanente appréciable, laissant imaginer que la poutre ne se déforme pas élastiquement. Mais si maintenant, on répète le cycle de charge et décharge, au début de ce 2^e cycle, l'état correspond à l'état de déformation permanente du premier, tandis que l'état de charge sera identique à celui du 1^{er} cycle; après la décharge du 2^e cycle, on retrouvera un état semblable à l'état initial de ce même cycle. La construction se révélera alors à nouveau élastique.

Cette constatation entraîne une conclusion pratique : Les essais de charge d'un ouvrage doivent toujours comporter une répétition des cycles de charge. Quoiqu'il en soit, toute irréversibilité observée des déformations doit être analysée pour en rechercher la cause. Si la cause de l'irréversibilité est la manifestation d'une sollicitation locale exagérée ayant provoqué un état de plasticité, l'irréversibilité n'est pas admissible. Si par contre, la cause est un phénomène ne concernant pas la résistance proprement dite de la structure, l'effet des forces de frottement par exemple, l'irréversibilité des déformations peut être admissible.

Le 2^e cycle de charge permet de reconnaître s'il en est bien ainsi.

Si l'on reprend l'exemple de la poutre à 2 appuis, évoquée plus haut, on peut relever encore deux constatations :

- a) Si l'ouvrage, au début du 1^{er} cycle de charge se trouvait en état d'évolution thermique avec refroidissement, le système initial serait semblable à celui du début du 2^e cycle et de ce fait l'anélasticité apparente disparaîtrait.
- b) La flèche observée dans le 2^e cycle, réputé élastique, ne correspond pas à la flèche statique due à la surcharge; elle est plus petite à cause des effets des frottements.

D'après ce qui précède, on voit que l'interprétation des résultats doit toujours être conduite avec prudence avant de porter un jugement.

D'une manière générale, les forces de frottement perturbent le comportement des ouvrages en s'opposant chaque fois aux déformations qui ont tendance à se manifester. Il en est ainsi, par exemple, dans les ponts-rails où le ballast et le rail s'opposent au mouvement de contraction possible du tablier; de ce fait, il apparaît finalement que ballast et rail semblent participer à la résistance, de sorte que la déformation observée est notablement inférieure à celle que l'on aurait pu supposer à priori.

On risque d'attribuer cette diminution à une augmentation du module d'élasticité du matériau, alors qu'en réalité, elle provient des frottements de l'ensemble des structures, infrastructures et superstructures.

4.2.3. EVALUATION DES EFFORTS INTERIEURS ET DES CONTRAINTES LOCALES

L'interprétation des mesures, en vue de déterminer les efforts intérieurs, peut se faire soit en calculant les courbures résultant des flèches observées, soit en mesurant localement les déformations spécifiques de la matière. Dans un cas comme dans l'autre, on doit faire intervenir les caractéristiques physiques du matériau et les rigidités des sections.

Pour un matériau tel que l'acier, et si les contraintes ne dépassent pas la limite vraie d'élasticité, la détermination des efforts en partant des déformations nettes mesurées ne présente pas de difficulté.

Pour le béton armé, par contre, on sait que la notion de module d'élasticité présente une double ambiguïté : D'une part le matériau n'est pas régulièrement élastique surtout dans les zones tendues et d'autre part, le module est variable d'un béton à l'autre. Dans ce cas, on doit rester prudent. Dans l'évaluation des efforts intérieurs, on est souvent conduit à admettre deux valeurs limites du module

d'élasticité définissant parallèlement les valeurs limites des efforts intérieurs. En dépit de cette incertitude concernant le module d'élasticité du béton, l'expérience nous montre que, pour les charges de service ne créant pas des contraintes supérieures aux contraintes admissibles, le comportement de l'ensemble de l'ouvrage en béton armé reste encore élastique, ce qui justifie largement la supposition encore admise de calculer le comportement statique des constructions en béton armé en les assimilant à des structures parfaitement élastiques.

4.3. COMPARAISON ENTRE LES RESULTATS DU CALCUL ET LES RESULTATS DES ESSAIS

Cette comparaison porte sur les flèches observées, la valeur des efforts intérieurs et les contraintes locales.

En général, en ce qui concerne les flèches et les efforts intérieurs, la concordance reste acceptable; les divergences sont beaucoup plus grandes si l'on prend en considération les contraintes locales. Ce fait s'explique de lui-même puisque le calcul fait souvent abstraction des phénomènes locaux de distribution des contraintes, des effets d'entaille par exemple.

En présence de divergences entre le résultat du calcul et le résultat des essais, on est souvent tenté de donner la préférence à l'un ou à l'autre des modes d'appréciation.

Nous voulons essayer d'examiner ici la manière de porter un jugement en présence d'une telle divergence, en comparant les démarches respectives du calculateur et de l'expérimentateur.

4.3.1. LE MODELE MATHEMATIQUE, IMAGE DU CALCULATEUR

L'ingénieur qui projette une construction, afin de pouvoir supputer les efforts intérieurs et fixer les dimensions des sections, aura toujours besoin d'une représentation sous la forme d'un modèle mathématique. Ce modèle mathématique restera toujours nécessairement un schéma simplifié; la simplification se manifestera non seulement dans le comportement même de la matière qui le constitue - loi de Hooke - mais aussi dans les relations des éléments entre eux.

Le schéma définit donc une association de deux groupes de phénomènes :

- a) Le comportement élémentaire ou comportement des éléments d'une part, et,
- b) Le comportement de solidarité entre les éléments, d'autre part.

La forme adoptée pour le schéma peut influencer d'une façon marquée la distribution des efforts dans la construction. Il en est ainsi en particulier lorsque l'un ou l'autre des groupes de phénomènes devient dominant. Par exemple, lorsque les sections des pièces sont relativement grandes par rapport à leur longueur, comme c'est souvent le cas dans les structures en béton armé, les phénomènes de liaison prennent une importance prédominante dans la distribution des efforts.

Partant du modèle mathématique, l'ingénieur utilise des méthodes qui aujourd'hui peuvent représenter, avec une précision pratiquement suffisante, les mécanismes des éléments linéaires simplifiés, tels que poutres, colonne isolée, dalles par exemple. Par contre, cette analyse mathématique se révèle souvent incapable de représenter commodément des mécanismes d'association dès que des complexités se manifestent. C'est le cas si les éléments constitutifs ont des dimensions et des formes transversales qui les distinguent des formes linéaires de la poutre ou de la colonne; alors, les systèmes hyperstatiques correspondants, où les assemblages des éléments font naître des efforts composés de flexions, de torsions ou d'efforts normaux, deviennent difficiles à étudier correctement par le calcul. Pour obtenir cependant une évaluation des efforts, indispensable à l'établissement d'un projet, le calcul doit alors introduire des hypothèses simplificatrices qui d'emblée entacheront les résultats d'une erreur souvent du même ordre de grandeur que les valeurs à déterminer.

Cela tient au fait que la distribution des efforts, pour

assurer l'équilibre, est tributaire essentiellement de mécanisme de déformations de détail qu'il est difficile de schématiser avec une rigueur suffisante. En un mot, le modèle mathématique d'une construction est limité dans ses possibilités d'exprimer simultanément ces deux groupes de conditions :

- Conditions d'équilibre d'une part,
- Conditions de déformation réelle, d'autre part.

Cette limite des moyens du calcul, indépendante de la technique du calcul peut expliquer, dans certains cas, les écarts entre résultats d'essais et calcul.

4.3.2. L'OUVRAGE REEL, RESULTATS DES AUSCULTATIONS

Dans son comportement, l'ouvrage réel satisfait automatiquement et régulièrement aux deux groupes de conditions cités plus haut, s'affranchissant par ailleurs de toute restriction concernant le comportement intérieur du matériau; il y a lieu cependant de prendre en considération les phénomènes secondaires, tels que les effets de frottement, si l'on veut avoir une image plus pure du comportement théorique.

On comprend dès lors combien l'analyse du comportement réel d'un ouvrage peut devenir une source précieuse de renseignements pour l'ingénieur qui doit respecter avant tout les exigences naturelles et cherche des règles lui permettant d'évaluer à l'avance les dimensions à choisir en conséquence.

C'est en contemplant méthodiquement les ouvrages en service, pour les différents types de structures, que l'ingénieur peut définir les dispositions constructives les plus favorables, celles qui respectent au mieux le mécanisme naturel de la résistance.

5. ESQUISSE DE DIRECTIVES POUR UN PROGRAMME D'ESSAIS SIMPLIFIES

Nous prenons l'initiative de résumer notre manière de voir en proposant un ensemble de directives permettant dans chaque cas de définir un programme d'essais.

5.1. BUT DES ESSAIS SIMPLIFIES

Les essais de charge des ouvrages d'art ont pour but de s'assurer que la construction auscultée ne présente pas de faiblesse pouvant entraîner sa ruine à brève échéance.

Pour réduire dans toute la mesure du possible l'ampleur de ces essais, qui sont relativement coûteux, et les limiter à ce qui est strictement nécessaire pour atteindre les buts définis plus haut, les essais seront prévus en deux temps :

D'abord, on procède à un essai simplifié destiné à montrer que la construction se comporte normalement, et ne présente pas d'anomalie importante; c'est généralement le cas dans la plupart des ouvrages.

Si cet essai simplifié révèle un comportement anormal, on devra alors procéder à des essais de charge plus approfondis pour mettre en lumière l'origine des anomalies constatées, pour décider s'il y a lieu de procéder à des travaux confortatifs pour rétablir le fonctionnement normal de l'ouvrage.

5.2. ESSAIS SIMPLIFIES

Ces essais doivent permettre de vérifier que :

- a) Le comportement statique général de la construction est normal, c'est-à-dire conforme aux prévisions du calcul.
- b) Tous les éléments porteurs sont correctement exécutés.
- c) Les défauts éventuels visibles de l'ouvrage ne sont pas compromettants pour la résistance avec la durée.

5.2.3. LE COMPORTEMENT STATIQUE

Le comportement statique est jugé satisfaisant :

Si la déformation générale de l'ouvrage est semblable à celle que prévoit le calcul d'une part, et,

Si les déformations sous l'effet de charges de service répétées restent réversibles d'autre part.

La première condition permet de s'assurer qu'il n'y a pas d'effet parasite important qui perturbe la distribution normale des efforts intérieurs:

Il suffit de contrôler la similitude des déformations avec celles du calcul sans s'astreindre à en vérifier la valeur absolue qui dépend de la rigidité des sections, toujours difficile à connaître avec précision.

La deuxième condition permet de constater l'élasticité de l'ouvrage, c'est-à-dire sa capacité de supporter la surcharge un nombre de fois quasi illimité.

5.2.4. MESURES A EFFECTUER DANS LE CAS D'UN PONT A PLUSIEURS TRAVEES

Pour atteindre ces objectifs, les essais simplifiés comporteront la mesure des flèches dans trois sections de chaque travée pour chaque poutre, en répétant les charges trois fois au moins, davantage si l'irréversibilité n'est pas atteinte.

La mesure dans trois sections par travée (en général au quart, à la moitié et aux trois quarts), permet de calculer la courbure moyenne résultant de la flexion, par la méthode des différences finies. Il faut noter ici que ce calcul n'est valable que si dans l'intervalle des trois sections, on ne rencontre aucun point d'inflexion de la déformée.

Pour les poutres continues, la mesure des déformations des travées voisines de la travée chargée, permet de contrôler l'effet de continuité et de le comparer avec celui découlant du calcul. La mesure des flèches dans trois sections permet de s'affranchir d'un effet de tassement des appuis

qui n'est pas discernable avec la seule mesure de la flèche médiane.

La répétition de charge permet d'apprécier le degré de réversibilité. Il faut en général répéter trois fois la charge, car après une seule opération de charge et de décharge, on trouve toujours une déformation permanente qui n'est pas nécessairement un défaut de l'élasticité de la construction porteuse, mais qui est due aux frottements consécutifs aux mouvements des appuis.

5.2.5. INTENSITE DES CHARGES

Il n'est pas indispensable d'utiliser comme surcharge la charge réglementaire de calcul. Il est préférable d'adopter une charge qui sera voisine de la surcharge de service maximum pouvant se répéter. Cela permet de limiter le nombre des véhicules à mobiliser pour effectuer les essais, ce qui réduit la dépense et facilite les manoeuvres. Il est par contre capital que les essieux de chaque véhicule soient tarés de façon à connaître la juste disposition des charges.

On serait tenté de regretter de ne pas introduire la surcharge maximum de calcul. A la réflexion, cette solution n'est pas souhaitable. On évite d'imposer inutilement à l'ouvrage des sollicitations qu'il n'aura probablement jamais l'occasion de comporter, ou tout au plus ne les comportera qu'une fois.

5.2.6. PREPARATION DES ESSAIS

Le programme des essais doit être établi pour chaque ouvrage en fonction de ses caractéristiques; il sera étudié à l'avance pour que le déroulement puisse s'effectuer dans un minimum de temps.

Les appareils à employer sont des fleximètres ou comparateurs de type courant donnant le 100e de mm.

5.2.7. PRECAUTIONS A PRENDRE

Il ne faut pas oublier que les variations de température peuvent provoquer des déformations de l'ouvrage.

En général, entre le court temps de la charge et de la décharge, ces variations restent faibles et sans importance. Cependant, il peut arriver que la durée entre charge et décharge soit plus grande ou, par exemple, qu'un orage ou une pluie amène un refroidissement brusque d'une dalle de pont. Auquel cas il en résulte une déformation additionnelle faussant les résultats de mesure statique et cela exige donc que lors de chaque opération de mesure, on note les conditions atmosphériques, et les variations éventuelles de température entre le début et la fin des essais.

5.2.8. ERREURS PROVENANT DES DISPOSITIFS DE MESURE

Les fils d'attache des fleximètres peuvent subir des variations de longueur pouvant entacher les mesures, surtout si les variations de température sont très grandes au cours des essais. On pourrait substituer aux fils d'acier des fils d'invar, mais pratiquement cette solution coûteuse n'offre que peu d'intérêt.

Si les variations de température sont observées, il est possible d'effectuer les calculs correctifs avec une précision encore suffisante. Les procès-verbaux de mesure doivent contenir toutes les mesures et observations effectuées, même celles que l'on est tenté d'éliminer à priori.

Il est avantageux de représenter graphiquement les déformées pour se rendre compte de l'allure générale des phénomènes observés.

5.2.9. TASSEMENTS DES APPUIS

Les tassements des appuis sont en général très faibles pour les charges limitées des essais. Si dans certains cas particuliers il est nécessaire de les observer, la solution consiste à procéder par nivellement.

A côté des observations des déformations, il est nécessaire de procéder à une auscultation générale de l'ouvrage pour noter tous les défauts éventuels visibles (fissures en particulier dans les ouvrages en béton).

6. CONCLUSIONS

L'auscultation des ouvrages reste le seul moyen efficace de s'assurer qu'une construction possède la sécurité désirée.

Les essais doivent être conduits avec toutes les précautions exigées de toute mesure physique. En principe, ils comporteront toujours une répétition du cycle de charge pour mettre en lumière l'origine de déformations permanentes éventuelles. La confrontation des résultats des essais avec ceux d'un calcul devra toujours tenir compte d'un côté des phénomènes secondaires qui accompagnent toute expérience et de l'autre de la schématisation imposée à tout calcul.

Conduites scientifiquement, les auscultations des ouvrages, associées éventuellement à des essais sur un modèle réduit, constitueront un puissant moyen d'investigation, non seulement pour contrôler des ouvrages, mais aussi en vue de préciser des règles de calcul, plus conformes à la réalité, pour l'établissement des projets.

Il n'est donc pas indiqué d'y renoncer si l'on veut progresser dans l'art de bâtir.