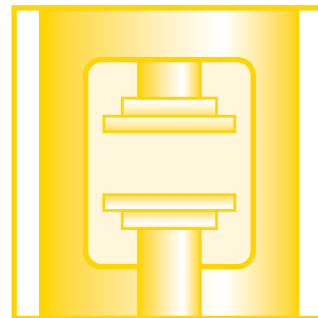


MESURE DE L'INDICE DE REBONDISSEMENT D'UN BÉTON AVEC UN SCLÉROMÈTRE

Norme de référence NF EN 12504-2 (Février 2003)

Auteurs : Hervé BEINISH - Sylvain POUDEVIGNE

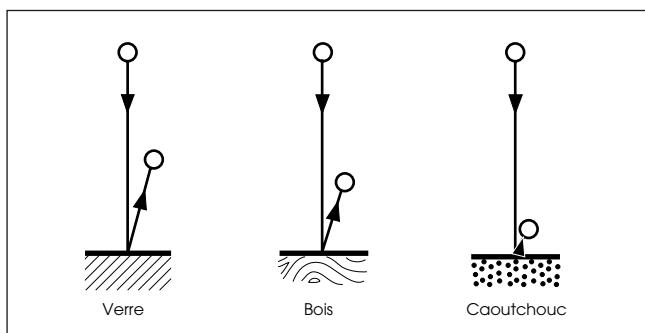


Modification par rapport à la précédente édition de février 1999 : mise à jour de la fiche par rapport à la norme NF EN 12504-2, qui remplace la norme P 18-417.

L'utilisation d'un scléromètre ne permet qu'une estimation de la résistance du béton ou de sa régularité. Néanmoins, dans le cadre d'un suivi de production en usine, la mesure de l'indice de rebondissement reste un bon indicateur, lorsqu'elle fait l'objet d'une corrélation satisfaisante.

PRINCIPE

La chute d'un objet entraîne une énergie cinétique. Lors de l'impact, celle-ci est absorbée en partie par le matériau, l'énergie restante se manifeste par le rebond de l'objet.



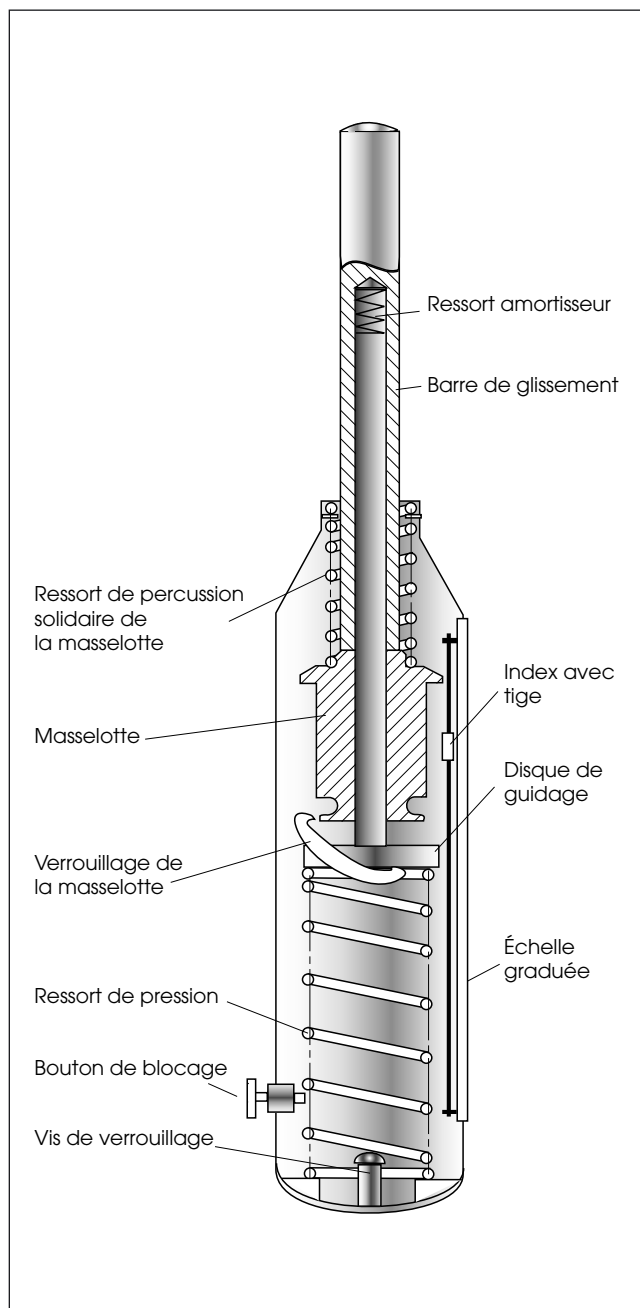
Pour le béton : il est établi que la hauteur de rebondissement est d'autant plus grande que sa dureté superficielle est élevée (ce qui correspond en principe à un béton plus résistant).

APPAREIL

Le scléromètre comporte une masselotte projetée par un ressort le long d'une tige servant à transmettre l'effort au béton.

Conseil pour l'achat d'un scléromètre

Selon la nature du produit à tester, il convient de choisir le modèle dont l'énergie de percussion est adaptée (voir tableau comparatif page suivante).



Énergie de percussion (Joules)	Matériaux testés	Modèles de scléromètre
0,735	Éléments de faibles dimensions et sensibles aux chocs	L – LR*
0,883	Matériaux légers, revêtements, enduits...	P
0,883	Matériaux très légers : béton jeune, mousse, plâtre...	PT
2,207	Béton : bâtiments, ouvrages d'art...	N – NR*
29,430	Béton : routes et ouvrages de grandes dimensions (barrages...)	M

* R : avec enregistrement

Pour l'industrie des composants en béton, les modèles N et NR sont préconisés.

La vérification indispensable du bon fonctionnement du scléromètre est faite soit par le fournisseur de l'appareil, soit par un laboratoire d'essais des matériaux.

Éventuellement, le contrôle du bon fonctionnement peut se réaliser en comparant les résultats mesurés sur un même béton par deux scléromètres, ou encore en vérifiant la constance des indices de rebondissement (± 2 indices de la valeur théorique) obtenus sur l'enclume métallique de référence.

DOMAINE D'EMPLOI

L'utilisation du scléromètre permet :

- soit de surveiller dans le temps la régularité de la production ;
- soit d'estimer, de façon approximative, la résistance en compression du béton testé.

Par ailleurs cet appareil peut également être utilisé pour s'assurer de l'homogénéité du béton de grands éléments (mesures réparties sur toute la surface).

Surveillance de la stabilité de la production

Dans le cadre du suivi de production des composants en béton, il faut s'assurer qu'une production correspondant bien aux exigences prévues reste stable.

Pour s'affranchir des essais destructifs, il est nécessaire de procéder à un étalonnage préalable du scléromètre avec la production concernée. Cet étalonnage a pour objet de définir l'indice de rebondissement (I_R) minimum correspondant au seuil de résistance garanti (cf. exemple page suivante).

PROCÉDURE D'ÉTALONNAGE DU SCLÉROMÈTRE

Il est nécessaire d'établir une relation entre les indices de rebondissement (mesures indirectes) et les résultats

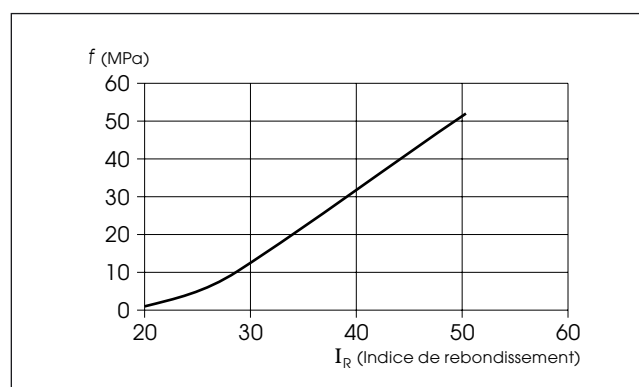
de résistance en compression sur des éprouvettes ou des carottes (essais directs). Le mode opératoire proposé ci-dessous est en partie défini dans la norme pr EN 13791 (2003) *Évaluation de la résistance à la compression du béton dans les structures ou les éléments structuraux*.

Principe

L'estimation de la résistance en compression à partir du scléromètre est réalisée sur une **courbe étalonnée**.

Cette courbe étalonnée est établie à partir de la **courbe de base** donnée ci-après et représentative d'un grand nombre de résultats d'essais.

Cette courbe de base représente la courbe de limites inférieures des résultats d'essais attendus. Elle est combinée à un facteur de correction de sécurité Δf déterminé lors de l'étalonnage sur éprouvette.



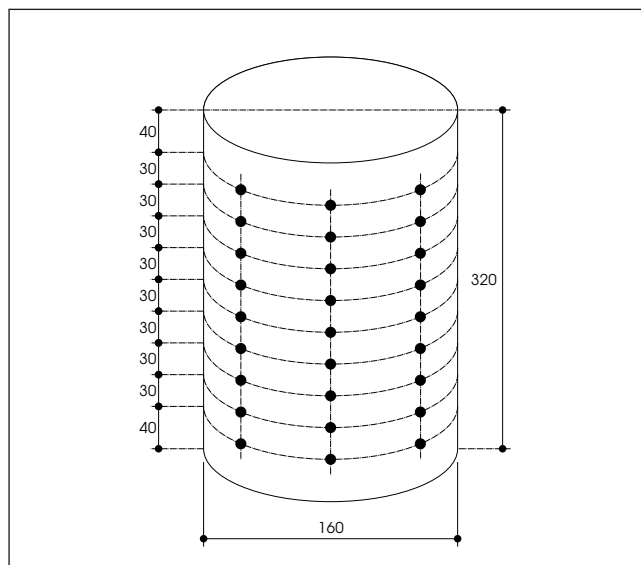
Courbe de base

Mode opératoire

- Confectionner ou carotter 9 éprouvettes représentatives du béton dont on souhaite estimer la résistance. Les éprouvettes sont testées à des âges différents.

- Déterminer pour chaque éprouvette sa valeur au scléromètre et sa résistance en compression selon les modalités ci-après :

- tracer 3 génératrices sur toute la hauteur de l'éprouvette cylindrique ou tracer 4 médianes sur toute la hauteur de chaque face des éprouvettes cubiques (en position d'essai de compression) ;
- sur chacune des génératrices de l'éprouvette, identifier des points de mesure espacés entre eux de 30 mm, les points extrêmes devant eux-mêmes être au moins à 30 mm des 2 extrémités de l'éprouvette, (par exemple, pour une éprouvette $\varnothing 160 \times 320$ mm, il est ainsi possible de considérer 27 points de mesure) ;



- préparer l'éprouvette selon la norme NF EN 12390-3 (cf. Fiche 366) ;
- maintenir l'éprouvette entre les deux plateaux de la machine d'essai sous une force de l'ordre de 10 kN ;
- réaliser les mesures de rebondissement avec le scléromètre sur chaque point de mesure et déterminer la médiane de ces mesures (I_R) ;
- déterminer la résistance en compression de l'éprouvette (f_e).

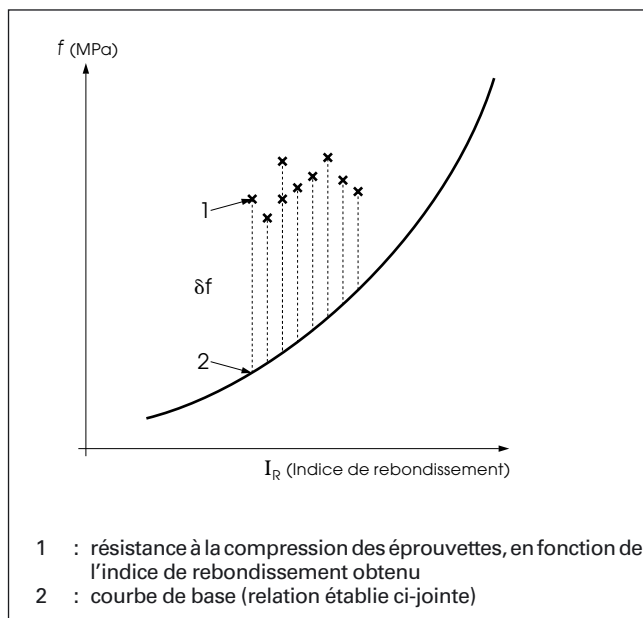
- Déterminer la différence moyenne δf_m entre les valeurs mesurées et la courbe de base selon les modalités ci-après :

- reporter sur le graphique de la courbe de base (ci-joint) les valeurs (I_R, f_e) obtenues pour les 9 éprouvettes ;
- calculer pour chacune des 9 éprouvettes la différence δf entre la valeur mesurée et la courbe de base :

$$\delta f = f_e - f_R$$

f_e : résistance en compression de l'éprouvette

f_R : valeur initiale de la résistance obtenue sur la courbe de base



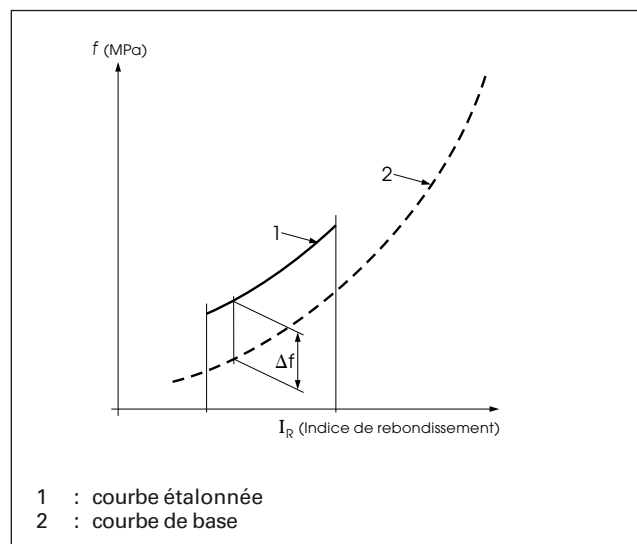
Calcul de la différence entre valeur mesurée et courbe de base δf

- calculer la valeur moyenne δf_m des 9 valeurs de δf et l'écart-type s.

- Déterminer le facteur de correction de sécurité Δf à apporter sur la courbe de base pour obtenir la courbe étalonnée, selon la formule ci-après :

$$\Delta f = \delta f_m - 1,67 s$$

Le facteur $k_1 = 1,67$ est établi pour 9 éprouvettes.



Établissement de la courbe étalonnée à partir du facteur de correction de sécurité Δf

L'estimation basse de la résistance en compression à partir de l'indice de rebondissement est obtenu sur la courbe étalonnée. 95 % des résistances en compression "vraies" sont supérieures aux résistances estimées sur la courbe étalonnée avec une probabilité de 75 %.

La courbe étalonnée est valable dans un intervalle de ± 2 unités en dehors de l'intervalle des résultats de rebondissement obtenus lors de l'étalonnage et pour un béton représentatif de celui utilisé lors de l'étalonnage.

Exemple d'étalonnage d'un scléromètre

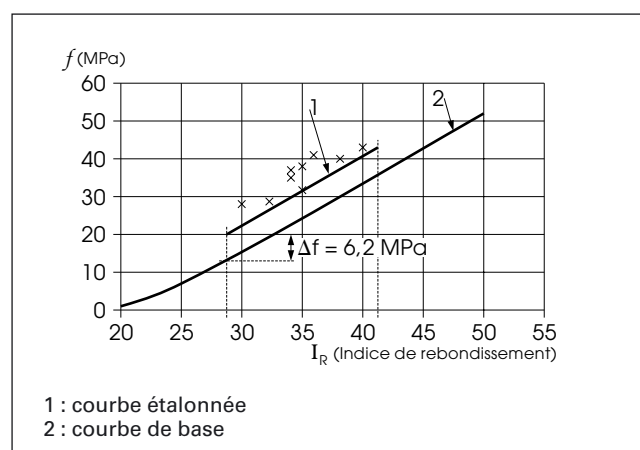
N° éprouvette	I _R Indice de rebondissement médian sur l'éprouvette	f _R (MPa) Valeur initiale de la résistance (courbe de base)	f _e (MPa) Résistance en compression de l'éprouvette	$\delta f = f_e - f_R$ Différence
1	30	17	28,0	11
2	32	20	29,0	9
3	34	24	36,5	12,5
4	34	24	35,0	11
5	35	26	31,5	5,5
6	35	26	38,0	12
7	36	27	41,0	14
8	38	32	40,5	8,5
9	40	34	44,0	10

Moyenne des différences : $\delta f_m = 10,4$ MPa

Écart-type des différences : $s = 2,5$ MPa

Facteur de correction de sécurité : $\Delta f = \delta f_m - 1,67 s = 6,2$ MPa

La courbe étalonnée du scléromètre (estimation basse de la résistance à partir de l'indice de rebondissement) est valable pour des indices de rebondissement compris entre 28 à 42.



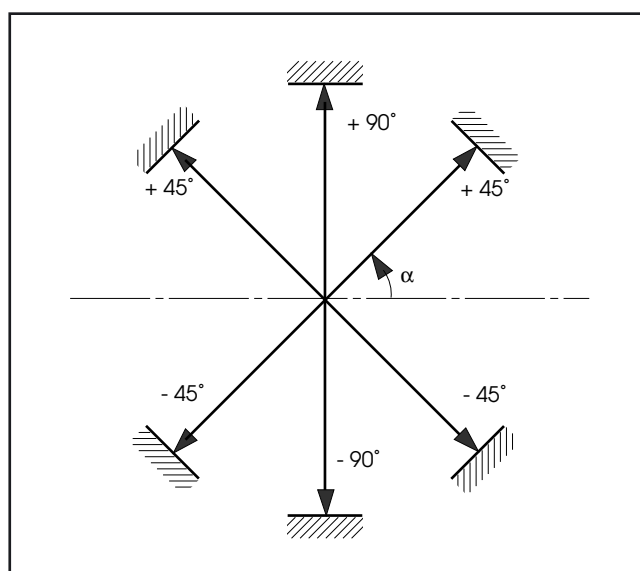
Exemple d'étalonnage

Remarque importante

Pour ce qui concerne les abaques proposés avec la plupart des appareils, ceux-ci ont été élaborés à partir d'un type de béton bien précis. Il n'est donc pas recommandé de les utiliser car, compte tenu de l'incidence des facteurs d'influence, l'incertitude (ici rapport écart-type/moyenne) peut atteindre 15 % et plus.

UTILISATION DU SCLÉROMÈTRE

L'essai s'effectue généralement avec le scléromètre en position horizontale. Si l'essai ne peut être réalisé dans cette position (cas d'une utilisation sur des surfaces inclinées ou horizontales) une correction doit être apportée aux valeurs lues pour tenir compte de l'angle d'inclinaison de la frappe. La correction à apporter dépend du modèle de scléromètre, voir exemple ci-après.



Angle d'inclinaison α°	- 90°	- 45°	0°	+ 45°	+ 90°
Indice					
I _R < 30	+ 4	+ 3	0	- 3	- 4
30 ≤ I _R ≤ 45	+ 3	+ 2	0	- 3	- 4
I _R > 45	+ 3	+ 2	0	- 2	- 3

Correction à apporter à l'indice relevé, par référence à une frappe horizontale, pour les scléromètres de type N ou NR

Mode opératoire

- Amener la tige au contact du béton et presser le scléromètre dans le sens de l'effort exercé.
- Relever le rebondissement de la masselotte (I_R) :
 - soit en observant la position prise par l'index devant l'échelle graduée,
 - soit en faisant lecture du papier enregistreur, sur lequel figure les valeurs obtenues après une ou plusieurs séries d'essais.

Pour les ouvrages, effectuer un minimum de 15 mesures dans la même zone. Pour les produits vérifiés dans le cadre d'un contrôle continu, le nombre de mesures à effectuer est ramené à 9.

Au cours de ces mesures, ne pas effectuer d'essais à moins de 25 mm des bords et des autres points testés.

Exploitation des résultats

Pour chaque zone de surface testée, l'indice (I_R) retenu correspond à la médiane des valeurs individuelles d'indice. L'indice pour plusieurs zones constitutives est déterminé en calculant la moyenne des valeurs médianes.

Précautions d'emploi

- Ne pas effectuer de mesure sur les zones présentant

une déformation importante, des nids de gravier, une texture grenue (parements lavés ou grenaillés...), une porosité élevée, des armatures affleurant la peau du béton et sur tout produit se déplaçant (ou se déformant) sous l'effet de la percussion (cas des parois minces).

- Si la surface à tester présente une couche superficielle friable, de faibles irrégularités, de l'enduit ou de la peinture, la poncer avec une pierre abrasive avant essai.
- Tout film d'eau doit être essuyé (l'augmentation de la teneur en eau diminue les valeurs d'indices).
- Il est à noter que le coefficient de variation des résultats s'accroît lorsque les granulats deviennent plus gros, en raison de la plus grande hétérogénéité près de la surface.
- L'influence de la température est négligeable lorsqu'elle est comprise entre 0 et 35 °C (un béton gelé présente un indice de rebondissement anormalement élevé).

Surveillance du bon fonctionnement de l'appareil

L'appareil doit être entretenu régulièrement. Veiller à ce que la tige de percussion ne soit pas encrassée. Selon la fréquence d'emploi et au moins tous les deux ans, le contrôle du bon fonctionnement est à vérifier.

FACTEURS D'INFLUENCE

Les principales causes d'incertitudes sont les suivantes :

Facteur	Niveau	Causes
Main d'œuvre	A	Nombre d'essais Perpendicularité du scléromètre par rapport à la surface
	B	Dextérité de l'opérateur
Matériel	A	Calibrage
	B	Propreté interne Echauffement du matériel
Matériau	A	Etat de surface (rugosité, bullages) Humidité de surface
Méthode	A	Orientation de la percussion
Milieu ambiant	B	Température

A = facteur qualifié d'important

B = facteur qualifié de moyennement important

Note : bien que d'autres facteurs puissent intervenir, ils sont considérés comme d'influence moindre par rapport à ces deux premiers niveaux.

EXEMPLE DE FEUILLE DE RELEVÉ D'ESSAIS

DÉTERMINATION DE L'INDICE DE REBONDISSEMENT (I_R)

Information sur le produit - l'ouvrage⁽¹⁾

• Identification de l'élément testé

• Localisation de la surface d'essai

• - épaisseur des parois

• Description de la surface d'essai

• Type de moule utilisé correspondant à la surface d'essai

• Description du béton

• - composition

• - I_R visé

• - résistance en compression correspondante

• - âge des produits

• - conditions de cure

(ou de conservation pour les éprouvettes)

• Type de scléromètre et n° de série

• Date des essais

• Température extérieure au moment de l'essai

• Essais effectués par

Surveillance de la stabilité de la production⁽¹⁾ - Estimation de la résistance⁽¹⁾

Identification des zones d'essais	Angle d'inclinaison de la frappe α°	Mesures d'indices par zone d'essai	I _R médian	I _R ⁽²⁾ médian corrigé	Résistance en compression correspondante ⁽³⁾ (MPa)

Observations :

(1) Rayer la mention inutile

(2) Si α ≠ 0 ° (voir tableau de correction)

(3) D'après courbe étalonnée établie le :

CERIB

Fiche 37 - Mars 2004