

1 Protection naturelle des armatures en acier du béton armé

L'armature en acier d'un ouvrage est naturellement protégée par une couche d'oxyde, qui résulte de la création à sa surface d'une pellicule protectrice de ferrite, de formule $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{CaO}$. Ce phénomène est appelé « passivité », et la couche qui en résulte « couche de passivation* ». En effet, au cours de la prise et du durcissement du béton, les ciments* se combinent avec l'eau pour former des produits hydratés de caractère basique. Ces produits, comme la portlandite, de formule $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sont dissous dans la solution aqueuse interstitielle du béton, de pH compris entre 12 et 13. Les armatures sont protégées tant qu'elles se trouvent dans un milieu présentant un pH allant de 9 à 13,5 (fig. 1.01-1).

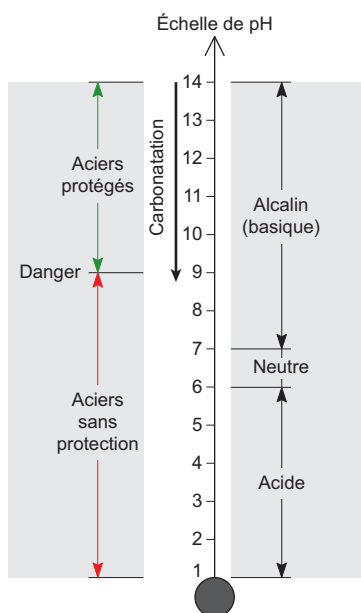


Fig. 1.01-1. Effet de la carbonatation du béton sur les armatures

Cette couche protectrice réduit efficacement le risque de corrosion* de l'armature malgré la présence, parfois, d'eau et d'oxygène. Cependant, elle est perdue lorsque le béton se carbonate jusqu'à la profondeur de l'armature, ou lorsque des sels corrosifs (contenant principalement l'ion Cl^-) sont présents en quantité suffisante à la profondeur de l'armature.

Carbonatation du béton

2 Processus de la carbonatation du béton

Le dioxyde de carbone (CO_2) contenu dans l'air a tendance à se combiner avec les produits hydratés, dont la portlandite, selon une réaction produisant du carbonate de calcium, de formule chimique CaCO_3 . Cette réaction, appelée carbonatation du béton, est un phénomène de vieillissement naturel, qui n'est généralement pas nocif pour le béton.

L'équation de la réaction chimique est la suivante :



dioxyde de carbone + portlandite + eau $\rightarrow$ carbonate de calcium + eau

Cette transformation s'accompagne d'une diminution du pH, lequel atteint des valeurs inférieures à 9, voire, allant jusqu'à 8,3 si tout le Ca(OH)_2 est carbonaté. L'alcalinité du ciment est alors neutralisée, et ce dernier n'assure plus la protection* des armatures, ce qui entraîne une dépassection de l'acier, c'est-à-dire une destruction de la couche de passivation (fig. 1.01-2).

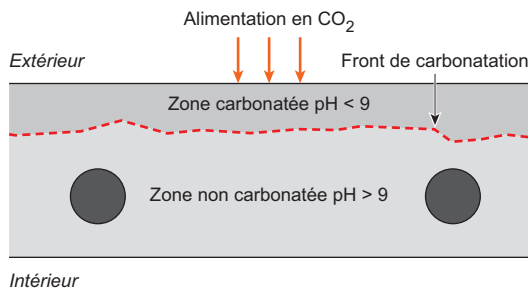


Fig. 1.01-2. Processus de carbonatation du béton

3 Conséquences de la carbonatation du béton

La carbonatation du béton est ainsi une source de dégradation des ouvrages en béton armé, et nuit à leur durabilité. En effet, une des conséquences principales de la carbonatation est de favoriser la corrosion des armatures, c'est-à-dire une réaction d'oxydation, lorsque le front de carbonatation les atteint. Quand le processus de dégradation est fort, la rouille*, par augmentation du volume de l'acier, provoque l'éclatement du béton d'enrobage, et laisse apparaître, à partir d'épaufrures, les armatures oxydées (photo 1.01-1). Le processus est schématisé par la figure 1.01-3.

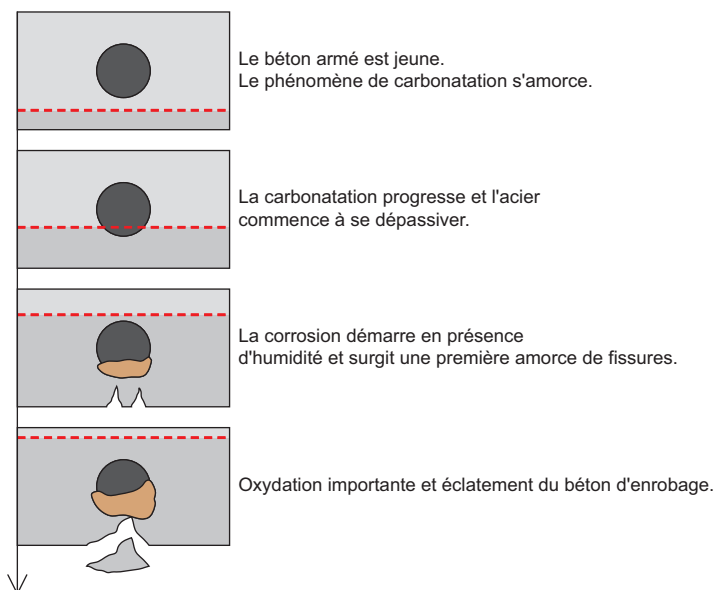
Carbonatation du béton

Fig. 1.01-3. Les phases de dégradation du béton armé par la carbonatation



Photo 1.01-1. Corrosion des armatures et éclatement du béton d'enrobage causés par la carbonatation du béton

Carbonatation du béton

4 Vitesse de carbonatation du béton

La vitesse de carbonatation du béton est fonction de nombreux paramètres, dont les plus importants sont sa porosité* et le taux d'humidité relative du milieu ambiant.

La porosité du béton est étroitement liée avec ses caractéristiques mécaniques. En effet, la cinétique du processus dépend de la teneur en CO₂, et de la facilité avec laquelle ce gaz pénètre dans les pores du béton. Cette progression est étroitement liée aux caractéristiques du béton (nature et dosage du ciment, rapport eau/ciment, porosité et perméabilité), et au milieu environnant (teneur en dioxyde de carbone). Plus le béton est compact, le dosage en ciment élevé, le rapport eau/ciment (E/C) faible et la résistance du béton élevée, plus la progression du front de carbonatation est lente. De ce fait, plus la porosité du béton est faible, plus l'échéance de dépassement des armatures est retardée. Ainsi, pour des bétons présentant des résistances à la compression* supérieures ou égales à 50 MPa à 28 jours, comme notamment les bétons à hautes performances (BHP), la cinétique de carbonatation est très faible.

La carbonatation augmente proportionnellement à la racine carrée du temps :

$$\text{Profondeur de carbonatation} = k \cdot \sqrt{t}$$

Avec la profondeur de carbonatation en centimètres et le temps en années.

Le coefficient k dépend de la qualité générale du béton (résistance à la compression, porosité) :

- $k > 0,5$ pour un béton poreux ;
- $k = 0,5$ pour un béton normal ;
- $k = 0,2$ à $0,3$ pour un béton de qualité, compact.

Comme application de cette relation, on peut voir dans le tableau 1.01-1 la différence sur deux bétons se trouvant dans les mêmes conditions, mais présentant des caractéristiques mécaniques et des compacités différentes.

Tab. 1.01-1. Profondeur de carbonatation en fonction de la qualité du béton

Béton	Résistance à la compression (MPa)	Valeur de k	Profondeur de carbonatation (mm) après				
			1 an	5 ans	10 ans	25 ans	50 ans
Béton 1	30	0,5	5	11	16	25	35
Béton 2	50	0,25	2,5	6	8	12	18

Concernant le taux d'humidité, la carbonatation est maximale pour une humidité du milieu extérieur comprise entre 50 % et 80 %.

Carbonatation du béton**5 Précautions pour retarder la progression de la carbonatation**

On peut agir pour ralentir la progression de la carbonatation en :

- augmentant (optimisant) le dosage en ciment ;
- diminuant le rapport eau/ciment (E/C) ;
- augmentant le temps de cure* du béton à jeune âge ;
- augmentant l'enrobage.

La norme européenne NF EN 206+A2/CN fixe des paramètres de formulations (dosages en liant, rapport eau/liant) et une classe de résistance minimale, pour qu'un béton se comporte de façon durable vis-à-vis de la corrosion des armatures initiée par la carbonatation du béton d'enrobage.

Cette norme définit quatre classes d'exposition ou degrés d'agressivité, notées XC1 à XC4, qui sont fonction de l'humidité et de l'existence de cycles d'humidification et de séchage (cf. fiche 1.07).

Détermination de la vitesse de propagation du son (ultrasons)

1 Principe

Cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales dans le béton : on mesure le temps mis par une onde à parcourir une distance connue dans le béton. C'est une mesure de vitesse de son. Cette vitesse est d'autant plus élevée que le béton a un module d'élasticité important.

Un train d'ondes longitudinales est produit par un transducteur électro-acoustique maintenu au contact de la surface du béton soumis à l'essai. Après avoir parcouru une longueur connue dans le béton, le train de vibrations est converti en signal électrique par un deuxième transducteur, et des compteurs électroniques mesurent le temps de parcours de l'impulsion.

2 Objectifs

Les objectifs de l'essai peuvent être :

- la détermination de l'uniformité (l'homogénéité) du béton ;
- la détection de la présence et la mesure approximative de fissures, trous et autres défauts ;
- l'évaluation de l'efficacité de réparation de fissures ;
- la mesure des changements intervenus avec le temps dans les propriétés du béton ;
- la corrélation de la vitesse d'impulsion et de la résistance comme une mesure de la qualité du béton ;
- la détermination du module d'élasticité et du coefficient de Poisson dynamiques du béton.

3 Norme de l'essai

L'essai est exécuté selon la norme NF EN 12504-4 « Essais pour béton dans les structures – Partie 4 : détermination de la vitesse de propagation du son ». Il est aussi défini par la norme ISO 1920-7:2004 « Essais du béton – Partie 7 : essais non destructifs du béton durci ».

4 Équipement spécifique

L'appareillage est constitué essentiellement d'un générateur d'impulsions électriques, de plusieurs transducteurs (un émetteur et un ou plusieurs récepteurs), et d'un dispositif de chronométrage (fig. 6.06-1). Les contacts entre les transducteurs avec la pièce à ausculter sont ponctuels ou surfaciques.

Détermination de la vitesse de propagation du son (ultrasons)

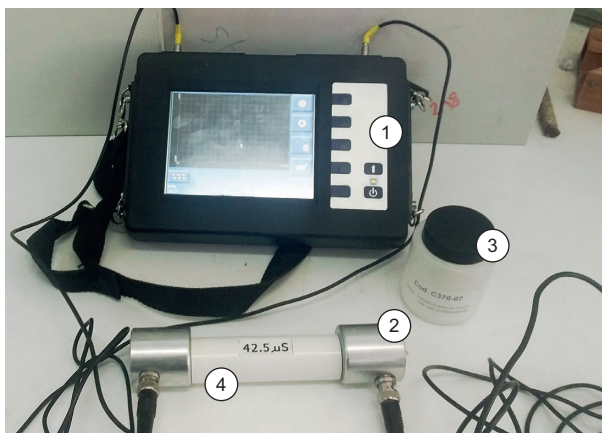


Fig. 6.06-1. Exemple d'appareil à ultrasons (1), de transducteurs (2), de produit couplant (3) et de barreau de calibrage (4)

La qualité du contact entre les transducteurs et le béton est primordiale pour la validité de la mesure. Pour cela, on interpose un produit couplant, qui peut être de la vaseline, du savon liquide ou de la graisse silicone. Pour les contacts ponctuels, le produit couplant n'est pas nécessaire.

5 Méthodes de mesure

Trois méthodes de mesure sont possibles : la méthode par transmission directe (ou transparence), la méthode par transmission de surface (ou indirecte) et la méthode par semi-transparence (ou semi-directe).

On passe dans tous les cas par les étapes suivantes pour les mesures :

- dépoussiérer le support ;
- éliminer toute trace d'humidité ;
- localiser les armatures ;
- marquer les points à tester au crayon ou à la craie ;
- poncer au moyen de la pierre à polir les surfaces de texture rugueuse ou peu résistantes, ou encore celles couvertes de laitance, jusqu'à ce qu'elles soient lisses. Les surfaces brutes de coffrage ou lissées à la truelle peuvent être soumises à l'essai sans meulage préalable ;
- calibrer grâce au barreau de calibrage (fig. 6.06-1) fourni avec l'appareil pour obtenir une ligne de référence du mesurage de la vitesse ;
- mesurer selon la méthode choisie.

Méthode de transmission directe

L'émetteur et le récepteur sont appliqués sur les deux faces opposées de l'élément à mesurer (fig. 6.06-2). Il faudra noter :

- la mesure de la distance séparant les deux transducteurs ; elle doit être supérieure à quatre fois le plus gros diamètre des granulats ;
- la valeur minimale du temps du parcours, qui indique que l'épaisseur du produit de couplage a été réduite au minimum.

Détermination de la vitesse de propagation du son (ultrasons)

Chaque mesure doit être répétée au moins trois fois en repositionnant au même endroit les transducteurs.

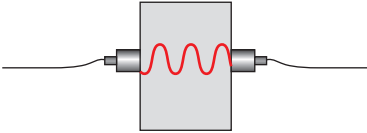


Fig. 6.06-2. Positionnement des transducteurs sur les faces opposées (méthode directe)

Méthode de transmission indirecte

Les deux transducteurs (émetteur et le récepteur) sont appliqués sur la même surface plane de l'élément à mesurer (fig. 6.06-3). L'émetteur reste fixe et le récepteur change de position à chaque mesure. On prend au moins cinq mesures en cinq points alignés en s'assurant d'avoir une distance entre chaque point comprise entre 10 et 30 cm. Si le plus gros granulats du béton est inférieur à 20 mm, la distance minimale entre deux points est de 10 cm. Si le plus gros granulats du béton dépasse 20 mm, la distance minimale entre deux points est de 15 cm. On veillera, à l'aide d'un détecteur d'armatures, à ne pas prendre de mesure au-dessus ou à proximité des armatures, surtout celles parallèles à la direction de propagation de l'impulsion, afin que la mesure concerne le béton et non l'acier. Noter le temps du parcours. Chaque mesure doit être répétée trois fois, en repositionnant au même endroit les transducteurs.

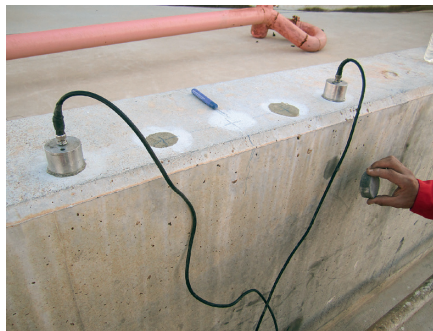
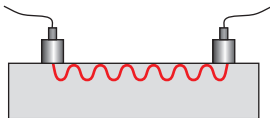


Fig. 6.06-3. Positionnement des transducteurs sur la même face (méthode indirecte)

Méthode semi-directe

L'émetteur et le récepteur sont positionnés sur deux faces non coplanaires de l'élément à mesurer (fig. 6.06-4). Si une seule mesure est réalisée, l'essai se déroule en suivant la méthode par transmission directe. Si plusieurs mesures sont réalisées en déplaçant le transducteur-récepteur, l'essai est réalisé en suivant la méthode par transmission indirecte.

Détermination de la vitesse de propagation du son (ultrasons)

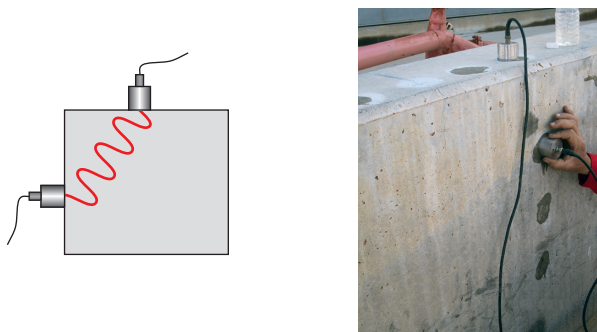


Fig. 6.06-4. Positionnement des transducteurs sur deux faces non coplanaires (méthode semi-directe)

6 Exploitation des résultats

L'exploitation des résultats est fonction de la méthode de mesure.

Méthode de transmission directe

Le temps de propagation des ondes soniques est exprimé en microseconde (μs). La vitesse conventionnelle de propagation en mètre par seconde (m/s) est calculée à l'aide de la relation :

$$v = \frac{l}{t}$$

où :

l : la distance entre les deux transducteurs (mm) ;

t : le temps de propagation (μs).

Des études de la Réunion internationale des laboratoires et experts des matériaux (Rilem)⁽⁶⁾ ont montré que des corrélations sont possibles entre la résistance à la compression R_c et la vitesse v . Plus la vitesse est importante, meilleure est la qualité du béton. Le tableau 6.06-1 donne une idée de la qualité du béton en fonction de la vitesse.

Tab. 6.06-1. Relation entre la vitesse de propagation et la qualité du béton

Qualité	Vitesse de propagation (m/s)
Excellente	Supérieure à 4 000
Bonne	De 3 200 à 4 000
Moyenne	De 2 500 à 3 200
Mauvaise	De 1 700 à 2 500
Très mauvaise	Inférieure à 1 700

(6) Volume 16, année 1983.

Détermination de la vitesse de propagation du son (ultrasons)

Méthode de transmission indirecte

La détermination de la vitesse conventionnelle est graphique. On porte les différentes valeurs relevées dans un repère orthogonal ayant le temps (en μs) en abscisse, et la distance entre les points (en cm ou mm) en ordonnée. On trace par la suite la droite la plus représentative de la population formée par ces points. Le béton est considéré comme homogène, dans la zone auscultée, si les points sont presque alignés (fig. 6.06-5). Dans ce cas, la vitesse est la pente de la droite. Dans le cas contraire (fig. 6.06-6), on peut définir une vitesse conventionnelle.

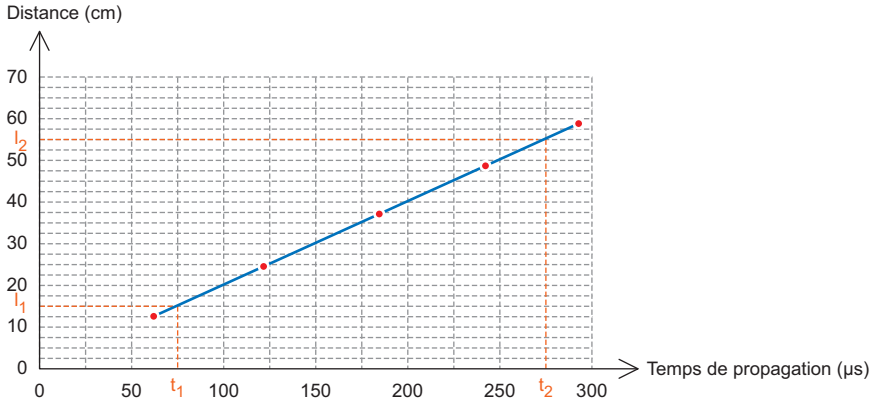


Fig. 6.06-5. Exemple de détermination de la vitesse de propagation, béton homogène

$t_1 = 75 \mu\text{s}$; $t_2 = 275 \mu\text{s}$; $l_1 = 14,3 \text{ cm} = 143 \text{ mm}$; $l_2 = 54,5 \text{ cm} = 545 \text{ mm}$

Sur l'exemple de la figure 5, on trouve une vitesse $v = 2,01 \text{ km/s}$. Le béton est homogène, mais de mauvaise qualité pour la couche de surface.

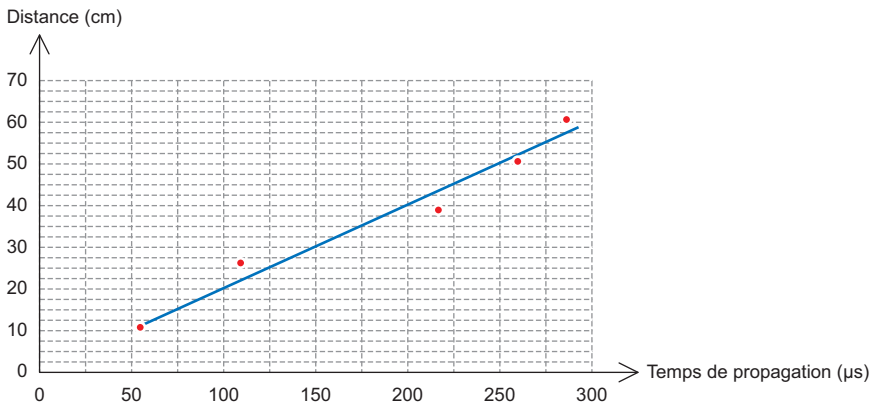


Fig. 6.06-6. Exemple de détermination de la vitesse de propagation, points non-alignés

La pente P de la droite de régression tracée entre les points doit être mesurée et enregistrée comme étant la vitesse moyenne de propagation du son sur la ligne définie sur la surface du béton. Elle est définie par :

$$P = \frac{l_1 - l_2}{t_1 - t_2}$$

Détermination de la vitesse de propagation du son (ultrasons)

Le résultat est exprimé en kilomètre par seconde (km/s) ou en mètre par seconde (m/s), sachant que les points (l_1, t_1) et (l_2, t_2) appartiennent à la droite et sont choisis les plus éloignés possible.

Le non-alignement des points peut être l'indice d'un défaut dans l'ouvrage ou d'un ferrailage important sur le parcours de l'onde sonore (fig. 6.06-6). Les défauts peuvent être aussi une fissure ou la présence de deux bétons de qualités très différentes. L'insuffisance de l'appareillage par atténuation trop importante du signal peut être source du non-alignement des points.

Cette méthode permet de :

- mettre en évidence une couche superficielle endommagée par le gel, le feu, etc. ;
- mettre en évidence une mauvaise reprise de bétonnage ;
- déterminer la présence de fissures de masse et éventuellement leur profondeur.

La méthode d'estimation de la profondeur d'une fissure est décrite par la norme américaine BS 1881:203: *Testing concrete. Recommendations for Measurement of Velocity of Ultrasonic Pulses in Concrete*⁽⁷⁾. Certains appareils à ultrasons sont équipés d'option « évaluation de profondeur de fissures ». L'estimation de la profondeur d'une fissure peut être influencée par la présence d'armature, par la direction de la fissure, par le fait qu'elle soit traversante ou non, et plusieurs autres facteurs (fig. 6.06-7).

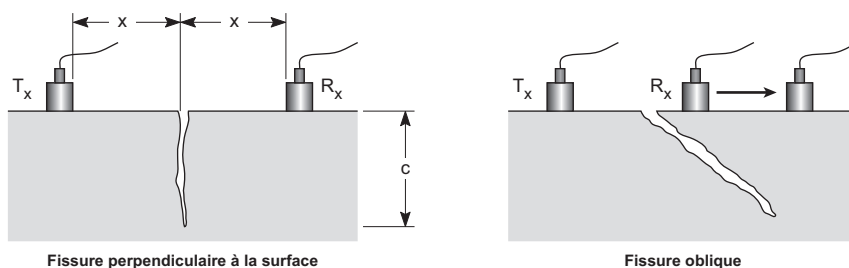


Fig. 6.06-7. Principe de mesure de la profondeur des fissures (d'après BS 1881:203)

En cas d'éléments fissurés, lorsque les lèvres des fissures sont maintenues en contact étroit par des forces de compression, les ondes ultrasonores peuvent passer sans entrave à travers cette fissure. À titre d'exemple, cela peut se produire pour des piliers porteurs verticaux. Si la fissure est remplie d'un liquide capable de transmettre l'énergie des ultrasons (par exemple dans les structures marines) ou si la fissure est partiellement remplie de particules solides, la fissure ne peut pas être détectée.

Méthode semi-directe

L'exploitation de la méthode semi-directe est liée à la façon de réaliser la mesure :

- si une seule mesure est réalisée, l'essai est assimilable à celui de la méthode par transmission directe ;
- si plusieurs mesures sont réalisées en déplaçant le transducteur-récepteur, l'essai est assimilable à celui de la méthode par transmission de surface

(7) Test du béton – Recommandations pour la mesure de la vitesse des impulsions ultrasonores dans le béton.

Détermination de la vitesse de propagation du son (ultrasons)

Cette méthode peut être utilisée, par exemple, pour localiser des hétérogénéités à l'intérieur d'un élément en béton (fig. 6.06-8).

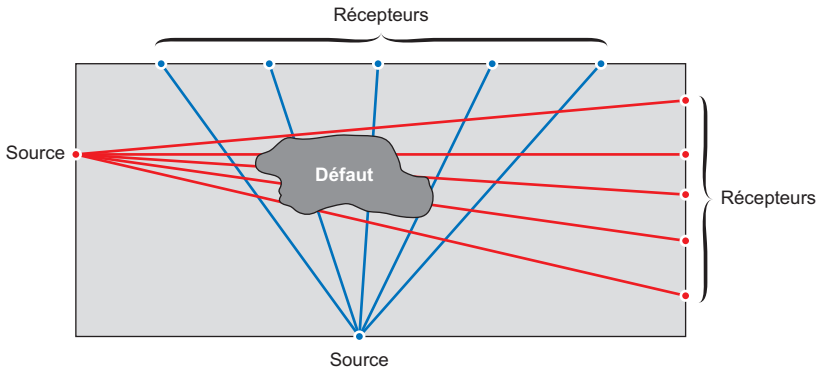


Fig. 6.06-8. Exemple d'exploitation de la méthode semi-directe

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes :

- a) identification de la structure du béton/de la pièce ;
- b) emplacement de la surface d'essai ;
- c) identification de l'appareil ;
- d) description de la préparation de la surface ;
- e) informations détaillées sur la composition et l'état du béton ;
- f) résultats de l'essai.

7 Facteurs influant sur les résultats des mesures

Teneur en humidité

La teneur en humidité produit deux effets sur la vitesse de propagation du son, l'un chimique, l'autre physique⁽⁸⁾. Ces effets sont importants pour l'établissement de corrélations destinées à fournir une estimation de la résistance du béton (fig. 6.06-9). Entre une éprouvette normalisée cubique ou cylindrique soumise à une cure correcte et un élément structurel réalisé avec le même béton, il peut y avoir une différence importante de vitesse de propagation du son. La plupart des différences sont dues à l'influence des conditions de séchage sur l'hydratation du ciment, tandis que certaines sont dues à la présence d'eau libre dans les vides. Il est important de bien tenir compte de ces effets pour estimer la résistance.

(8) Willetts C. H., *Investigation of the Schmidt Concrete Test Hammer*, 1958.

Détermination de la vitesse de propagation du son (ultrasons)

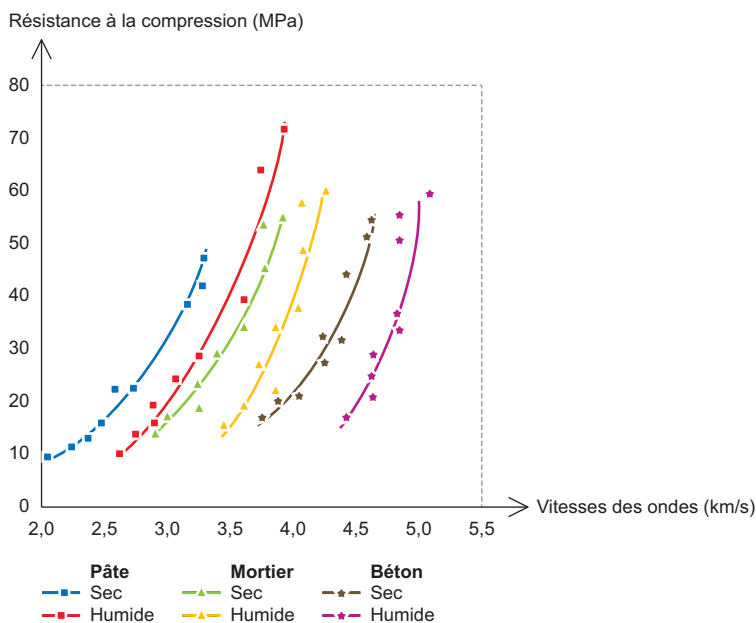


Fig. 6.06-9. Influence de l'humidité du support (d'après C. H. Willetts)

Température du béton

Il a été constaté que des variations de température du béton comprises entre 10 °C et 30 °C n'entraînent pas de changement significatif de la vitesse de propagation du son en l'absence de changements correspondants des propriétés de résistance ou d'élasticité. Il convient de corriger les mesures de vitesse de propagation du son seulement pour les températures non comprises dans cette plage de températures, en se référant à des documents de référence, par exemple, à la norme américaine BS 1881:203, qui donne les corrections à apporter au temps de parcours en fonction de la température (tab. 6.06-2).

Tab. 6.06-2. Influence de la température sur la vitesse de propagation du son
(source : BS 1881:203)

Température (°C)	Correction sur la vitesse de propagation du son	
	Béton sec (%)	Béton saturé (%)
60	+ 5	+ 4
40	+ 2	+ 1,7
20	0	0
0	- 0,5	- 1
- 4	- 1,5	- 7,5

Détermination de la vitesse de propagation du son (ultrasons)

Forme et dimension de l'éprouvette

La vitesse de propagation du son est indépendante de la dimension et de la forme de l'éprouvette, sauf si sa plus petite dimension latérale est inférieure à une valeur minimale. Au-dessous de cette valeur, la vitesse de propagation du son peut être réduite de manière appréciable. Le tableau 6.06-3 donne les dimensions latérales minimales en fonction de la fréquence.

Tab. 6.06-3. Incidence des dimensions des éprouvettes sur la transmission de l'impulsion
(source : NF EN 12504-4)

Fréquence du transducteur (kHz)	Vitesse d'impulsion dans le béton v_c (km/s)		
	$v_c = 3,50$	$v_c = 4,00$	$v_c = 4,50$
	Dimension latérale minimale admissible de l'éprouvette (mm)		
24	146	167	188
54	65	74	83
82	43	49	55
150	23	27	30

La reprise en sous-œuvre par micropieux consiste en un report du niveau de fondation à un niveau inférieur, où le terrain est de meilleure qualité. Le transfert de charge est assuré par des micropieux. Les micropieux, mode de fondations qui s'apparente à des fondations profondes, sont des pieux de diamètre inférieur ou égal à 250 mm (300 mm pour la norme NF EN 14199 « Exécution des travaux géotechniques spéciaux – micropieux »). Ils sont de quatre types, qui varient selon le procédé d'exécution. Les quatre types décrits ci-après sont adaptés de la norme NF EN 14199 en suivant les définitions données dans le DTU 13.2 « Fondations profondes pour le bâtiment, Partie 1 : cahier des clauses techniques ».

1 Type I

Le micropieu type I est un pieu foré tubé. Le forage est équipé ou non d'armatures, et rempli d'un mortier de ciment au tube plongeur. Le tubage est ensuite obturé en tête, et l'intérieur du tubage au-dessus du mortier mis sous pression. Le tubage est récupéré en maintenant la pression sur le mortier (fig. 11.03-1).

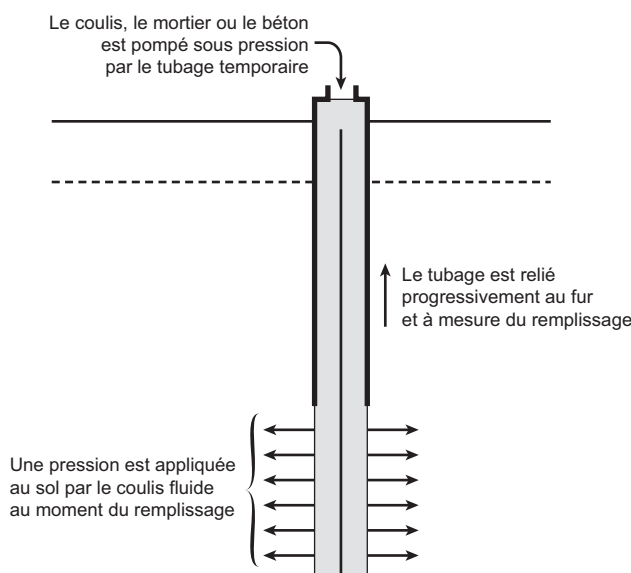


Fig. 11.03-1. Injection du forage avec un tubage temporaire en appliquant une pression
(source : norme NF EN 14199)

2 Type II

Le micropieu de type II est un pieu foré. Le forage est équipé d'une armature et rempli d'un coulis ou de mortier de scellement par gravité ou sous une très faible pression au moyen d'un tube plongeur. Lorsque la nature du sol le permet, le forage peut être remplacé par le lançage, le battage ou le fonçage*.

Reprise en sous-œuvre par micropieux

L'armature est constituée :

- soit par un tube à paroi épaisse ;
- soit par des barres d'acier raccordées bout à bout ;
- soit par un faisceau de barres en acier placées à l'intérieur d'un tube en acier.

3 Type III

Le micropieu type III est un pieu foré. Le forage est équipé d'armatures et d'un système d'injection qui est un tube à manchettes mis en place dans un coulis de gaine. Si l'armature est un tube métallique, ce tube peut être équipé de manchettes et tenir lieu de système d'injection. L'injection est faite en tête à une pression supérieure ou égale à 1 MPa. Elle est globale et unitaire (IGU). Dans les sols mous, ce type de pieu doit être calculé au flambement*. Lorsque la nature du sol le permet, le forage peut être remplacé par le lançage, le battage ou le fonçage.

4 Type IV

Le micropieu type IV est un pieu foré. Le forage est équipé d'armatures et d'un système d'injection qui est un tube à manchettes mis en place dans un coulis de gaine (fig. 11.03-2). Si l'armature est un tube métallique, ce tube peut être équipé de manchettes et tenir lieu de système d'injection. On procède à l'injection à l'obturateur simple ou double d'un coulis ou mortier de scellement à une pression d'injection supérieure ou égale à 1 MPa. L'injection est répétitive et sélective (IRS). Dans les sols mous, ce type de pieu doit être calculé au flambement. Lorsque la nature du sol le permet, le forage peut être remplacé par le lançage, le battage ou le fonçage.

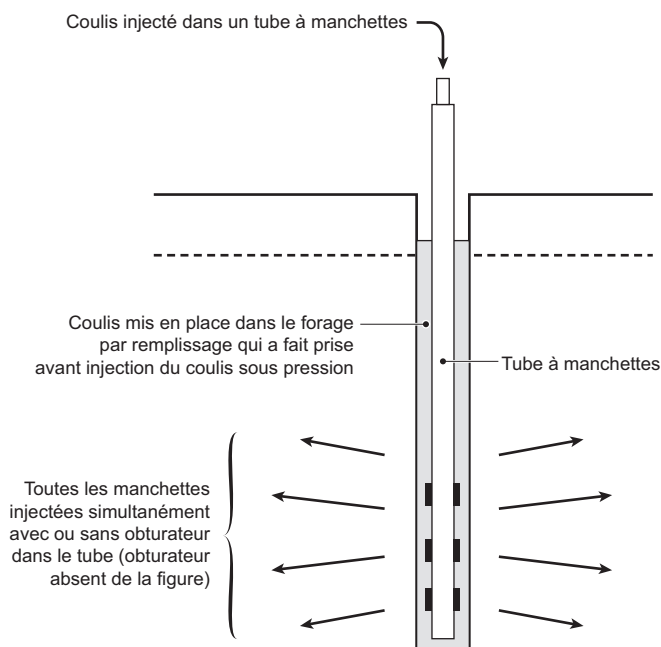


Fig. 11.03-2. Injection en une seule passe par un tube à manchettes

(source : norme NF EN 14199)

Reprise en sous-œuvre par micropieux**5 Structures des micropieux**

Un micropieu peut être installé de manière isolée, en groupe ou en réseau (fig. 11.03-3).

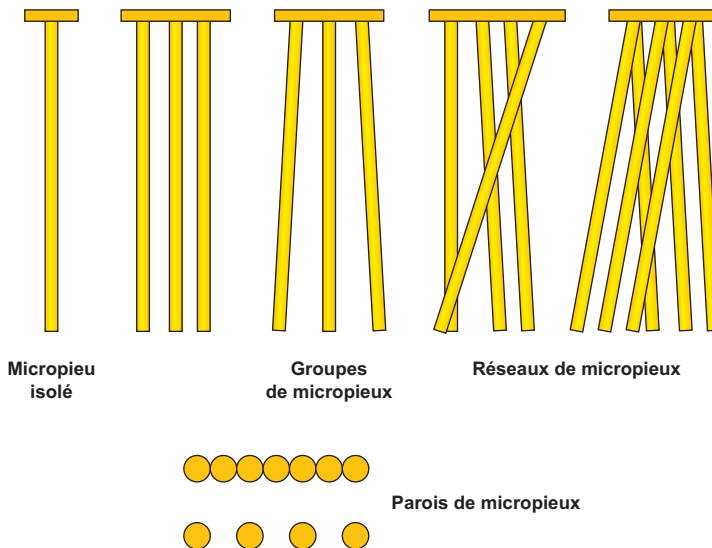


Fig. 11.03-3. Exemples de structures de micropieux
(source : norme NF EN 14199)

Par ailleurs, il peut être placé verticalement ou en position inclinée. Il peut venir aussi en complément d'un élargissement de semelle. La figure 11.03-4 illustre quelques cas.

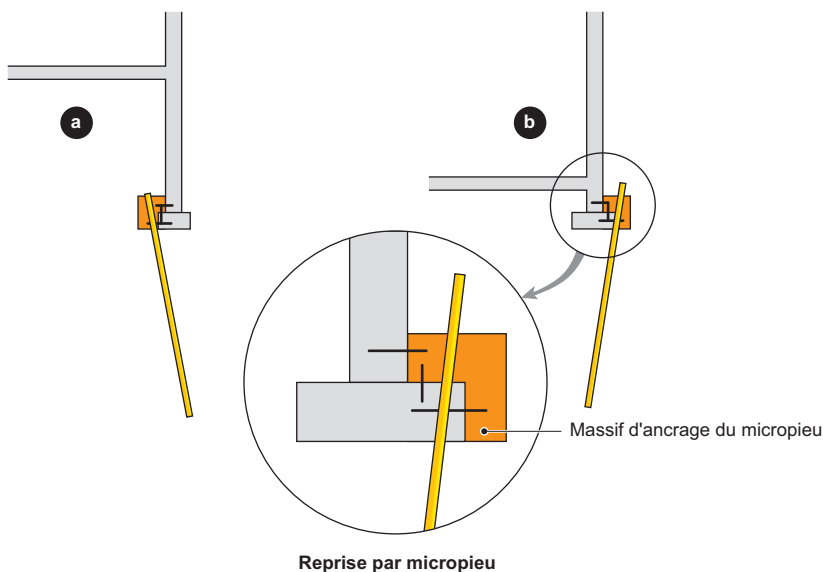


Fig. 11.03-4. Exemple d'utilisation de micropieux

Reprise en sous-œuvre par micropieux

Les figures 11.03-5 et 11.03-6 illustrent quelques exemples de renforcement des semelles existantes par micropieux.

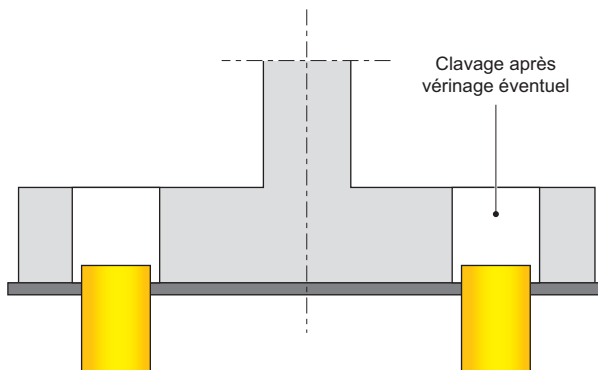


Fig. 11.03-5. Réalisation de pieux ou micropieux à travers une semelle de fondation existante
(source : norme NF P 95-106)

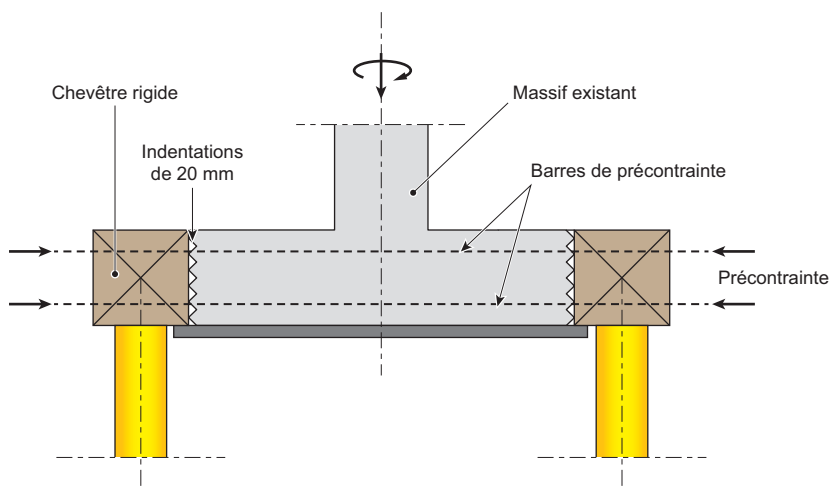


Fig. 11.03-6. Réalisation de pieux ou micropieux avec exécution d'un chevêtre rigide solidarisé à la semelle existante
(source : norme NF P 95-106)

6 Composition et mise en place du mortier

Le mortier et le béton pour micropieux doivent avoir :

- une grande résistance à la ségrégation ;
- une grande plasticité et une bonne cohésivité⁽¹⁾ ;

(1) Cf. paragraphe 6.5.2 de la NF EN 14199 (septembre 2015 – indice de classement : P94-213) : Exécution des travaux géotechniques spéciaux – Micropieux – Exécution des travaux géotechniques spéciaux.

Reprise en sous-œuvre par micropieux

- une bonne fluidité⁽²⁾ ;
- une aptitude à l'auto-compactage ;
- une ouvrabilité* suffisante pendant la durée de leur mise en place et le retrait des tubages temporaires ;
- une résistance minimale à la compression simple au moins de classe C25/30 à 28 jours (ou à la date du premier chargement du micropieu si celui-ci est réalisé avant cette date).

La composition et le dosage du mortier sont déterminés en fonction de la charge intrinsèque à obtenir. Le dosage minimal est de 500 kg de ciment par m³ de mortier, et le dosage minimal du coulis de scellement est de 1 200 kg de ciment par m³ de coulis⁽³⁾. Le choix du liant tient compte des résultats d'analyse chimique des eaux prélevées dans le sol.

Le forage une fois terminé est entièrement rempli de mortier au tube plongeur. Pendant la remontée du tubage, le niveau du mortier baisse du fait du remplissage des hors-profil, mais il ne doit jamais se trouver au-dessous du bas du tubage.

Les photos 11.03-1 à 11.03-3 illustrent un exemple de chantier de mise en place de micropieux pour renforcer un sol.



Photo 11.03-1. Équipements d'un atelier : malaxeur et pompe à injection

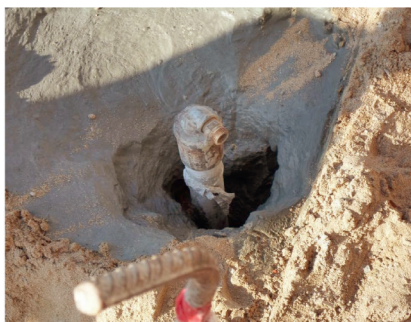


Photo 11.03-2. Opération de forage et tube d'injection

(2) *Idem* (1).

(3) NF DTU 13.2 (septembre 1992 – indice de classement : P11-212) : Travaux de fondations profondes pour le bâtiment – Partie 1 : cahier des clauses techniques.

Reprise en sous-œuvre par micropieux



Photo 11.03-3. Manomètre de contrôle de pression et micropieu achevé