

Historique

L'introduction des contrôles nondestructifs (CND) des matériaux en génie civil remonte à la fin des années 1940, lors de la période de reconstruction qui a suivi la fin de la deuxième guerre mondiale. À cette époque, les ingénieurs avaient besoin de techniques pour suivre l'évolution de la résistance à la compression du béton à jeune âge afin, par exemple, de savoir quand procéder au décoffrage ou à l'application de la post-tension. Différentes techniques ont été développées à cette fin, dont la plupart ont été normalisées dans les années 1970. Plus tard, dans les années 1980, les besoins des ingénieurs ont évolués. Ces ingénieurs avaient non seulement toujours besoin de techniques pour l'estimation de la résistance du béton à jeune âge, mais également, compte tenu du vieillissement des ouvrages, de techniques pour l'évaluation de la résistance des matériaux âgés et pour la détection et la caractérisation des défauts dans ces matériaux. Force est de constater que la pratique du CND était peu développée à cette époque en génie civil (GC) contrairement à l'industrie mécanique où chaque pièce est régulièrement contrôlée car tout défaut non détecté peut avoir des conséquences dramatiques (ex. accident de challenger, 28/01/1986).

Le CND a atteint aujourd'hui un stade de développement notable en GC. C'est notamment grâce au leadership des américains qui s'est concrétisé au début des années 1990 par des investissements de plusieurs millions de dollars en R&D et par la création de 13 centres de recherches spécialisés dans ce domaine: "*...One of the greatest challenges we face is to rehabilitate and maintain the huge stock of infrastructure facilities already in place. With this in mind, the Administration will consider establishing an integrated program of research designed to enhance the performance and longevity of existing infrastructure.....This program would systematically address issues of assessment technology and renewal engineering.* Clinton-Gore : Technology for America's Economic Growth – Feb. 1993.

Principe général des techniques de CND

La figure ci-dessous illustre le principe général des techniques de CND. Cela consiste à induire une perturbation dans le matériau investigué, et à enregistrer sa réponse à cette excitation. Le défi du contrôleur consiste alors à traiter cette réponse de manière à en extraire l'information sur le matériau. La technique de CND la plus populaire est sans nul doute celle consistant à taper sur le matériau sous investigation avec un marteau, et à écouter le bruit émis par ce matériau suite à l'impact. Si le bruit est sourd, cela veut dire que le matériau est sain. Par contre, un bruit creux est révélateur d'un vide dans ce matériau. Les technologies modernes de

CND utilisent toutefois différents types d'excitations (mécanique, électrique..), et une panoplie d'outils plus ou moins complexes d'acquisition et de traitement des données.



Figure 1 : Principe général des techniques de CND

Les différentes catégories de techniques de CND

Les techniques de CND peuvent être divisées en 4 grandes catégories selon les applications:

- **Groupe 1:** Les méthodes qui donnent une estimation directe ou indirecte d'une propriété mécanique (ex. résistance à la compression) du matériau in-situ (ex. béton).
- **Groupe 2:** Les méthodes qui mesurent un paramètre caractéristique d'une propriété du matériau (ex. sol) autre qu'une propriété mécanique utilisable à l'aide le plus souvent d'une courbe d'étalonnage (ex. teneur en eau).
- **Groupe 3:** Les méthodes qui fournissent des informations sur les dégradations dans les matériaux (ex. vides dans le sol, corrosion des armatures dans le béton). Chaque méthode a une finalité qui correspond à un besoin bien précis.
- **Groupe 4 :** les méthodes qui permettent les mesures dimensionnelles (ex. épaisseur d'une dalle, espacement entre les armatures, profondeur du roc, longueur de fondation, etc.)

D'un point de vue scientifique, ces techniques peuvent aussi être regroupées selon les phénomènes physiques à la base de leur principe. Ainsi, on distingue :

- Les techniques acoustiques basées sur la propagation des ondes acoustiques (sismique ou ultrasonique) dans les matériaux

- Les techniques électromagnétiques basées sur la propagation des ondes électromagnétiques
- Les techniques dites de potentiel basées sur l'analyse des variations des champs électriques et magnétiques dans les matériaux.

Les techniques d'une catégorie donnée (ex. techniques acoustiques) se différencient, par exemple, par le type d'onde utilisée pour induire la perturbation dans le matériau (ex. excitation par ondes longitudinales ou transversales), par la réponse considérée du matériau (ex. réflexion de ces ondes sur les interfaces), et par le traitement de cette réponse (ex. traitement dans le domaine temporel ou fréquentiel). Ainsi, si l'on considère toutes les combinaisons possibles, on se rend compte qu'il existe plusieurs dizaines de techniques disponibles. Les plus utilisées actuellement en génie civil figurent dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Principales techniques de CND

| Techniques acoustiques | Techniques électromagnétiques | Techniques de potentiel |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">▪ L'essai sonique et cross-hole▪ Le Pulse-écho▪ La méthode de résonance▪ La sismique réflexion▪ La sismique réfraction▪ L'acoustique non linéaire▪ Les ondes de surfaces (MASW)▪ L'impact-écho▪ La réponse impulsionnelle▪ L'émission acoustique▪ La tomographie acoustique | <ul style="list-style-type: none">▪ Le Géoradar▪ La thermographie▪ Les rayons X et g | <ul style="list-style-type: none">▪ La résistivité électrique▪ Le potentiel de corrosion▪ La polarisation spontanée▪ La résistance de polarisation linéaire▪ Les courants de Foucault▪ La gravimétrie |

Les applications des techniques de CND

Le tableau suivant donne les applications de ces techniques aux principales problématiques constatées sur différents types d'ouvrages. Il est important de noter que l'applicabilité de telle ou telle technique est tributaire de plusieurs facteurs qui doivent être pris en considération. Il est donc conseillé de fournir le maximum d'information au contrôleur afin qu'il puisse déterminer les possibilités et les limites des techniques en fonction de la spécificité de la situation considérée.

Tableau 2 : Les principales applications des techniques de CND

| Problématique générale | Problématique spécifique | Technique de CND applicable |
|--|---|--|
| État apparent des dégradations | Identification des pathologies | Inspection visuelle Scanner laser |
| Estimation des propriétés mécaniques | Estimation de la résistance à la compression du béton | Essai d'arrachement, Marteau rebondissant, Essai de résistance à la pénétration, Essai sonique |
| | Estimation du module élastique | Essai sonique, cross-hole, tomographie, MASW |
| Évaluation de l'homogénéité | Homogénéité mécanique | Marteau rebondissant, Essai de résistance à la pénétration, Essai sonique, Essai d'Impact-écho, Tomographie acoustique, Cross-hole, MASW |
| | Homogénéité physico-chimique | Résistivité électrique, Géoradar, Thermographie |
| Évaluation de l'étanchéité | Contrôle des membranes d'étanchéité ou autres | Résistivité électrique Thermographie |
| Évaluation de l'adhérence | Adhérence entre 2 matériaux Ancrages-roc ou béton | Réponse impulsionnelle |
| Évaluation de la qualité de compaction | Compactage du bitume | Thermographie, Rayons γ (nucléo densimétrie) |
| Détection des anomalies | Fissures, Nids d'abeille, Nids de cailloux dans les dalles, les piliers, les murs, les voûtes, etc... | Impact-écho, Essai sonique Cross-hole, Géoradar, Thermographie Réponse impulsionnelle Méthode de résonance |
| | Vides sous les dalles et les chaussées, entre le béton et le roc | Géoradar, Réponse impulsionnelle |
| | Vides d'injection dans les gaines métalliques | Rayons X |

(*): Multichannel Analysis of Surface Waves

Tableau 2 : Les principales applications des techniques de CND (suite)

| Problématique générale | Problématique spécifique | Technique de CND applicable |
|----------------------------|--|--|
| Corrosion | Corrosion des armatures dans le béton | Potentiel de corrosion, Rayons X, Résistivité électrique, Géoradar |
| | Vitesse de la corrosion des armatures dans le béton | Résistance de polarisation Résistivité électrique |
| | Corrosion des câbles dans les gaines | Potentiel de corrosion, Rayons X, Résistivité électrique, Géoradar |
| | Corrosion des ancrages | Potentiel de corrosion, Résistivité électrique, Ondes guidées |
| | Corrosion des canalisations souterraines | Résistivité électrique Caméra optique |
| Évaluations géométriques | Localisation des armatures, des câbles, des canalisations enterrées, etc. | Courants de Foucault (Pachometer) Géoradar |
| | Épaisseur du revêtement bitumineux et de fondation des chaussées, recouvrement et espacement des armatures | Géoradar |
| | Épaisseur de dalles | Géoradar, impact-écho |
| | Longueur de piliers | Pulse-echo Impact-echo Sismique parallèle |
| Détection des fuites d'eau | Aqueducs Égouts | Émission acoustique (corrélateur) Thermographie, Géoradar Résistivité électrique, Caméra optique |

Au cours des prochains bulletins d'Auscultech, les applications de telle technique à telle ou telle problématique seront présentées à travers des cas concrets d'auscultation.

Nos lecteurs sont conviés à nous soumettre des problématiques particulières auxquelles il nous fera plaisir d'y répondre via ce bulletin au bénéfice de toutes les personnes intéressées par ce domaine d'activité.