

**Zeitschrift:** Bulletin du ciment  
**Band:** 67 (1999)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Le facteur de maturité pondéré du béton  
**Autor:** Egmond, Bram van / Jakobs, Frank  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-146496>

### **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:** 17.11.2024

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

# Le facteur de maturité pondéré du béton

**Le facteur de maturité pondéré permet de déterminer l'influence de différentes températures sur le développement de la résistance d'un béton.**

Connaître la résistance à la compression d'un béton mis en place depuis quelques heures seulement peut être intéressant pour de nombreuses applications. La possibilité de définir les délais les plus rapides possibles pour le décoffrage ou pour la précontrainte en est un exemple. Le développement de la résistance d'un béton «jeune» dépend toutefois de nombreux facteurs. Mentionnons ici, entre autres, la sorte et la quantité du ciment et des granulats, le rapport e/c, le cas échéant les additifs utilisés (adjuvants et ajouts), la température du béton et la température ambiante, ainsi que la cure. Les essais n'ont cependant pas manqué pour mettre au point des procédés simples permettant de pronostiquer la résistance à la compression prévisible d'un béton à n'importe quel stade du développement de la résistance initiale. La méthode du facteur de maturité, ou du facteur de maturité pondéré en fait partie.

## Anciens modes de calcul du facteur de maturité

Les résultats de ces calculs donnent des renseignements sur la résistance à la compression en fonction du temps et de la température. La thèse suivante en est la base:

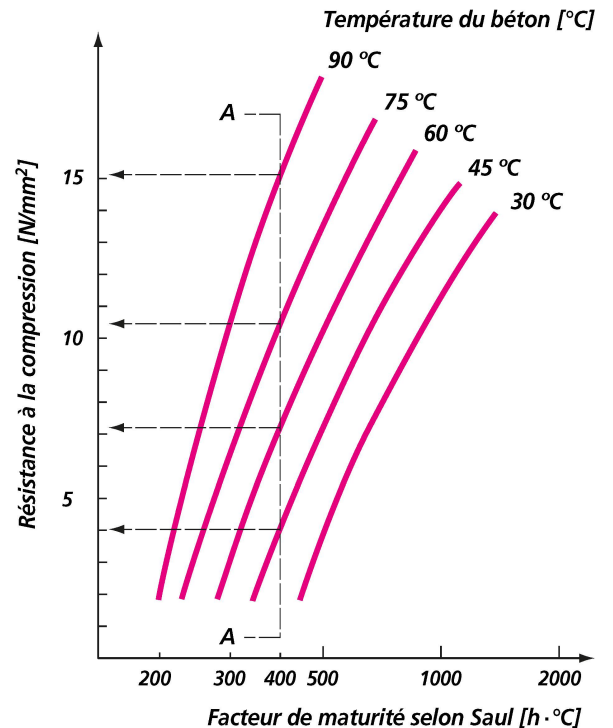
*même maturité = même résistance.*

Le mode de calcul du facteur de maturité le plus simple date des années cinquante. Il a été proposé par Saul:

$$(1) \text{ facteur de maturité } R = \sum [\Delta t_i \cdot (T_i + 10)] \text{ [h} \cdot \text{°C]}$$

avec  
 $T_i$  = température moyenne du béton dans un intervalle  $\Delta t_i$  et  
 $\Delta t_i$  = intervalle en heures avec même température  $T_i$ .

Exprimé en mots, cela veut dire que la variation de température du béton dans le temps est divisée en segments. Pour les segments avec des températures ne variant presque pas, le produit est constitué de l'intervalle en heures et de la température augmentée de 10 °C ou de la température moyenne. Le facteur de maturité  $R$  est la somme de ces produits. Des bétons de même composition, qui durcissent à des températures différentes, atteignent la même résistance s'ils présentent le même facteur de maturité.



**Fig. 1** Selon Saul [1], les bétons de même composition, mais durcissant à des températures différentes, devraient, avec un facteur de maturité identique, témoigner de résistances à la compression pareilles (p. ex. avec 400 h · °C, c'est-à-dire coupe A-A) [2, 5] Graphique: [2]/TFB

Théoriquement, selon Saul, un béton qui durcit pendant 30 heures à une température constante de 20 °C devrait par exemple présenter la même résistance à la compression qu'un béton de même composition durcissant pendant 18 heures à une température constante de 40 °C:

$$(2) \quad 30 (20 + 10) = 900 \\ = 18 (40 + 10) \text{ [h} \cdot \text{°C]}.$$

Cela représente une très grande simplification [2]: même des bétons identiques, ne différant que par la température de durcissement, ont avec un même facteur de maturité des résistances à la compression très différentes (voir figure 1).

Entre-temps, de nombreux modes de calcul affinés ont été mis au point (voir p. ex. [6]). Nous allons traiter ci-après exclusivement de la méthode selon de Vree. Elle est utilisée avec succès depuis de nombreuses années aux Pays-Bas [2]. Actuellement, le projet pour une norme néerlandaise NEN 5970 est prêt à la publication; cette norme règle l'application du facteur de maturité [7].

Mais ce procédé est également connu en Allemagne: il a été présenté en 1991 déjà dans un complément à DIN 1048 [3], ainsi qu'adopté en 1999 dans E DIN 1045-3 («Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton») [8].

### La méthode selon de Vree

La méthode selon de Vree est un affinement et un perfectionnement du calcul du facteur de maturité selon Saul. Le facteur de maturité est remplacé par le facteur de maturité pondéré, dans lequel le comportement au durcissement des bétons en fonction de la température est autant pris en considération que la sorte de ciment. La formule du facteur de maturité pondéré cal R en devient beaucoup plus compliquée [3]:

$$(3) \quad \text{cal R} = \sum \Delta t_i \cdot r_i \quad \text{en h} \cdot ^\circ\text{C}$$

avec

| Temp.<br>[°C] | Valeur C |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
|               | 1,30     | 1,35 | 1,40 | 1,45 | 1,50 | 1,55 | 1,60 | 1,65 |
| 6             | 11       | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    | 8    | 8    |
| 7             | 12       | 11   | 11   | 10   | 10   | 9    | 9    | 9    |
| 8             | 13       | 12   | 12   | 11   | 11   | 10   | 10   | 10   |
| 9             | 14       | 13   | 12   | 12   | 12   | 11   | 11   | 10   |
| 10            | 15       | 14   | 13   | 13   | 12   | 12   | 12   | 11   |
| 11            | 16       | 15   | 14   | 14   | 13   | 13   | 12   | 12   |
| 12            | 17       | 16   | 15   | 15   | 14   | 14   | 13   | 13   |
| 13            | 18       | 17   | 16   | 16   | 15   | 15   | 14   | 14   |
| 14            | 19       | 18   | 17   | 17   | 16   | 16   | 15   | 15   |
| 15            | 20       | 19   | 18   | 18   | 17   | 17   | 17   | 16   |
| 16            | 21       | 20   | 20   | 19   | 19   | 18   | 18   | 17   |
| 17            | 22       | 21   | 21   | 20   | 20   | 19   | 19   | 19   |
| 18            | 23       | 22   | 22   | 21   | 21   | 21   | 20   | 20   |
| 19            | 24       | 24   | 23   | 23   | 22   | 22   | 22   | 21   |
| 20            | 25       | 25   | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   | 23   |
| 21            | 27       | 26   | 26   | 25   | 25   | 25   | 24   | 24   |
| 22            | 28       | 27   | 27   | 27   | 26   | 26   | 26   | 26   |
| 23            | 29       | 29   | 28   | 28   | 28   | 28   | 28   | 27   |
| 24            | 30       | 30   | 30   | 30   | 29   | 29   | 29   | 29   |
| 25            | 32       | 32   | 31   | 31   | 31   | 31   | 31   | 31   |
| 26            | 33       | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   | 33   |
| 27            | 35       | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   |
| 28            | 36       | 36   | 36   | 36   | 36   | 37   | 37   | 37   |
| 29            | 38       | 38   | 38   | 38   | 38   | 39   | 39   | 39   |
| 30            | 39       | 39   | 40   | 40   | 40   | 41   | 41   | 41   |
| 31            | 41       | 41   | 42   | 42   | 42   | 43   | 44   | 44   |
| 32            | 43       | 43   | 44   | 44   | 45   | 45   | 46   | 47   |
| 33            | 44       | 45   | 45   | 46   | 47   | 48   | 49   | 50   |
| 34            | 46       | 47   | 47   | 48   | 49   | 50   | 51   | 52   |
| 35            | 48       | 49   | 49   | 50   | 51   | 53   | 54   | 55   |
| 36            | 50       | 51   | 52   | 53   | 54   | 56   | 57   | 59   |
| 37            | 52       | 53   | 54   | 55   | 57   | 59   | 60   | 62   |
| 38            | 53       | 55   | 56   | 58   | 60   | 62   | 64   | 66   |
| 39            | 55       | 57   | 59   | 61   | 62   | 65   | 67   | 69   |
| 40            | 57       | 59   | 61   | 63   | 65   | 68   | 70   | 73   |
| 41            | 60       | 62   | 64   | 66   | 69   | 71   | 74   | 77   |
| 42            | 62       | 64   | 66   | 69   | 72   | 75   | 78   | 82   |
| 43            | 64       | 66   | 69   | 72   | 75   | 79   | 82   | 86   |
| 44            | 66       | 69   | 72   | 75   | 79   | 82   | 86   | 91   |
| 45            | 68       | 71   | 75   | 78   | 82   | 86   | 90   | 95   |
| 50            | 81       | 86   | 91   | 97   | 103  | 110  | 117  | 124  |
| 60            | 112      | 122  | 133  | 146  | 160  | 175  | 191  | 210  |
| 70            | 151      | 170  | 192  | 217  | 244  | 276  | 311  | 350  |
| 80            | 203      | 236  | 275  | 319  | 372  | 432  | 502  | 582  |

Tab. 1 Facteur de maturité pondéré  $r_i$  et valeurs C pour l'intervalle  $\Delta t_i = 1$  h en fonction de la température (abrégé) [2, 5].

$\Delta t_i$  = intervalle en heures

$r_i$  = facteur de maturité pondéré dans l'intervalle de température  $\Delta t_i$

$$(4) \quad r_i = \int_{T_i - 10}^{T_i} (C^{0,1T - 1,245}) dT$$

$$= \frac{10}{\ln C} [C^{0,1T_i - 1,245} - C^{-2,245}]$$

en °C

$T_i$  = température de durcissement moyenne dans intervalle de température  $\Delta t_i$  (1 h)

C = valeur caractéristique spécifique du ciment.

Les valeurs C donnent la sensibilité à la température du ciment utilisé.

Elles doivent être calculées séparément pour chaque sorte de ciment. Une méthode possible est décrite dans l'encadré «Détermination de la valeur C».

Les valeurs  $r_i$  pour différentes températures et les valeurs C peuvent être calculées au moyen de la formule (4). Elles sont réunies en tableaux [2, 5, 6]. Une sélection de valeurs  $r_i$  figure dans le tableau 1.

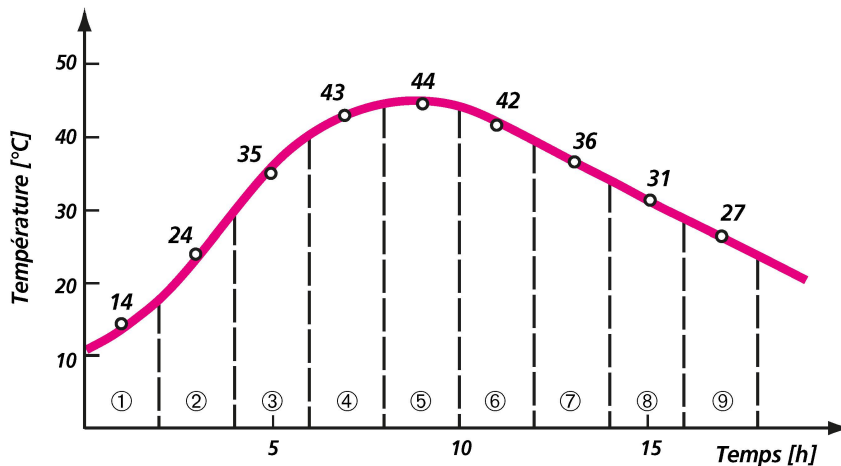


Fig. 2 Développement de la température de l'élément de construction (calcul du facteur de maturité pondéré cal R dans tableau 2) [3].

Graphique: [3]/TFB

### Calcul du facteur de maturité pondéré

Un béton qui durcit à une température constante de 15 °C, et dont la valeur C est de 1,50, présente après 1 heure un facteur de maturité pondéré cal R de 1 · 17 h · °C, ce qui donne après 24 heures:

$$(5) \quad \text{cal R} = 24 \cdot 17 = 408 \text{ h} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Le facteur de maturité pondéré est à peu près le même après déjà 15 heures, lorsqu'à partir de 15 °C la température augmente de 1 °C par heure.

Le développement de la température dans un élément de construction est représenté à la figure 2 [3]. Le

facteur de maturité pondéré cal R en rapport est déterminé dans le tableau 2.

Les changements de température étant relativement lents, une division en bandes de 2 heures ( $\Delta t_i = 2 \text{ h}$ ) suffit pour calculer le facteur de maturité pondéré  $\text{cal R} = \sum \Delta t_i \cdot r_i$ ; après 16 heures, il est d'environ 794 h · °C.

### Graphiques étalons

Aux Pays-Bas, les examens ont été nombreux pour documenter la fiabilité de la méthode selon de Vree. Les résultats d'un de ces examens [5] sont donnés à la figure 3: pour le béton examiné, ils disent que dans une plage de température entre 5 et 65 °C, un même facteur de maturité pondéré cal R donne une résistance à la compression identique.

| Intervalle | Température moyenne [°C] | Valeur $r_i$ selon tab. 1 [°C] | Facteur de maturité pondéré cal R [h · °C] |
|------------|--------------------------|--------------------------------|--|
| 1          | 14                       | 17                             | $2 \cdot 17 = 34$                          |
| 2          | 24                       | 30                             | $2 \cdot 30 = 60$                          |
| 3          | 35                       | 49                             | $2 \cdot 49 = 98$                          |
| 4          | 43                       | 69                             | $2 \cdot 69 = 138$                         |
| 5          | 44                       | 72                             | $2 \cdot 72 = 144$                         |
| 6          | 42                       | 66                             | $2 \cdot 66 = 132$                         |
| 7          | 36                       | 52                             | $2 \cdot 52 = 104$                         |
| 8          | 31                       | 42                             | $2 \cdot 42 = 84$                          |

Facteur de maturité pondéré après 16 h de durcissement:  $\text{cal R} = \sum \Delta t_i \cdot r_i = 794 \text{ h} \cdot ^\circ\text{C}$

Tab. 2 Détermination du facteur de maturité pondéré avec une valeur C de 1,40 et une durée de durcissement de 16 heures (allure de température représentée à la figure 2). A noter: l'intervalle  $\Delta t_i$  est de 2 heures.

Afin de pouvoir tirer du facteur de maturité pondéré la résistance à la compression d'un béton, il faut toutefois établir d'abord des graphiques étalons. Ces graphiques s'appliquent toujours à une seule sorte de béton donnée, car, comme déjà mentionné, dans la formule de de Vree, seules les influences de la température et de la sorte de ciment sur le facteur de maturité pondéré sont prises en considération. Des changements de composition du béton (granulats, adjuvants, ajouts, rapport e/c) exigent qu'un nouveau graphique étalon soit établi. Cela est bien démontré par la corrélation de la résistance à la compression avec le rapport e/c et le fac-

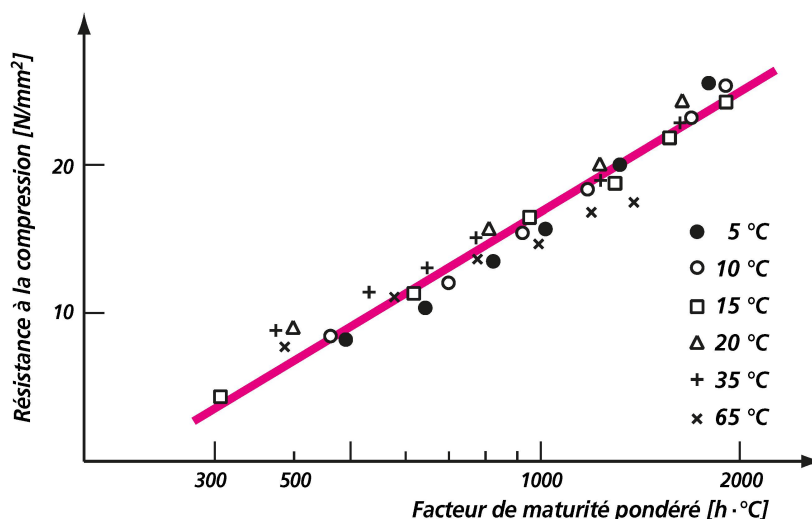


Fig. 3 Relation entre facteur de maturité pondéré et résistance à la compression dans une plage de température de 5 à 65 °C pour un mélange de béton [5].

Graphique: [5]/TFB

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Saul, A. G. A., «Principles underlying the steam curing of concrete at atmospheric pressure», Magazine of Concrete Research **1951** [6], 127–140.
- [2] de Vree, R.T., und Tegelaar, R.A., «Gewichtete Reife des Betons – Kontinuierliche, zerstörungsfreie Ermittlung der Betondruckfestigkeit», Beton **48** [11], 674–678 (1998).
- [3] «Prüfung von Beton – Empfehlungen und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048», élaboré par l'Arbeitsausschuss DIN 1048, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton **422**, 1–52 (1991).
- [5] «Gewogen rijpheid», Betoniek **6** [20], 1–10 (1984).
- [6] Chengju, G., «Maturity of concrete: Method for predicting early-stage-strength», ACI Materials Journal **86** [4], 341–353 (1989).
- [7] E DIN 1045-3: «Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton» (février 1999).
- [8] Projet NEN 5970: «Bepaling van de druksterkteontwikkeling van jon beton op basis van de gewogen rijpheid (octobre 1999).
- [9] «Rijpheid in ontwikkeling» Betoniek **11** [19] (octobre 1999).

teur de maturité cal R représentée à la figure 4: avec un facteur de maturité pondéré cal R = 900 h · °C, la résistance à la compression de ce béton est inférieure à 12 N/mm<sup>2</sup> (e/c = 0,55), ou d'environ 16 N/mm<sup>2</sup> (e/c = 0,50).

### Technique de mesure

On trouve sur le marché des ordinateurs spéciaux qui permettent de calculer régulièrement le facteur de maturité pondéré d'un élément de construction en béton. Une ou plusieurs sondes de température sont placées à différents endroits de l'élément, soit dans des tubes scellés dans



le béton, soit directement dans l'élément, et elles sont simplement coupées une fois la mesure terminée. (Des essais sont actuellement effectués au TFB avec un appareil de ce genre.)

### Applications

Le facteur de maturité pondéré peut s'utiliser pour des bétons «jeunes», dans une plage de résistance à la compression entre 5 N/mm<sup>2</sup> et environ 75 % de la résistance à la compression à 28 jours. Il a déjà été fait mention de l'application principale: elle consiste en une détermination continue, non destructive, de la résistance à la compression d'un

béton jeune, par exemple pour fixer le moment du décoffrage, de la précontrainte ou du transport d'éléments en béton.

D'autres possibilités d'application sont entre autres [2]:

- fixation de la durée minimale de la cure, sur la base de la résistance à la compression
- commande d'installations frigorifiques dans des bétons de masse (limitation de la différence de température entre le béton intérieur et le béton superficiel)
- commande d'installations de chauffage dans la préfabrication d'éléments en béton

### Détermination de la valeur C [2]

La valeur C est déterminée sur un mortier fabriqué conformément à EN 196-1, ou sur un autre béton ou mortier bien reproductible. On en confectionne trois prismes ou cinq cubes de 150 mm et on les entrepose dans des bains d'eau de 20 et 65 °C. Sur ces prismes ou cubes, on détermine le développement de la résistance à la compression à intervalles appropriés.

Les facteurs de maturité pondérés respectifs sont calculés au moyen des valeurs C adoptées (p. ex. C = 1,20, 1,25, 1,30...). Ces facteurs sont reportés dans un diagramme face aux résistances à la compression en rapport. Avec une valeur C «juste», les deux courbes se superposent dans une très large mesure.

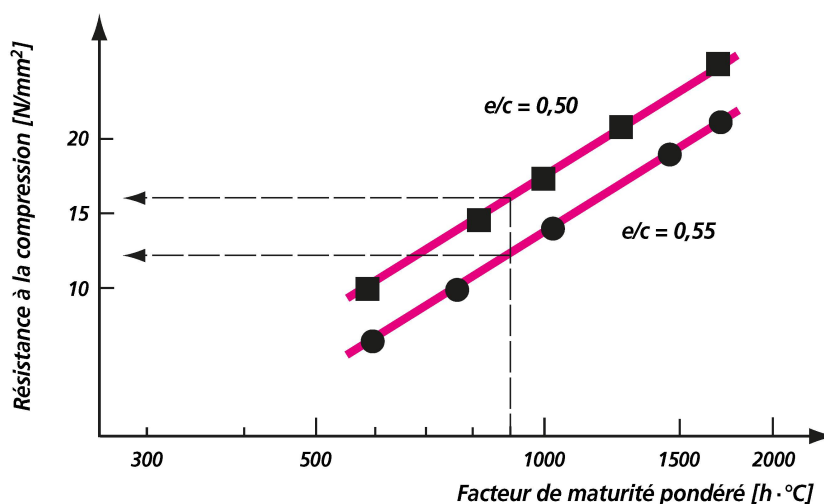


Fig. 4 Corrélation de la résistance à la compression d'un béton avec le facteur de maturité pondéré  $cal R$  et le rapport  $e/c$  (selon [2]).

Graphique: [2]/TFB

- fixation du moment pour fraiser les joints dans les revêtements en béton
- fixation du moment de la réouverture à la circulation après des réparations de routes.

Le facteur de maturité pondéré peut également s'utiliser pour l'estimation quantitative d'autres propriétés mécaniques telles que la résistance à la traction par fendage ou le module d'élasticité [3].

Bram van Egmond  
et Frank Jakobs, TFB