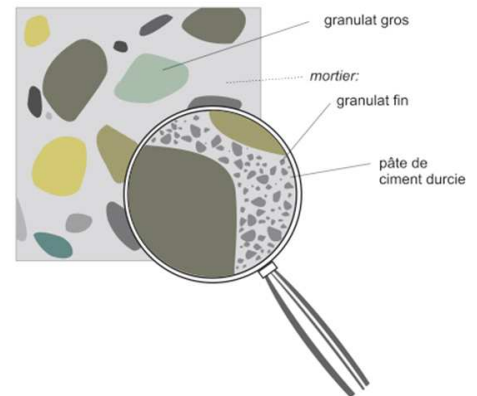


Chapitre 1. Composition du béton

1.1 Description

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier. Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.



1.2 Un peu d'histoire...

Le béton est né du besoin d'avoir un matériau de construction bon marché, malléable au moment de le mettre en place et résistant ensuite.

La forme la plus ancienne du béton remonte à 7000 ans avant JC. Un matériau similaire était connu des égyptiens et des Romains, mais l'essor réel du béton tel qu'on le connaît aujourd'hui est dû à l'anglais Joseph Aspdin qui en 1824 fait breveter le ciment Portland.

1.3 Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique : la réaction chimique entre la poudre de ciment et l'eau produit un minéral artificiel insoluble. Plus les grains de ciment sont fins, plus cette réaction (hydratation) s'opère rapidement. Le durcissement a lieu aussi bien à l'air que sous eau.

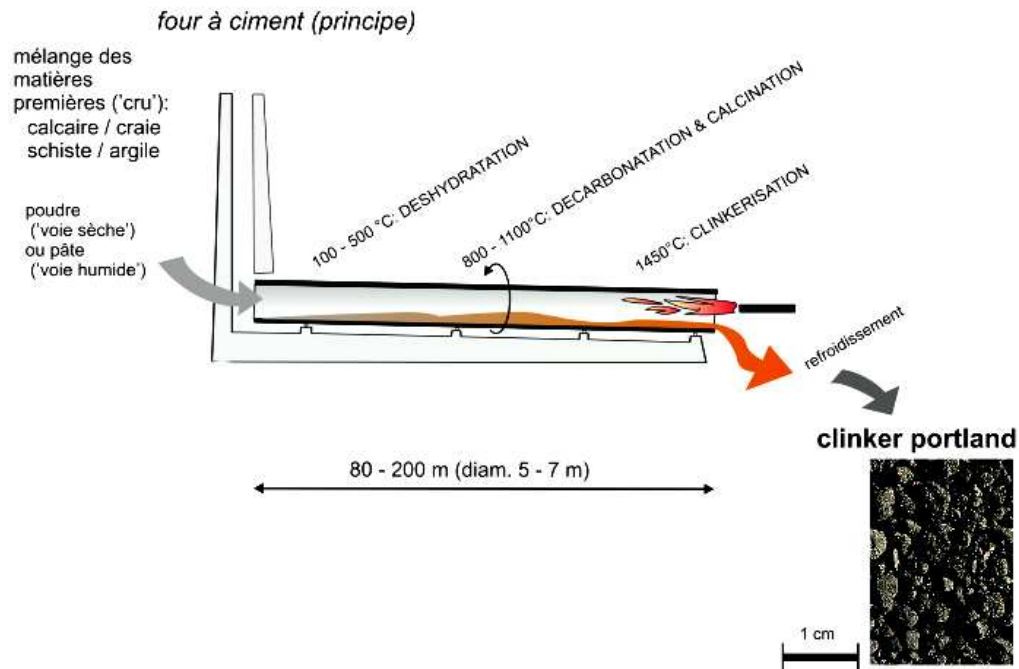
1.3.1 Le ciment Portland (aussi appelé clinker Portland)

Il s'agit d'un mélange, finement moulu de roche calcaire (craie) et de schiste (argile), homogénéisé, séché, décarbonaté puis fondu (1500°C) dans un four rotatif. Ensuite ce mélange est refroidi rapidement et enfin broyé. On obtient ainsi le clinker Portland.

Le clinker est finement broyé pour donner un ciment. Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets, gros cylindres chargés de boulets d'acier et mis en rotation.

Lors de cette étape, le gypse (3 à 5%), indispensable à la régulation de prise du ciment, est ajouté au clinker. On obtient alors le ciment.

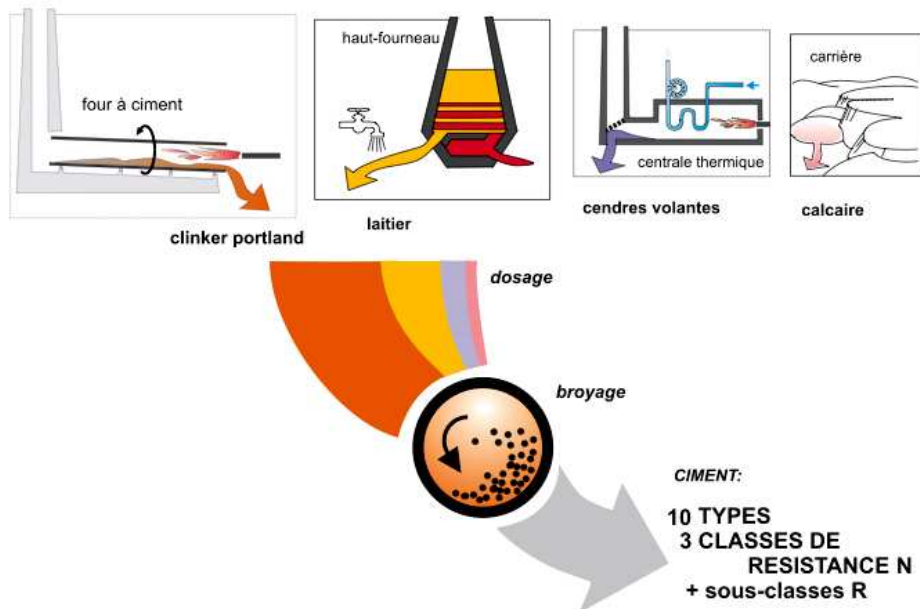
Les matières premières (calcaire, argile) sont obtenues à partir de carrières naturelles à ciel ouvert. Elles sont extraites des parois rocheuses par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique. C'est la raison pour laquelle les cimenteries sont situées près de carrières de calcaire ou de craie.



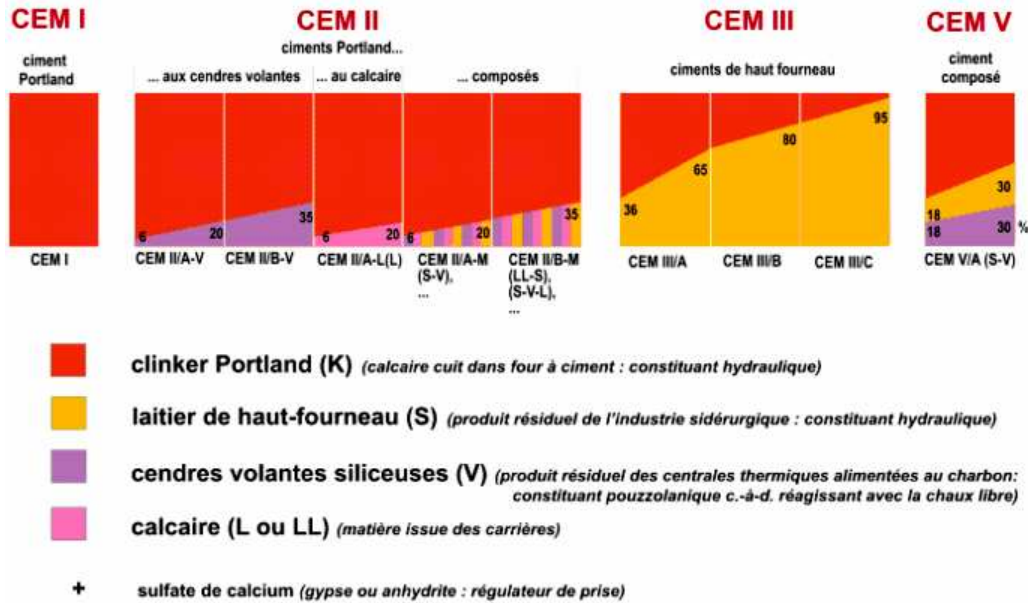
1.3.2 Les autres types de ciment

Au clinker Portland peuvent être ajoutés un ou plusieurs des ingrédients suivants :

- laitier de haut-fourneau : produit granulé qui est obtenu par le refroidissement brusque de la gangue en fusion des hauts fourneaux. Constituant à hydraulicité latente, c.-à-d. que l'hydratation doit être activée. Le rôle de démarreur est joué par le clinker Portland.
- cendre volante : réagit avec la chaux libérée par l'hydratation du clinker.
- calcaire : constituant inerte. Intervient physiquement comme plastifiant dans le béton frais.



1.3.3 Ciments courants en Belgique



Le choix d'un ciment se fait suivant les critères suivants :

- Prestations élevées à court terme ex.: CEM I 52.5R ou CEM III/A 52.5R¹
- Température de bétonnage
- Temps froid : CEM I 52.5 ou CEM I 42.5
- Temps chaud : CEM III/C 32.5
- Présence de sulfates
- Prévention réaction alcali-silice...

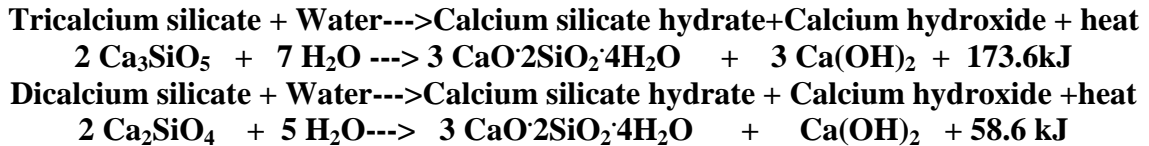
¹ « R » = prise rapide

1.3.4 Processus d'hydratation

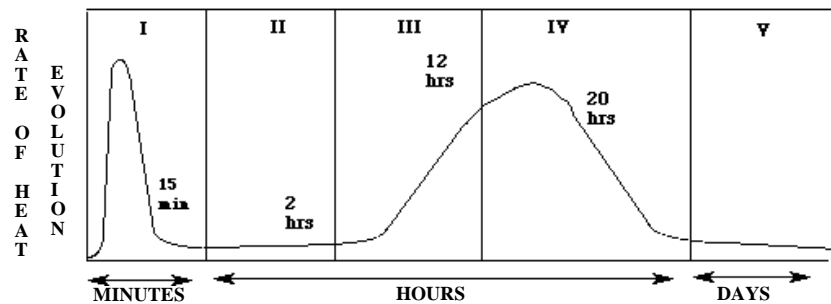
DOC1 : Hydration

Extrait de "CONCRETE : A MATERIAL FOR THE NEW STONE AGE", Materials Science and Technology, 1995, Department of Materials Science and Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL, USA

The equations for the hydration of cement are given by:



Heat is evolved with cement hydration. This is due to the breaking and making of chemical bonds during hydration. The heat generated is shown below as a function of time.

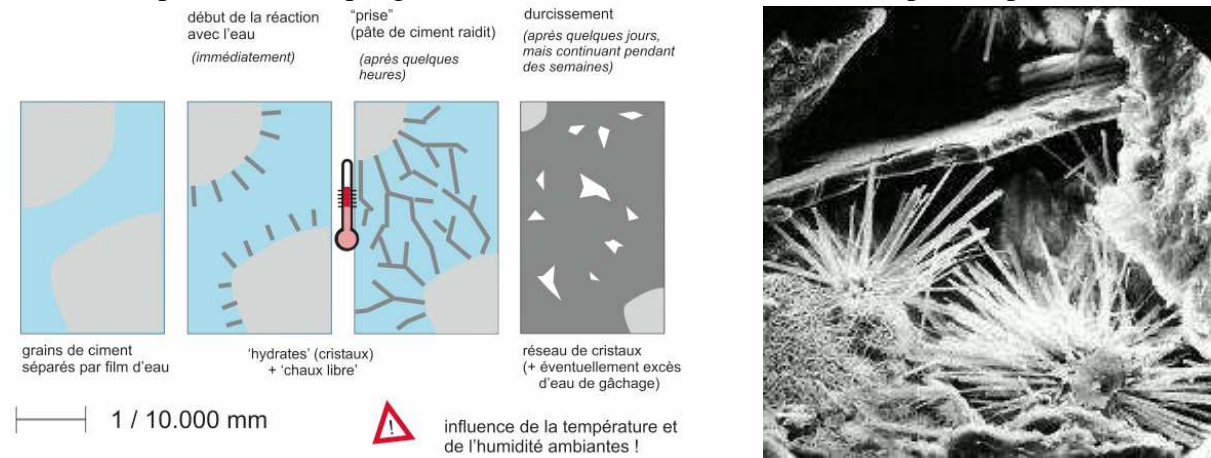


Rate of heat evolution during the hydration of portland cement

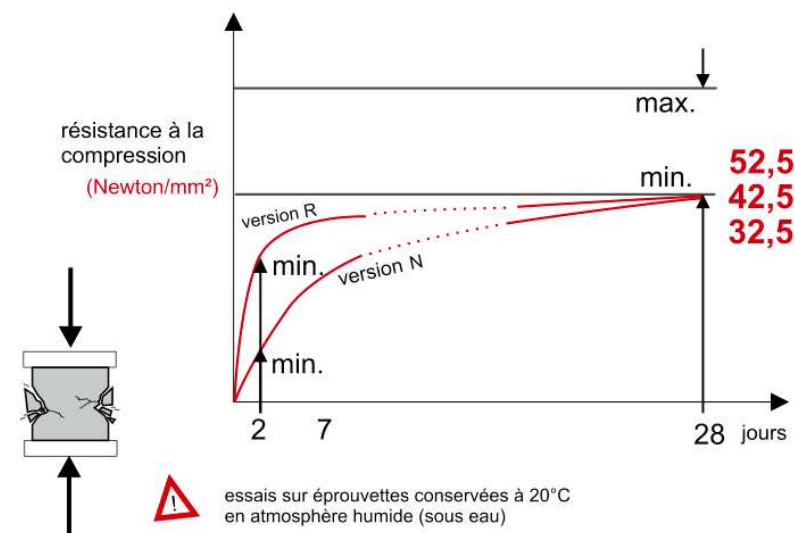
The stage I "hydrolysis of the cement compounds" occurs rapidly with a temperature increase of several degrees. Stage II is known as the **dormancy period**. The evolution of heat slows dramatically in this stage. The dormancy period can last from one to three hours. During this period, the concrete is in a plastic state which allows the concrete to be transported and placed without any major difficulty. This is particularly important for the construction trade who must transport concrete to the job site. It is at the end of this stage that initial setting begins. In stages III and IV, the concrete starts to harden and the heat evolution increases due primarily to the hydration of tricalcium silicate. Stage V is reached after 36 hours. The slow formation of hydrate products occurs and continues as long as water and unhydrated silicates are present.

1.3.5 Résistance du ciment durci

La figure et la photo suivantes illustrent ce qui se passe lors de l'hydratation du ciment : formation de cristaux partant de chaque grain de ciment et formant un réseau de plus en plus dense de liens.



On comprend dès lors que la résistance du ciment augmente en fonction du temps, comme le montre la figure suivante :



La composition et la finesse de mouture d'un ciment déterminent le développement de sa résistance. En fonction de cette évolution, les ciments sont divisés en "classes de résistance". Celles-ci correspondent à des niveaux de performances minimales à 28 jours. Dans chaque classe, et suivant les performances au jeune âge, une distinction est faite entre la version N (normale) et la version R (rapide).

Le ciment durci a une résistance comparable à celle du béton.

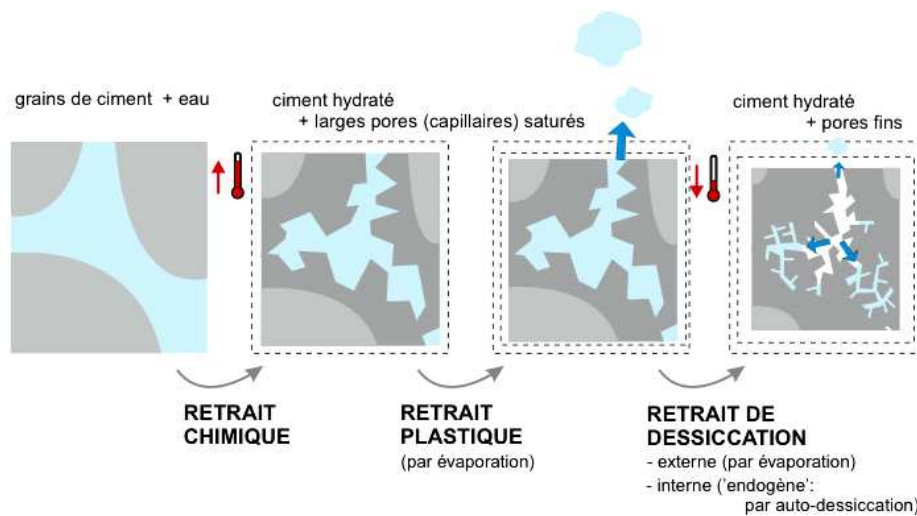
Pourquoi dès lors faut-il ajouter au béton d'autres ingrédients ?

Parce que :

- le coût de production du ciment est élevé,
- le ciment durci est l'objet de deux phénomènes dont il faut limiter les effets: le retrait et le fluage

1.3.6 Phénomène de retrait et de fluage

1.3.6.1 Phénomène de retrait

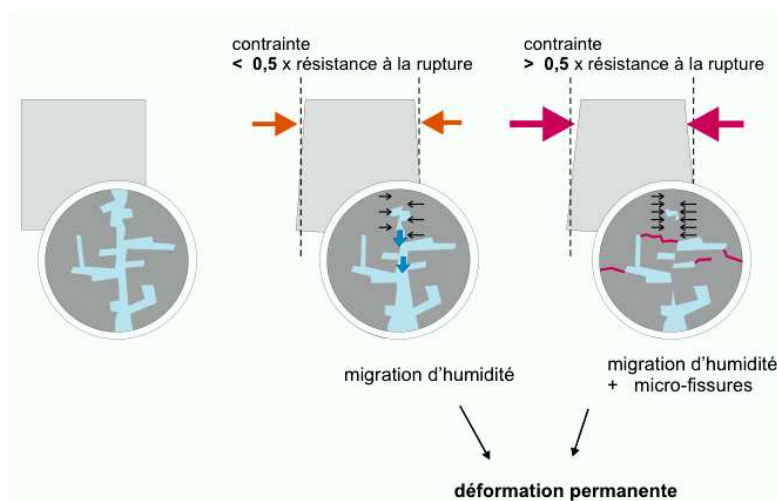


Le retrait chimique est dû au fait que le ciment hydraté occupe un volume plus petit que la somme des volumes du ciment et de l'eau.

Le retrait plastique est causé par l'évaporation de l'eau libre (c'est-à-dire qui n'a pas hydraté le ciment).

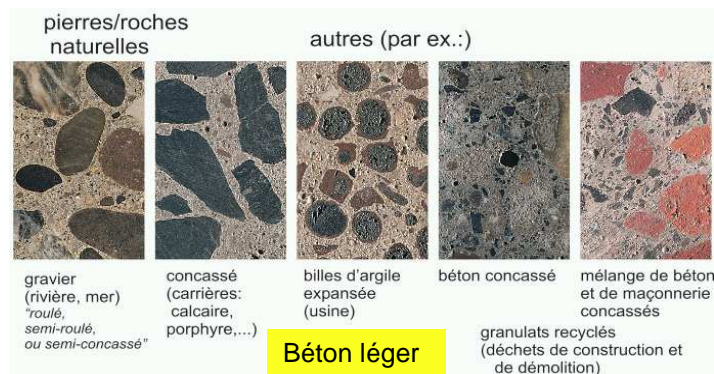
Le retrait de dessiccation (retrait hydraulique) résulte de l'évaporation de l'eau des pores du béton durci suivie de la contraction des pores par les forces capillaires.

1.3.6.2 Phénomène de fluage



Ce phénomène résulte en premier lieu d'une migration d'humidité. En cas de charge plus importante, des micro-fissures se développent dans la pâte de ciment durcie. Un béton jeune est plus sensible au fluage parce que la structure du matériau résiste moins bien aux contraintes de compression et de traction internes. Le fluage est donc une déformation sous contrainte constante appliquée au béton.

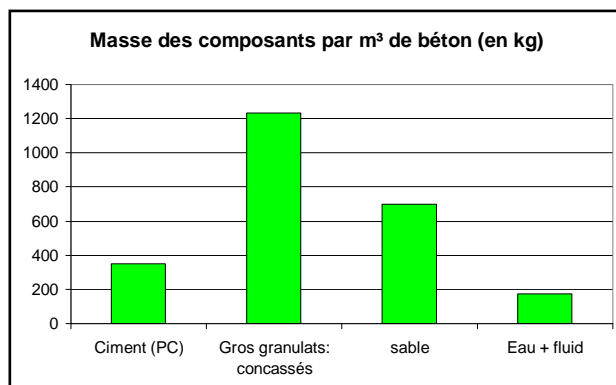
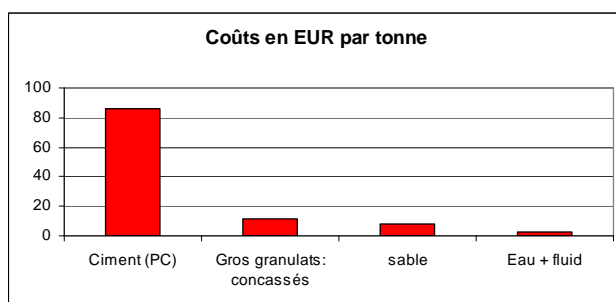
Donc pour éviter l'apparition de ces phénomènes, il faut minimiser la quantité de ciment c'est-à-dire remplir par des matériaux inertes et solides (granulats).



1.4 Rôle des différents éléments constituant le béton

- **Ciment:** c'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients.
- **L'eau:** c'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable.
- **Les granulats:** ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au béton sa résistance. C'est le ciment hydraté qui va "coller" les granulats.
- **Le sable:** il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats.
- **Les plastifiants:** ils augmentent l' « ouvrabilité » du béton (facilité avec laquelle on peut travailler le béton).

1.5 Prix des constituants et composition standard du béton



Béton :

- Prix de revient : 48 €/m³
- Prix rendu : 65 €/m³

(source : bétons Holcim janvier 2006)

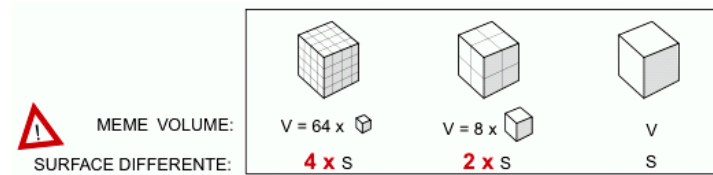
On retiendra la répartition des masses dans 1 béton ordinaire : on trouve approximativement, 2x plus de ciment que d'eau, 2x plus de sable que de ciment et 2x plus de gros granulats que de sable.

Ces diagrammes montrent bien que l'on a tout intérêt, pour diminuer le prix du béton à remplacer du ciment par un maximum de granulats.

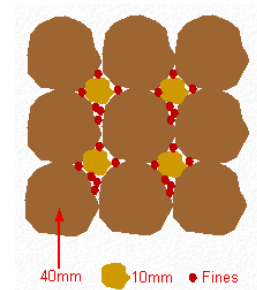
1.6 Les granulats

N'importe quel granulat ne convient pas pour faire un béton.

La quantité de ciment nécessaire pour lier l'ensemble des constituants est proportionnelle à la surface de ceux-ci. On a donc intérêt à choisir les granulats les plus gros, comme le montre l'illustration suivante :



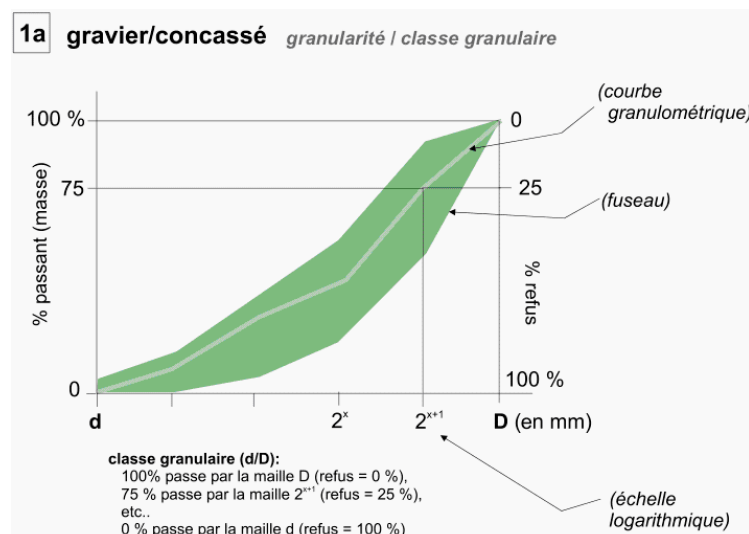
Ensuite, il faut remplir les trous entre les gros granulats, par d'autres granulats de plus petit diamètre (voir figure) : on comprend dès lors pourquoi il faut sélectionner sérieusement la quantité de granulats de chaque dimension pour optimiser le remplissage et minimiser la quantité de ciment. C'est le but de la granulométrie.



1.6.1 La granulométrie

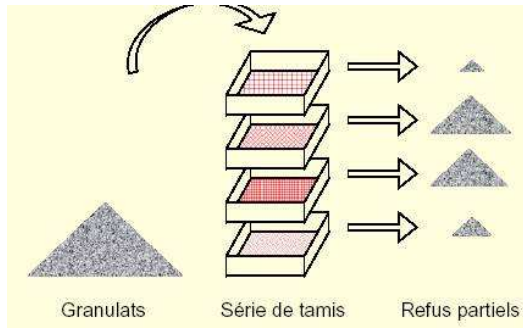
Elle a pour but de vérifier:

- que la granularité réelle du produit livré correspond bien à la classe granulaire annoncée par le producteur. Cette vérification consiste à constater que la courbe granulométrique obtenue est située à l'intérieur du fuseau imposé dans la norme B11-101 pour la classe granulaire concernée,
- que cette granularité reste relativement constante d'une livraison à l'autre. Cette vérification consiste à faire une appréciation statistique d'une série d'essais consécutifs et à constater le domaine de variation de la granularité.



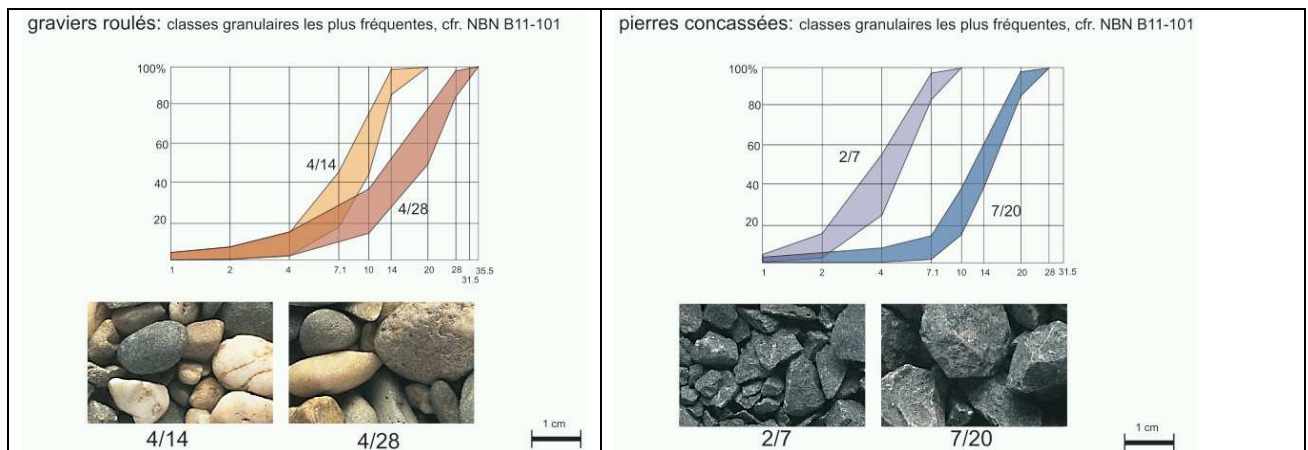
Courbe granulométrique d'un granulat d/D

On exprime la granularité par un graphique(voir ci-dessus) dans lequel la courbe granulométrique indique les pourcentages en masse passant par les tamis successifs dont les trous sont de plus en plus petits (voir ci-dessous).



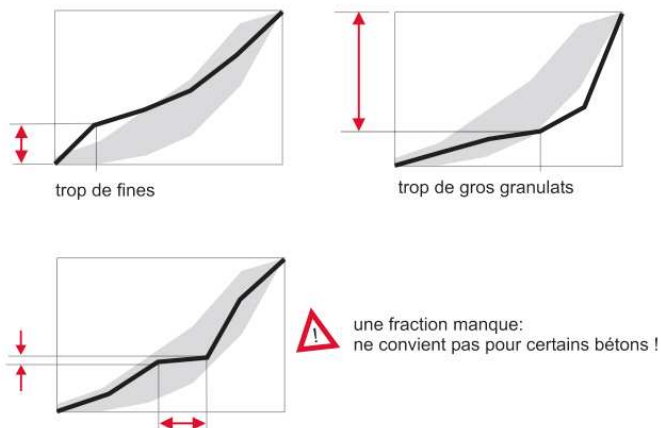
Il existe différentes classes granulaires dont pour les plus fréquentes, les normes définissent des fuseaux à l'intérieur desquels les courbes granulométriques doivent être situées.

Exemples :



A l'aide de la courbe granulométrique et le fuseau, on peut évaluer la qualité d'une composition comme dans le schéma ci-dessous qui montre des exemples de granularités moins bonnes.

exemples de granularités *moins bonnes*



1.7 Eau de gâchage

Le "gâchage" est l'opération irréversible d'ajout de l'eau au ciment. Cette opération se poursuit par le malaxage.

L'eau de gâchage est la quantité totale d'eau que l'on utilise pour faire le béton.

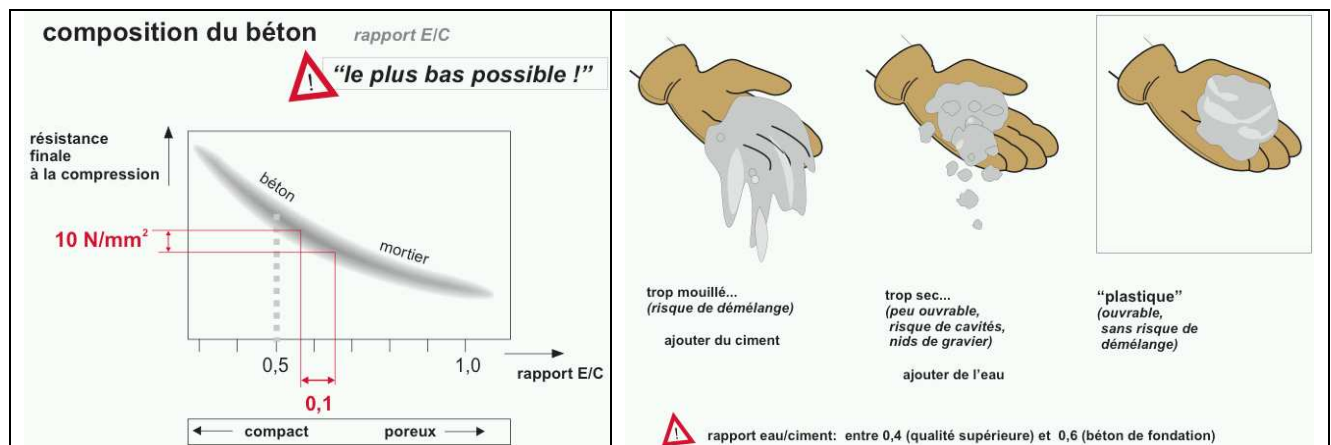
DOC2 : Water in concrete

Extrait de "CONCRETE : A MATERIAL FOR THE NEW STONE AGE", Materials Science and Technology, 1995, Department of Materials Science and Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL, USA

The strength of concrete is very much dependent upon the hydration reaction just discussed. Water plays a critical role, particularly the amount used. The strength of concrete increases when less water is used to make concrete. The hydration reaction itself consumes a specific amount of water. Concrete is actually mixed with more water than is needed for the hydration reactions. This extra water is added to give concrete sufficient workability. Flowing concrete is desired to achieve proper filling and composition of the forms. The water not consumed in the hydration reaction will remain in the microstructure pore space. These pores make the concrete weaker due to the lack of strength-forming calcium silicate hydrate bonds. Some pores will remain no matter how well the concrete has been compacted.

La résistance finale d'un béton dépend du rapport E/C (masse d'eau / masse de ciment) du mélange.

Le rapport E/C d'un béton courant varie entre 0.4(qualité supérieure) et 0.6(béton de fondation)



En général toutes les eaux conviennent si elles ne contiennent pas d'éléments nocifs qui influenceraient défavorablement le durcissement (matières organiques telles que huiles, graisses, sucres...) ou la corrosion des armatures(acides humiques, eaux de mer...).

L'eau potable du réseau de distribution convient très bien mais l'eau puisée en eau courante ou dans la nappe phréatique peut en général convenir.

On évitera toujours l'approvisionnement en eaux stagnantes odoriférantes.

1.8 Adjuvants et additifs

Les adjuvants sont des matériaux actifs ajoutés en très petite quantité (souvent liquide) dans le but d'influencer certaines propriétés par une action chimique ou physique. Ils ne doivent pas modifier défavorablement la durabilité du béton ou toute autre propriété du béton armé.

Les additifs sont des matériaux en fines particules qui peuvent être ajoutés en quantités limitées pour influencer certaines propriétés ou obtenir des propriétés particulières. Ils sont à prendre en compte dans la composition volumétrique. On peut distinguer les additifs à caractère hydraulique latent (ex: cendres volantes,...) qui renforcent le pouvoir de liaison ciment et les additifs neutres (ex: poudres colorantes,...). Ces additifs doivent bien sûr être sans danger pour le béton.

Il faut également veiller à la compatibilité des adjuvants et additifs entre eux. Cela se fait à l'aide de tables.

1.8.1 Exemple d'adjuvants

1.8.1.1 Entraîneurs d'air



On injecte des bulles d'air pour protéger le béton contre le gel. On augmente ainsi la résistance du béton contre le gel. Le gel va chasser l'eau dans la bulle d'air.

Lors de l'utilisation d'entraîneurs d'air, la quantité d'espaces d'expansion n'est pas le seul critère important. La distance entre un point quelconque et une bulle d'air ne dépassera pas une certaine valeur, en général 200µm.

1.9 Bibliographie

- Technologie du béton, Edition 1994, Groupement Belge du Béton
- Technologie du béton, Edition 1998, Groupement Belge du Béton
- ABC du ciment et du béton, FEBELCEM.