

CHAPITRE 1. LES CONSTITUANTS DU BÉTON.

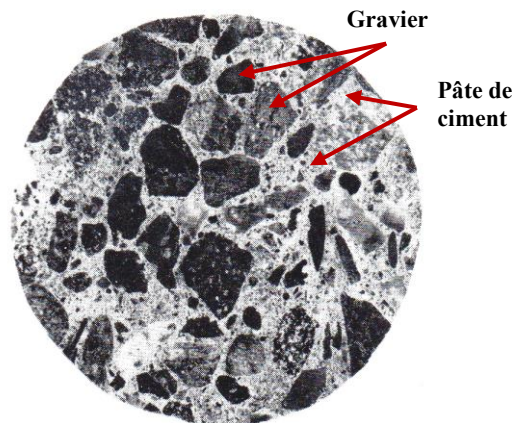
1. QUELLE EST LA COMPOSITION DU BÉTON ?

Le béton est composé de **ciment**, de **granulats (sable et gravillons)**, d'eau, avec, **éventuellement**, une **addition minérale**, un ou plusieurs **adjuvants**, des **colorants**, des **fibres**. Dans tous les cas, une certaine quantité d'**air** est présente dans le béton. Sa composition variant en fonction des différents constituants utilisés ainsi que leur proportion dans le mélange.

Il ne faut pas confondre les termes :

- **Coulis** ou pâte pure = ciment (+ addition) + eau
- **Mortier** = coulis + sable
- **Béton** = mortier + gravillon

Voici les plages de dosage des différents constituants du béton :



○ Vide : 1 ÷ 2 %
Pâte de ciment (Ciment + Eau) 25 ÷ 40 %
Aggrégats (Sable + graviers) 60 ÷ 75 %

Le mélange
une **pâte** ou **colle** qui
l'**élément actif** du
enrober chaque
rôle de **lubrifiant** et
durcissement du

Les granulats (le
constituent
l'ossature du béton.
le béton est un
car on en met un

CONSTITUANTS	VOLUME (%)
Ciment & additions	7 – 14
Granulats	60 – 70
Eau	14 – 22
Adjuvants	0 – 2
Air	1 – 6

ciment/eau forme
durcit. Cette pâte est
béton puisqu'elle va
granulat, jouant le
de **colle** qui assure le
béton.

gravier et le sable)
le **squelette**,
C'est grâce à eux que
matériau économique
maximum.

L'assemblage des granulats et de la pâte cela forme le béton : un **empilement de grains** de différentes dimensions et de **granularité étendue**, qui passe d'un **état frais**, pâteux, à un **état solide**.

2. LE CIMENT : Le ciment est un **liant hydraulique** : gâché avec de l'eau il forme une pâte qui **fait prise** et **durci**. Après durcissement il conserve sa résistance et sa **stabilité même sous l'eau** (tout comme la chaux hydraulique).

2.1. LA FABRICATION DU CIMENT : Le constituant principal des ciments est le **clinker**, qui est obtenu à partir d'un mélange d'environ **80% de calcaire** et **20% d'argile**. Le calcaire et l'argile sont tout d'abord extraits de carrières, puis concassés et mélangés. Ce mélange, appelé « **cru** », est ensuite cuit dans un **four rotatif** cylindrique de 60 à 90m de long, de 4 à 5m de diamètre, légèrement incliné et tournant de 1 à 3 tours/minute. La matière pénètre en amont du four où s'achève la décarbonatation, et progresse jusqu'à la zone de clinkerisation (**1450°C**). Le temps de parcours est d'environ 1 heure. A la sortie du four la matière est brusquement refroidie. Au cours de ces opérations, et sous l'effet de la chaleur, s'enchaînent plusieurs réactions chimiques (les constituants de l'argile vont notamment se combiner à la chaux provenant du calcaire pour donner des silicates et des aluminates de calcium). Il en résulte le **clinker** qui se présente sous forme de granules. In fine le **ciment Portland** (ciment classique) est ensuite obtenu par **broyage** très fin (dans un broyeur à boulets) du clinker additionné d'un peu de gypse (< 5%) nécessaire pour réguler le temps de prise. Les autres catégories de ciment sont obtenues en ajoutant d'autres constituants tels que le laitier granulé de haut fourneau, les cendres volantes de centrales thermiques, le filler calcaire (addition calcaire finement broyée), les fumées de silice.

2.2. LA COMPOSITION CHIMIQUE DU CIMENT

Le ciment Portland contient quatre constituants.

- Le silicate tricalcique **C3S** (55 à 65% du clinker) : constituant principal, qui apporte la résistance du ciment hydraté au jeune âge et lors des 4 premières semaines.
- Le silicate bicalcique **C2S** (10 à 20% du clinker) : contribue au développement des résistances à long terme (influe à partir de 4 semaines).
- L'aluminate tricalcique **C3A** (8 à 10% du clinker) : contribue au gain de résistance à court terme (1 à 3 jours). Sa teneur est limitée pour les ciments résistants aux sulfates (ciments « ES »).
- L'alumino-ferrite tétracalcique **C4AF** (6 à 9% du clinker) : faible impact sur la résistance. Impact surtout la teinte du ciment (si < à 1% alors le ciment est blanc).

2.3. PRISE ET DURCISSEMENT DU CIMENT : Les réactions physico chimiques qui se produisent entre l'eau et le ciment dès le début du gâchage sont très complexes et se poursuivent pendant plusieurs mois. Ces réactions sont appelées **réactions d'hydratation** car en présence d'eau, les constituants du ciment donnent naissance à de nouveaux constituants hydratés qui apparaissent sous forme de micro-cristaux ayant l'aspect d'aiguilles dont le développement et l'enchevêtrement provoquent la **prise** du ciment et son **durcissement** progressif. Le ciment durci est une véritable « **roche artificielle** » qui évolue dans le temps. Le dosage du béton en kg de ciment influe directement sur la résistance de l'ouvrage.

2.4. LES DIFFÉRENTS TYPES DE CEMENTS COURANTS

- **Le ciment Portland** : CEM I : Il contient au moins 95% de clinker et au plus 5% de constituants secondaires.
- **Le ciment Portland composé** : CEM II/A ou B : Il contient au moins 65% de clinker et au plus 35% d'autres constituants : laitier de haut fourneau, fumée de silice, pouzzolane, cendres volantes, calcaires, constituants secondaires.
- **Le ciment de haut fourneau** :
CEM III/A ou B : contient entre 36 et 80% de laitier et 20 à 64% de clinker.
CEM III/C : contient au moins 81% de laitier et 5 à 19% de clinker.
- **Le ciment pouzzolanique** : CEM IV/A ou B ,Il contient 45 à 89% de clinker et 11 à 55% de pouzzolanes. Ce ciment n'est pas présent en France.
- **Le ciment composé** : CEM V/A ou B : Il contient 20 à 64% de clinker, 18 à 49% de laitier et 18 à 49% de cendres volantes ou de pouzzolanes.

LES CEMENTS POUR TRAVAUX SPÉCIFIQUES

Pour certains types d'ouvrages, l'emploi de ciments spécifiques est requis afin qu'ils soient durables dans le temps. Citons parmi ceux-ci les ciments pour travaux à la **mer** (PM), les ciments pour travaux en eau à haute teneur en **sulfates** (ES ou SR). Il existe également d'autres types de ciments spéciaux : le **ciment prompt naturel**, le **ciment alumineux fondu**.

3. LES GRANULATS

3.1. DÉFINITION : On appelle « **granulats** » (ou « **agréats** ») les **matériaux granulaires inertes** qui sont utilisés dans la construction et qui entrent notamment dans la composition des bétons. Ces grains minéraux sont appelés filler, sablon, sable, gravillon (appelé aussi gravier ou cailloux, grave ou ballast suivant leur dimension. Dans les bétons courants ces dimensions se situent entre 0,063 et 25mm.

3.2. RÔLE DANS LE BÉTON : Les granulats constituent la **phase dominante** du béton (occupent 60 à 70% du volume). Ils forment l'ossature, le **squelette** du béton. Ils rendent le béton économique car on en met un maximum.

Leur sélection, leurs caractéristiques et le dosage des différentes fractions granulaires ont une **influence prépondérante** sur les **performances** et la **qualité du béton**, aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci. En effet il est impossible de faire un béton résistant et durable avec des granulats médiocres.

3.4. ORIGINE DES GRANULATS : Leur origine peut être naturelle, artificielle ou provenir du recyclage.

Les granulats courants peuvent être :

- Des granulats de roches meubles (alluvionnaires) : gravillon et sable de rivière (siliceux et silico-calcaires), sables de dunes et granulats de mer (siliceux). Ils peuvent être roulés, semi concassés ou concassés.
- Des granulats de roches dures (issus de roches massives) : granulats calcaires, éruptifs/magmatiques (tels que les rhyolite, granite, basalte, gabbro, etc) ou métamorphiques (amphibolique, marbre, quartzite, etc). Ces roches sont extraites dans les carrières à l'aide d'explosifs. Elles sont ensuite concassées et criblées.

Les granulats légers : Ils sont définis par une masse volumique $< 2 \text{ t/m}^3$ et sont utilisés pour réaliser des bétons légers. Ces granulats peuvent être d'origine naturelle (pouzzolanes, pierre ponce, bois, liège....) ou artificielle (argile expansée, schiste expansé, laitier expansé, vermiculite, perlite, polystyrène expansé...).

Les granulats lourds : Ils sont définis par une masse volumique $> 3 \text{ t/m}^3$ et sont employés pour la confection de bétons lourds utilisés pour la construction d'ouvrages nécessitant une protection contre les rayonnements ionisants (salle de radiothérapie, réacteurs de centrale nucléaire, accélérateurs de particules, etc...).

Ils peuvent être d'origine naturelle (barytine, magnétite, hématite) ou issus de sous produits industriels (ribbons, grenaille de fonte, ...).

Les granulats recyclés : Ils sont obtenus par traitement (concassage et criblage) de matériaux minéraux auparavant utilisés en construction (issus de la démolition). Ils sont traditionnellement utilisés pour réaliser les couches de forme des chaussées, les remblais, mais peuvent également être utilisés pour confectionner du béton.

3.5. DÉSIGNATION DES GRANULATS : Les granulats sont désignés suivant leur **classe granulaire**, en termes de dimension inférieure (**d**) et supérieure (**D**) de tamis, exprimée par d/D.

TYPE	DIMENSIONS
Filler	La plupart des grains est $< 63 \mu\text{m}$
Sable 0/D	$d = 0 \quad D \leq 4\text{mm}$
Gravillon d/D	$d \geq 2\text{mm} \quad 4 \leq D \leq 63\text{mm}$
Grave 0/D	$d = 0 \quad 4 \leq D \leq 45\text{mm}$

Critères essentiels requis pour une utilisation dans le béton :

- La **propreté**
- La **teneur en eau** des granulats

4. L'EAU

4.1. LE RÔLE DE L'EAU DANS LE BÉTON : L'eau joue 2 rôles essentiels :

- Elle participe activement à l'**ouvrabilité du béton frais** en lui donnant une fluidité satisfaisante pour la mise en place, grâce à son action lubrifiante sur les différents grains, et grâce à la cohésion de la pâte résultant de l'association des grains fins avec l'eau. Il ne faut cependant pas abuser de cette influence par un excès d'eau qui diminue les résistances et la durabilité du béton.
- Elle permet l'**hydratation du ciment** et donc le développement des **résistances mécaniques** du béton. C'est en effet au contact de l'eau que le ciment fait sa prise et durcit.

4.2. QU'EST-CE QUE L'EAU DE GÂCHAGE ?

C'est l'**eau ajoutée** au béton lors du **malaxage**. Elle représente la plus grande part de l'eau contenue dans le béton. L'autre partie est apportée par les granulats et les adjuvants.

4.3. LES TYPES D'EAU UTILISABLES POUR GÂCHER LE BÉTON

L'eau de gâchage doit être conforme aux dispositions générales de la norme européenne NF EN 1008. Elle doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis).

- **L'eau potable** (eau du réseau) convient toujours.
- **L'eau naturelle** (ex : puits, rivière, étang) ainsi que l'**eau récupérée** du process de fabrication du béton peuvent être utilisées sous réserve contrôler leur conformité selon la norme NF EN 1008.
- **L'eau de mer** est à éviter, surtout pour le béton armé ou précontraint. Les eaux usées ne conviennent pas.

5. LES ADJUVANTS

Les adjuvants sont de plus en plus utilisés. Ils ont permis des progrès considérables en matière de bétons spéciaux (ex : bétons à hautes performances, bétons autoplaçants). Ce sont des produits dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5% de la masse de ciment) aux bétons, mortiers ou coulis lors du gâchage, **modifie leurs propriétés à l'état frais et/ou à l'état durci**.

Voici les principaux adjuvants utilisés dans les bétons :

- Les plastifiants/réducteurs d'eau
- Les superplastifiants/hautes réducteurs d'eau
- Les accélérateurs de prise et de durcissement
- Les retardateurs de prise
- Les hydrofuges de masse.

Les principaux essais sur les ciments

a. **Masse volumique apparente** : C'est la masse par unité de volume, c'est à dire le volume occupé par les grains et les vides.

b. **Masse volumique absolue ou poids spécifique** : Elle est la masse de l'unité de volume absolu c'est à dire le volume occupé par les grains seuls.

c. **Surface spécifique du ciment** La surface spécifique est mesurée le plus souvent avec le perméabilimètre de BLAINE. Principes : On mesure la perméabilité d'une couche de ciment tassée dont la porosité est connue = 0,5. On crée une dépression grâce à un tube manométrique et on mesure le temps de descente du liquide entre deux repères. La surface spécifique des ciments est compris entre 2 500 et 4 500 cm² /g.

Les principaux essais sur les pâtes de ciment

a. **Détermination du pourcentage d'eau normale (Essai de consistance)** : Il s'agit de déterminer la quantité d'eau à ajouter à un poids de ciment pour obtenir une pâte dite normale. Cette quantité d'eau est la quantité jugée nécessaire pour l'hydratation complète du ciment. Cet essai dit essai de consistance est réalisé à l'aide de l'appareil de VICAT. Pour réaliser l'essai de consistance, l'appareil de VICAT est muni d'une sonde dite de VICAT. La sonde de VICAT a 10 mm de diamètre. Elle est laissée sans vitesse initiale depuis la surface d'un moulage de pâte de 40 mm de haut. Elle s'enfonce sous son propre poids pour s'arrêter à une distance d du fond. La pâte est dite normale lorsque la sonde s'arrête à 6 ± 1 mm du fond. Cette détermination est faite par tâtonnement. Et on exprime le résultat sous le rapport C E La pâte est réalisée selon un processus et avec les appareils normalisés. La pâte normale est utilisée pour l'essai de prise.

b. **Essai de prise Les fins et débuts de prise** : sont mesurés sur pâte normale à l'aide de l'appareil de VICAT muni d'une aiguille de VICAT dont la section = 1 mm² . On remplit en général deux moules tronconiques de pâte normale que l'on conserve dans l'eau pendant toute la durée de l'essai. A intervalle de temps réguliers on laisse descendre l'aiguille dans la pâte début de la surface sans vitesse initiale. On constate au bout d'un certain temps que l'aiguille ne descend plus jusqu'au fond du moule. Le temps de début de prise est l'instant où l'aiguille ne s'arrête plus qu'à 2,5 mm du fond du moule. Le temps 0 étant pris égal à l'instant où le liant est mis en contact avec l'eau. Le temps de début de prise est normalisé (NFP 15-431). Le temps de fin de prise n'est pas normalisé. Mais on considère en général que c'est l'instant où l'aiguille ne laisse plus de trace à la surface de la pâte.

c. **Essai de retrait et de gonflement** : Les essais sont réalisés sur les prismes 4×4×16 de mortier normal munis à leur extrémité de plots de mesures noyés dans le mortier. On étudie dans le temps, c'est à dire à 7 jours et à 28 jours après la confection, le retrait à l'air et le gonflement dans l'eau. Le retrait à l'air est mesuré à 20° C avec une humidité relative de 50 %. Le gonflement à l'eau est mesuré à 5°C, les variations de dimensions sont mesurées à l'aide d'un appareil appelé retractomètre. Le retractomètre est capable d'enregistrer une variation de longueur de 5 microns. La nouvelle normalisation indique que les retraits à 28 jours mesurés sur mortier normal ne doit pas dépasser : $f \ 800 \ \mu$ par mètre pour les ciments

de classe 35 et 45 f 1 000 μ par mètre pour les ciments de classe 45 R et 55 Elle indique également que le gonflement à 28 jours ne doit pas dépasser 250 μ / m. d.

d. Essai de flexion et de compression : Cet essai est réalisé sur mortier normal. On confectionne des séries de 3 prismes (ou éprouvettes prismatiques $4 \times 4 \times 16$) qui sont conservées dans l'eau jusqu'à la période des essais. Ces prismes sont d'abord rompues en traction par flexion. Sous l'effet d'une charge concentrée appliquée au milieu de la portée. Les deux morceaux obtenus sont ensuite écrasés en compression sous une presse et sur une surface de 16 cm² . On obtient ainsi pour une éprouvette donnée, un résultat en traction par flexion et deux résultats en compression. L'essai de compression permet de déterminer la classe de résistance du ciment. On réalise un essai de traction par flexion car l'essai de traction directe est difficile à réaliser.