

NOTE SUR L'AUSCULTATION DES OUVRAGES D'ART

M. Abderrahim ACHARHABI

*Chef du Centre d'Etudes et de Recherches de Structures
LPEE*

L'auscultation des Ouvrages d'Art regroupe un ensemble d'investigations permettant de porter un jugement motivé sur l'état réel d'un ouvrage.

Les méthodes et les moyens à mettre en oeuvre diffèrent suivant l'objectif de la campagne d'auscultation.

Au préalable on procède dans tous les cas à une inspection visuelle détaillée, qui permet de dresser une liste exhaustive des défauts apparents. Après quoi il y a lieu de définir les investigations qui s'imposent.

On distingue deux types de désordres :

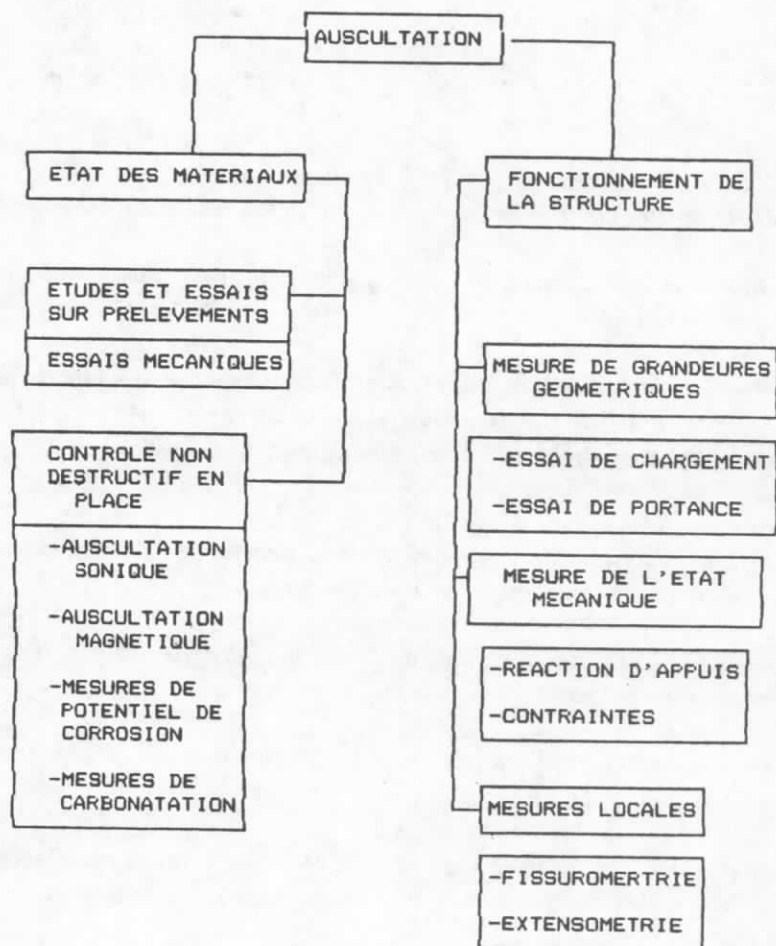
- Les désordres liés au fonctionnement de la structure (à vide ou sous charge).*
- Les désordres liés aux matériaux constitutifs.*

Il convient de s'intéresser aussi bien au fonctionnement de la structure qu'à l'état des matériaux mis en place et vis-versa.

Dans la présente communication nous présentons les méthodes d'auscultation d'ouvrages d'art que le LPÉE utilise.

Naturellement seules les méthodes les plus récentes ou les expérimentations qui viennent d'être mises au point ont mérité dans cette communication plus de développement.

Dans le paragraphe suivant, nous proposons de décrire les instrumentations sus-citées.



I/ METHODES D'ANALYSE ET D'EXPERIMENTATION.

1) Etude et essai sur prélèvements.

Ces essais ont pour but d'évaluer les propriétés des matériaux constitutifs d'un élément de structure.

Les échantillons à prélever sont nécessairement réduits et sont choisis de façon à être représentatifs (les échantillons servent généralement d'étalonnage pour les mesures non destructives qui suivront).

2) Contrôle non destructif.

Les principaux contrôles non destructifs nécessaires dont nous disposons actuellement sont :

- a) Auscultation sonique
- b) Auscultation magnétique
- c) Carottage sonique
- d) Mesures de corrosion et de carbonatation.

a)- Auscultation sonique.

C'est l'une des opérations les plus performantes, elle permet de déterminer l'homogénéité des bétons mis en place, et les caractéristiques essentielles permettant de procéder à des calculs de vérifications de la structure.

b)- Carottage sonique.

Le Centre d'Etudes et de Recherches de Structures (CERS) du Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes s'est donc intéressé depuis plusieurs années au contrôle de la continuité des fondations profondes en béton par des méthodes non destructives.

Les informations exigées lors d'un tel contrôle sont souvent très précises et très complètes. Il nous est fréquemment demandé, en présence d'une anomalie, des précisions telle que :

- Profondeur et étendue verticale.
- Extension horizontale.
- Nature de l'anomalie
- Et même parfois module d'élasticité et résistance à la compression de la zone douteuse.

Afin de répondre à de telles questions, seule une méthode de contrôle locale pouvait donner suffisamment d'information pour évaluer l'importance d'un défaut, et éventuellement corriger une erreur de réalisation. Le CERS s'est donc équipé de deux chaînes de mesures dites "carottage sonique" pour répondre à de telles exigences. Cette technique consiste à procéder à une auscultation dynamique de la fondation profonde sur toute sa hauteur et fournit ainsi les informations les plus

précises sur la localisation verticale des défauts et dans certains cas, moyennant des dispositions particulières, sur leur extension horizontale.

Pour utiliser cette méthode, il est nécessaire de pouvoir faire descendre, à tous les niveaux de la fondation profonde, un émetteur et un récepteur d'ondes accoustiques, et par conséquent, de disposer des conduits verticaux nécessaires dans la fondation profonde avant le coulage du béton.

L'appareillage de mesure comprend :

- Un treuil spécial qui permet de descendre les sondes dans les conduits qui leur sont réservés (tubes métalliques en général) et fournit une tension électrique proportionnelle au déplacement vertical.
- Un générateur fournissant la tension nécessaire à l'excitation de l'émetteur et à sa synchronisation.
- Un appareil de réception assurant l'amplification des signaux reçus et leur présentation sur un écran d'oscilloscope.

En partant du fond de la fondation profonde, les sondes sont remontées au moyen du treuil (20 cm/s environ). Les sondes (un émetteur et un autre récepteur) permettent de mesurer le temps de transit de l'onde accoustique qui se propage dans le béton situé entre les sondes sur un plan. Une brusque variation de ce temps de transit indique la présence d'anomalie dans le béton de la fondation profonde.

Les signaux émis et reçus par les transducteurs sont visibles sur l'écran de l'oscilloscope après avoir été transformés grâce à une modulation noire et blanche, se présentant pour un niveau donné sous la forme d'une ligne continuée d'une série de segments.

Lorsqu'on remonte les sondes, un potentiomètre couplé au treuil, déplace ces lignes verticalement et progressivement sur l'écran de l'oscilloscope.

La photographie en continu de cet écran, grâce à un appareil polaroïd fournit le résultat de l'auscultation de la fondation profonde depuis le fond jusqu'à la tête.

Les tubes verticaux destinés à recevoir l'émetteur et le récepteur d'impulsions sont dans presque tous les cas, mis en place avant le bétonnage du pieu, car la solution consistant à opérer à partir de forages réalisés par carottage mécanique du béton, est en général trop onéreuse pour être envisageable.

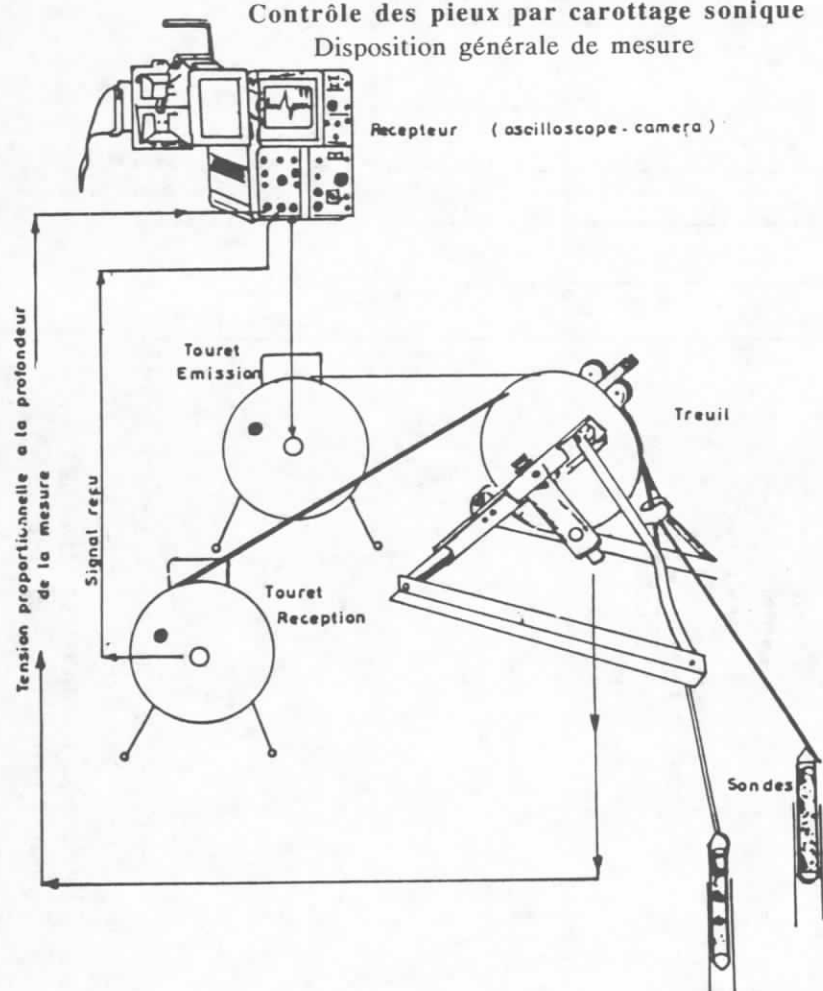
Les tubes sont métalliques. Le tube métallique est le plus commode d'emploi, en raison de sa meilleure rigidité et surtout de sa bonne adhérence au béton. Il est donc adopté lorsque le contrôle porte sur la vérification de l'homogénéité du béton. Pour une raison de continuité, les tubes métalliques sont toujours remplis d'eau au moment des mesures.

Pour un pieu de petite dimension (600 mm), il faut prévoir au minimum deux tubes verticaux, placés aux extrémités d'un diamètre, au voisinage de la périphérie. Les indications fournies par l'auscultation concernent alors essentiellement la bande de béton située entre les deux tubes.

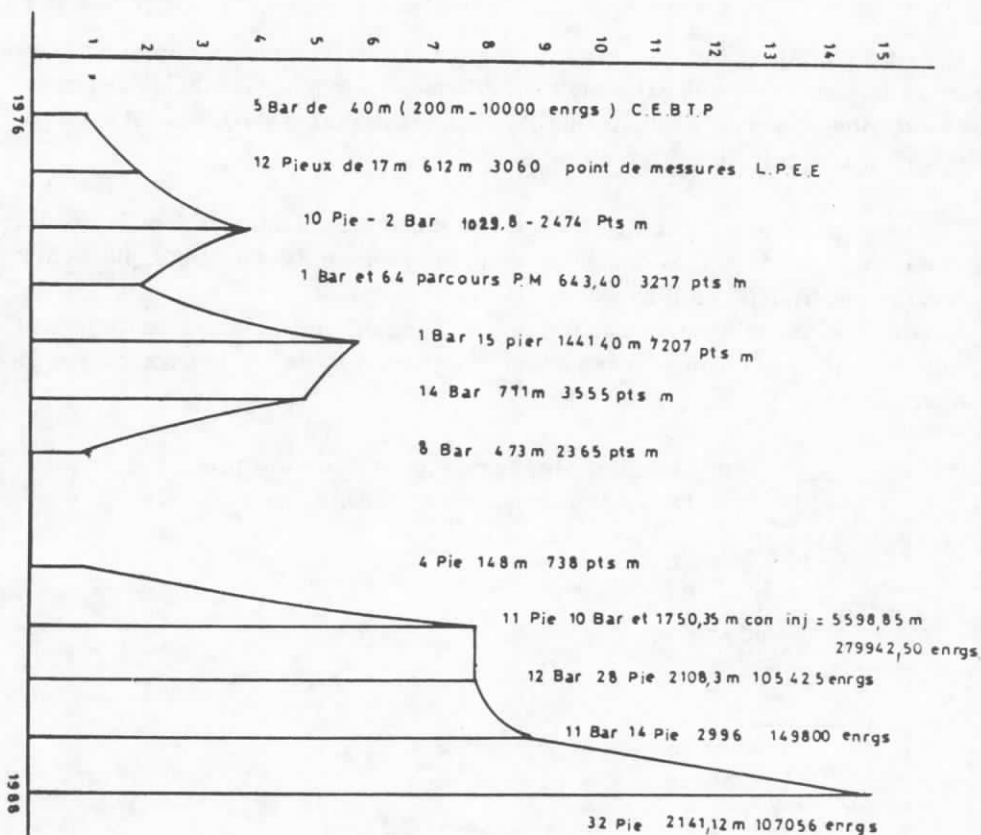
Pour élargir la zone de contrôle, il est recommandé, notamment dans le cas des piles ou des pieux de grands diamètres, de prévoir au moins trois tubes, placés aux sommets d'un triangle équilatéral.

Il est ainsi possible de balayer une fraction plus importante de la section du pieu et d'avoir la certitude qu'aucune réduction dangereuse de la section n'a pu passer inaperçue.

Contrôle des pieux par carottage sonique Disposition générale de mesure

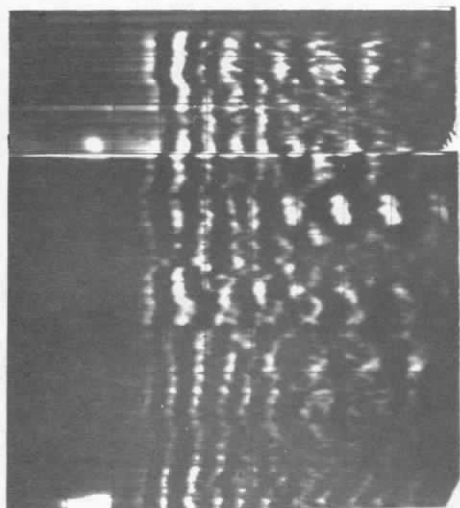


COURBE D'ÉVOLUTION STATISTIQUES
DES INTERVENTIONS ET DE MESURES
PAR CAROTTAGE SONIQUE
DURANT 13 ANS AU L.P.E.E

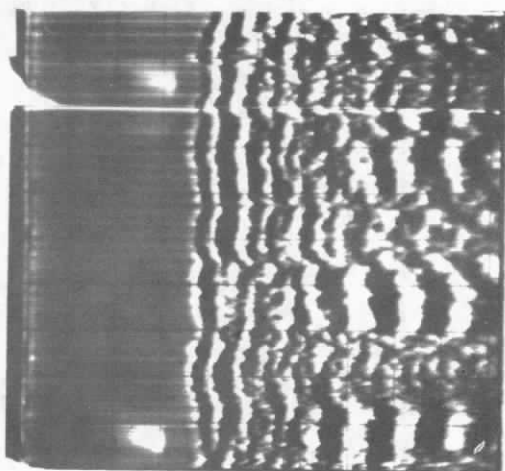


Legende

- * Con inj : Contrôle d'injection
- * P.M : Parois mouillées
- * Pie : Pieux
- * Bar : Barrette
- * m : Metre
- * Pts ms : Points de mesures
- * enrgs : Enregistrement

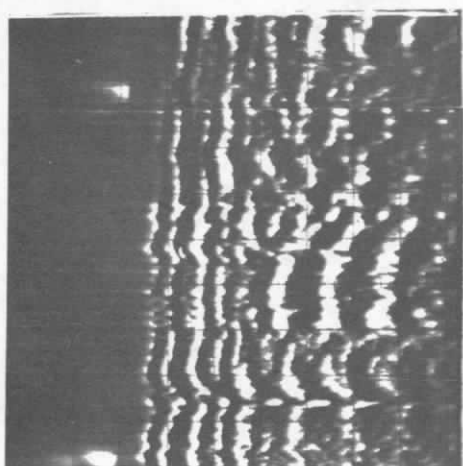


← Parcours 1-2

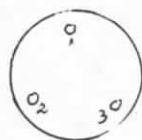


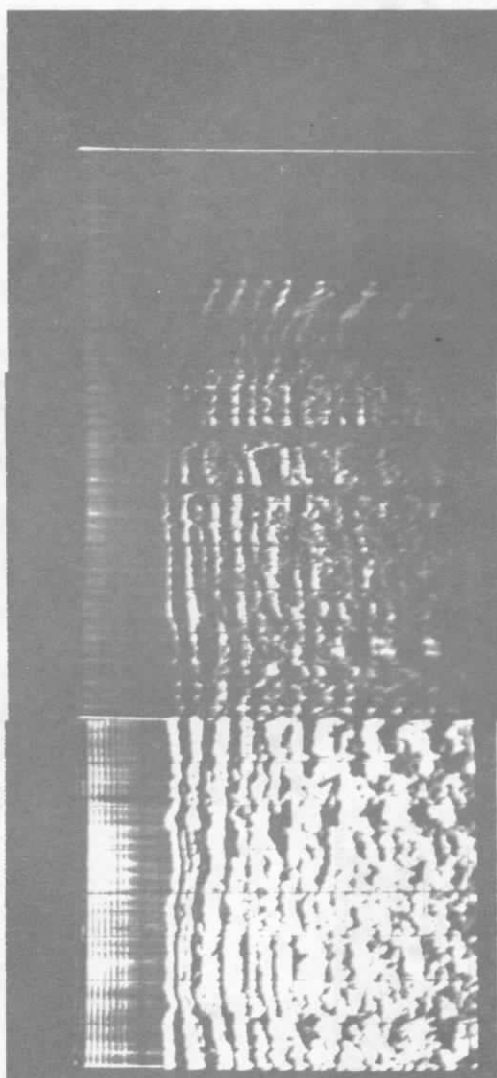
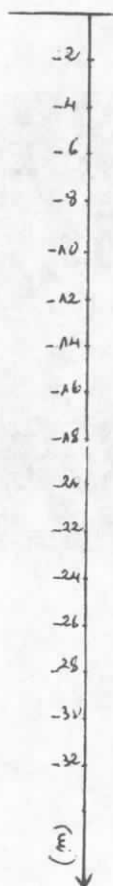
Parcours 1-3 →

Parcours 2-3



Diagraphies d'un
Pieu sain





← présence d'anomalie
 ← présence d'anomalie

8	2	10
04	50	60

diagraphie d'une coupe d'une barrette
 présentant deux anomalies

c)- Dans le cas où un doute subsiste sur les sections résistantes acier ou tout simplement lorsqu'on veut établir des plans de B.A. d'une structure on procédera à des auscultations magnétiques pour repérer les armatures.

d)- Mesures de carbonatation et de potentiel de corrosion.

La dégradation ayant des origines physico-chimiques est la corrosion des armatures ou d'une ossature totalement métallique. Pour pouvoir donner un jugement sur l'épaisseur de corrosion on a recours à des mesures de potentiel électro-chimique entre une barre de l'armature et la surface du béton.

La carbonatation est un phénomène qui conduit à une diminution du PH et par conséquent réduit l'effet protecteur des armatures par le béton.

La méthodologie permettant de détecter les épaisseurs de carbonatation des bétons est une méthode purement chimique.

Elle consiste à piquer le béton sur une certaine épaisseur et de pulvériser une solution de phénophthaleïne sur la surface des bétons ainsi repiquée. Suivant la réaction des bétons à la phénolphthaleïne on peut juger si la surface du béton est carbonatée ou non.

II/ FONCTIONNEMENT DES STRUCTURES.

Dans le but de déterminer les origines les plus probables des dégradations on est amené à suivre le fonctionnement réel de la structure sous divers phénomènes qui peuvent en résulter tel les phénomènes de retraits, le fluage, les phénomènes thermiques et l'action des charges roulantes.

Les essais ou les instruments qui s'imposent sont :

- Les essais de chargement (Ponts nouveaux)
- Les essais de portance (Ponts anciens)
- Extensométrie mécanique
- Fissurométrie
- Mesure de réactions d'appuis.

Pour la réalisation de ces essais le Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (L.P.E.E.) s'est doté d'une chaîne d'acquisition de mesures.

III/ INSTRUMENTS DE MESURES.

1) Chaîne de mesure (capteurs de déplacement).

La chaîne de mesure offre la possibilité de mesure sur 30 voies à la fois. Elle permet en outre la mesure de :

- Contraintes (utilisation des jauges)
- Variation de température (thermocouples)
- Mesure de déplacements (capteurs)

La chaîne de mesure est équipée d'une unité d'acquisition de données HP 3497A, d'un micro-ordinateur HP 85B et d'un enregistreur graphique de 30 voies entièrement programmables.

Les 30 voies sur la chaîne se répartissent comme suit :

- Voie 0 à 15 : Jauges de contraintes
- Voies 16 à 17 : Thermocouples
- Voies 18 à 29 : Capteurs de déplacement

Le fonctionnement de la chaîne est assuré par deux possibilités de commande.

- * Commandes locales lorsque le nombre de mesures est très réduit.
- * Commandes à l'aide du HP 85B, lorsqu'on utilise plusieurs voies à la fois.

Les capteurs de déplacements sont des appareils recommandés pour toute mesure de déplacement, vu leur grande linéarité et leur robustesse; ils comportent un transformateur différentiel, un démodulateur et un filtre.

L'ensemble est englobé dans un boîtier inoxydable. Le capteur est emboîté dans un tube porté par des trépieds, la tige mobile du capteur est fixée par un écrou, l'autre extrémité du capteur est reliée d'une part à la partie mobile de l'ouvrage par un fil en acier bien tendu et d'autre part à un câble coaxial qui est branché à son tour sur le numéro de la voie choisie pour une telle mesure.

Le déplacement ou déformation de l'élément est communiqué au capteur par le fil en acier. Cette déformation est transmise à la chaîne d'acquisition sous forme d'un signal électrique.

Les signaux électriques ainsi obtenus sont ensuite enregistrés graphiquement et numériquement.

2) Fleximètres enregistreurs.

Le fleximètre enregistreur à tambour est un appareil qui se compose essentiellement d'un levier mobile autour d'un axe horizontal dont le petit bras reçoit par l'intermédiaire d'un étrier de commande, le mouvement à enregistrer et le grand bras, portant une plume, en trace le diagramme sur un cylindre. Le fleximètre à tambour est un simple amplificateur de flèches.