

Zeitschrift: Bulletin du ciment
Herausgeber: Service de Recherches et Conseils Techniques de l'Industrie Suisse du Ciment (TFB AG)
Band: 28-29 (1960-1961)
Heft: 15

Artikel: Les variations de la résistance du béton
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-145572>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 04.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

BULLETIN DU CIMENT

MARS 1961

29^E ANNÉE

NUMÉRO 15

Les variations de la résistance du béton

La dispersion des résistances du béton et ses diverses causes. Effet des erreurs de mesure des constituants. Importance du degré de dispersion pour la sécurité de l'ouvrage en béton.

Les irrégularités de la résistance à la compression du béton et ses conséquences ont été étudiées dans le Bulletin du Ciment N° 22/1957. On avait montré notamment comment on peut caractériser la dispersion d'un groupe de résultats par le coefficient de variation et l'influence de ce dernier sur la qualité de la construction.

Dans la publication française (Bibl. 1) qui nous avait donné les bases de notre précédent Bulletin (N° 13/1961), se trouvent un grand nombre de résultats d'essais de béton qu'on peut analyser par des méthodes statistiques et qui donnent d'intéressantes indications sur la dispersion des résistances du béton.

Examinons en détail une série particulière de 300 essais effectués dans des conditions absolument identiques et qui donnent donc une mesure valable de la dispersion des résultats.

2 Conditions :

Composition du béton : 1810 kg sable et gravier, 376 kg ciment portland, 184 kg d'eau par m³.

Echantillons : cylindres, $h = 30 \text{ cm}$, $\phi = 15 \text{ cm}$.

Compactage : Séries de 12 cylindres placés ensemble sur une table vibrante. L'effet de différences d'intensité de la vibration n'a pas été mis en lumière.

Conservation : Air de 95 % d'humidité relative à 15° C.

Age : 28 jours.

Mélanges : 16 mélanges de 100 à 200 l ayant fourni chacun 11 à 24 éprouvettes.

Résumé des résultats

N = nombre de résultats

$\bar{X}$ = résistance moyenne à la compression

V = coefficient de variation (mesure de la dispersion, BC 22/1957)

L = domaine en % de la valeur moyenne dans lequel se trouve le 99 % de tous les résultats.

		N	$\bar{X}$ kg/cm ²	V %	L %
Ensemble des essais		300	431	8,8	± 22
Séries de 11 à 24 essais	min. :	11	362	2,6	± 7
pour chacun des mélanges	max. :	24	475	7,3	± 19
	moyenne :	(300)	424	4,9	± 12

On peut tirer de ces chiffres les conclusions suivantes :

a) La **dispersion totale** des 300 résultats donne pour V 8,8 %. C'est la somme de toutes les dispersions, de la mesure des composants à la détermination de la charge de rupture lors de l'essai. Cette dispersion totale est donc **plus grande** que celle qui peut avoir une réelle influence sur la construction.

b) Dispersion due au traitement des éprouvettes et aux essais eux-mêmes

Le coefficient de variation des résistances à la compression d'échantillons provenant de mêmes mélanges est en moyenne de 4,9 % et comprend deux parts distinctes :

- la dispersion due au manque de régularité du malaxage ;
- la dispersion due au traitement des éprouvettes et aux essais.

On peut calculer que le coefficient de variation imputable au procédé de mesure des résistances a une valeur $V = 4,4 \%$.

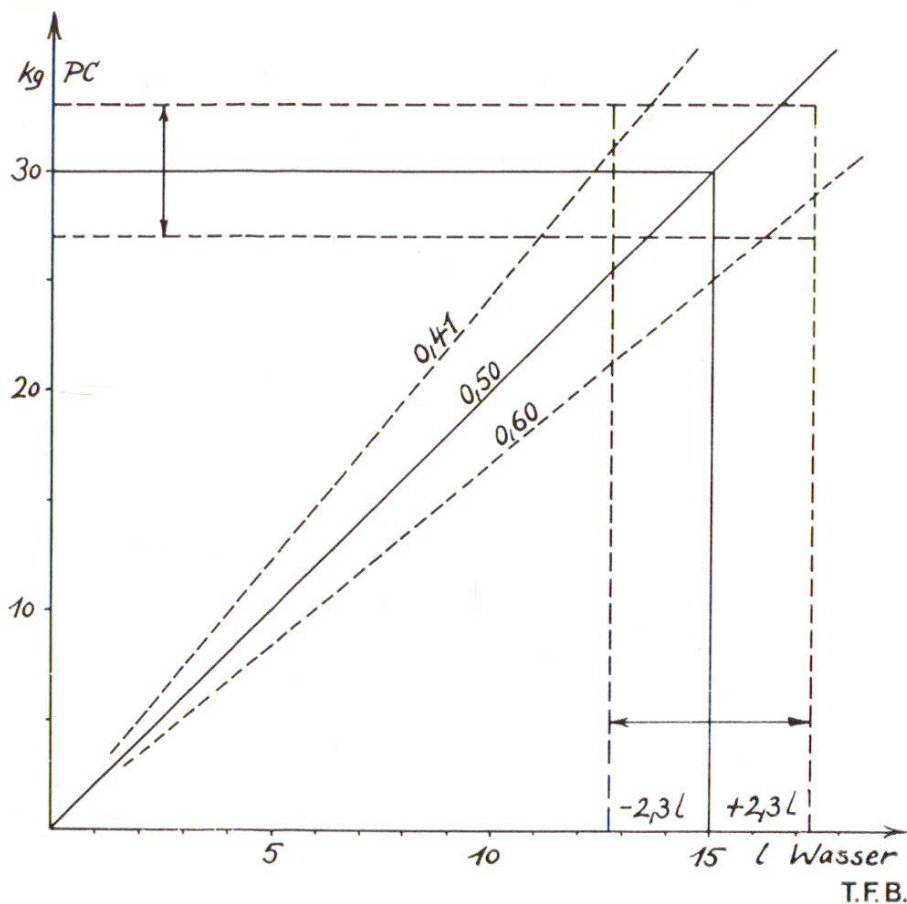


Fig. 1 Domaine de variation des quantités de ciment et d'eau et du facteur eau : ciment pour 100 mélanges de 100 litres. Pesage du ciment et compteur d'eau, sans contrôles particuliers. Coefficient de variation des résistances à la compression à 28 jours, $V = 15\%$

c) Dispersion due à la préparation des mélanges

On peut aussi calculer que la dispersion totale $V = 8,8\%$, diminuée de la dispersion due aux erreurs de mesure des résistances ($V = 4,4\%$) donne $V = 7,7\%$ qui concerne uniquement les écarts imputables à la préparation du mélange. Cela signifie que le 99% des résultats d'essai ont une erreur inférieure à $\pm 20\%$ par rapport à la valeur moyenne.

En faisant des analyses granulométriques des mélanges après malaxage, on a pu déterminer exactement la dispersion due aux mesures des constituants (23 mélanges, 54 analyses). On a constaté que sur 100 mélanges, les quantités de ciment et d'eau s'écartent de $\pm 12\%$ de la valeur moyenne et les quantités d'agréats de $\pm 3,5\%$.

Cela prouve que ce sont avant tout les dosages du ciment et de d'eau qui provoquent des irrégularités de la qualité du béton. La connaissance de ces écarts se produisant lors de la fabrication du béton est à la base des considérations qui suivent au sujet de l'effet des erreurs de mesure.

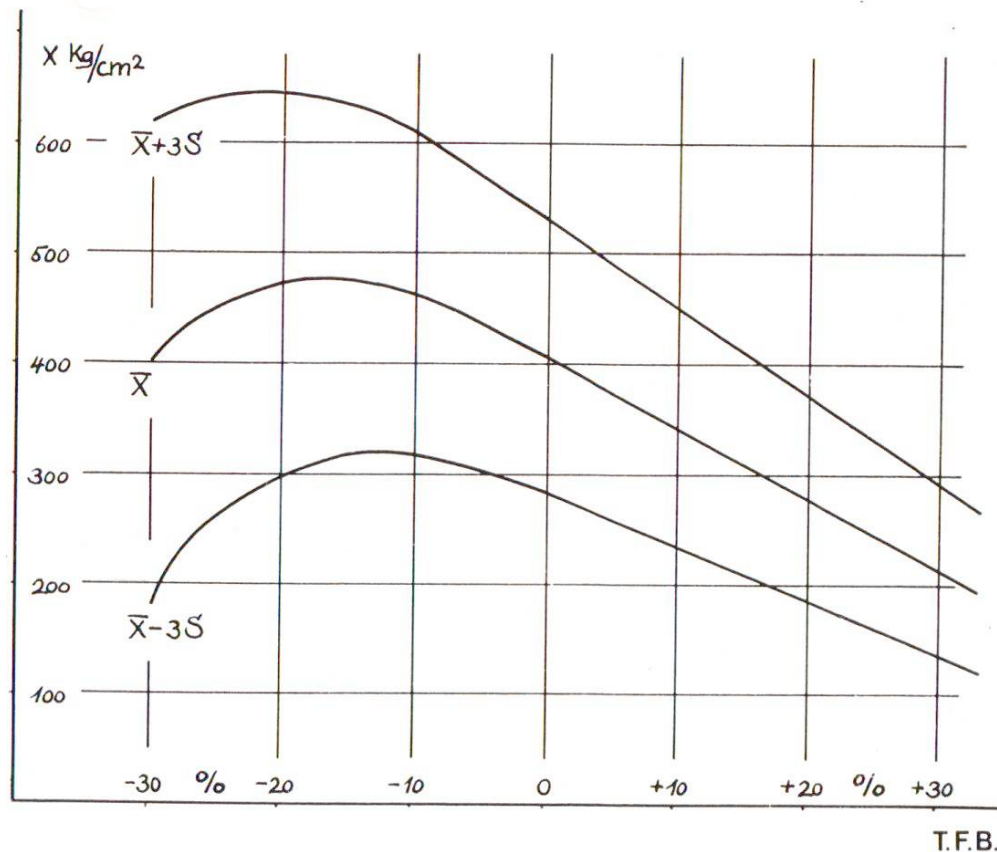


Fig. 2 Variations de la résistance moyenne à la compression du béton dues à des erreurs de mesure de la quantité d'eau ($\pm$ % eau). Domaine de variation limité par le triple de l'erreur quadratique moyenne ($\pm 3 S$) ; le 99,7 % de tous les résultats se trouvent dans ce domaine selon Vironnaud (Bibl. 1)

L'influence des variations du facteur eau : ciment sur les résistances du béton est rappelée à la fig. 2. Une diminution de ce facteur de 0,05 entraîne une augmentation de résistance d'environ 65 kg/cm^2 . Cet effet est bien connu. Mais on constate ensuite que la dispersion des résistances à la compression augmente quand le facteur e/c diminue davantage. Pour $e/c < 0,42$, la dispersion devient si grande qu'on court le risque d'avoir des résultats individuels insuffisants. Ceci est la conséquence d'une maniabilité trop faible et par conséquent d'une teneur en vides trop élevée des bétons mis en œuvre trop secs (Bibl. 4).

La figure 3 représente l'effet d'erreurs du dosage en ciment sur la résistance du béton. On a vu plus haut que le coefficient de variation des résultats dû aux erreurs de préparation du mélange est de $V = 7,7 \%$ ou $\pm 20 \%$ sur 100 essais. Pour une résistance moyenne de 431 kg/cm^2 cette dispersion est donc de $\pm 86 \text{ kg/cm}^2$. Ces variations de résistances correspondent à des erreurs de $\pm 18 \%$ du dosage en ciment ou de $\pm 14 \%$ de la quantité d'eau. Pour un mélange de 200 l de béton avec 75 kg de ciment et 37 l d'eau, ces écarts seraient de $\pm 13 \text{ kg}$ de ciment

5 et ± 5 l d'eau. Les erreurs de mesure des agrégats jouent aussi un certain rôle, mais le calcul montre que ce sont avant tout les mesures de la quantité d'eau qui doivent être très exactes. Si l'on veut diminuer la dispersion totale des résistances du béton, il faut donc améliorer les points suivants, dans l'ordre de leur importance :

1. meilleurs contrôles et exactitudes des mesures de la quantité d'eau
2. meilleurs contrôles et exactitudes des mesures de la quantité de ciment
3. meilleurs contrôles et exactitudes des mesures de la quantité des agrégats.

La précision des mesures permettant de fabriquer un béton de dispersion totale $V = 10\%$ doit être la suivante :

$$\text{pour } 100 \text{ l béton} \quad \left\{ \begin{array}{ll} \text{eau} & \pm 0,5 \text{ l} \\ \text{ciment} & \pm 0,8 \text{ kg} \\ \text{agrégats} & \pm 2,0 \text{ kg} \end{array} \right.$$

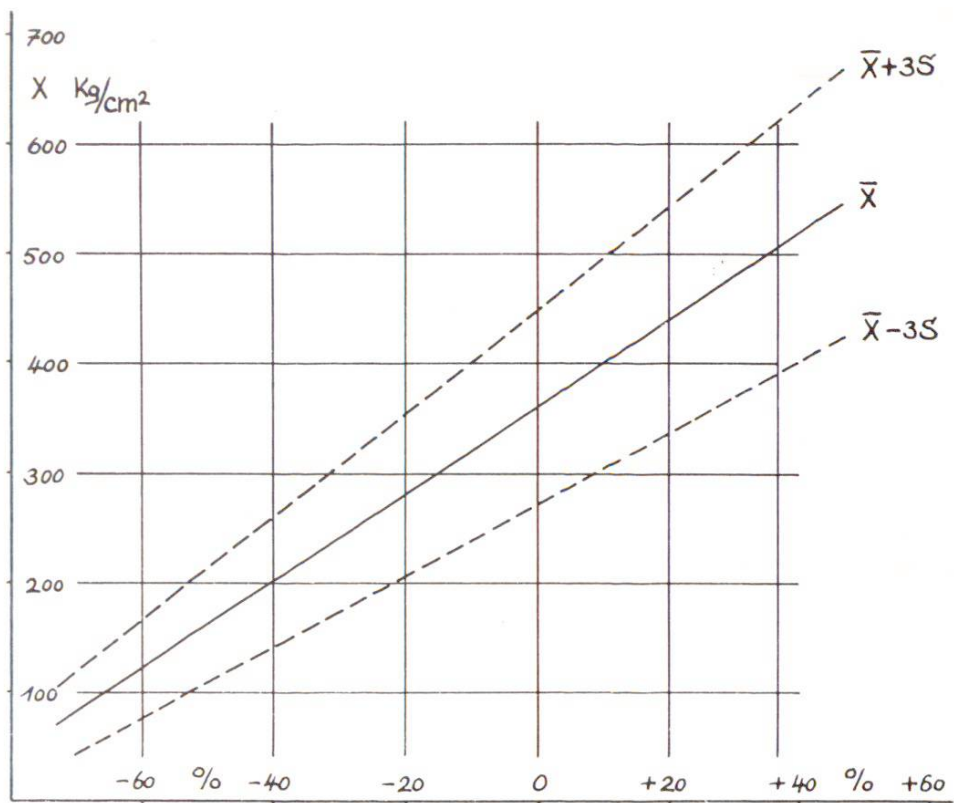
Dans la série d'essais français qu'on a pris pour exemple, il s'agit de bétons de très grande régularité. La préparation des mélanges s'y est faite dans des conditions et avec des installations qu'on ne trouve normalement pas sur des chantiers. Le coefficient de variation $V = 7,7\%$ est donc très bas.

Dans la pratique, on trouve des coefficients de variation sensiblement plus élevés. Pour deux bétons de barrage, par exemple, on a déterminé les coefficients suivants : CP 140 : $V = 14,2\%$, CP 250 : $V = 16,3\%$. Ces valeurs diminuées de la part imputable aux erreurs d'essai seraient encore de $13,1\%$ et $15,1\%$ (Bibl. 2).

Dans ces deux exemples, il s'agit aussi de bétons de grande régularité dont tous les constituants sont pesés automatiquement. Pour des bétons ordinaires de chantier, le coefficient de variation attendrait 15 à 22% suivant le mode de mesure des composants et le soin apporté aux manutentions (Bibl. 4).

Montrons encore, par un exemple, l'importance de la dispersion des résistances pour le calcul d'un ouvrage en béton (Bibl. 3).

Admettons qu'un ingénieur base ses calculs sur l'emploi d'un béton spécial BS de résistance moyenne à la compression à 28 jours de 500 kg/cm^2 . Les contraintes admissibles seraient alors $\frac{1}{4}$ de cette moyenne, soit 125 kg/cm^2 . La question est maintenant



T.F.B.

Fig. 3 Variations de la résistance moyenne à la compression du béton dues à des erreurs de mesure de la quantité de ciment ($\pm$ % ciment). Domaine de variation identique à celui de la figure 2

de savoir si la marge de sécurité de 375 kg/cm^2 est suffisante et quelle est la probabilité qu'avec une telle moyenne un échantillon de béton donne des résultats inférieurs à la contrainte admissible.

Le calcul statistique donne une réponse étonnante à cette question :

Lors des essais préalables du béton, on a étudié deux mélanges A et B et chacun d'eux à l'aide de 20 cubes.

	N	$\bar{X}$ kg/cm ²	S kg/cm ²	V %	B kg/cm ²
Béton A	20	500	100	20	310—690
Béton B	20	500	50	10	410—590

N = nombre d'échantillons

$\bar{X}$ = résistance moyenne à la compression à 28 jours

S = écart quadratique moyen

V = coefficient de variation = $\frac{S}{\bar{X}} \cdot 100$

B = domaine de variation

7 La probabilité d'un résultat inférieur à la contrainte admissible de 125 kg/cm² est alors :

Pour béton A, $V = 20\text{ ‰} : 1 : 10^4 = 1 : 10\,000$

Pour béton B, $V = 10\text{ ‰} : 1 : 10^{13} = 1 : 10\,000\,000\,000\,000$

Le fait que le coefficient de variation du béton passe de 20 ‰, correspondant à un béton ordinaire, à 10 ‰, correspondant à un béton très régulier, entraîne une diminution considérable du risque de rupture qui devient un milliard de fois plus faible.

Exprimé autrement, si l'on admet qu'une probabilité de rupture de 1 : 10 000 offre une sécurité suffisante, il faut un béton de résistance moyenne de 500 kg/cm² si son coefficient de variation $V = 20\text{ ‰}$ alors que si ce dernier est de 10 ‰, il suffit d'atteindre une résistance moyenne de 200 kg/cm² (Fig. 4).

L'existence de telles différences montre que les « Normes pour le calcul et l'exécution d'ouvrages en béton, béton armé et béton précontraint » (SIA 162) sont trop rigides quand elles fixent un coefficient de sécurité indépendant de la qualité du béton. Si à l'avenir, les normes arrivaient à tenir compte, pour le béton BS, du coefficient de variation, il faudrait alors avoir l'assurance que ce dernier soit déterminé correctement. Ce coefficient de variation serait tout indiqué pour caractériser la régularité du béton car il reste sensiblement constant si la fourniture des matériaux, les installations et la maniabilité du béton restent les mêmes.

Bibliographie :

- (1) **L. Vironnaud**, Annales de l'Institut du bâtiment et des travaux publics, **13**, 313 (mars/avril 1960).
- (2) **H. Bertschinger**, Schweizerische Bauzeitung **77** 8, 233 (1959).
- (3) **N. Munk Plum**, Proc. of the Institution of Civil Engineers 311 (London, 1953).
- (4) **A. M. Neville**, Magazine of Concrete Research **11**, 75 (July 1959).

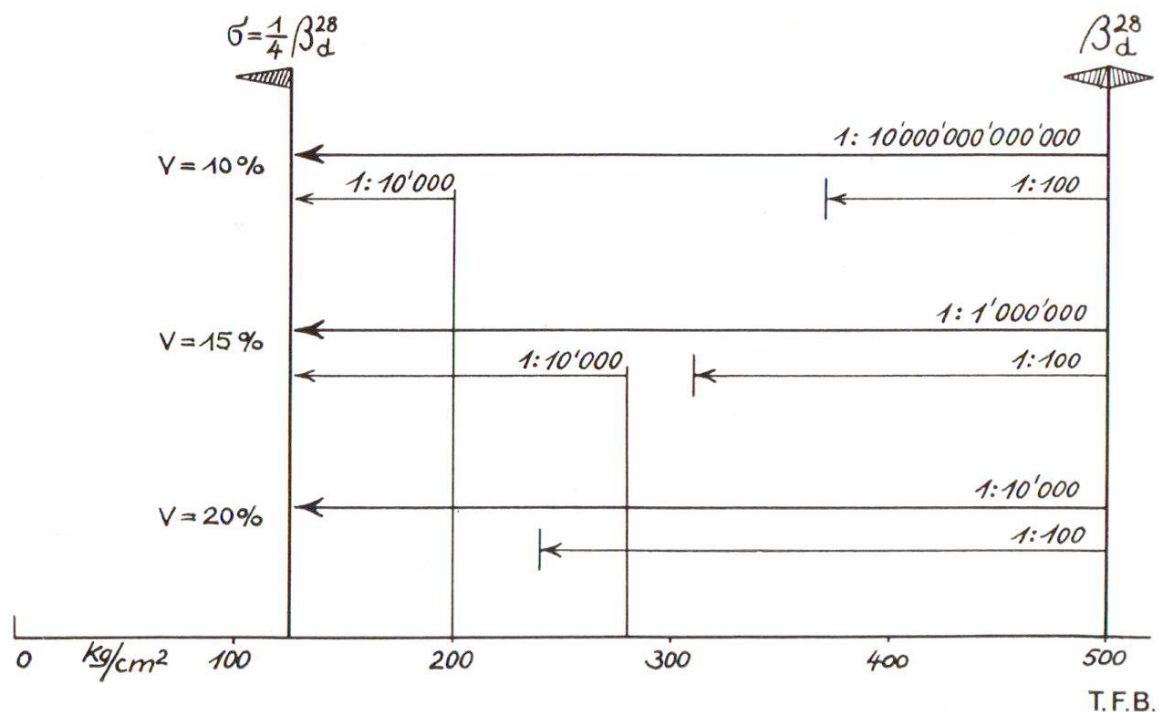


Fig. 4 Rapport entre la contrainte admissible σ et la résistance moyenne à la compression β_d^{28} pour différents coefficients de variation V . Béton spécial de résistance moyenne à la compression de 500 kg/cm^2 à 28 jours. $V = 10, 15$, et 20% . Les rapports indiqués (p. ex. 1 : 10 000) montrent avec quelle probabilité la résistance du béton considéré atteindra la limite indiquée ou la contrainte admissible