

CHAPITRE -3-

ESSAIS NON DESTRUCTIFS DU BETON

3.1. Définition :

Les problèmes de qualité rencontrés dans les structures en béton apparaissent à différentes phases de la réalisation des ouvrages, c'est pour cette raison que depuis longtemps il y a une demande accrue pour des méthodes plus précises et, en même temps, plus souples d'évaluation de la qualité du béton.

Le contrôle par essais destructifs nécessite la confection d'éprouvettes prélevées représentant un échantillon. Ce contrôle ne peut être effectué à 100 % ou tout au moins sur un échantillonnage significatif. De plus, l'échantillon prélevé n'est pas toujours représentatif du béton de la structure réelle. Ainsi, pour répondre à ces problèmes, on a développé une gamme d'essais in situ appelés « essais non destructifs » venant compléter les essais destructifs.

Les essais non destructifs consistent à prendre des mesures qui n'endommagent pas les constructions, Ils représentent des méthodes de reconnaissance couramment appliquées aux structures de bâtiments.

Les essais non destructifs peuvent jouer un rôle exceptionnel dans la garantie de la qualité du béton et dans le développement ultérieur de la technologie de construction. La signification de ces essais se développera considérablement à l'avenir, parce que sa technologie de mesure automatisée et la réduction de la taille de l'appareillage de mesure ouvriront des applications entièrement nouvelles.

Une importante caractéristique des essais non destructifs est qu'ils peuvent être refaits au même endroit ou presque, ce qui permet de suivre les changements des propriétés du béton dans le temps.

3.2. But d'utilisation :

Ces essais sont rapides et faciles à mettre en œuvre, et apportent de surcroît une réponse globale à l'échelle d'une structure ou d'un ouvrage, dans le cadre de contrôles d'ouvrages neufs ou en construction comme de diagnostics d'état d'ouvrages anciens.

3.3. Principaux domaines d'application :

Les essais non destructifs permettent de contrôler la qualité de la construction et mesurer de façon indirecte les caractéristiques des matériaux à savoir :

- ✓ La résistance
- ✓ l'homogénéité
- ✓ La porosité
- ✓ La durabilité

3.4. Historique:

L'essai non destructif du béton est de grande importance scientifique et pratique. Le sujet a suscité l'attention croissante pendant ces dernières années, particulièrement le besoin de caractérisation de la qualité des constructions endommagées faites en béton, en utilisant des méthodes non destructives.

Une gamme d'essais non destructifs in-situ, a été développée, par tant de chercheurs dans ce domaine : Le premier essai non destructif à été réalisé par WILLIAMS EN (1936), en suite et pendant le développement de domaine de construction, ERNEST SCHMILT (1948), JONES (1962), WHITEHURST (1966), MALHOTRA (1976) ont présenté une enquête complète de littérature sur les méthodes non destructives normalement utilisées pour l'essai et l'évaluation du béton, BUNGEY (1982). Au milieu des années soixante SKRAMTAEV ET LESHCHINSKY (1966) ont proposé pour la première fois l'utilisation de deux méthodes non destructifs ensemble, et le travail le plus fondamental à ce sujet a été présenté par FACAOARU (1969). En (1991) LESHCHINSKY a récapitulé les avantages des essais non destructifs comme réduction de la consommation de travail de l'essai, une diminution de la consommation de travail des travaux préparatoires, un peu de dommages structuraux, une possibilité d'examiner la résistance en structures ne peuvent

pas être forés avec application de moins d'équipement d'essai cher, par rapport à l'essai destructif. Ces avantages sont sans valeur si les résultats ne sont pas fiables, représentatif, et aussi étroitement comme possible à la force réelle de la partie examinée de la structure.

3.5. Avantages des ces méthodes réside dans :

Les méthodes non destructifs présentent les avantages suivants :

- ✓ La performance ou l'apparence de la structure n'est pas modifiée ;
- ✓ La possibilité de suivre le changement des propriétés du béton dans le temps ;
- ✓ Une plus grande sécurité, et une meilleure planification de la construction ;
- ✓ Une progression plus rapide et plus économique

3.6. Methodes D'essais :

3.6.1 Introduction

Il existe deux types de méthodes pour l'estimation de la résistance de compression du béton. Les premiers, englobent les méthodes qui ne mesurent pas directement la résistance mais d'autres propriétés du béton, à partir desquelles, une estimation de la résistance peut être obtenue. Ces méthodes incluent les tests suivants :

- ✓ Essai au scléromètre:
- ✓ Essai d'auscultation dynamique
- ✓ Méthodes combinées
- ✓ Méthode par carottage,...etc.

3.6.1.1 Essai au scléromètre :

3.6.1.1.1. Introduction

L'essai au scléromètre consiste à projeter une masse sur la surface du béton avec une énergie initiale constante. Suite au choc, une partie de l'énergie est absorbée par le béton, l'autre partie provoque le rebondissement de la masse. L'énergie d'impact est produite par un système de ressorts dont l'amplitude du mouvement de recul est fonction de :

L'énergie de recul ;

Caractéristiques des systèmes de ressorts,

La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive. Cette méthode est intéressante en raison de sa simplicité ; elle permet de faire rapidement des contrôles de régularité des bétons d'un ouvrage.

La détermination de la dureté est basée sur la mesure du recul que subit un dispositif mobile (commandé par un ressort) à la suite d'une collision entre le dispositif et la surface du béton. Cet essai est l'un des plus vieux essais non destructifs et il est encore très utilisé de nos jours il a été développé par ERNST SCHMIDT EN (1948) et est connu sous le nom l'essai au marteau Schmidt ou essai au scléromètre. Le marteau de Schmidt (photo III.1)) est resté le seul instrument connu qui utilise le principe de rebondissement pour les essais sur le béton selon R.F FELDMAN (1977). En (1984) T.AKASHI ET S.AMASAKI ont déclaré que malgré son apparente simplicité, l'essai au scléromètre sous-tend des problèmes complexes d'impact et de propagation de l'onde qui lui sont associés.



Photo (3.1) scléromètre

3.6.1.1.2 Principe

Le principe de base de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur la quelle frappe la masse.

Dans l'essai au scléromètre une masse approximative de 1.8 kg montée sur un ressort a une quantité potentielle fixe d'énergie qui lui est transmise par un ressort tendu a partir d'une position fixe, ce que l'on obtient en pressant la tête du marteau contre la surface du béton mis à l'essai. Lors de son relâchement, la masse rebondit depuis la tête, toujours en contact avec la surface du béton et la distance qu'elle parcourt, exprimée en pourcentage de l'extension initiale du ressort est appelée l'indice de rebondissement. Cet indice est indiqué par un curseur qui se déplace le long d'une règle graduée.

Quelques modèles de scléromètres impriment le relevé des résultats sur un rouleau de papier paraffiné. L'indice de rebondissement est une mesure arbitraire, car elle dépend de l'énergie emmagasinée par le ressort et de la dimension de la masse.

(Tableau3.1) : Moyens de mesure selon type de recul au scléromètre.

Type de recul	Moyen de mesure
Recul linéaire	Un indicateur à lame
Recul angulaire	Un système de freinage

3.6.1.1.3 Appareillage :

Il existe plusieurs modèles de scléromètres selon le type de recul ainsi que l'énergie d'impact. Le modèle le plus utilisé est le scléromètre SCHMIDT (Suisse).

L'appareil est composé d'une masselotte chargée par un ressort qui se projette sur une tige métallique appelée tige de percussion. Il est livré avec une pierre à polir et un bloc d'étalonnage

3.6.1.1.4. Mode Opérateur :

3.6.1.1.4. 1 Préparation de la surface :

Les mesures doivent être effectuées sur des surfaces nettes ne présentant pas de nids de gravier, des écaillages, de texture grossière, de porosité élevée ou de armatures affleurantes. La préparation de la surface consiste à éliminer tout enduit ou peinture adhérent ou poncer si cette surface est constituée d'une couche superficielle friable. Toute trace d'eau sur la surface doit être essuyée.

3.6.1.1.4. 2 Points de mesures

La surface de mesure doit être divisée en zones de 400 cm² au moins, et structurée en une grille de points de mesure ayant pour espacement $d = 30\div 50$ mm. Les points de mesures extrêmes doivent être au moins à 30 mm des bords de la surface testée.

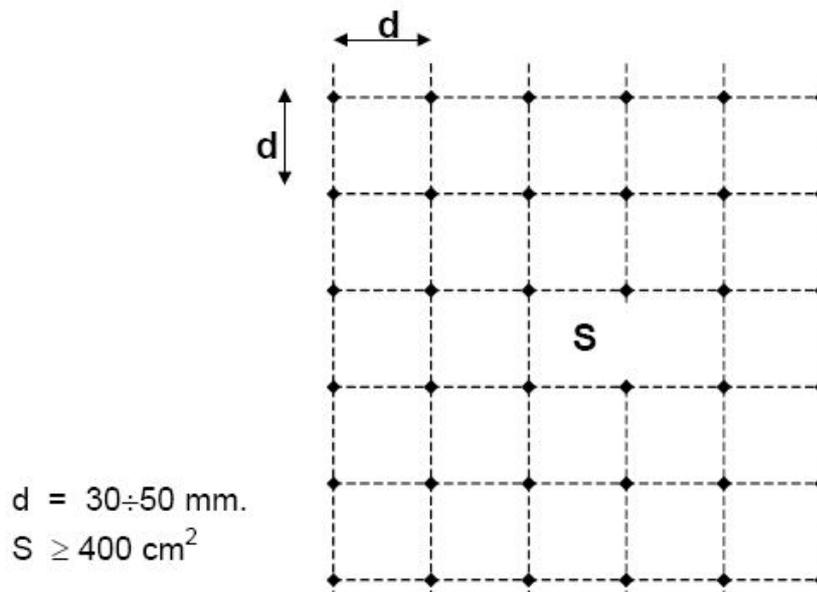


Figure 3.1: Grille de mesure sur ouvrage

Effectuer au moins 10 mesures successives dans la même zone. La surface de cette zone est équivalente à celle d'un carré d'environ 25 cm de côté. Au cours de ces mesures, il convient de ne pas effectuer l'essai à moins de 3 à 4 cm des bords de l'élément testé.

3.6.1.1.5. Méthodes de mesure de l'Indice de rebondissement

L'indice de rebondissement est la mesure enregistrée sur une échelle graduée fixe par rapport au bâti de l'appareil de scléromètre, après la projection d'une masselotte chargée par ressort sur une tige métallique en contact avec la surface du béton. Cette mesure est fonction de l'angle d'inclinaison de l'appareil par rapport à l'horizontal.

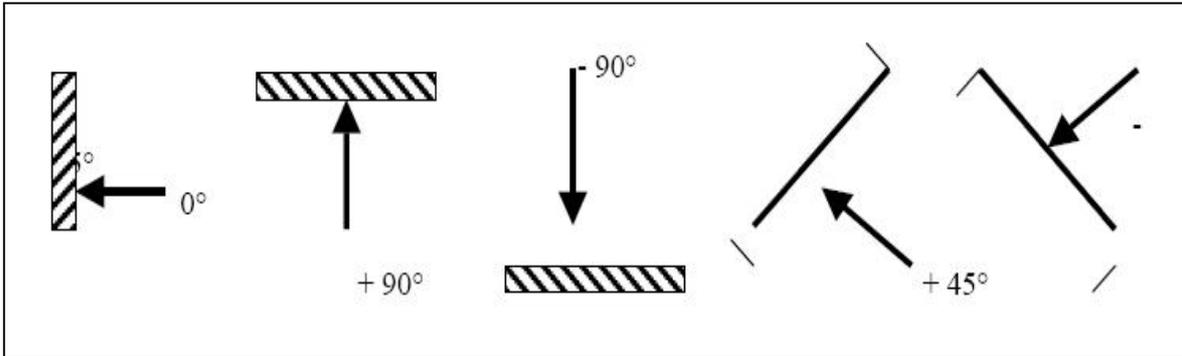


Figure 3.2: Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter

3.6.1.1.6 Étalonnage de l'appareil

Le scléromètre doit être contrôlé par des essais d'étalonnage, car les constantes des ressorts changent après plusieurs utilisations. Deux méthodes sont utilisées :

3.6.1.1.6.1. Sur bloc en néoprène armé

Effectuer sur le bloc en néoprène, posé sur une assise rigide et plane, deux séries de 27 mesures espacées de 5 s et calculer la moyenne de l'indice sclérométrique l de la 2ème série. La position de l'appareil doit être verticale. Deux cas peuvent se présenter :

- ✓ $28 \leq l \leq 32$ le fonctionnement de l'appareil est satisfaisant ;
- ✓ $l < 28$ ou $l > 32$ l'appareil est défectueux ; il sera procédé au nettoyage de l'appareil pour refaire une nouvelle fois la mesure de l .

3.6.1.1.6.2. Sur éprouvettes de béton

Cette méthode consiste à déterminer la moyenne de l'indice sclérométrique I par des mesures effectuées sur trois séries de trois éprouvettes de béton, correspondant aux trois classes de résistances à la compression 15, 25 et 35 MPa. Les mesures de l'indice I_s sont suivies d'un essai d'écrasement des éprouvettes. Les trois couples de valeurs sont reportés sur le graphique de la figure III.3. Dans le cas où les trois points représentatifs se retrouveraient à l'intérieur du fuseau, donc le fonctionnement de l'appareil est satisfaisant. Dans le cas contraire, le fonctionnement de l'appareil est défectueux. Une révision est nécessaire avec un certificat d'étalonnage.

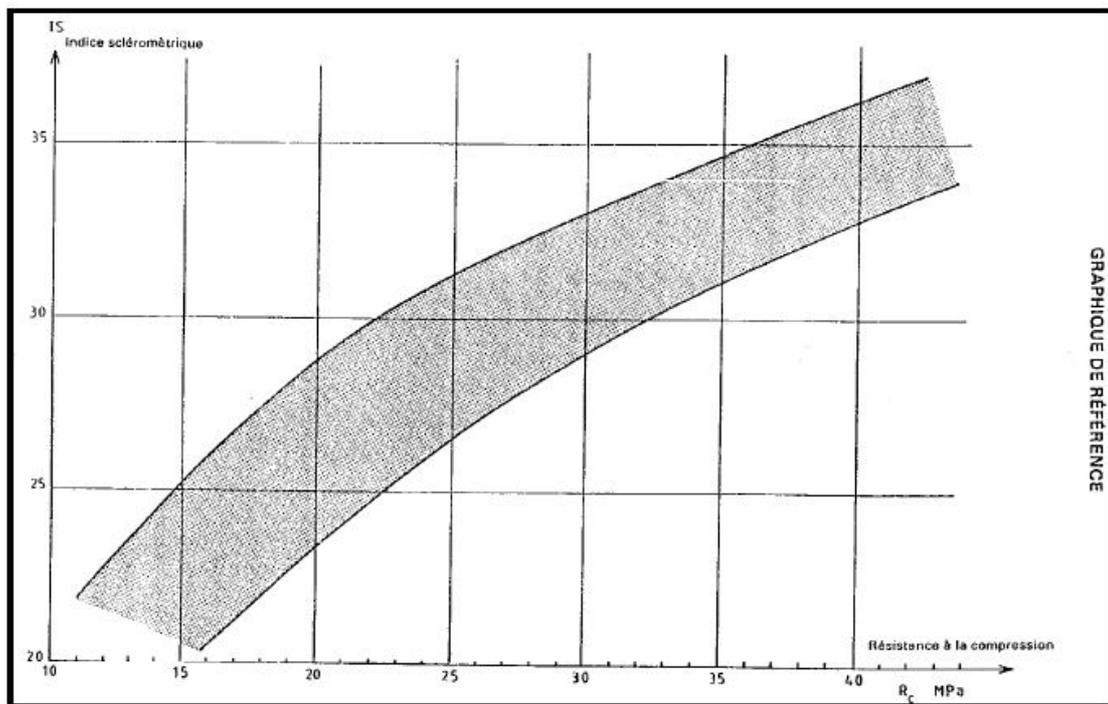


Figure 3.3: Graphe de contrôle du fonctionnement de l'appareil

3.6.1.1.7 Inconvénients de la méthode sclérométrique

La méthode sclérométrique constitue une voie directe utilisée pour la détermination du degré d'homogénéité du béton et la dureté de la surface de l'élément en béton. Bien que l'essai au scléromètre soit utile, il ne constitue nullement une mesure fiable de la résistance du béton compte tenu des paramètres influant la précision de détermination de cette

résistance. Plusieurs méthodes sont utilisées pour la transformation des indices sclérométriques en résistance mécanique à la compression du béton.

3.6.1.1.8. Interprétation Des Résultats De Contrôle Du Béton Au Sclerometre

3.6.1.1.8.1 Méthode de la courbe de calibrage

De la même manière que pour l'ultrason, la courbe de calibrage est déterminée en effectuant l'essai au scléromètre sur au moins 30 éprouvettes. La courbe de calibrage doit être revue en cas de changement de la composition du béton ou des conditions de conservation. La précision sur la résistance du béton obtenue par la méthode de la courbe de calibrage est évaluée à $\pm (20\% \div 25\%)$.

3.6.1.1.8. 2 Méthode de la courbe unique

Dans la plupart des cas, la composition du béton ainsi que les conditions de conservation affectant la corrélation « Indice sclérométrique – Résistance du béton » sont inconnues. On utilise alors une courbe de transformation unique figurant sur l'appareil fourni par le fabricant. La précision sur la résistance du béton obtenue par la méthode de la courbe peut être évaluée à $\pm 50\%$.

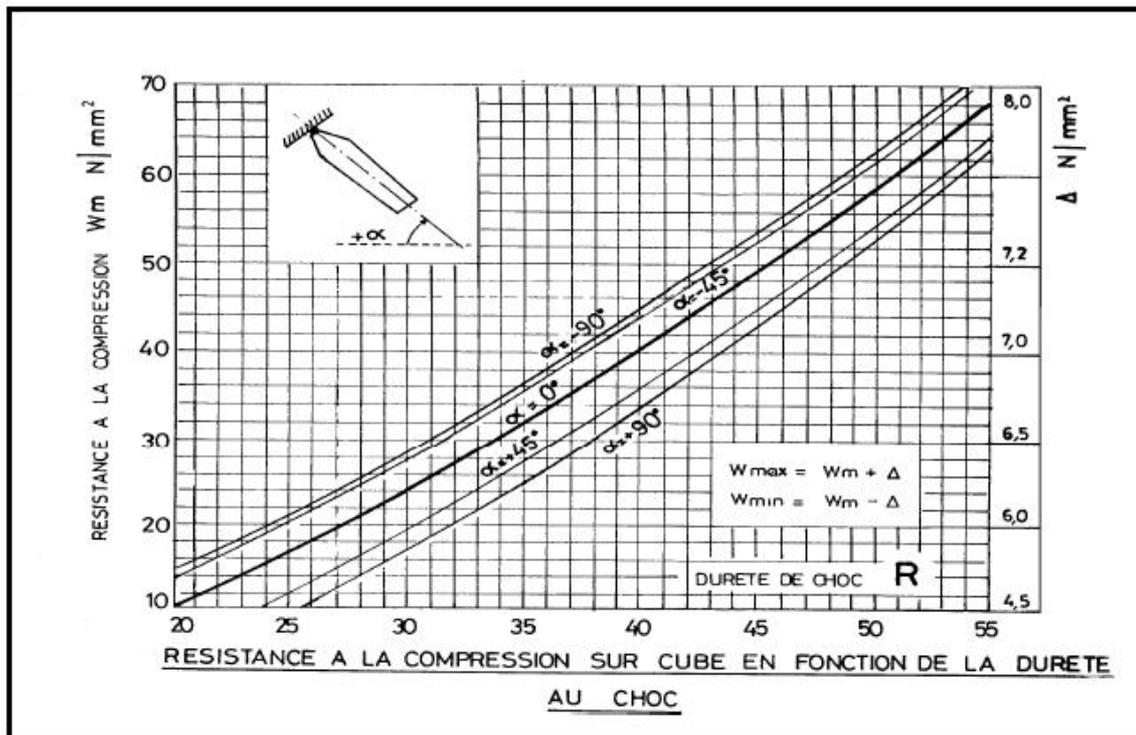


Figure.3.4 : Courbe de transformation unique

- La résistance du béton peut aussi être obtenue à partir de la formule suivante :

$$R = I^2 / 32$$

Avec:

R:résistance

I:indice sclérométrique.

3.6.1.1.9 Références normatives :

NF EN 12504-2

Essais pour béton dans les structures - Partie 2 : essais non destructifs - Détermination de l'indice de rebondissement

3.6.1.1.10 Les avantages

- ✚ C'est une méthode peu coûteuse, simple et rapide. FELDMAN (1977).
- ✚ L'essai au scléromètre est comparatif, il est utile pour évaluer l'homogénéité du béton dans une structure ou lors de la fabrication d'éléments semblables des éléments préfabriqués NEVILLE (2000)
- ✚ L'essai peut aussi être utilisé pour vérifier si la valeur de l'indice de rebondissement a atteint la valeur désirée correspondant à la résistance du béton, ce qui peut aider à décider du moment où l'on peut mettre la structure en service.
- ✚ Une utilisation de cet essai est de pouvoir vérifier si le développement de la résistance d'un béton a été affecté par le gel au jeune âge. (Selon la norme ASTM C 805-85 un béton encore gelé peut donner un indice de rebondissement très élevé).
- ✚ Une application particulière de l'essai au scléromètre consiste à évaluer la résistance à l'abrasion des planchers de béton, qui dépend largement de la dureté de surface.

3.6.1.2 Essai d'auscultation dynamique :

3.6.1.2.1. Introduction

Connu sous le nom d'essai aux ultrasons, cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) à travers un élément en béton. Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance donnée.

3.6.1.2.2. Principe

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, d'où le nom de la méthode (essai de vitesse de propagation d'ondes sonores) à parcourir une distance connue. D'après LESLIE et CHEESMAN, l'état du béton totalement inconnu peut se déterminer approximativement selon la vitesse mesurée.

Les impulsions sont produites par des cristaux piézo-électriques à excitation par choc des cristaux semblables sont utilisées dans le récepteur JONS.R ET FACAOARU (1969). La fréquence de générateur d'ondes est comprise entre 10 et 150 HZ, le temps de propagation des ondes dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électroniques.

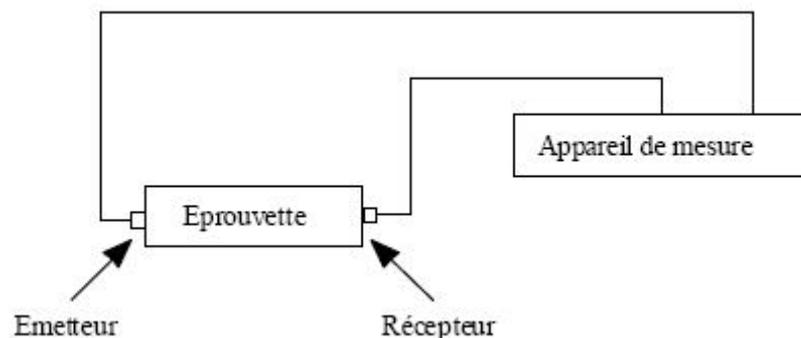


Figure3.5 Appareil de mesure

La relation entre la vitesse de propagation des ondes ultrasonique et la résistance à la compression est affectée par un nombres de variables tel que l'age du béton, les condition

d'humidité, le rapport entre les granulats et le ciment, le type des granulats et la localisation des aciers et les fissures. La technique ne peut pas être employée pour la détermination de la résistance de béton fabriqué par différents matériaux dont on ne connaît pas les proportions.

Ces facteurs représente un inconvénient majeur des essais non destructifs dans lequel la propriété du béton que l'on mesure est affectée par divers facteurs dont l'influence est différente de ce qu'elle est dans la résistance du béton. Cette technique pour l'estimation de la résistance du béton in situ n'est pas encore considérée, dans la pratique, comme un outil de remplacement au cylindre standard et aux cubes, mais peut être utilisée comme une technique additionnelle, quand elle sera exécutée avec des essais de carottage.

A l'utilisation de la valeur de la vitesse de propagation d'une onde sonore pour déterminer la résistance du béton, il faut mentionner qu'il n'y a pas de relation physique entre les deux selon STURRUP, VECCHIO ET CARATIN (1984).

Les essais consistant à mesurer la vitesse de propagation des impulsions peuvent être effectués sur des éprouvettes de laboratoire comme sur des ouvrages en béton terminés. Certains facteurs influent toutefois sur la prise de mesures :

- 1- Les ondes sonores se déplacent plus vite à travers un vide rempli d'eau qu'à travers un vide rempli d'air. Par conséquent les conditions d'humidité du béton influencent la vitesse des ondes sonores selon STURRUP, VECCHIO ET CARATIN (1984)
- 2- La surface sur laquelle l'essai est effectué doit épouser parfaitement la forme de l'appareil qui lui est appliqué, il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre le béton et les transducteurs. Les matériaux d'interposition sont la vaseline de commerce, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de Glycérol. Lorsque la surface de béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et d'égaliser la partie de la surface où le transducteur sera fixé.

- 3- Une augmentation de la vitesse des impulsions se produit à des températures sous le point de congélation à cause du gel de l'eau; entre 5 et 30°C, la vitesse des impulsions n'est pas subordonnée à la température. FELDMAN (1977).
- 4- La présence d'acier d'armature dans le béton en particulier l'armature qui suit le trajet de l'onde entraîne une augmentation de la vitesse BUNGEY (1989). Il est par conséquent souhaitable et souvent indispensable de choisir des parcours d'impulsions qui ne sont pas influencés par la présence d'acier d'armature ou d'effectuer des corrections si de l'acier se trouve sur le parcours de l'impulsion.



Photo (3.2) : Appareil d'auscultation sonore 58-E48 avec oscilloscope

3.6.1.2. 3. Mode Operatoire

3.6.1.2.3.1. Travaux préparatoires

- Poncer et égaliser la partie de la surface de l'élément à ausculter où le transducteur sera fixé,

- Employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester à l'aide d'un matériaux d'interposition comme la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol.

3.6.1.2.3.2. Points de mesures

Le nombre de points de mesures dépend des dimensions de l'ouvrage à tester. Pour un grand panneau (dalle, voile, radier, etc.) les points de mesures sont situés aux intersections d'un quadrillage d'une maille de 0.5m. Le cas des petits éléments (poteaux, poutres, etc.), les mesures se font en six points.

3.6.1.2.4. Distances minimales entre points de mesures

On recommande une distance minimale de parcours de 400 mm pour les mesures en surface.

3.6.1.2.5. Étalonnage de l'appareil

L'ultrason doit toujours être contrôlé par des essais d'étalonnage avant chaque utilisation. L'étalonnage consiste à vérifier le temps de propagation à travers la tige étalon dont le temps est connu à l'avance. Il faut ajuster l'ultrason dans le cas où le temps mesuré ne correspond pas à celui marqué sur la tige étalon.

3.6.1.2.6. Manières de mesure :

La détermination de la vitesse de propagation des ultrasons se fait de trois manières, suivant le type de l'élément à tester :

3.6.1.2.6. a - Mesure en transparence (directe) :

Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester. **Figure (3.6)**

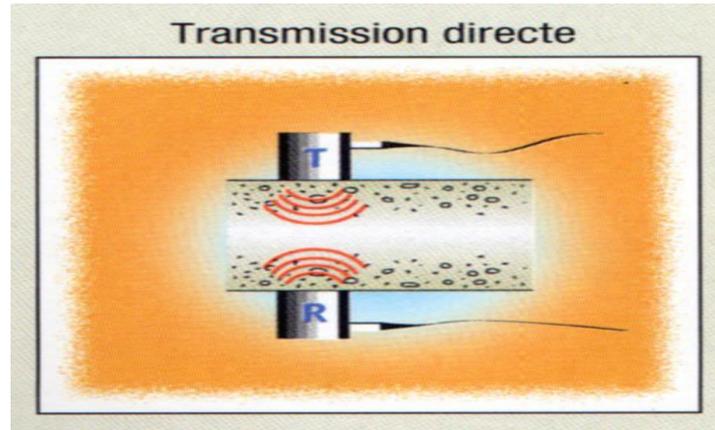


Figure3.6 - Mesures en transparence (directe)

3.6.1.2.6.b - Mesures en surface (indirecte) :

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur figure (3,7).

L'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance.

Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant.

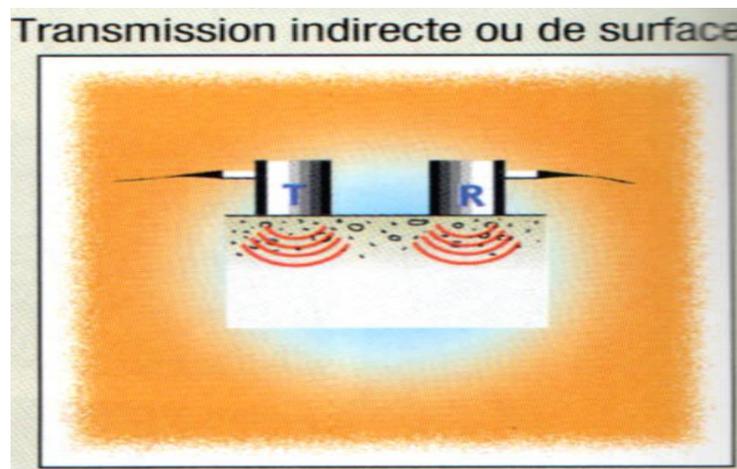


Figure3.7: Mesures en surface

3.6.1.2.6.c – Mesures semi directe :

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les éléments de structure ou on peut pas utilisé les deux autres manières .figure (3.8)

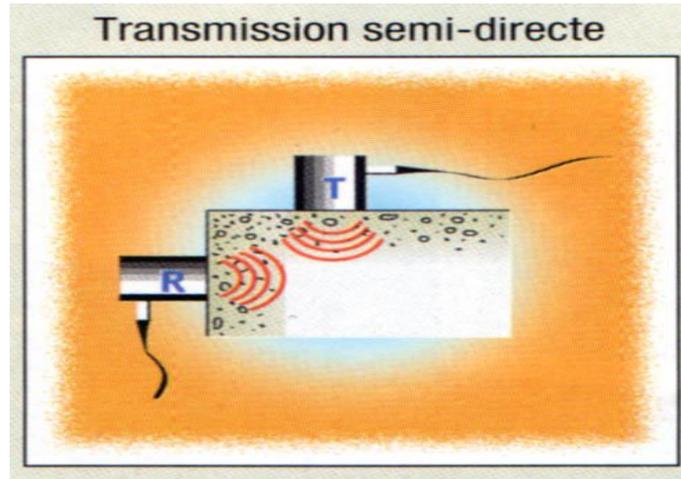


Figure3.8: Mesures semi directe

3.6.1.2.7. Interprétation Des Résultats De Mesure Aux Ultrasons

Dans un milieu **homogène et isotrope**, la vitesse des ondes longitudinales des ultrasons est reliée au module d'élasticité et à la masse volumique. Cette relation donne une base logique pour utiliser des mesures de vitesse des ondes pour estimer la résistance à la compression du béton. Mais il faut mentionner qu'il n'y a pas de relation physique unique entre les deux paramètres compte tenu de l'influence des différents constituants entrant dans la composition du béton. Par conséquent une corrélation plus fiable entre la vitesse de propagation des ultrasons et la résistance du béton à la compression ne peut être établie que dans des limites strictes données ci-après.

3.6.1.2.7.1 Corrélation entre la vitesse de propagation du son et la résistance du béton

La corrélation graphique entre de la vitesse de propagation V et la résistance à la compression R doit être établie au préalable pour un projet donné, sur la base du béton formulé pour ce chantier. Il est nécessaire dans ce cas d'effectuer les mesures sur au moins 30 éprouvettes en procédant comme suit :

- ✓ pour un lot de 03 éprouvettes, prendre une valeur moyenne de la vitesse de propagation et de la résistance à la compression obtenue et soumises à des conditions d'essai identique,

- ✓ faire varier la quantité d'eau de gâchage ou de la compacité du béton pour le reste des lots (E/C variant de 0.4 0 à 0.8 est généralement pris)

Il est bien entendu que toutes les autres caractéristiques du béton, doivent être identiques à celles du béton formulé et à mettre en oeuvre in situ.

3.6.1.2.7.2 Paramètres influents la vitesse des ultrasons

La vitesse des ondes ultrasoniques à travers le béton résulte du temps mis par les ondes pour traverser la pâte de ciment durci et les granulats. Elle dépend énormément du module d'élasticité des granulats et de leur quantité dans le béton. Par ailleurs, la résistance du béton ne dépend pas nécessairement du dosage en gros granulats ou de leur module d'élasticité. Cependant pour un granulats donné et une composition donnée, la vitesse de propagation des ondes dépend des modifications de la pâte de ciment durci, telles qu'un changement du rapport Eau/Ciment qui influe le module d'élasticité de la pâte. De plus d'autres facteurs influencent la propagation des ondes sonores à savoir :

- ✓ Le type de ciment ;
- ✓ Le dosage en ciment ;
- ✓ La nature des granulats;
- ✓ La granulométrie ;
- ✓ L'humidité du béton ;
- ✓ La maturité du béton ;
- ✓ Les adjuvants.

Les résistances des autres bétons qui diffèrent du béton standard pour lequel une courbe de calibrage a été établie, doivent être corrigés en affectant la résistance du béton de référence par des coefficients partiels d'influence correspondants.

Exemple de tracés de courbes de calibrage

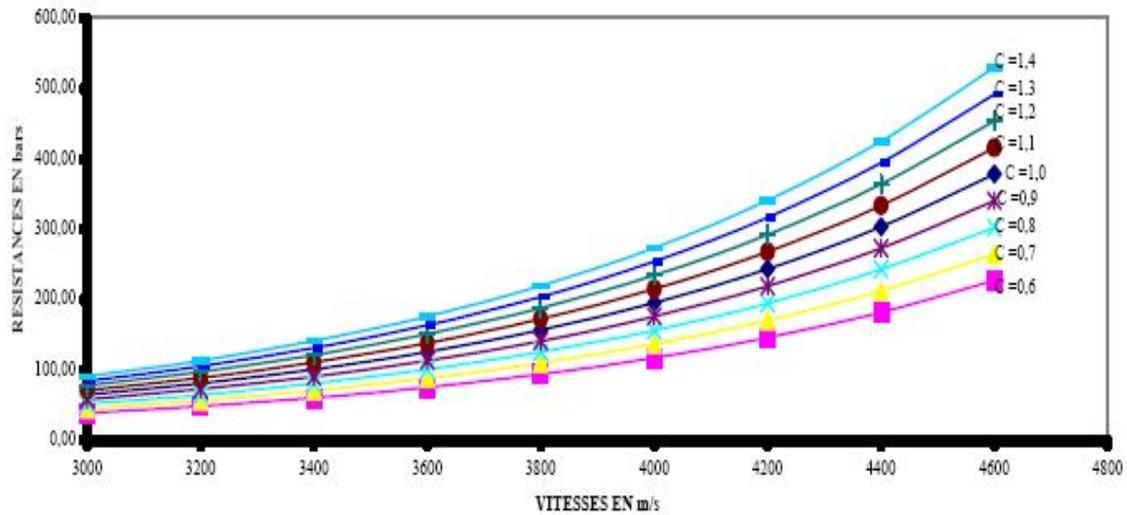


Figure3.9: Courbes de calibrages

Excepté le cas on l'on dispose de courbes de calibration telles que rappelées ci avant, des cas peuvent se présenter tels que :

- ✚ Composition du béton connue, absence d'éprouvettes ou de carottes,
- ✚ Composition du béton connue et existence d'un petit nombre d'éprouvettes ou de carottes,
- ✚ Méconnaissance de la composition du béton et existence d'éprouvettes ou de carottes,
- ✚ Méconnaissance de la composition du béton et inexistence d'éprouvettes et de carottes.

La détermination de la résistance béton in situ sera étudiée au cas par cas.

3.6.1.2.7.3 Autres interprétations possibles:

Les résultats obtenus en appliquant la courbe de la RILEM (voir **figure 3.10**) sont donnés dans le cas où le béton testé est considéré connue. Les résistances ne correspondent pas toujours à la résistance réelle du béton in situ. C'est pour cette raison que par exemple dans les procès verbaux du CNERIB, seuls les appréciations suivantes sont données :

- Classements qualitatifs :

- ✓ $2500 \text{ m/s} \leq V < 3200 \text{ m/s}$ béton de faible résistance,
- ✓ $3200 \text{ m/s} \leq V < 3700 \text{ m/s}$ béton de moyenne résistance,
- ✓ $3700 \text{ m/s} \leq V < 4200 \text{ m/s}$ béton à haute résistance,
- ✓ $V \geq 4200 \text{ m/s}$ béton à très haute résistance.

- Estimation de la résistance du béton selon RILEM

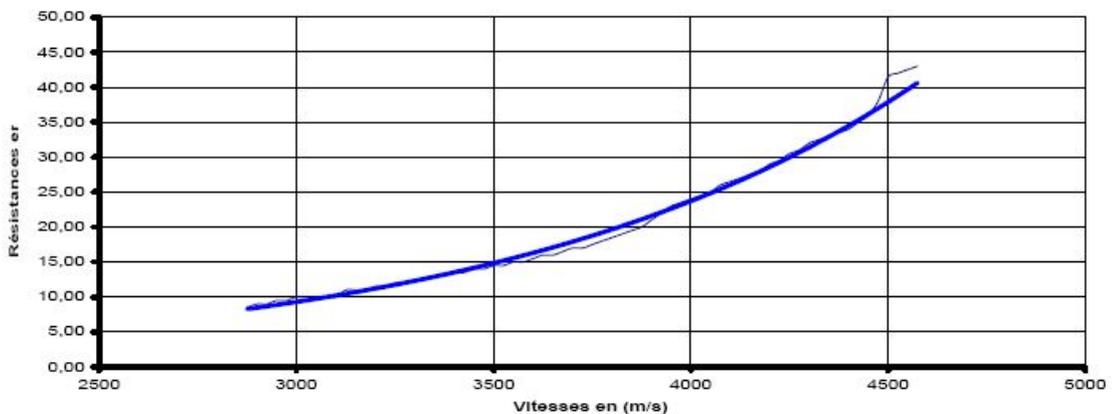


Figure3.10: Courbe RILEM

3.6.1.2.8. Références normatives

Les normes P 18-414 de 1993, P 18-418 de 1989, ASTM C 597- 83 réapprouvée en 1991 et BS 1881 : partie 203 : 1986 spécifient les modes opératoires sans pour autant donner d'interprétation des résultats obtenus.

3.6.1.2.9. Les avantages :

- ✚ C'est une méthode idéale pour déterminer l'homogénéité du béton.
- ✚ L'essai peut être utilisée autant sur les ouvrages complétés que sur ceux en construction.

- ✚ La mesure des ondes sonores présente l'énorme avantage de donner des informations sur l'intérieur d'un élément de béton. Et selon CHUNG ET LAW (1983) l'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour détecter la fissuration (mais les fissures parallèles au déplacement de l'onde), les vides détériorations dues au gel ou de feu et l'uniformité du béton dans des éléments semblables. L'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour suivre les changements microstructuraux dans un élément par exemple à la suite de cycles répétés de gel dégel.

- ✚ ELVERY ET IBRAHIM (1976) et pendant leurs études sur la relation de la vitesse et la résistance dans plusieurs âges ont montrés que l'essai peut aussi être utilisé pour évaluer la résistance du béton à très jeune âge, à partir de trois heures et plus, ce qui peut être intéressant dans le domaine de la préfabrication du béton ou comme outil de décision pour déterminer le moment adéquat des opérations de décoffrage.

3.6.1.3 Méthodes combinées :

3.6.1.3.1 Introduction

Il est possible de combiner deux ou plusieurs méthodes non destructives à la fois et dont les résultats, introduits dans un traitement unique garantissent au résultat final obtenu une précision supérieure. A titre d'exemple MAMILLAN ET BOUINEAU (1980) on déduit de leur recherche sur ce sujet une méthode combinée qui permet une appréciation de la résistance de béton in situ en relation avec l'indice sclérométrique et la vitesse de son. Indépendamment du type d'essai non destructif utilisé, les données proportionnées et fiables de corrélation avec des données standard de la résistance à la compression en 28 jours sont habituellement nécessaires pour évaluer l'exactitude de la méthode non destructive. En outre, la corrélation avec des résistances à la compression en place employant des carottes de un ou deux endroits peut fournir des conseils en interprétant des résultats d'essai non destructifs; ceux-ci peuvent alors être employés pour examiner de plus grandes parties de la structure. Le soin devrait être pris pour considérer l'influence des tailles et des endroits variables des éléments structuraux

Cette solution est particulièrement avantageuse lorsque des variations des propriétés du béton conduisent à des résultats contradictoires. Par exemple, lorsqu'une augmentation du taux d'humidité augmente la vitesse de son, mais diminue l'indice de rebondissement enregistré avec l'essai au scléromètre BELLANDER (1977) figure (3.11).

La RILEM (1993) propose des recommandations sur l'utilisation combinée d'essais non destructifs

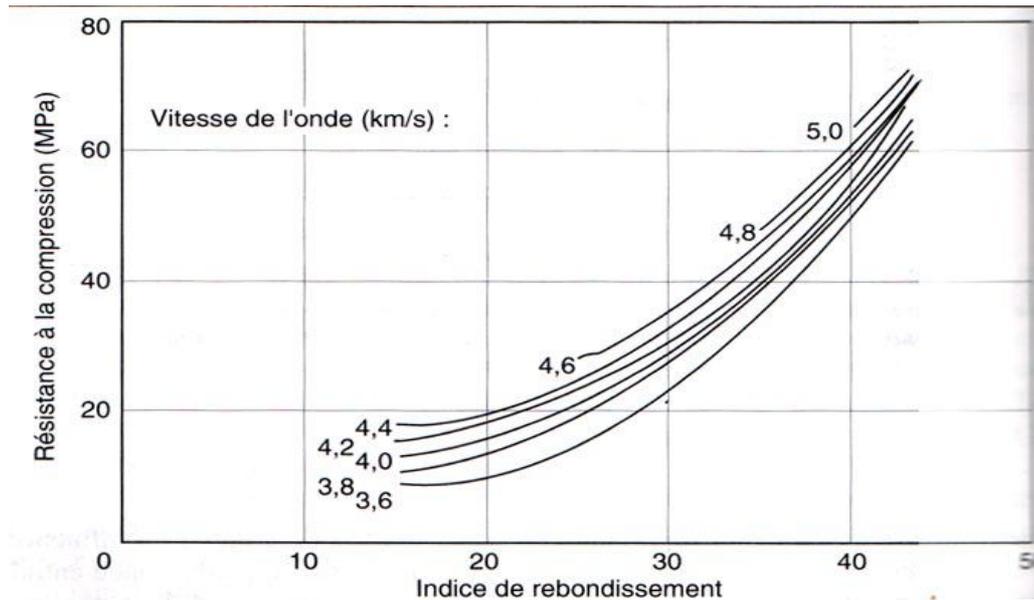


Figure 3.11: Courbe d'estimation la résistance à la compression in situ par utilisation conjointe de la mesure de la propagation d'ondes ultrasoniques et des résultats d'essai au scléromètre selon U. BELLANDER (1977)

3.6.1.3.2 Principe :

Dans notre étude on a basé sur la combinaison de deux essais non destructifs le plus largement répandus; essai de vitesse ultrason et l'essai de scléromètre. Le principe de cette méthode consiste à déterminer la résistance en compression du béton à partir des abaques donnant la variation de la résistance du béton en fonction de la vitesse des ultrasons et de l'indice de rebondissement [R (V, N)]. Cette résistance est corrigée par des valeurs des coefficients d'influences des différents constituants et de leur nature. Ou bien à partir des formules d'estimation d'après les résultats des essais au laboratoires.

Cette technique est utilisée pour la détermination de la résistance en compression en tenant compte à la fois vitesse de propagation de son et l'indice de rebondissement est la méthode combinée ; elle permet d'attendre une précision accrue. Le principe reste identique et on a recours à un béton standard qui possède une courbe d'étalonnage spécifique.

La méthode a été développée pour essayer d'augmenter la fiabilité des essais non destructifs en détectant la résistance du béton.

D'après une enquête de RILEM, il existe actuellement diverses méthodes combinées telle que :

- ✓ Vitesse des ondes ultrasonores longitudinales – dureté des empreintes.
- ✓ Vitesse des ondes ultrasonores longitudinales – dureté superficielle par indice de rebondissement.
- ✓ Vitesse des ondes ultrasonores- atténuation ou amortissement des ondes ultrasonores.
- ✓ Vitesse des ondes ultrasonores- atténuation de la fréquence propre.
- ✓ Vitesse des ondes ultrasonores- atténuation des rayons.
- ✓ Vitesse des ondes ultrasonores-vitesse des ondes ultrasonores transversales.
- ✓ Dureté au choc par rebondissement- dureté par empreinte.

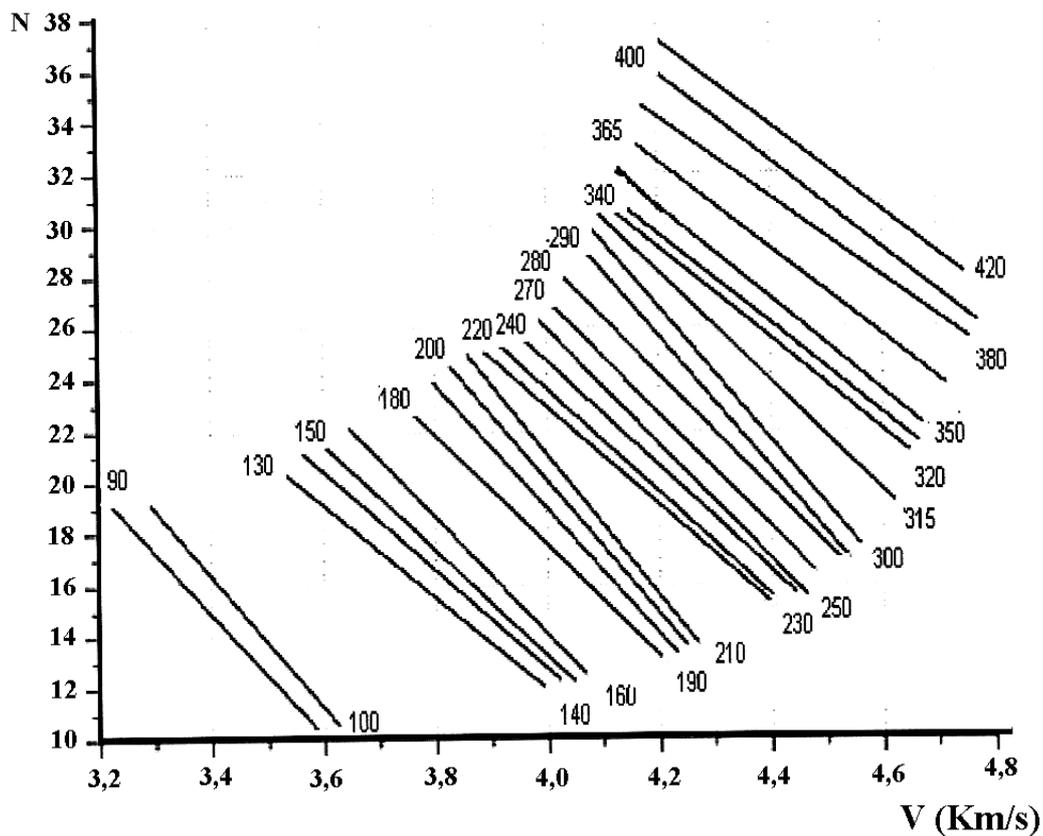


Figure 3.12: Abaque de la variation de la résistance à la compression en bars, en fonction de la vitesse des ultrasons (V) et de l'indice de rebondissement (N) du béton. CNERIB (1998).

3.6.1.3.3 Les avantages

- ✚ L'utilisation combinée d'essais non destructifs garantit au résultat final obtenu une précision supérieure. Elle permet d'annuler des effets parasites. Par exemple lorsque des variations des propriétés du béton conduisent à des résultats contradictoires BELLANDER (1977)
- ✚ Cette technique est utilisée afin d'essayer d'augmenter la fiabilité des essais non destructifs en détectant la résistance du béton.
- ✚ Évaluer la qualité du béton in situ, avec un minimum de connaissance antérieure au sujet du béton examiner.