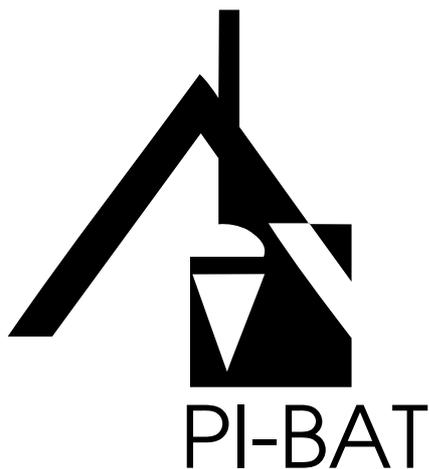


Techniques d'auscultation des ouvrages de génie civil

Entretien et rénovation des constructions



Techniques d'auscultation
des ouvrages de génie civil
Structures, routes,
réseaux de conduites

Journées d'information pour ingénieurs,
services techniques des administrations
et entrepreneurs

Le présent manuel «Techniques d'auscultation des ouvrages de génie civil» a été élaboré par le groupe de travail «Méthodes de diagnostic» du Programme d'Impulsions «Entretien et rénovation des constructions», groupe thématique génie civil. Les contributions techniques pour les différents chapitres ont été apportées par les personnes mentionnées ci-après. Le groupe de travail a par ailleurs encore été conseillé par un groupe d'experts.

Associations organisatrices

VSS Union suisse des professionnels de la route

SIA Société suisse des ingénieurs et des architectes

UTS Union technique suisse

ASPEE Association suisse des professionnels de l'épuration des eaux

Rédaction

Rédaction définitive et direction du groupe de travail:

- Andreas Steiger, Ingénieur conseil, Lucerne

Groupe de travail «Méthodes de diagnostic»

- Wilhelm Birchmeier, Ingénieur, Lausanne
- Roman Müller, H.U. Peter AG, Zürich
- Andreas Steiger, Beratender Ingenieur, Luzern
- Heidi Ungricht, SKS Ingenieure AG, Zürich

Groupe des experts

- Michel Donzel, Office fédéral des routes, Berne
- Ewald Heimgartner, Ernst Basler & Partner AG, Zürich
- Dr. Fritz Hunkeler, Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz, Zürich
- Dr. Peter Ritz, Schneller Schmidhalter Ritz AG, Brig
- Ivan Scazziga, Viaconsult AG, Zürich (Vertreter VSS)
- Dr. Jost Studer, GSS-Ingenieure AG, Zürich

Suisse romande, édition française

Direction des cours

René Suter, Dr ès sciences techniques, Schindelholz et Dénériaz SA, Lausanne

Traduction

Wilhelm Birchmeier, Ingénieur, Lausanne

Luc Girard, Balzan et Girard, Ingénieurs, Ecublens

Mise en page et photocomposition

Consortium DAC / City Comp SA, Lausanne et Morges

Auteurs du manuel

Structures

- Roman Müller, H.U. Peter AG, Zürich
- Heidi Ungricht, SKS-Ingenieure AG, Zürich
- Dr. Ernst Büchi, Geotest AG, Zollikofen
- Alfred Hächler, LPM AG, Beinwill am See
- Dr. Bernhard Elsener, IBWK-ETH, Zürich
- Hanspeter Bänziger, VSL-Betonexpert, Bern
- Otto Schuwerk, Thalwil
- Ueli Meierhofer, EMPA, Dübendorf
- Andreas Steiger, Beratender Ingenieur, Luzern

Routes

- Ivan Scazziga, Viaconsult AG, Zürich
- Alain Jacot S.A.C.R., Zürich

Réseaux de conduites

- Alfred Huber, Merkl AG, Heiden
- Kurt Bader, Tiefbauamt der Stadt Zürich, Stadtentwässerung, Zürich
- Ernst Votapek, SVGW, Zürich
- Dr. Fritz Hunkeler, Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz, Zürich

Constructions nouvelles et surveillance

- Dr. Peter Ritz, Schneller Schmidhalter Ritz AG, Brig
- Andreas Steiger, Beratender Ingenieur, Luzern

Nous tenons à remercier ici tous les spécialistes de la pratique, de l'enseignement et de la recherche qui ont contribué à la réalisation du présent manuel par leurs avis compétents, ainsi que les entreprises qui ont mis à notre disposition des documentations et des illustrations.

Copyright © 1991 Office fédéral des questions conjoncturelles, 3003 Berne, juillet 1991.

Reproduction d'extraits autorisée avec indication de la source.

Diffusion: Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3000 Berne.

Avant-propos

D'une durée totale de 6 ans (1990-1995), le programme d'action «Construction et énergie» se compose des trois Programmes d'Impulsions suivants:

PI-BAT – entretien et rénovation des constructions
RAVEL – utilisation rationnelle de l'électricité
PACER – énergies renouvelables

Ces trois Programmes d'Impulsions sont réalisés en étroite collaboration avec l'économie privée, les écoles et la Confédération. Leur but est de favoriser une croissance économique qualitative. Dans ce sens ils doivent conduire à une plus faible utilisation des matières premières et de l'énergie, avec pour corollaire un plus large recours au savoir-faire et à la matière grise.

Le programme PI-BAT répond à la nécessité d'entretenir correctement les constructions de tous types. Aujourd'hui une partie toujours plus grande des bâtiments et des équipements de génie civil souffre de défauts techniques et fonctionnels en raison du vieillissement et de l'évolution des besoins et des sollicitations. Si l'on veut conserver la valeur de ces ouvrages, il y a lieu de les rénover, et pour ce faire on ne peut s'appuyer sur l'empirisme. Le Programme d'Impulsions PI-BAT ne se limite pas aux aspects techniques et d'organisation, il s'étend également au cadre juridique, qui jusqu'ici était essentiellement tourné vers les constructions neuves. Le programme couvre les trois domaines suivants: bâtiments, génie civil et problèmes apparentés à la rénovation.

Si l'on veut conserver les qualités techniques et architectoniques de nos bâtiments et si l'on souhaite préserver des quartiers, voire des villages, des connaissances nouvelles doivent être apportées aux nombreuses personnes concernées: propriétaires, autorités, concepteurs, entrepreneurs et collaborateurs de tous niveaux.

Cours, manifestations, publications, vidéos, etc.

Les objectifs de PI-BAT seront poursuivis par l'information, la formation et le perfectionnement des fournisseurs et des demandeurs de prestations dans le domaine de la rénovation. Le transfert de connaissances est axé sur la pratique quotidienne; basé essentiellement sur des manuels et des cours, il comprend également d'autres types de manifestations. Le bulletin «Construction et énergie», qui paraît deux à trois fois l'an, fournit des détails sur toutes ces activités.

Chaque participant à un cours, ou à une autre manifestation du programme, reçoit une publication spécialement élaborée à cet effet. Toutes ces publications peuvent également être obtenues en s'adressant directement à l'Office central fédéral des imprimés et du matériel à Berne (OCFIM, 3000 Berne).

Compétences

Afin de maîtriser cet ambitieux programme de formation, il a été fait appel à des spécialistes des divers domaines concernés; ceux-ci appartiennent au secteur privé, aux écoles, ou aux associations professionnelles. Ces spécialistes sont épaulés par une commission qui comprend des représentants des associations, des écoles et des branches professionnelles concernées.

Ce sont également les associations professionnelles qui prennent en charge l'organisation des cours et des autres activités proposées. Pour la préparation de ces activités une direction de projet a été mise en place; elle se compose de MM. Reto LANG, Andreas BOUVARD, Niklaus KOHLER, Gustave MARCHAND, Ernst MEIER, Dieter SCHMID, Rolf SAEGESSER, Hannes WUEST, et Eric MOSIMANN de l'OFQC. Une très large part des activités est confiée à des groupes de travail.

Documentation

L'appréciation de l'état d'un ouvrage est à la base de toutes les mesures de maintenance, soit de l'entretien et du renouvellement. Le manuel sur les techniques d'auscultation des ouvrages de génie civil traite des moyens nécessaires à l'ingénieur pour l'appréciation de l'état existant d'un ouvrage. Le manuel a été conçu dans le sens d'un aide-mémoire. Un groupe d'auteurs a réuni un grand nombre d'informations sur les techniques d'auscultation, informations qui sont parfois difficiles à trouver. Ce manuel est essentiellement destiné aux ingénieurs chargés de la préparation et de l'exécution d'auscultations d'ouvrages.

Une grande importance a été accordée à la vue d'ensemble du problème. En plus des techniques d'auscultation mises en œuvre pour les structures, celles appliquées pour les routes et les réseaux de conduites sont également examinées.

Les techniques d'auscultation n'ont de valeur pratique qu'en fonction d'un concept général soigné du constat et de l'appréciation de l'état d'un ouvrage. Le manuel donne des indications à ce sujet.

Le groupe du secteur génie civil de PI-BAT envisage d'aborder encore d'autres aspects de la problématique de l'appréciation de l'état des ouvrages. Par ailleurs un manuel analogue, mais axé sur les problèmes du bâtiment est en cours de préparation.

Le présent document a été mis au point après une procédure de consultation et sa présentation au public a été testée à l'occasion d'une manifestation pilote. Les auteurs ont toutefois gardé leur liberté d'appréciation pour les questions où les avis divergeaient. Ils assument donc aussi la responsabilité de leurs textes. Le document présenté n'est pas exhaustif et les insuffisances qui pourraient apparaître lors de son utilisation pratique, pourront éventuellement être prises en compte dans une nouvelle édition. Des propositions et suggestions peuvent être adressées soit à l'Office fédéral des questions conjoncturelles, soit au rédacteur ou au directeur de cours.

Pour terminer nous tenons à remercier ici toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de la présente publication.

Juillet 1991 Dr. Heinz Kneubühler
Directeur adjoint de l'Office fédéral
des questions conjoncturelles

Sommaire

Structuration du manuel

Sommaire

Structuration du manuel

Schéma pour faciliter la consultation du manuel «Techniques d'auscultation»

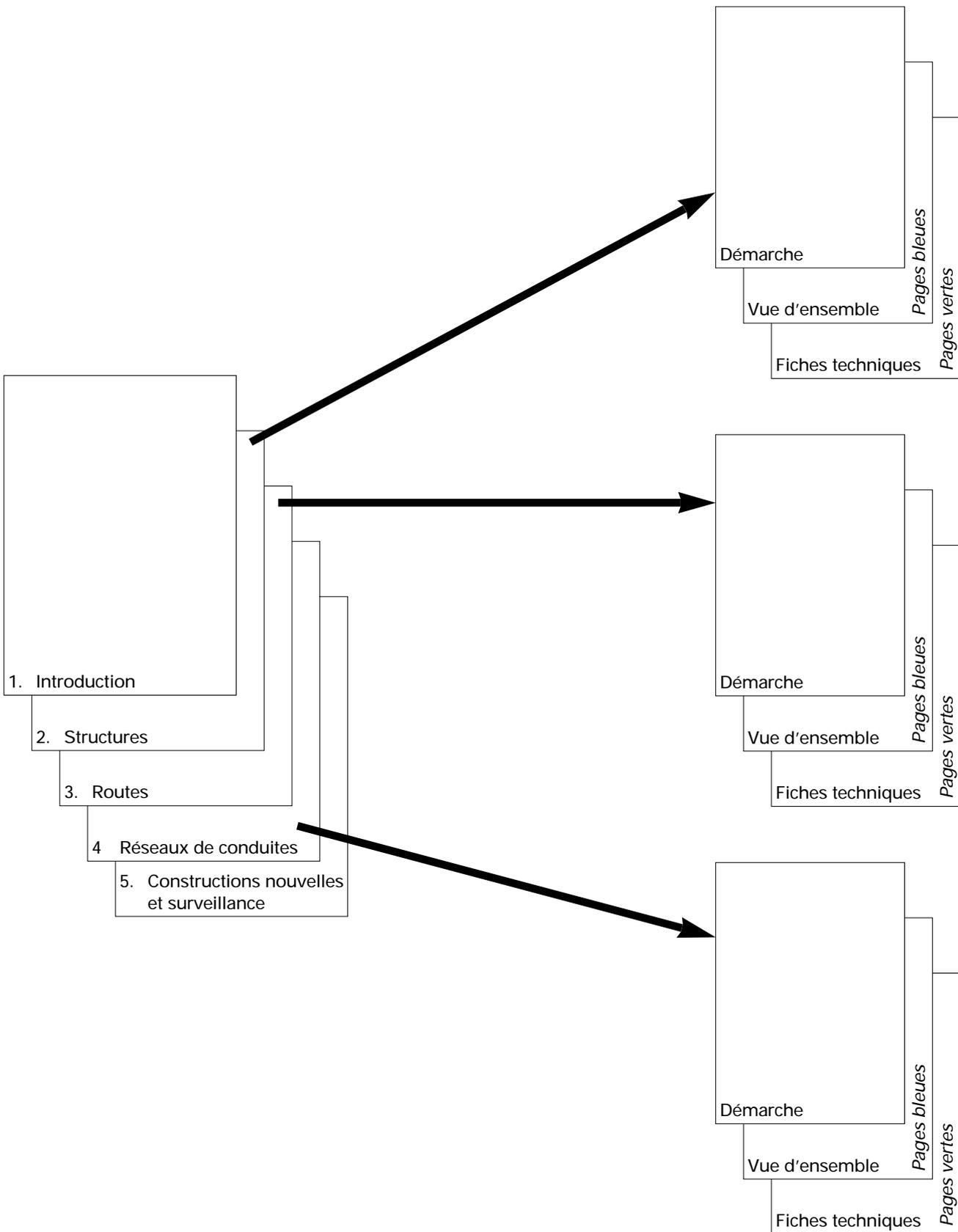


Table des matières

	Page
1. Introduction	9
<hr/>	
2. Structures	15
2.1 Démarches pour l'auscultation des structures	18
2.2 Examen visuel des structures	24
2.3 Check-lists pour un examen visuel	28
2.4 Préparation et interprétation de mesures	32
2.5 Vue d'ensemble des techniques d'auscultation	41
2.6 Fiches techniques des méthodes d'auscultation	59
<hr/>	
3. Routes	105
3.1 Démarche pour l'auscultation des routes	108
3.2 Vue d'ensemble des techniques d'auscultation	113
3.3 Fiches techniques des méthodes d'auscultation	117
<hr/>	
4. Réseaux de conduites	133
4.1 Démarche pour l'auscultation des réseaux de conduites	136
4.2 Vue d'ensemble des techniques d'auscultation	141
4.3 Fiches techniques des méthodes d'auscultation	149
<hr/>	
5. Construction neuve et surveillance	173
5.1 Principes	175
5.2 Exemple dans le domaine du bâtiment	180
5.3 Exemple dans le domaine des ponts	181
<hr/>	
6. Annexes	187
6.1 Répertoire	188
6.2 Liste des abréviations	190
6.3 Provenance des illustrations	191

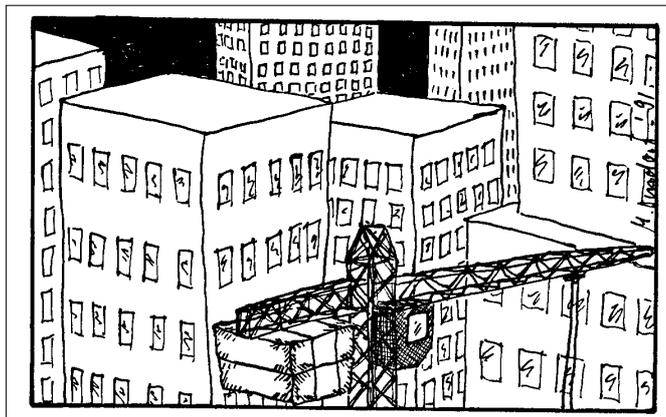
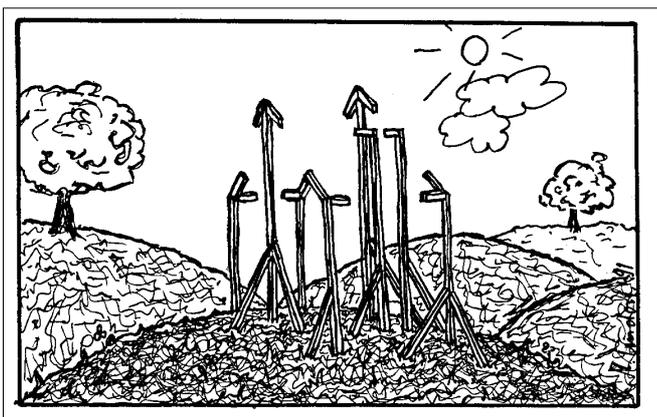
Notes personnelles

1. Introduction

La maintenance des constructions a pris de plus en plus d'importance dans le courant des années 80. En 1989, dans le domaine du bâtiment, seule la moitié des investissements a été consacrée aux constructions nouvelles (16 à 18 milliards). Il a été investi 4 à 6 milliards (12 à 18%) pour des constructions de remplacement, environ 6 milliards (env. 18%) pour des rénovations et de l'entretien, ainsi que 7 milliards environ (env. 21%) pour des transformations et restaurations. Cette tendance s'accroîtra encore au cours de ces prochaines années.

Cet accroissement d'importance de la maintenance des constructions apparaît aussi dans les normes et les directives. La recommandation SIA 169 est entrée en vigueur en 1987, et diverses nouvelles normes VSS traitent de ce sujet. La SSIGE dispose depuis longtemps déjà de directives qui concernent l'exploitation et l'entretien des réseaux d'eau et de gaz. L'ASPEE, en collaboration avec l'Union des villes suisses, prépare des directives pour la maintenance des installations d'évacuation des eaux usées.

En complément aux normes et directives mentionnées sur le tableau ci-contre, de nombreuses organisations et administrations (CFF, OFR, OCF, services des constructions des cantons et des communes, etc.) appliquent leurs propres directives de maintenance.



De la construction en terrain vierge à la maintenance de la substance bâtie

PI-BAT

Le Programme d'Impulsions «Entretien et rénovation des constructions», approuvé par les chambres fédérales en automne 1989, est une réaction à ce changement dans cet important secteur économique que représente la construction. Le Programme d'Impulsions a la tâche de soutenir l'effort nécessaire pour l'amélioration des connaissances pratiques dans le domaine de la maintenance de la substance bâtie. Le présent manuel «Techniques d'auscultation des ouvrages de génie civil» a été conçu dans le but d'aider l'ingénieur chargé du contrôle des constructions. Les autres principaux thèmes traités par le programme PI-BAT dans le domaine du génie civil sont «Entretien des routes à grand débit» (renouvellement sous trafic), «Infrastructures des communes», «Technologies», «Management des coûts des travaux de maintenance», etc. Ces thèmes seront présentés au public ces prochains temps par des cours et des séminaires, et au moyen de documentations. Les différents points forts du programme PI-BAT sont coordonnés et se complètent les uns les autres. Le but du programme PI-BAT n'est toutefois pas de traiter toutes les questions relatives à la maintenance et au renouvellement de la substance bâtie. Entre autres, les points forts seront choisis en fonction de leur importance économique.

SIA SIA, Recommandation 169 (1987) Maintenance des ouvrages de génie civil
VSS SN 640 900 (1989) Management de la maintenance routière
SN 640 925 (1990) Relevé et évaluation de l'état des routes
SN 640 930 (1989) Evaluation globale de l'état des ouvrages d'art
SSIGE W7 (1988) Recommandations pour la rénovation des réservoirs d'eau
W8 (1988) Recommandations pour le contrôle et le nettoyage des réservoirs d'eau
W12 (1971) Directives pour la surveillance et l'entretien d'installations de distribution d'eau
G2 (1986) Directives pour la construction, l'entretien et l'exploitation des conduites de gaz soumises à une pression de service jusqu'à 5 bars
ASPEE / Union des villes suisses Richtlinien für den Unterhalt von Leitungen und Anlagen der Kanalisation und Grundstückentwässerung (en préparation).

Normes et directives pour la maintenance de la substance bâtie

Définitions

Dans la définition de la maintenance, la recommandation SIA 169 (voir encadré) distingue les 3 notions suivantes: surveillance, entretien et renouvellement. La surveillance est une opération qui précède toujours les autres mesures de la maintenance. La surveillance est composée de la constatation de l'état (état existant), de l'appréciation de cet état (comparaison entre état existant et état exigé), puis de la détermination des conséquences sur l'entretien et le renouvellement. Dans d'autres domaines professionnels (par exemple VSS, etc.), on emploie en partie des définitions dérivées de la recommandation SIA 169.

Techniques d'auscultation

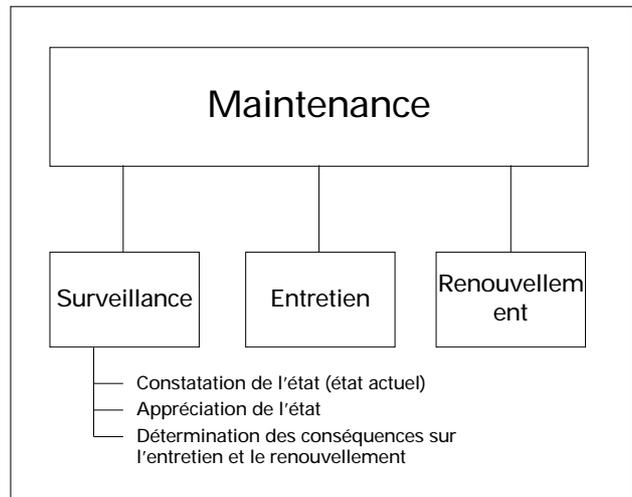
Pour la détermination de l'état existant, l'ingénieur utilise différentes sortes de moyens. Il utilise avant tout ses sens (vue, toucher, ouïe) pour découvrir l'état d'un ouvrage. Mais au cours de ces dernières années, de nombreuses techniques spécifiques pour l'auscultation de l'état existant ont été développées. C'est de ces différents moyens d'auscultation que traite le présent manuel.

Public visé

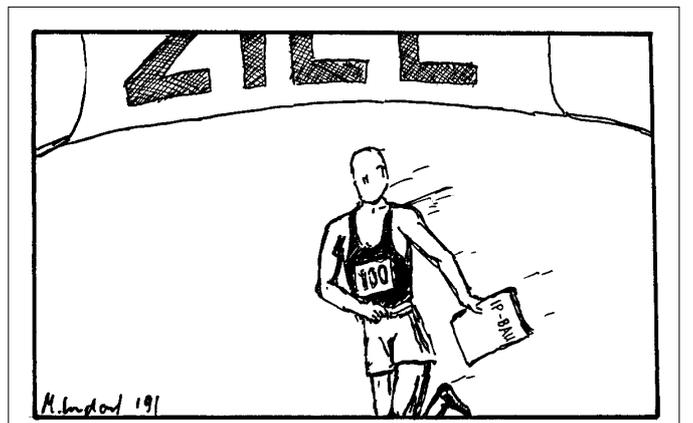
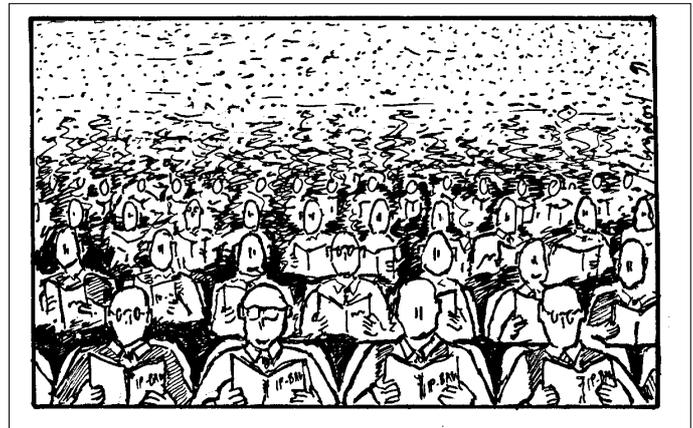
Le manuel s'adresse aux ingénieurs et autres professionnels chargés de la constatation de l'état d'ouvrages de génie civil. Une fois familiarisé avec ce manuel, pris dans le sens d'un aide-mémoire, celui-ci pourra répondre rapidement et efficacement à de nombreuses questions.

But visé par le manuel

Le développement dans la construction au cours de ces 30 dernières années a conduit à une forte spécialisation. Cette spécialisation concerne d'une part les types d'ouvrages dont s'occupe le professionnel de la construction, mais d'autre part on constate aussi l'évolution vers une plus large répartition des tâches dans le projet, la conduite des chantiers, l'auscultation des ouvrages, les essais, l'entretien, etc. Cette spécialisation, compte tenu par ailleurs du très fort accroissement de l'ensemble des connaissances, rend de plus en plus difficile d'avoir une vue d'ensemble. Souvent il manque aussi les bases pour une compréhension mutuelle des différents professionnels impliqués dans un même travail. De telles circonstances peuvent porter préjudice et même mettre en question le bon aboutissement d'un projet. Dans cette situation, le présent manuel apporte une importante contribution sous forme d'information. Ce manuel donne, aux différents professionnels participant à l'auscultation d'un ouvrage, les informations de base sur de nombreuses techniques d'auscultation ainsi qu'une vue d'en-



Organisation et définitions selon la recommandation SIA 169



semble des techniques d'auscultation pour les structures, les routes et les réseaux de conduites.

Les techniques d'auscultation non destructives et peu destructives constituent les points forts de cette présentation. Les tableaux des vues d'ensemble (pages bleues) indiquent quelles sont les techniques d'auscultation qui peuvent être prises en considération pour un type d'ouvrage ou un matériau déterminé. Ces tableaux constituent aussi l'entrée en matière dans le manuel. Un choix de techniques d'auscultation fait l'objet de descriptions plus détaillées dans les fiches techniques (pages vertes). Dans les fiches techniques le lecteur trouvera les informations de base sur la technique d'auscultation présentée. Ces fiches techniques ne sont toutefois pas des «modes d'emploi». En plus des informations de base, il est possible de déterminer, dans la phase du projet de l'auscultation, si une technique donnée peut apporter, ou non, une contribution à la connaissance de l'état existant. Les informations de base présentent aussi pour l'ingénieur un intérêt particulier dans le cadre de ses entretiens avec les spécialistes chargés des travaux d'auscultation.

Les techniques d'auscultation constituent, dans le cadre de la constatation de l'état existant d'un ouvrage, des outils qui fournissent à l'ingénieur de nombreuses informations indispensables. Toutefois, pour parvenir à une auscultation de qualité, il est primordial que ce travail soit bien préparé et mené de façon systématique. C'est la raison pour laquelle la présentation des techniques d'auscultation est complétée par des contributions relatives à la marche à suivre pour l'auscultation, et dans le cas des structures, par le développement des thèmes «Examen visuel des constructions» et «Préparation et interprétation de mesures».

Le choix des techniques d'auscultation décrites dans les fiches techniques a été établi selon différents critères. En premier lieu ont été retenues les techniques d'auscultation largement utilisées en Suisse et reconnues comme étant d'intérêt pratique. Les techniques d'auscultation déjà décrites de façon détaillée dans des normes n'ont, bien sûr, pas été reprises. De diverses discussions, il est ressorti qu'il existe, dans le milieu des praticiens, un important besoin d'informations sur certaines techniques coûteuses, mises en œuvre dans des cas spéciaux (par exemple: ultrasons, thermographie infrarouge, géoradar, etc.). Il a été tenu compte de ce besoin dans le choix des fiches techniques. Un certain nombre d'autres fiches techniques (examen visuel des constructions, prélèvement d'échantillons /mandat de laboratoire, tirants d'ancrage en rocher et terrain meuble, éléments d'ouvrages en bois, corrosion dans les réseaux de conduites) sont structurées de manière particulière. Du fait que la nature du problème traité a une grande importance pour l'auscultation, les auteurs ont estimé qu'il était judicieux, dans ces cas, de présenter au lecteur des

Les conditions préalables à l'application de toutes techniques d'auscultation, si simples soient-elles, sont une instruction soignée et l'expérience. Les explications du manuel ne doivent pas être considérées comme étant des modes d'emploi.

Indication et avertissement

informations structurées de manière un peu différente. L'ordre des fiches techniques correspond à l'ordre de l'apparition des techniques concernées dans les tableaux des vues d'ensemble.

Délimitation du manuel

Le manuel complète les normes ou les directives existantes. A la différence de celles-ci, en général axées sur un domaine professionnel spécifique, le manuel informe, avec quelques empiètements, sur différents domaines: structures, routes et réseaux de conduites. Cela correspond à la réalité du constat d'état d'ouvrage, car bien qu'un type d'ouvrage déterminé se trouve au premier plan dans la plupart des problèmes posés, il est toutefois le plus souvent également nécessaire de tenir compte d'autres domaines techniques.

Il serait peu sensé voire même impossible de vouloir être exhaustif dans un tel manuel, la dépense nécessaire serait disproportionnée à l'utilité qu'il serait possible de gagner, et la vue d'ensemble recherchée serait perdue. Cette limitation apparaît essentiellement dans le domaine des réseaux de conduites, où il est traité des réseaux de canalisations, des conduites d'alimentation en eau et des conduites de distribution de gaz à basse pression. C'est consciemment qu'il a été renoncé à traiter d'autres réseaux (par exemple: réseaux électriques, de téléphone, de chauffage à distance, installations de mise à terre, etc.). Les réseaux traités dans le manuel représentent un volume considérable d'investissements répartis sur un grand nombre de maîtres d'ouvrages diversement organisés. Lors de l'entretien de ces réseaux, il est aussi plus fréquemment fait appel à des bureaux d'ingénieurs privés que pour les autres réseaux. Dans le manuel l'accent est mis sur les techniques d'auscultation non destructives ou peu destructives confirmées par la pratique. En ce qui concerne les essais de laboratoire, ils sont mentionnés mais ne sont pas examinés plus en détail.

Le dernier chapitre, «Construction neuve et surveillance», s'écarte de la thématique du programme PI-BAT. Mais il est apparu très clairement, au cours des travaux préparatoires pour le manuel, que des dispositions décisives pour la surveillance pouvaient être prises dans les phases du projet et de l'exécution d'un ouvrage. Les auteurs du manuel ont estimé qu'il était opportun de donner quelques conseils à ce sujet.

La présentation du manuel, sous forme d'une brochure, a été choisie délibérément. En effet l'expérience montre qu'en cas de mise à jour, il est préparé une nouvelle édition. Cette forme reliée présente, pour l'utilisateur, la meilleure garantie d'intégrité.

Structures

Techniques d'auscultation pour la constatation de l'état de structures «porteuses» (pour l'instant seul objet traité).

Le manuel traite de la constatation de l'état des parties d'ouvrages relevant de la sécurité. Les problèmes de physique des constructions et d'esthétique ne sont pas examinés (voir les publications à ce sujet du groupe thématique bâtiment du programme PI-BAT).

Routes

Techniques d'auscultation pour la constatation de l'état (portance, caractéristiques de la surface de roulement) des voies destinées au trafic.

Réseaux de conduites

Techniques d'auscultation pour la constatation de l'état des canalisations ainsi que des réseaux d'alimentation en eau et en gaz (basse pression). Les autres réseaux ne sont pas traités.

Domaines traités dans le manuel

Remarque finale

Vous disposez maintenant du manuel sur les «Techniques d'auscultation des ouvrages de génie civil». Les auteurs se sont efforcés de vous remettre, avec les nombreuses informations qu'il contient, un auxiliaire pour votre travail de tous les jours. Mais personne ne peut vous donner la recette pour vous dire comment entreprendre et résoudre votre problème particulier de constatation de l'état d'un ouvrage. Notre but est toutefois atteint si le manuel peut vous fournir les informations de base et l'impulsion nécessaire pour trouver une solution ingénieuse. La thématique de la constatation et de l'appréciation de l'état d'un ouvrage restera un point fort du programme PI-BAT. D'autres activités dans ce domaine sont prévues dans un proche avenir.



On demande des solutions créatives et ingénieuses

Bibliographie

1. R. Favre, D. Andrey et R. Suter: Maintenance des ouvrages d'art, méthodes et techniques de contrôle, EPFL-IBAP, juin 1987.
2. Schmitz H. et al.: Verfahren/Geräte zur Erfassung von Bauschäden, Anwendungsmöglichkeiten, Praxistauglichkeiten, Kosten; Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung, Theaterplatz 14, D-5 100 Aachen, 1987.
3. Schickert G. et al.: ZfPBau-Kompodium, Studie zur Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren bei Ingenieurbauwerken; Forschungsbericht Nr. 177, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin.

2. Structures

	Page
Structures, définition et délimitation	17
2.1 Démarche pour l'auscultation des structures	18
2.2 Examen visuel des structures	24
2.3 Check-lists pour un examen visuel	28
2.4 Préparation et interprétation de mesures	32
2.5 Vue d'ensemble des techniques d'auscultation	41
2.6 Fiches techniques des méthodes d'auscultation	59

Notes personnelles

2. Structures

Structures, définition et délimitation

Dans le présent manuel, les ouvrages définis par le terme de «structures» sont essentiellement des ouvrages du ressort de l'ingénieur civil. Les ouvrages classés dans cette catégorie sont en général mis en œuvre de façon indépendante. Le projet et l'exécution de ces ouvrages doivent être conformes aux normes SIA. En partie il est aussi nécessaire de tenir compte de directives d'autres organisations (par exemple: CFF, PTT, directives fédérales, cantonales et communales, directives des associations, etc.). Le degré de standardisation est relativement peu élevé pour ces ouvrages. Pour leur réalisation il y a, en règle générale, un grand nombre de participants (maître de l'ouvrage, ingénieur projeteur, éventuellement architecte, direction des travaux, divers entrepreneurs, etc.). La durée de vie des structures est de l'ordre de 50 à 100 ans. Toutefois, certaines parties exposées à une plus forte usure ont une durée de vie plus courte, et doivent donc être renouvelées périodiquement. Pour l'exploitation et l'entretien des structures, il existe en général un propriétaire compétent et responsable bien défini.

A une structure il faut adjoindre toutes les parties nécessaires pour assurer sa stabilité et son comportement en service, dont la défaillance pourrait mettre en danger des vies humaines (fondations, éléments de suspension, revêtement, ancrages, etc.).

L'accessibilité des structures pour l'auscultation est très variable. Souvent, même une limitation minimale de l'exploitation peut constituer une condition marginale importante.

Exemples de structures:

Structures porteuses des bâtiments, ponts, tunnels, constructions hydrauliques, ouvrages de stabilisation de talus et de parois de rocher, installations d'épuration et de préparation des eaux, etc.

2.1 Démarche pour l'auscultation des structures

Principes et objectifs

La surveillance des structures est décrite dans la recommandation SIA 169 (bibl. 1), voir encadré. La norme VSS correspondante (bibl. 2) utilise, pour différentes raisons, des notions qui divergent quelque peu des premières. Comme signalé dans l'introduction, c'est la terminologie de la recommandation SIA (bibl. 1) qui est utilisée ci-après. Cette recommandation fait la distinction entre la surveillance continue et la surveillance périodique.

Surveillance continue: «Constatation de l'aptitude au service de l'ouvrage au moyen de contrôles fréquents ou continus» (bibl. 1).

Surveillance périodique: «Constatation et appréciation de l'état et de l'aptitude au service de l'ouvrage au moyen d'inspections ponctuelles, à intervalles définis» (bibl. 1).

L'inspection des ouvrages intervient dans le cadre de la surveillance périodique. Contrairement à la surveillance continue, la surveillance périodique comprend le constat et l'appréciation de l'état, au moyen d'inspections conduites à intervalles réguliers. A partir de l'inspection on doit pouvoir conclure si l'état, le comportement et l'utilisation de l'ouvrage satisfont aux conditions d'utilisation fixées. On distingue trois formes d'inspection (encadré).

Dans le cadre de l'inspection on relève l'état existant (état de l'ouvrage, comportement, utilisation), en procédant par étapes; puis on le compare avec l'état exigé (déduit des exigences d'utilisation). Il en résulte une appréciation graduée de la sécurité de la structure porteuse et de l'aptitude au service, dans l'état existant et avec son évolution probable. Dans ce cadre on doit également prendre en considération les modifications des sollicitations et de l'environnement proche de l'ouvrage. Cela signifie par exemple qu'il faut contrôler les conditions de charge admises pour l'utilisation et la sécurité (charges, fondations, niveau de la nappe phréatique, etc.). De même on prendra en considération les modifications des matériaux ou des systèmes survenues pendant la période d'exploitation.

A partir de cet objectif on peut décomposer l'inspection, dans le cadre de la surveillance périodique des ouvrages, en:

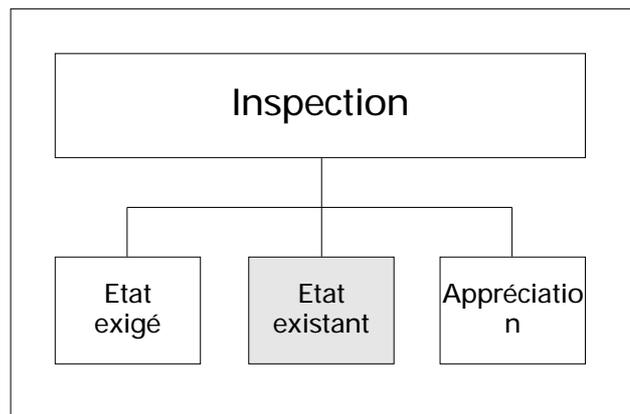
- définition de l'état exigé;
- saisie de l'état existant;
- appréciation de l'état.

Recommandation SIA 169:
Définition de la surveillance

«La surveillance a pour but de déceler à temps les défauts, les dégradations ou les modifications dans l'ouvrage ou dans son environnement pouvant provoquer des dommages aux personnes ou aux choses. La surveillance doit également permettre d'établir toutes les données nécessaires à l'entretien.»

Recommandation SIA 169: Modes d'inspection

- Inspections principales
- Inspections intermédiaires
- Inspections spéciales



Organigramme de l'inspection

L'auscultation d'un ouvrage fait partie du relevé de l'état existant et elle est traitée plus en détail ci-après. Afin de donner un aperçu, les encadrés ci-contre décrivent l'état exigé et l'appréciation de l'état.

Les informations récoltées lors de l'auscultation d'un ouvrage constituent les bases nécessaires et immédiatement disponibles pour déterminer et choisir les mesures possibles pour des interventions immédiates ou pour l'entretien et la remise en état. Si nécessaire, un renforcement ou une rénovation de l'ouvrage, ou d'une partie de l'ouvrage, sera prescrit. En tant que mesure immédiate on peut aussi fixer des restrictions d'utilisation.

On voit ainsi qu'il existe une interaction directe entre l'inspection, l'auscultation d'un ouvrage et les mesures prises d'une part, et les conséquences sur l'utilisation d'autre part.

Etat exigé

L'état exigé est tiré du dossier de l'ouvrage (bibl.1). Lorsque celui-ci manque, ou est incomplet, l'état exigé doit être défini conformément aux conditions spécifiques de l'ouvrage. Pour des ouvrages simples et peu importants, l'état exigé peut se limiter à la description des fonctions exigées.

Appréciation de l'état

L'appréciation de l'état doit fournir les éléments nécessaires pour la prise de décision de mise en oeuvre de mesures immédiates, destinées à assurer la sécurité de la structure porteuse. Elle justifie la nécessité de travaux d'entretien de l'ouvrage, décrit les exigences à satisfaire et les mesures qui s'y rapportent. Elle comprend:

- évaluation de l'état existant et de l'état exigé;
- appréciation de la divergence entre ces deux états;
- appréciation des causes de dégradations;
- évaluation des risques de dégâts;
- mesures immédiates;
- exigences et mesures à prendre pour l'entretien.

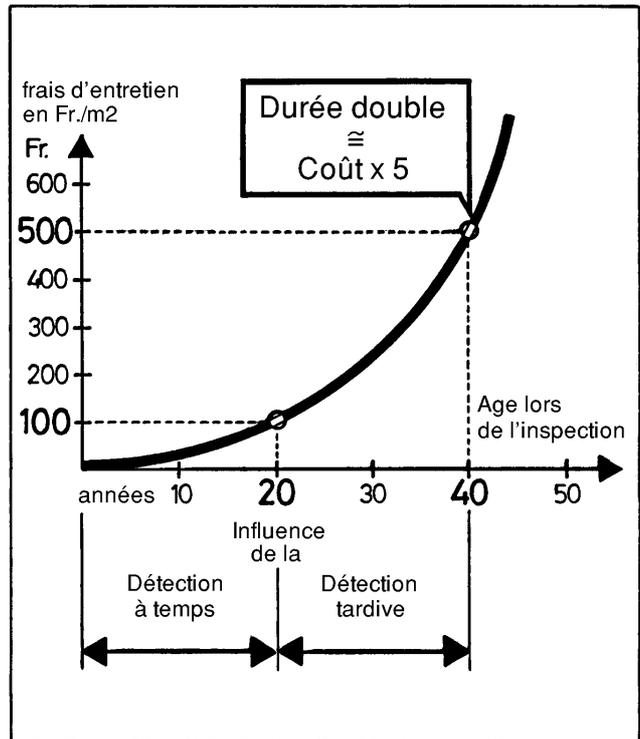
Aspects importants

Sollicitations et construction

La connaissance exacte des sollicitations agissant sur l'ouvrage, ainsi que de leurs actions sur la construction et sur les propriétés des matériaux employés, est prépondérante lors de l'auscultation d'un ouvrage.

Variations dimensionnelles d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage

Un ouvrage représente, en général, un ensemble réalisé en une fois, par plusieurs professions dont le rassemblement est presque toujours modifié d'un chantier à l'autre. De même, de nombreux matériaux de construction (par exemple le béton) sont produits sur le chantier. On comprend aisément qu'il peut en résulter des variations très importantes des caractéristiques des matériaux. Cet état de choses s'est particulièrement développé pendant les années 50 et 60, de haute conjoncture pour la construction. L'accroissement de la charge de l'environnement et une utilisation intensive ont aussi influencé les sollicitations des ouvrages et les actions sur les matériaux. Du fait de ces variations des caractéristiques des matériaux et des sollicitations, l'état d'un ouvrage pourra difficilement être considéré comme homogène lors de l'inspection. Dans la règle on est confronté à la difficulté de déterminer quelles parties sont intactes et quels éléments présentent des dégâts. Comme l'étendue



Détection des dégradations, à temps ou tardive

d'une dégradation ne se développe pas linéairement, il est extrêmement important de détecter les défauts le plus vite possible.

L'examen de l'état existant doit en conséquence considérer l'ouvrage avec toute son extension, y compris son environnement proche. L'enquêteur doit analyser l'ouvrage sur toute sa longueur, sur toute sa largeur comme sur toute sa profondeur. Souvent l'accès à toutes les parties de l'ouvrage n'est pas possible sans autre et doit se faire à l'aide de moyens auxiliaires (par exemple: échafaudages, échelles, élévateurs, etc.). Dans certains cas on doit se contenter d'exécuter l'étude à partir d'échantillons.

Ces particularités doivent être reconnues avant le début de l'inspection. Elles exigent la définition d'une procédure (plan d'inspection) et, si nécessaire, une limitation raisonnable basée sur les éléments prioritaires.



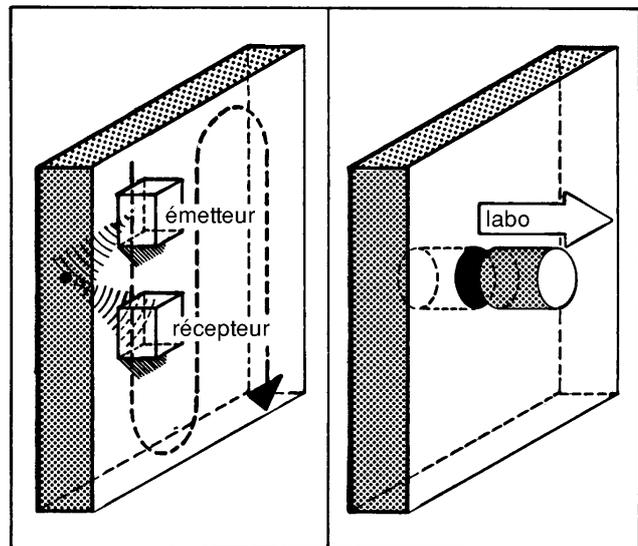
Accessibilité

Différences entre les techniques d'auscultation

Sur l'ouvrage on peut appliquer des techniques d'auscultation non destructives (qui ne causent aucune dégradation) ou destructives. Parmi ces dernières il y a toutes les recherches qui exigent le prélèvement d'échantillons (par exemple par carottage), l'ouverture de fenêtres d'observation appropriées ou des sondages. Les essais de laboratoire exigent le prélèvement d'échantillons. Ils fournissent en général des données relativement précises sur les caractéristiques recherchées. Ces résultats ne sont cependant valables que pour l'échantillon testé. Pour une extension de ces résultats à l'ensemble de l'ouvrage ou à une partie de celui-ci, le nombre et la disposition des prélèvements doivent être adaptés à la dispersion prévisible des caractéristiques du matériau mis en place, en respectant si possible les règles de la statistique (voir aussi: «Préparation et interprétation des mesures» p. 32).

Les techniques d'auscultation destructives sont souvent la seule possibilité permettant d'acquérir des données fiables sur les caractéristiques des matériaux et sur l'état à l'intérieur de l'ouvrage, soit en profondeur dans les éléments de la construction. Mais ici également se pose le problème de l'extension des informations obtenues à l'ensemble de l'ouvrage.

Les méthodes de mesure non destructives saisissent, en principe, des mesures ponctuelles effectuées sur un réseau déterminé, ou le long d'une ligne choisie (profil de mesure). Des méthodes d'auscultation de type particulier (examen visuel,



Essais non destructifs et destructifs

thermographie, etc.) saisissent en une opération des surfaces partielles d'un ouvrage, avec de fortes variations possibles dans l'importance des surfaces examinées. Selon le type de méthode non destructive choisi, les résultats suivants peuvent être obtenus:

- mesures ponctuelles dans un réseau à grandes mailles;
- mesures de profils;
- mesures ponctuelles dans un réseau à mailles serrées, couvrant bien la surface;
- mesures couvrant des surfaces complètes.

Avec des méthodes non destructives on peut ainsi obtenir facilement des informations sur la surface d'un ouvrage (longueur, largeur). Par contre l'acquisition de données sur l'intérieur de l'ouvrage (profondeur) est, en comparaison avec les méthodes destructives, en général limitée.

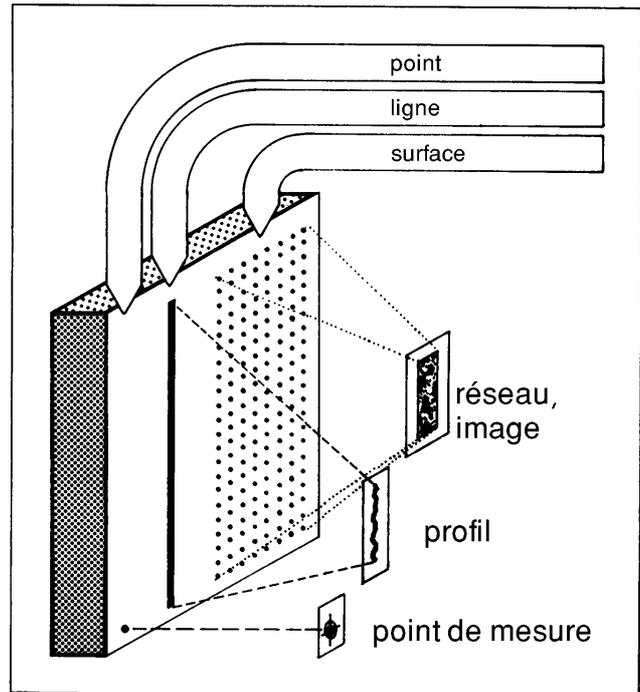
Les résultats des mesures effectuées sur l'ouvrage avec des méthodes non destructives ne sont, souvent, pas directement utilisables pour déterminer les valeurs recherchées. Le recoupement avec ces valeurs doit être fait avec une méthode d'interprétation éprouvée. De plus les résultats mesurés ou saisis sont, la plupart du temps, influencés par des conditions marginales. La prise en compte de ces facteurs, ajoutée au flou technique relatif des méthodes non destructives, demande une grande expérience. Pour des méthodes d'auscultation complexes, l'engagement de spécialistes est nécessaire.

Les méthodes non destructives ne sont utilisées, exclusivement, que dans des cas exceptionnels. Dans la règle on utilise une combinaison opportune (fondée) de différentes méthodes permettant d'étalonner les mesures non destructives à partir d'essais sur des carottes et de laboratoire, ou à partir de fenêtres d'observation. De cette manière, les méthodes non destructives, simples et économiques, permettent souvent de détecter les points critiques (emprise d'un dégât, etc.), à partir desquels on pourra, avec un minimum d'essais destructifs, obtenir les informations nécessaires.

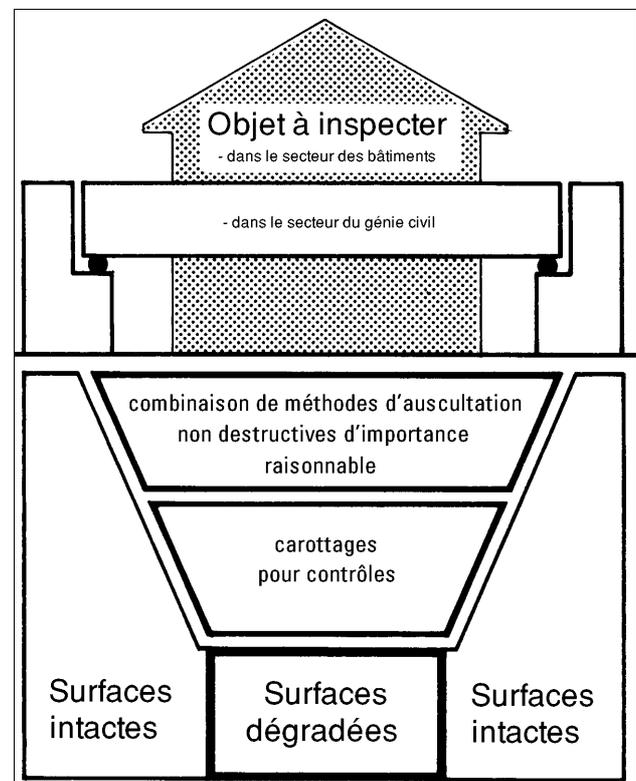
Saisie de l'état existant

La définition de l'état existant (encadré) et les objectifs pour l'auscultation des ouvrages, exigent des professionnels dûment instruits pour la planification et pour la conduite du travail. Les points suivants doivent être pris en considération:

- importance de l'ouvrage et de ses composants;
- nombre et variations des facteurs pouvant influencer sur l'ouvrage et ses composants (constellation



Caractéristiques des surfaces



Acquisition de la sûreté dans le diagnostic

2. Structures

des facteurs d'influence), pendant la durée d'exploitation et celle d'utilisation encore prévue;

- caractéristiques de la construction et des matériaux;
- risques entraînés par d'éventuels défauts non découverts;
- exigences pour la recherche des causes d'un dégât.

La détermination de l'état existant s'effectue par étapes (encadré). Au vu des résultats obtenus lorsqu'une étape est terminée, on décide si, et dans quelle mesure, les méthodes d'auscultation doivent être réorientées et approfondies. Les recherches de l'étape suivante doivent compléter celles de l'étape précédente. Elles ne les remplacent cependant pas. Ce processus par étapes permet également le contrôle régulier des dépenses engagées pour l'étude.

A partir des résultats de l'étape 0, de l'impression ressentie lors d'une première visite et des données locales (accessibilité, barrages, liste d'informations, maintien de l'utilisation, raccords électriques, raccordements d'eau, etc.), on établira un plan d'inspection tenant compte du personnel et du matériel disponibles. En principe ce plan doit permettre l'inspection soignée de toutes les parties de l'ouvrage. Les éléments porteurs principaux seront étudiés prioritairement, en prenant en considération les points faibles supposés de la construction, les dégâts déjà connus, les données sur la construction initiale et l'accessibilité.

Le choix des techniques d'auscultation spécifiques, leurs combinaisons et leurs utilisations pour l'une ou l'autre étape de la recherche, s'effectue selon les critères suivants:

- valeurs recherchées et priorités;
- simplicité des techniques d'auscultation (si possible non destructives);
- surface couverte par l'information;
- possibilité de corrélation avec d'autres techniques;
- coût des techniques d'auscultation.

Comme la méthode d'auscultation visuelle (étape 1) représente le système de recherche le plus simple, elle prend une signification particulière. Elle est basée sur l'expérience sensorielle (vue, ouïe, toucher, odorat) de l'enquêteur et elle fournit au professionnel formé une quantité d'informations qui peuvent être de la plus grande importance pour la suite de l'auscultation de l'ouvrage. Il n'est pas possible de renoncer à l'examen visuel. Pour le succès de l'examen visuel, la planification et la préparation du travail sont capitales.

Le choix et la succession des autres techniques d'auscultation dépendent du problème posé et ils exigent des connaissances professionnelles et de

Etat existant

La saisie de l'état existant d'un ouvrage comprend toutes les observations qui peuvent aider à apprécier la sécurité et l'aptitude au service de cet ouvrage, ainsi qu'à comparer cet état avec l'état exigé. Simultanément à la saisie de l'état instantané, on s'efforcera également d'établir les bases nécessaires permettant d'appréhender l'évolution de l'état dans un délai donné. Dans cette optique la connaissance des causes des dégâts constatés prend une importance primordiale. Cet objectif fixe des exigences particulières à la saisie de l'état.

Etapes de la recherche

- 0 Récolte et examen des documents du dossier de maintenance (dossier de l'ouvrage et toutes autres données disponibles pour les inspections)
- 1 Examen visuel
- 2 Examens sur l'ouvrage à l'aide d'appareils et d'essais en laboratoire sur échantillons
- 4 Auscultations statiques, géodésiques et constructives; cas échéant: essais de charge

Exemples:

- Mesure de potentiel et
 - . mesure de résistivité électrique
 - . mesure du pH
 - . méthode électromagnétique
 - . analyse chimique
- Contrôle des fissures avec l'extensomètre et
 - . nivellement
 - . analyse dynamique
 - . jauges de tension
 - . ultrasons
- Essai de tension de tirants d'ancrage et
 - . mesures géodésiques
 - . slopeindicator
 - . piézomètre

Différents procédés d'auscultation se complètent les uns les autres

l'expérience. Chaque nouvelle étape doit être soigneusement préparée en s'appuyant sur les résultats de l'étape précédente. On trouvera des indications sur l'engagement des diverses techniques d'auscultation lors des différentes étapes de la recherche dans le document 2 de la bibliographie.

Bibliographie

1. SIA: Recommandation SIA 169, Maintenance des ouvrages de génie civil; SIA, 1987, Zurich.
2. VSS: SN 640 930, Evaluation globale de l'état des ouvrages d'art; VSS, 1989, Zurich.
3. Ladner M.: Zustandsuntersuchung von Bauwerken; EMPA-FA Bericht Nr. 116/3, Mai 1988, Dübendorf.
4. SIA: Feuille de renseignements complémentaires SIA 2002: Inspection et remise en état des éléments de construction en béton; SIA, 1990, Zurich.
5. R. Favre, D. Andrey et R. Suter: Maintenance des ouvrages d'art; méthodologie de surveillance; EPFL-IBAP, mandat de recherche 32/82, juin 1987.
6. R. Favre, R. Suter et D. Andrey: Maintenance et réparation des ouvrages d'art, EPFL-IBAP, 1989.

2.2 Examen visuel des structures

Déceler les dégâts à temps

Nos hautes exigences vis-à-vis de la sécurité et de l'aptitude au service des constructions imposent de déceler le plus tôt possible d'éventuelles dégradations. Ces exigences sont également confirmées par la nécessité de conserver la valeur économique de la substance bâtie. Contrairement aux possibilités offertes dans la construction moderne des machines, qui intègre dans leurs structures les appareils de diagnostic, les dégradations des structures et des ouvrages de génie civil ne peuvent être décelées que par la surveillance.

Surveillance continue

La surveillance continue, dans l'esprit de la recommandation SIA 169, «Maintenance des ouvrages de génie civil», fournit les premières indications sur les dégradations. Cette évaluation, prudente, découle des objectifs spéciaux fixés à la surveillance continue. Au moyen de contrôles elle doit garantir en priorité les possibilités d'utilisation d'un ouvrage (aptitude au service ou de fonctionnement). Pour la détermination de l'état existant et son appréciation, une surveillance périodique doit être prévue.

De la même manière la surveillance continue des immeubles (habitations, industries, écoles, bâtiments administratifs, etc.), par un service d'entretien (concierge), fournit les premières indications sur les dégradations. Une certitude sur l'état existant ne peut cependant être acquise que par une inspection systématique.

Surveillance périodique

La reconnaissance, en temps utile, de dégradations ne peut donc être assurée que par des inspections (surveillance) périodiques. Celles-ci, dans une première étape, s'effectuent avec des méthodes d'auscultation simples et faciles à mettre en œuvre. Avec des dépenses raisonnables, ces premiers résultats doivent permettre de conclure si, jusqu'à la prochaine inspection, aucune mesure de maintenance n'est nécessaire, ou si des recherches complémentaires doivent être entreprises. Le cas échéant, elles doivent aussi permettre de reconnaître la nécessité de mesures immédiates.

L'examen visuel (voir aussi: «Démarche pour l'auscultation des structures», p. 18) satisfait à ces conditions.

- La liste des pièces du dossier
- Les plans de sécurité et d'utilisation
- Les règles d'utilisation
- Les programmes de surveillance et d'entretien
- Les plans de l'ouvrage exécuté
- Le mémoire technique
- Les notes de calcul
- Les rapports d'expertises
- La liste des normes, règlements, directives et recommandations appliqués
- Les contrats et rapports concernant la construction
- La liste des entreprises et des spécialistes
- Le tableau récapitulatif du décompte final des frais de construction
- Les documents relatifs au mode d'exécution de l'ouvrage
- Les documents et plans concernant: les matériaux de construction, les peintures et enduits de protection, les étanchéités, les revêtements, les canalisations et les équipements
- Les résultats des mesures des mouvements et déformations
- Les publications techniques
- Les documents de nature juridique

Contenu du dossier de l'ouvrage (recommandation SIA 169, chiffre 2.42

- Appréciation sommaire par l'examen visuel:
- pas de mesures à prendre jusqu'à la prochaine inspection;
 - des auscultations complémentaires sont nécessaires (étape suivante);
 - mesures immédiates nécessaires.

Objectif de l'examen visuel

Etendue de l'examen visuel

L'examen visuel comprend l'observation de tous les dégâts, à tous les endroits accessibles, avec les sens et avec des moyens auxiliaires simples. Un protocole des dégradations observées est établi, précisant le genre de dégât et la situation. Il est complété par un court commentaire sur le dégât, avec une estimation sommaire de sa gravité (insignifiant, moyen, important). A ce niveau une étude spécifique de la qualité des matériaux n'est normalement pas prévue. Il sera cependant souvent recommandé d'exécuter déjà à ce moment des recherches simples, comme par exemple le contrôle de la régularité de la qualité des matériaux.

Pour des éléments de construction en béton et soumis à la flexion, il pourra s'avérer utile d'effectuer des mesures de potentiel, sur un réseau à larges mailles, afin d'obtenir une première information sur l'état de corrosion des armatures.

L'étendue de l'examen visuel est cependant déterminée avant tout par les données disponibles sur la construction de l'ouvrage, sur les matériaux utilisés et sur leurs caractéristiques. Si ces informations manquent, il sera très vraisemblablement nécessaire d'envisager des auscultations complémentaires.

Conditions pour l'auscultation avec les organes des sens

Dans le langage courant on a réuni, sous la dénomination «Examen visuel», tous les examens exécutés avec les sens de l'homme (vue, ouïe, toucher, odorat, goût). Tous les sens, et pas seulement la vue, font donc partie de l'examen visuel. Ils sont très développés et représentent des moyens d'observation extrêmement sensibles. Leurs performances les plus élevées sont développées dans le domaine de la perception de différences (par exemple: reconnaissance de très petits intervalles de tonalité, reconnaissance de très petites différences de couleur de taches sur des habits, frôlement sur la peau, etc.). Pour l'ensemble des sens un entraînement est nécessaire, seule une utilisation continue des sens permet de développer leur pleine et totale acuité. L'action réciproque extrêmement intense entre les organes des sens et la pensée est innée. Cette action d'ensemble est de la plus grande importance pour l'examen visuel. Les impressions acquises avec les sens permettent une analyse intensive de l'ouvrage.

Examen visuel avec l'aide des sens et de moyens auxiliaires simples:

- examen optique et mesures lors de la visite de l'ouvrage;
- examen acoustique par martèlement;
- examen tactile des surfaces;
- examen olfactif (par exemple présence de matières organiques ou chimiques);
- examen gustatif (par exemple présence de sels).

Contrôles avec les organes des sens

«Voir» et «Reconnaître»

Lors de l'auscultation d'un ouvrage les sens doivent s'orienter sur les limites extérieures accessibles. Les impressions sensorielles doivent cependant être suffisamment contrastées pour relever les inhomogénéités des matériaux et de l'ouvrage. On doit donc également pouvoir formuler des appréciations sur des «irrégularités» en profondeur dans l'ouvrage. L'interprétation des impressions sensorielles (par exemple les différences de couleur perçues) permet, grâce aux connaissances et à l'expérience, d'émettre des hypothèses plus ou moins certaines sur les causes des observations effectuées.

Cette corrélation entre les observations effectuées en surface d'un ouvrage et la recherche de l'explication de ce constat demande une vaste expérience. Dans la pratique on constate régulièrement que cette technique d'auscultation permet de déceler les dégradations à temps, en particulier si l'on constate des modifications après un certain intervalle de temps. Ces examens visuels comportent cependant un certain nombre de dangers:

- manque de patience (temps) pour l'observation de toutes les surfaces accessibles (si nécessaire avec des moyens auxiliaires);
- fixation de l'esprit sur l'apparition de phénomènes attendus;
- surévaluation des phénomènes observés (manque de contrôles);
- relevé et rapport insuffisants sur les observations effectuées.

Outillage et petit matériel:

- perceuses pour la pierre, le métal et le bois;
- ciseau et massette;
- burin et autres outils pour piquage;
- pince plate et tenailles;
- tournevis et clés à vis;
- clé anglaise;
- brosse métallique, racloir, pinceau;
- bouteille avec gicleur;
- soufflet;
- équerre, fil à plomb;
- niveau;
- couteau;
- double-mètre, mètre à ruban;
- pied à coulisse, micromètre;
- miroir, miroir de dentiste;
- cordeau;
- craie;
- loupe;
- lampe.

Appareils spéciaux:

- thermomètre, hygromètre;
- chablon à fissures, loupe graduée;
- clé dynamométrique;
- marteau de contrôle pour rivets;
- scléromètre;
- appareil de détection des armatures;
- indicateur pour mesure du pH;
- liquide pour essai de ressuage;
- extensomètre;
- appareillage pour mesure de potentiel (éventuellement).

Appareils d'enregistrement et de protocole:

- jumelles;
- appareil de photo avec téléobjectif et objectif grand angulaire;
- flash pour appareil de photo;
- blocs-notes, formulaires;
- matériel divers (feutres, crayons, crayons de couleurs, craies grasses, gommes, Tipp-Ex, bandes adhésives, etc.);
- récipients pour matériaux et échantillons, avec étiquettes;
- enregistreur à bandes magnétiques (appareil de poche).

Equipement pour l'auscultation

Marche à suivre

Les éléments suivants font partie de la préparation de l'examen visuel:

- collecte et examen des documents disponibles (dossier de l'ouvrage, protocoles d'inspection);
- visite de l'ouvrage et observation des conditions locales;
- élaboration du plan d'inspection.

De cette préparation doit résulter la connaissance du système porteur, des matériaux utilisés et de leur compatibilité, ainsi que des actions auxquelles l'ouvrage est soumis.

Pour que l'appréciation d'un ouvrage soit concrète et efficace, il est très important de disposer d'un système homogène et global pour le relevé de l'état et le protocole. Ce système doit permettre l'élaboration du rapport sur l'état de l'ouvrage. La base pour l'établissement d'un rapport systématique est le protocole, qui prend ainsi une grande importance. Le succès ou l'échec d'un système d'auscultation dépend principalement de la qualité du protocole sur l'état.

Actuellement, aussi bien pour les bâtiments que pour le génie civil, il est proposé des banques de données, en relation avec des programmes d'ordinateur. Pour les ouvrages importants, le relevé détaillé des données est lié avec les dépenses correspondantes. Pour répartir le budget disponible en fonction des priorités, on ne considère, dans beaucoup de cas, que les données effectives en relation avec l'inspection en cours.

Compte tenu de l'état général du patrimoine construit, tant dans le bâtiment qu'en génie civil, et en fonction de l'importance de détecter des dégradations aussi tôt que possible, l'utilisation et l'exploitation de banques de données peuvent actuellement être considérées comme étant des obligations.

Les tableaux suivants, subdivisés selon les matériaux, donnent une vue d'ensemble pour l'observation des dégradations, les moyens de constat auxiliaires et des indications pour l'établissement des protocoles. Ces données peuvent, par exemple, être utilisées comme «check-list» pour la préparation de formulaires d'examen visuels.

Des informations complémentaires au sujet de l'examen visuel sont données dans la fiche technique «Examen visuel».

- Page titre avec nom et numéro de l'ouvrage, situation et toutes indications complémentaires nécessaires; date de l'inspection, nombre et noms des participants, référence au mandat pour l'inspection, etc.
- Pages suivantes avec:
 - . élément de construction examiné;
 - . courte description;
 - . observations;
 - . esquisse cotée;
 - . numérotation et repérage des photographies, etc.
- Résumé de l'inspection et des résultats.
- Mesures immédiates.
- Investigations ultérieures à faire.

Contenu du procès-verbal de l'inspection

- Accessibilité, et le cas échéant moyens nécessaires (échafaudages, élévateur à nacelle, etc.).
- Liste des responsables (qui doit être informé?).
- Clôtures, éclairage.
- Eventuellement alimentation en électricité et en eau.
- Liste du personnel et du matériel, et le cas échéant prestations de tiers.
- Déroulement de l'inspection, priorités, ordre du travail, temps nécessaire.
- Interprétation.

Contenu d'un plan d'inspection

- Toujours vérifier les conduites électriques.
- N'exécuter les travaux dangereux qu'à deux au minimum et prévoir les dispositifs de sécurité.
- Porter un gilet de sauvetage lors de travaux au-dessus de l'eau.
- Vérifier s'il existe une ventilation suffisante lors de la visite d'espaces fermés.
- Porter des lunettes de protection et des souliers appropriés.
- Placer la signalisation nécessaire.
- Vérifier la fixation des échelles et des échafaudages.

Mesures de sécurité lors d'une inspection

Bibliographie

1. Ladner M.: Zustandsuntersuchung von Bauwerken; EMPA-FA Bericht Nr. 116/3, Mai 1988.
2. R. Favre, D. Andrey et R. Suter: Maintenance des ouvrages d'art, répertoire des dégâts apparents, EPFL-IBAP, juin 1987.

2.3 Check-lists pour un examen visuel

Observation des dégradations, moyens auxiliaires nécessaires et éléments pour le procès-verbal

Observations générales sur l'ouvrage

Caractéristiques	Moyens auxiliaires	Résultats, Documentation	Contrôles, Compléments
Aspect général	Visite de l'ouvrage, jumelles, appareil photo	Etat général, photo- graphies	
Météo	Thermomètre	Température de l'air, de l'eau, des matériaux, de l'élément de construction, vent	
Orientation (exposition)	Boussole	Exposition aux intempéries	
Etat des fondations	Appréciation visuelle	Importance des tasse- ments, déversements, affouillements	Attention: les dégra- dations sont souvent cachées
Etat des appuis, des articulations, des joints, des étanchéités, des drainages, des revête- ments	Appréciation visuelle, appareil photo, miroir	Aptitude au service, photographies,	L'appréciation visuelle, après des précipitations, est souvent très instructive

Éléments de construction et ouvrages en béton, béton armé et béton précontraint

Caractéristiques	Moyens auxiliaires	Résultats, Documentation	Contrôles, Compléments
Coloration, par exemple par la rouille	Appréciation visuelle, ciseau, massette	Formes, couleurs, situations, dimensions, particularités (par exemple attaches)	Rechercher les endroits «creux» (martèlement, évent. piquage)
Eclats, délitages	Appréciation visuelle, ciseau, massette	Emprises, profondeurs, situations, corrosion des armatures	Rechercher les endroits «creux» (martèlement)
Zones humides	Appréciation visuelle, ciseau	Situations, quantités d'eau résurgente, éventuellement piquage de la zone d'arrivée de l'eau	Martèlement pour détecter les zones de désagrégation (gel), évent. analyse de l'eau (chlorures), prendre en considération les conditions météo
Couleurs, efflorescences	Appréciation visuelle, ciseau	Formes, couleurs, positions, dimensions, particularités	Rechercher les endroits sonnante «creux» (martèlement), évent. piquage
Altérations	Appréciation visuelle, palper, ciseau	Formes, couleurs, situations, particularités (liant, granulat)	Direction principale du vent
Structure superficielle alvéoles, ségrégations	Appréciation visuelle	Formes, dimensions, situations, particularités (par ex. joints de travail)	Absorption d'eau
Fissures: - Type et disposition	Appréciation visuelle, loupe	Types, situations, longueurs	Rechercher les endroits «creux» (martèlement), évent. piquer, relever les phénomènes connexes (par ex. coulures)
- Largeur	Loupe graduée, chablon à fissures	Largeurs des fissures (positions déterminées)	Date, météo
- Variation de longueur	Témoins, extensomètre	Variations dans le temps	Date, météo, trafic (influences)
- Lèvres de la fissure	Appréciation visuelle, ciseau, loupe	Colorations, humidité, corrosion de l'armature	Martèlement, cavité
Absorption d'eau de la surface	Humidification, appréciation visuelle	Situations, comparaisons	Structure de la surface
Joints, arêtes, liaisons	Appréciation visuelle	Particularités	Dégradations, corrosion, dépôt de saleté
Déformations	Appréciation visuelle	Situations, directions	Fissures, types et orientations
Carbonatation	Piquage, mesure du pH par la méthode avec indicateur sur une surface fraîchement cassée et propre	Coloration (profondeur à partir de laquelle le pH > 9)	

Eléments de construction et ouvrages en acier

Caractéristiques	Moyens auxiliaires	Résultats, Documentation	Contrôles, Compléments
Corrosion	Appréciation visuelle, brosse métallique, tournevis, ciseau, burin	Etendue et profondeur, épaisseur saine, coloration, type de rouille, (grains fins, écailles), aspect de la surface de l'acier	Enlever le revêtement, décaper
Fissures	Appréciation visuelle, loupe graduée	Situations, longueurs, largeurs, variations des ouvertures	Trafic (influences), températures, essai de ressuage, dates
Coulores, concentrations de contraintes	Appréciation visuelle, appareil photo	Positions et directions des coulores dans la zone de laminage, photographies	
Déformations, voilements	Appréciation visuelle	Dimensions, directions, étendues des déformations	
Moyens d'assemblage desserrés (rivets, boulons)	Appréciation visuelle, marteau, clé dynamométrique	Positions et déformations des moyens d'assemblage desserrés, fissures sur la tête des boulons, assemblages cisailés	
Etat des peintures et des revêtements de protection	Appréciation visuelle, couteau, essais d'arrachement avec bande adhésive	Adhérence à la bande adhésive, épaisseurs	Essai de quadrillage (valeur Gt 0-5)

Eléments de construction et ouvrages en maçonnerie, de pierres naturelles et de briques

Caractéristiques	Moyens auxiliaires	Résultats, Documentation	Contrôles, Compléments
Aspects, éclats (écaillés, décollements), dégradations par les intempéries	Appréciation visuelle, ciseau (martèlement)	Dimensions, profondeurs et positions des parties dégradées, différences de couleur et de structure des surfaces	Piquage des parties dégradées, différences de rugosité
Joints	Appréciation visuelle, ciseau (martèlement)	Importance et profondeurs des dégradations des joints de mortier et de leurs bords, salissures et racines dans les joints	Assises des pierres dans le lit de mortier
Résurgences, zones humides	Appréciation visuelle, ciseau	Positions et dimensions	Conditions météo, piquage éventuel
Déformations	Appréciation visuelle	Positions et dimensions des déformations	
Fissures	Appréciation visuelle, ciseau, loupe graduée	Positions, longueurs, largeurs, variations des ouvertures	Dates, influences
Efflorescences, dépôts, présence de sels	Appréciation visuelle	Dimensions, types	Martèlement des surfaces touchées

Eléments de construction et ouvrages en bois

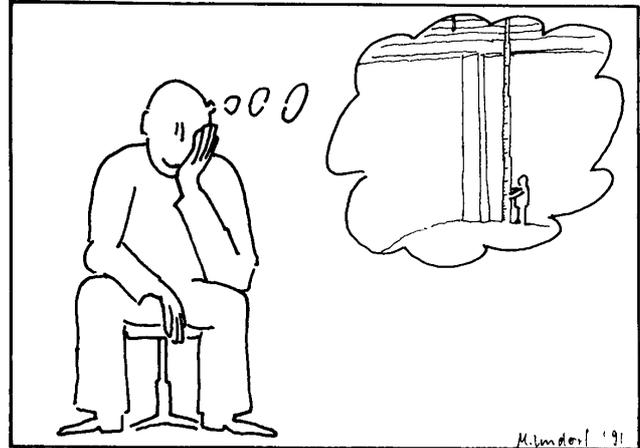
Caractéristiques	Moyens auxiliaires	Résultats, Documentation	Contrôles, Compléments
Généralités	Appréciation visuelle	Etat et étanchéité des raccords aux parois et des joints de dilatations, couvertures, revêtements, dégradations mécaniques	Ventilation
Pourritures et parasites	Appréciation visuelle, marteau, perceuse, endoscopie	Variations de la coloration, état de décomposition	Résistance à la pénétration
Fissures	Appréciation visuelle	Positions , longueurs, évent. largeurs	Contrôle des joints collés
Appuis	Appréciation visuelle	Pincements, écrasements	
Assemblages desserrés	Appréciation visuelle, marteau	Positions et dimensions	

2.4 Préparation et interprétation de mesures

Introduction

Le présent article traite en premier lieu des objectifs fixés à une campagne de mesures et des conditions aux limites dont il faut tenir compte. Suivent des indications sur les éléments de statistique à prendre en considération pour la planification des mesures et pour l'interprétation des résultats de celles-ci. Une liste des points et des phénomènes qui doivent être pris en considération pour l'interprétation des mesures termine cet exposé.

L'ensemble des problèmes liés à l'interprétation des résultats n'est pas traité ici. Ce thème est encore à l'étude dans le cadre du groupe de travail «Méthodes de diagnostic» du secteur génie civil du Programme d'Impulsions.



Principes

La surveillance périodique des ouvrages a pour objectif de saisir l'état dans lequel ils se trouvent et d'en faire l'appréciation. Pour atteindre cet objectif dans le cadre d'un examen, on utilise des techniques d'auscultation.

Une étude comprend différents essais effectués sur l'ouvrage. Chacun de ces essais représente un élément statistique de la technique d'auscultation appliquée. Un essai est constitué de mesures individuelles fournissant des résultats isolés sous forme numérique ou, en partie, aussi sous forme de graphiques.

Différentes caractéristiques (valeurs recherchées) décrivent l'état dans lequel se trouve l'objet observé. Le résultat séparé de chaque mesure isolée est la représentation quantifiée d'une caractéristique. L'étude n'est pas terminée lorsqu'on a mis par écrit les résultats numériques des mesures effectuées. Au contraire, une analyse critique et l'interprétation de ces chiffres sont nécessaires. L'interprétation correcte des résultats des mesures effectuées est très importante, car elle sera l'une des bases utilisées pour déterminer la suite du travail. Dans certains cas il serait préférable de ne pas avoir de résultats de mesure, plutôt que de disposer de données mal interprétées. Des dispositions erronées peuvent être prises à la suite de fautes d'interprétation. Des erreurs commises lors de l'appréciation de la capacité portante, de l'aptitude au service ou de la durabilité, des causes de dégradations non correctement décelées, conduisent à la poursuite de la dégradation.

Auscultation / inspection

Activité ayant pour objectif la récolte de données sur différentes caractéristiques (valeurs à rechercher) de l'ouvrage ou des matériaux.

Technique d'auscultation

Procédé, appareil ou autre moyen auxiliaire pouvant être mis en œuvre dans le cadre d'une auscultation.

Essai

Élément d'une auscultation. L'essai a pour objectif, à l'aide d'une ou de plusieurs techniques d'auscultation, d'obtenir des informations sur l'une des valeurs ou sur un groupe de valeurs que l'on recherche.

Mesure

Application unique d'une technique d'auscultation. La mesure permet d'obtenir un résultat isolé. Dans le cadre d'un essai on effectue plusieurs mesures et leur appréciation permet de tirer des conclusions sur les valeurs ou les groupes de valeurs recherchés.

Objectifs de l'étude et planification

Avant de planifier une auscultation d'ouvrage il faut préalablement définir ses objectifs ainsi que les conditions aux limites.

Objectifs de l'étude:

On doit répondre à la question: que recherche-t-on principalement? Le contrôle de la qualité est-il l'objectif principal? Ou cet objectif est-il la détection des causes des défauts? Quelle précision est nécessaire? Une estimation qualitative suffit-elle? S'agit-il d'un problème localisé ou d'une appréciation relative à l'ouvrage dans son entier?

Conditions aux limites:

Comment peut-on atteindre l'objectif fixé avec un délai et un budget limités? Les exigences relatives à la simplicité et au caractère indiscutable des techniques d'auscultation doivent être bien définies.

L'utilisation de l'ouvrage ne peut souvent pas être limitée pendant l'auscultation. Il en résulte des exigences quant au choix des méthodes. De même la capacité portante de l'ouvrage ne doit pas être diminuée par le prélèvement d'échantillons.

Lorsque les objectifs de l'étude sont connus, ainsi que le cadre financier et les délais, on peut alors procéder à la planification de l'auscultation.

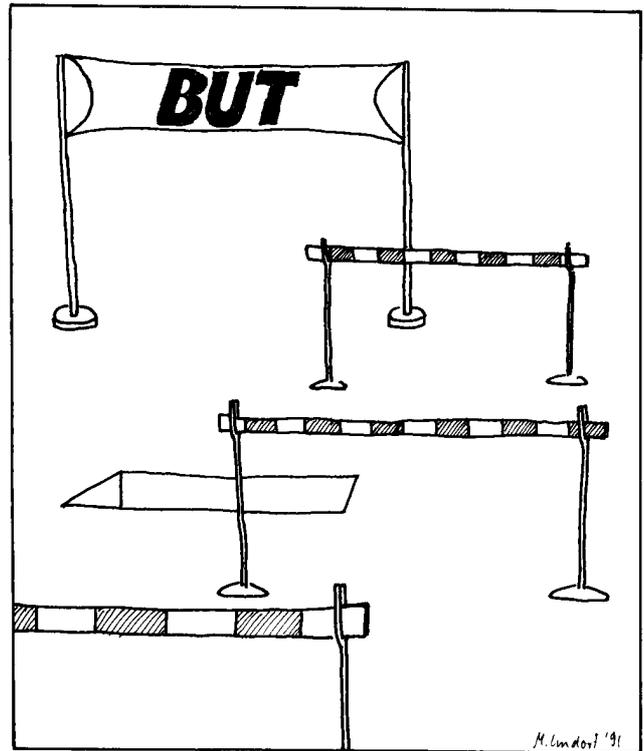
Les compromis qui auront dû être admis devront alors être pris en compte lors de l'interprétation des résultats.

Planification de l'auscultation et exploitation des essais

La planification de l'auscultation doit comprendre l'ensemble des recherches prévues ainsi que l'organisation des essais spécifiques.

Le but de la planification est la mise sur pied d'une étude rationnelle pouvant, pour autant que possible, s'appuyer sur des bases statistiques.

Au préalable on aura répondu aux questions: «Que voulons-nous mesurer?» et «Comment voulons-nous mesurer?», de manière à obtenir les résultats souhaités en tenant compte des conditions aux limites.



Préparation d'une auscultation

Statistiques

Pourquoi des statistiques?

Une mesure isolée est soumise au risque d'influences d'erreurs fortuites ou systématiques. Ces influences ne peuvent être décelées et ne peuvent donc être exclues sur des mesures isolées. Une appréciation objective ne peut être obtenue qu'avec l'aide de la statistique.

Sous la désignation planification statistique de la recherche, on entend la définition de l'ampleur minimale à conférer à l'auscultation pour obtenir des résultats fiables.

Au contraire, l'évaluation statistique des résultats d'essais est une évaluation pour déterminer si une donnée est admissible ou si elle ne peut être justifiée que par hasard par les mesures effectuées.

Un essai ne peut être considéré comme étant appuyé sur la statistique que lorsque son organisation respecte quatre principes (encadré). Dans la pratique il ne sera pas toujours possible, ni toujours nécessaire, de respecter la totalité de ces quatre principes.

L'exemple suivant illustre ces quatre principes.

Exemple:

Le bâtiment d'une fabrique existante doit être vendu. Les charges admissibles maximales des différents étages doivent être déterminées.

Pour déterminer la capacité portante des différentes dalles d'étage, il faut connaître, entre autres, les résistances du béton mis en place. Si une justification statistique est nécessaire, il ne suffira alors pas de prélever une unique carotte pour la soumettre aux essais de laboratoire. Ce procédé donnerait bien sûr une donnée relativement précise sur la zone du carottage, mais le solde du bâtiment ne serait cependant pas suffisamment contrôlé.

Pour respecter les quatre principes des exigences statistiques, on pourrait fixer les conditions suivantes: pour chaque dalle (bloc de mesure) prélever et soumettre aux essais le même nombre (structure symétrique, répétition) d'échantillons (carottes), répartis au hasard (répartition aléatoire).

Définition de la statistique par Abraham Wald (1902-1950):

«La statistique est un ensemble de méthodes qui nous permettent de prendre des décisions sensées et optimales dans des domaines incertains.»

1er principe: la répétition

Le résultat d'une mesure isolée ne fournit qu'un renseignement sur une valeur recherchée. La répétition a pour but de rechercher et de réduire les erreurs de mesure ou d'observation. Des échantillons prélevés dans un élément de construction en vue de la détermination d'une caractéristique, représentent un échantillonnage de l'ensemble. Les prélèvements devraient, pour autant que possible, être distribués de manière aléatoire, afin d'avoir la garantie que les valeurs isolées mesurées sont indépendantes les unes des autres. Plus l'échantillonnage est important, plus la courbe de Gauss des résultats des mesures sera précise, il en est de même pour la valeur moyenne et la dispersion. Cela signifie qu'avec un nombre croissant d'échantillons les valeurs estimatives deviennent toujours plus précises.

2e principe: la répartition aléatoire

La répartition aléatoire des prélèvements d'échantillons élimine les erreurs systématiques et assure l'indépendance des résultats des mesures. La réalité contraint souvent à accepter des compromis sur ce point.

3e principe: les blocs de mesures

Par blocs de mesures – ou formation de lots – on entend le groupement de résultats de mesures qui sont en relation entre elles (la plupart du temps il s'agit de mesures sur une partie limitée de l'ouvrage). Les blocs de mesure améliorent la précision par la possibilité de comparaison d'une caractéristique entre deux blocs. Les sources de perturbation peuvent être éliminées, un bloc étant plus homogène que l'ouvrage complet ou que l'élément de construction.

4e principe: la structure symétrique

La structure symétrique d'une auscultation, soit l'exécution d'un même nombre de mesures dans chaque bloc ou série de mesure, permet une interprétation plus sûre des résultats.

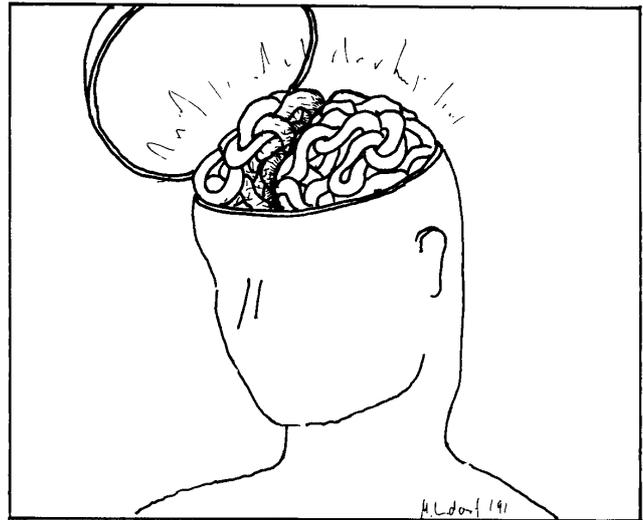
Principes de l'organisation statistique des essais

Le bon sens

Un programme de recherche conçu uniquement sur des bases statistiques entraînerait en général un volume d'essais beaucoup trop important.

Les facteurs d'influence agissant directement sur une technique d'auscultation sont généralement connus et ils peuvent être estimés et éliminés. La condition préalable pour permettre d'atteindre cet objectif est la tenue d'un procès-verbal précis et complet.

En prenant garde à d'autres conditions aux limites, non mesurables, et en se référant aux expériences antérieures (Où les sollicitations sont-elles les plus importantes? Où la qualité est-elle en général la plus mauvaise? etc.), le volume des essais peut être souvent considérablement réduit. De ce fait, une exploitation statistique correcte risque cependant d'être mise en danger.



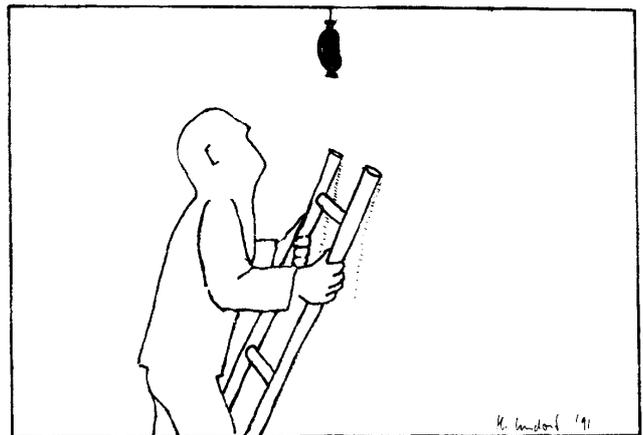
Le bon sens

A prendre en considération :

Recherches préliminaires

Une information préalable est, dans la plupart des cas, du plus grand intérêt (Démarche pour l'auscultation des structures: Etapes de la recherche, p. 22).

La recherche de ces informations préalables peut être limitée à un simple examen sur place; mais elle peut aussi comprendre des mesures sur un réseau à larges mailles, afin de découvrir les points critiques. De ce fait il est particulièrement intéressant de confier ces recherches préliminaires, ou leur contrôle, à la même personne qui assume l'organisation complète de l'étude, qui effectue l'exploitation des mesures, qui les interprète et qui en tire les conclusions quant aux mesures de maintenance à prendre.

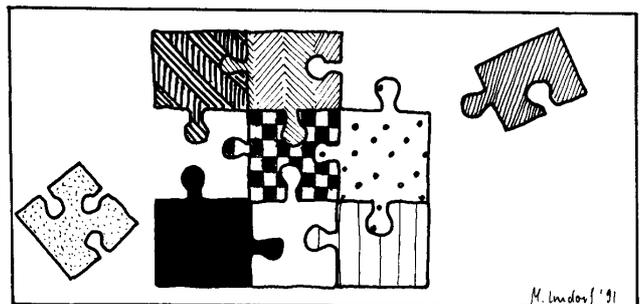


Avancer par étapes

Mesures en parallèle de plusieurs caractéristiques

Lors de l'organisation d'une auscultation il faut tenir compte que, dans la plupart des cas, une décision relative à des travaux de maintenance ne pourra pas être prise sur la base des données acquises avec une technique d'auscultation unique. Des recherches parallèles devront être prévues. Par exemple: des mesures de la teneur en chlorures peuvent être complétées de manière intéressante par la détermination de la profondeur de carbonatation, de l'enrobage des armatures et de la porosité.

Les résultats de différentes recherches augmentent la fiabilité lors de la détermination d'une caractéristique donnée.

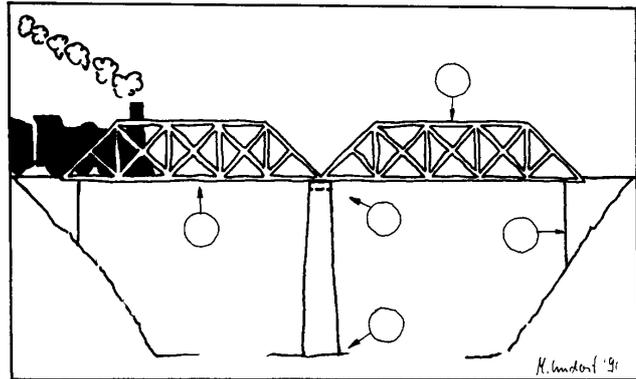


Des investigations en parallèle complètent le puzzle

Elaboration du concept de l'auscultation

Le concept de l'auscultation est établi sur la base des résultats des recherches préliminaires.

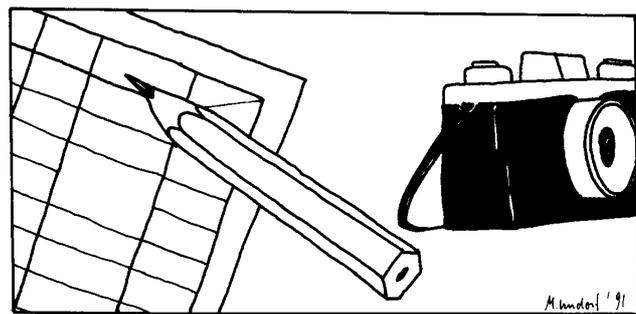
Pour le prélèvement d'échantillons, respectivement pour les mesures effectuées sur l'ouvrage, il faut procéder systématiquement. Le marquage et la numérotation des points de mesure et de prélèvement doivent être préparés soigneusement au bureau après un examen sur place. Les dimensions des échantillons prélevés doivent correspondre aux besoins des essais de laboratoire prévus. Selon les circonstances une concertation avec le laboratoire est nécessaire. Des échantillons de réserve peuvent également être utiles pour procéder à des essais ultérieurs.



Une bonne préparation facilite le travail d'auscultation

Etablissement du procès-verbal des mesures sur place

Le procès-verbal contiendra les observations subjectives et objectives, ainsi que des commentaires. Un procès-verbal complet doit aussi contenir des indications sur les conditions climatiques (humidité, température, etc.), sur les méthodes de prélèvements des échantillons, sur la précision des mesures des échantillons, ainsi que toutes indications particulières relatives à la technique d'auscultation utilisée. Dans ce cadre il faut s'efforcer de rédiger une description suffisante, afin d'éviter tous malentendus ou méprises. Par ailleurs il faut aussi veiller à éviter un excès de remarques.



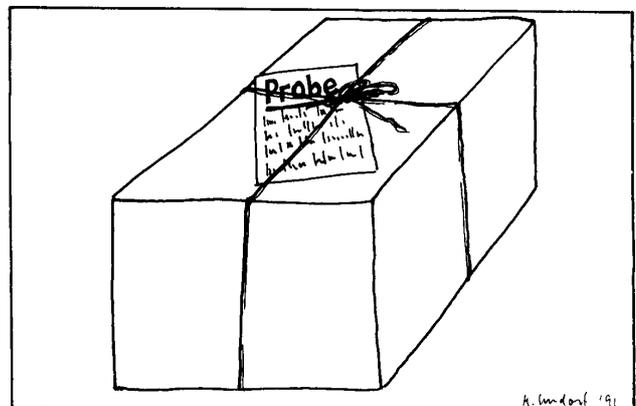
Le procès-verbal des mesures est un document primordial

Mandats aux laboratoires

Du mandat il doit ressortir clairement et sans ambiguïté ce qui doit être testé et comment. Des essais inutiles doivent être évités. En cas de doute il est recommandé de se concerter avec le laboratoire.

Comme exemple on peut citer le cas de la détermination de la teneur en chlorures. Il est en effet possible que la teneur en chlorures d'un élément de construction soit plus basse dans la couche superficielle qu'à une profondeur de 10 à 20 mm. Certains laboratoires interrompent pourtant l'essai lorsque la teneur en chlorures de la couche superficielle ne dépasse pas une valeur déterminée.

Des données complémentaires à ce sujet figurent dans la fiche technique: «Prélèvements d'échantillons/mandat de laboratoire». (p. 66).



Le mandat à confier au laboratoire comporte plus d'éléments que de simples échantillons

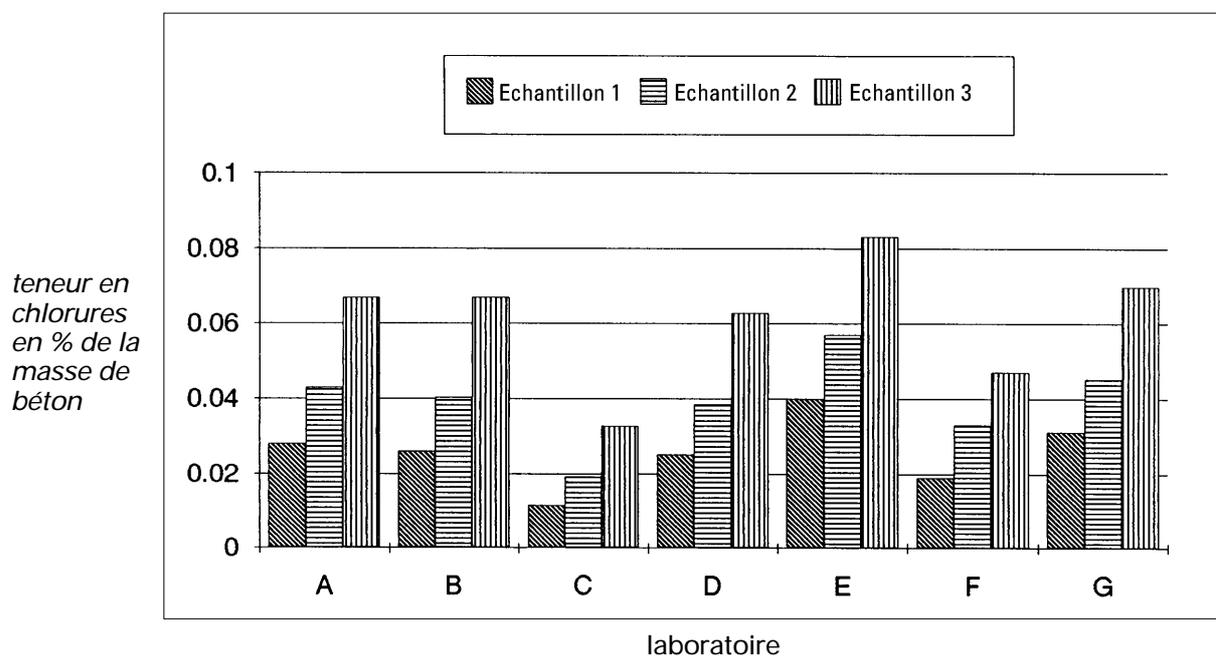
Dans le cadre du travail de la commission SIA 291, le bureau Aegerter et Bosshardt AG a été mandaté pour faire exécuter des essais comparatifs à sept instituts de recherche. Il s'agissait de déterminer la teneur en chlorures de trois échantillons différents. Chaque institut a effectué de six à dix mesures par échantillon.

Les résultats montrent premièrement une relation très claire entre les résultats et la méthode d'analyse et, deuxièmement, des différences non négligeables d'un laboratoire à l'autre.

Le tableau ci-après indique les méthodes utilisées par les laboratoires:

Laboratoire A	Laboratoire B	Laboratoire C	Laboratoire D	Laboratoire E	Laboratoire F	Laboratoire G
Acide nitrique	Eau chaude	Eau froide	Eau chaude	Eau chaude	Acide nitrique	Eau chaude Soxhlet
Electrode ionique spécifique	Electrode ionique spécifique	Electrode ionique spécifique	Méthode quantitative	Titration avec nitrate d'argent	Titration avec nitrate d'argent	Titration avec nitrate d'argent

Détermination de la teneur en chlorures – Essais comparatifs

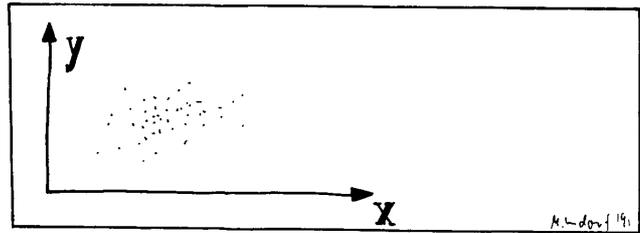


Les coefficients de variations sont très variables et indépendants de la méthode utilisée. Ils varient de 0.5% à 8.1%.

Essais comparatifs de détermination de la teneur en chlorures (voir remarques à la page suivante)

Dispersion des résultats des mesures

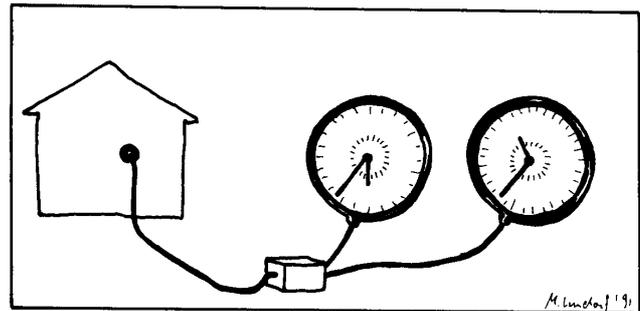
Dans certaines circonstances, des mesures effectuées au même endroit peuvent présenter une grande dispersion. Non seulement l'appareil de mesure, mais également l'opérateur, peuvent avoir une grande influence sur le résultat (bibl. 2).



Dispersion des résultats des mesures

Précision de lecture et de mesure

Il existe des appareils qui offrent apparemment une très grande précision. Mais attention: par exemple lors de mesures de dilatations (avec un extensomètre), la lecture par la même personne peut varier de ± 5 à 10 unités, uniquement en fonction de la pression exercée.

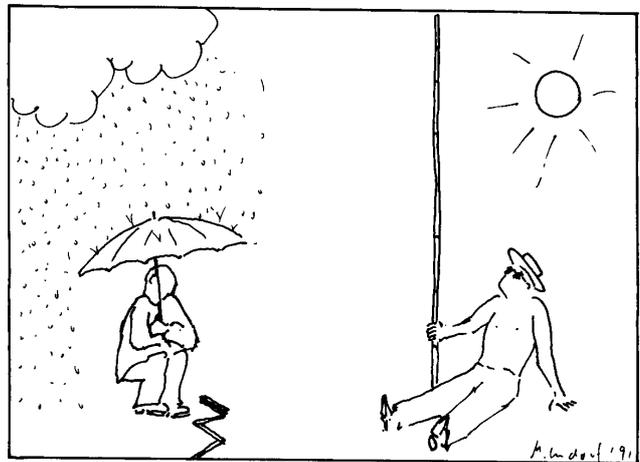


Ne pas se laisser abuser par la précision apparente de la mesure

Cette remarque est également valable pour les essais de laboratoire. Ils assurent souvent une très grande précision. Cependant on parle très rarement de la dispersion systématique qui existe, tant du fait des laborants que des procédures d'essais appliquées (qui peuvent aussi varier d'un institut à l'autre). L'exemple présenté dans l'encadré «Essais comparatifs de détermination de la teneur en chlorures» illustre ce propos mieux qu'un long exposé.

L'homme

L'influence de la motivation et de la formation des personnes qui effectuent les essais au laboratoire, ou de celles qui prélèvent les échantillons, ne doit pas être sous-estimée. La température et les intempéries n'agissent pas seulement sur la plupart des techniques d'auscultation, mais elles influencent également négativement la motivation du personnel chargé du travail!



Ne pas sous-estimer le facteur humain

Une accessibilité aisée améliore la fiabilité des résultats des mesures. Par exemple: la mesure de champs de potentiels en plafond est extrêmement pénible à exécuter.

La personne qui effectue une auscultation doit exécuter son travail, pour autant que possible, sans idées préconçues. De telles opinions sont susceptibles d'influencer fortement les résultats d'une auscultation.

Bibliographie

1. Morf. U.: Materialprüfung I, Vorlesung an der ETHZ; EMPA, Oktober 1984.
2. Schaab A., Flohrer C., Hillemeier B.: Die zerstörungsfreie Prüfung der Betonüberdeckung der Bewehrung; Beton- und Stahlbetonbau, Heft 11/1989, S. 275ff, Heft 12/1989, S. 324 ff.

Notes personnelles

Notes personnelles

2.5 Vue d'ensemble des techniques d'auscultation

	Page
Informations pour la consultation des tableaux de la vue d'ensemble	43
Liste des tableaux:	
Constructions, parties d'ouvrages, équipement	44
Fondations et sols de fondation	45
Pieux, parois moulées	45
Béton	46
Acier d'armature (y compris précontrainte à fils adhérents)	48
Acier de précontrainte (précontrainte par câble avec gaine)	49
Acier (acier de construction)	50
Maçonnerie	51
Protections des maçonneries (enduits, etc.)	52
Protections des maçonneries (plaques de parements)	52
Constructions en bois	53
Matières synthétiques	53
Eléments de fixations en aciers inoxydables	54
Tirants d'ancrage (en rocher et terrain meuble)	54
Equipements électro-mécaniques	55

Notes personnelles

Informations pour la consultation des tableaux de la vue d'ensemble

Les tableaux donnent une vue d'ensemble des techniques d'auscultation disponibles pour l'examen d'une partie d'ouvrage ou d'un matériau déterminé. Il a été tenté de considérer, pour autant que possible, toutes les méthodes d'auscultation utilisables dans la pratique. Toutefois, dans quelques cas particuliers, il est fait mention de techniques d'auscultation dont l'utilisation pratique est restreinte. Il apparaît aussi dans ces tableaux si d'autres données sur une technique mentionnée sont contenues dans le manuel, et où elles peuvent être trouvées.

Renvoi aux fiches techniques

Les techniques d'auscultation décrites de façon plus détaillée dans les fiches techniques sont soulignées dans les tableaux de cette vue d'ensemble. Un renvoi (♦) disposé à côté de la technique d'auscultation considérée indique le numéro de la page de la fiche technique correspondante.

Techniques d'auscultation simples

Les techniques d'auscultation simples qui peuvent être déjà utilisées par l'ingénieur lors d'un premier examen visuel sont mises en évidence par des caractères gras dans les tableaux de cette vue d'ensemble.

Essais de laboratoire

Les essais qui, en règle générale, sont effectués par des spécialistes en laboratoire, sont imprimés en *caractères italiques*. Ces techniques d'auscultation sont en général des techniques destructives, ceci du fait de la nécessité de prélèvements d'échantillons dans l'ouvrage.

Techniques d'auscultation d'intérêt restreint

Les techniques d'auscultation mises entre parenthèses dans cette vue d'ensemble, n'ont qu'un intérêt pratique restreint. Ces techniques d'auscultation sont en général d'un coût relativement élevé et leur interprétation est discutable. De telles techniques d'auscultation peuvent toutefois apporter, dans certains cas particuliers, une contribution à une meilleure appréciation d'un problème.

Objet de l'auscultation:
Constructions, parties d'ouvrages, équipement

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Géométrie (Tolérances dimensionnelles)	Mesurer / Relever Nivellement de précision Photogrammétrie Orthophoto	
Tassements Déformations	Nivellement (optique, hydrostatique) Témoins	
Comportement statique Déformations	Essai de charge ¹⁾ Mesure des flèches (Analyse dynamique) Mesure des déformations longitudinales	
Adhérence (Béton/acier) Cavités	Martèlement (par ex. avec chaîne)	<u>Essai d'arrachement</u> [endommagement de la surface] ♣ p. 79 <u>Endoscopie</u> [perçement] ♣ p. 64 <u>Examen visuel</u> [sondage] ♣ p. 62
Appuis	<u>Examen visuel</u> ♣ p. 62 Mesure des déplacements Contrôle des mouvements	
Joints	<u>Examen visuel</u> ♣ p. 62 Mesure des déplacements	
Ouvrages d'évacuation des eaux	<u>Examen visuel</u> ♣ p. 62 Contrôle de fonctionnement	
Revêtements (voir aussi chap. 3: routes)	<u>Examen visuel</u> ♣ p. 62 Mesure de l'épaisseur (<u>Géoradar</u>) ♣ p. 84	Mesure de l'épaisseur [carottage] <i>Analyse de la composition</i> [carottage] <i>Essai de compression</i> [carottage] <i>Essai de déformation</i> [carottage]
Étanchéité	<u>Examen visuel</u> ♣ p. 62 Observation (<u>Géoradar</u>) ♣ p. 84 (<u>Thermographie infrarouge</u>) ♣ p. 82	<u>Examen visuel</u> [sondage] ♣ p. 62 <u>Examen visuel</u> [carottage] ♣ p. 62

1) Recommandation SIA 169, annexe A2: Essais de charge

Objet de l'auscultation:
 Fondations et sols de fondation

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Tassements Déplacements	<u>Examen visuel</u> ♦ p. 62 Nivellement (optique, hydrostatique) Mesure géodésique, position Extensomètre Inclinomètre Slopeindicator Mesures de déformations tridimensionnelles Pendule	
Nappe phréatique Pression hydrostatique	Piézomètre	
Pression des terres Contrainte dans le sol	Capteurs de pression	

Pour une auscultation et une interprétation plus détaillées, il est nécessaire de s'adresser aux spécialistes de ces problèmes (géotechniciens, géologues)

 Objet de l'auscultation:
 Pieux, parois moulées

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Capacité de charge	Essai de charge ¹⁾	
Homogénéité du pieu	(Essai de réflexion)	<u>Ultrasons</u> [canal de mesure incorporé / forage à travers le pieu en béton] ♦ p. 86
Tassements Déformations	Nivellement de précision Mesures géodésiques Inclinomètre	

1) Normes SIA 192, Fondations sur pieux

Légende: souligné: voir fiche technique caractère gras: auscultation simple, adéquate pour l'examen visuel
italique: essai en laboratoire (entre parenthèses): auscultation d'intérêt pratique restreint

Objet de l'auscultation:
 Béton

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Résistance à la compression	<u>Scléromètre</u> ▶ p. 68 <u>(Ultrasons)</u> ▶ p. 86	<i>Résist. à la compr. sur carottes</i> ¹⁾ [carottage] <i>Résist. à la compr. sur cubes</i> ³⁾ [prélèv.] Essai de pénétration [dommage de surface]
Résistance à la traction		Essai d'arrachement [dommage de surface] ▶ p. 74 Essai d'arrachement de tampons [dommage de surface] Essai d'arrachement de plaques incorporées dans le béton [dommage de surface] <i>Essai de traction</i> ²⁾ [carottage]
Module d'élasticité	<u>(Ultrasons)</u> ▶ p. 86 (Mesure dynamique)	<i>Module d'élasticité</i> ⁴⁾ [carottage]
Structure, homogénéité – cavités – porosité – étanchéité – capacité d'absorption – caractéristiques des pores – inhomogénéités (qualité) – teneur en ciment – compos. granulométrique	<u>Examen visuel</u> ▶ p. 62 Martèlement Microscope de poche <u>Absorption d'eau</u> ▶ p. 72 <u>Résistivité électrique</u> ▶ p. 78 <u>(Ultrasons)</u> ▶ p. 86	<i>Perméabilité à l'eau</i> ⁵⁾ [carottage] <i>Porosité</i> ⁶⁾ [carottage] <i>Masse volumique apparente</i> [carottage] <i>Lame mince</i> [microscope] <i>Caractéristiques des pores</i> ⁷⁾ [carottage] <i>Appréciation de la surface de rupture</i> [carottage] <i>Comportement lors de cycles de gel</i> ⁸⁾ <i>Résistance au gel et aux sels de déverglaçage</i> ⁹⁾ [carottage] <i>Résistance à l'abrasion</i> ¹⁵⁾ [carottage]
Cavités Incorporés	Martèlement <u>(Ultrasons)</u> ▶ p. 86 <u>(Thermographie infrarouge)</u> ▶ p. 82 <u>(Géoradar)</u> ▶ p. 84 (Radiographie)	<u>Méthode vacuum</u> [forage] ▶ p. 80 Mesurage [sondage]
Humidité	Feuilles de plastique (recouvrement) <u>Résistivité électrique</u> ▶ p. 78 <u>(Thermographie infrarouge)</u> ▶ p. 82 <u>(Géoradar)</u> ▶ p. 84	Essai CM (chimique) [prélèvement] <i>Nucléodensimétrie</i> [carottage à sec] <i>Gravimétrie</i> [carottage à sec]

Les problèmes relatifs au prélèvement d'échantillons et au mandat à confier à un laboratoire sont traités dans la fiche technique «Prélèvement d'échantillons / mandat de laboratoire» ▶ p. 66

Objet de l'auscultation:
 Béton

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Fissures (constat)	<u>Examen visuel</u> (eau) † p. 62 Chablon (de comparaison) Loupe graduée (Ultrasons) † p. 86 (Radiographie)	Localisation et profondeur [carottage / sondages] <i>Analyse de fissure sur lame mince</i> [prélèvement]
Fissures (mouvements)	Témoins en plâtre ou verre Extensomètre électrique Extensomètre mécanique	
Carbonatation		Mesure du PH sur poudres de forage ¹¹⁾ [carottage] Méthode avec indicateur ¹¹⁾ [burinage] Méthode avec indicateur ¹¹⁾ [carottage / prélèvement] <i>Lame mince</i> (microscope) ¹¹⁾ [prélèvement]
Teneur en chlorures	<u>Mesure de potentiel</u> † p. 76 (béton armé seulement)	Différentes analyses chimiques ¹²⁾ [carottage / prélèvement]
Teneur en sulfates		<i>Analyse chimique</i> [carottage / prélèvement]
Température	Thermomètre Thermocouple (<u>Thermographie infrarouge</u>) † p. 62	Thermomètre ou thermocouple disposés dans un trou de forage
Composition	<u>Examen visuel</u> † p. 62	<u>Examen visuel</u> [carottage / prélèvement] † p. 62 <i>Analyse chimique</i> [carottage / prélèvement] <i>Lame mince</i> (microscope) [carottage / prélèvement]

- 1) Norme SIA 162/1, Ouvrages en béton, essai N° 2
- 2) EMPA, Prüfen von Beton
- 3) Norme SIA 162/1, Ouvrages en béton, essai N° 1
- 4) Norme SIA 162/1, Ouvrages en béton, essai N° 3
- 5) Norme SIA 162/1, Ouvrages en béton, essai N° 5
- 6) Norme SIA 162/1, Ouvrages en béton, essai N° 7
- 7) Norme SIA 162/1, Ouvrages en béton, essai N° 6
- 8) Norme SIA 162/1, Ouvrages en béton, essai N° 8
- 9) Norme SIA 162/1, Ouvrages en béton, essai N° 9
- 10) Norme SIA 162/1, Ouvrages en béton, essai N° 10
- 11) Norme SIA 162/3, Détermination de la profondeur de carbonatation du béton
- 12) Norme SIA 162/2, Détermination de la teneur en chlorures dans le béton

Légende: souligné: voir fiche technique caractère gras: auscultation simple, adéquate pour l'examen visuel
italique: essai en laboratoire (entre parenthèses): auscultation d'intérêt pratique restreint

Objet de l'auscultation:
Acier d'armature (y compris précontrainte à fils adhérents)

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Position / enrobage Diamètre	<u>Mesure de l'enrobage par méthode:</u> - électromagnétique ♦ p. 70 - magnétique - induction magnétique (Géoradar) ♦ p. 84 (Radiographie)	Mesure directe (sondage / mise à nu)
Caractéristiques mécaniques - résistance à la traction - limites d'écoulement - striction - allongement - ductilité et ténacité - résistance à la fatigue - composition chimique (qualité d'acier)		<i>Caractéristiques mécaniques</i> ¹⁾ <i>Ductilité, fragilité</i> ²⁾ <i>Résistance à la fatigue</i> ³⁾ <i>Comportement à la corrosion</i> ⁴⁾ <i>Analyse chimique</i> <i>Microdureté</i> <i>Microstructure sur coupe polie</i> [pour tous ces essais: prélèv. d'échantillons dans l'ouvrage]
Fissures	(<u>Ultrasons</u>) ♦ p. 86	<u>Essai de ressuage</u> [mise à nu de l'acier] ♦ p. Magnétoscopie [mise à nu de l'acier] <u>Essai de traction</u> [prélèv. d'échantillons] <u>Coupe polie</u> (microscopie) [prélèv. d'échantillons] (Mesure de l'impédance) [sondage]
Corrosion	<u>Examen visuel</u> : ♦ p. 62 (taches de rouille, piqûres) <u>Mesure de potentiel</u> ♦ p. 76	<u>Examen visuel</u> [sondage] ♦ p. 62 <u>Endoscopie</u> [sondage] ♦ p. 64 <u>Mesure de potentiel</u> [sondage] ♦ p. 76 (Mesure par courant pulsé) [sondage] (Spectroscopie par impulsion à réflexion) [sondage] <i>Analyse chimique</i> [prélèv. d'échantillons]
Courants vagabonds	<u>Mesure de potentiel</u> ♦ p. 76 Mesure directe des courants vagabonds	
Fragilisation par l'hydrogène (uniquement pour les aciers de précontrainte)		<u>Essai de ressuage</u> [mise à nu de l'acier] ♦ p. 92 Magnétoscopie [mise à nu de l'acier] <u>Essai de traction</u> [prélèvement d'échantillons] <i>Analyse chimique</i> [prélèvement d'échantillons]
Résistance électrique	<u>Résistivité électrique</u> ♦ p. 78	

1)–4) Norme SIA 162/1, Ouvrages en béton, essais des matériaux, Essais n° 33, 34, 38, 39

Les problèmes relatifs au prélèvement d'échantillons et au mandat à confier à un laboratoire sont traités dans la fiche technique «Prélèvement d'échantillons / mandat de laboratoire» ♦ p.66

Objet de l'auscultation:
 Acier de précontrainte (précontrainte par câble avec gaine)

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Position / enrobage Diamètre	(Géoradar) ♦ p. 84 (Radiographie)	Mesure directe (sondage / mise à nu)
Caractéristiques mécaniques – résistance à la traction – limites d'écoulement – striction – allongement – ductilité – résistance à la fatigue – composition chimique (qualité d'acier)		<i>Caractéristiques mécaniques</i> ²⁾ <i>Ductilité, ténacité</i> ³⁾ <i>Résistance à la fatigue</i> ⁴⁾ <i>Comportement à la corrosion</i> ⁵⁾ <i>Relaxation de l'acier de précontrainte</i> ⁶⁾ <i>Analyse chimique</i> <i>Microdureté</i> <i>Microstructure sur coupe polie</i> [pour tous ces essais: prélèv. d'échantillons dans l'ouvrage]
Fissures	(Ultrasons) ♦ p. 86	<u>Essai de ressuage</u> [mise à nu de l'acier] ♦ p. 92 Magnétoscopie [prélèv. d'échantillons] <i>Essai de traction</i> [prélèv. d'échantillons] <i>Coupe polie</i> (microscopie) [prélèv. d'échantillons] (Mesure de l'impédance) [sondage] (Spectroscopie par impulsion à réflexion) [sondage]
Corrosion		<u>Examen visuel</u> [sondage] ♦ p. 62 <u>Endoscopie</u> [sondage] ♦ p. 64 <u>Mesure de potentiel</u> [sondage] ♦ p. 76 (Mesure par courant pulsé) [sondage] (Spectroscopie par impulsion à réflexion) [sondage] <i>Analyse chimique</i>
Courants vagabonds		<u>Mesure de potentiel</u> ♦ p. 76 Mesure directe des courants vagabonds
Fragilisation par l'hydrogène		<u>Essai de ressuage</u> [prélèv. d'échantillons] ♦ p. 92 Magnétoscopie [prélèv. d'échantillons] <i>Essai de traction</i> <i>Analyse chimique</i>
Force de précontrainte	Capteur de force incorporé	Détente [enlèvement] Surtension / décollement de la tête d'ancrage [risque de dommage à l'injection]
Défaut d'injection (gainés)	(Radiographie) (Ultrasons) ♦ p. 86	<u>Endoscopie</u> [sondage] ♦ p. 64 <u>Méthode vacuum</u> [sondage] ♦ p. 80 <u>Examen visuel</u> [sondage] ♦ p. 62 (Spectroscopie par impulsion à réflexion) [sondage]

 1) *Matt: Zerstörungsfreie Prüfung von Spanngliedern in bestehenden Brückenbauten; EVED Forschungsbericht Nr. 70, 1989*

 2)–6) *Norme SIA 162/1, Ouvrages en béton, essais des matériaux, essais 33, 38, 39, 40, 42*

 Légende: souligné: voir fiche technique
italique: essai en laboratoire

 caractère gras: auscultation simple, adéquate pour l'examen visuel
 (entre parenthèses): auscultation d'intérêt pratique restreint

Objet de l'auscultation:
Acier (acier de construction)¹⁾

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Caractéristiques mécaniques: - résistance à la traction - limites d'élasticité - allongements - résistance à la fatigue - composition chimique	<i>Essai de dureté</i>	<i>Essai de résistance à la traction avec mesure des allongements [prélèv. d'échantillons] Essai de flexion par choc sur éprouvettes entaillées [prélèvement] Essai de fatigue dynamique [prélèvement] Analyse chimique [prélèvement]</i>
Fissures ²⁾	<u>Examen visuel</u> ▶ p. 62 <u>Essai de ressuage</u> ▶ p. 92 Magnétoscope <u>Ultrasons</u> ▶ p. 86 (Radiographie)	
Corrosion	<u>Examen visuel</u> ▶ p. 62 Degré de rouille Coulures Mesure de potentiel Analyse de laboratoire (essai de décapage)	<i>Analyses de laboratoire</i> [prélèvement d'échantillons]
Protection contre la corrosion	<u>Examen visuel</u> ▶ p. 62 Ecaillage Cloquage Porosité Essai de décapage <u>Mesure de l'épaisseur (induction magnétique)</u> ▶ p. 88	<u>Essai de quadrillage</u> ▶ p. 90 Essai d'arrachement Mesure de l'épaisseur (mécanique)
Température	Thermomètre à adhérence magnétique	
Rupture de fils (câbles)	Bobine à induction magnétique	

1) Norme SIA 161 (1990) Constructions métalliques

2) Norme SIA 161/1 (1990) Constructions métalliques; chiffre 3, qualité des soudures, chiffre 4, contrôles des soudures

Les problèmes relatifs au prélèvement d'échantillons et au mandat à confier à un laboratoire sont traités dans la fiche technique «Prélèvement d'échantillons / mandat de laboratoire» ▶ p. 66

Objet de l'auscultation:
 Maçonnerie

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Résistance		Essai de résistance [prélèv. d'échantillons]
Composition (maçonneries composites) (acier)	<u>(Ultrasons)</u> † p. 86 (Essai sismique) (Géoradar) † p. 84 <u>(Résistivité électrique)</u> † p. 78 (Géoradar) † p. 84	<u>Endoscopie</u> [sondage] † p. 64 <u>Examen visuel</u> [carottage] † p. 62 <u>Examen visuel</u> [sondage] † p. 62
Cavités	Martèlement <u>(Ultrasons)</u> † p. 86 (Thermographie infrarouge) † p. 82 (Essai sismique) (Géoradar) † p. 84	<u>Endoscopie</u> [sondage] † p. 62 Inspection des cavités [sondage]
Humidité	<u>Examen visuel</u> † p. 62 <u>Résistivité électrique</u> † p. 78 (Thermographie infrarouge) † p. 82 (Thermographie à réflexion) (Géoradar) † p. 84	<u>Examen visuel</u> [sondage] † p. 62 <i>Analyse</i> [carottage à sec]
Fissures	<u>Examen visuel</u> † p. 62 <u>(Ultrasons)</u> † p. 86	Cheminement des fissures [sondage] Profondeur des fissures [carottage]
Epaisseurs des différentes couches	<u>(Ultrasons)</u> † p. 86 (Essai sismique) (Géoradar) † p. 84 <u>(Résistivité électrique)</u> † p. 78	Mesure directe [sondage / carottage]
Limites des différentes courbes	(Essai sismique) (Géoradar) † p. 84 <u>(Résistivité électrique)</u> † p. 78	<u>Examen visuel</u> [sondage / carottage] † p. 62
Présence de chlorures ou autres sels	<u>Examen visuel</u> † p. 62 (efflorescences)	<i>Analyse chimique</i> [carottage / prélèvement]

 Légende: souligné: voir fiche technique
italique: essai en laboratoire

 caractère gras: auscultation simple, adéquate pour l'examen visuel
 (entre parenthèses): auscultation d'intérêt pratique restreint

Objet de l'auscultation:
 Protections des maçonneries (enduits), etc.

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Adhérence	<u>Examen visuel</u> ▶ p. 62 Martèlement Essai de griffage	<u>Essai d'arrachement</u> [dommage de surface] ▶ p. 74
Porosité	<u>Essai d'absorption d'eau</u> ▶ p. 72 <u>Résistivité électrique</u> ▶ p. 78	<i>Détermination de la porosité</i> [prélèv. d'échantillons]
Humidité	<u>Résistivité électrique</u> ▶ p. 78	
Composition		<i>Détermination des liants</i> [prélèv. d'échantillons] <i>Répartition des liants</i> [prélèv. d'échantillons] <i>Composition granulométrique</i> [prélèv. d'échantillons]
Teneur en sels		<i>Teneur en chlorures</i> [prélèv. d'échantillons] <i>Teneur en nitrates</i> [prélèv. d'échantillons] <i>Teneur en sulfates</i> [prélèv. d'échantillons] <i>Analyse chimique</i> [prélèv. d'échantillons]

Objet de l'auscultation:
 Protections des maçonneries (plaques de parements)

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Fixations	<u>Examen visuel</u> ▶ p. 62 <u>Endoscopie</u> ▶ p. 64	<u>Endoscopie</u> [sondage] ▶ p. 62 Examen détaillé (éventuellement en labo) [démontage ou prélèvement]

Les problèmes relatifs au prélèvement d'échantillons et au mandat à confier à un laboratoire sont traités dans la fiche technique «Prélèvement d'échantillons / mandat de laboratoire» ▶ p. 66

Objet de l'auscultation:
 Constructions en bois

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Résistances: - résistance à la compression - résistance en flexion - nasse volumique apparente - inclinaisons des fibres - module d'élasticité E - nodosité	<u>Examen visuel</u> ¹⁾ ♦ p. 62 Résistance à la pénétra- tion Essai de charge (Ultrasons) ♦ p. 86 (Fréquence de vibration) (Caractéristiques diélectriques) (Radiographie)	<i>Analyse d'échantillons</i> [prélèv. d'échantillons] (Appareil d'analyse d'échantillons)
Degré de charge	(Analyse acoustique)	
Assemblages	Voir acier de construction	Voir acier de construction
Humidité	<u>Examen visuel</u> ♦ p. 62 Résistivité électrique	<i>Analyse d'échantillons</i> [prélèv. d'échantillons]
Fissures	<u>Examen visuel</u> ♦ p. 62	
Pourriture	<u>Examen visuel</u> ♦ p. 62 Résistance à la pénétration	<i>Analyse d'échantillons</i> [prélèvement d'échantillons] Essai de charge <u>Endoscopie</u> ♦ p. 64

1) Norme SIA 164, Constructions en bois (classement du bois)

Des indications complémentaires pour l'auscultation du bois et des ouvrages en bois sont données dans la fiche technique «*Eléments d'ouvrages en bois*» ♦ p. 96

 Objet de l'auscultation:
 Matières synthétiques

Pour un examen spécifique de matières synthétiques, il est nécessaire de consulter un spécialiste. Lors d'un examen visuel il faut considérer la fragilité, les variations de couleur, les fissures, etc.

Objet de l'auscultation:
Eléments de fixations en aciers inoxydables

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Fissures	<u>Examen visuel</u> ▶ p. 62 <u>Endoscopie</u> ▶ p. 64 Mesure de potentiel Méthode de mise en évidence de fissures	<i>Contrôle détaillé</i> [prélèvement]
Corrosion	<u>Examen visuel</u> ▶ p. 62 <u>Endoscopie</u> ▶ p. 64 (Examen présence de chlorures) Autres méthodes: voir acier	<i>Contrôle détaillé</i> [prélèvement]
Capacité de charge	<u>Examen visuel</u> ▶ p. 62	Essai d'arrachement [destruction éventuelle] <i>Contrôle détaillé</i> [prélèvement]

Objet de l'auscultation:
Tirants d'ancrage (en rocher et terrain meuble)

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Capacité de charge	Essai de tension ¹⁾ Contrôle force ancrage	Essai d'arrachement
Corrosion	<u>Examen visuel</u> ▶ p. 62	Forage [prélèvement]
Etanchéité à l'eau	<u>Examen visuel</u> ▶ p. 62 Résistivité électrique	

1) Norme SIA 191, Tirants d'ancrage

De plus amples informations pour l'auscultation de tirants d'ancrages (ancrages permanents) sont données dans la fiche technique «*Tirants d'ancrage en rocher et terrain meuble*» ▶ p. 94

Les problèmes relatifs au prélèvement d'échantillons et au mandat à confier à un laboratoire sont traités dans la fiche technique «*Prélèvement d'échantillons / mandat de laboratoire*» ▶ p. 66

Objet de l'auscultation:
Equipements électro-mécaniques

Pour l'auscultation et l'appréciation de l'état d'équipements électro-mécaniques, électriques et électroniques (installations de ventilation, de commande, de signalisation, de surveillance, etc.), il est nécessaire de faire appel aux spécialistes du domaine concerné. Du fait que les causes des dégâts, en particulier dans les cas d'apparition de corrosion, sont souvent liées à l'environnement et aux défauts d'autres parties de la construction, il est alors indispensable de procéder à des auscultations et à des études pluridisciplinaires des mesures de maintenance. A noter que l'importance des mesures de maintenance pour de tels équipements est trop souvent sous-estimée par les spécialistes (en tout cas dans une première phase).

Notes personnelles

Notes personnelles

Notes personnelles

2.6 Fiches techniques des méthodes d'auscultation

	Page
Informations pour l'utilisation des fiches techniques	61
Liste des fiches techniques:	
Examen visuel	62
Endoscopie	64
Prélèvement d'échantillons / mandat de laboratoire	66
Scléromètre	68
Mesure de l'enrobage des armatures (béton armé)	70
Essai d'absorption d'eau (béton / maçonnerie)	72
Essai d'arrachement (béton / maçonnerie)	74
Mesure de potentiel (béton armé et précontraint)	76
Mesure de résistivité électrique (béton / mortier / maçonnerie)	78
Méthode vacuum (béton précontraint)	80
Thermographie infrarouge (béton armé / maçonnerie)	82
Géoradar (béton armé / maçonnerie)	84
Ultrasons (béton armé / pieux)	86
Mesure d'épaisseur de peinture (peinture sur acier)	88
Essai de quadrillage (peinture sur acier)	90
Essai de ressuage (acier)	92
Tirants d'ancrage en rocher et terrain meuble	94
Eléments d'ouvrages en bois (porteurs)	96

Notes personnelles

Informations pour l'utilisation des fiches techniques

A part quelques exceptions, toutes les fiches techniques sont établies selon le même schéma. La recherche des informations souhaitées est ainsi simplifiée. Des commentaires sur les différentes rubriques des fiches sont donnés ci-dessous. Ces commentaires ont aussi servi de fil conducteur pour l'établissement des fiches. Les informations données n'ont pas été établies dans l'esprit de servir de mode d'emploi pour la pratique ou l'utilisation des appareils; elles doivent toutefois pouvoir aider l'ingénieur chargé de l'auscultation d'un ouvrage à trouver les bons «outils». Les fiches techniques contiennent les informations nécessaires à l'ingénieur dans son travail de coordination lorsqu'il est nécessaire de faire appel à des spécialistes.

Informations générales

La méthode est-elle normalisée?
Non destructive/destructive?
Essai sur l'ouvrage/en laboratoire?

Domaine d'application

Matériaux.
Partie d'ouvrage.
Type de construction.

Déroulement du travail (utilisation des appareils et coûts)

Equipement, appareils, équipe de mesures, exigences requises des équipes de mesures?
Nécessité de raccordement en eau, électricité?
Autres conditions telles que: intempéries, accessibilité, etc.?
Description du déroulement du travail (travaux préparatoires, emploi des appareils, évaluation, etc.) et perturbations éventuelles de l'exploitation.
Coût (ordre de grandeur).

Caractéristiques recherchées

Sur quelles caractéristiques peut-on obtenir des informations?
Les informations sont-elles directes ou indirectes?
Les informations sont-elles qualitatives ou quantitatives (précision), ponctuelles ou étendues?

Appréciation

Domaine d'utilisation?
Limites d'utilisation?
Délais nécessaires jusqu'à l'obtention des résultats?
Nécessité d'essais d'accompagnement?
Essais complémentaires pour préciser les résultats?
Rapport coût/utilité?

Principe de mesurage

Description du principe de mesure.
Quels sont les résultats des mesures, quels sont les facteurs d'influence?

Bibliographie

Principales références bibliographiques pour l'obtention de renseignements complémentaires.

Interprétation

Comment obtient-on la caractéristique recherchée à partir des résultats des mesures?
Difficulté et signification de l'interprétation.
Risques d'erreur d'interprétation.
Reproductibilité, dispersion.

Examen visuel

Principes

L'examen visuel constitue, dans la plupart des cas, la première étape d'une auscultation. Dans le cadre de l'examen visuel, le chercheur s'efforce, avec l'aide de ses sens (vue, toucher, ouïe, etc.) et de moyens auxiliaires simples, de saisir en gros l'état d'un ouvrage. Ainsi que cela a été traité dans l'exposé «Examen visuel» (♦ p. 24), celui-ci devra permettre de répondre aux questions mentionnées dans l'encadré ci-contre.

Les réponses à ces questions peuvent avoir une très grande importance pour l'ouvrage. D'une part des défauts non décelés peuvent se développer considérablement jusqu'à la prochaine inspection et, d'autre part, la décision d'exécuter d'autres recherches pour obtenir des renseignements complémentaires peut engendrer d'importantes dépenses.

Une préparation et un déroulement soigneux et attentif de l'examen visuel sont donc indispensables. Quelques points importants de ce travail sont examinés ci-après.

Préparation

L'examen visuel, comme toutes les autres étapes de l'auscultation, doit être soigneusement préparé. La préparation commence avec l'examen des documents disponibles (plans de l'ouvrage, plan d'utilisation, plan de sécurité, etc.). Sur la base des documents et d'une visite de l'ouvrage on établira un programme détaillé de l'inspection, avec la mention du personnel et du matériel nécessaires.

Accessibilité

L'accessibilité aux diverses parties de l'ouvrage doit être examinée. Pour l'examen visuel déjà, il est nécessaire de disposer des meilleures conditions de travail possibles. Une véritable appréciation n'est possible que lorsqu'on a réuni les conditions permettant d'accéder directement aux différents secteurs typiques de l'ouvrage.

Echelles, élévateurs, échafaudages, appareils divers, etc., ainsi que le personnel nécessaire pour l'emploi et le déplacement de ces engins, doivent être prévus.

Le plan de cette fiche technique ne suit pas le schéma habituel. L'examen visuel, également nommé appréciation visuelle, n'est pas une technique d'auscultation dans l'acceptation du terme de ce manuel. De nombreuses auscultations se limitent pourtant à l'examen visuel. Il prend de ce fait une signification majeure pour la surveillance et la garantie de l'aptitude au service et de la sécurité structurale des ouvrages. La fiche technique donne quelques indications de base pour cet examen.

- Pas de mesures à prendre jusqu'à la prochaine inspection?
- Auscultations complémentaires nécessaires?
- Mesures immédiates nécessaires?

Questions auxquelles l'examen visuel doit permettre de répondre



Assurer l'accès

Équipement

Une liste détaillée de l'équipement est indiquée dans l'exposé «Examen visuel» (p. 24). En fonction des ouvrages cette liste peut être complétée, mais aussi réduite. Les images ci-contre illustrent quelques-uns des équipements les plus importants pour effectuer des mesures (double-mètre, chablon à fissures, loupe graduée, etc.) et pour les documents de l'auscultation (procès-verbal, matériel d'écriture, y compris craie de marquage, appareil photographique avec flash, etc.). L'outillage permettant une première prise d'échantillons (ciseaux, massettes, etc.) ne doit pas être oublié. Sur la base des premiers éléments issus de l'examen avec ce matériel, on peut tirer des conclusions importantes pour l'organisation d'une éventuelle étape ultérieure de l'auscultation.



Relevé

Une documentation bien préparée ne facilite pas seulement l'exécution de l'auscultation, elle en améliore également la qualité. Pendant l'exécution du travail, l'équipe sur place doit se concentrer sur de nombreux détails, auxquels s'ajoutent, dans la plupart des cas, des contraintes physiques. De ce fait, et si l'on ne dispose pas de check-lists exhaustives, des détails importants risquent facilement d'être oubliés. Pour la tenue du procès-verbal il existe de nombreux formulaires. Chacun a ses avantages et ses désavantages. L'encadré ci-dessous contient, sous forme de mots clés, un exemple pour un procès-verbal sur l'état d'un ouvrage. Les appréciations seront si possible classées en fonction de leurs urgences (par exemple en «points douteux» et «réparations urgentes»). Les documents photographiques constituent une part importante de la documentation. Il faut veiller à ce que la situation de chaque prise de vue soit repérable, si possible directement à partir de l'image (par exemple avec marquage au crayon gras sur l'ouvrage, surimpression d'un écriteau, etc.).

Exemples d'équipement:
Documentation, appareils de mesure, outillage

Voies de roulement	Infrastructure	Superstructure	Superstructure
étanchéité	pilier	ACIER	PIERRE NATURELLE ET
revêtement	culée	rouille	BRIQUE
dégât dû au gel	drainage de culée	peinture	déformation
bordure	mur de soutènement	membrane	fissure
balustrade	fondation	boulon, rivet	arrivée d'eau
fixation de balustrade	tassement de fondation	soudure	dégât dû au gel
tête de console	appui fixe	joint	état du joint
joint de dilatation	appui mobile	BETON	BOIS
évacuation des eaux	conduite	fissure	état
joint de chaussée	coulisse	écaillage	pourriture
		armature rouillée	insecte
		concrétion calcaire	grosse fissure
		zone humide	ventilation

Mots clés pour un procès-verbal sur l'état existant

Endoscopie

Informations générales

L'endoscopie est un procédé d'auscultation utilisé depuis de nombreuses années en médecine. Le développement des appareils a été poursuivi pour les adapter aux exigences d'une utilisation dans le cadre de l'auscultation des ouvrages. L'application s'effectue sur l'ouvrage. Pour l'introduction de l'endoscope, une légère atteinte à l'ouvrage est souvent nécessaire (perçement d'un trou de \varnothing 10 à 30 mm).

Domaine d'application

Grâce à l'endoscopie le professionnel peut examiner des cavités qui, sans cela, seraient inaccessibles à la vue. Les renseignements sont en général obtenus au moyen de photos ou de film vidéo pris par l'endoscope. Les domaines d'utilisation sont, par exemple: contrôles de câbles de précontrainte, détermination de la constitution des planchers en bois, appuis de poutres en bois dans les maçonneries, inspections derrière les revêtements de façades, constats dans des conduites, etc.

Caractéristiques recherchées

L'endoscopie permet de visualiser l'intérieur d'une cavité. Les résultats obtenus sont des relevés photographiques ou des films vidéo.

Principe de mesurage

L'élément principal d'un endoscope est un tube rigide ou souple dans lequel est installé, à côté d'un dispositif optique particulier, un conducteur de lumière. Ce tube est introduit dans la cavité par un accès de petites dimensions (par exemple perçement de \varnothing 10 à 30 mm). La cavité est éclairée par le conducteur de lumière. L'observation est effectuée soit directement par l'œil, soit par l'intermédiaire d'un appareil photo ou d'une caméra vidéo fixée à l'endoscope. La direction d'observation peut être modifiée grâce à différents accessoires. Des endoscopes spéciaux permettent d'effectuer des mesures, ainsi que le prélèvement d'échantillons de matériaux.

L'utilisation d'un trépied support est utile pour permettre une bonne appréciation.

Interprétation

L'interprétation correcte des images acquises grâce à l'endoscopie exige une grande expérience, car les



Endoscope avec source de lumière froide



Endoscope en service (appareil avec tube souple)

images sont prises dans une perspective inhabituelle à l'œil humain. L'image reçue ne représente qu'une portion très limitée de l'ensemble examiné. Pour ces différentes raisons l'utilisation de l'endoscopie, sans entraînement particulier, présente un grand risque de fautes d'interprétation.

Un procès-verbal précis d'une auscultation avec l'endoscope est très important pour permettre l'interprétation ultérieure et l'établissement d'un rapport (bibl. 1).

Déroulement du travail

(Utilisation des appareils et coûts)

Une auscultation avec un endoscope ne peut être envisagée qu'avec un professionnel familiarisé avec la méthode. Une condition préalable importante pour une telle auscultation réside dans une bonne capacité de représentation spatiale.

Dans un premier temps il faut déterminer les points d'auscultation sur la base des documents disponibles, et préparer le cadre du procès-verbal. Le diamètre des trous d'accès doit être fixé en fonction de l'endoscope utilisé. Les observations effectuées lors de ces percements (résistance au percement, obstacles, etc.) doivent être relevées. Avant l'introduction de l'endoscope les trous doivent être nettoyés avec un aspirateur industriel. Ces canaux de visites sont refermés lorsque l'inspection est terminée.

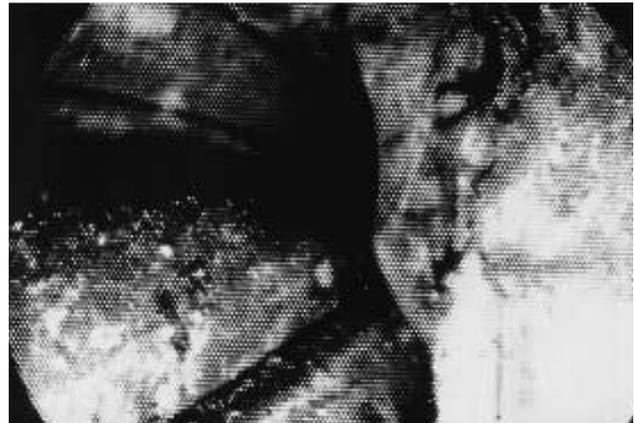
L'investissement pour un endoscope avec la source de lumière, représente environ Fr 5'000.- et plus (équipement complémentaire nécessaire, voir encadré). Par point de contrôle il faut compter environ une heure de travail (en l'absence de difficultés particulières).

Appréciation

L'endoscopie est une méthode de valeur fiable pour l'auscultation des cavités inaccessibles, avec un minimum d'atteinte à l'ouvrage. La technique exige une grande expérience et la durée de l'intervention est importante. L'avantage de la méthode apparaît surtout lorsque, sur la base de l'interprétation de l'endoscopie, on peut renoncer à ouvrir les zones à observer.

Bibliographie

1. Dzierzon M., Zull J.: Altbauten zerstörungarm untersuchen, Bauaufnahme, Holzuntersuchung, Mauerfeuchtigkeit; Rudolph Müller, Köln, 1990.



Exemple d'une vue prise par l'endoscope, câble de précontrainte libre dans sa gaine

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Endoscope avec source de lumière et accessoires divers - Equipement de forage avec différentes mèches - Aspirateur industriel - Appareil photographique avec adaptateur, éventuellement caméra vidéo avec adaptateur - Matériel annexe divers (marteau, règle graduée, jauge graduée pour mesurer la profondeur des sondages, câble, moyens d'éclairage, etc. |
|---|

Equipement pour l'auscultation par endoscopie

Prélèvement d'échantillons mandat de laboratoire

Généralités

Une condition indispensable à la préparation de mesures de maintenance est la connaissance suffisante de l'état existant de l'ouvrage. Pour acquérir les données nécessaires sur la structure, sur la résistance ainsi que sur les propriétés physiques et chimiques des matériaux, des essais de laboratoire sur des échantillons représentatifs sont nécessaires.

Nombre d'échantillons à prélever

L'emplacement, le nombre et les dimensions des échantillons à prélever dépendent des objectifs de l'auscultation. Ceux-ci doivent être fixés par l'ingénieur responsable et communiqués au laboratoire d'essais, afin que toutes les auscultations soient conçues dans le sens souhaité par le mandant.

Il est utile de discuter au préalable avec le laboratoire de l'emplacement, du nombre et des dimensions des échantillons. Pour les cas usuels on peut se référer aux données de la table ci-contre.

Emplacements des prélèvements

Le nombre des emplacements de prélèvements doit être défini de manière telle que les résultats soient représentatifs de l'ouvrage. Au minimum il faut prévoir trois emplacements de prélèvements par élément de construction (voir aussi «Préparation et interprétation des mesures» p. 32).

Description et désignation des échantillons

Pour chaque prélèvement de carottes, l'emplacement et l'orientation de la carotte doivent être relevés et notés. Ces renseignements ont une importance capitale pour toutes les recherches ultérieures. La direction du carottage sera marquée sur la carotte, immédiatement lors du prélèvement, avec une flèche ou une marque. Ces données seront enregistrées dans un procès-verbal de prélèvement (voir exemple). Le procès-verbal comportera également toutes les observations possibles à l'œil nu qui constitueront une source d'informations importante pour l'appréciation de l'état de l'ouvrage. Les observations faites peuvent également être présentées sous forme de tableau (check-list: voir encadré).

Le plan de cette fiche technique ne suit pas le schéma habituel. La présente fiche technique donne quelques indications élémentaires à respecter lors du prélèvement d'échantillons dans un ouvrage en béton et pour le mandat à confier à un laboratoire. Ces considérations sont également valables pour d'autres

Auscultation	Critères pour les prélèvements (carottes)	Echantillons	
		Carottes Ø 50 mm	Echantillons découpés
Résistance à la compression	- longueur > 60 mm - pas d'armature ou autre incorporé	x	
Essai brésilien	- longueur > 40 mm	x	
Adhérence	- Ø 50 mm ou 100 mm - long. min. 1.5 dimension maximale des agrégats	x	
Résistance à la flexion	- longueur > 3 fois le diamètre	x ou prisme	
Teneur en chlorures Teneur en sulfates	- longueur > 20 mm (par couche) normalement env. 50 mm	x	x
Porosité (A _v , A _s)	- longueur > 50 mm	x	1 morceau (> 500 g)
Résistance au gel (méthode TfB)	- longueur > 100 mm - pas d'armature selon norme - 2 échantillons <u>exceptionnellement</u> - longueur > 60 mm - pas d'armature - 2 échantillons	x	
Résistance aux sels de déverglaçage	- comme résistance au gel	x	
Lame mince analyse de la structure	- longueur > 40 mm	x	x
Diffusion de vapeur	- épaisseur de mortier de 10 à 15 mm - 2 échantillons par essai	x	
Coefficient d'absorption d'eau	- Ø 100 mm - longueur > 40 mm	x	

1. A partir d'échantillons de plus grandes dimensions il est possible, au laboratoire, d'extraire les éprouvettes aux dimensions voulues, par forage ou découpage (scie diamantée).

2. La détermination de la profondeur de carbonatation avec une méthode avec indicateur peut être exécutée sur chaque échantillon, qui reste par ailleurs disponible pour d'autres essais.

Exigences pour les échantillons

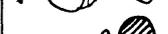
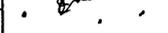
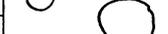
Date:	Mandat:	Partie de l'ouvrage:
Carotte:	Diamètre, longueur extraction du noyau (%), fissures	
Béton:	Granulats 0/ pores, cavités Ø, nids de gravier	
Armatures:	Acier Ø, corrosion	
Remarques particulières		

Check-list pour la désignation des échantillons

Chaque mandat doit faire l'objet d'une confirmation écrite qui comprendra notamment:

- Mandant
- Responsable (ingénieur, architecte)
- Ouvrage: description générale, âge
- Objectifs de l'auscultation
- Caractéristiques à tester (valeurs recherchées)
- Nombre de mesures isolées
- Répartition des essais par échantillons (carottes)
- Informations relatives à un éventuel échelonnement de l'auscultation (décisions intermédiaires)
- Contenu du rapport demandé:
 - Procès-verbaux des mesures
 - Commentaires des résultats en fonction du problème et de l'ouvrage
 - Rapport complet avec les mesures in situ, les résultats
 - Rapport complet avec les mesures in situ, les résultats du laboratoire et les commentaires

Mandat au laboratoire d'essais

Date du prélèvement: 22.04.1991		Commande N°		
Mandant		Objet		
Prélevé par:		12		
Geotest		PROCÈS-VERBAL DE PRÉLÈVEMENT		
Date: 19.4				
Désignation: No 3-Sud		GEOTEST		
N° labo: 893				
Carotte	<input checked="" type="checkbox"/>	Diamètre: 5.0 cm	Longueur: 15.3 cm	
Morceau	<input checked="" type="checkbox"/>	Poids: kg		
Longueur (cm)	Matériau	Descriptif	- Ech. partiel N° - Domaine	Remarques
0		Peinture grise fissurée		
1			893-1	Analyse de la structure
2		Armature		
3		Ø 8mm		
4			893-2	Résistance à la compression
5				
6		Béton 0/16 avec beaucoup de pores et de cavités		
7		Ø ~ 3 - 12mm		
8			893-3	Porosité Valeurs
9				
10				
11				Av/A5 / S
12				
13				
14				
15				
16				

Exemple d'un procès-verbal de prélèvement

Scléromètre à béton (scléromètre Schmidt)

Informations générales

- n'est pas normalisé en Suisse (DIN 1048, ASTM C 805-85, ÖNORM B 3303)
- quasiment sans atteinte à l'ouvrage (polissage de la surface)
- le scléromètre est de loin le moyen auxiliaire non destructif le plus utilisé pour déterminer sur place la résistance à la compression du béton d'un ouvrage existant

Domaine d'application

Essai de la résistance à la compression ou de l'homogénéité d'éléments de construction achevés (par exemple préfabrication) et d'ouvrages en béton ou en mortier.

Caractéristiques recherchées

Le scléromètre permet de mesurer la «dureté de rebondissement» de la surface du béton. De cette mesure on peut déduire la résistance à la compression du béton. Il faut cependant être conscient que seule la couche à proximité de la surface est testée.

Principe de mesurage

Lors de l'essai on applique un percuteur contre la surface à tester. La pression exercée sur ce percuteur libère automatiquement un marteau qui est projeté contre le percuteur par un ressort. Après la percussion, le marteau rebondit d'une certaine distance. Cette distance peut être lue sur une échelle graduée.

Interprétation

De la distance de rebondissement, grâce à des courbes d'étalonnage (qui sont livrées avec l'appareil), on peut déduire la résistance à la compression du béton ou du mortier. Les courbes d'étalonnage sont établies à l'aide de cubes d'essai, sur lesquels on exécute une mesure de la résistance à la compression en même temps que l'essai au scléromètre. Pour l'interprétation il faut tenir compte de la direction de l'essai. De nouveaux appareils permettent une évaluation électronique ainsi que l'enregistrement des mesures. L'état de surface du béton au point de mesure, ainsi que celui de la structure du béton dans la zone proche de la surface (agrégat de grandes dimensions!), influencent les résultats. Afin d'obtenir une valeur représentative il



Scléromètre, modèle simple



Scléromètre, modèle avec indicateur et interprétation électronique

faut donc exécuter plusieurs mesures dans un rayon limité. Pour l'évaluation on calcule la moyenne des valeurs mesurées, après élimination des valeurs extrêmes.

La condition préalable pour l'obtention de résultats fiables est un contrôle régulier du fonctionnement de l'appareil avec une enclume d'essai fournie par le fabricant.

Un étalonnage complémentaire, à partir de cubes d'essai fabriqués avec le même béton, est recommandé.

Déroulement du travail
(Utilisation des appareils et coûts)

Le scléromètre peut être utilisé par tous les professionnels familiarisés avec cette application.

La surface à tester est préparée avec une meule, de sorte que la structure normale du béton soit mise à jour. Pour les vieux bétons, la couche superficielle carbonatée doit être enlevée. De la valeur moyenne d'environ 10 mesures on peut déduire, grâce au diagramme d'étalonnage et en tenant compte de la direction de l'appareil, la résistance à la compression sur cubes.

Le coût pour un scléromètre complet (y compris enclume d'essai) est d'environ Fr. 1'500.- (appareil avec lecture simple) à Fr. 7'000.- (appareil avec indicateur et interprétation électroniques).

Appréciation

L'essai avec le scléromètre fournit des informations sur la qualité à proximité de la surface. Du fait de la carbonatation, des agents atmosphériques ou de défauts d'exécution, il peut exister des distorsions importantes avec la qualité à l'intérieur de l'élément de construction.

Il est recommandé de comparer les résistances obtenues par le scléromètre avec des mesures sur carottes (mesure de la résistance à la compression en laboratoire).

Le scléromètre peut être considéré comme un moyen simple pour apprécier sommairement la résistance à la compression des bétons. L'essai donne une idée assez satisfaisante de l'homogénéité de la qualité du béton d'un élément d'ouvrage.

Bibliographie

1. Gaede K., Schmidt P.: Rückprallprüfung von Beton mit dichtem Gefüge; Schriftenreihe DAfStB, Heft 158, 1964.
2. Proceq, Zürich: Documentation.



Mise en œuvre du scléromètre

Mesure de l'enrobage des armatures (béton armé)

Informations générales

- n'est pas normalisé
- non destructif, à l'exception de la détermination du diamètre des armatures ou de la vérification de l'enrobage mesuré, qui exigent le dénudement local de l'armature ou un sondage par forage
- l'essai est exécuté sur l'ouvrage
- l'enrobage des armatures peut également être déterminé avec d'autres procédés (thermographie par induction, géoradar)

Domaine d'application

Constat de la position d'éléments métalliques, en particulier des armatures d'éléments de construction en béton armé. Mesure de l'enrobage autour d'incorporés métalliques. De nouveaux appareils permettent, dans certaines conditions, de déterminer le diamètre des armatures.

Caractéristiques recherchées

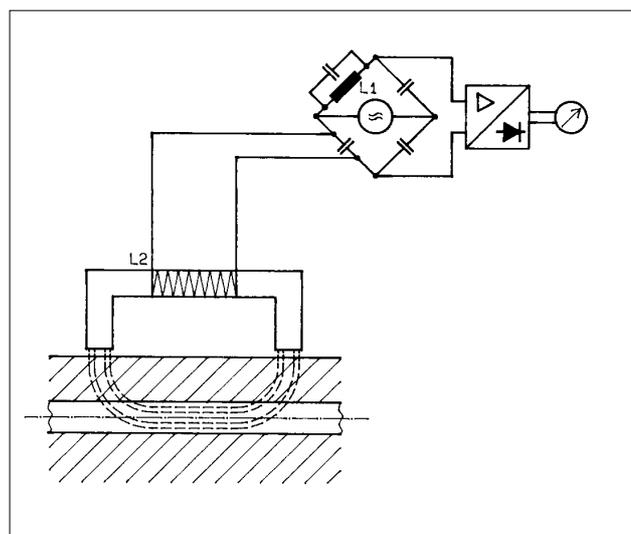
On mesure la variation d'un champ magnétique, produit artificiellement, lors du déplacement de la sonde de mesure sur la surface du béton. De ces observations on peut déduire, en premier lieu la position des armatures et en second lieu l'enrobage de ces armatures.

Principe de mesurage

L'appareil le plus utilisé en Suisse est basé sur un processus de mesure d'induction par une bobine. On produit ainsi, à partir de la sonde de mesure, un champ magnétique alternatif. Les objets métalliques ont la propriété d'influencer ce champ de mesure. L'importance de cette action est fonction de la masse de l'objet métallique (\varnothing de l'armature) et de la distance par rapport à la sonde de mesure (enrobage). La mesure est influencée en premier par l'importance des objets métalliques, donc par le diamètre et le nombre de barres d'armature. Aux points de croisement des armatures, ou lorsque celles-ci sont très serrées, le résultat n'est plus satisfaisant. La personne qui effectue la mesure exerce également une influence sur les résultats. Dans la bibliographie, réf. 1, une étude détaillée présente les différents facteurs d'influence agissant sur divers appareils.



Appareil pour la mesure de l'enrobage

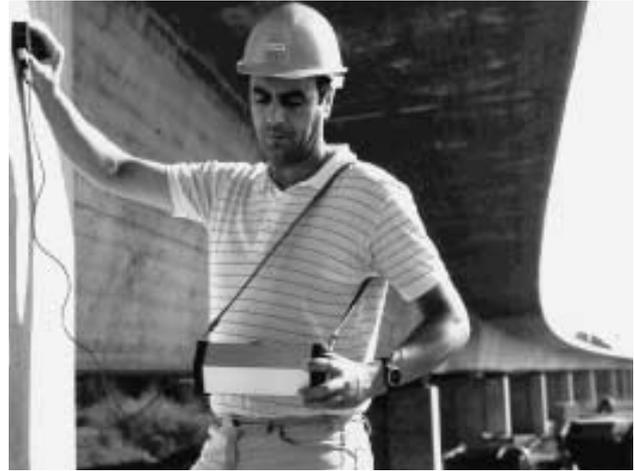


Principe de mesure avec une bobine simple

Interprétation

Avec les nouveaux appareils, le processus de mesure a été fortement simplifié. En introduisant le diamètre de la barre d'armature et en positionnant correctement la sonde, on peut lire directement l'épaisseur de l'enrobage sur l'indicateur de l'appareil. Le mode d'emploi et le procédé de mesure de l'appareil utilisé doivent être strictement respectés. L'appareil doit également être régulièrement testé et étalonné. Les variations, lors de mesures de contrôle, sont faibles.

Il est indispensable de vérifier par piquage ou forage, à des emplacements déterminés (par exemple aux points de mesures extrêmes), les épaisseurs d'enrobage mesurées avec l'appareil.



Appareillage en fonction

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

Les appareils décrits ici peuvent être utilisés par une personne correctement instruite et exercée.

Les appareils sont alimentés par une batterie. Une alimentation électrique extérieure n'est donc pas nécessaire.

Il n'y a pas de limites d'utilisation.

Le schéma du travail varie d'un appareil à l'autre. En général on commence, lors d'une première phase du travail, par relever le réseau des barres d'armature. Ensuite, dans une seconde étape, on mesure l'enrobage.

Le coût de l'équipement est de Fr. 3'000.- à Fr. 5'000.-.

Appréciation

L'appareil le plus utilisé en Suisse (Profometer) permet une mesure relativement exacte de l'enrobage lorsque le diamètre de l'armature est connu, et pour autant que le mode d'emploi soit respecté. Les résultats doivent cependant être vérifiés sur des échantillons, par piquage ou forage. Lorsque le diamètre des armatures n'est pas connu, la fiabilité est diminuée.

Bibliographie

1. Schaab A. et al.: Die zerstörungsfreie Prüfung der Betondeckung der Bewehrung, Beton- und Stahlbetonbau, 1989, S. 275–279 u. S. 324–327.
2. Proceq, Zürich: Documentation Profometer.

Essai d'absorption d'eau selon Karstens (béton / maçonnerie)

Informations générales

- n'est pas normalisé en Suisse
- non destructif
- essai exécuté sur l'ouvrage

Domaine d'application

Le procédé peut être utilisé pour déterminer l'absorption d'eau de la surface d'éléments en béton, d'enduits ou de maçonneries.

Caractéristiques recherchées

La capacité d'absorption d'eau mesurée d'une surface donne des indications sur la porosité et sur la durabilité de l'élément.

Principe de mesurage

Le principe de mesurage est basé sur la correspondance qui existe entre la quantité d'eau absorbée par une surface déterminée pendant une unité de temps donnée, et la porosité ou la capacité d'absorption d'un matériau.

Interprétation

Pour l'interprétation, le fournisseur du tube de mesure met à disposition des tables, à partir desquelles on peut déduire quelle absorption d'eau peut être tolérée sans risque de dégradations ultérieures.

Le résultat de la mesure est influencé en particulier par le mouillage éventuel de la surface avant l'essai. L'auscultation ne donne un résultat valable que très localement.

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

La méthode peut être utilisée par un professionnel exercé. Des connaissances préalables particulières ne sont pas nécessaires.

Le tube est collé sur la surface à tester et rempli d'eau. Le diamètre du tube doit être adapté à la dimension maximale des granulats utilisés pour la confection du béton. L'interprétation est effectuée à partir de l'observation de la perte d'eau par unité de



Tubes pour l'essai d'absorption d'eau selon Karstens

temps. Lors de l'essai les températures de l'eau et de l'air doivent être notées.

Des fonds trop poreux ou trop irréguliers limitent les possibilités d'utilisation de la méthode. Les tubes coûtent environ Fr. 25.– pièce. Ils peuvent être utilisés plusieurs fois.

Appréciation

Le procédé est adéquat pour mesurer la capacité d'absorption d'une couche de fond, ainsi que pour contrôler l'efficacité d'un traitement d'hydrofugation (par exemple par la mesure avant et après le traitement). Le résultat est limité à la surface. Lorsqu'il y a des fissures, leurs dimensions peuvent être évaluées en fonction de la quantité d'eau absorbée.

Il s'agit d'un procédé économique, mais de précision limitée.

Bibliographie

1. Karstens R.: Bauchemie für Studium und Praxis; Lüdecke Verlagsgesellschaft, 7. Auflage, 1983.

Essai d'arrachement (béton / maçonnerie)

Informations générales

- n'est pas normalisé en Suisse
- le procédé entraîne une dégradation de la surface

Domaine d'application

Le procédé permet de tirer des conclusions sur la résistance à la traction du matériau testé (béton, mortier), ou sur l'adhérence de couches rapportées.

Caractéristiques recherchées

Le procédé détermine la force nécessaire pour l'arrachement d'une plaque d'essai collée sur la surface. De cette force d'arrachement on peut déduire la résistance à la traction ou la force d'adhérence.

Principe de mesurage

Le principe de mesurage est extrêmement simple. Une plaque d'acier collée sur la surface à tester est tirée perpendiculairement à la surface par l'appareil d'essai. La zone à tester est isolée de la surface par l'amorce d'un carottage. La force d'arrachement est mesurée.

Il est important que l'axe de la plaque d'essai soit bien perpendiculaire à la surface et que la plaque soit bien tirée dans la direction de son axe. Le carottage qui délimite la surface à tester doit être exécuté avec un appareil bien fixé afin de ne pas endommager la surface qui doit être testée.

Lorsque la surface à tester est revêtue, il faut s'assurer que la colle utilisée pour fixer la plaque d'essai est compatible avec le revêtement. Dans le cas contraire les résultats seraient faussés. De nouvelles recherches (bibl. 2) montrent que les résultats dépendent de l'humidité du béton.

Interprétation

De la force d'arrachement mesurée on peut, par un calcul simple, trouver la contrainte de traction à l'arrachement. A part la force d'arrachement il est également important, pour l'interprétation, de relever l'emplacement de la section de rupture et l'aspect de cette surface (rupture entre les couches, ruptures d'agréats, rupture de la matrice d'enrobage, etc.).

Le résultat de la mesure est ainsi disponible sans autre interprétation.



Appareillage pour l'essai d'arrachement

La dispersion des résultats d'essais d'arrachement à différents endroits de l'ouvrage est relativement grande, car la résistance à la traction d'un béton ou d'un mortier peut varier considérablement. Des mesures isolées n'ont qu'une valeur très limitée.

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

L'essai doit être conduit très soigneusement, car les conditions d'exécution peuvent avoir une très grande influence sur les résultats. De ce fait, l'utilisateur de l'appareil doit en avoir l'expérience. Avant de coller la plaque d'essai, la surface à tester doit être nettoyée et délimitée par une amorce de carottage (profondeur environ 30 mm). La plaque d'essai, d'épaisseur suffisante (hauteur > moitié du diamètre du carottage), est collée sur la surface. Avec un dispositif adéquat, après durcissement de la colle, la plaque est tirée perpendiculairement à la surface et on mesure la force nécessaire à l'arrachement.

L'équipement nécessaire pour l'essai d'arrachement coûte de Fr. 5'000.- à Fr. 7'000.- (sans l'installation de carottage). Pour l'exécution d'un essai, y compris la préparation, il faut compter environ 0.5 h (sans la durée du durcissement de la colle).



Essai d'arrachement in situ

Appréciation

L'essai d'arrachement est généralement reconnu comme valable pour mesurer l'adhérence entre différentes couches (également pour des revêtements). Des valeurs isolées n'ont qu'une signification limitée. L'exécution soignée de l'essai est une condition préalable à l'obtention de résultats représentatifs.

Le coût pour l'exécution de l'essai sur place est fréquemment aussi élevé que celui du prélèvement de carottes avec mesure en laboratoire de la résistance à la traction. Le résultat de l'essai d'arrachement a cependant l'avantage d'être immédiatement disponible.

Sur des surfaces irrégulières et par temps froid, l'exécution de cet essai est rendue plus difficile. L'emplacement de la section de rupture et l'aspect de la surface de rupture doivent être relevés en complément de la force d'arrachement.

Bibliographie

1. Proceq, Zürich: Documentation.
2. Heidrich G. et al.: Einflüsse auf die Ergebnisse von Haftzugprüfungen; Bautenschutz + Bausanierung 13 (1990), S. 31-33.

Mesure de potentiel (béton armé et précontraint)

Informations générales

- n'est pas normalisé
- non destructif (les raccords aux armatures et les éventuelles fenêtres de contrôle pour l'étalonnage de l'interprétation provoquent des atteintes locales à l'ouvrage)
- essai exécuté sur l'ouvrage
- possibilité de contrôle couvrant une surface entière

Domaine d'application

Le procédé est utilisé dans le cadre de la surveillance, de la planification, de l'entretien et du contrôle de la qualité d'ouvrages en béton (par exemple: ponts, murs de soutènement, tunnels, immeubles, etc.). Il existe deux procédés, la mesure ponctuelle et la mesure du champ de potentiel.

Le procédé bien connu de mesures ponctuelles, qui n'entraîne qu'une dépense limitée pour les mesures, fournit des renseignements localisés sur les zones corrodées. Par contre il ne permet généralement pas d'obtenir une représentation du champ de potentiel.

La mesure du champ de potentiel, à partir d'un quadrillage de mesure à petites mailles, permet la mesure du champ de potentiel et sa représentation.

Caractéristiques recherchées

Pour la mesure du potentiel, on mesure le potentiel électrochimique de corrosion à la surface du béton. Les aciers corrodés se distinguent de ceux qui sont intacts, enrobés dans un béton alcalin et exempt de chlorures, par une différence de potentiel négative de plusieurs 100 mV. Par la détection des différences de potentiel à la surface du béton, on peut déceler les zones où les armatures sont corrodées.

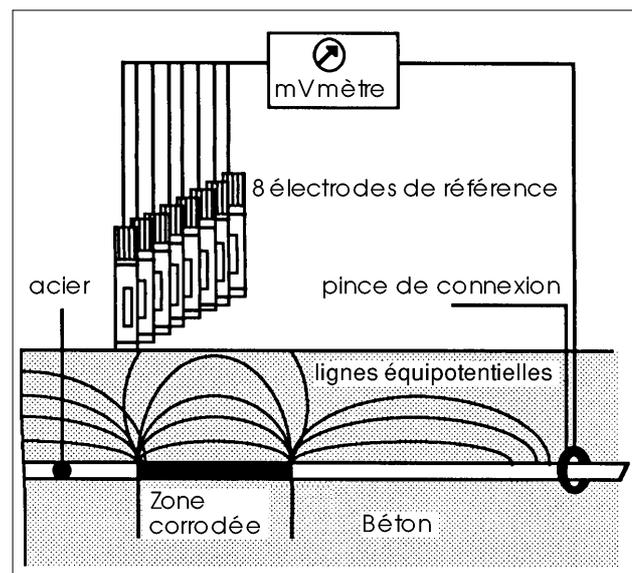
Les résultats bruts des mesures doivent être interprétés. Cela exige la compétence d'un professionnel.

Principe de mesurage

Une électrode de référence, avec un potentiel connu et constant, est mise en contact sur les points à mesurer par l'intermédiaire d'une éponge humide. Elle est par ailleurs reliée à l'armature par un voltmètre de valeur ohmique élevée. Le pôle à basse composante ohmique est relié à l'armature dégagee et dé-



Appareillage pour la mesure de potentiel



Principe de la mesure de potentiel

nudée. Les mesures, très nombreuses, sont traitées avec un programme d'ordinateur et présentées sous forme graphique.

Interprétation

Différents facteurs peuvent influencer le potentiel dans le béton (par exemple: enrobage des armatures, teneur en eau du béton, fissures, etc.). De ce fait il n'y a pas de valeurs de référence précises. Une comparaison relative des potentiels mesurés sur une surface, en tenant compte des facteurs d'influence, peut être considérée comme étant l'indicateur le plus utile sur les zones corrodées. L'ouverture de fenêtres de contrôles, en parallèle aux mesures de potentiel, permet un étalonnage et l'interprétation des mesures.

L'interprétation, effectuée par des spécialistes, fournit des renseignements sur la zone mesurée. Ces renseignements sont surtout qualitatifs, mais aussi en partie quantitatifs:

- position et importance des zones corrodées;
- état de corrosion des armatures;
- présence de chlorures dans le béton.

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

L'exécution des mesures et leur interprétation ne peuvent être réalisées que par un spécialiste expérimenté. Les surfaces à mesurer doivent être accessibles, que ce soit directement ou avec un élévateur, ou un échafaudage mobile, ou encore pour les ponts, avec un équipement mobile pour accéder par dessous.

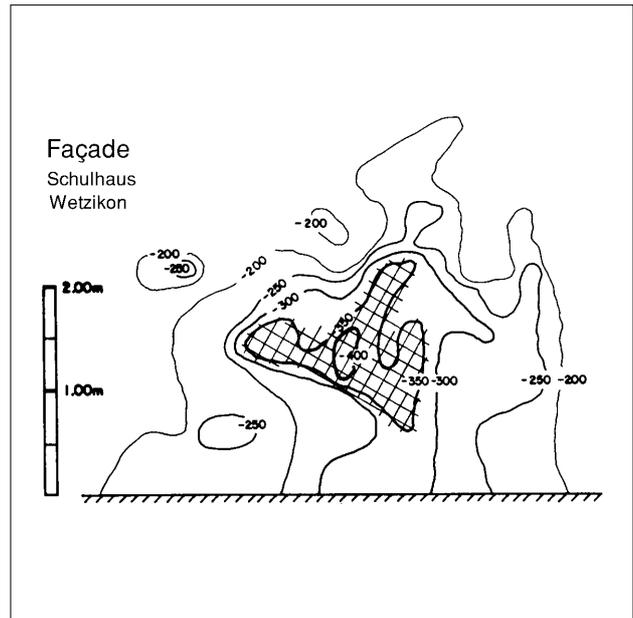
Des couches isolantes à l'électricité (revêtements, étanchéités, etc.), ou un film d'eau sur la surface, gênent ou empêchent la mesure.

L'interprétation des résultats des mesures, sauf dans le cas de mesures très nombreuses, peut être faite directement sur place.

Pour la mesure et l'interprétation, il faut compter avec un coût de Fr. 10.- à 30.- le m², ce coût est fonction de l'accessibilité, de la géométrie de la surface ainsi que du type de mesure.

Appréciation

La mesure de potentiel est bien appropriée pour détecter rapidement, de manière non destructive, les armatures corrodées. Elle s'applique pour le relevé en temps opportun des défauts, pour l'appréciation de l'importance de ces défauts (mesure ponctuelle) et pour la localisation exacte des zones corrodées



Extrait de la représentation graphique d'un champ de potentiel

(mesure du champ de potentiel). Il est aussi possible d'obtenir des données relatives à la présence de chlorures (épaisseur du béton à démolir).

Les résultats de mesures ponctuelles sont aussi utiles pour la détermination des emplacements de carottages et d'ouverture de fenêtres d'observation. Les mesures ponctuelles doivent être exécutées en fonction de l'examen visuel.

Bibliographie

1. Elsener B., Böhni H.: Elektrochemische Untersuchung der Korrosion von Armierungsstahl im Beton; Schweizer Ingenieur und Architekt Heft 14, 1984, S. 264-269.
2. Elsener B., Böhni H.: Lokalisierung von Korrosion im Stahlbeton; Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 19, 1987, S. 528-533.
3. Hunkeler F.: Die Potentialmessung als Mittel der Bauwerksinspektion am Beispiel von Brückenplatten; Schweizer Ingenieur und Architekt Heft 12, 1991, S. 272-278.

Mesure de résistivité électrique (béton / mortier / maçonnerie)

Informations générales

- n'est pas normalisé
- non destructif
- le procédé présenté utilise un appareillage de mesure qui par bien des aspects importants est encore en cours de développement

Domaine d'application

Mesure de la résistivité électrique du béton, à la surface d'éléments de construction ou d'ouvrages en béton, mortier ou maçonnerie.

Caractéristiques recherchées

Résistivité ou conductivité électrique des bétons, mortiers ou maçonneries, comme caractéristique représentative de l'humidité (porosité) ou du risque de corrosion pour les armatures.

Principe de mesurage

Pour l'essai on mesure la chute de tension entre deux électrodes (B,C) dans un champ électrique (A,D). En fonction de la distance entre les électrodes on calcule la résistivité spécifique.

La mesure serait faussée par la présence d'une barre d'armature épaisse située à proximité de la surface. Cette influence peut être évitée en tournant l'appareil de 90°.

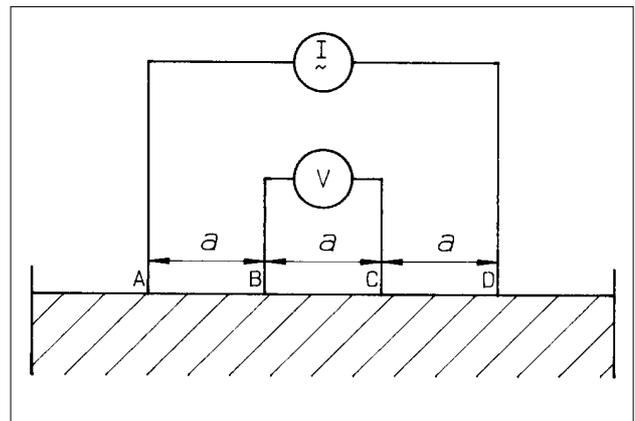
Interprétation

A l'aide de plusieurs mesures sur le même élément de construction, on peut déterminer qualitativement les zones où l'humidité est la plus élevée (= plus grand risque de corrosion). Le résultat absolu des mesures reflète l'humidité, la porosité (facteur E/C, âge du béton, etc.) et la teneur en ions, ainsi que toute une série de facteurs qui agissent tous dans le sens d'un risque aggravé de corrosion pour l'armature. Le résultat des mesures est directement lisible sur l'appareil, ce qui permet d'effectuer l'essai très rapidement.

La dispersion des résultats, en cas de répétition des mesures, est de l'ordre de 20 à 30%. Les différences de conductibilité des diverses qualités de béton augmentent cependant cet ordre de grandeur! Le danger d'une fausse interprétation existe lorsqu'on est en présence d'une couche de revêtement non décelée ou lorsque les couches proches de la surface sont lamellées.



Equipement pour la mesure de la résistivité électrique



Principe de mesure

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

L'appareil de mesure peut être exploité par un professionnel formé à son utilisation. L'interprétation des résultats exige de l'expérience ainsi qu'une bonne compréhension des différents facteurs qui influent sur la conductibilité du béton.

L'énergie nécessaire est fournie par une batterie. Pour la mesure, les quatre électrodes sont pressées contre la surface du béton. Les résultats sont relevés et peuvent être repris ultérieurement à l'aide de l'ordinateur.

Lors de l'essai la surface doit être exempte de flaque d'eau. Il n'y a pas de restriction pour l'application de cette méthode.

Le coût de l'équipement complet présenté est de l'ordre de Fr. 11'000.-.

Appréciation

La méthode de mesure représente un complément intéressant à la mesure de potentiel par électrode unique. Elle peut aussi être utilisée dans d'autres domaines particuliers.

Les résultats sont immédiatement disponibles (lorsque le recouvrement est homogène). D'autres essais simultanés ne sont pas nécessaires pour permettre une meilleure interprétation, mais ils peuvent être souhaitables (essais sur carottes). Compte tenu des informations acquises, la dépense est faible.

Bibliographie

1. Elsener B.: Elektrische Leitfähigkeit und Ionenmigration im Beton; SIA-Dokumentation D 065, Elektrochemische Schutzverfahren für Stahlbetonbauwerke, 1990.
2. Millard et al.: Assessing the electrical resistivity of concrete structures for corrosion durability studies, Corrosion of Reinforcement in Concrete, Publ. Elsevier Applied Science, 1990, p. 303-313.
3. Colebrand: Resistivity Logger; Documentation, APRO International SA, Rolle.



Appareillage en fonction

Méthode vacuum (béton précontraint)

Informations générales

L'appareil pour cette technique d'auscultation est d'abord employé comme appareillage accessoire lors de l'injection des gaines des câbles de précontrainte. Il peut cependant également être utilisé pour vérifier le remplissage des gaines de précontrainte et pour déterminer l'importance de cavités. La communication avec la gaine est réalisée par forage.

Domaine d'application

Avant tout pour déterminer la présence de cavités dans les gaines de câbles de précontrainte.

Caractéristiques recherchées

Détermination de l'importance des cavités dans les gaines de précontrainte. Cette information est nécessaire pour la préparation de la quantité adéquate de mortier d'injection.

Principe de mesurage / Interprétation

L'appareil mesure la quantité d'air aspirée dans la cavité et détermine ainsi sa grandeur (en litres).

La condition pour l'engagement de cet appareil est que la cavité soit fermée et étanche.

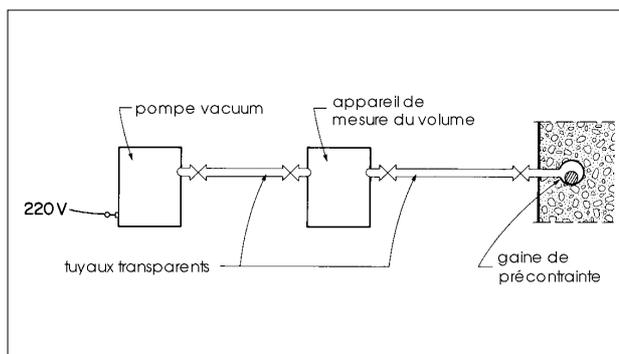
Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

Pour l'application du procédé par vacuum, il faut un appareillage spécial dont ne disposent que quelques entreprises spécialisées (techniques d'injection).

Pour le forage jusqu'à la gaine de précontrainte, on utilise une carotteuse avec arrêt automatique (la machine s'arrête automatiquement lorsque la couronne vient en contact avec du métal). Après percement de la gaine, un examen est effectué avec l'endoscope. Si une cavité est décelée on fixe un tuyau d'injection. L'appareil vacuum peut alors y être fixé, avec la pompe à vide. L'appareil de mesure du volume est placé entre la cavité et la pompe vacuum. Il mesure le volume d'air aspiré dans la cavité.



Pompe vacuum avec appareillage pour la mesure du volume aspiré



Principe de la méthode vacuum pour la mesure des cavités

Appréciation

L'appareil est adéquat pour déterminer le volume de cavités fermées et étanches. Le volume de la cavité peut être lu directement sur l'appareil. Le volume (connu) du tuyau de liaison entre la gaine et l'appareil de mesure doit être déduit. Des études très complètes (voir bibl. 3) ont été exécutées sur la précision du procédé. La précision est relativement mauvaise pour les petites cavités (écart d'environ 50% pour une cavité de 1 litre). Elle est bien meilleure pour les cavités plus importantes (environ 10% pour une cavité de 10 litres). Les recherches ont été effectuées par comparaison avec les quantités de mortier utilisées pour l'injection subséquente.

Bibliographie

1. Lange H.: Das Vakuumverfahren, eine neue Methode zum Injizieren von Spanngliedern; VII.FIP-Kongress, New York, 1974.
2. Kordina K., Osterroth H.H.: Zum nachträglichen Verpressen schwer zugänglicher Spannglieder; Bauingenieur 62 (1987), S. 159-164.
3. Jungwirth D. et al.: Dauerhafte Betonbauwerke (S. 51f); Beton-Verlag, Düsseldorf, 1986.
4. VSL-Betonexpert, Wallisellen/Bern: Dokumentation.

Thermographie infrarouge (béton armé / maçonnerie)

Informations générales

- n'est pas normalisé
- non destructif (le prélèvement de carottes, pour la vérification de l'interprétation, provoque un dommage local à l'ouvrage)
- essai exécuté sur l'ouvrage
- essai nécessitant peu de temps
- perturbations limitées du trafic lors de contrôles d'ouvrages du réseau routier
- la thermographie infrarouge est appliquée depuis longtemps pour le contrôle de l'isolation thermique des bâtiments. Son application a été étendue à la recherche des défauts des réseaux électriques et dans la construction des machines.

Domaine d'application

- Recherches en grandes surfaces sur des éléments de béton, béton armé, maçonnerie, etc., (par exemple: revêtements de tunnels, tabliers de ponts, etc.).
- L'accessibilité n'est nécessaire que sur une face de l'élément de construction.

Caractéristiques recherchées

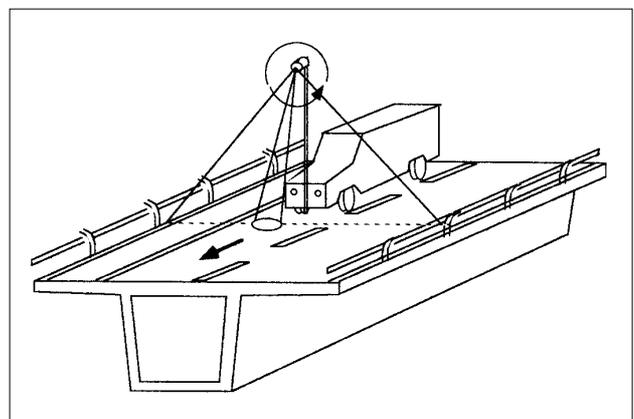
- Répartition des températures à la surface d'un élément de construction (informations sur les surfaces).
- Informations, à partir de la répartition des températures, sur l'humidité et sur la présence de défauts (par exemple de cavités) dans le matériau.

Principe de mesurage

La thermographie infrarouge est un procédé d'investigation optique dans le domaine du rayonnement thermique invisible à l'œil humain, c'est-à-dire dans le rayonnement infrarouge (longueur d'ondes de $0.75 \mu\text{m}$ à $800 \mu\text{m}$). Le relevé est effectué avec une caméra spéciale ou avec un scanner. Le relevé au scanner permet de préparer et de traiter automatiquement les dessins. Le résultat de l'auscultation est une image de la répartition des températures à la surface de l'ouvrage. La température de la surface étant variable avec la conductibilité thermique du matériau, et celle-ci étant en particulier fortement influencée par la teneur en eau, on peut en tirer différentes déductions. L'existence d'une différence de température entre l'ouvrage et l'air ambiant est une condition préalable indispensable. Les résultats peuvent être influencés par des revê-



Véhicule de mesure en cours d'enregistrement sur un pont



Principe de l'auscultation d'une chaussée de pont par thermographie infrarouge

tements de surface et par des perturbations thermiques (par exemple dégagement de chaleur de moteurs et de véhicules!).

Interprétation

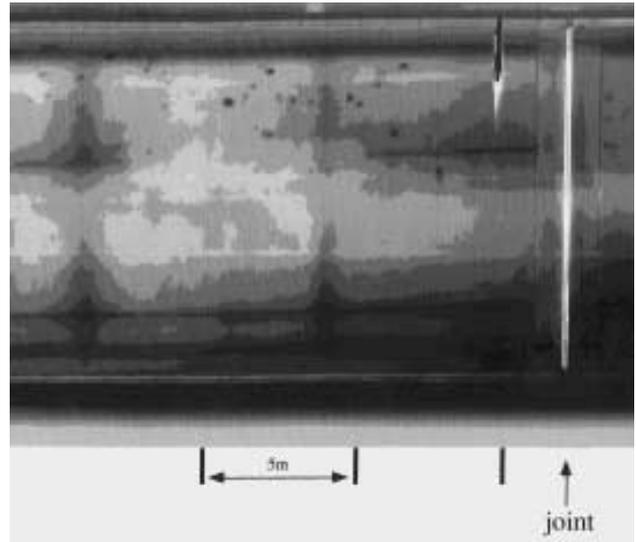
L'interprétation de la répartition des températures superficielles permet de tirer des conclusions sur l'humidité et sur d'éventuels défauts à proximité de la surface. L'interprétation exige de l'expérience de la part du spécialiste. Un «étalonnage», à partir de carottes prélevées en parallèle, augmente la fiabilité de l'interprétation. Lorsque le procédé est appliqué avec soin, la reproductibilité des contrôles est relativement bonne. L'interprétation des résultats est la principale source de difficultés du procédé. Un relevé synchronisé avec un scanner optique facilite l'interprétation.

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

- L'exécution de l'auscultation n'est possible que par un spécialiste expérimenté et avec un équipement adéquat.
- Les surfaces à mesurer doivent être accessibles sur une face. Des recherches sur de grandes surfaces sont en général effectuées avec un scanner monté sur un véhicule (voir illustration).
- Dans la plupart des cas les mesures sont effectuées de nuit (afin de supprimer l'influence du rayonnement solaire).
- L'essai est rapide, les contrôles sur des ouvrages routiers ne perturbent que faiblement la circulation.
- Coût: environ Fr. 8.- à 20.- le m².

Appréciation

La thermographie infrarouge est actuellement considérée comme étant d'intérêt pratique limité. Elle est toutefois adéquate, dans certains cas, pour un premier examen de grandes surfaces. Elle est appropriée pour suivre l'évolution de l'état d'un ouvrage (par comparaison de relevés successifs). Pour atteindre une utilisation maximale, des développements de la méthode sont encore nécessaires (amélioration de la précision des mesures, élimination des influences perturbant les mesures, etc.).



Résultat d'un enregistrement au scanner infrarouge sur un tablier de pont

Bibliographie

1. Bosset de C.: Méthodes combinées pour l'auscultation des ouvrages; Mitteilungen Nr. 118 der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, Zürich, 1988.
2. Boscomer Services SA, Neuchâtel: Le scanner optique, principes et application; Documentation.
3. Amberg R.: Thermographische Aufnahmeverfahren zur Erkennung des Zustandes von Tunnelauskleidungen; Symposium «Sanierung von Tunnelbauwerken», 3.1987, TU München, Sonderheft der Zeitschrift Tunnel, März 1987, S. 14ff.
4. Köppel D.: Infrarot-Messtechnik und Bauthermographie; Bauingenieur 62 (1987), S. 67ff.

Géoradar (béton armé / maçonnerie)

Informations générales

- n'est pas normalisé
- non destructif (le prélèvement de carottes, pour la vérification de l'interprétation, provoque une atteinte locale à l'ouvrage)
- essai exécuté sur l'ouvrage
- essai rapide
- perturbations limitées du trafic lors de contrôles d'ouvrages du réseau routier
- le géoradar est utilisé depuis longtemps en géophysique pour la reconnaissance des couches proches de la surface (entre autres pour la localisation de conduites). Depuis quelques années de gros efforts sont déployés pour développer ses possibilités d'application dans le secteur de la construction.

Domaine d'application

Des applications sont possibles pour des éléments de construction de grande surface, en béton, béton armé et maçonnerie (briques, pierres naturelles), comme par exemple: tabliers de ponts, revêtements de tunnels, murs de soutènement, routes en béton, etc. L'accès n'est nécessaire que sur une face de l'élément de construction.

Caractéristiques recherchées

La recherche livre une image de l'impulsion électromagnétique réfléchie à la limite de différentes couches. Les couches se différencient en fonction de leurs caractéristiques diélectriques. L'interprétation des mesures permet des déductions sur les inhomogénéités dans le matériau (cavités, présence d'incorporés métalliques, conduites, couches limites, etc.). Les mesures s'effectuent selon une ligne; on obtient des résultats sous forme de profils.

Principe de mesurage

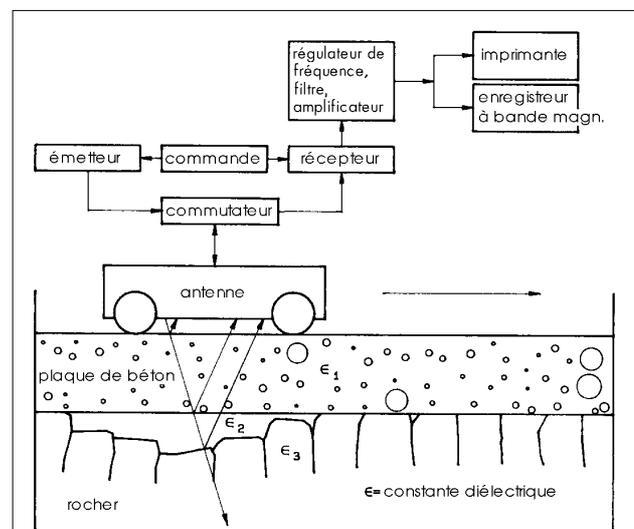
Un émetteur génère une courte impulsion électromagnétique, dans une direction déterminée, à travers le matériau à examiner. Le récepteur transmet les impulsions réfléchies, pour les stocker sur une bande magnétique. La fréquence utilisée (100 à 1000 MHz) est fixée en fonction de la résolution souhaitée et de la profondeur à pénétrer.



Appareil géoradar



Géoradar en fonction



Principe de mesure du géoradar

Interprétation

L'interprétation des résultats s'effectue en deux étapes. Dans une première étape les échos captés sont traités à l'aide de programmes d'ordinateurs. Ce n'est que dans une deuxième étape que l'interprétation est effectuée par des spécialistes expérimentés. L'«étalonnage», avec des carottes prélevées dans l'ouvrage, effectué en parallèle avec l'examen au géoradar, est très utile à l'interprétation. L'auscultation permet de tirer des conclusions sur d'éventuels défauts (cavités, grosses fissures, variations d'épaisseur), sur des différences d'humidité (zones humides), ainsi que sur la présence d'incorporés métalliques (par exemple position et emplacement d'armatures).

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

- L'exécution de l'auscultation et l'interprétation ne sont possibles que par des spécialistes dûment formés et équipés.
- Les surfaces à contrôler doivent être accessibles. L'instrument de mesure (antenne avec liaison par câble à l'enregistreur) peut être monté sur un camion à nacelle.
- L'auscultation proprement dite ne demande que peu de temps. Pour les ouvrages routiers les entraves à la circulation sont réduites.
- Des revêtements métalliques empêchent l'auscultation. Des surfaces humides rendent l'auscultation plus difficile.
- Coût: il faut compter avec plus de Fr. 5'000.- par campagne (Fr. 6.- à 30.- le m² en fonction de la densité souhaitée des profils de mesure et du nombre des paramètres d'interprétation).

Appréciation

La méthode du géoradar n'est pas encore suffisamment au point pour des contrôles de routine des ouvrages. Lorsque la méthode sera au point elle pourra être appliquée en combinaison avec d'autres méthodes (par exemple thermographie infrarouge) pour des recherches préliminaires sur de grandes surfaces (par exemple tabliers de ponts, revêtements de tunnels, etc.). Une amélioration de la fiabilité de l'interprétation, ainsi qu'une diminution du temps nécessaire pour cette interprétation, sont les améliorations indispensables qui doivent être réalisées. Les techniques modernes d'analyse électronique des images joueront un rôle primordial dans ces développements.

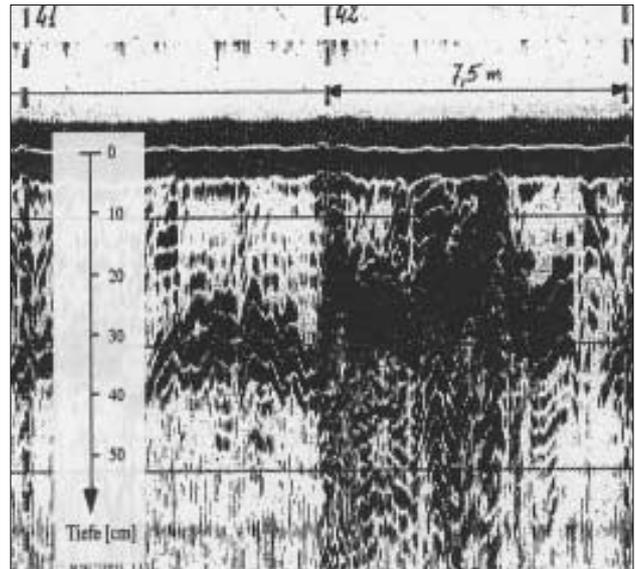


Image géoradar d'une paroi de tunnel

Bibliographie

1. Bosset de C.: Méthodes combinées pour l'auscultation des ouvrages; Mitteilungen Nr. 118 der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, Zürich, 1988.
2. Boscomer Services SA, Neuchâtel: Géoradar, Principe et application, Documentation, 1987.
3. Persoons J.E., Grangier M.: Der Georadar, Spitzentechnik für Boden- und Materialuntersuchungen; Bau, Heft 3, 1991.

Ultrasons (béton armé / pieux)

Informations générales

- n'est pas normalisé
- non destructif (à l'exception du prélèvement de carottes pour l'étalonnage, ou de forages pour l'introduction de l'émetteur ou du récepteur)
- essai exécuté sur l'ouvrage
- le contrôle des matériaux avec les ultrasons est appliqué avec succès, depuis plusieurs années, dans le domaine des citernes, des conduites, des constructions en acier et dans celui de la construction de machines (contrôles des soudures, contrôles de pièces laminées, forgées ou coulées en métal ou en matière plastique). Pour la construction en bois les ultrasons sont utilisés pour le classement selon leur qualité.

Domaine d'application

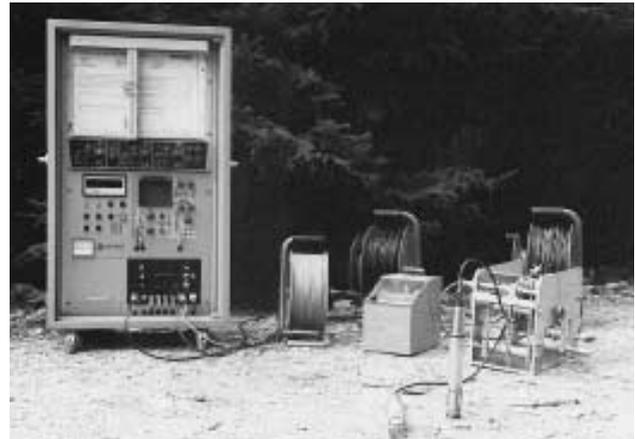
- Contrôles de pieux coulés en place et de parois moulées. Les tubes de contrôle doivent être incorporés lors du bétonnage.
- Examen d'éléments en béton accessibles sur deux faces.

Caractéristiques recherchées

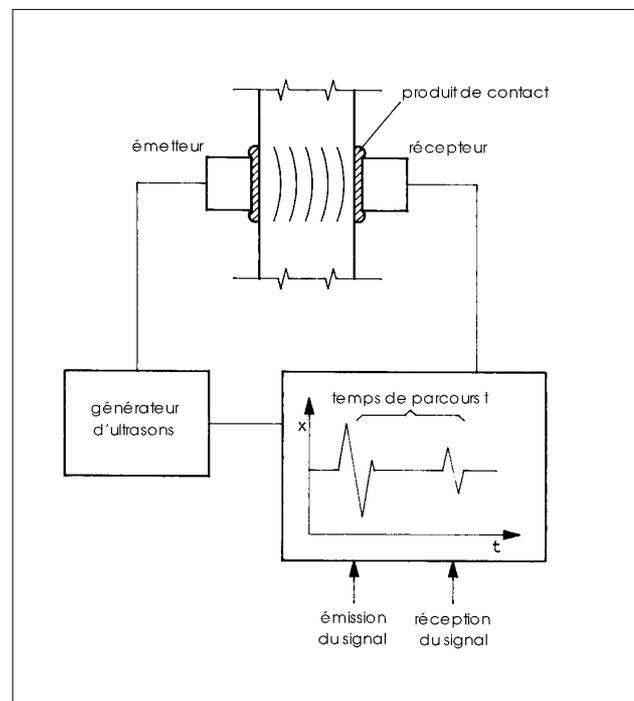
Du temps de parcours de l'onde, ainsi que des variations du signal (amortissement de l'amplitude) entre l'émetteur et le récepteur, on peut tirer des informations sur la présence de cavités et, dans une certaine mesure, sur le module d'élasticité et la résistance (étalonnage nécessaire).

Principe de mesurage

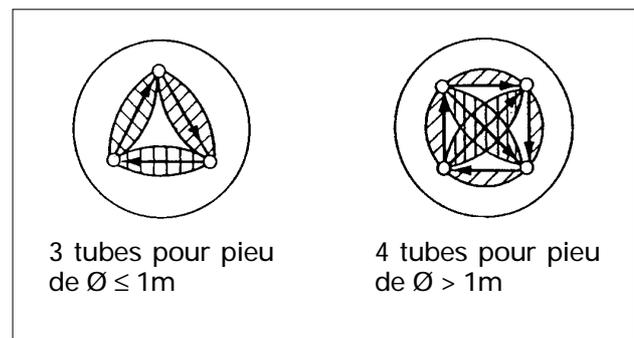
C'est pour le contrôle du béton, matériau inhomogène, que la mesure de la vitesse du son est au premier plan. L'émetteur et le récepteur sont placés en opposition sur les deux faces de l'élément de construction à contrôler. Le contact parfait des sondes avec la surface de l'élément est assuré par un produit spécial (par exemple avec de la vaseline). La qualité de ce contact joue un très grand rôle sur la fiabilité des résultats. La fréquence utilisée varie avec le matériau et avec l'objectif de l'auscultation (pour le béton elle est souvent de 40 à 60 kHz, avec une longueur d'onde de 65 à 100 mm). Pour le contrôle des pieux, l'émetteur et le récepteur sont introduits dans des gaines parallèles incorporées dans le pieu et remplies d'eau (\varnothing 1.5 à 2").



Équipement «Ultrasons» pour le contrôle des pieux



Principe des mesures aux ultrasons



Disposition des mesures pour le contrôle des pieux

Interprétation

Des informations sur l'inhomogénéité ou sur des défauts du béton peuvent être tirées du temps de parcours de l'onde ou de l'amortissement d'amplitude le long de la ligne de mesure. L'interprétation est essentiellement qualitative. Les informations qu'il est possible d'obtenir sont limitées par la longueur d'onde, en effet, des défauts dont la dimension est inférieure à la longueur d'onde ne peuvent que difficilement être détectés. Dans les zones avec une forte concentration d'armatures, l'interprétation est quasiment impossible.

Les mesures sont relativement bien reproductibles. Pour éviter des erreurs, il est recommandé de dédoubler les mesures. Des incertitudes peuvent subsister dans l'interprétation.

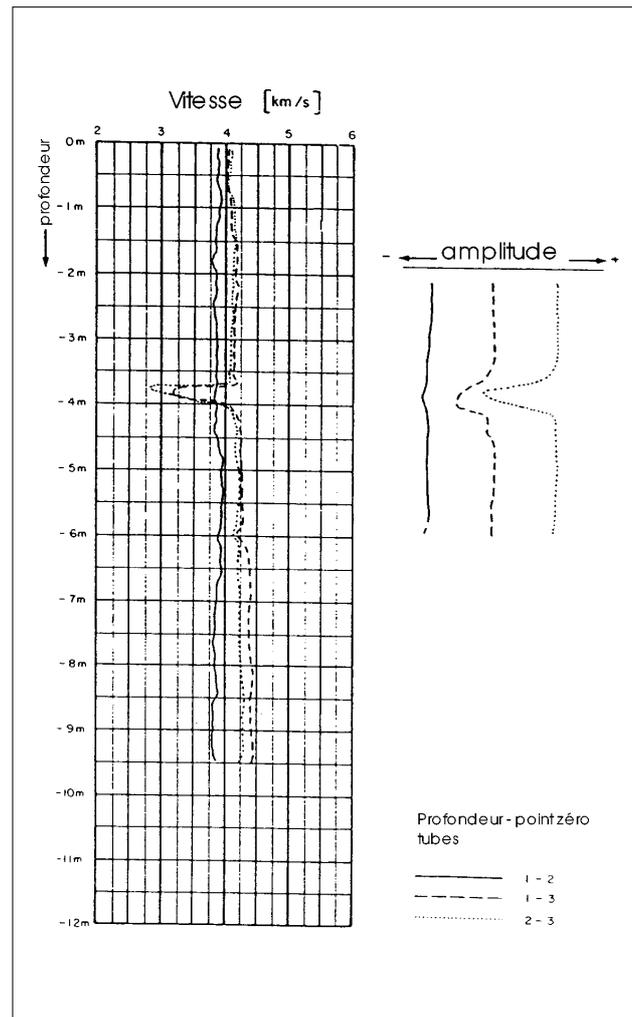
Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

- Les mesures et leur interprétation ne peuvent être exécutées que par des spécialistes. Un équipement spécial (portable) est nécessaire.
- Coût: pour une opération de mesure (pieux) le prix de base est de Fr. 1'000.- à 2'000.-, auquel il faut ajouter le prix des mesures, soit Fr. 15.- à 25.- par mètre de pieu. Le prix de la gaine de mesure est de Fr. 20.- à 30.- par mètre de tuyau.

Appréciation

Pour le contrôle des pieux coulés en place (domaine des fondations sur pieux), la méthode de contrôle par ultrasons peut être considérée comme adéquate, même si certaines questions subsistent. Cette méthode de contrôle ne donne des informations que sur le noyau de béton situé entre les tubes de mesure (pas de renseignement sur le recouvrement des armatures). Une première interprétation des résultats des mesures peut être effectuée immédiatement.

Pour l'essai d'autres ouvrages en béton, la méthode n'a qu'un intérêt très limité. Elle ne sera prévue que pour des cas particuliers et devra être mise en œuvre par des spécialistes. Pour le contrôle de la qualité du béton, elle peut être envisagée en combinaison avec le scléromètre.



Résultats des mesures d'un contrôle de pieu

Bibliographie

1. SGBFM: Kapp H.: Zerstörungsfreie Pfahlprüfmethoden; Möglichkeiten und praktische Erfahrungen; Fierz H.: Zerstörungsfreie Prüfung von Betonpfählen; Mitteilungen Nr. 99 der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, Zürich, 1978.
2. Hürzeler H., Wullimann R.: Pfahlprüfung mit Ultraschall; Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 19, 1990, S. 508ff. (Diskussionsbeiträge zu diesem Artikel im Heft 38, 1990, S. 1067ff (Steiger A.), Heft 43, 1990, S. 1249ff (Scheller E.) sowie Heft 6, 1991, S. 125ff (Andres F.).
3. Teodoru G.: Zerstörungsfreie Betonprüfungen: insbesondere Anwendung von Ultraschall, kritische Betrachtungen; Beton-Verlag, Düsseldorf, 1989.
4. Geotest AG, Zollikofen: Pfahlkontrolle mit Ultraschall, Firmendokumentation.
5. Bruneau C.: Qualitätskontrolle von Pfählen; Bau, Heft 8, 1990.

Mesure d'épaisseur de peinture (peinture sur acier)

Informations générales

- procédé normalisé dans la norme DIN 50981 (DIN/ISO 2808)
- non destructif
- essai exécuté sur l'ouvrage ou en atelier
- les CFF appliquent des prescriptions complémentaires (voir bibl. 3)

Domaine d'application

Contrôles de l'épaisseur des peintures neuves, sur l'ouvrage ou sur des éléments de construction en atelier. Ils peuvent se faire par étapes (contrôles de la couche de fond en atelier et de la couche totale sur le chantier). Contrôles d'anciennes peintures (valeurs résiduelles), par exemple avant l'application d'une peinture de rénovation (par recouvrement).

Caractéristiques recherchées

Le résultat des mesures est une indication quantitative sur l'épaisseur de la couche appliquée (partielle ou pour toute la surface en fonction du nombre de points de mesure), mais sans indication sur la qualité de la peinture.

Principe de mesurage

Pour l'application sur des fonds en acier, la méthode repose sur les caractéristiques magnétiques entre la sonde de mesure et l'acier sous la peinture. Plus la couche de peinture est épaisse, plus le champ magnétique est affaibli.

Des appareils simples, purement manuels, sont basés sur ce principe. Ils ne peuvent fonctionner que sur des fonds aimantables (acier, fonte).

Des appareils couplés à des microprocesseurs permettent de stocker les mesures, de calculer les valeurs moyennes et les écarts-types, et d'établir l'histogramme. Les valeurs mesurées peuvent être imprimées ou traitées par PC.

La mesure doit être exécutée sur la peinture sèche (durcie).



Appareil pour la mesure de l'épaisseur de peinture selon le principe d'induction magnétique

Interprétation

Les résultats des mesures dépendent de l'appareil. Les appareils simples, avec indication de la valeur isolée mesurée sans stockage, sont en général suffisants pour un premier contrôle. Ils ne sont pas adéquats pour des contrôles complets et systématiques.

Les appareils électroniques donnent rapidement des résultats précis. Les valeurs isolées peuvent être stockées et exploitées ultérieurement.

L'importance du travail est fonction de l'appareil utilisé. La fiabilité et la précision augmentent avec le nombre de points de contrôle (voir la densité des points de mesure nécessaires sous bibl. 1).

Le risque de fausses interprétations existe lors de mesures sur des couches non durcies ou en cas d'absence d'étalonnage (voir encadré).

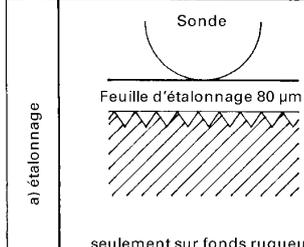
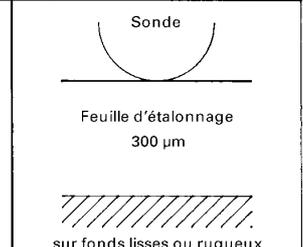
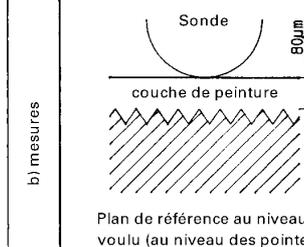
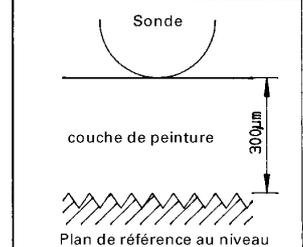
Les mesures peuvent être répétées. La dispersion varie avec le nombre des points de mesure considérés.

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

L'essai peut être exécuté par une personne (compétence: compréhension globale de la technique du procédé et des principes de mesure employés), éventuellement assistée par une autre personne pour tenir le procès-verbal. Les appareils sont alimentés par des batteries ou des accumulateurs. Il n'y a pratiquement pas de limitation due aux conditions climatiques. Il est cependant recommandé de sécher les surfaces avant la mesure. Un échafaudage peut être nécessaire pour l'accès aux surfaces.

Avant de procéder aux mesures, on définira les zones à contrôler ainsi que la densité des mesures (bibl. 1, ch. 373). Pour les appareils simples, un bouton avec une échelle graduée permet de faire varier la distance entre l'aimant permanent et la surface de l'acier. Lorsque la force d'attraction prédéfinie est atteinte, on peut lire la valeur de la mesure sur une échelle graduée. Avec les appareils électroniques, l'utilisation se fait selon le mode d'emploi de l'appareil. Avec ces appareils, l'interprétation est automatique (calcul de la valeur moyenne, de la valeur minimale, etc.). Les coûts d'application du procédé sont faibles. L'investissement pour un appareil électronique représente quelques milliers de francs (en fonction du modèle).

L'étalonnage de l'appareil de mesure sur une surface de même structure, avec des feuilles d'étalonnage, est indispensable pour la mesure de couches de peinture minces (jusqu'à 90 μm d'épaisseur minimale) (voir encadré, extrait de bibl. 1).

	Mesures de couches minces	Mesures de couches épaisses
	correct	correct
a) étalonnage	 <p>seulement sur fonds rugueux</p>	 <p>sur fonds lisses ou rugueux</p>
b) mesures	 <p>Plan de référence au niveau voulu (au niveau des pointes dues à la rugosité)</p>	 <p>Plan de référence au niveau moyen de la rugosité</p>

Plan de référence au niveau moyen de la rugosité

Appréciation

La méthode est très bonne pour une détermination fiable de l'épaisseur des couches. Des appareils plus complets, avec indication digitale (illustration), permettent une exploitation complète des mesures avec les valeurs moyennes, minimales et maximales, histogramme et écarts-types selon DIN 50982, 2^e partie. Le procédé ne peut s'appliquer que sur des peintures complètement sèches et durcies (pour la mesure des couches non durcies il existe des appareils spéciaux, dont la précision est moindre). La mise en œuvre est rapide, les résultats des mesures sont disponibles immédiatement et des essais complémentaires ne sont pas nécessaires. Le rapport qualité/prix est très bon. Des appareils semblables sont disponibles pour la mesure des peintures sur aluminium, cuivre, laiton et acier austénitique (inoxydable). Ils travaillent cependant sur le principe du courant de Foucault.

Bibliographie

1. CSCM: B3 Traitement de surface des constructions métalliques, CT-CSCM, 1982 (nouvelle version en préparation pour fin 1991).
2. DIN: DIN 50 981, Messung von Schichtdicken, Magnetische Verfahren, 05.79.
3. SBB: Richtlinie für die Oberflächenbehandlung von Stahlstrukturen (Brücken- und Hochbau), Nr. G 1.1 von 1.5.1981 (Anpassung an Lit. 1 ist in Bearbeitung).

Essai de quadrillage (peinture sur acier)

Informations générales

- procédé normalisé dans la norme DIN 53 151 (une norme européenne est prévue)
- l'essai de quadrillage provoque une détérioration locale du revêtement. L'essai doit donc être conduit de manière sélective. Lorsque les premiers résultats sont insuffisants, il faut généralement étendre le contrôle à l'ouvrage entier, en prenant toutefois garde aux conséquences financières pour la réparation!
- essai exécuté sur l'ouvrage. On peut éventuellement prévoir des essais préliminaires sur des échantillons traités avec la même peinture

Domaine d'application

Contrôles de l'adhérence des peintures sur des constructions en acier, tant pour des peintures neuves que pour d'anciennes couches (remplacement ou recouvrement). Particulièrement indiqué pour contrôler l'adhérence de l'ancienne couche en place, lors de recouvrements (terminologie voir bibl.1).

Caractéristiques recherchées

Appréciation visuelle du résultat de l'essai par comparaison avec des figures de référence. Le résultat est une appréciation qualitative de la valeur de l'adhérence de la peinture (valeur 1 à 4).

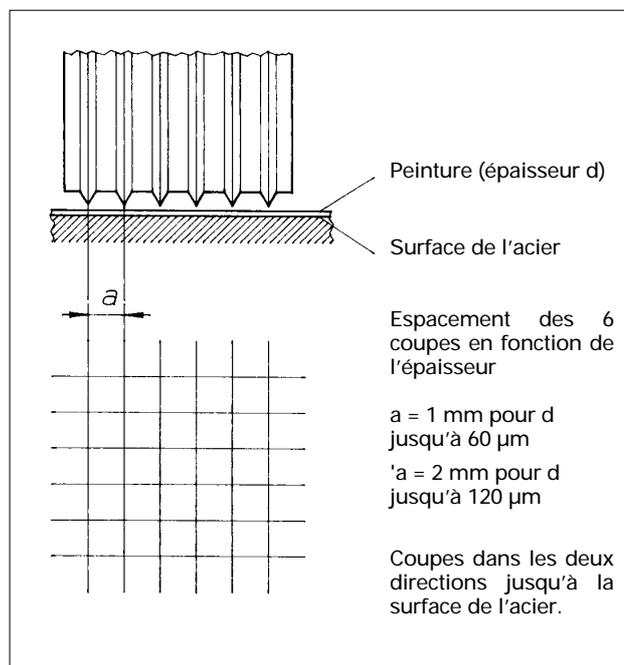
Principe de mesurage

Une peinture découpée en forme de réseau s'écaille lorsque l'adhérence au support est déficiente. La distance entre les traits de coupe doit être choisie en fonction de l'épaisseur du revêtement. Le résultat de l'essai est obtenu par comparaison avec des figures de référence.

Interprétation

L'importance du travail d'interprétation est très réduite; les résultats sont immédiatement disponibles sur place. Le résultat de l'essai est clair, une fausse appréciation est peu probable.

L'essai est destructif, il ne peut donc pas être répété à un même endroit. Comme l'adhérence varie d'un endroit à l'autre en fonction de la qualité de la peinture, cette variation se répercute sur la dispersion des résultats de différents contrôles exécutés sur le même ouvrage.



Appareil de quadrillage et disposition des coupes

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

L'exécution de l'essai de quadrillage ne demande pas de connaissances spéciales de la part de l'opérateur. Le quadrillage est exécuté avec un appareil spécial, ou (pour un premier résultat provisoire) avec un couteau comme moyen de fortune. Les traits sont droits et perpendiculaires les uns par rapport aux autres, avec un espacement fixé par l'épaisseur de la couche de peinture (mesurer préalablement l'épaisseur de la couche); cet espacement est normalisé.

Pour les essais en plein air le temps doit être sec. Des échafaudages peuvent être nécessaires en fonction de l'emplacement des mesures.

Pour le procès-verbal il est recommandé de faire des photographies.

Le coût pour l'appareil de quadrillage et pour l'essai est limité. La réparation des endroits testés et les échafaudages éventuels sont par contre plus onéreux et ils varient en fonction des conditions locales.

Appréciation

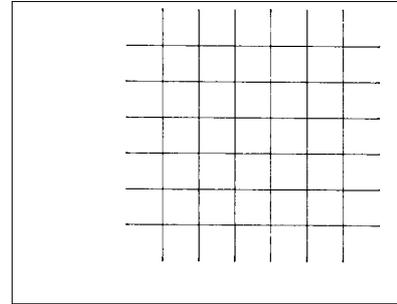
L'essai de quadrillage est un moyen performant pour apprécier l'adhérence des peintures sur l'acier (il est moins adéquat sur le bois). Pour une faible dépense l'essai donne une information exacte et fiable. Le coût des réparations des endroits testés doit être pris en considération. Avant l'essai de quadrillage, il faut mesurer l'épaisseur de la peinture. Des indications complémentaires peuvent être obtenues avec un essai de résistance à l'arrachement. Pour de premiers renseignements il est possible de faire un essai d'arrachement avec une bande autocollante.

Bibliographie

1. CSCM: B3 Traitement de surface des constructions métalliques CT, CSCM 1982 (nouvelle version en préparation pour fin 1991).
2. DIN: DIN 53 151, Gitterschnittprüfung von Anstrichen und ähnlichen Beschichtungen.

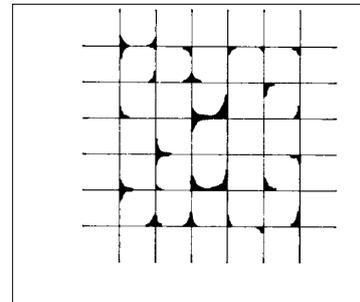
Degrés d'adhérence par essai de quadrillage

Gt0



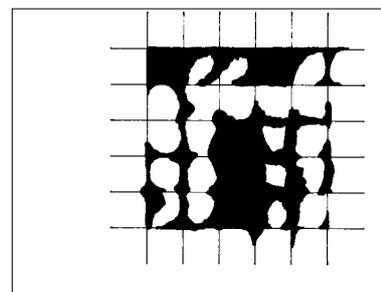
Les bords des coupes sont parfaitement lisses. Aucune partie de la peinture n'est écaillée.

Gt2



La peinture est écaillée le long des coupes et/ou à leurs intersections. Environ 15 % de la surface des carrés est écaillée.

Gt4



La peinture est écaillée en larges bandes le long des coupes et des carrés sont totalement ou partiellement écaillés. Environ 65 % ou plus de la surface des carrés est écaillée.

Figures de comparaison selon DIN 53151 (extraits) pour l'appréciation du degré d'adhérence

Essai de ressuage (acier)

Informations générales

- n'est pas normalisé
- non destructif
- l'essai peut être exécuté sur l'ouvrage ou sur des éléments de la construction terminés en atelier

Domaine d'application

Le procédé est utilisé pour détecter des fissures dans les constructions en acier. Il peut également s'appliquer pour le contrôle périodique des anciennes structures porteuses exposées au risque de fissuration par fatigue. L'application se fait sélectivement là où d'éventuelles fissures sont à craindre (soudures, points critiques de celles-ci; sur les anciennes constructions: liaisons mal conçues, couvre-joints, nœuds de poutres, rivets).

Caractéristiques recherchées

Mise en évidence des fissures.

Principe de mesurage

Un liquide à basse viscosité a la possibilité de pénétrer même dans les fissures les plus fines. Les surfaces à contrôler sont recouvertes avec une peinture adéquate, rouge dans la plupart des cas (à base d'alcool). S'il y a une fissure, le colorant pénètre dans celle-ci. La surface est ensuite soigneusement nettoyée avec un diluant (de la peinture). Une fine craie hygroscopique est pulvérisée sur la surface (généralement avec un spray, à base d'alcool). Cette couche de craie va aspirer le colorant rouge qui a pénétré dans la fissure; elle devient ainsi bien visible sur le fond de craie blanche.



Matériel pour l'essai de ressuage

Interprétation

Une interprétation n'est pas nécessaire, une fissure éventuelle devient visible.

La condition nécessaire pour la réussite de l'essai est un nettoyage soigné de la surface à contrôler.

Des erreurs d'interprétation, par exemple sur des recouvrements de laminage, peuvent être possibles. De tels cas sont cependant normalement reconnaissables à l'œil.

L'essai peut être répété au même endroit.

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

L'essai peut être exécuté par une seule personne, dûment instruite. La formation peut être assurée par les cours spéciaux organisés par l'Association suisse pour la technique du soudage, à Bâle. Pour l'examen d'éléments spéciaux (réservoirs sous pression, composants d'installations nucléaires, etc.), l'opérateur doit être au bénéfice d'une licence.

Le matériel nécessaire pour le contrôle: couleur à basse viscosité, généralement rouge et à base d'alcool, pinceaux, chiffons pour le nettoyage, produit de nettoyage (diluant), craie pulvérisée en dispersion (fréquemment en spray), est relativement bon marché. Pour l'exécution de l'essai: voir principe de mesurage.

L'essai ne peut être exécuté que par temps sec. Après une pluie, les zones à contrôler doivent être chauffées et séchées (en veillant à ne pas abîmer par une flamme, même légère, une éventuelle couche de protection contre la corrosion).

Il est recommandé de faire des photographies en vue de l'établissement du procès-verbal.

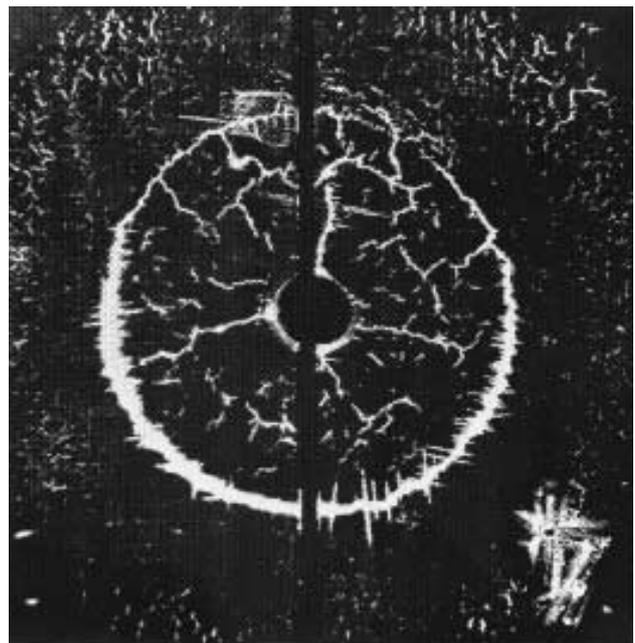
Le coût des essais proprement dits est faible; selon les cas des échafaudages peuvent être nécessaires.

Appréciation

L'essai de ressuage est un procédé adéquat et efficace pour détecter les fissures dans les constructions en acier. Une fissure devient visible. Les fissures très fines (< 2 à $3 \mu\text{m}$) et les défauts de laminage les plus fins ne peuvent toutefois pas être observés. Comme essais à mener en parallèle, ou en complément, on peut envisager la magnétoscopie, les ultrasons ou la radiographie. Le rapport qualité/prix de l'essai de ressuage est très favorable.



Essai de ressuage sur l'ouvrage



Fissures visibles après l'essai de ressuage sur un élément de l'ouvrage

Tirants d'ancrage en rocher et terrain meuble

Principes

L'étude du projet et l'exécution de tirants d'ancrage permanents sont soumis depuis 1977 à la norme SIA 191 «Tirants d'ancrage» (bibl. 1). Depuis le printemps 1989, on applique également la «Recommandation pour le projet et l'exécution de la protection contre la corrosion des tirants d'ancrage» (bibl. 2), éditée par les fournisseurs de tirants d'ancrage. Les CFF et le canton de Zurich appliquent, en complément, leurs propres prescriptions (bibl. 4 et 5).

Le plan de cette fiche technique ne suit pas le schéma habituel. Pour l'appréciation de l'état existant d'un tirant d'ancrage permanent on ne dispose pas, actuellement, de procédés fiables. Après concertation avec les milieux professionnels et compte tenu de l'ensemble des problèmes posés, les auteurs ont décidé de présenter les connaissances actuelles sous une forme plus générale, s'écartant quelque peu de la structure habituelle des fiches techniques.

Situation initiale

La construction et l'exécution de tirants d'ancrage permanents dépendent de manière importante du produit utilisé (avant l'entrée en vigueur de la norme SIA 191, ces variations étaient encore plus importantes). L'appréciation de l'état d'un tirant existant est rendue encore plus difficile par le fait que sa qualité varie beaucoup en fonction du soin apporté à sa réalisation. La pose n'est cependant en général pas exécutée par le fournisseur, mais par une entreprise de forage. Celle-ci assume également souvent la mise en tension. L'entreprise de forage, qui choisit généralement elle-même le fournisseur des tirants, travaille aussi dans la plupart des cas en qualité de sous-traitant d'une entreprise principale.



Mesure de la traction par essai de décollement

Relevé de l'état existant et appréciation

Les tirants d'ancrage permanents constituent fréquemment des éléments de construction très importants pour la sécurité. Lors du relevé de l'état existant il faut leur accorder un degré de priorité élevé. L'appréciation de tirants d'ancrage existants est très difficile; dans beaucoup de cas elle exige le recours à des ingénieurs spécialisés. Des mesures de déformation de l'ouvrage, telles que prévues dans la norme SIA 191, peuvent donner des renseignements sur le fonctionnement des tirants. Pour des ancrages conçus selon la norme SIA 191, on doit prévoir un certain nombre d'ancrages de contrôle, sur lesquels le fonctionnement peut être vérifié (essais de décollement et de tension). Les autres ancrages, non équipés comme les tirants de contrôle, ne peuvent, dans la plupart des cas, pas être examinés de plus près. Très souvent ils ne sont pas accessibles sans autre. Pour l'appréciation de l'état de corrosion d'un tirant d'ancrage, il n'existe actuellement pas de techniques d'investigations satisfaisantes.



Mesure de la résistance d'un ancrage permanent

Malgré de grosses difficultés, quelques indications complémentaires peuvent être données pour permettre l'appréciation de l'état des tirants d'ancrage. Le recours à des ingénieurs spécialisés a déjà été cité. Dans une première étape, on s'efforcera de réunir tous les documents possibles sur la mise en œuvre des tirants d'ancrage et sur les bases de leur dimensionnement. La distinction entre les tirants d'ancrage par adhérence totale et les tirants à longueur libre est importante pour la suite des essais. Les données des plans doivent impérativement être vérifiées sur place. Les données sur la fabrication des ancrages et sur la qualité d'acier utilisée sont en partie aussi archivées chez les fournisseurs. Là il est peut être aussi possible de trouver les procès-verbaux de mise en tension qui manquent dans les dossiers de l'ouvrage. L'examen visuel sur place peut encore apporter d'autres éléments sur l'état du tirant. Des venues d'eau sortant de la protection de la tête d'ancrage et la présence de rouille permettent, avec les autres données acquises sur la construction des ancrages, de tirer des conclusions sur des défauts possibles. Des mesures de la traction et des contrôles de déformation de l'ouvrage sont prévus dans la norme SIA 191. Dans certains cas bien déterminés, d'autres renseignements peuvent être obtenus par une mesure de résistance semblable à celle présentée sous bibl. 2 et 6. Avec les mesures par impulsions à réflexion (bibl. 8), aucun succès significatif n'a été enregistré jusqu'ici pour l'évaluation des tirants d'ancrage permanents.



Tête d'ancrage dégagée et nettoyée

Perspective

Pour clarifier les procédures d'appréciation de l'état des tirants d'ancrage permanents, l'Office Fédéral des Routes (OFR) a créé un groupe de travail (1991).

Bibliographie

1. SIA: norme SIA 191, tirants d'ancrage, Zurich, 1977.
2. Divers fournisseurs de tirants d'ancrage: Recommandation pour le projet et l'exécution de la protection contre la corrosion des tirants d'ancrage permanents. Berne / Lausanne / Hinwil / Zurich / Lyssach, mars 1989.
3. SIA: documentation D 057, Corrosion et protection contre la corrosion, Zurich, 1990.
4. Tiefbauamt des Kanton Zürich: Boden- und Felsanker, Vorschriften für die Projektierung und Ausführung, Weisung des Kantonsingenieurs vom 25. April 1990.
5. SBB: Weisung Bau GD/91, Permanent verankerte Bauwerke, Weisung für die Projektierung, die Ausführung, die Überwachung und den Unterhalt (erscheint 1991).
6. Hunkeler F. et al.: Streustromschutzmassnahmen bei Boden- und Felsankern, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 33/34, 1987, S. 978 ff.
7. Steiger A. et al.: Permanentanker: Korrosionsschutz und Dauerhaftigkeit, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 33/34, 1987, S. 973 ff.
8. Kapp H.: Korrosionsprüfung an Vorspannkabeln und Injektionsankern, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 38, 1987, S. 1093.

Eléments d'ouvrages en bois (porteurs)

Maintenance des éléments d'ouvrages en bois

Pour le bois, matériau naturel, comme pour tous les ouvrages, la préparation des mesures d'entretien ou de renouvellement exige un relevé de l'état existant et son appréciation. Le bois, en comparaison avec la plupart des autres matériaux de construction, possède une plus vaste gamme de caractéristiques. De plus, dans certaines conditions, il peut être détruit biologiquement. La destruction biologique est soumise à diverses lois. Tout ceci rend l'évaluation de l'état existant plus difficile. Dans beaucoup de cas il faut alors faire appel à un spécialiste expérimenté. L'utilisation de moyens auxiliaires (procédés d'investigations particuliers) exige une grande expérience, ne serait-ce que pour éviter des erreurs d'interprétation.

Caractéristiques recherchées

Lors de l'exécution de mesures de maintenance sur des ouvrages anciens, on est souvent en présence d'éléments en bois qui participent à la structure porteuse, servent de séparation entre des locaux, ont un caractère décoratif, ou plusieurs de ces fonctions simultanément. Selon le type d'élément et de ses fonctions, les exigences pour l'assainissement varieront. Pour des raisons faciles à comprendre, l'aspect sécurité est particulièrement important pour les éléments porteurs. Selon les objectifs fixés à l'assainissement (encadré) on sera conduit à des exigences différentes.

Relevé de l'état existant

Lors du relevé de l'état d'un ancien ouvrage en bois, certains points précis ont une importance primordiale, ainsi par exemple l'attaque par des champignons et des insectes ou la qualité du matériau utilisé (à l'époque déjà on utilisait souvent le matériel le meilleur marché pour des raisons économiques).

C'est pour l'appréciation correcte de ces questions que les connaissances professionnelles et l'expérience sont indispensables. De ce fait, il sera dans la plupart des cas nécessaire de consulter un professionnel, par exemple un charpentier, un ingénieur spécialisé ou un spécialiste de la protection du bois. La décision de faire appel à un spécialiste pour le relevé de l'état existant doit être prise suffisamment tôt!

Le plan de cette fiche technique ne suit pas le schéma habituel. Le relevé de l'état existant et l'appréciation d'éléments d'ouvrages en bois exigent, dans la plupart des cas, la participation d'un spécialiste; il en est de même pour l'application des techniques d'auscultation. Pour cette raison les auteurs ont décidé, après concertation avec les milieux professionnels concernés, de présenter les informations les plus importantes sous cette forme s'écartant de la structure habituelle des fiches techniques.

Constat et relevé des dégâts:

- défaut d'étanchéité
- corrosion
- attaque de champignons ou d'insectes
- dégâts d'usure et mécaniques
- structure porteuse trop faible (lors de la construction ou à la suite de transformations ultérieures)
- modifications en raison de sollicitations par des charges dynamiques élevées (en particulier pour les ponts: déplacements d'éléments de la construction, dégradations mécaniques par des surcharges excessives)

Modifications des sollicitations ou des conditions d'utilisation:

- physique de la construction (isolation)
- répartition des locaux
- transformation intérieure
- augmentation des charges

Examens possibles lors de l'entretien d'éléments d'ouvrages en bois

Auscultation

L'auscultation de l'état d'un ancien élément en bois s'effectue surtout par un examen visuel; des appareils techniques ne sont que peu utiles. Souvent l'examen visuel est rendu difficile par le manque d'accessibilité (par exemple poutraison entre un revêtement de sol et un plafond qui ne doivent pas être endommagés). Les auscultations énumérées dans l'encadré, avec les indications complémentaires, peuvent servir de check-list pour la marche à suivre lors du relevé de l'état existant. Cette liste ne peut bien sûr pas être exhaustive. L'ordre d'énumération des points mentionnés n'est pas un ordre de priorité, la démarche doit être adaptée à chaque objet ausculté.

Qualité des bois
(nodosité, inclinaison des fibres, densité, etc.)
Les critères de la norme SIA 164, constructions en bois (bibl. 1.), peuvent être utilisés pour la classification des bois en fonction de leurs résistances.

Mode de débitage
(avec ou sans aubier, avec ou sans moëlle, flaches, etc.)

Matériel et traitement des assemblages

Présence et qualité de traitements éventuels

*Détermination du type et de la qualité des matériaux
(de la construction originale)*

Humidité du bois

Risque de présence de champignons lorsque l'humidité du bois dépasse 28 % (même localement). Mesure possible, par exemple, avec un appareil de mesure électrique de l'humidité du bois. Il est important de bien connaître les endroits à risque du point de vue de l'humidité (par exemple appuis de poutres dans la maçonnerie, zones non étanches du toit, appuis de ponts, zones exposées aux intempéries, etc.)

Destruction par les champignons

Examen visuel, odeur, zones tendres, sondage à la perceuse

Attaque par les insectes

Présence d'orifices et de poussières de bois

Dégradations mécaniques

Présence de fissures (fissures de retrait exclues), écrasements, poinçonnements

Dégradations des assemblages

Corrosion, surcharge, usure

Influence néfaste de déformations

En particulier pour les appuis et les assemblages



L'appréciation de la qualité du bois exige une grande expérience professionnelle. La panne de la photo ci-dessus montre des dégradations inadmissibles (déformations des fibres, nœuds, etc.)

Information sur l'état de maintenance

Suite sur les deux pages suivantes

Eléments d'ouvrages en bois (porteurs) suite



La capacité portante résiduelle de cette poutre lamellée est fortement dépendante de l'ampleur de l'attaque par les champignons. Cette valeur est difficile à évaluer. Dans le cas présent elle a été estimée plus précisément en pratiquant des sondages avec une perceuse à mèche longue et fine.

Système porteur, système statique
Généralement systèmes de poutres simples, mais aussi systèmes plus complexes en raison de leur liaison avec d'autres éléments porteurs (par exemple parois)

Modification du système porteur d'origine
Du fait de la grande ouvrabilité du bois et en fonction des besoins des usagers, on modifie parfois le système porteur de manière très défavorable

Dimensions des sections
Y compris les zones de section réduite, les entailles, les trous

Types des joints, assemblages et appuis
Egalement avec la précision d'exécution des surfaces de contact qui doivent assurer la transmission des forces

Déformations
En raison du séchage, de charges élevées; déformations par fluage sous sollicitations de flexion, etc.

Déplacements relatifs
En particulier lors de tassements, manque de stabilisation de la construction ou charges dynamiques (ponts)

Détermination des grandeurs géométriques



Une attaque par les champignons (du fait d'une construction non adéquate) est rarement aussi apparente que sur ce pont. Les défauts et dégâts cachés sont bien sûr beaucoup plus délicats à juger.



Les mesures des déformations permettent non seulement de vérifier le dimensionnement d'un système porteur, mais également de contrôler son état de maintenance. De tels essais, coûteux, ne sont cependant possibles que dans des cas exceptionnels.

Défauts d'étanchéité
Venues d'eau
(toit, parois, fenêtres, couvertures, etc.)

Humidité capillaire
Entre autres dans les murs avec une forte porosité capillaire, par exemple maçonnerie de pierres

Eau de condensation
Problème de physique du bâtiment

Défauts constructifs
Également du fait de modifications ultérieures

Changement d'affectation
Charges de service plus élevées, humidité ambiante, conditions thermiques, etc.

Surcharge
En particulier du fait de causes mécaniques, par exemple charge de service et trafic plus élevés sur les ponts

Détermination des causes de modifications et de dégâts

Bibliographie

1. SIA : norme SIA 164, Constructions en bois; Zurich, 1981.
2. Dzierzon M., Zull J.: Altbauten zerstörungssarm untersuchen, Bauaufnahme, Holzuntersuchung, Mauerfeuchtigkeit; R. Müller, Köln, 1990.
3. Mönck W.: Schäden an Holzkonstruktionen, Analyse und Behebung; VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1987.
4. Kolbitsch A.: Altbaukonstruktionen, Charakteristika, Rechenwerte, Sanierungsansätze; Springer-Verlag, Wien, 1989.
5. Dartsch B.: Bauen heute in alter Substanz; Rudolf Müller, 1990.

Sources d'informations

EMPA, Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et Institut de recherches, Dübendorf, Division bois.

Lignum, Union Suisse en faveur du bois, Zurich et Le Mont-sur-Lausanne.

Notes personnelles

Notes personnelles

Notes personnelles

Notes personnelles

Notes personnelles

3. Routes

	Page
Routes, définition et délimitation	107
3.1 Démarche pour l'auscultation des routes	108
3.2 Vue d'ensemble des techniques d'auscultation	113
3.3 Fiches techniques des méthodes d'auscultation	117

Indication:

De plus amples informations pour l'auscultation des ouvrages d'art dans la construction routière (ponts, murs de soutènement, etc.) sont données dans le chapitre 2. Structures.

Notes personnelles

3. Routes

Routes, définition et délimitation

Dans le cadre du présent manuel, la notion de route est employée pour la superstructure des voies de circulation. Les ouvrages spéciaux, de même que les installations électro-mécaniques, sont pris en compte dans le chapitre structures. Les routes sont des constructions linéaires reliées entre elles sous forme de réseau. Le nombre des participants intervenant pour leur réalisation est en général plus limité que pour les structures. Le projet et l'exécution se conforment aux normes VSS ainsi qu'aux directives complémentaires de divers maîtres d'ouvrages. Le degré de normalisation et de standardisation y est élevé. En cas de fort trafic, les superstructures sont particulièrement exposées à une importante usure. Leur durée de vie est donc plus courte que celle des structures. Pour l'exploitation et l'entretien il existe en général un responsable, propriétaire ou exploitant, bien défini.

La superstructure et plus particulièrement la surface de roulement sont relativement bien accessibles pour l'auscultation. Eviter des perturbations du trafic est une condition limite prioritaire et caractéristique de l'auscultation des routes dans la plupart des cas.

3.1 Démarche pour l'auscultation des routes

Introduction

Pour les routes, la démarche n'est pas fondamentalement différente de celle que l'on applique pour les autres secteurs de l'art de l'ingénieur. Cela signifie que, pour les routes également, l'analyse des dégâts s'appuie d'une part sur le diagnostic (comparaisons des symptômes ou de l'image des dégâts et des défauts des installations), et d'autre part sur le remède proprement dit, soit le choix des mesures de conservation et de maintenance adéquates. Il y a cependant quelques différences importantes qui doivent être soulignées.

Dans l'introduction de ce manuel nous avons mentionné, comme valeur de référence pour la durée de vie des superstructures, une période de 50 ans. Si ce chiffre était valable pour la construction routière (avec une valeur de remplacement de 150 à 200 milliards de francs), ce secteur serait encore très jeune. De ce point de vue la nécessité d'entreprendre des travaux de maintenance de grande ampleur serait encore très éloignée. Une telle conclusion méconnaîtrait le fait que les critères de dimensionnement particuliers qui s'appliquent à ce secteur sont fondamentalement différents de ceux des autres domaines de l'ingénieur, et qu'ils entraînent des durées de vie plus courtes. Alors que, pour les superstructures, les mesures prises pour éviter une défaillance de celles-ci contribuent à leur assurer une longue durée de vie, pour les routes, le dimensionnement de la superstructure et de leurs surfaces en particulier se fait en regard de la capacité d'utilisation, avec une limitation de l'usure. Du fait de la circulation, les routes sont soumises à une usure importante et une durabilité d'environ 20 ans est alors généralement admise pour leur dimensionnement.

A partir de cette situation on arrive alors à la conclusion correcte que le réseau routier, avec un âge de 20 à 40 ans, a un important besoin de travaux d'entretien et de rénovation, ce que confirme de manière très concrète la situation réelle. Ceci n'exclut par ailleurs pas que des travaux de maintenance puissent être nécessaires, suite à l'apparition de défauts, avant l'échéance de la durée de vie admise, ou que d'autres tronçons, peu sollicités, remplissent encore leur fonction même après 50 ans.

Avec l'achèvement progressif du réseau des routes nationales, le besoin de constructions neuves diminue. Simultanément les plus anciens tronçons de ce réseau atteignent aujourd'hui la limite de leur durée possible d'utilisation. Les besoins croissants en travaux d'entretien et de rénovation qui se manifestent, confirment cette tendance et conduisent à don-

Maintenance

L'ensemble de toutes les mesures prises en vue de surveiller et d'assurer le fonctionnement d'une route en tant qu'élément d'exploitation et en tant qu'ouvrage.

Entretien d'exploitation

Mesures visant à assurer la sécurité de fonctionnement de toutes les parties d'une route, telles que: les travaux de nettoyage et de contrôle, l'entretien des surfaces vertes, l'entretien hivernal et les petites réparations (mesures d'urgence).

Entretien constructif

Remise en état et renforcement

- Remise en état:
Ensemble des mesures périodiques nécessaires à assurer le maintien de l'état initial, ainsi que les grandes réparations qui en découlent.
- Renforcement:
Mesures pour garantir l'état de service requis, telles que: augmentation de la portance de la route, renforcement d'ouvrages d'art ou d'installations annexes.

Reconstruction

Rétablissement par le remplacement d'un tronçon ou d'une partie de la voie de communication routière, pour autant qu'un renforcement ne permette pas d'atteindre partiellement ou en totalité l'état de service requis.

*Terminologie de la maintenance selon VSS: SN 640 900
Management de la maintenance routière*

ner de plus en plus d'importance à la maintenance de ces ouvrages.

Les mesures de maintenance doivent être développées dans le sens d'éviter le plus possible les entraves à la circulation. Des entraves à la circulation, en particulier dans les situations de trafic dense, entraînent des pertes économiques importantes. Le projeteur et les entreprises sont donc soumis, pour respecter cette condition, à de hautes exigences pour la préparation et l'exécution des travaux de maintenance.

Afin que les investissements consentis pour la construction des routes ne soient pas perdus, les moyens nécessaires pour la maintenance doivent être planifiés et engagés en temps voulu. L'ensemble de cette activité est réuni sous la notion de «Management de la maintenance routière». Depuis 1989, différentes normes sont parues sur ce thème dans la collection des normes VSS.

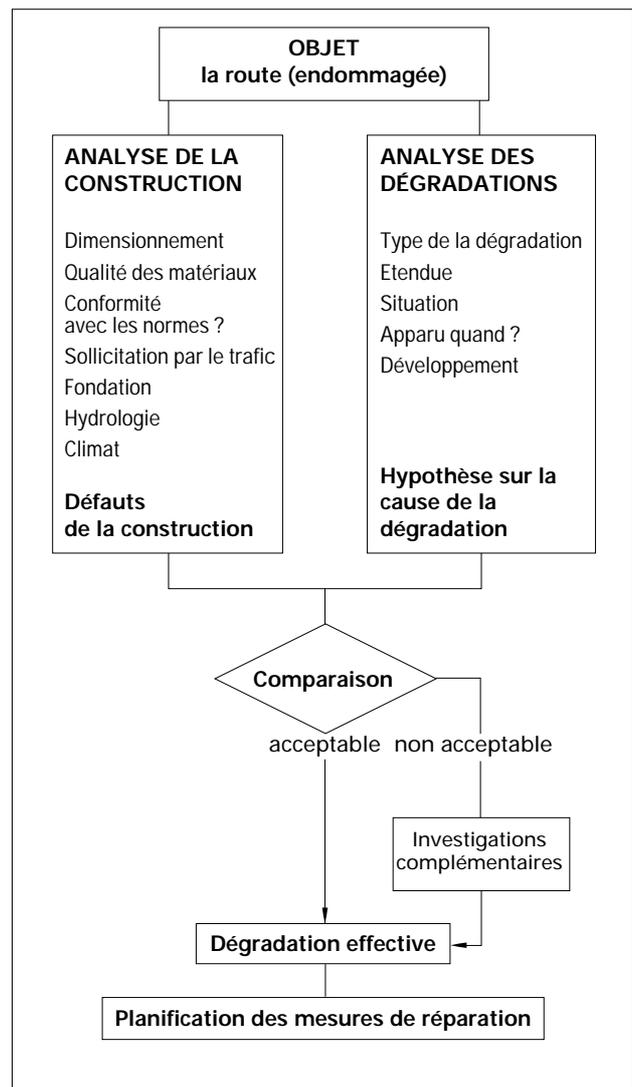
Procédure par étapes

Relevé de l'état et analyse des dégâts
 Selon les principes du management de la maintenance routière, les techniques d'auscultation ont une importance essentielle. Les résultats de la surveillance continue et systématique sont, en parallèle avec le constat des dégâts, les bases de l'analyse des défauts. Pour cette analyse, des essais complémentaires seront, si nécessaire, exécutés de cas en cas.

Le relevé systématique de l'état (même signification que surveillance ou inspection dans d'autres secteurs de la construction) est exécuté, en fonction des objectifs, avec la procédure suivante:

La planification générale à moyen terme des mesures de maintenance est exécutée sur la base de relevés périodiques de l'état de surface du réseau routier. Les intervalles entre ces relevés sont fixés par la hiérarchie fonctionnelle des routes. Le relevé peut comporter les valeurs suivantes: planéité longitudinale et transversale, qualité antidérapante et dégradation de la surface (relevé sommaire).

Le projet d'une mesure de maintenance spécifique est basé sur un relevé détaillé préalable des dégradations de la chaussée. Ce relevé représente le début effectif de l'analyse des défauts. Cette première étape peut conduire à entreprendre des auscultations complémentaires, nécessaires pour saisir l'étendue totale des dégâts et en déterminer les causes. Parmi ces auscultations complémentaires, il s'agira en particulier d'essais de laboratoire sur des carottes prélevées dans le revêtement ainsi que de mesures de la portance. Des données détaillées sur les essais de revêtements sont contenues dans le groupe de normes VSS «Réparations et réfections des chaussées» (références bibliographiques).



Analyse des dégradations

Dans les tableaux de vue d'ensemble qui suivent, l'accent principal est mis sur le relevé des propriétés de la surface de roulement. Pour ce travail, seules des techniques d'auscultation non destructives entrent en ligne de compte. Pour déterminer les causes d'un défaut constaté, des essais complémentaires, in situ ou en laboratoire, seront éventuellement à effectuer pour déterminer la qualité des matériaux, les liaisons entre les couches, la suite des couches, etc. En plus du prélèvement de carottes, dans des cas spéciaux, on sera amené à l'ouverture de tranchées de sondage ou à l'extraction d'éprouvettes de grandes dimensions par découpe du revêtement.

En complément de la palette des essais normalisés (collection des normes VSS, volume VII), d'autres méthodes d'investigations non normalisées peuvent également être appliquées. A ce sujet on signalera que l'utilisation de plus en plus fréquente de liants à base de bitumes modifiés conduit également souvent les laboratoires routiers à recourir à des techniques de recherche propres à la chimie (chromatographie en phase gazeuse, spectrographie à infrarouges, etc.).

Bibliographie

1. VSS: SN 640 900: Management de la maintenance routière, VSS, 1989, Zurich.
2. VSS: «Réparation et réfection des chaussées»; VSS collection des normes, volume V.
3. EVED: Etude des méthodes d'auscultation et d'observation des chaussées; EVED – Rapport de recherche 166, 1988.

Le chapitre «Routes» de ce manuel traite de l'auscultation de la superstructure et plus particulièrement de la surface de roulement des routes. Des indications pour l'auscultation d'ouvrages spéciaux et des installations électro-mécaniques sont données dans le chapitre «Structures». Du point de vue du management de la maintenance routière, il est nécessaire de donner la priorité à la surveillance périodique de ces aménagements. Mais d'autres aménagements, par exemple les glissières de sécurité, les parois antibruit, la signalisation, etc., doivent être aussi surveillés et entretenus.

Eléments particuliers de l'équipement routier

Notes personnelles

Notes personnelles

3.2 Vue d'ensemble des techniques d'auscultation

	Page
Informations pour la consultation des tableaux de la vue d'ensemble	115
Liste des tableaux:	
Superstructure (revêtements hydrocarbonés ou béton)	116

Le chapitre «Routes» de ce manuel traite de l'auscultation de la superstructure et plus particulièrement de la surface de roulement des routes. Des indications pour l'auscultation d'ouvrages spéciaux et des installations électro-mécaniques sont données dans le chapitre «Structures». Du point de vue du management de la maintenance routière, il est nécessaire de donner la priorité à la surveillance périodique de ces aménagements. Mais d'autres aménagements, par exemple les glissières de sécurité, les parois antibruit, la signalisation, etc., doivent aussi être surveillés et entretenus.

Notes personnelles

Informations pour la consultation des tableaux de la vue d'ensemble

Les tableaux donnent une vue d'ensemble des techniques d'auscultation disponibles pour l'examen d'une partie d'ouvrage ou d'un matériau déterminé. Il a été tenté de considérer, pour autant que possible, toutes les méthodes d'auscultation utilisables dans la pratique. Toutefois, dans quelques cas particuliers, il est fait mention de techniques d'auscultation dont l'utilisation pratique est restreinte. Il apparaît aussi dans ces tableaux si d'autres données sur une technique mentionnée sont contenues dans le manuel, et où elles peuvent être trouvées.

Renvoi aux fiches techniques

Les techniques d'auscultation décrites de façon plus détaillée dans les fiches techniques sont soulignées dans les tableaux de cette vue d'ensemble. Un renvoi (●) disposé à côté de la technique d'auscultation considérée indique le numéro de la page de la fiche technique correspondante.

Techniques d'auscultation simples

Les techniques d'auscultation simples qui peuvent être déjà utilisées par l'ingénieur lors d'un premier examen visuel sont mises en évidence par des caractères gras dans les tableaux de cette vue d'ensemble.

Essais de laboratoire

Les essais qui, en règle générale, sont effectués par des spécialistes en laboratoire, sont imprimés en *caractères italiques*. Ces techniques d'auscultation sont en général des techniques destructives, ceci du fait de la nécessité de prélèvements d'échantillons dans l'ouvrage.

Techniques d'auscultation d'intérêt restreint

Les techniques d'auscultation mises entre parenthèses dans cette vue d'ensemble, n'ont qu'un intérêt pratique restreint. Ces techniques d'auscultation sont en général d'un coût relativement élevé et leur interprétation est discutable. De telles techniques d'auscultation peuvent toutefois apporter, dans certains cas particuliers, une contribution à une meilleure appréciation d'un problème.

Objet de l'auscultation:
Superstructure (revêtements hydrocarbonés ou béton)¹⁾

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Portance (revêtement en asphalte)	Mesure de la déflexion – poutre de Benkelmann ²⁾ – <u>défectographe</u> ♣ p. 126 – <u>mouton</u> ♣ p. 128 – essai de charge avec plaques	Essai de charge avec plaques sur les couches inférieures de la superstructure et de l'infrastructure [tranchée]
Portance (revêtement en béton)	Mesure de la déflexion – <u>mouton</u> ♣ p. 128 – charge avec plaques et nivellement	Essai de charge avec plaques sur les couches inférieures de la superstructure et de l'infrastructure [tranchée]
Fissures	<u>Examen visuel</u> ♣ p. 62 <u>ARAN</u> (y compris vidéo) ♣ p. 122	Détermination du cheminement des fissures [carottage]
Planéité transversale ³⁾	Latte de 4 m Planum <u>ARAN</u> ♣ p. 122 Moiré	
Planéité longitudinale ³⁾	Goniographe Enregistreur d'angle ISETH <u>ARAN</u> ♣ p. 122 <u>APL</u> ♣ p. 120	
Qualité antidérapante ⁴⁾	Pendule Drainomètre Skiddomètre <u>SRM 91</u> ♣ p. 139 SCRIM	
Dégâts de joints (revêtement en béton)	<u>Examen visuel</u> ♣ p. 62 <u>ARAN</u> ♣ p. 122 <u>Collographe</u> ♣ p. 124	Essai d'arrachement du joint (Adhérence du joint)
Epaisseurs des différentes couches	<u>Géoradar</u> ♣ p. 84	Sondages [carottage, tranchée]
Qualité des matériaux ⁵⁾		<i>Essais de laboratoire selon les normes SN (VSS); éventuellement autres essais complémentaires</i> [carottage, tranchée ou autre type de prélèvement d'échantillon]

1) SN 640 924 Relevé et évaluation de l'état des routes

2) SN 640 330 Déflexions

3) SN 640 520a/521a Planéité; contrôle de la géométrie, exigences

4) SN 640 510b/511b Qualité antidérapante; méthode de mesure, appréciation

5) Norme VSS, volume 7, matériaux hydrocarbonés

3.3 Fiches techniques des méthodes d'auscultation

	Page
Informations pour l'utilisation des fiches techniques	119
Liste des fiches techniques:	
APL, Analyseur de profil en long	120
ARAN, Automatic Road Analyser	122
Collographe LCPC	124
Défectographe Lacroix	126
Mesure de la déflexion avec mouton	128
SRM 91, Mesure du frottement (Stuttgarter Reibungsmesser)	130

Diverses techniques d'auscultation des routes sont décrites de manière détaillée dans le recueil des normes VSS. Ces normes sont largement diffusées et donc faciles d'accès. C'est la raison pour laquelle les techniques d'auscultation décrites dans les normes VSS ne sont pas reprises dans les fiches techniques du présent manuel.

Notes personnelles

Informations pour l'utilisation des fiches techniques

A part quelques exceptions, toutes les fiches techniques sont établies selon le même schéma. La recherche des informations souhaitées est ainsi simplifiée. Des commentaires sur les différentes rubriques des fiches sont donnés ci-dessous. Ces commentaires ont aussi servi de fil conducteur pour l'établissement des fiches. Les informations données n'ont pas été établies dans l'esprit de servir de mode d'emploi pour la pratique ou l'utilisation des appareils; elles doivent toutefois pouvoir aider l'ingénieur chargé de l'auscultation d'un ouvrage à trouver les bons «outils». Les fiches techniques contiennent les informations nécessaires à l'ingénieur dans son travail de coordination lorsqu'il est nécessaire de faire appel à des spécialistes.

Informations générales

La méthode est-elle normalisée?
Non destructive/destructive?
Essai sur l'ouvrage/en laboratoire?

Déroulement du travail (utilisation des appareils et coûts)

Equipement, appareils, équipe de mesures,
exigences requises des équipes de mesures?
Nécessité de raccordement en eau, électricité?
Autres conditions:
intempéries, accessibilité, etc.?

Domaine d'application

Matériaux.
Partie d'ouvrage.
Type de construction.

Description du déroulement du travail (travaux préparatoires, emploi des appareils, évaluation, etc.) et perturbations éventuelles de l'exploitation.

Coût (ordre de grandeur).

Caractéristiques recherchées

Sur quelles caractéristiques peut-on obtenir des informations?
Les informations sont-elles directes ou indirectes?
Les informations sont-elles qualitatives ou quantitatives (précision), ponctuelles ou étendues?

Appréciation

Domaine d'utilisation?
Limites d'utilisation?
Délais nécessaires jusqu'à l'obtention des résultats?
Nécessité d'essais d'accompagnement?
Essais complémentaires pour préciser les résultats?
Rapport coût/utilité?

Principe de mesurage

Description du principe de mesure.
Quels sont les résultats des mesures, quels sont les facteurs d'influence?

Bibliographie

Principales références bibliographiques pour l'obtention de renseignements complémentaires.

Interprétation

Comment obtient-on la caractéristique recherchée à partir des résultats des mesures?
Difficulté et signification de l'interprétation.
Risques d'erreur d'interprétation.
Reproductibilité, dispersion.

APL, Analyseur de profil en long

Informations générales

Le système de mesure APL permet la saisie rapide de la planéité longitudinale de chaussées sans interruption du trafic. Le système permet le relevé du profil réel. L'évaluation des mesures selon SN 640'520 est l'une des différentes possibilités d'appréciation.

Domaine d'application

- Relevé systématique de réseaux routiers complets.
- Relevé détaillé d'un tronçon particulier, en vue de travaux de maintenance spécifiques.
- Préparation (détermination des zones où un renforcement est nécessaire) et réception de travaux de revêtement.
- Mesure des dénivellations au droit des joints de routes en béton.
- Mesures des longueurs des ondulations sur des pistes d'aérodrome ou des voies de roulement (des ondulations jusqu'à 80 m de longueur peuvent être saisies à une vitesse de 140 km/h).

Caractéristiques recherchées

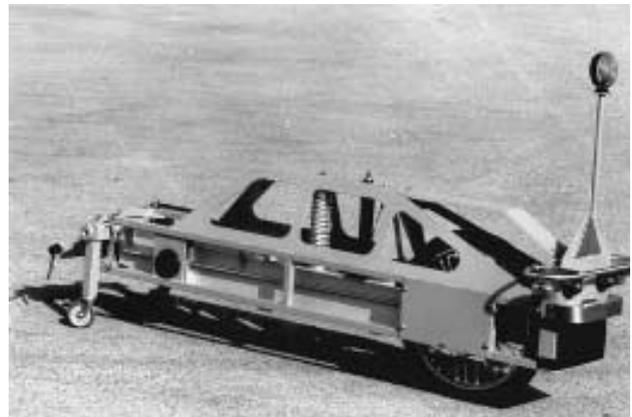
- Relevé des irrégularités du profil en long.
- Coefficients de planéité longitudinale (valeurs W et Sw selon bibl. 1; valeurs de la planéité LCPC; CP-; IRI- et QI).

Principe de mesurage / interprétation

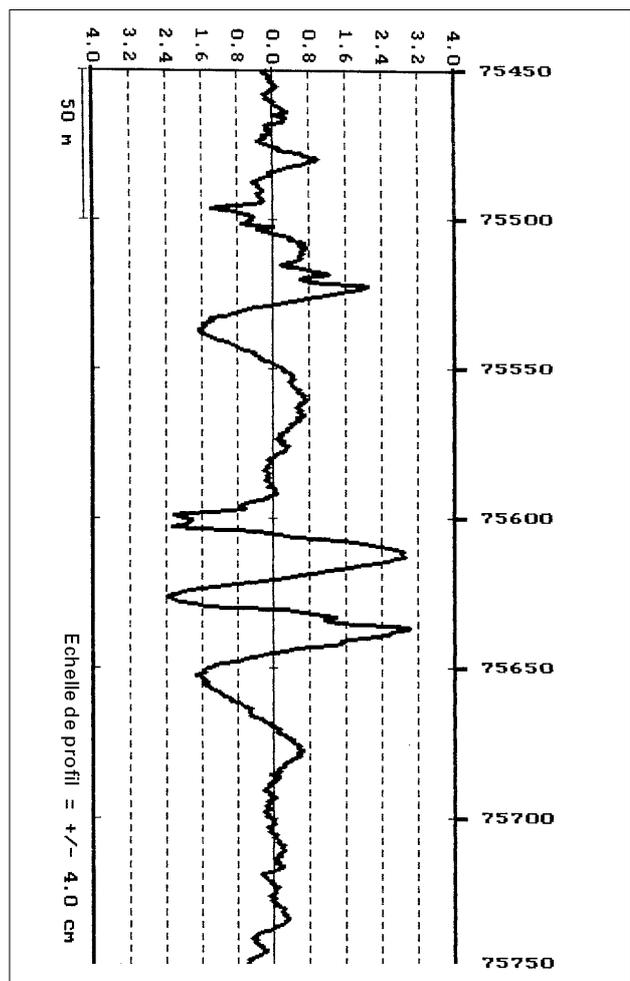
Le principe de mesurage est basé sur un pendule inertiel, avec une bande de fréquence de 0.5 à 20 Hz, qui fait office de pseudo-niveau de référence horizontal. Les irrégularités sont saisies en continu, l'angle mesuré entre le bras de mesure et le pendule de référence étant transformé en un signal électronique. Ce signal directement proportionnel au profil en long réel, ainsi que l'indication précise de la distance (roue à impulsions), sont numérisés et stockés en continu.

Le profil en long tracé correspond exactement au profil réel, la gamme des longueurs des ondes mesurées variant avec la vitesse de la mesure (par exemple: 0.5 – 20 m à 35 km/h, 1 – 40 m à 70 km/h, 2 – 80 m à 140 km/h).

Toutes les méthodes d'interprétation basées sur l'analyse du profil des irrégularités sont en principe applicables. Le nombre des méthodes d'évaluation n'est ainsi pas limité.



Remorque de mesure APL



Résultats des mesures: irrégularités de la planéité longitudinale

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

L'opération demande une équipe de mesure de deux hommes. La vitesse de saisie est généralement adaptée au trafic. Des vitesses de mesure jusqu'à 140 km/h sont possibles. Lorsque les mesures sont effectuées sur la piste de dépassement ou à l'intérieur des localités, une voiture de sécurité est nécessaire.

Les mesures brutes sont saisies pendant la course de mesure et stockées dans un ordinateur pour être exploitées ensuite au bureau (rapport, tableaux, graphiques et statistiques). Si nécessaire le profil saisi peut être dessiné à l'échelle souhaitée. Les résultats des mesures exploitées peuvent être stockés dans une banque de données électronique.

Coût: en fonction de l'engagement et de l'étendue des mesures, environ Fr. 200.- à 300.- par kilomètre mesuré.

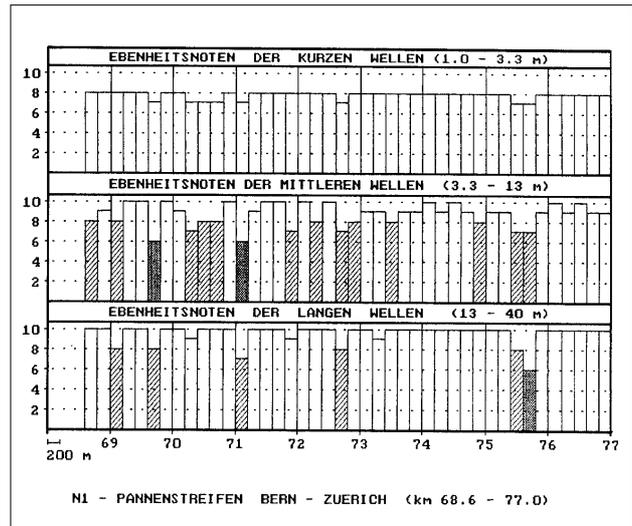
Appréciation

Système de mesure flexible et rapide pour le contrôle systématique ou détaillé de la planéité longitudinale. Pas ou peu de gêne pour le trafic.

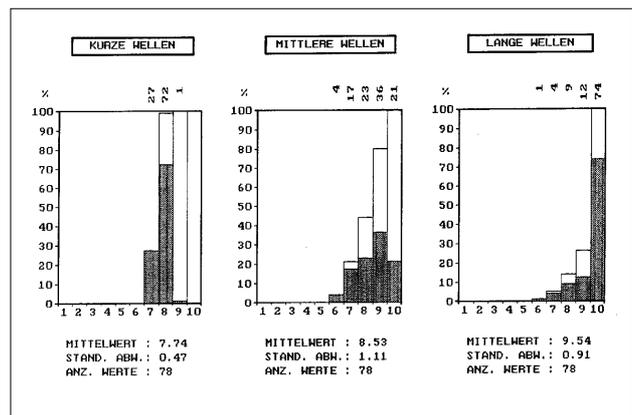
L'exploitation des mesures et l'élaboration du rapport demandent un délai de 1 à 3 jours.

Bibliographie

1. VSS: SN 640'520a, Planéité, contrôle de la géométrie; 1977.
2. VSS: SN 640'521a, Planéité, exigences; 1977.
3. EVED: Etude des méthodes d'auscultation et d'observation des chaussées; EVED-Rapport de recherche 166, 1988.
4. S.A.C.R. SA, Ecublens/Zurich: Documentation de la société.



Exploitation des résultats: niveau de qualité de la planéité



Exploitation des résultats: répartition des ondulations

ARAN, Automatic Road Analyser

Informations générales

Véhicule de mesure pour le contrôle de différentes caractéristiques des surfaces de chaussées, par méthode non destructive et sans interruption du trafic (jusqu'à environ 100 km/h). Valable pour le relevé systématique et l'évaluation (selon bibl. 1).

Domaine d'application

- Relevé systématique de réseaux routiers complets.
- Recherches détaillées sur des tronçons endommagés en vue des mesures de maintenance nécessaires.
- Contrôles de la construction (planités longitudinale et transversale, pente transversale).
- Contrôles de la signalisation et du marquage (par vidéo).
- Inventaire des aménagements (par vidéo).
- Relevé de routes en continu par vidéo.

Caractéristiques recherchées

- Coefficients de planéité longitudinale, relevé du profil en long, mesures de la planéité transversale (profondeur de l'ornière, profondeur d'eau), relevé du profil en travers, calcul de la quantité d'enrobé nécessaire au reprofilage, quantification des dégradations de surface selon bibl. 1., géométrie de la chaussée (pentes longitudinales et transversales, rayons de courbure de la route).

Principe de mesurage / interprétation

Planéité longitudinale: les caractéristiques du profil en long sont déterminées au moyen d'un système constitué par deux accéléromètres, montés l'un sur l'essieu arrière et l'autre sur le châssis, permettant de ce fait également la détermination du profil lorsque le véhicule circule à une vitesse variable.

Planéité transversale: les déformations du profil en travers sont mesurées par des capteurs à ultrasons montés sur un axe transversal, avec un écartement de 100 mm.

Relevé des dégradations de surface: introduction manuelle sur un clavier d'ordinateur des dégradations de surface schématisées, prenant en compte leurs gravités et leurs extensions.

Pentes et dévers: mesures par un système constitué de gyroscopes.



Véhicule de mesure ARAN, en cours de mesures



Vue de l'unité de saisie avec son écran

Distance: mesure à partir du tachymètre.
 Adaptation du résultat des mesures et de leur interprétation aux normes; la pente transversale est définie comme la pente de la droite de régression définie par les points mesurés du profil.

Déroulement du travail
 (Utilisation des appareils et coûts)

Le travail est effectué par une équipe de deux hommes, dûment formés. Pour la mesure du profil en travers, une permission spéciale est nécessaire pour les largeurs supérieures à 2.5 m (jusqu'à 3.5 m au maximum). Lors d'engagement avec surlargeur, l'accompagnement par un véhicule de sécurité est exigé sur les routes à fort trafic.

Les mesures brutes effectuées dans le véhicule de mesure sont stockées dans un ordinateur pour être ensuite exploitées au bureau (rapport avec tableaux, graphiques et statistiques, préparation des résultats des mesures pour la mise sur disquettes destinées au transfert dans des banques de données). Le système fournit également une bande vidéo donnant l'image de la surface de la route ainsi que de son environnement, avec surimpression du repérage de la position sur la route.

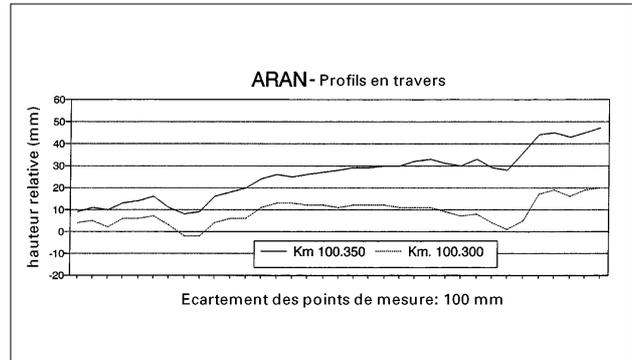
Coût: environ Fr. 200.- à 600.- par kilomètre mesuré, en fonction du type et de l'ampleur des mesures effectuées.

Appréciation

Procédé rapide pour l'analyse systématique de l'état d'une route, avec peu ou pas d'entraves à la circulation. Pour l'exploitation des résultats d'une journée de mesure et l'établissement du rapport, il faut compter un à trois jours de travail de bureau. Les résultats sont saisis sur un support informatique permettant un travail complémentaire ultérieur.

Bibliographie

1. VSS:SN 640 925, Relevé et évaluation de l'état des routes; 1990.
2. EVED: Etude des méthodes d'auscultation et d'observation des chaussées; EVED-Rapport de recherche 166, 1988.
3. Highway Products International; Paris, Ontario, Documentation de la société.
4. Viaconsult AG, Zürich: Documentation.



Une possibilité d'exploitation des mesures: profils en travers

Collographe LCPC

Informations générales

Appareil de mesures non destructives pour le relevé de l'état de la fondation et des joints de routes en béton, ainsi que de l'adhérence des couches sur les ouvrages d'art. Lorsque la couche de revêtement est régulière et en bon état, l'appareil permet également d'apprécier la stabilisation des sols au ciment (relevé de points faibles).

Domaine d'application

- Relevé de données pour l'appréciation des routes en béton.
- Appréciation de l'état du support (recherche des vides) des dalles de béton.
- Appréciation de la transmission des charges et des mouvements relatifs au droit des joints.
- Mise en évidence des défauts d'adhérence entre les couches sur les ouvrages d'art (liaison entre l'étanchéité et le revêtement).
- Appréciation de l'état des stabilisations de sols au ciment (localisation des zones où la portance est réduite).



Collographe LCPC

Caractéristiques recherchées

- Déflexion dynamique de la surface de la chaussée, en valeurs relatives dans l'élément analysé (par étalonnage on peut transformer les valeurs mesurées en valeurs absolues).

Principe de mesurage / interprétation

L'appareil travaille selon le principe d'un rouleau vibrant provoquant une déflexion dynamique avec une fréquence de 60 Hz. Pour simuler l'action de roues jumelées, l'enveloppe du rouleau est entourée de deux bandages en caoutchouc. La déflexion dynamique est relevée par quatre géophones montés dans une roue spéciale remplie d'eau. Cette roue «hydrophonique» joue le rôle d'un filtre (filtrage des signaux parasites tels que ceux provoqués par des véhicules circulant sur la chaussée voisine ou par des irrégularités du revêtement contrôlé). Le signal mesuré, après un nouveau filtrage est ensuite tracé sur papier et/ou stocké sur bande magnétique. La température du revêtement est régulièrement mesurée. Les points de repère (par exemple: joints, fissures, kilométrage, etc.) sont également relevés. L'interprétation comporte l'appréciation du tracé ainsi que de l'amplitude du signal mesuré.

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

Le travail est effectué avec une équipe de deux hommes dûment instruits. La mesure est effectuée à une vitesse de 3 à 4 km/h, réglée selon l'état de la surface du revêtement. En fonction des conditions locales, il faut prévoir soit l'accompagnement par un véhicule de sécurité, soit la fermeture de la piste (tracés avec visibilité limitée).

Les valeurs brutes mesurées sont saisies sur papier et/ou sur bande magnétique pendant la course, pour être ensuite exploitées au bureau (rapport, tableaux, graphiques et statistiques). Si nécessaire le profil de déflexion relevé peut être établi à une échelle appropriée. Les résultats de l'appréciation (caractéristiques des plaques, état des joints, etc.) peuvent être étudiés et stockés dans une banque de données électronique.

Coût: Fr. 350.- à 750.- par kilomètre, en fonction du type et de l'importance des mesures ainsi que des exigences pour la représentation graphique.

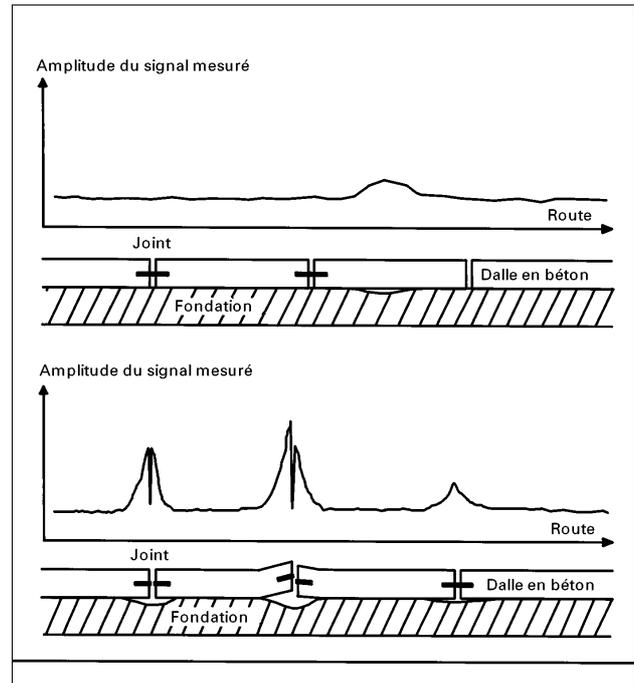
Appréciation

Appareil éprouvé pour le relevé en continu de la déflexion dynamique. Le procédé fournit, en particulier pour les routes en béton, de nombreuses informations. La circulation à petite vitesse pour les mesures provoque des entraves à la circulation.

Pour l'exploitation des mesures et l'établissement du rapport, il faut compter deux à trois jours de travail.

Bibliographie

1. Le collographe; Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées, numéro 126, 1983; description de l'appareillage.
2. S.A.C.R. SA, Ecublens/Zurich: Documentation.



Résultats des mesures du collographe LCPC

Défectographe Lacroix

Informations générales

Véhicule de mesure permettant de déterminer la portance de la superstructure d'une route, par la mesure de la déflexion lors de passages à vitesse réduite. Le système est particulièrement bien adapté pour la saisie de la portance en continu, soit comme base pour l'appréciation de la portance selon bibliographie 1, soit pour la détermination des renforcements nécessaires pour les revêtements bitumineux selon bibliographie 2.



Défectographe Lacroix

Domaine d'application

- Mesures avec un maillage serré des valeurs de la déflexion de tronçons routiers complets.
- Saisie de données en vue de la détermination de l'épaisseur du renforcement nécessaire.
- Découpage de la route en tronçons «homogènes» pour la planification des mesures de renforcement nécessaires.
- Contrôle de l'homogénéité des différentes couches d'une chaussée en béton.

Caractéristiques recherchées

- Déflexion de la surface d'une chaussée, en tant que caractéristique de sa portance.

Principe de mesurage / interprétation

Les déplacements verticaux déterminant la déflexion sont mesurés par des capteurs disposés sur un cadre fixé au châssis par un dispositif assurant sa liberté de mouvement dans le sens longitudinal et dans le sens vertical. La mesure est effectuée dans le trajet des deux roues jumelées, avec une charge normalisée de 5 ou de 6.5 t (charge d'essieu de 10 ou 13 t). Les capteurs agissent tout d'abord sur un bras mobile qui, par rotation, transforme le signal en un déplacement vertical correspondant à la déflexion de la pointe de contact. L'intervalle des mesures de la déflexion, sous chaque trajet des roues jumelées, est de 4 à 6 m selon le type de déflectographe. A côté de la mesure de la déflexion maximale, l'inflexion de la courbe des déflexions est également représentée.

La température de la surface de la route est mesurée avec une sonde à infrarouge.

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

Le travail est exécuté par une équipe de deux hommes dûment formés. Les mesures sont effectuées à une vitesse de circulation de 2 à 4 km/h. Lors de mesures avec une charge d'essieu de 13 tonnes, une autorisation spéciale est nécessaire.

En fonction des conditions locales, il est nécessaire de prévoir soit l'accompagnement par un véhicule de sécurité, soit la fermeture de la piste pour les routes à fort trafic.

Les mesures brutes sont saisies sur disquettes pendant la course de mesure, pour être ensuite exploitée au bureau sous forme de rapport, graphiques et statistiques. Les mesures exploitées peuvent être conservées dans une banque de données électronique.

Coût: Fr. 500.- à 700.- par kilomètre contrôlé, selon le type et l'étendue des mesures.

Appréciation

Appareillage de mesure éprouvé pour le relevé d'un grand nombre de mesures de déflexion. Pour les routes en béton, l'installation est de moindre intérêt (très petites valeurs de la déflexion/tassements, larges inflexions de la courbe des déflexions).

La circulation à petite vitesse pour les mesures provoque des entraves à la circulation.

Pour l'exploitation des mesures et l'établissement du rapport, il faut compter un à trois jours de travail par jour de mesure.

Bibliographie

1. VSS: SN 640 925, Relevé et évaluation de l'état des routes; 1990.
2. VSS: SN 640 738, Réparations et réfections des chaussées, Renforcement de la superstructure avec matériaux hydrocarbonés; 1977.
3. EVED: Etude des méthodes d'auscultation et d'observation des chaussées, EVED-Rapport de recherche 166, 1988.
4. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris: Documentation.
5. S.A.C.R. SA, Ecublens/Zurich: Documentation.



Défectographe Lacroix; détail de l'équipement de mesure

Mesure de la déflexion avec mouton

Informations générales

L'essai n'est pas normalisé. L'équipement est monté sur une remorque pour la mesure de la portance de façon non destructive. L'essai est approprié pour caractériser la portance, la détermination des couches de renforcement nécessaires ainsi que pour vérifier l'état des différentes couches de la superstructure et de la fondation.

Domaine d'application

- Recherche de la portance d'éléments déterminés.
- Etablissement de données pour la détermination des renforcements.
- Découpage de la route en tronçons «homogènes» pour la planification des mesures de renforcement nécessaires.
- Contrôle de l'état des différentes couches d'une chaussée.

Caractéristiques recherchées

- Valeur de la déflexion sous l'impulsion d'une charge dynamique.
- Modules d'élasticité des différentes couches.

Principe de mesure

On laisse tomber, d'une hauteur déterminée, une masse de grandeur variable (mouton) sur une plaque de charge disposée sur la chaussée. L'impulsion ainsi créée simule bien l'effet d'une charge roulante en ce qui concerne la force exercée et la durée de la sollicitation. L'équipement de mesure comprend d'une part un appareil pour mesurer la force exercée et d'autre part des géophones qui, placés à différentes distances du point de chute, saisisent les déplacements verticaux des différents points de mesure (valeurs de la déflexion).

Interprétation

Pour l'interprétation, l'appréciation de l'état des différentes couches résulte du calcul des modules d'élasticité des couches à partir de l'inflexion de la courbe des déflexions. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître l'épaisseur de toutes les couches, de même que la température dans les couches liées au bitume.

Déroulement du travail
(Utilisation des appareils et coûts)



Appareillage pour la mesure de la déflexion par mouton en cours de mesure

Le travail est exécuté par une équipe de deux hommes dûment instruits. Pour l'exécution d'une mesure (un cycle de charge), le véhicule de mesure (voiture légère avec remorque) doit s'arrêter durant 2 minutes environ. Le contrôle du stationnement est effectué depuis la voiture tractrice. Celle-ci contient également l'appareillage de commande ainsi que l'unité pour la saisie et l'exploitation des données (Personal-Computer). Les mesures brutes sont stockées sur un support électronique. L'exploitation de ces valeurs est effectuée au bureau (calculs des modules d'élasticité à partir de formules et modèles spéciaux). Les mesures exploitées sont présentées sous forme de rapport comprenant des tableaux, des graphiques et des statistiques. Par ailleurs ces résultats peuvent être stockés dans une banque de données électronique. Un véhicule de sécurité est nécessaire en fonction des conditions locales, le cas échéant la fermeture d'une piste peut s'avérer nécessaire pour les routes à fort trafic.

Coût: à partir d'environ Fr. 5'000.- par jour de mesure (capacité de mesure journalière: environ 300 points).

Appréciation

Procédé performant et offrant un vaste champ d'application pour des recherches détaillées sur l'état de la structure des revêtements routiers.

Circulation entravée du fait de l'arrêt nécessaire pour effectuer les mesures.

Exploitation des résultats et préparation du rapport: de deux jours à une semaine par jour de mesure, en fonction de l'importance de l'interprétation demandée.

Bibliographie

1. EVED: Etude des méthodes d'auscultation et d'observation des chaussées, EVED-Rapport de recherche 166, 1988.
2. Dynatest Engineering A/S, Vedbaek, DK: Documentation de la société.
3. KUAB Konsult & Utveckling, Rättvik, S: Documentation de la société.
4. A/S Phoenix, Vejen, DK: Documentation de la société.

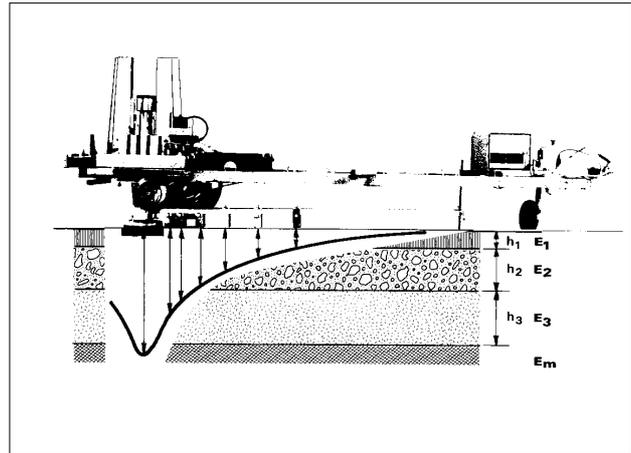


Schéma du fonctionnement de l'appareillage de mesure de la déflexion par mouton

SRM 91, Mesure du frottement (Stuttgarter Reibungsmesser nouvelle version)

Informations générales

Véhicule de mesure pour le contrôle de la qualité antidérapante, par la mesure du frottement lors de course rapide. Système adéquat pour la saisie en continu de la qualité antidérapante, conformément aux documents cités sous bibl. 1. et bibl. 2.

Domaine d'application

- Contrôles systématiques de la qualité antidérapante de réseaux routiers complets.
- Contrôles de travaux.
- Expertises en cas d'accidents.

Caractéristiques recherchées

- Coefficient de frottement de la chaussée mouillée, avec roues bloquées ou freinées.

Principe de mesurage / interprétation

La mesure est effectuée avec un véhicule lourd spécial, tractant des roues de mesures dans les deux traces de roues de la route. Le mode d'action des deux roues de mesure, normalement équipées avec les pneus de mesure AIPCR, correspond à celui de l'appareil Skiddomètre (SN 640 510b). C'est-à-dire que des mesures sont possibles, tant avec la roue de mesure bloquée, qu'avec un patinage constant (environ 14 %). L'eau d'arrosage est transportée dans une citerne chargée sur le véhicule. L'arrosage conforme à la norme est assuré par une pompe. La détermination du coefficient de frottement s'effectue par la mesure de l'effort sur la roue.

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

Le travail est exécuté par une équipe de deux hommes, dûment instruits. Le coefficient de frottement est mesuré en continu, jusqu'à une vitesse de 120 km/h. Pour les mesures à une vitesse supérieure à 80 km/h, une autorisation spéciale est nécessaire.

Les mesures brutes sont stockées sur un support électronique pendant la course de mesure, pour être ensuite exploitées au bureau (rapport avec tableaux, graphiques et statistiques). Les mesures mises en valeur peuvent être stockées dans une banque de données.



Véhicule de mesure SRM



Véhicule SRM vu de l'arrière, panneau de signalisation et roue de mesure

Coût: aucune valeur n'est encore disponible pour l'instant (mise en service du véhicule de mesure en Suisse: en 1992).

Appréciation

Appareillage permettant la saisie rapide et sans entrave pour la circulation, de la qualité antidérapante de tronçons de chaussées, simultanément dans les deux traces de roues de la route. La capacité de la citerne d'eau (jusqu'à 4'000 l) assure une grande capacité de mesure.

Pour l'exploitation des résultats d'une journée de mesure, il faut compter deux à trois jours de travail.

Bibliographie

1. VSS: SN 640 510b, Qualité antidérapante, méthode de mesure; 1986.
2. VSS: SN 649 925, Relevé et évaluation de l'état des routes.
3. Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau ETHZ: Interne Dokumentation.



SRM, roue de mesure

Notes personnelles

4. Réseaux de conduites

	Page
Réseaux de conduites, définition et délimitation	135
4.1 Démarche pour l'auscultation des réseaux de conduites	136
4.2 Vue d'ensemble des techniques d'auscultation	141
4.3 Fiches techniques des méthodes d'auscultation	149

Indication

D'autres informations pour l'auscultation de structures qui font partie de réseaux de conduites (ouvrages spéciaux, réservoirs, installations de répartition, etc.) sont données dans le chapitre 2. Structures.

Lors de l'auscultation de réseaux de conduites, il est toujours nécessaire de tenir compte des lois, des prescriptions et des directives des associations professionnelles et des institutions concernées (IFICF, IFP, PTT, ASE, Services électriques, SSIGE, etc.). L'ingénieur chargé de la coordination et de la conduite des auscultations est responsable de faire respecter toutes les directives concernées.

Notes personnelles

4. Réseaux de conduites

Réseaux de conduites, définition et délimitation

Dans le cadre du présent manuel, la notion de réseaux de conduites est employée pour des conduites enterrées situées à l'extérieur des bâtiments. Ce sont des réseaux d'approvisionnement et d'évacuation, et ils constituent des réseaux souterrains ramifiés très étendus. Le nombre des participants intervenant pour leur réalisation est en général limité. Le projet et l'exécution de réseaux de conduites sont fortement standardisés. Il est nécessaire de se conformer aux lois ainsi qu'aux prescriptions et directives de diverses organisations. Les réseaux de conduites sont, selon leur exploitation, exposés à des usures très différentes. Leur durée de vie est toutefois comparable à celle des structures (50 à 100 ans), ceci si l'on fait abstraction des sollicitations accrues consécutives à l'augmentation de l'utilisation. Pour la réalisation ou le renouvellement de réseaux de conduites, les coûts des conduites elles-mêmes sont en règle générale faibles en comparaison des coûts des fouilles et de la remise en état des chaussées. Pour l'exploitation et l'entretien il existe en général des responsables exploitants et propriétaires bien définis. Des problèmes apparaissent, dans la majorité des cas, à cause de la proximité dans un espace restreint de divers réseaux et des compétences des divers responsables dont la coordination donne lieu à des difficultés.

Les réseaux de conduites sont difficilement accessibles pour l'auscultation. Par ailleurs il faut aussi considérer les exigences liées aux perturbations de l'exploitation, et ceci non seulement pour le réseau lui-même mais souvent aussi pour le trafic dans la zone du réseau.

Le manuel donne des indications pour l'auscultation des canalisations et des réseaux de distribution d'eau et de gaz (avec limitation aux conduites sans protection cathodique). Vu le grand nombre de types de réseaux (par exemple: chauffage à distance, électricité, téléphone, radio et télévision, mise à terre, etc.) une limitation était indispensable. Les réseaux traités dans le présent manuel représentent un volume d'investissement considérable, réparti sur un grand nombre de maîtres d'ouvrages (communes, entreprises, associations d'intérêts, etc.). Pour la maintenance (surveillance, entretien et renouvellement) de ces réseaux, il est aussi plus souvent fait appel à des bureaux d'ingénieurs privés que pour les autres réseaux.

4.1 Démarche pour l'auscultation des réseaux de conduites

Introduction

Les réseaux de conduites enterrées servent au transport de gaz et de liquides et représentent, avec les autres équipements d'infrastructure, un élément important de notre vie. Pour assurer à l'industrie, aux ménages et à l'artisanat une alimentation sûre, de qualité, à la pression de service nécessaire et en quantité constamment suffisante, il faut que les réseaux de distribution soient maintenus dans un état optimal. Une surveillance régulière et avec des objectifs précis est de ce fait importante pour toutes les sociétés de distribution.

Pertes

Les réseaux de canalisations enterrées échappent à la surveillance visuelle directe. La durée de vie prévue pour ces installations est de 50 à 80 ans.

Du fait de diverses influences telles que l'âge, la corrosion, les courants vagabonds, les sollicitations organiques ou galvaniques, les tassements et les contraintes, etc., les réseaux de canalisations perdent leur étanchéité.

De telles fuites et les pertes qui en résultent sont inévitables. On s'efforcera cependant constamment de les minimiser, ceci pour des raisons de sécurité générale, de sécurité de l'approvisionnement et du devoir d'entretien. La signification économique et écologique de cette lutte contre les pertes est aujourd'hui plus importante que jamais. L'eau, en tant qu'aliment, n'est disponible qu'en quantité limitée qui ne peut être augmentée. Les pertes de gaz provoquent en premier lieu un problème de sécurité, mais il faut aussi les éviter pour des raisons écologiques (le méthane contribue de manière importante à l'effet de serre). La protection de l'environnement est devenue primordiale dès qu'il s'agit d'éléments dangereux pour l'environnement (gaz ou liquides). Les exigences en vigueur sont basées sur ces dangers.

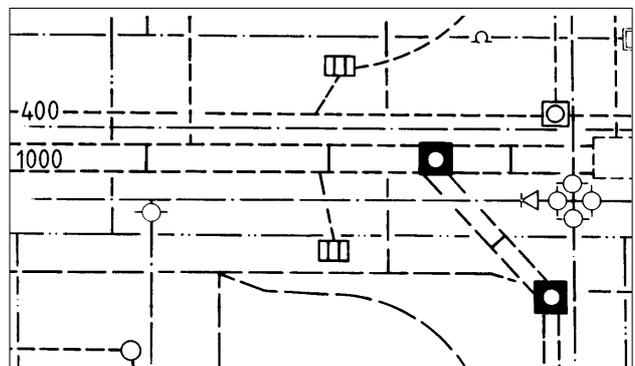
Problématique de la détection des fuites

De nombreux procédés permettent, avec plus ou moins de succès, de détecter et de localiser les pertes. Des pertes graves et soudaines sont le plus souvent vite décelées et réparées. Les pertes faibles ou moyennes ne sont constatées que lors de recherches systématiques ou par des informations. Pour l'auscultation des différents réseaux de conduites, les techniques applicables sont sem-

L'exposé «Démarche pour l'auscultation des réseaux de conduites» traite en premier lieu des réseaux de distribution d'eau et de gaz à basse pression. Les commentaires sont cependant également valables pour d'autres réseaux de conduites enterrées, par exemple pour le transport de liquides ou de gaz dangereux pour l'environnement; dans de tels cas on prendra en considération des exigences plus élevées. Les réseaux de canalisations ne sont en général pas sous pression et, pour diverses raisons, ils peuvent être réalisés avec des tuyaux de matières très différentes. L'auscultation des réseaux de canalisations est actuellement effectuée presque exclusivement avec la caméra de télévision pour canalisations ou par visite directe. La fiche technique «Caméra de télévision pour canalisations» (p. 152) donne de nombreuses informations à ce sujet.



Les conduites enterrées sont difficilement accessibles



Des plans mis à jour d'un réseau sont les conditions préalables à toute mesure de maintenance

blables. Grâce à la miniaturisation actuelle des appareils électroniques, le développement des possibilités d'investigations des réseaux avec des robots intelligents se généralise.

Analyse d'un réseau de conduites

Une étude systématique des pertes est une condition préalable à l'assainissement d'un réseau. Une première étape porte sur l'analyse comparative, par secteurs géographiques, des variations des consommations locales par rapport aux consommations moyennes. Si les moyens de surveillance du réseau sont insuffisants, il faut les développer. L'étape suivante pour la localisation rapide de défauts consiste à installer, de manière permanente, des postes de mesure permettant de localiser les pertes par zones de dimensions réduites. Il est alors possible de procéder rapidement et de façon précise à une analyse fine, par mesure de la «consommation nulle». Pour les conduites de gaz, la détection des fuites avec des appareils «renifleurs» (détecteurs de traces de gaz) prend une grande importance.

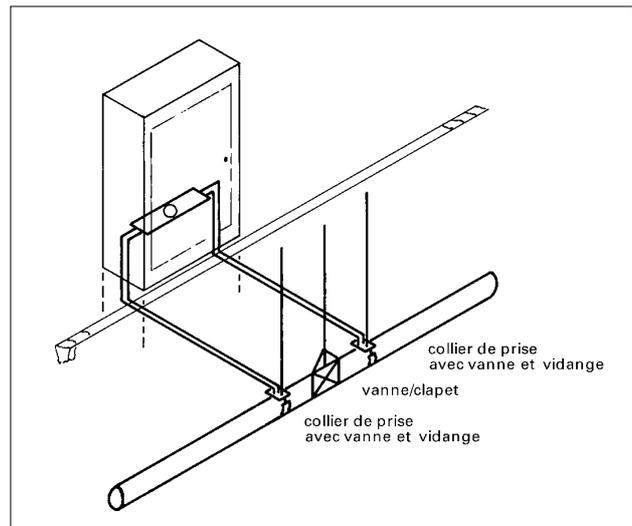
Lors de la surveillance de réseaux de conduites enterrées, il faut donner autant d'importance à la recherche des causes des dégâts qu'à leur localisation. Beaucoup de dégâts sont imputables à la corrosion (voir «Corrosion dans les réseaux de conduites») due au sol (conditions électrochimiques défavorables) ou à d'autres conditions marginales à proximité de la conduite (courants vagabonds, formation de macro-éléments avec les structures en béton armé, etc.). De nombreux dégâts (par exemple dégâts de tassements) sont dus aux caractéristiques du sol. Dans le cadre de la surveillance, on exécute donc des recherches spécifiques (par exemple sondages, mesures de la conductibilité du sol, mesures des courants vagabonds et du potentiel de corrosion, etc.).

Mesures d'organisation

Lors d'une étude d'extension d'un réseau, il faut prendre toutes les mesures préventives possibles pour éviter les pertes (voir «Construction neuve et surveillance»). L'entreprise de distribution joue dans ce cas un rôle essentiel. Les points faibles du système peuvent être analysés avec l'aide des bilans de consommation, de la documentation sur le réseau et des données sur les dégâts.

Année	eau de sources 1000 m3	eau de la nappe 1000 m3	total en 1000 m3	vente en 1000 m3	perte en 1000 m3
1983	255	171	426	290	136
1984	280	190	470	329	141
1985	300	205	505	375	130
1986	310	120	430	336	94
1987	344	230	574	414	160
1988	345	251	596	477	119
1989	305	178	483	411	72
1990	310	295	605	527	78

Les statistiques des consommations représentent une donnée importante pour la lutte contre les pertes



Plan d'une installation permanente de mesure. Les installations permanentes de mesure fournissent des données importantes pour la première analyse

Notes personnelles

Notes personnelles

Notes personnelles

4.2 Vue d'ensemble des techniques d'auscultation

	Page
Informations pour la consultation des tableaux de la vue d'ensemble	143
Liste des tableaux:	
Canalisations (≥ 800 mm)	144
Canalisations (< 800 mm)	145
Conduites de distribution d'eau	146
Conduites de distribution de gaz	147

Lors de l'auscultation de réseaux de conduites, il est toujours nécessaire de tenir compte des lois, des prescriptions et des directives des associations professionnelles et des institutions concernées (IFICF, IFP, PTT, ASE, Services électriques, SSIGE, etc.). L'ingénieur chargé de la coordination et de la conduite des auscultations est responsable de faire respecter toutes les directives concernées.

Notes personnelles

Informations pour la consultation des tableaux de la vue d'ensemble

Les tableaux donnent une vue d'ensemble des techniques d'auscultation disponibles pour l'examen d'une partie d'ouvrage ou d'un matériau déterminé. Il a été tenté de considérer, pour autant que possible, toutes les méthodes d'auscultation utilisables dans la pratique. Toutefois, dans quelques cas particuliers, il est fait mention de techniques d'auscultation dont l'utilisation pratique est restreinte. Il apparaît aussi dans ces tableaux si d'autres données sur une technique mentionnée sont contenues dans le manuel, et où elles peuvent être trouvées.

Renvoi aux fiches techniques

Les techniques d'auscultation décrites de façon plus détaillée dans les fiches techniques sont soulignées dans les tableaux de cette vue d'ensemble. Un renvoi (●) disposé à côté de la technique d'auscultation considérée indique le numéro de la page de la fiche technique correspondante.

Techniques d'auscultation simples

Les techniques d'auscultation simples qui peuvent être déjà utilisées par l'ingénieur lors d'un premier examen visuel sont mises en évidence par des caractères gras dans les tableaux de cette vue d'ensemble.

Essais de laboratoire

Les essais qui, en règle générale, sont effectués par des spécialistes en laboratoire, sont imprimés en *caractères italiques*. Ces techniques d'auscultation sont en général des techniques destructives, ceci du fait de la nécessité de prélèvements d'échantillons dans l'ouvrage.

Techniques d'auscultation d'intérêt restreint

Les techniques d'auscultation mises entre parenthèses dans cette vue d'ensemble, n'ont qu'un intérêt pratique restreint. Ces techniques d'auscultation sont en général d'un coût relativement élevé et leur interprétation est discutable. De telles techniques d'auscultation peuvent toutefois apporter, dans certains cas particuliers, une contribution à une meilleure appréciation d'un problème.

4. Réseaux de conduites

 Objet de l'auscultation:
 Canalisations (accessibles, $\varnothing \geq 800$ mm)

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Dégâts des tuyaux	<u>Visite</u> / Examen visuel ♦ p. 154 Essai de coloration	
Dégâts des joints	<u>Visite</u> / Examen visuel ♦ p. 154 Essai de coloration	
Dépôts	<u>Visite</u> / Examen visuel ♦ p. 154	
Branchements	<u>Visite</u> / Examen visuel ♦ p. 154 <u>Caméra de télévision</u> ¹⁾ ♦ p. 152 Essai de rinçage	
Étanchéité	<u>Visite</u> / Examen visuel ♦ p. 154 Essai de pression Essai de coloration Obturateur double	
Déformations	Nivellement Nivellement hydrostatique Inclinomètre Mesure de profil	

1) Conditions générales et prestations pour le contrôle par caméra de télévision, VSA 1986 (en cours de révision)

2) Norme SIA 190, Canalisations

Objet de l'auscultation:
Canalisations (non accessibles, Ø < 800 mm, à écoulement à nappe libre)

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation	
	non destructive	destructive [impact sur l'ouvrage]
Dégâts des tuyaux	<u>Caméra de télévision</u> ¹⁾ ‣ p. 152 Robot pour canalisations Essai de coloration	
Dégâts des joints	<u>Caméra de télévision</u> ¹⁾ ‣ p. 152 Chariot (calibrage) Essai de coloration	
Dépôts	<u>Caméra de télévision</u> ¹⁾ ‣ p. 152 Contrôle par miroirs	
Branchements	<u>Caméra de télévision</u> ¹⁾ ‣ p. 152 Essai de rinçage	Caméra de télévision [accès spécial] ¹⁾
Etanchéité	Essai de pression ²⁾ Chariot à double chambre Essai de coloration Obturbateur double	

1) *Conditions générales et prestations pour le contrôle par caméra de télévision, VSA 1986 (en cours de révision)*

2) *Norme SIA 190, Canalisations*

Avec les moyens connus, les canalisations sous pression ne peuvent être auscultées que de façon très limitée.

Objet de l'auscultation:
Conduites de distribution d'eau

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation non destructive
Analyse des pertes	<p> Mesure de la consommation nocturne ♦ p. 156 Mesure des pertes par grands secteurs¹⁾ ♦ p. 158 Mesure des pertes par petits secteurs ♦ p. 160 Mesure de la consommation nulle ♦ p. 160 Essai de pression par secteurs ♦ p. 160 Méthode acoustique de contrôle des pertes ♦ p. 162 Repérage acoustique des pertes depuis la surface ♦ p. 164 Méthode par corrélation acoustique ♦ p. 166 Méthode par variation des pressions Méthode par variation des débits Méthode par variation des débits et corrélation Comparaison avec la consommation ¹⁾ Méthode par onde de pression ¹⁾ Méthode avec chariot Essai de pression Méthode par mesure des débits d'entrée et de sortie </p>
Localisation des pertes	<p> Repérage acoustique des pertes depuis la surface ♦ p. 164 Méthode par corrélation acoustique ♦ p. 166 Détermination des volumes Méthode par insufflation d'air Méthode par insufflation de gaz (Hélium) Méthode avec chariot et chute de pression¹⁾ Chariot avec hydrophone et enregistreur ¹⁾ </p>
Etat des conduites Corrosion	<p> Chariot «intelligent» Mesure de potentiel ²⁾ Caméra de télévision pour canalisations Examen du sol </p>
Etat des conduites Déformations	<p> Calibrage avec chariot¹⁾ Examen du sol </p>

1) Les impacts sur l'ouvrage dépendent du mode de construction de la partie du réseau concernée (branchements, regards d'accès pour les appareils, etc.)

2) Pour conduites métalliques

Des indications en ce qui concerne le problème de la corrosion de conduites métalliques sont données dans la fiche technique «[Corrosion dans les réseaux de conduites](#)». ♦ p. 170

Objet de l'auscultation:
 Conduites de distribution de gaz (basse pression)

Les réseaux de conduites de distribution de gaz faisant l'objet de ce tableau traitent des réseaux à basse pression, exécutés sans protection cathodique.

Caractéristique recherchée ou élément examiné	Technique d'auscultation non destructive
Analyse des pertes	Mesure de la consommation (selon l'équipement du réseau, il est aussi possible d'utiliser des méthodes analogues à celles utilisées pour les conduites d'alimentation en eau: <u>mesure de la consommation nocturne</u> ♦ p. 156 <u>mesure des pertes par grands secteurs</u> ♦ p. 158 etc. Essai de pression Chariot
Localisation des pertes	<u>Méthode acoustique de contrôle des pertes</u> ♦ p. 162 <u>Localisation des fuites avec le détecteur de gaz, avec trou de sondage</u> ♦ p. 168 <u>avec sonde aspirante, traceur de fuite</u> ♦ p. 158
Etat des conduites Corrosion	Chariot «intelligent» <u>Mesure de potentiel</u> ¹⁾ <u>Examen visuel</u> [fouille] Examen du sol
Etat des conduites Déformations	Chariot spécial pour mesures Radiographie Ultrasons Examen du sol Essai de flexion [prélèvement d'un tronçon de conduite]

1) *Pour conduites métalliques*

Des indications en ce qui concerne le problème de la corrosion de conduites métalliques sont données dans la fiche technique «Corrosion dans les réseaux de conduites». ♦ p. 170

Notes personnelles

4.3 Fiches techniques des méthodes d'auscultation

	Page
Informations pour l'utilisation des fiches techniques	151
Liste des fiches techniques:	
Réseaux de canalisations:	
Caméra de télévision pour canalisations	152
Visite de canalisations de $\varnothing \geq 800$ mm	154
Réseaux de distribution d'eau:	
Mesure de la consommation nocturne	156
Mesure des pertes par grands secteurs	158
Mesure des pertes par petits secteurs avec by-pass	160
Mise en pression par secteurs, Mesure de la consommation nulle	
Méthode acoustique de contrôle des pertes	162
Repérage acoustique des pertes depuis la surface	164
Méthode par corrélation acoustique	166
Réseaux de distribution de gaz:	
Localisation des fuites avec le détecteur de gaz	168
Corrosion:	
Corrosion dans les réseaux de conduites	170

Lors de l'auscultation de réseaux de conduite il est toujours nécessaire de tenir compte des lois, des prescriptions et des directives des associations professionnelles et des institutions concernées (IFICF, IFP, PTT, ASE, Services électriques, SSIGE, etc.). L'ingénieur chargé de la coordination et de la conduite des auscultations est responsable de faire respecter toutes les directives concernées.

Notes personnelles

Informations pour l'utilisation des fiches techniques

A part quelques exceptions, toutes les fiches techniques sont établies selon le même schéma. La recherche des informations souhaitées est ainsi simplifiée. Des commentaires sur les différentes rubriques des fiches sont donnés ci-dessous. Ces commentaires ont aussi servi de fil conducteur pour l'établissement des fiches. Les informations données n'ont pas été établies dans l'esprit de servir de mode d'emploi pour la pratique ou l'utilisation des appareils; elles doivent toutefois pouvoir aider l'ingénieur chargé de l'auscultation d'un ouvrage à trouver les bons «outils». Les fiches techniques contiennent les informations nécessaires à l'ingénieur dans son travail de coordination lorsqu'il est nécessaire de faire appel à des spécialistes.

Informations générales

La méthode est-elle normalisée?
Non destructive/destructive?
Essai sur l'ouvrage/en laboratoire?

Déroulement du travail (utilisation des appareils et coûts)

Équipement, appareils, équipe de mesures,
exigences requises des équipes de mesures?
Nécessité de raccordement en eau, électricité?
Autres conditions;
intempéries, accessibilité, etc.?

Domaine d'application

Matériaux.
Partie d'ouvrage.
Type de construction.

Description du déroulement du travail (travaux préparatoires, emploi des appareils, évaluation, etc.) et perturbations éventuelles de l'exploitation.

Coût (ordre de grandeur).

Caractéristiques recherchées

Sur quelles caractéristiques peut-on obtenir des informations?
Les informations sont-elles directes ou indirectes?
Les informations sont-elles qualitatives ou quantitatives (précision), ponctuelles ou étendues?

Appréciation

Domaine d'utilisation?
Limites d'utilisation?
Délais nécessaires jusqu'à l'obtention des résultats?
Nécessité d'essais d'accompagnement?
Essais complémentaires pour préciser les résultats?
Rapport coût/utilité?

Principe de mesurage

Description du principe de mesure.
Quels sont les résultats des mesures, quels sont les facteurs d'influence?

Bibliographie

Principales références bibliographiques pour l'obtention de renseignements complémentaires.

Interprétation

Comment obtient-on la caractéristique recherchée à partir des résultats des mesures?
Difficulté et signification de l'interprétation.
Risques d'erreur d'interprétation.
Reproductibilité, dispersion.

Caméra de télévision pour canalisations

Informations générales

Pour les investigations dans les canalisations avec la caméra de télévision, l'ASPEE a établi un catalogue de prestations avec des exigences générales.

Domaine d'application

La caméra de télévision pour canalisations est mise en œuvre pour l'investigation des canalisations de Ø 200 à 700 mm et des raccordements aux immeubles de Ø 100 à 300 mm. L'application est possible pour n'importe quel type de matériau des canalisations.

Caractéristiques recherchées

Avec la caméra de télévision pour canalisations, l'opérateur peut observer l'intérieur d'une portion de la canalisation. L'état de cette portion peut ainsi être évalué, en distinguant les défauts particuliers suivants:

- dégâts mécaniques;
- présence de racines;
- zones non étanches;
- branchements saillants ou mal exécutés.

Principe de mesurage / Interprétation

L'équipement est constitué par une caméra vidéo montée sur une luge mobile. La caméra se déplace à l'intérieur de la canalisation sur cette luge mobile télécommandée. La caméra, l'objectif et la luge doivent être choisis en fonction du diamètre de la canalisation. Le relevé est conservé sur bande magnétique, permettant ainsi, en tous temps, la comparaison avec le relevé précédent. Une première interprétation est possible immédiatement à partir du moniteur situé dans la voiture de commande. La localisation des points relevés est possible avec une précision de l'ordre de ± 20 cm.

Déroulement du travail (Utilisation des appareils et coûts)

Une présentation détaillée de l'équipement d'une caméra de télévision pour canalisations se trouve dans les «Conditions générales et prestations pour les contrôles par caméra de télévision pour canalisations» de l'ASPEE. Du fait de l'équipement spécial nécessaire, on doit recourir à une entreprise spécialisée et équipée en conséquence. Les exigences (bibl. 1) fixent une longueur de câble pour



Véhicule pour caméra de télévision pour canalisations



Véhicule pour caméra de télévision pour canalisations en cours d'auscultation



Vue de l'intérieur d'un véhicule pour caméra de télévision pour canalisations

la caméra d'au moins 180 m. Pour l'identification du relevé, l'indication en surimpression de l'image de la date d'exécution, de la désignation de l'objet, de la distance et de la numérotation des photos est obligatoire; l'indication du diamètre de la canalisation et de la pente longitudinale est facultative. Pour le constat de dégâts ou de points particuliers, on utilise une caméra fixe, commandée directement à partir du moniteur. La voiture de mesure doit disposer de sa propre production de courant.

Une investigation avec la caméra de télévision pour canalisations doit être soigneusement préparée, il faut:

- réunir les plans et les documents disponibles;
- nettoyer la canalisation avant l'investigation;
- préparer les bases du procès-verbal.

L'interprétation doit être faite par un spécialiste ou par un ingénieur communal.

Pour les offres il est recommandé de se baser sur les conditions de l'ASPEE (offres comparables!). Les coûts de l'investigation proprement dite varient de Fr. 130.- à 170.- par heure d'engagement. La capacité journalière est, selon les circonstances, de 600 à 1'200 m de canalisations.

Appréciation

L'auscultation avec la caméra de télévision pour canalisations est souvent la seule méthode d'examen possible pour les canalisations. La méthode est éprouvée et, utilisée par des spécialistes correctement équipés, elle donne de bons résultats. L'interprétation des relevés requiert des spécialistes ou des ingénieurs expérimentés. L'interprétation ne devrait qu'exceptionnellement être confiée à la société qui fait le relevé.

Le rapport de l'auscultation avec les relevés vidéo doit être structuré en fonction de l'urgence des interventions nécessaires.

Selon les circonstances, des essais complémentaires sur le sol de fondation, le matériau de la canalisation et d'autres paramètres peuvent aider l'interprétation.

Bibliographie

1. ASPEE: Conditions générales et prestations pour les contrôles par caméra de télévision pour canalisations; 1986 (actuellement en révision).
2. Stein D., Niederehe W.: Instandhaltung von Kanalisationen; Ernst & Sohn, Berlin, 1987.

- Branchement
- Manchon
- Joint
- Paroi
- Fissure
- Trou
- Cassure
- Affaissement
- Courbe
- Retenue
- A gauche
- Voûte
- Radier
- A droite
- Longitudinalement
- Transversalement
- Léger
- Important

- Obstrué
- Libre
- Saillant
- Mauvaise insertion
- Mal nettoyé
- Pas nettoyé
- Délavé
- Rongé
- Cassé
- Calcifié
- Rouillé
- Racine
- Arrivée d'eau
- Armature
- Ancrage
- Visible
- Interruption TV

Éléments distincts d'un rapport d'auscultation



Images obtenues avec la caméra de télévision pour canalisations

Visite de canalisations de $\varnothing \geq 800$ mm

Informations générales

Les canalisations à partir d'un diamètre de 800 mm sont considérées comme accessibles à la circulation des personnes. L'inspection est effectuée lors de visites.

Domaine d'application

Tous les types de tuyaux se prêtent à l'inspection des canalisations par visites.

Caractéristiques recherchées

Les caractéristiques étudiées et leurs interprétations sont identiques à celles recherchées avec la caméra de télévision pour canalisations.

Principe de mesurage / Interprétation

Les points à relever sont localisés par mesurage avec un mètre à ruban.

Pour le contrôle de la pente, on peut utiliser un niveau à laser.

Déroulement du travail

Lors de la visite de canalisations, il faut respecter les prescriptions et directives de sécurité (en particulier celles de la CNA).

Une investigation par visite demande également une bonne préparation:

- collecte des plans et documents disponibles;
- nettoyage de la canalisation;
- prévoir éventuellement la dérivation de la canalisation (éventuellement par pompage).

Le relevé des points particuliers et les observations qui s'y rapportent peuvent, de manière pratique, être dictés sur un enregistreur. Ces relevés sont ensuite évalués et interprétés au bureau, puis transcrits sur un procès-verbal.

Appréciation

Mêmes remarques que pour la caméra de télévision pour canalisations.

Bibliographie

1. ASPEE: Principes pour l'entretien des conduites et des installations des canalisations et des drains (en préparation).



Visite d'une canalisation

Notes personnelles

Mesure de la consommation nocturne

Informations générales

La comparaison des valeurs statistiques de la consommation d'eau et du pourcentage de perte avec les valeurs de l'année précédente permet une première analyse grossière en vue de la détection des pertes.

La mesure périodique pour les différentes zones de distribution de la consommation nocturne entre 02h00 et 04h00 permet la détection rapide des pertes d'eau et la vérification du résultat des réparations effectuées.

Domaine d'application

Le procédé est applicable dans tous les réseaux de distribution d'eau. Si le réseau n'est pas équipé d'installations de mesurage et d'enregistrement automatique, il est possible d'exécuter périodiquement des mesures isolées.

Caractéristiques recherchées

Mesure approximative des pertes dans des zones de distribution déterminées. Détection des variations de la consommation nocturne en tenant compte du jour de la semaine, de la saison et des consommateurs nocturnes.

Principe de mesurage

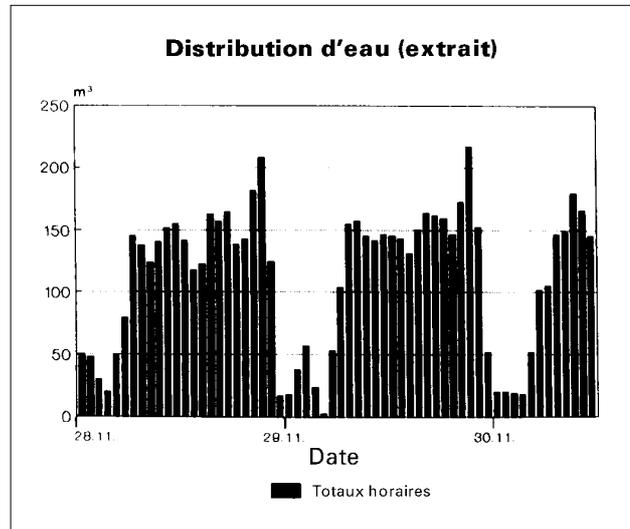
Les installations automatiques de mesure à distance pour la surveillance du réseau doivent permettre d'enregistrer le minimum et le maximum de la consommation journalière, ainsi que la consommation nocturne horaire, ceci pour les différentes zones de distribution.

Si ces installations de surveillance n'existent pas ou sont insuffisantes, les données sur la consommation sont établies à partir des niveaux des réservoirs ou de stations de mesure spécialement installées à cet effet.

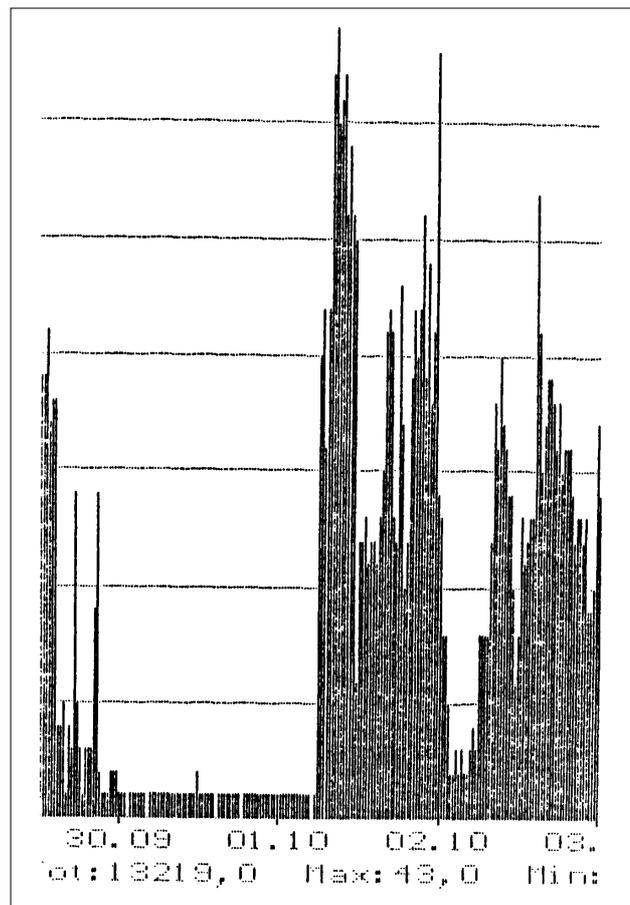
Interprétation

Les valeurs mesurées de la consommation nocturne sont comparées aux valeurs mesurées de manière identique lors de contrôles précédents, et avec un réseau intact.

Pour l'évaluation approximative de la valeur des pertes, la consommation nocturne normale ne de-



Graphique des consommations horaires



Mesure de la consommation nocturne, consommation par minute

vrait pas dépasser 1% de la valeur moyenne journalière. Lors des premières mesures, à part les valeurs de la consommation, il faut aussi relever la longueur des conduites, le nombre d'habitants, la densité de la population, la consommation journalière moyenne de la zone considérée, ainsi que toutes autres données nécessaires à l'interprétation des mesures.

En fonction de la densité de la population, on peut déduire de la consommation totale relevée 1 à 2 l/p h (par personne et par heure), ainsi que 90 à 120 l/h par km de conduite principale.

Lors de mesures instantanées dans des zones jusqu'à 2'500 habitants, on ne déduira que la perte par km de conduite principale.

Les réseaux de distribution d'eau, dont la perte calculée par km de conduite principale est inférieure à 2 – 3 l/min, sont considérés dans les limites de tolérance, soit sans perte.

Déroulement du travail

La consommation d'eau est mesurée pendant la période nocturne de faible consommation. Les heures idéales pour les mesures se situent entre 02h00 et 04h00. Les variations de niveau du réservoir sont mesurées toutes les 5 minutes, soit à l'indicateur de niveau, soit directement à partir du niveau de l'eau. En parallèle avec ces mesures de la consommation nocturne, il faut évaluer ou mesurer la consommation des consommateurs nocturnes tels que les industries, les bains, les hôpitaux, etc.

Lorsqu'on dispose de compteurs de débits dans le réservoir, les valeurs instantanées doivent être saisies avec des enregistreurs électroniques ou des appareils de collecte de données. Les consommateurs nocturnes devraient aussi être équipés de compteurs d'eau amovibles, avec enregistrement des données.

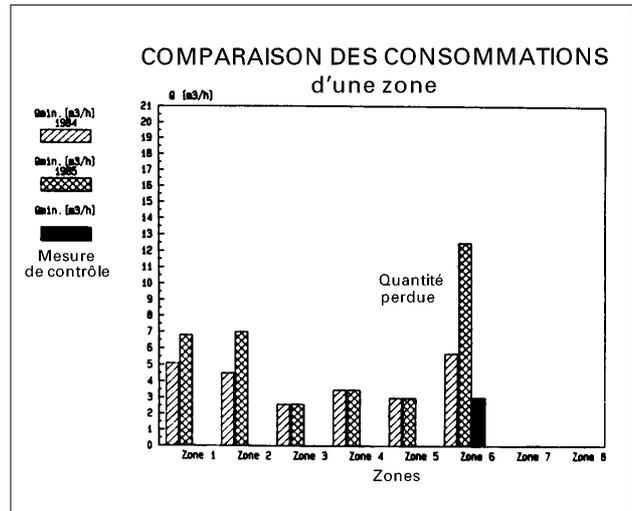
Les points de consommation continue devraient, pour autant que possible, être fermés. Si cela n'est pas possible, il faut déterminer la consommation exacte de ces points.

Appréciation

La mesure de la consommation nocturne est une méthode d'investigation simple et efficace pour la détection des pertes d'eau.

Bibliographie

1. Mutschmann J., Stimmelmayer F.: Taschenbuch der Wasserversorgungen; Achte Auflage, Stuttgart, 1983.



Comparaison des variations de la consommation

Mesure des pertes par grands secteurs

Informations générales

La mesure des pertes par grands secteurs permet la détection et la connaissance exacte des pertes d'eau dans des secteurs du réseau équipés pour être isolés.

Par grands secteurs on entend des réseaux avec 5 à 20 km de longueur de conduites principales et 2'000 à 3'000 habitants.

La saisie des mesures se fait à partir de valeurs instantanées ou à intervalles rapprochés. Pour ce faire, on doit disposer d'installations de mesure amovibles ainsi que de points de mesure fixes dans le réseau. Des contrôles et des mesures périodiques, répétés 2 à 3 nuits, permettent un contrôle optimal des pertes et une bonne analyse comparative des quantités.

Domaine d'utilisation

Le procédé s'applique à tous les réseaux préalablement découpés en secteurs bien déterminés et contrôlés.

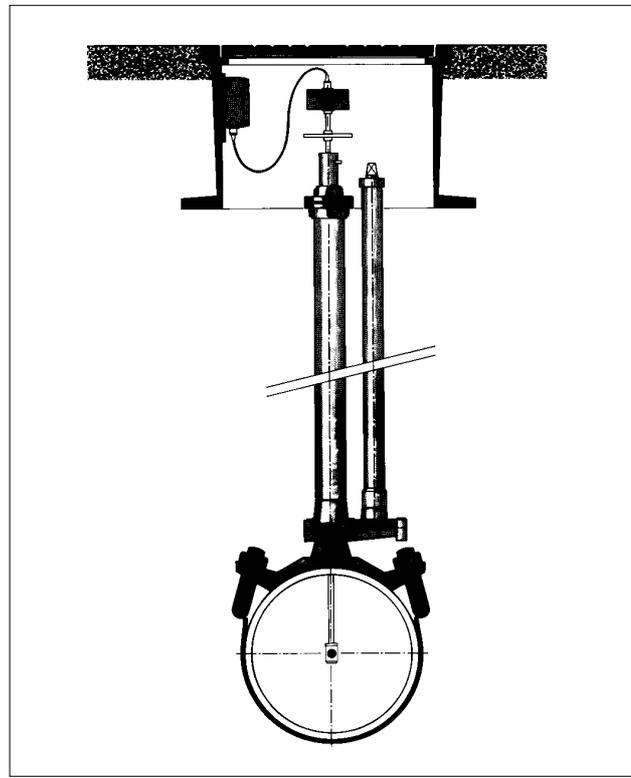
Caractéristiques recherchées

Détection rapide de pertes soudaines non décelables par des pertes de pression, des bruits ou des arrivées d'eau en surface.

Diminution de la durée des fuites par des contrôles périodiques. Analyse comparative des quantités lors de mesures ultérieures de pertes.

Principe de mesurage / Interprétation

Pour toutes les méthodes de mesure, il faut déterminer le débit exact, en l/min ou en m³/h. Des points de mesure fixes, installés sur le réseau et dans des regards, ainsi que des installations de mesure mobiles, conviennent pour ces mesures. Pour l'exécution de l'essai, l'eau est prélevée dans le réseau et introduite, au travers d'une installation de mesurage, dans la partie isolée du réseau. De ce point de mesure, on peut donc saisir et enregistrer la quantité totale consommée dans le secteur isolé. A la place d'appareils enregistreurs ou collecteurs de données disposés sur place, le transfert direct des valeurs mesurées à une centrale d'exploitation est possible si l'on dispose de l'infrastructure adéquate.



Installation fixe pour moulinet de mesurage des débits

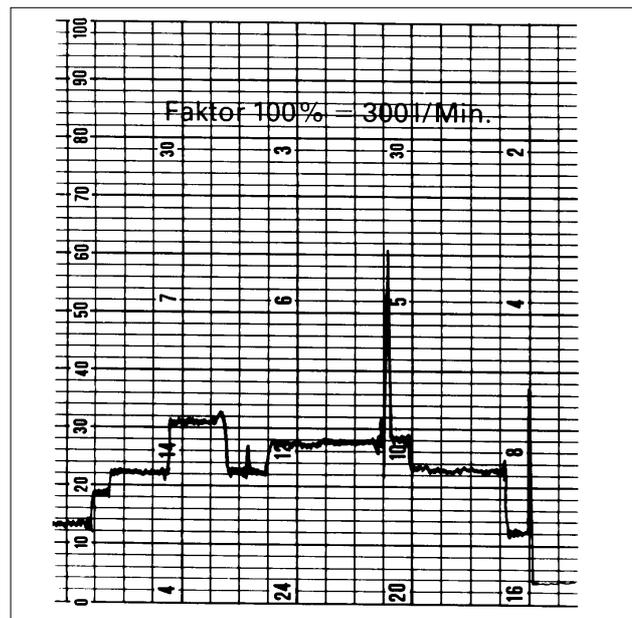


Diagramme des valeurs instantannées. Procès-verbal des débits présenté sous forme de courbe des mesures

Déroulement du travail

Les zones de mesure sont déterminées à partir d'un plan d'ensemble valable du réseau de distribution d'eau. Les gros utilisateurs, les consommateurs permanents, de même que les installations générales de distribution et de livraison de l'eau doivent être relevés. Les principales vannes et soupapes du secteur testé doivent être contrôlées du point de vue de leur étanchéité.

On calcule ensuite les consommations nocturnes maximales et minimales et on installe l'équipement de mesure des débits.

Les mesures proprement dites sont effectuées, selon le système de mesure choisi, de manière automatisée, avec ou sans personnel de service.

Les mesures peuvent être interprétées sur place ou reprises ultérieurement à l'aide de programmes d'ordinateurs.

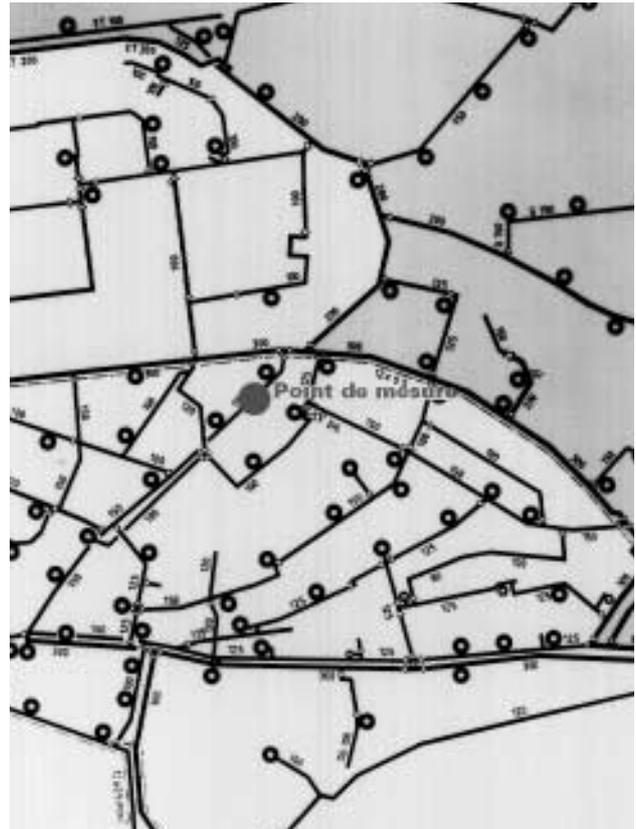
Appréciation

Des stations de mesure et des raccordements fixes, ou des points équipés pour des appareils amovibles, constituent l'équipement d'auscultation le plus efficace pour la surveillance périodique et la détection rapide des pertes d'eau importantes.

Avec l'installation de plusieurs points de mesure, on peut ainsi, en une opération, contrôler en une nuit un réseau d'alimentation desservant jusqu'à 10'000 habitants.

Bibliographie

1. Friedrich E.: Untersuchung des Wasserrohrnetzes der Stadt Düren auf Wasserverlust mittels Grossbezirkmessungen; DELIWA-Zeitschrift, Heft 1/83, S. 12-15.
2. Hoch W.: Zuflussmessungen und Zuflussauswertung nach dem Streubreitverfahren; Verlag R. Oldenburg, München, 1987.



Disposition d'un point de mesure dans un réseau

Mesure des pertes par petits secteurs avec by-pass

Mise en pression par secteurs, mesure de la consommation nulle

Informations générales

La mise en pression par petits secteurs, pour la mesure de la consommation nulle, représente la troisième étape de la mesure des pertes sur une petite portion isolée d'un réseau.

Ce procédé d'auscultation est également souvent utilisé isolément, sans recours préalable aux techniques d'auscultation par mesure de la consommation nocturne ou par mesure des pertes par grands secteurs.

La mesure de consommation nulle remplace, dans la plupart des cas, la méthode acoustique de contrôle des pertes, et ceci surtout pour les réseaux dont les éléments sont essentiellement en matière plastique.

Pour la mise en pression de la partie isolée du réseau, différentes techniques peuvent être utilisées:

- a) avec un by-pass entre la prise d'eau et le raccordement au secteur examiné;
- b) avec le passage à travers une installation fixe permettant la mesure du volume d'eau injecté;
- c) avec un camion citerne de pompier ou tout autre véhicule équipé d'une citerne et d'une pompe à débit réglable.

Pour chaque type de mesure on saisit et on enregistre la consommation instantanée.

Domaine d'application

Dans les réseaux maillés, avec tous types de matériaux et pour tous niveaux de pression.

Particulièrement indiqué dans les parties de réseau à faible pression et dans les branchements, ainsi que pour le contrôle de l'état des conduites lors de modification de la pression ou de travaux de réparation routière. Les mesures quantitatives ainsi obtenues permettent d'effectuer un classement des réparations en fonction de leurs priorités.

Caractéristiques recherchées

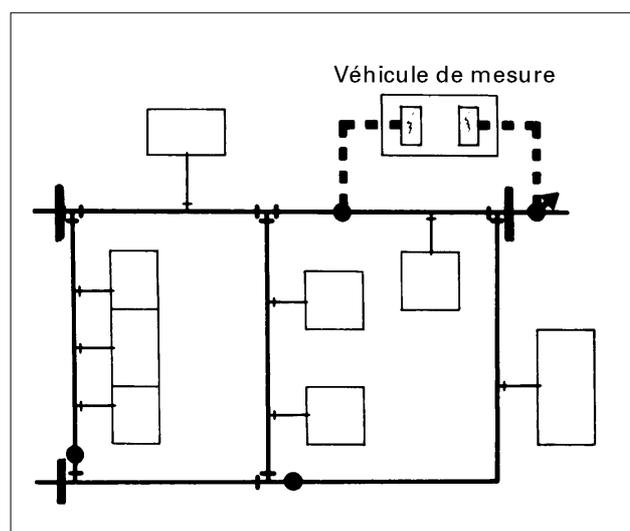
Détection des fuites sur la portion la plus petite possible d'un réseau et mesure exacte des pertes.

Principe de mesurage / Interprétation

Mesure quantitative des pertes dans une portion isolée d'un réseau ou d'une conduite.



Appareillage de mesure pour la mesure des pertes par petits secteurs



Dispositif de mesurage

Mesure instantanée des pertes sur la portion la plus petite possible d'un réseau.

Contrôle d'un secteur après des travaux de réparation.

Etablissement d'un rapport avec l'indication des secteurs contrôlés et la présentation graphique des mesures. Stockage des données pour permettre des comparaisons lors de contrôles ultérieurs.

Déroulement du travail

Le réseau de conduites d'eau est découpé, sur la base des plans, en secteurs pouvant être isolés. L'arrivée d'eau dans l'un de ces secteurs est interrompue par une vanne ou un clapet. Une prise d'eau située avant la vanne permet de soutirer de l'eau et de l'amener, par un tuyau souple et au travers d'une installation de mesure mobile, dans une prise d'eau située après la vanne où elle est injectée dans l'élément isolé. La quantité et la pression sont mesurées à un instant donné et ces valeurs peuvent être immédiatement interprétées. Par exemple, si la courbe des volumes injectés montre, dans un laps de temps déterminé, une ou plusieurs valeurs égales à zéro, on pourra en déduire qu'il n'y a aucune fuite dans l'élément ausculté. Au contraire, si une «consommation nulle» n'est jamais mesurée, on en déduit qu'il y a soit des pertes, soit des consommateurs permanents dans la portion de réseau auscultée. En réduisant de plus en plus les dimensions du secteur isolé, on arrive à localiser la perte.

Toutes les méthodes de mesurage reposent sur ce même principe. Grâce à la grande mobilité de l'appareillage et aux multiples possibilités d'injection, le procédé permet de réduire au maximum le secteur à ausculter. La mise hors service des raccords, nécessaire en raison de la puissance de la pompe installée, est possible.

Appréciation

La mesure des consommations nulles par petits secteurs est la technique d'auscultation la plus précise pour déterminer quantitativement les pertes. Dans les réseaux mal entretenus, les vannes et les clapets non étanches posent des problèmes.

Bibliographie

1. Hammerer M., Jäckle E.: Wasserverluste, Wasserrohrnetzüberwachung; 3 R International 1979, Heft 3/4.

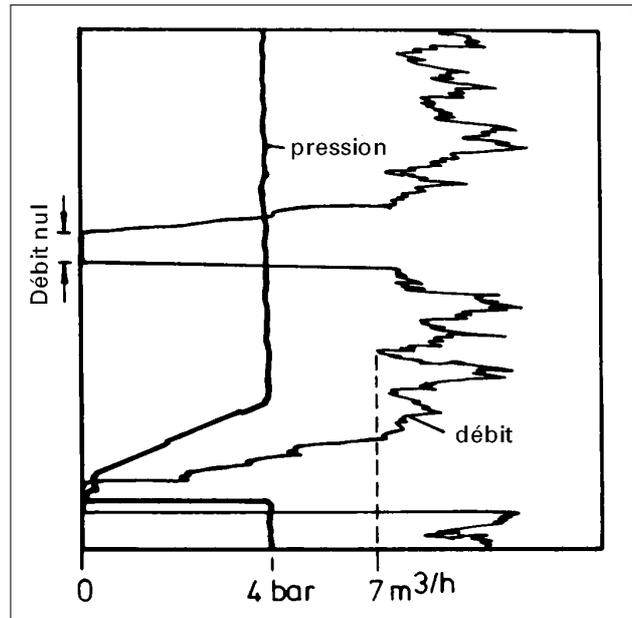


Diagramme des débits et des pressions à un moment donné

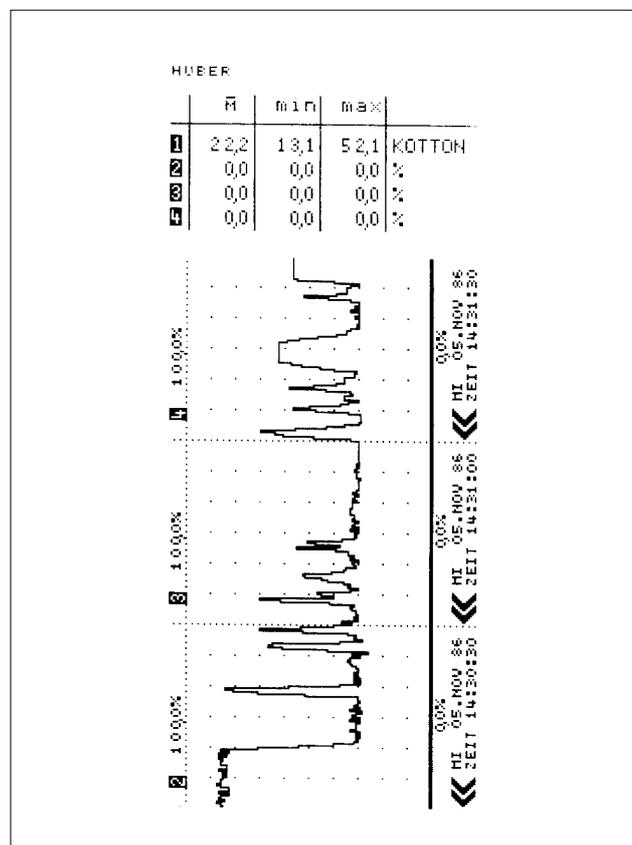


Diagramme des valeurs instantanées

Méthode acoustique de contrôle des pertes

par contact direct avec le réseau de conduites

Informations générales

La méthode acoustique de contrôle des pertes est une technique d'auscultation simple, ne demandant qu'un appareillage réduit. Cette technique exige cependant beaucoup d'expérience et une oreille exercée de la part de l'opérateur.

La technique est utilisée avec succès dans les zones comprenant beaucoup de branchements et de vannes. Toutes les pertes ne peuvent toutefois pas être décelées en raison du très grand nombre de possibilités de fuites.

Domaine d'application

Applicable sur tous les réseaux métalliques.

Principalement pour un contrôle rapide de petites pertes et le contrôle des raccordements aux immeubles, des vannes et des prises d'eau.

Méthode recommandée pour les réseaux dont la pression de service est supérieure à 3 bars.

Caractéristiques recherchées

Détection des fuites dans les vannes et les conduites, sans indication quantitative de l'importance des pertes.

Principe de mesure / Interprétation

Détection avec un appareil électronique des ondes sonores émises par un point de perte. La transmission de l'onde sonore à partir du point de perte est fonction du matériau de la conduite, de son diamètre, de la pression de l'eau, ainsi que du type de dégât. Lorsque de l'eau sous pression sort d'une conduite, elle émet un bruit caractéristique qui se propage de part et d'autre le long de la conduite. La vitesse du son dans la conduite est fonction du matériau et de la pression. La fonte et les autres métaux, ainsi que l'amiante-ciment, sont de bons conducteurs du son (vitesse de transmission de 1'000 à 1'300 m/s). Les conduites en matière plastique sont de mauvaises conductrices du son (vitesse de 160 à 450 m/s). Les bruits émis par les points de fuites sont donc mieux transmis dans les conduites métalliques que dans les conduites en matière plastique.



Appareil pour la méthode acoustique de contrôle des pertes



Appareil d'écoute en fonction

Déroulement du travail

Auscultation acoustique systématique des vannes et des conduites avec un appareil d'écoute électronique adéquat.

Détermination et relevé des bruits constatés en vue de la localisation des points de perte.

Des pertes d'eau et des dégradations mécaniques aux vannes et aux prises d'eau peuvent ainsi être immédiatement décelées et notées dans les formulaires adéquats.

Appréciation

Méthode simple moyennant un équipement adéquat et une instruction suffisante.

L'équipement pour cette technique d'auscultation doit faire partie de l'équipement de base de chaque réseau de distribution.

Bibliographie

1. Mutschmann J., Stimmelmayer F.: Taschenbuch der Wasserversorgung; Achte Auflage, Stuttgart, 1986.

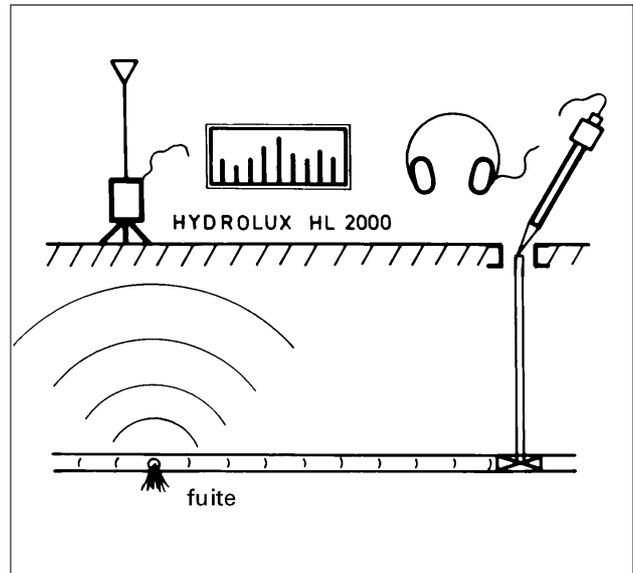
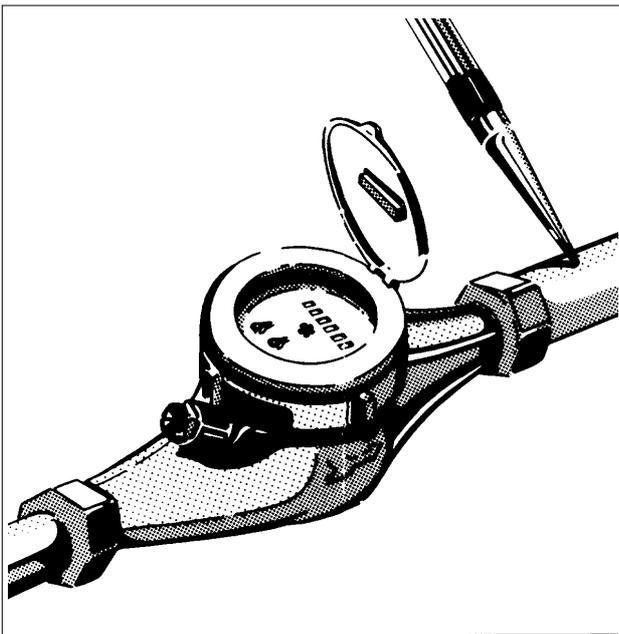
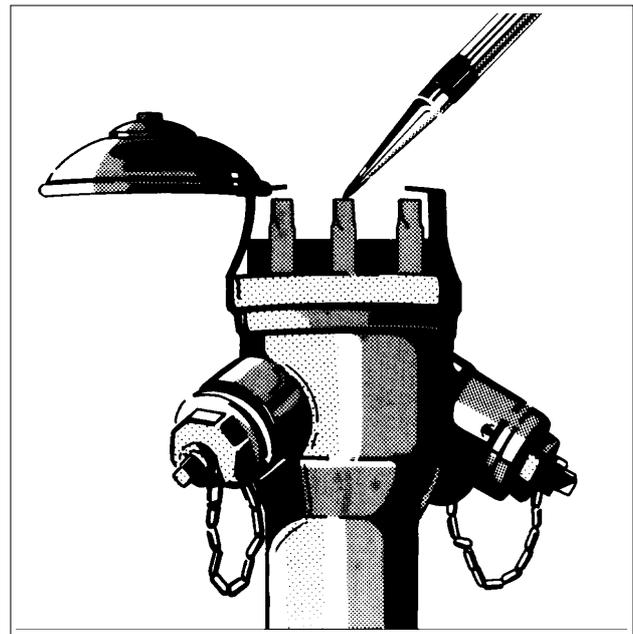


Schéma du principe de mesure



Contrôle à partir d'éléments de l'installation



Repérage acoustique des pertes depuis la surface

avec microphones de sol

Informations générales

Le succès d'une auscultation avec un microphone de sol dépend en premier lieu de la parfaite connaissance du tracé des conduites. Lorsqu'on ne dispose pas de plans à jour, il faut repérer les conduites avec un appareil de détection et marquer leurs emplacements. Pour la localisation des pertes, il faut des professionnels instruits et expérimentés. En cas de doute, il est toujours préférable de faire appel à une société spécialisée plutôt que de faire d'inutiles et coûteuses tranchées de sondage.

Domaine d'application

Normalement, utilisable pour tous les réseaux.

Les différents matériaux des canalisations n'ont pas d'influence sur le repérage acoustique depuis la surface. Lorsque les bruits de l'environnement sont très intenses (industrie, aéroport et routes à fort trafic), la technique n'est applicable que pendant les heures calmes de la nuit.

Caractéristiques recherchées

Repérage ponctuel des dégâts en vue de leurs réparations.

Principe de mesure / Interprétation

Repérage acoustique des défauts à l'aide d'un appareil d'auscultation équipé de microphones de sol.

Une fuite d'eau dans une conduite sous pression émet un bruit caractéristique. Le repérage des points défectueux n'est cependant pas basé sur l'onde sonore qui se propage dans la conduite, mais sur le bruit du jet d'eau contre le terrain.



Equipement pour le repérage acoustique des pertes depuis la surface



Appareil en fonction

Déroulement du travail

Ecoute systématique le long des conduites préalablement repérées. Avec un espacement de 1 – 2 m, exactement au-dessus de la conduite, on pose le microphone de sol et on cherche, à l'aide d'un amplificateur et d'un indicateur optique, l'endroit où l'intensité sonore est la plus forte.

Des phénomènes de résonance dus aux dispositions constructives du réseau, ainsi que des réflexions phoniques, peuvent fortement influencer la localisation de la perte et rendre le travail difficile.

Appréciation

Technique d'auscultation éprouvée pour la localisation des pertes, également utilisée pour le contrôle des autres techniques de repérage. Une localisation précise dépend beaucoup de la compétence de l'opérateur. Diverses perturbations peuvent conduire à des erreurs de localisation.

Bibliographie

1. Weidling D.: Handbuch für Wassermeister; Oldenburg Verlag, München, 1988, S. 201-212.

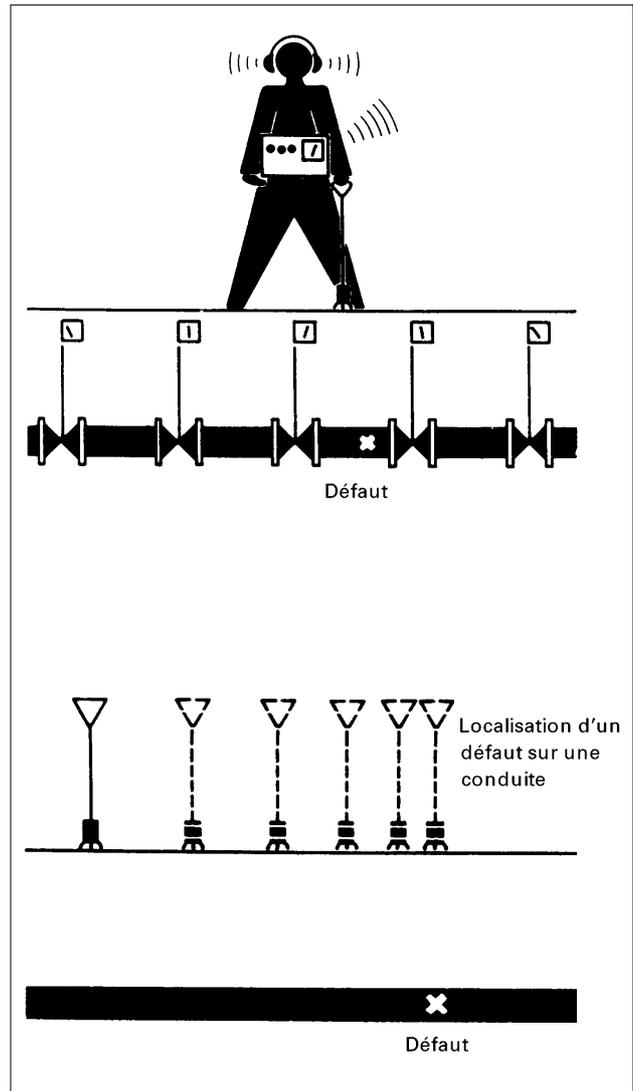


Schéma du repérage acoustique des pertes depuis la surface, prélocalisation (en haut), localisation (en bas)

Méthode par corrélation acoustique

(recherche et localisation des fuites)

Informations générales

La méthode par corrélation acoustique est particulièrement appropriée pour la détection des fuites (prélocalisation) ainsi que pour la localisation exacte de celles-ci.

La technique de corrélation utilisée joue cependant un grand rôle. Pour la localisation exacte on peut déjà obtenir des résultats intéressants avec des facteurs de corrélation relativement simples. Pour la détection (prélocalisation) il faut faire intervenir des facteurs de corrélation en temps réel ou un ensemble de facteurs de corrélation cohérents.

Domaine d'application

Recherche et localisation des fuites dans les réseaux et les installations de distribution d'eau, de gaz ou de chauffage à distance. Localisation d'obstructions dans les conduites, de réductions de diamètre ainsi que de branchements inconnus.

Caractéristiques recherchées

Détection et localisation de pertes dans les réseaux, sans intervention directe sur le réseau.

La technique d'auscultation n'est pas influencée par les conditions climatiques, ni par le bruit de l'environnement dans la zone de la fuite.

Principe de mesure / Interprétation

Lorsque de l'eau sous pression sort d'une conduite, elle émet un bruit caractéristique qui se transmet de part et d'autre le long de la conduite. Les microphones (récepteurs des sons) appliqués sur les vannes ou les prises d'eau enregistrent les sons provenant de la fuite. Ces bruits sont filtrés, amplifiés et transmis au corrélateur par antenne ou par câble. L'interprétation est immédiate.

Un procès-verbal avec les données nécessaires est établi pour chaque tronçon contrôlé ou pour chaque fuite localisée.



Équipement pour la méthode par corrélation acoustique

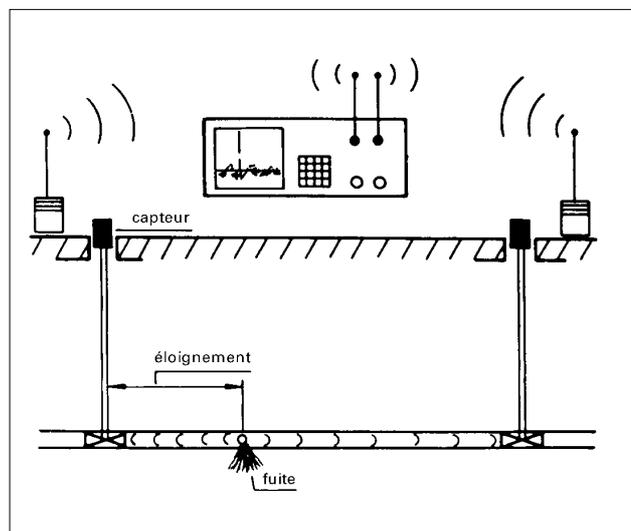


Schéma du principe de mesure

Déroulement du travail

En fonction de la structure du réseau, de sa disposition, des matériaux des conduites et des conditions de la distribution, on dispose sur des éléments accessibles du réseau des capteurs d'oscillations, des hydrophones ou des microphones aériens, avec un espacement de 50 – 150 m. La mise en place de façon permanente de ces capteurs permet un contrôle continu du réseau.

Les branchements privés éloignés de plus de 30 m de la conduite principale sont contrôlés séparément. D'éventuelles fuites sur ces tronçons peuvent être localisées avec exactitude.

Tous les points de fuites sont signalés, ils peuvent également être localisés.

Appréciation

L'auscultation avec la méthode par corrélation acoustique peut être considérée comme étant la plus moderne et la plus économique. Cette technique d'auscultation n'exige aucune intervention directe sur le réseau, ne provoquant ainsi ni dérangement, ni interruption de la distribution. De plus, l'environnement est sans influence sur la technique, qu'il s'agisse du bruit, du gel ou d'une disposition anormale des conduites.

La mise en œuvre de cette technique d'auscultation est généralement confiée à des entreprises spécialisées.

Bibliographie

1. Fuchs H.V.: Neue DELIWA-Zeitschrift, Heft 6/90, Fraunhoferinstitut für Bauphysik, 7000, Stuttgart.
2. Kober E.: Grenzen des Korrelationsverfahrens an Leitungen aus mehreren Werkstoffen; 3R international, Heft 1/2, 1986, Stuttgart.
3. Berge H., Laske Ch.: Korrelationsverfahren zur Wasserverlustminderung; gwf-wasser/abwasser, Heft 6, 1986, S. 288-293.

Localisation des fuites avec le détecteur de gaz

Informations générales

Diverses techniques d'auscultation pour la détection des fuites de gaz dans les conduites enterrées (gaz naturel, gaz liquide, etc.) sont décrites dans la littérature technique (voir par exemple bibl. 4.). Ces méthodes sont aussi recommandées par la SSIGE. La périodicité de ces contrôles est fixée dans les directives de la SSIGE, G2 (bibl. 2.).

Domaine d'application

La technique d'auscultation est utilisée pour les conduites de gaz enterrées (en métal ou en matière synthétique).

Caractéristiques recherchées

Ces techniques donnent une information indirecte, soit la concentration de gaz mesurée à la surface du sol. Une interprétation est nécessaire pour obtenir des données quantitatives. Les points de fuite éventuels doivent être localisés par des auscultations complémentaires.

Principe de mesurage / Interprétation

Pour pouvoir lutter efficacement contre les fuites de gaz, il est nécessaire d'avoir une connaissance aussi exacte que possible de l'état du réseau. Pour ce faire il faut réunir et analyser systématiquement les mesures comparables. C'est sur la base de cette évaluation que l'on pourra décider des mesures d'entretien à entreprendre.

Les méthodes de surveillance adéquates sont les suivantes:

- enregistrement des odeurs décelées;
- contrôle acoustique depuis la surface (♦ 164);
- aspiration de l'air au niveau du sol et mesure de la concentration en gaz avec des appareils à haute sensibilité.

Les résultats ainsi rassemblés sont reportés sur le plan du réseau, ce qui permet de déterminer et d'interpréter les variations (positives et négatives) qui se produisent au cours du temps. Pour assurer le succès de l'utilisation du détecteur de gaz il faut connaître avec précision la position des conduites. Un plan cadastral du réseau, soigné et à jour, est donc la condition préalable primordiale pour la recherche des fuites. Lors de l'interprétation des mesures de concentration de gaz à la surface, il faut prendre en considération la dispersion du gaz dans

les cavités du sol (par exemple le long d'autres canalisations). De ce fait la fuite ne se trouvera pas nécessairement dans le voisinage direct de l'endroit où le gaz est détecté en surface.

Déroulement du travail

Méthode par trou de sondage:

Cette technique, qui dans le passé était la seule utilisée, consiste à forer, à la main ou avec des outils pneumatiques, des trous de sondage de 30 à 40 cm de profondeur et avec un écartement de 2 m. Une sonde reliée au détecteur de gaz est introduite dans les trous. L'échantillon de gaz est aspiré dans le trou, si possible au-dessous d'une protection contre l'air environnant. Cette technique est de plus en plus remplacée par la technique d'aspiration avec traceur de fuites.

Sonde aspirante traceur de fuites:

L'auscultation est effectuée sur la route à l'aide d'une cloche ou d'un tapis d'aspiration; le détecteur, très sensible, enregistre les concentrations locales de gaz, donc les fuites éventuelles. Comme l'appareil est sensible à tous les hydrocarbures, les gaz de voiture, l'essence et les huiles sont donc également enregistrés et peuvent être confondus avec une fuite de gaz. Avec des filtres exclusivement perméables au méthane, cet inconvénient peut être éliminé.

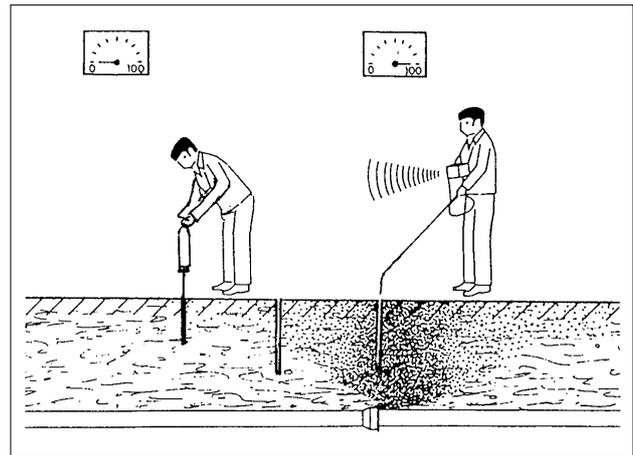
Pour la localisation exacte de la fuite dans la zone présumée on utilise, dans une deuxième étape, la méthode par trou de sondage.

Appréciation

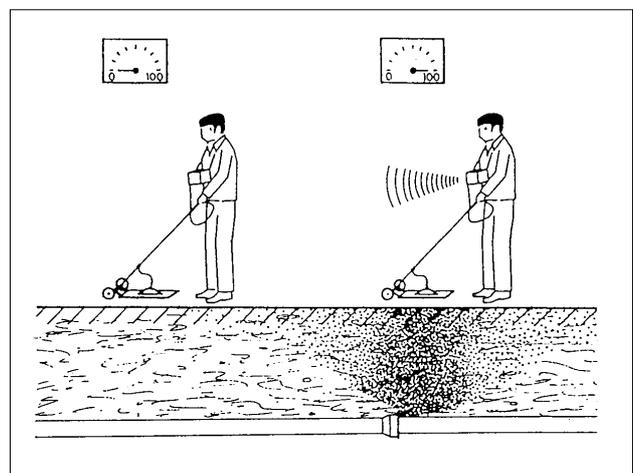
La recherche systématique des fuites par la technique d'auscultation décrite ci-dessus est actuellement la seule méthode, à côté des méthodes basées sur l'examen des consommations, qui donne des résultats concrets sur l'étanchéité d'un réseau de gaz. Le personnel doit être bien instruit et disposer d'une expérience pratique.

Bibliographie

1. Pucknat D.: Leckstellen in Gasnetzen: Ortung und Beurteilungskriterien; *gwf-gas/erdgas* 121 (1980), Nr. 5, S. 190-196.
2. SSIGE: G2, Directives pour la construction, l'entretien et l'exploitation des conduites de gaz jusqu'à une pression de service de 5 bars, 1986.
3. SSIGE: Assainissement des réseaux de gaz; SSIGE, cahier spécial, 1975.
4. Votapek E.: Gasverluste und Spürgeräte zu deren Ermittlung; *Gas Wasser Abwasser*, Heft Nr. 4, 1974, S. 135.



Recherche de fuite avec la méthode par trou de sondage



Recherche de fuite avec la sonde aspirante

Corrosion dans les réseaux de conduites

Situation du problème

En Suisse le réseau de distribution de gaz et d'eau est réalisé à 90 % avec des matériaux métalliques (fonte grise, fonte ductile et acier) et à 10 % avec des matériaux non métalliques (amiante-ciment et matières synthétiques). Pour les réalisations nouvelles on utilise actuellement de plus en plus les matières synthétiques.

En beaucoup d'endroits l'âge moyen des conduites dépasse actuellement 60 ans dans certains cas, ce qui est un indice très clair que le taux de renouvellement est souvent insuffisant. Une augmentation continue du taux de dégradation et de la nécessité de renouvellement en sont les conséquences.

Les directives pour la construction, l'entretien et l'exploitation des conduites d'eau et de gaz (bibl. 1. – 3.) contiennent des instructions pour la protection contre la corrosion. Malgré cela, des problèmes de corrosion existent en Suisse sur des conduites dont l'âge n'est que de 5 à 20 ans. Des ruptures d'anciennes conduites en fonte grise, souvent imputées à tort à des surcharges anormales (par exemple trafic, tassements, etc.), sont dans la plupart des cas causées en partie par la corrosion.

La fréquence des dégâts est très variable: 0.1 à 0.6 cas par km de conduite et par année. Les conséquences économiques d'un cas de corrosion sont également très variables (dégât d'eau, explosion, etc.).

Les conduites pour les hydrocarbures et pour les gaz sous haute pression sont soumises aux prescriptions de l'Inspection fédérale des pipelines (IFP), elles doivent être munies d'un dispositif de protection cathodique et faire l'objet d'une surveillance.

Les ruptures de conduites à la suite de tassements du sol de fondation (tassements en général, froid, sécheresse) ne sont pas examinées ici. De même ne sont pas traitées les causes de corrosion des tuyaux de canalisations (corrosion du béton détruit par l'action des bactéries sulfato-réductrices). Comme les canalisations sont en général construites avec des matériaux non métallique, les causes de dégâts ne sont, dans la plupart des cas, pas les mêmes (par exemple dégâts dus au trafic, joints non étanches, etc.).

Auscultation de l'état existant et interprétation

Des auscultations systématiques pour l'appréciation de l'état de corrosion des réseaux de conduites sont rares. Une auscultation sur cet état n'est généralement entreprise que lorsque les dégâts se multiplient et/ou que des réparations s'avèrent nécessaires.

Le plan de cette fiche technique ne suit pas le schéma habituel. Pour l'observation de l'état de corrosion des conduites métalliques il n'existe pas, actuellement, de méthode établie. Ce problème est cependant de la plus haute importance dans le cadre de la maintenance de nos réseaux d'infrastructure.

En accord avec les milieux professionnels concernés, les auteurs ont décidé de présenter de manière générale l'état actuel des connaissances dans ce domaine, sous une forme qui diverge du schéma habituel des fiches techniques.

Il est possible de faire la distinction entre corrosion interne et corrosion externe. La corrosion par courants vagabonds est traitée dans le cadre de la corrosion externe.

Corrosion interne

Les conduites d'eau sont en général beaucoup moins touchées par la corrosion interne que par la corrosion externe.

La corrosion interne se manifeste en particulier sur les tronçons de conduites où la circulation de l'eau est très faible (par exemple dans les conduites pour la protection incendie et les prises d'eau peu utilisées).

Lors d'une auscultation, il faut donc tout d'abord déterminer les conditions existantes de circulation de l'eau (conditions d'exploitation) dans les réseaux souvent redondants. Ce problème peut être corrigé en recherchant une circulation de même importance dans tous les tronçons de conduites d'un réseau.

Sous réserve de prélèvement et d'analyse correctement exécutés, la composition chimique de l'eau peut être déterminée relativement facilement. Dans certains cas une influence perturbatrice est cependant possible. Dans certaines conditions une légère augmentation du pH est possible.

Corrosion externe

Les nombreuses causes de corrosion externe sont indiquées dans l'encadré. Les conduites situées à proximité de fondations en béton armé (par exemple branchements d'immeubles) sont particulièrement exposées au risque de corrosion en raison du danger de formation de macro-éléments entre la conduite et la fondation. Les mesures de protection exigées sont traitées dans les directives C2 (bibl. 4.) de la Commission de corrosion. Les possibilités de mise à terre sans conduite d'eau sont traitées dans les instructions de 1987 de l'Inspection fédérale des installations à courant fort (IFICF) (bibl.5.).

Pour la recherche des causes on ne dispose pratiquement que des mesures de potentiels de corrosion, de résistivités et de courants sur le réseau de conduites, ainsi que d'auscultations du sol (par exemple mesure de la résistance spécifique du sol, etc.). Des tranchées de sondage ne sont que rarement exécutées (coût!). En cas de corrosion par courants vagabonds, il faut mesurer les potentiels de corrosion, les résistivités et les courants sur le réseau de conduites et sur le réseau de retour du courant des chemins de fer à courant continu (bibl. 6. et 7.).

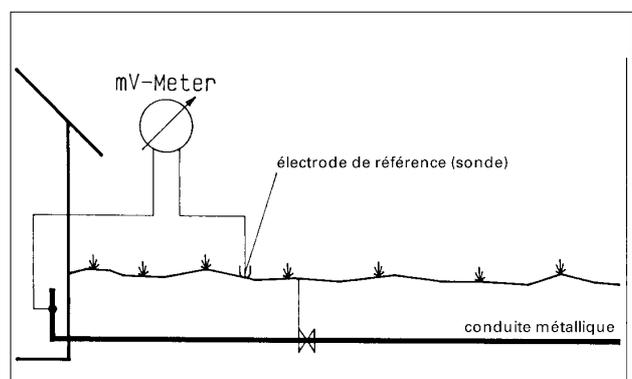
L'auscultation avec des robots intelligents introduits dans les conduites est actuellement encore limitée, ceci pour des raisons de coût mais aussi de technologie, aux conduites de gros calibres et

- par exemple conditions d'exploitation (vitesse de circulation insuffisante)
- protection intérieure inexistante ou insuffisante
- composition de l'eau

Causes de corrosion interne

- Macro-éléments
 - conduite/cathode étrangère, par exemple fondation en béton armé
 - lit de pose non homogène: succession de sols de caractéristiques différentes
 - lit de pose localement sale, par exemple présence de bois, d'argile ou de sels
- Courants vagabonds de chemin de fer à courant continu
- Protection extérieure inexistante ou insuffisante

Causes de corrosion externe



Principe de la mesure de potentiel, selon bibl. 4.

Suite page suivante

Corrosion dans les réseaux de conduites

(suite)

particulièrement importantes. Grâce à la miniaturisation l'utilisation de ces systèmes dans de plus petites conduites sera possible dans le futur. Ce développement doit aujourd'hui déjà être pris en considération lors de la planification et de l'exécution de nouveaux tronçons ou de rénovations (prévoir les accès pour les robots).

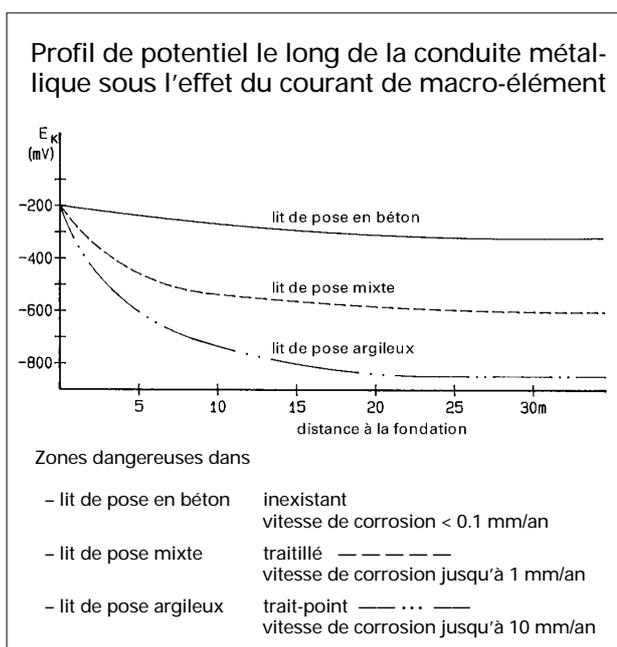
La caméra de télévision pour canalisations ne fournit que des données très limitées en ce qui concerne l'état de corrosion des conduites. Par exemple elle ne donne pas d'informations sur d'éventuelles zones faibles, ni d'indications sur les épaisseurs résiduelles des parois. De ce fait elle n'est que rarement utilisée.

Conclusion

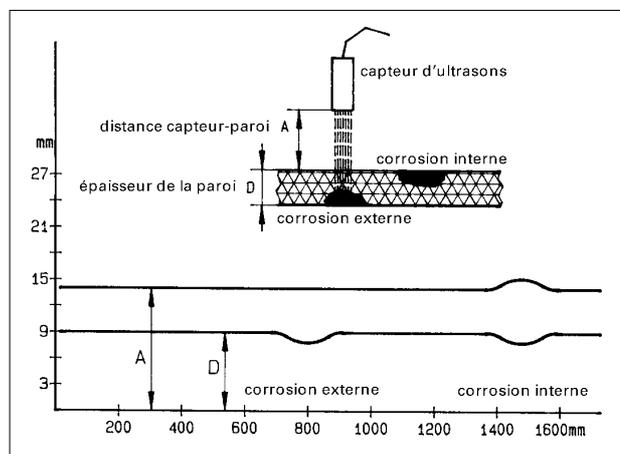
La protection contre la corrosion des conduites métalliques exige des soins particuliers lors de la conception et de la réalisation de nouvelles conduites, ceci afin d'assurer une protection durable contre les corrosions interne et externe. Cette exigence s'impose aujourd'hui de plus en plus, car le remplacement de conduites est en général très coûteux, sans compter les inconvénients que cela représente pour la distribution et pour la circulation.

Bibliographie

1. SSIGE: G2, Directives pour la construction, l'entretien et l'exploitation des conduites de gaz soumises à une pression de service jusqu'à 5 bars, 1986.
2. SSIGE: W4, Directives pour la construction des conduites d'eau potable, 1975 (en révision).
3. SSIGE: W12, Directives pour la surveillance et l'entretien d'installations de distribution d'eau, 1971.
4. ASE: Commission de corrosion: C2, Directives pour la protection contre la corrosion d'installations métalliques enterrées appartenant à des constructions ou à d'autres installations qui ont des armatures ou des prises de terre de fondation, 1984.
5. ASE: 4118, Mise à la terre avec ou sans utilisation du réseau de distribution d'eau, 1984.
6. ASE Commission de corrosion: C3, Directives pour la protection des structures métalliques contre les corrosions provoquées par les courants vagabonds d'installations à courant continu, 1981.



Influences d'une fondation en béton armé sur le potentiel de corrosion d'un branchement particulier, selon bibl. 4.



Mesure de l'épaisseur de la paroi d'une conduite avec un robot intelligent selon bibl. 8.

Bibliographie (suite)

7. Stalder F., Hunkeler F.: Korrosion durch Streuströme; Gas Wasser Abwasser, Vol 66 (1986) Heft 12.
8. Lenz I.: Sanierung von Rohrleitungen und unterirdischer Rohrvortrieb; Vulkan Verlag, Essen, 1989.

5. Construction neuve et surveillance

	Page
5.1 Principes	175
<hr/>	
5.2 Exemple dans le domaine du bâtiment Revêtement de façade de la nouvelle gare de Lucerne	180
<hr/>	
5.3 Exemple dans le domaine des ponts Exposé du problème Appui de pont avec lecture à distance Contrôle des réactions d'appuis Surveillance des déformations par nivellement hydrostatique	181
<hr/>	

Notes personnelles

5. Construction neuve et surveillance

5.1 Principes

Existe-t-il une relation entre la construction neuve et la surveillance?

Beaucoup de professionnels commenceraient probablement par contester l'existence d'une telle relation. Construction neuve et surveillance sont deux tâches tellement fondamentalement différentes!

Mais celui qui a déjà été confronté à la surveillance d'ouvrages se souvient certainement de conditions marginales défavorables et d'un travail ardu. La surveillance est rendue difficile et coûteuse du fait de l'absence de documents techniques (entre autres des plans d'utilisation, de sécurité, de surveillance et d'entretien), d'une accessibilité difficile ou impossible, de l'absence d'installations de contrôles, d'une conception erronée de la surveillance et de l'entretien. Il devient alors facile de comprendre qu'il faut établir une relation entre la construction neuve, sa conception et sa surveillance.

Normes SIA 160 et 162

Les normes SIA 160, «Actions sur les structures porteuses» et 162, «Ouvrages en béton», entrées en vigueur en 1989, indiquent clairement qu'il faut prendre en considération la surveillance et l'entretien déjà lors de l'établissement du projet. Selon la norme SIA 160, les plans de sécurité et d'utilisation établis dans le cadre du projet doivent servir de bases pour la surveillance et l'entretien. Dans l'article 2.23 de la norme SIA 162 (voir encadré ci-contre) on trouve des indications précises sur les aspects qui doivent être pris en considération lors de l'étude du projet d'une structure porteuse; parmi eux trois points au moins concernent directement la surveillance et l'entretien.

Outre les exigences relatives à la sécurité et à l'aptitude au service il faudra, dans la mesure du possible, également prendre en considération lors de l'étude d'une structure porteuse les aspects suivants:

- les exigences fonctionnelles, comme par exemple la physique du bâtiment, les installations techniques, etc.;
- les changements prévisibles d'affectation, voire la suppression et la démolition de l'ouvrage;
- l'économie, la durabilité et l'entretien;
- l'aspect de l'ouvrage et de ses éléments;
- l'accessibilité aux éléments d'ouvrages nécessitant un entretien;
- des dispositions de construction assurant la durabilité des éléments d'ouvrages non contrôlables;
- un comportement mixte adéquat entre éléments d'ouvrages constitués de matériaux différents.

Norme SIA 162, 2.2 Elaboration du projet, article 2.23 (caractères gras: choix de l'auteur du présent article)

Recommandation SIA 169

La recommandation SIA 169 «Maintenance des ouvrages de génie civil» est entrée en vigueur en 1987. Elle définit les notions de la phase de maintenance: surveillance, entretien et renouvellement, qui assurent l'utilisation de l'ouvrage. Le chapitre 4 traite du concept de la surveillance. La recommandation considère deux formes de surveillance, la surveillance continue et la surveillance périodique.

La surveillance continue, par des contrôles fréquents ou permanents, a pour objet de constater en tout temps que l'ouvrage est apte au service.

La surveillance périodique, par des inspections à intervalles définis, doit permettre de vérifier que l'état et l'aptitude au service de l'ouvrage sont conformes au plan d'utilisation.

La surveillance dans la pratique

La surveillance continue est généralement une tâche du service d'entretien. Les équipes d'entretien, qui normalement ne comprennent pas d'ingénieurs, doivent toutefois pouvoir accomplir leurs tâches même par conditions difficiles (mauvais temps, ouvrage en service, etc.). Dans ce but il est important de prendre des mesures facilitant la surveillance continue déjà lors de la conception et de l'exécution. Dans une moindre mesure cette exigence est également valable pour la surveillance périodique.

Exigences bien connues

Quelques exigences – elles sont indiquées dans l'encadré ci-contre – sont connues depuis longtemps et sont actuellement généralement prises en considération lors du projet et de l'exécution. Parmi elles certaines correspondent bien à la notion de «conception favorable pour la surveillance et l'entretien».

La surveillance a pour but de déceler à temps les défauts, les dégradations ou les modifications dans l'ouvrage ou dans son environnement pouvant provoquer des dommages aux personnes ou aux choses. La surveillance doit également permettre d'établir toutes les données nécessaires à l'entretien.

*But et raison de la surveillance
(recommandation SIA 169, article 4 11)*

- Conception de l'ouvrage facilitant la surveillance et l'entretien.
- Accessibilité à toutes les cavités.
- Les éléments mobiles doivent être contrôlés du point de vue de leur aptitude de fonctionnement.
- Prévoir des installations fixes pour l'accessibilité lorsque des contrôles fréquents sont nécessaires.
- Assurer, pour autant que possible, la possibilité d'effectuer les contrôles fréquents sans être tributaire de l'exploitation.
- Les pièces soumises à une forte usure, telles que les appuis, les joints de chaussée, etc., dont la durée de vie est plus petite que celle de l'ouvrage, doivent pouvoir être remplacées facilement.
- Dossier de l'ouvrage exécuté.

Exigences bien connues

Objectifs

Ces dernières années des professionnels de la recherche et du développement, mais aussi de la conception, de l'exécution et de la maintenance, ont beaucoup analysé les problèmes de la surveillance. Deux conditions marginales sont au premier plan:

1. La surveillance continue (contrôles fréquents par le service d'entretien) doit pouvoir, dans la mesure du possible, être exécutée sans demander beaucoup de temps et par du personnel sans grande compétence professionnelle.
2. Les contrôles ne doivent pas perturber l'exploitation.

De manière simplifiée: des mesures doivent être prises pour assurer une surveillance simple, facile et indépendante de l'exploitation. Ce but ne peut être atteint que par des dispositions prises lors du projet et de l'exécution.

Plan de surveillance

Pour réaliser ces objectifs une première condition est l'établissement d'un concept de surveillance, si possible avant le début des travaux, mais au plus tard avant leur achèvement. Sans concept on ne peut ni projeter, ni réaliser des mesures adéquates. Ce concept doit s'appuyer sur les bases retenues par les plans de sécurité et d'utilisation, en particulier celles qui sont liées à un risque.

Le concept de surveillance sert de base pour le plan de surveillance. Le plan de surveillance doit quantifier d'importantes conditions, par exemple dans quelles limites un déplacement des appuis reste-t-il acceptable, ou quels tassements peuvent être admis sans nécessiter d'autres mesures ou investigations. Si ces indications manquent, l'interprétation par l'équipe d'entretien est impossible.

Dispositions sur l'ouvrage

Les valeurs limites peuvent, dans de nombreux cas, figurer de manière directement visible sur l'ouvrage (voir exemples ci-après). Des indications sur l'ouvrage, par exemple par marquage de valeurs limites, permettent de constater une modification défavorable lors d'un contrôle, sans devoir se référer à un document. De telles marques doivent être faciles à comprendre, claires et au niveau technique de l'équipe d'entretien.

Un point qui reste toujours négligé est l'accessibilité aux points de contrôles. L'ingénieur-projeteur doit être conscient qu'un accès difficile aura une incidence sur la surveillance et l'entretien pendant toute la durée de vie de l'ouvrage. Dans les cas les plus graves les contrôles peuvent s'avérer difficiles, voire impossibles! Il existe de nombreuses possibi-

simple
facile à comprendre
indépendant de l'exploitation

Exigences pour les dispositifs de contrôle

«Le programme de surveillance définit la nature et l'ampleur de la surveillance, la liste des points soumis à une surveillance particulière et les mesures pour réduire les dommages inhérents aux risques acceptés.»

Recommandation SIA 169, définition de l'annexe A 1

Bien marquer les valeurs limites qui entraînent une décision

Assurer l'accessibilité ou la visibilité des points de contrôle

lités de dispositions favorables (par exemple lecture à distance) pour corriger un tel défaut. Pour les réseaux de conduites, par la désignation «accessibilité» on peut entendre par exemple les dispositifs spéciaux pour l'introduction de robots dans les conduites, ou un étagement du diamètre des conduites (soit tuyaux accessibles de $\varnothing \geq 800$ mm, soit petits tuyaux de $\varnothing \leq 400$ mm qui peuvent être contrôlés avec la caméra de télévision pour canalisations).

Un autre point concerne le repérage ou le système de référence. Pour les routes et les réseaux de conduites le kilométrage est une notion courante; il peut toutefois être difficile à rétablir sur le terrain. Des améliorations sensibles ont été réalisées sur ce point au cours de ces dernières années, et ceci avec des moyens simples.

Par repérage il faut par ailleurs également entendre un report correct de chaque conduite sur le plan cadastral ou tout au moins sur un plan de l'ouvrage. Ceci, et de loin, ne va pas encore de soi aujourd'hui. Il existe encore de nombreuses communes où toutes les informations sur un réseau sont perdues avec le décès d'un contremaître.

Pour les structures, de grands progrès sont encore possibles pour le repérage des éléments de l'ouvrage. En plus d'une numérotation des éléments, pour éviter les erreurs les plus grossières, il est imaginable d'effectuer une décomposition de l'ouvrage spécialement en vue de la surveillance, par un marquage durable (par exemple: désignation des culées, des appuis, des piliers et autres éléments de la structure porteuse, etc.).

Définir le repérage des points de contrôle et le système de référence, puis les marquer sur l'ouvrage

Structures

Marquer le système de référence sur l'ouvrage (voir texte).
 Repérer les piliers, les appuis, par exemple avec des marques sur le caisson du pont.
 Indiquer les valeurs limites sur l'ouvrage (par exemple déformation des appuis).

Accès

Les équiper avec des escaliers, des échelles et des échafaudages de sécurité fixes. Portes d'accès fermant à clé (mais pas une clé différente pour chaque porte du système de fermeture).

Routes

Marquer les points de référence en bordure de la route.

Réseaux de conduites

Concevoir des tronçons de réseau en vue de la surveillance ultérieure et les équiper avec les organes de fermeture adéquats. Equiper les installations de mesure permanentes avec enregistrement continu et transmission à distance.
 Prévoir les accès pour l'introduction de robots de contrôle.
 Faire la mesure de référence pour le potentiel de corrosion, etc.

Canalisations

Choix du diamètre: ≥ 400 mm, favorable pour la caméra de télévision pour canalisations ou ≤ 800 mm accessible à l'homme.
 Eviter les diamètres intermédiaires dans les nouveaux projets.

*Quelques exemples de dispositions
 (complément aux exemples)*

Dossier de l'ouvrage

Le dossier de l'ouvrage est un outil indispensable pour la maintenance. L'importance de la constitution d'un dossier adéquat et complet, après l'achèvement de l'ouvrage, est souvent négligée de manière impardonnable, tant par le projeteur et la direction des travaux, que par de nombreux maîtres d'ouvrage. Le dossier de l'ouvrage n'est pas simplement constitué par la collection des plans, actes et notes qui se sont accumulés pendant les phases du projet et de l'exécution. Ces documents doivent être repris, réduits à l'essentiel et mis en ordre. L'encadré ci-contre indique les éléments qui doivent constituer le dossier de l'ouvrage selon la recommandation SIA 169. Le dossier de maintenance est constitué d'extraits du dossier de l'ouvrage et doit contenir tous les documents nécessaires à la surveillance et à l'entretien. La prestation partielle «dossier de l'ouvrage» (règlement SIA 103, Règlement concernant les prestations et les honoraires des ingénieurs civils) ne comprend qu'une partie du travail pour l'établissement du dossier de l'ouvrage et du dossier de maintenance. Il est donc nécessaire de discuter assez tôt des honoraires relatifs à cette prestation. Le maître de l'ouvrage doit, pour sa part, prévoir le poste correspondant dans le cadre de son budget.

Exemples

Les exemples qui suivent, pris dans le domaine du bâtiment et de la construction de ponts, présentent un choix de concepts et de solutions mûrement réfléchis, réalisés au cours de ces dernières années. Ils doivent rendre plus compréhensibles les considérations développées ci-dessus. Les exemples sont basés sur des données mises gracieusement à disposition par les professionnels qui ont participé aux réalisations. Nous tenons à les remercier ici au nom du programme d'impulsion.

Il est toutefois évident que des mesures de surveillance coûteuses, telles qu'une partie de celles qui sont présentées dans les exemples, doivent être justifiées par des risques particuliers liés à l'ouvrage.

- la liste des pièces du dossier,
- les plans de sécurité et d'utilisation,
- les règles d'utilisation,
- les programmes de surveillance et d'entretien,
- les plans de l'ouvrage exécuté,
- le mémoire technique,
- les notes de calcul,
- les rapports d'expertises,
- la liste des normes, règlements, directives et recommandations appliqués,
- les contrats et rapports concernant la construction,
- la liste des entreprises et des spécialistes,
- le tableau récapitulatif du décompte final des frais de construction,
- les documents relatifs au mode d'exécution de l'ouvrage,
- les documents et plans concernant: les matériaux de construction, les peintures et enduits de protection, les étanchéités, les revêtements, les canalisations et les équipements,
- les résultats des mesures des mouvements et déformations,
- les publications techniques,
- les documents de nature juridique.

*Contenu du dossier de l'ouvrage
(recommandation SIA 169, article 2.42)*

- la liste des pièces du dossier de l'ouvrage,
- les règles d'utilisation,
- le programme de surveillance,
- le programme d'entretien.

*Contenu minimum du dossier de maintenance
(recommandation SIA 169, article 2.52)*

5.2 Exemple dans le domaine du bâtiment

Revêtement de façade de la nouvelle gare de Lucerne

Situation initiale

La gare de Lucerne, construite au siècle dernier, fut détruite par un incendie en février 1971. De 1983 à 1991 on a reconstruit au même emplacement une nouvelle gare moderne. Pour des raisons d'architecture et de situation, les architectes ont choisi un revêtement de façade suspendu en pierre naturelle. Le revêtement de façade couvre une surface totale d'environ 2'000 m². Les revêtements de façade doivent être classés dans les «Structures porteuses» car, en cas de défaillance, des vies humaines peuvent être mises en danger (SIA 160, chiffre 0 12). Les revêtements de façade doivent donc être inclus dans les éléments étudiés du point de vue de la sécurité. Pour ces éléments de la construction la norme prescrit par ailleurs une surveillance adéquate.



Nouvelle gare de Lucerne

Concept de la solution

Pour la reconstruction de la gare de Lucerne les ingénieurs responsables ont reconnu le problème suffisamment tôt. En collaboration avec le maître de l'ouvrage, l'ingénieur responsable des contrôles et l'architecte ont établi un concept de sécurité pour la fixation des revêtements de façade. Les principaux éléments de ce concept sont résumés dans l'encadré ci-contre.

Remarques

Pour la solution du problème posé, bien qu'en Suisse de nombreuses façades semblables aient déjà été réalisées, il n'a pas été possible de se référer à une norme. Une simple analyse des points faibles a montré la voie pour l'élimination des parties délicates d'un système de fixation de façades. Pour fixer le nombre des plaques devant être facilement démontables pour les contrôles, l'ingénieur responsable s'est référé, par analogie, aux données sur le nombre d'ancrages de contrôle de la norme SIA 191, tirants d'ancrage.

L'exemple illustre bien comment une solution d'ensemble satisfaisante et originale peut être trouvée, moyennant la définition du problème en temps utile.

- Examen du système de fixation choisi en fonction du dimensionnement, de l'aptitude au service et du choix des matériaux.
- Examen des mouvements de la façade en raison du retrait, du fluage et des variations de température, en tant que bases pour le dimensionnement.
- Toutes les plaques de façade doivent être démontables.
- 5% des plaques de façade, disposées à des endroits représentatifs, doivent pouvoir être démontées facilement et sans grands frais, ceci en vue des contrôles périodiques; pour les autres plaques une dépense plus importante peut être acceptée.
- Surveillance pour une exécution conforme au projet.
- Contrôle périodique tous les cinq ans.

Concept pour la fixation des façades

Les données de cette page ont été aimablement mises à disposition par la «Communauté d'ingénieurs de la gare de Lucerne».

5.3 Exemple dans le domaine des ponts

Exposé du problème

Les ponts sont bien connus comme étant à la pointe de l'art de l'ingénieur. La fonction de liaison de beaucoup de ponts est certainement l'une des principales raisons de cette considération. En tant que support du trafic, les ponts sont des artères vitales de notre société du point de vue économique, culturel et social. La fermeture d'une telle liaison pendant une longue période constitue une entrave considérable pour la population concernée. Il faut aussi tenir compte des risques pour les personnes, les animaux et les choses en cas d'écroulement d'un tel ouvrage.

Les ponts sont soumis à de nombreuses sollicitations. En plus de celles provoquées par les utilisateurs prévus – le trafic – les ponts sont soumis aux sollicitations qui résultent du sol (tassements, glissements, etc.), à celles qui découlent des conditions climatiques (température, gel, vent, pluie, neige, etc.), sans parler des catastrophes naturelles (avalanches, inondations, etc.). Il est alors tout à fait compréhensible qu'il soit nécessaire d'ausculter périodiquement un pont pour connaître son état existant, ceci afin de prendre en temps utile les mesures nécessaires lors d'un constat de désordre, et de protéger ainsi des vies et des biens. Les exemples qui suivent montrent quelques possibilités, parfois complexes, qui peuvent faciliter la surveillance d'un pont.

Appui de pont avec lecture à distance

Un dispositif simple peut permettre le contrôle des déplacements d'appuis mobiles avec la possibilité de mesure à distance (par exemple avec des jumelles). Ce dispositif peut être constitué par une échelle de mesure bien visible avec des repères des limites admissibles. Ce dispositif est de règle dans certaines régions de la Suisse; il est en général prévu dans les nouvelles «Directives pour les détails de la construction des ponts» de l'OFR (nouvelle édition 1990).

Les frais additionnels limités entraînés par ce dispositif sont plus que justifiés par les économies réalisées lors de la surveillance.

Contrôle des réactions d'appuis

Des affaissements de piliers ou de culées peuvent être relevés très exactement avec un niveau de précision. Un nivellement de précision est cependant relativement coûteux et n'est pas réalisable dans toutes les conditions (intempéries); généralement



Appui de pont avec repère et échelle graduée visibles à grande distance, par exemple avec des jumelles

une entrave au trafic est par ailleurs inévitable. Les mêmes phénomènes agissent sur les réactions d'appuis des ponts dont le système statique est indéterminé. Selon le type et l'endroit du mouvement, celui-ci peut provoquer soit une augmentation soit une diminution de la réaction sur un appui.

Pour les ponts particulièrement susceptibles d'être mis en danger par des mouvements des fondations, il existe depuis quelque temps la possibilité d'équiper les appuis avec des appareils de mesure des forces.

L'investissement initial permet une simplification considérable de la surveillance. Les réactions d'appuis peuvent être mesurées avec un appareil portable simple et l'interprétation des mesures permet de tirer des conclusions sur la gravité des mouvements. Lorsque des valeurs limites données sont dépassées, on peut par exemple ordonner un nivellement de précision.

Il est important que la mesure puisse être exécutée sans installations particulières (échelle, échafaudage, etc.). L'accès à la station de mesure doit être facile; pour atteindre ce but il faut souvent prévoir quelques mètres supplémentaires de câbles de raccordement.

Surveillance des déformations par nivellement hydrostatique

Dans de nombreux cas le poids propre d'un ouvrage représente une part importante de la charge totale à prendre en compte pour le dimensionnement d'une structure porteuse. La structure porteuse supporte donc une charge permanente importante qui provoque des déformations en rapport avec cette charge.

Le poids propre étant approximativement constant, la structure porteuse devrait toujours se trouver dans le même état de déformation, ceci après élimination des autres déformations, par exemple celles dues au retrait ou au fluage des matériaux, aux variations de température, etc. Une modification de la déformation ne pourrait alors être imputée qu'à une modification de la résistance de la structure porteuse. De l'état de la déformation ou de la forme géométrique d'une structure porteuse et de ses éléments il est alors possible de tirer des conclusions sur l'état de cette structure.

Par ailleurs on observe également que les éléments particuliers d'une structure porteuse, par exemple les fondations, les culées, etc., subissent généralement des déformations verticales.

Les méthodes d'auscultation pour la surveillance des niveaux d'une structure porteuse sont généralement coûteuses. La méthode la plus éprouvée et la plus utilisée dans ce but est le nivellement de pré-



Appuis du pont de Caselertobel dans le canton des Grisons, équipés pour la mesure des forces. Le pont traverse une zone de glissement, ce qui justifie une surveillance intensive.



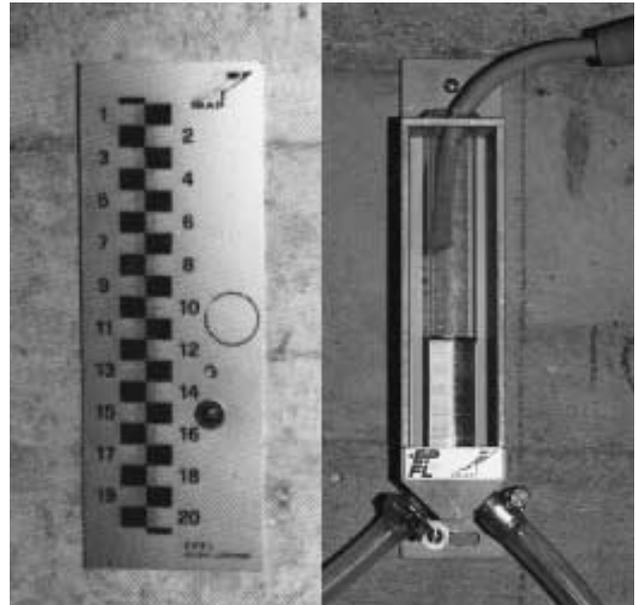
Déformations visibles d'un pont

cision, ou un nivellement normal dans les cas où des résultats moins précis peuvent suffire. Pour certains ouvrages la visibilité nécessaire pour un nivellement ne pose pas de problèmes; par contre pour d'autres ouvrages (par exemple à l'intérieur d'une construction ou pour un ouvrage enfermé en site urbain) des problèmes de visibilité peuvent se poser.

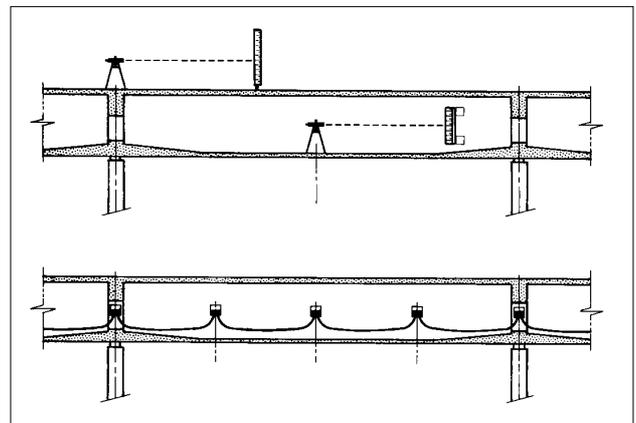
Une installation fixe de repères ou de marques sur l'ouvrage (voir illustration) peut fortement simplifier la surveillance d'un ouvrage par nivellement. Il est aussi possible de prévoir des orifices de mesure lors de l'étude du projet. Dans un pont on peut par exemple prévoir des repères de nivellement à l'intérieur du caisson, ce qui permettra la surveillance sans entraver le trafic.

L'EPF de Lausanne a développé un système de nivellement hydrostatique permettant l'observation de l'état de déformation d'une structure porteuse sans instruments spéciaux. L'installation est composée de points de mesure (voir image) reliés entre eux par un tuyau rempli d'eau. Le principe du système est basé sur celui des vases communicants. Des déplacements relatifs d'éléments de la structure porteuse peuvent être observés par l'équipe d'entretien sous forme de décalages des niveaux d'eau sur un ou plusieurs des points de mesure. Ce système de surveillance a déjà été installé sur une demi-douzaine de ponts, principalement en Suisse romande.

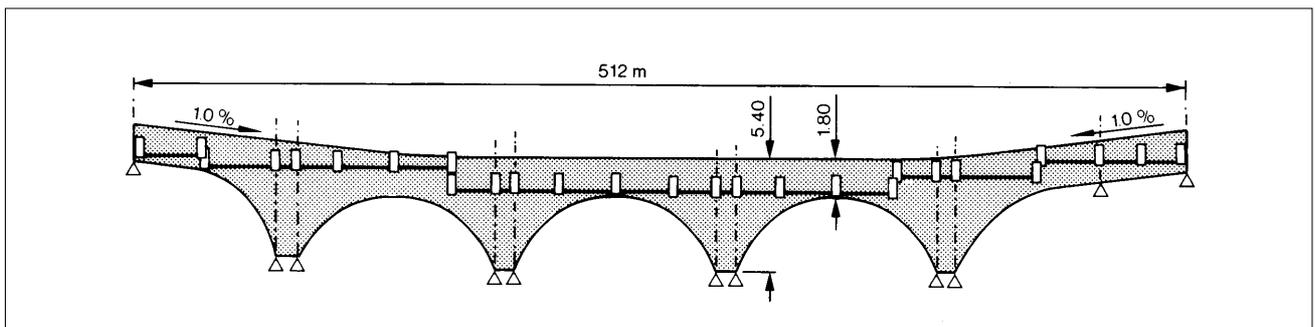
A première vue le système semble être très simple. Toutefois de nombreux problèmes ont dû être résolus lors de la mise au point du système, en particulier pour le choix du liquide de remplissage et pour la constitution des dispositifs de lecture (pertes par évaporation, influence des phénomènes de gel, etc.). La mise en place d'un tel système exige la prévision des déformations normales à long terme (par exemple du fait du retrait et du fluage des matériaux) et à court terme (par exemple du fait des variations de température) de l'ouvrage. Sans cette évaluation préalable, les avantages du système ne peuvent être exploités que dans une moindre mesure.



Marque de lecture fixée sur l'ouvrage pour nivellement optique (à gauche, dispositif de lecture pour nivellement hydrostatique (à droite)



Nivellement optique (en haut) et hydrostatique (en bas)



Dispositif de lecture d'un nivellement hydrostatique à l'intérieur d'un caisson de pont

Bibliographie

1. Favre R. et al.: Observation à long terme de la déformation des ponts; EVED ASB Rapport de recherche N° 203, EPFL, 1990. (Peut être obtenu chez VSS).

Les informations pour les exemples de la construction de ponts ont été aimablement mises à notre disposition par le Prof. R. Favre et le Dr R. Suter de Lausanne.

6. Annexes

	Page
6.1 Répertoire des tableaux de vues d'ensemble	187
<hr/>	
6.2 Répertoire des fiches techniques	188
<hr/>	
6.3 Liste des abréviations	190
<hr/>	
6.4 Provenance des illustrations	191
<hr/>	

Notes personnelles

6. Annexes

6.1 Répertoire des tableaux de vues d'ensemble

Le répertoire présente, séparément, par ordre alphabétique, les titres des tableaux de vues d'ensemble (pages bleues) et ceux des fiches techniques (pages vertes)

	Page
Acier d'armature	48
Acier de construction	50
Acier de précontrainte	49
Béton	46
Bois (constructions en)	53
Canalisations (\geq 800 mm)	144
Canalisations ($<$ 800 mm)	145
Conduites de distribution d'eau	146
Conduites de distribution de gaz	147
Constructions, parties d'ouvrages, équipements	44
Éléments de fixations en acier inoxydable	54
Équipements électro-mécaniques	55
Fondations et sols de fondations	45
Maçonnerie	51
Matières synthétiques	53
Pieux, parois moulées	45
Protection des maçonneries (enduits, etc.)	52
Protection des maçonneries (plaques de parement)	52
Routes (superstructures)	116
Tirants d'ancrage	54

6.2 Répertoire des fiches techniques

Structures

	Page
Éléments d'ouvrages en bois (porteurs)	96
Endoscopie	64
Essai d'absorption (béton / maçonnerie)	72
Essai d'arrachement (béton / maçonnerie)	74
Essai de quadrillage (peintures sur acier)	90
Essai de ressuage (acier)	92
Examen visuel	62
Géoradar (béton armé / maçonnerie)	84
Mesure de l'enrobage des armatures (béton armé)	70
Mesure d'épaisseur de peinture (peinture sur acier)	88
Mesure de potentiel (béton armé et précontraint)	76
Mesure de résistivité électrique (béton / mortier / maçonnerie)	78
Méthode vacuum (béton précontraint)	80
Prélèvement d'échantillons / mandat de laboratoire	66
Scléromètre	68
Thermographie infrarouge (béton armé / maçonnerie)	82
Tirants d'ancrage en rocher et terrain meuble	94
Ultrasons (béton armé / pieux)	86

Routes

	Page
APL, Analyseur de profil en long	120
ARAN, Automatic Road Analyser	122
Collographe LCPC	124
Défectographe Lacroix	126
Mesure de la déflexion avec mouton	128
SRM 91, Mesure du frottement (Stuttgarter Reibungsmesser)	130

Réseaux de conduites

	Page
Caméra de télévision pour canalisations	152
Corrosion dans les réseaux de conduites	170
Localisation des fuites avec le détecteur de gaz	168
Mesure de la consommation nocturne	156
Mesure des pertes par grands secteurs	158
Mesure des pertes par petits secteurs, avec by-pass, mise en pression par secteurs, mesure de la consommation nulle	160
Méthode acoustique de contrôle des pertes	162
Méthode par corrélation acoustique	164
Repérage des pertes par détection de gaz	166
Visite de canalisation de $\varnothing > 800$ mm	154

6.3 Liste des abréviations

Associations

ASE	Association suisse des électriciens, Seefeldstrasse 301, Case postale, 8034 Zurich
ASPEE	Association suisse des professionnels de l'épuration des eaux, Grütlistrasse 44, Case postale, 8027 Zurich
SIA	Société suisse des ingénieurs et des architectes Selnaustrasse 16, Case postale, 8039 Zurich
SSC	Société suisse de protection contre la corrosion, Seefeldstrasse 301, Case postale, 8034 Zurich
SSIGE	Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux, Grütlistrasse 44, Case postale, 8027, Zurich
VSS	Union suisse des professionnels de la route, Seefeldstrasse 9, 8008 Zurich

Autres

CNA	Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, Lucerne
DAfStB	Deutscher Ausschuss für Stahlbeton
IFP	Inspection fédérale des pipelines
IFICF	Inspection fédérale des installations à courant fort
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris
LFEM	Laboratoire fédéral d'essai des matériaux, Dübendorf
LIGNUM	Union suisse en faveur du bois, Le Mont/Lausanne
OCF	Office des constructions fédérales, Berne
OFR	Office fédéral des routes, Berne
SI	Services industriels

6.4 Provenance des illustrations

Les nombreuses illustrations que contient le présent manuel sont d'un intérêt primordial pour la présentation des différentes techniques d'auscultation. Cette qualité de présentation n'aurait pas été possible sans l'amabilité des nombreuses personnes et entreprises qui ont bénévolement mis ces illustrations à notre disposition. Au nom de PI-BAT, nous tenons à les remercier très vivement.

APRO International SA 1180 Rolle	78, 79
Boscomer Services SA, 2000 Neuchâtel	82–85
CONCRET AG, Beratende Ingenieure für Bauerhaltung, 8052 Zürich	76, 77
EMPA, Abteilung Holz 8600 Dübendorf	96–99
Favre R. Prof., IBAP-EPFL, 1015 Lausanne	183
Fischer Helmut. Electronik und Messtechnik AG, 6331 Hünenberg	88
Geotest 3052 Zollikofen	66, 67, 86, 87
Imdorf Matthias 6005 Luzern	8-13, 34–38, 40
Merkli AG, Ingenieurbüro 9410 Heiden	136, 137, 156, 167
Müller Roman, H.U. Peter AG 8052 Zürich	18–22, 62
OLYMPUS OPTICAL (Schweiz) AG, 8603 Schwerzenbach	64
PROCEQ SA, 8034 Zurich	69, 69, 70, 71, 72, 74, 75, 1181, 182
S.A.C.R. SA Ingenieurbüro und Labor für den Strassenbau 8008 Zürich	120, 121, 124, 125
SSC Schweiz. Gesellschaft für Korrosionsschutz, 8034 Zürich	171, 172
SSIGE Schweiz. Verein des Gas- und Wasserfaches 8027 Zürich	169

6. Annexes

Stahlton AG 8034 Zürich	94, 95
Steiger Andreas, Beratender Ingenieur 6003 Luzern	63
Tiefbauamt der Stadt Zürich, Stadtentwässerung 8064 Zürich	152, 153, 154
Viaconsult AG, 8050 Zürich	122, 123, 126, 133
VSL Beton-Expert, 8034 Wallisellen / 3000 Bern	64, 65, 80
ZWAG Zschokke Wartmann AG, 5312 Döttingen	92, 93