

CHAPITRE I

*Les composants et propriétés
du béton*

I.1. Introduction:

Le béton est un matériau composite aggloméré constitué de granulats durs de diverses dimensions collés entre eux par un liant. Dans les bétons courants, les granulats sont des grains de pierre, sable, gravier, cailloux et le liant est un ciment, généralement un ciment portland. Les composants sont très différents: leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m^3 . Si le type de liant utilisé n'est pas un ciment, on parle alors, selon le liant utilisé, de béton de résine, de béton d'hydrocarboné, de béton d'argile, etc.

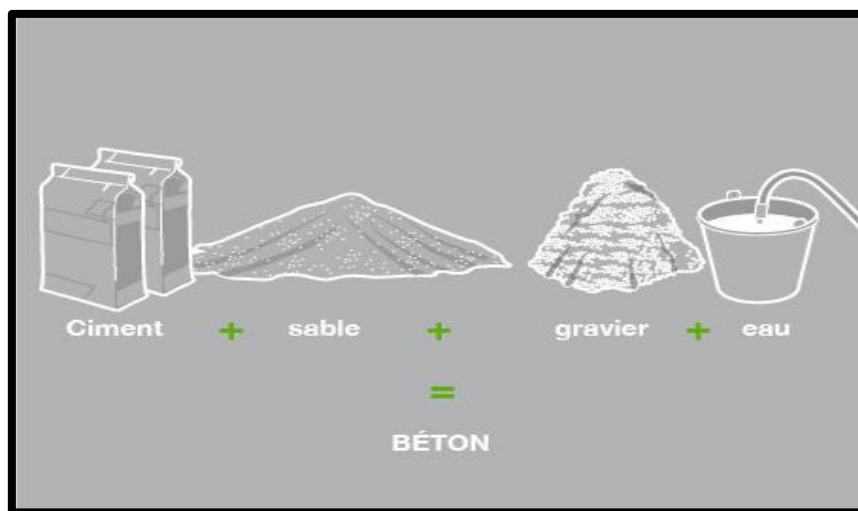


Figure (I.1) : Composition de béton

Les différents granulats forment le squelette granulaire du mortier ou du béton. Le ciment, l'eau et les adjuvants forment la pâte liante. Lorsqu'il n'y a pas de squelette granulaire, on parle de "pâte de ciment". La pâte est un élément unique et actif du béton enrobant les granulats. L'objectif est de remplir les vides existants entre les grains. La pâte joue le rôle de lubrifiant et de colle[15].

Dans le béton où une très grande compacité est recherchée (béton HP par exemple), la dimension des éléments les plus fins peut descendre en dessous de 0,1 mm (fillers, fumée de silice).

De même les granulats très légers ont des masses volumiques inférieures à 100 kg/m^3 .

Ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton courant, présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau (I.1) : La composition des constituants de béton en poids et en volume

Constituants	Eau	Air	Ciment	Granulats
Volume (%)	14 - 22	1 – 6	7 – 14	60 – 78
Poids (%)	5 – 9		9 – 18	63 – 85

I.2. Constituant des bétons :**I.2.1. Les granulats :****I.2.1.1. Définition :**

On appelle « granulats » les matériaux inertes, sables graviers ou cailloux, qui entrent dans la composition des bétons. C'est l'ensemble des grains compris entre 0,02 et 125 mm dont l'origine peut être naturelle, artificielle ou provenant de recyclage. Ces matériaux sont quelquefois encore appelés « agrégats » [14].

Exemple :

Sables, gravillons /graviers, granulats artificiels, grains de polystyrène, déchets de métallurgie, etc.....

I.2.1.2. Utilisation :

Les granulats sont utilisés pour la réalisation des :

Filtres sanitaires, filtres, drains, bétons, remblais routiers, etc.....

I.2.1.3. Classification des granulats :**I.2.1.3.a. Selon la nature minéralogique :**

Roches magmatiques : - granulats de bonne qualité : exemple le granit, le quartz

Roches sédimentaires : - non recommandé pour le béton : les calcaire - bons granulats
exemple : le gneiss.

Roches métamorphiques : - non recommandé pour le béton : le schiste

I.2.1.3 .b. Selon la forme des grains :

Elle est soit naturelle, soit artificielle.

La forme naturelle est en général roulée. Ces granulats proviennent des mers, dunes, rivières, carrières, etc....

La forme artificielle est issue du concassage de roches dures (roches mères).



Photo (I.1) : Exemple de granulats concassés et roulés

I.2.1.3 .c. Selon les caractéristiques physiques :

La masse volumique est la masse d'un corps par unité de volume total y compris les vides entre les grains et le constituant (volume apparent).

La masse spécifique est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains (volume absolu).

La densité absolue est le rapport de la masse spécifique à la masse d'un égal volume d'eau à + 4 °C soit 1 000 kg ; la densité absolue est donc égale au millième de la masse spécifique, c'est un simple rapport sans dimension.

La densité apparente est le rapport de la masse volumique à la masse d'un égal volume d'eau à + 4 °C soit 1 000kg. C'est donc un rapport sans dimension dont la valeur est égale au millième de la masse volumique

I.2.1.3.d. Selon la nature des granulats :

I.2.1.3.d.1. Les granulats courants :

On désigne sous le vocable granulats courants, ceux de masse volumique $\in [2 ; 3 \text{ tonnes/m}^3]$

Ce sont généralement les Basaltes, Quartzites, Grès, Porphyre, Diorite, granites, Schistes, Laitier. Pour la composition des bétons, on utilise en général des matériaux naturels alluvionnaires :

Sables et graviers. Cependant, lorsque ces matériaux font défaut localement, il est possible d'utiliser des roches éruptives ou sédimentaires transformées en granulats par concassage. Silex, calcaires durs, silico-calcaires.

I.2.1.3.d.2. Les granulats lourds :

Ils sont essentiellement employés pour la confection des bétons lourds utilisés pour la construction d'ouvrages nécessitant une protection biologique contre les rayonnements produits, par exemple, dans les réacteurs et piles atomiques : la protection est d'autant plus efficace que l'épaisseur est plus grande et la densité du béton plus élevée. On utilise en particulier :

La barytine, sa densité absolue est 4,2 à 4,7

La magnétite, sa densité absolue est 4,5 à 5,1

Les riblons, la densité absolue est celle du fer : 7,6 à 7,8

La grenaille d'une densité absolue de: 7,6 à 7,8

I.2.1.3 d.3. Les granulats légers :

Ils sont utilisés pour la confection de bétons légers. Ces bétons présentent en général des résistances d'autant plus faibles qu'ils sont plus légers, mais cette dernière qualité peut, dans certains cas, être particulièrement intéressante (préfabrication, isolations, gain de poids sur fondations difficiles ou onéreuses, etc.) La densité absolue de ces granulats est généralement inférieure à 1.

I.2.1.3 d.4. Granulats très durs :

Quartz, corindon, carborundum, paillettes de fonte, etc., sont incorporés au béton pour anti-usure (sols industriels par exemple).

I.2.2. Le ciment :**I.2.2.1. Généralités-Historique :**

Le ciment est un liant hydraulique (Définition : hydraulique = il durcit sous l'eau).

Les romains furent les premiers à fabriquer un véritable liant hydraulique en mélangeant de la chaux aérienne avec des cendres volcaniques du Vésuve (cendres volantes appelées Pouzzolane) [16].

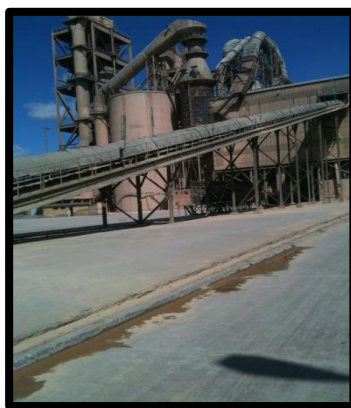


Photo (I.2) : Cimenterie D'OUED SLY CHLEF

En 1756, l'anglais du nom de SHEATON mis au point un produit, capable de faire prise sous l'eau. On parla pour la première fois de ciment. Ce ciment fût fabriqué à partir de pierres de l'île de Portland.

D'où l'origine du nom donné aujourd'hui au ciment (Ciment Portland).

I.2.2.2. Principe de fabrication du ciment Portland :

La cuisson à 1 450°C d'un mélange composé d'environ 80 % de calcaire et 20% d'argile, donne une roche artificielle appelée CLINKER. C'est le constituant de base du Ciment.

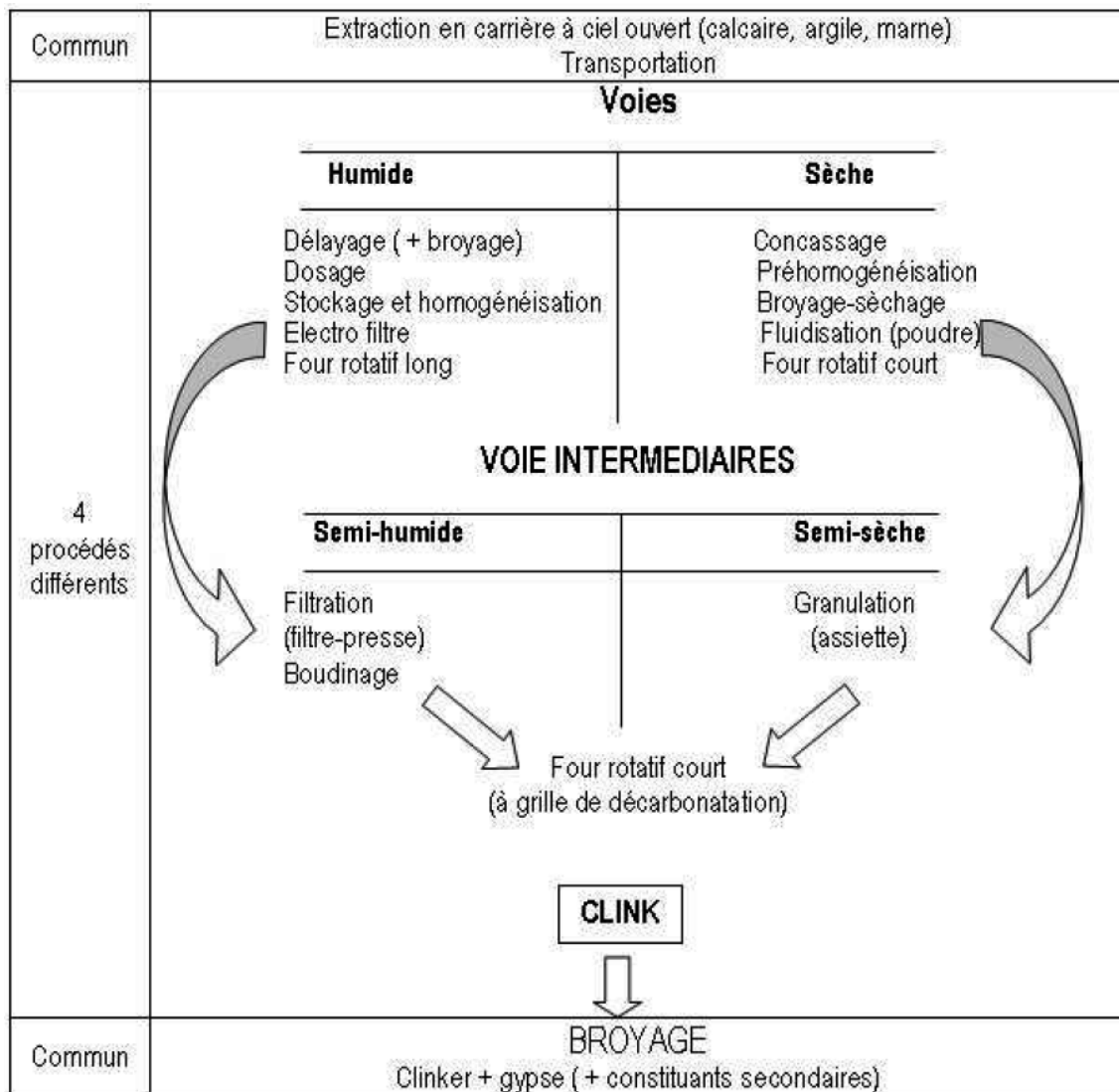
Le clinker est ensuite broyé avec environ 5% de gypse pour donner du ciment Portland artificiel (C.P.A.).



Figure (I.2) : Constituant de base du ciment

Il existe 4 procédés de fabrication du ciment suivant l'état de la nature des matières premières et suivant certaines conditions économiques. La production journalière d'une usine est en moyenne égale à 2500 Tonnes. Parmi les procédés de fabrication on peut citer :

Tableau (I.2) : Fabrication du ciment



I.2.2.3. Les différents ciments normalisés – Composition :

Il existe 5 familles de produits (associables aux différentes classes de résistance). Dans les pourcentages suivant le Gypse n'est pas donné (il est en plus) :

- Le **CPA** contenant au moins 97% de clinker (et donc moins de 3 % de filler)
- Le **CPJ** contenant au moins 65 % de clinker (j pour ajout : laitier, cendre, pouzzolane, filler)
- Le **CLC** contenant de 25a 60 % de clinker et de 20 à 45 % de cendres ou de laitier
(Ciment au Laitier et aux Cendres)
- Le **CHF** contenant de 40 à 75 % de laitier
- Le **CLK** contenant plus de 80 % de laitier

Les ciments les plus utilisés en Afrique sont les CPJ 35 et CPA 45.

I.2.2.4. Utilisation des ciments :

CPJ 35 :(Ciment Portland Composé Classe 35)

Peut être utilisé en maçonnerie, en béton courant (non armé ou armé), fondation, poutre de petite portée, poteau. Mais il faut dire qu'en fait son domaine d'emploi privilégié est les enduits, mortier et chape. Ce n'est pas un ciment de structure.

Le CPJ 35 peut être aussi utilisé pour les blocs préfabriqués en mortier ou en béton non armé.

Ex : agglomérés, hourdis (corps creux).

Le CPJ 35 peut être utilisé pour la stabilisation des sols (grave ciment). Il peut être

Également utilisé pour les travaux en grande masse peu sollicité en traction. Ex : barrage

CPA 45 :(Ciment Portland Artificielle Classe 45)

Pour BA sollicité (poteau, poutre, dalle) ; c'est le ciment de structure courant :

- B é t o n armé,
- B é t o n précontraint,
- D a l l a g e industriel,
- B é t o n routier,
- O u v r a g e de génie civil

CPA 55 R : (Ciment Portland Artificiel Classe 55 R)

BA très fortement sollicité (ossature porteuse) et avec prise rapide:

- B A avec décoffrage rapide.
- E l é m e n t s préfabriqués en BA (poutre, poutrelle, pré-dalle).
- B é t o n précontraint.

Les CHF et CLK sont surtout destinés aux fondations, aux travaux souterrains, milieux agressif, travaux en grande masse, travaux d'injection.

I.2.3. L'eau de gâchage :

Tout comme les autres composants du mélange, l'eau doit être propre.

L'emploi d'eau de mer est interdit selon la norme [23] NF EN 1008.

Le dosage doit faire preuve d'une attention particulière : trop d'eau dans le béton et le mortier entraîne la naissance de fissures et une perte de résistance au moment du séchage.

Une eau de gâchage non adéquate va ralentir la prise, réduire la résistance mécanique, favoriser la corrosion des armatures.

Les impuretés, telles que les composés chimiques relativement réactifs ou les particules en suspension, indésirables du fait de leur quantité ou de leur qualité, vont influencer négativement sur les propriétés du béton et des armatures.

I.3. Propriétés du béton :

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

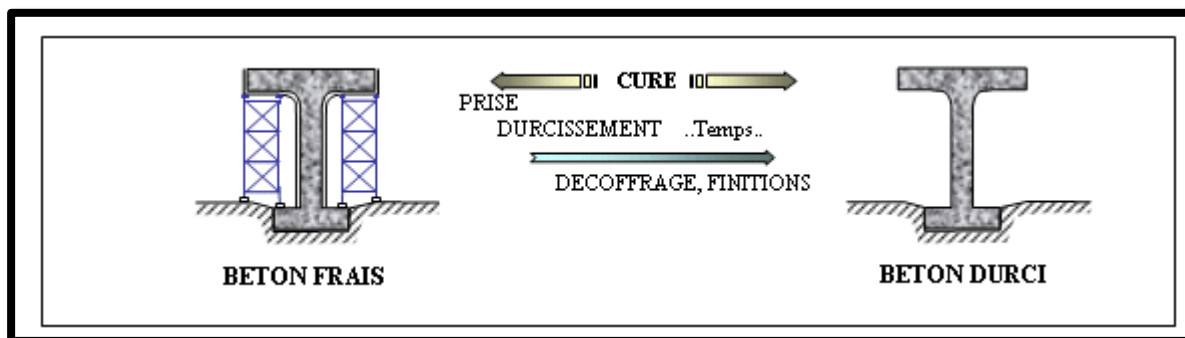


Figure (1.3) : Durcissement, finition

- **le béton frais** : mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage.
- **le béton durci** : solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques entre ses constituants, d'une durée de quelques jours à quelques semaines.

I.3.1. Propriétés du béton frais :

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferrailage[13]. L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité. Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Dans le cas de béton ordinaire elle est principalement influencée par :

- La nature et le dosage du liant.
- La forme des granulats.
- La granularité et la granulométrie.
- Le dosage en eau

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façon et en particulier par des mesures de plasticité. Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. Nous n'en citerons que quelques uns, les plus couramment utilisés dans la pratique.

I.3.1.1. Affaissement au cône d'Abrams :

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais où ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône. Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance[17].

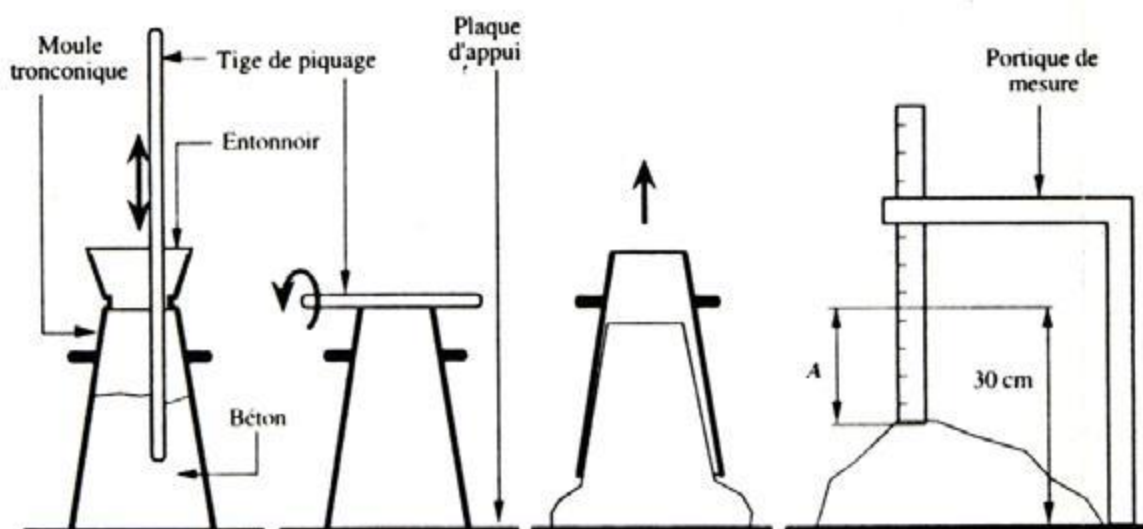


Figure (I.4) : Essai d'affaissement au cône d'Abrams



Photo (I.3) : Mesure de l'affaissement

I.3.1.2. La masse volumique du béton frais:

On mesure la masse volumique du béton frais à l'aide d'un récipient étanche à l'eau et suffisamment rigide. Le béton est mis en place dans le récipient et vibré à l'aide d'une aiguille vibrante, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage, après un arasement approprié. Le récipient et son contenu doivent être pesés afin de déterminer la masse volumique qui sera calculée en utilisant la formule suivante :

$$D = m_2 - m_1 / V \dots\dots\dots(2)$$

D : est la masse volumique du béton frais (kg/m^3).

m_1 : est la masse du récipient (kg).

m_2 : est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

V : est le volume du récipient en mètre cube (m^3).

La masse volumique du béton est arrondie aux 10 kg/m^3 les plus proches [18].



Photo (I.4) : Béton frais

I.3.2. Propriétés du béton durci :

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois, voire des années.

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité.
- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.

- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

I.3.2.1. Résistance à la compression:

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uni-axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. De plus, la résistance du béton en compression est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité [19].

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours, f_{c28} . La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée.

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$f_{cj} = F / A_c \dots\dots\dots(3).$$

Où :

- f_{cj} : résistance en compression, exprimée en méga pascal (Newton par millimètres carrés) ;
- F : charge maximale, exprimée en Newtons.
- A_c : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

La résistance à la compression doit être exprimée à 0,5 MPa (N/mm^2) près.

I.3.2.2. Résistance à la traction par flexion:

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7 x 7 x 28 cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée.

[20] Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes [24]NF P 18-407 (NA 428), munie d'un banc de flexion à 4 points.

Pour une charge totale P , le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est : $M = P \times a / 2$ et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est $f_{tj} = 6M / a^3$, la relation suivante permet de calculer la résistance :

$$f_{tj} = 1.8P / a^2 \dots\dots\dots(4).$$

I.3.2.3. La durabilité :

Le béton offre une grande pérennité face aux agressions physico-chimiques du milieu environnant (gel, pluie et pollution atmosphérique...). Il est particulièrement adapté pour la réalisation d'ouvrages devant résister à des conditions difficiles et extrêmes. La porosité et la compacité.

Ces propriétés conditionnent les deux premières. Plus un béton est compact (ou moins, il est poreux), plus ses performances seront élevées et sa durabilité importante. On améliore la compacité du béton en optimisant la dimension et l'empilement des granulats et en réduisant la quantité d'eau.

- La tenue au feu.
- La capacité d'isolation thermique et acoustique.
- La résistance au choc.

I.4. Les méthodes de calcul de la composition des bétons**I.4.1. Méthode de Fuller-Thompson :**

Fuller et Thompson ont proposée, pour les agrégats seuls, sans ciment, une courbe d'équation :

$$P\% = 100 * (d/D)^m$$

ou l'exposant m est voisin de 0.5d ou la parabole de Fuller :

$$p\% = 100 * (d/D)^{1/2}$$

p : pourcentage en poids passant à trévière la passoire de diamètre d (en mm).

D : grosseur maximum de l : grosseur maximum de l'agrégat.

I.4.2. La méthode Bolomey

Par une formule appropriée on trace une courbe granulométrique de référence et l'on s'efforce de réaliser avec les granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris) dont la courbe soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique.

La formule de base est la suivante :

$$p = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

p : est le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d

D : est le diamètre du plus gros grain

A : varie de 8 à 16, sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort.

Cette méthode aboutit théoriquement tout au moins à une granularité continue.

I.4.3. Etude théorique de Caquot :

parois Caquot, dans un mémoire intitulé « le rôle des matériaux inertes dans le béton », a donné une solution mathématique du problème de la composition granulométrique des bétons. Il met en évidence :

- que le vide des agrégats décroît comme la racine cinquième de leur grosseur maximum ;
- que l'effet de paroi est un facteur essentiel à considérer.

Caquot considère qu'un ensemble des grains de même dimension occupe, en masse indéfinie, une proportion de plein voisine de $B=0.56$. En pratique le volume total occupé par ces grains est limité par les parois du récipient qui les contient. Le volume des pleins diminue d'une quantité proportionnelle à la grosseur de l'agrégat et à la surface des. C'est l'effet de paroi. Les grains les plus gros exercent un effet de paroi sur les grains plus petites qui remplissent leur vides.

I.4.4. La méthode Faury :

En 1942 Faury proposa, comme suite à une étude générale du béton, une nouvelle loi de granulation du type « continu ».

Il s'inspirait pour cela d'une théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen. La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de $\sqrt[5]{d}$; c'est pourquoi Faury adopta une échelle des abscisses graduée en $\sqrt[5]{d}$. La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est alors théoriquement une droite ; cependant Faury a distingué les grains fins et moyens ($< \frac{D}{2}$) des gros grains ($> \frac{D}{2}$) et la pente de la droite de référence n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories.

On trace donc pour l'ensemble du mélange, ciment compris, une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites si l'on opère sur un graphique gradué, en abscisse, en $\sqrt[5]{D}$.

L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée à $\frac{D}{2}$ et son ordonnée Y est donnée

par une formule tenant compte de la grosseur D du granulat et comportant certains paramètres dont la valeur est à choisir dans des tableaux en fonction de la qualité des granulats (roulés ou concassés) et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus ou moins intense).

Cette valeur se calcule par la formule suivante :

$$Y = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75}$$

Le paramètre A se choisit dans un tableau de valeurs variant de 22 à 38.

B : varie de 1 à 2 selon que le béton est ferme ou mou.

R : est le rayon moyen du moule.

I.4.5. Méthodes de Joisel :

Joisel s'inspirait de Caquot qui avait eu l'évidence que l'effet de paroi exercé par les grains les uns sur les autres. Ses calculs étaient basés sur une compacité de l'agrégat de 0.56. Joisel reprend les calculs de Caquot en faisant varier la compacité de 0.52 à 0.70 et en déterminant chaque fois, l'équation de la courbe représentative du vide en fonction du rapport des dimensions extrêmes des grains. Les écarts de compacité changent alors l'échelle des abscisses graduées suivant d^m (au lieu de $d^{1/5}$) ou m varie pratiquement de 0.16 à 0.32, de sorte que la courbe granulométrique de référence soit la plus simple possible, c'est-à-dire une droite.

La notion d'effet de paroi, valable pour les grains supérieurs à 0.2 mm par exemple, ne l'est plus dans les cas des grains très fins, car l'eau les isole les uns des autres, c'est le cas des grains de ciment en particulier : on considère qu'ils ont une dimension maximum de 0.2 mm en passoire comme l'eau d'eau de gâchage sert, d'une part, à mouiller l'agrégat et, d'autre part, à confectionner la pâte de ciment pure, Joisel fait dépendre en partie l'eau de gâchage du béton de celle demandée par le ciment employé et de la grosseur maximum de l'agrégat utilisé.

Le dosage optimum de l'eau dépend de la nature du ciment. Il est pratiquement indépendant du dosage du ciment (si la composition du béton est voisine de celle qui donne la compacité maximum). Il existe, en effet, un certain dosage optimum du ciment auquel correspond une compacité maximum. Un béton présentant cette compacité maximum contiendra un vide total constitué par 15% d'air et 85% d'eau. Cette quantité d'air ne pourra pas être réduite, car <<l'eau et l'air ne sont pas des fluides interchangeables >>.

Les principes ci-dessus sont déduits de nombreux résultats expérimentaux. Ils permettent de tracer des abaques servant à déterminer la droite de référence et à la justifier. La droite correspond, dans des conditions déterminées, à la compacité maximum.

I.4.6. Méthode d'Abrams :

Méthode de la représentation globale de la granulométrie des agrégats à l'aide d'un indice numérique appelé << module de finesse >> a été donnée, en 1918, par Abrams. Ce module est la somme des refus en poids divisée par 100, obtenus par certains tamis américains de la série Taylor qui a été remplacé par les tamis AST.

Le module augmente avec la grosseur de l'agrégat ; il sera de 1, pour les sables très fins et de 7 pour de gros gaillions.

Il existe, pour chaque granulométrie composée, un module optimum demandant un minimum d'eau. Ce module est en fonction de la grosseur maximum des agrégats et du dosage en ciment. La méthode d'Abrams est très utilisée aux U, S, A. Elle a été considérablement améliorée.

lorsque l'on a pense a introduire le ciment (module de finesse :0) et lorsque les modules ont été calcule avec les volumes absolus de matière et non plus avec les poids , On remarque alors que la grosseur maximum de l'agrégat intervient d'une manière prépondérante .le dosage du ciment influe peu sur les valeurs maximum a prendre. Le module diminue avec le pourcentage de vide laissé par les agrégats .C'est en particulier le cas des agrégats concassés.

I.4.7. Méthode de Vallette :

R.Vallette a mis au point une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite cependant un certain nombre de calculs préparatoires. Cette méthode est souvent désignée par dosage des bétons à compacité maximale ou dosage des bétons à minimum de sable ou dosage des bétons à granularité discontinue.

La méthode Vallette proprement dite est quelquefois utilisée avec certaines variantes. Voici sommairement résumé le principe de cette méthode.Dans les cas les plus courants on partira, en général, de deux granulats (bétons binaires) : un sable 0/5 mm et un gravier présentant le plus souvent une certaine discontinuité avec le sable,un 16/25 mm par exemple.

On calcule d'abord le dosage de sable et de ciment devant donner, en principe, le mortier plein à minimum de ciment ; ce dosage s'obtient en mesurant les vides du sable mouillé et en calculant le dosage en ciment permettant de remplir le volume des vides du sable par un volume égal de pâte pure de ciment.

On ajoute ensuite le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier. C'est la partie essentiellement expérimentale de la méthode et elle repose sur l'appréciation de l'opérateur en ce qui concerne la

Convenance du béton ; il doit donc être un praticien connaisseur en la matière. On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé (en ciment). Les dosages en ciment auxquels on aboutit ainsi sont presque toujours très nettement au-dessous des dosages nécessaires pour obtenir les résistances souhaitées, la plasticité nécessaire, l'étanchéité ou autres qualités. Pour déterminer la composition du béton de dosage en ciment suffisant pour la résistance à obtenir, on fixe a priori dans certains cas, ou on évalue par un calcul approprié, le volume de pâte pure compensatrice à substituer à un égal volume plein de sable mouillé.

I.4.8. Méthode de Baron et Lesage

I.4.8.1. Détermination des quantité :

On a utilisé la méthode de Baron-Lesage pour déterminer les dosages de chaque constituant Pour les bétons de bâtiment Gorisse recommande un E/C compris entre 0.4 et 0.5. d'un béton de structure.

Pour caractériser la maniabilité de nos bétons, nous avons utilisé le cône d'Abrams disponible à notre niveau. Nous avons fixé une maniabilité correspondante à un affaissement variant entre 6 cm et 9 cm maniabilité souhaitée sur chantier pour la bonne mise en place d'un béton de structure.

I.4.8.2. Détermination des compositions granulaires optimales :

La première partie de notre travail consiste à mettre au point une formulation optimale pour le béton ordinaire et pour le béton à haut performance.

Les granulats (S, G) sont dosés de sorte que le squelette minéral soit optimal dans chaque cas.

Les bétons ont les mêmes :

- Nature et rapport E/C.
- Nature de granulats.
- Maniabilité.

Les variables de la recherche ont été par conséquent les dosages en granulats. Après Gorisse , le rapport S/G optimal est compris entre 0.5 et 0.8, six valeurs du rapport ont été choisies et expérimentées avec un pas de 0.05, pour chaque composition on mesure la maniabilité avec le cône d'Abrams.

Ainsi, avec un dosage en ciment fixé dans notre cas à 350 Kg/m³ C.P.j 425. qui est le dosage le plus répondu dans la composition des bétons de chantiers, nous faisons varier les quantités des différents granulats jusqu'à obtenir le rapport qui conduit à la maniabilité maximale pour un E/C donné.

Pour se faire, et pour chaque rapport S/G considéré, on fixe une valeur de S et on calcule la valeur de G correspondante. Les valeurs de S choisies sont comprises entre 500 et 1000, ces valeurs ont été choisies avec un pas de 100.

I.4.9. Méthode de G. DREUX

I.4.9.1. Données de base :

I.4.9.1.a. Nature de l'ouvrage :

La connaissance de la nature de l'ouvrage est nécessaire : ouvrage massif ou au contraire élancé et de faible épaisseur, faiblement ou très ferrailé. Il sera nécessaire de connaître l'épaisseur minimale et les dispositions des armatures dans les zones les plus ferrailées : distance minimale entre elles et couvertures par rapport au coffrage.

I.4.9.1.b. Résistance souhaité :

On demandera en générale, une résistance nominale σ'_n à la compression à 28 jours et compte tenu des dispersions et de l'écart quadratique, il faudra viser une résistance moyenne à 28 jours :

$$f'_{c28j} = f_{c28j} + 15\% * f_{c28j}$$

I.4.9.1. c. Ouvrabilité désirée :

Elle en fonction de la nature de l'ouvrage (plus ou moins massifs ou plus ou moins ferrailé), de la difficulté du bétonnage, des moyens de serrage, etc....., elle peut se définir en générale par la plasticité désirée mesurée par affaissement au cône comme indique le tableau suivant :

Tableau (I.3) : Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône ou au test d'ouvrabilité

plasticité	Serrage	Affaissement A en cm	Nombre de chocs test C.E.S
Béton très ferme	Vibration	0à2	>60
Béton ferme	puissante	3à5	30à50
Béton plastique	Bonne vibration	6à9	15à25
Béton mou	Vibration	10à13	10à15
Béton liquide	courante	≥14	<10
	Piquage		
	Léger		

I.4.9.2. Dimension maximale des granulats :

La dimension maximale des granulats (Dmax) est choisie suivant la spécificité de l'ouvrage à bâtir. Le tableau suivant montre les règles à suivre, en général ces valeurs sont valables pour une granularité continue, tandis que une granularité discontinue, ces valeurs devront être diminuée de 20% environ.

Tableau (I.4) : Dimension maximale du granulat

Caractéristiques de la pièce à béton	Dimension D des granulats	
	Roulés	Concassés
e- espacement entre armatures horizontales	$D \leq e$	$D \leq 0.9 e$
c- couverture entre armatures et coffrages	$D < 0.8 c$	$D < 0.7 c$
r- rayon moyen des mailles de ferrailage	$D < 1.85 r$	$D < 1.65 r$
r'- rayon moyen du moule (volume à remplir de béton par rapport à la surface totale des parois et armatures.	$D < 1.2 r'$	$D < r'$
	$D < 0.25 h_m$	

I.4.9.3. Dosage en ciment:

On commencera par évaluer approximativement le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne désirée σ'_{28}

$$f'_{c28j} = G \cdot R_{c28j} \cdot ((C/E) - 0,5)$$

Avec :

σ'_{28} : Résistance moyenne en compression désirée (à 28 jours) en bars,

σ'_c : Classe vraie du ciment (à 28 jours) en bars,

C : Dosage en ciment (en kg/m³),

E : Dosage en eau totale sur matériau secs (en litre),

G : Coefficient granulaire.

Tableau (I.5) : Valeurs approximatives du coefficient granulaire (G)

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins ($D \leq 16$ mm)	Moyen ($25 \leq D \leq 40$ mm)	Gros ($D \geq 63$ mm)
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Le dosage en ciment est en fonction de C/E, mais également du dosage en eau E nécessaire pour une ouvrabilité satisfaisante. L'abaque de la figure I.9 permet d'évaluer approximativement C en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée qui doit être considérée comme une donnée au problème.

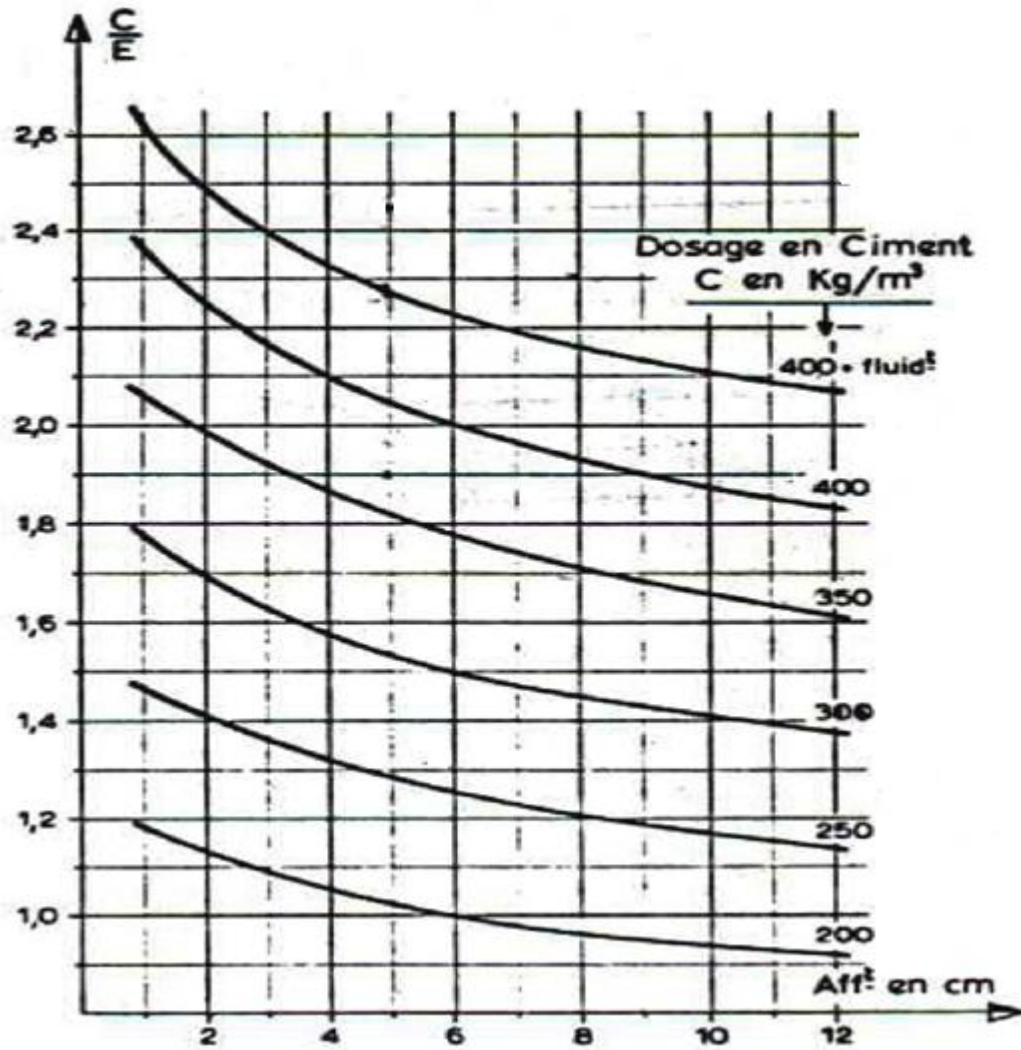


Figure (I.5) : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône)

I.4.9.4. Dosage en eau :

L'abaque de la figure (I.6), donne l'allure générale de la variation du dosage en eau en fonction de l'affaissement au cône et du test d'ouvrabilité C.E.S. Il ne s'agit bien entendu que d'ordre de grandeur pour des bétons courants et permettant de dégrossir rapidement une formule de composition mais comme pour tous les facteurs de cette composition c'est à notre avis par des essais sur des éprouvettes que les divers éléments constitutifs, et l'eau tout particulièrement, peuvent être définitivement dosée.

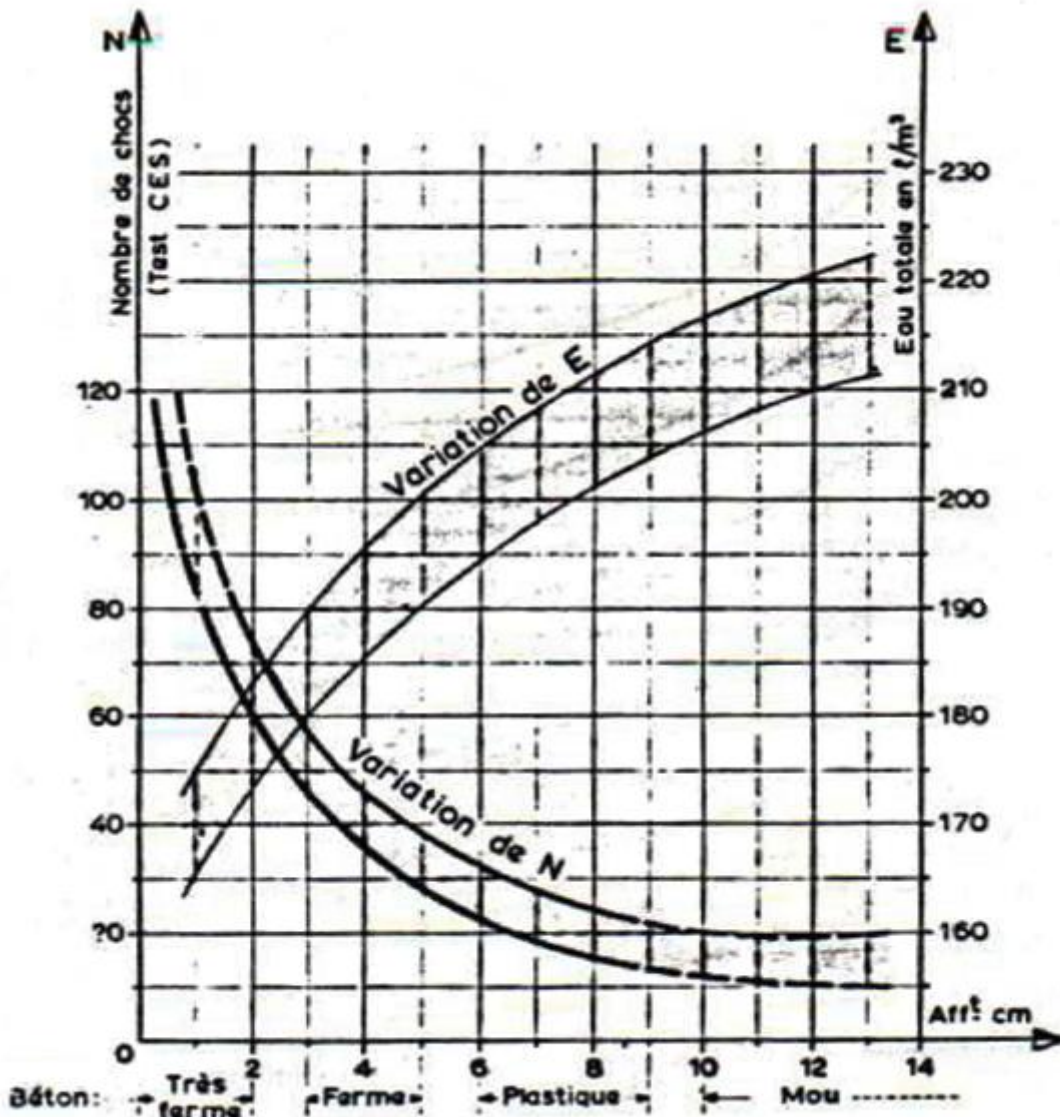


Figure (I.6) : Variation relatives moyennes du dosage en eau E et du nombre de chocs du test d'ouvrabilité C.E.S. en fonction de l'affaissement, dans le cas des bétons composés suivent la présente méthode (le dosage en sable augmente quand le dosage en ciment diminue)

➤ Correction du dosage en eau en fonction de Dmax

Les données précédentes sont plus particulièrement applicables aux bétons dont la dimension maximale des granulats est d'environ $D = 25\text{mm}$ (dimension la plus courante). Si l'on a $D < 25\text{mm}$, la surface spécifique des granulats augmente et à plasticité équivalente, il faudra légèrement majorer le dosage en eau, et vice-versa.

La correction sur le dosage en eau correspond à $D = 25\text{ mm}$, peut être approximativement évaluée d'après les valeurs du tableau (I.6) en fonction de D.

Tableau (I.6) : Correction en pourcentage sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale des granulats

Dimension maximale des granulats D en mm	5	10	16	25	40	63	100
Correction du dosage en eau (%)	+5	+9	+4	0	-4	-8	-12

Dosage en eau réelle :

La quantité d'eau totale (sur matériau supposés secs) étant ainsi approximativement déterminée, en obtiendra la quantité d'eau à ajouter sur les granulats humides en déduisant l'eau d'apport (contenue dans les granulats).

I.4.9.5. Analyses granulométriques des granulats :

Sur un graphique d'analyse granulométrique, on trace la courbe granulaire de référence OAB.
-Point B à l'ordonnée 100% correspond à la dimension D du plus gros granulats.

-Point de brisure A à pour coordonnées :

•En abscisse Si $D < 25 \text{ mm}$ $X = D/2$. Si $D > 25 \text{ mm}$ X est située au milieu du segment limité par le Module 38 (5 mm) et le module correspond à D ;

•En ordonnée :

$$Y = 50 - (D \text{ max})^{1/2} + K.$$

Avec K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité de serrage, de la forme des granulats (roulés ou concassés) et également de module de finesse du sable. Les valeurs de K est donnée sur le tableau (I.7) :

Tableau (I.7) : Valeurs de K

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400+fluidif	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

K: Facteur de correction .

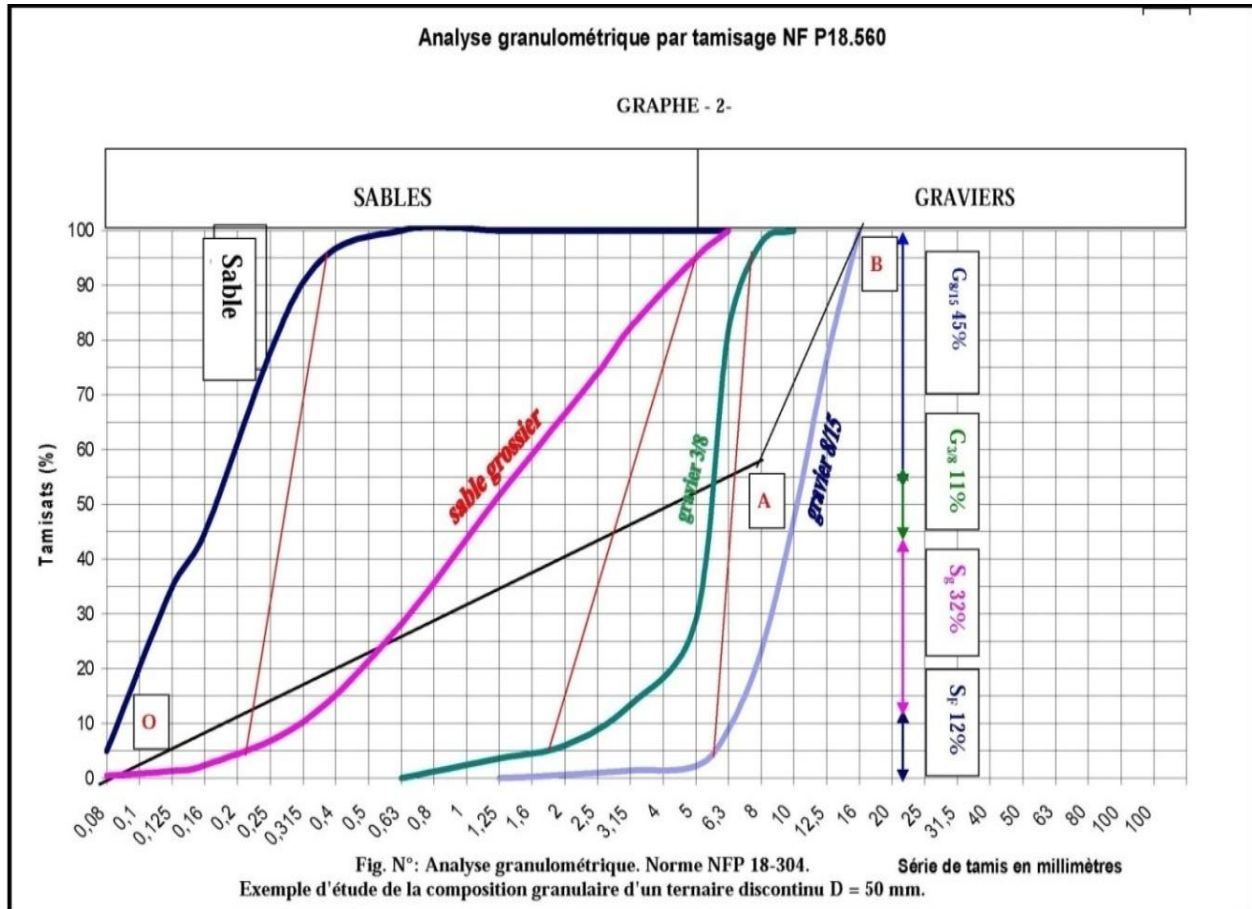


Figure (I.7) : Analyse granulométrique des granulats

I.4.9.6. Coefficient de compacité (γ) :

C'est le rapport à un mètre cube du volume absolu des matériaux solides (ciment et granulats) réellement contenus dans un mètre cube de béton frais en œuvre. On choisira une valeur approximative de γ dans le tableau (I.8) :

Tableau (I.8) : Valeurs du coefficient de compacité

Consistance	Compactage serrage)	Coefficient de compacité						
		D=5	D=10	D=16	D=25	D=40	D=63	D=100
Molle	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.819	0.815	0.820
	Vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.829	0.820	0.825
	Vibration normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastique	Piquage	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Vibration normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Ferme	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration normale	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Vibration puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855

I.4.9.7. Dosage des granulats

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur la même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point à 5% de la courbe du granulat suivant, et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats g_1 , g_2 , g_3 , par exemple. Si C est le dosage en ciment, le volume absolu des grains de ciment est :

$$C_1 = C/3.1$$

en admettant une masse spécifique de 3.1 pour les grains de ciment (valeur moyenne habituellement admise).

On choisira dans le tableau (I.8), une valeur convenable du coefficient de compacité γ en fonction de D , de la consistance et de l'efficacité du serrage.

$$V = 1000\gamma - C_1$$

Si g_1 , g_2 , g_3 sont les pourcentages en volume absolu des granulats. Les volumes absolus de chacun des granulats sont par suite :

$$V_1 = g_1 V$$

$$V_2 = g_2 V$$

$$V_3 = g_3 V$$

Si les masses spécifiques de chacun de ces granulats sont ω_1 , ω_2 , ω_3 les masses de chacun deux sont :

$$P_1 = V_1 \omega_1$$

$$P_2 = V_2 \omega_2$$

$$P_3 = V_3 \omega_3$$

$$\sum P_1 + P_2 + P_3 = G = \text{masse totale du granulat.}$$

Après avoir obtenu les résultats du calcul on fera les essais d'études en préparant des gâchées d'essais et en fonctionnant des éprouvettes afin de vérifier la consistance et la résistance du béton

I.5. Conclusion

Le béton est l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde, il fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par ces performances, sa souplesse d'emploi ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects.

Le béton est un matériau très en demande et son utilisation ne cessera de croître au cours des années à venir. Afin d'assurer la croissance de ce matériau de construction indispensable, l'approche du développement durable doit être intégrée à la production du ciment et du béton.

Cette approche consiste à optimiser l'utilisation des ajouts cimentaires des résidus industriels, afin de remplacer le ciment dans le béton, et d'utiliser les matériaux recyclés pour la réalisation des bétons, ce qui permettra d'augmenter la production de ce dernier à un coût compétitif, et protéger la nature des stocks grandissants des résidus industriels.

