

III.1 Introduction :

Le terme «béton» recèle une ambiguïté .le matériau doit en effet être considéré sous deux formes :

- le béton frais, mélange homogène de matières premières solides en suspension dans l'eau : c'est l'état dans lesquelles trouve lors des fabrications .Il se trouve en état foisonné dans et à la sortie des appareils assurant l'obtention d'un mélange homogène, et en état compacté dans son coffrage, après mise en place et damage, serrage ou vibration ;
- Le béton durci, solide dont les propriétés physiques et mécaniques s'acquièrent au cours des réactions physico-chimiques qui se déroulent entre ses composants sa vitesse relativement rapide au début, puis à vitesse fortement décroissante avec le temps.

Le béton est un matériau composite ; ses propriétés dépendent de la nature et de la qualité de ses composants mais aussi de leurs proportions relatives .S'agissant des propriétés, il convient de distinguer celles qui concernent le béton frais et le béton durci.

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose ainsi que le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage, ou de la partie d'ouvrage en cause.

Les méthodes proposées sont nombreuses et il n'est pas possible de les citer toutes; elles aboutissent à des dosages volumétriques ou, de préférence, pondéraux, le passage de l'un à l'autre pouvant se faire, si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des granulats en vrac.

Ces méthodes sont dites à granularité continue lorsque l'analyse du mélange constituant le béton donne, sur le graphique granulométrique, une courbes' élevant d'une façon continue ; autrement dit, du plus petit grain de ciment de dimension $d_c \approx 6,3 \mu\text{m}$ au plus gros grain D des graviers, toutes les grosseurs intermédiaires sont représentées.

On dit par contre que l'on a une granularité discontinue lorsque la courbe granulométrique correspondante présente un palier qui équivaut à un manque d'éléments intermédiaires

Ces deux types de béton, continu et discontinu, ont eu chacun leurs chauds partisans ou détracteurs [39].

III.2 Principe fondamental :

Formuler un béton consiste à intégrer des paramètres essentiels tels que :

- la qualité des matériaux disponibles,
- la nature du projet à réaliser,
- les moyens de mise en œuvre disponibles sur le site,
- la qualité de l'environnement dans lequel va "vivre" l'ouvrage à réaliser,
- les conditions de mise en œuvre (besoins d'ouvrabilité, résistance aux jeunes âges, ...),
- les délais de réalisation.

En vue de satisfaire aux objectifs :

- de durabilité,
- d'esthétique,
- de résistance mécanique,
- d'étanchéité.

La recherche des performances passe par la réduction de la porosité du béton durci, c'est-à-dire de son pourcentage de vide. On cherchera donc, pour formuler un béton à chaux éteinte, à diminuer la porosité de la matrice cimentaire et à optimiser le squelette granulaire.

III.3 Critères en fonction de la destination des bétons :

Les ouvrages que l'on construit aujourd'hui en béton sont des plus divers tant dans leur destination que dans leurs dimensions et toute étude de composition de béton doit en tenir compte ; il convient donc d'en définir les critères qui devront constituer clairement les données de l'énoncé du problème que pose l'étude de la composition d'un béton destiné à un ouvrage donné.

Quatre critères principaux doivent être retenus :

- la dimension maximale des granulats ;
- la résistance ;
- l'ouvrabilité ;
- l'agressivité du milieu ambiant.

III.4 L'approche de la formulation :

III.4.1 Dosage en ciment :

Pour bien comprendre le caractère primordial du dosage en ciment, il faut rappeler que celui-ci remplit deux fonctions essentielles dans le béton.

- La fonction de liant :

Elle est déterminante dans la résistance du béton, qui dépend de la nature du ciment, de sa propre résistance et de l'évolution de son durcissement.

Le ciment complète la courbe granulométrique du béton dans les éléments fins. Il faut noter que le développement dans le temps des hydrates du ciment colmate progressivement les capillaires, contribue à diminuer la porosité d'ensemble du béton et améliore notablement sa durabilité.

Les abaques de G. Dreux [11], reposent sur cette approche qui privilégie la « fonction liant », donc la résistance. Dans cette démarche, le ratio C/E (dosage en ciment sur dosage en eau) est calculé à partir de la formule :

$$R_{b28} = G R_c (C/E - 0,5) \quad (\text{III.1})$$

Expression simplifiée inspirée de la formule de Féret.

R_{b28} = résistance à la compression du béton à 28 jours.

R_c = résistance réelle du ciment.

G = coefficient compris entre 0,35 et 0,65.

Il faut cependant rappeler que la « fonction filler » conduit à un dosage en ciment supérieur aux valeurs habituellement fixées par les cahiers des charges ou les documents normatifs. La norme NF EN 206-1[31] fixe des dosages minimaux en ciment C liés aux classes d'exposition du béton.

Par exemple, pour un béton armé courant de résistance caractéristique 25 à 30 MPa, en classe d'exposition au gel, le dosage minimal en ciment varie, selon que le gel est susceptible d'être modéré ou plus sévère.

➤ Dosage en eau :

Le dosage en eau est un facteur très important de la composition du béton. On pressent bien l'influence qu'il a sur la porosité du béton par les vides créés, lorsque l'eau s'élimine pour différentes raisons (évaporation, combinaison chimique, absorption par les granulats).

Par exemple, avec un E/C , couramment utilisé, de 0,55, on estime que la moitié de l'eau de gâchage sert à l'hydratation du ciment, l'autre moitié est une eau de mouillage interstitielle qui contribue à la plasticité du béton requise pour sa mise en œuvre. Toutes ces raisons soulignent l'importance de l'optimisation du dosage en eau, qu'on a tendance à approcher, par exemple en le déduisant de l'expression C/E précédemment adoptée et en l'affinant grâce à des essais pratiqués dans les conditions du chantier, qui ont le mérite d'intégrer des paramètres difficiles à quantifier.

III.4.2 Choix des granulats :

Une fois déterminée la dimension maximale des granulats compatible avec les exigences géométriques précédemment déterminées de l'ouvrage (espacement des armatures entre lesquelles doit pouvoir passer le béton, épaisseur d'enrobage, forme de la pièce à mouler), on doit résoudre les deux problèmes suivants.

➤ Choix des classes granulaires :

La plupart du temps, la composition d'un béton présente une courbe granulaire discontinue obtenue à partir de deux classes granulaires : un sable de type 0/4 et un gravillon 5,6/12,5 ; 5,6/16 ou 5,6/20, par exemple. On peut également utiliser deux classes de gravillons dans des compositions plus élaborées, lorsqu'on cherche à se rapprocher d'une granulométrie continue. Pour répondre à des performances particulières, il existe des bétons spéciaux qui font appel à davantage de classes.

➤ Choix des granulats :

Deux facteurs ont longtemps été considérés comme ayant une influence sur les propriétés du béton :

– la proportion relative gravillons/sable traduite par le facteur G/S que les études récentes ont fait apparaître comme moins importante qu'on ne le pensait auparavant, dans la mesure où ce facteur reste inférieur à 2.

– la granulométrie du sable caractérisée, par exemple, par son module de finesse. Le module de finesse d'un sable pour béton est généralement compris entre 2,2 et 2,8 [40].

III.5 Formule de Féret :

En se limitant aux points de vue du maître d'ouvrage, du concepteur et de l'entreprise qui réalise les travaux, un béton peut être caractérisé par trois critères : la durabilité et la résistance à la compression du béton durci, qui garantissent la pérennité et la sécurité des ouvrages, d'une part, et, d'autre part, la consistance ou la maniabilité du béton frais, qui mesure sa facilité de mise en œuvre. Ces propriétés dépendent de la qualité des constituants, mais aussi de la composition du béton, c'est-à-dire des quantités des divers constituants contenus dans 1 m^3 de béton en place.

Dès 1898, René Féret a établi les principes d'optimisation de la composition conduisant à l'obtention de bétons de résistance spécifiée. Il a énoncé la relation qui lie la résistance à la compression f_c d'un béton aux volumes de ciment \mathbf{c} , d'eau \mathbf{e} et de vides \mathbf{v} contenus dans une unité de volume de béton durci :

Cette expression met en évidence le fait que la résistance f_c croît avec le dosage en ciment, c'est-à-dire avec le poids de ciment contenu dans 1 m³ de béton durci, les coefficients k dépendant de la nature des granulats et du ciment.

$$f_c = K_g * K_c \left[\frac{\frac{c}{e+v}}{1 + \frac{c}{e+v}} \right]^2 \quad (\text{III.2})$$

Elle montre aussi que la résistance décroît lorsque croissent la quantité d'eau et le volume des vides contenus dans le béton. Si la quantité d'eau e est supérieure à celle qui est strictement nécessaire pour l'hydratation du ciment, il subsistera de l'eau excédentaire qui, après évaporation, laissera des vides s'ajoutant aux vides physiques de volume v . Le béton présentera une certaine porosité du fait de ces vides. La formule de Féret met donc en évidence le fait que, pour un dosage donné de ciment, la résistance est d'autant plus grande que la teneur en eau du béton frais est plus réduite, c'est-à-dire que la porosité du béton durci est plus faible. Depuis Féret, de nombreuses méthodes ayant pour objectif la minimisation de la porosité et donc, en pratique, du volume $(e + v)$, ont été proposées.

Il n'est cependant pas possible de diminuer fortement la teneur en eau, car on obtient des bétons frais très peu fluides, donc très difficiles à mettre en place.

Les méthodes de composition sont nombreuses. On distingue celles qui utilisent des courbes de références et celles basées sur d'autres principes [41].

III.6 Méthode de 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 que la courbe de référence théorique, La formule de base est la suivante :

$$P = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}} \quad (\text{III.3})$$

- 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 forte.

Cette méthode aboutit théoriquement tout au moins à une granularité continue des granulats (roulés ou concassés) et également de module de finesse du sable.

III.7 Méthode D'ABRAMS :

Une 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 divisé par 100, obtenue par certains tamis américains de série Tylor qui a été remplacé par les tamis ASTM. Le module augmente avec la grosseur des agrégats; il sera de 1 pour les sables très fins et de 7 pour les gros gravillons. Il existe, pour chaque granulométrie à composer, 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'Abram est très utilisée aux U.S.A. elle a été considérablement améliorée lorsque l'on a pensé à introduire le ciment (module de finesse : 0) et lorsque les modules ont été calculés 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 en ciment influe peu sur les valeurs maximum à prendre. Le module diminue avec le pourcentage de vide laissé par les agrégats. C'est en particulier le cas des agrégats concassés [42].

III.8 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 béton compacité maximale» ou «dosage des béton à minimum de sable» ou «dosage des béton à granularité discontinue».

La méthode Vallette proprement dite est quelque fois utilisée avec certaines variantes. Elle est purement empirique. Les qualités des différents agrégats à adopter se déterminent expérimentalement dans chaque cas. Son principe consiste à réaliser un béton plein renfermant le minimum de grains fins et le maximum de gros grains.

On cherche d'abord la composition du mortier à employer. Elle se détermine en calculant la quantité minimum du ciment à mettre pour constituer une pâte pure, telle qu'elle puisse remplir entièrement les vides du sable humide. Par tâtonnements successifs, on cherche ensuite la quantité maximum de gravillons à ajouter de façon à obtenir un béton ayant la consistance désirée.

Ainsi, la méthode laisse une part importante au facteur personnel, en particulier pour déterminer la quantité d'eau de mouillage des agrégats et la quantité des gravillons à incorporer. Le béton obtenu est raide, assez peu maniable, difficile à mettre en place. Il est parfois sujet à la ségrégation [42].

III.9 Méthode de FULLER-THOMPSON :

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

$$P (\%) = 100 (d/D)^m \quad (\text{III.4})$$

Où l'exposant m est voisin de 0,5 d'où la parabole de Fuller :

$$P (\%) = 100 (d/D)^{1/2} \quad (\text{III.5})$$

P : Pourcentage en poids passant à travers la passoire de diamètre d (en mm).

D : Grosseur maximum de l'agrégat [43].

III.10 Etude théorique de CAQUOT :

Caquot, dans un mémoire «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 de 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 parois. C'est l'effet des parois. Les grains les plus gros exercent un effet de paroi sur les grains plus petits qui remplissent leurs vides [42].

III.11 La méthode américaine :

Le manuel de pratique normalisé [48], décrit une méthode de formulation de béton à base de ciment Portland seul ou mélange à d'autres matériaux cimentaires.

La méthode nécessite de procéder à une première approximation des proportions du béton dans des gâchées d'essai. En fait, la méthode de la norme [48].consiste en une suite logique d'étapes progressives prenant en compte les caractéristiques des matériaux utilisés, par exemple Choix de l'affaissement ; Choix de la dimension maximale du granulat ; Estimation du dosage en eau et de la teneur en air ; Choix du rapport eau/ciment ; Calcul du dosage en ciment ; Estimation du dosage en gros granulat ; Estimation du dosage en granulats fins et Ajustement des proportions [44].

Tableau III.1 : appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône [39]

Classe de résistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme F	0 à 4	± 1 cm
Plastique P	5 à 9	± 2 cm
Très plastique TP	10 à 15	± 3 cm
Fluide F1	≥ 16	

III.12 Méthode de JOISEL :

S'inspirant comme Faury de la théorie de Caquot mais en la généralisant, a.Joisel propose de considérer que la loi de la granulation conduisant à la compacité maximale est fonction de $\sqrt[m]{d}$, m dépendant de la compacité avec la qu'elle se serre un granulat de dimension uniforme selon les moyen de serrage ; m peut alors varier de 3 à 10.

Afin d'obtenir une courbe granulométrique de référence qui se réduit à une simple droite, l'échelle des abscisses n'est plus systématiquement proportionnelle à $\sqrt[5]{d}$ (faury) mais à $\sqrt[m]{d}$, m variant avec le serrage des matériaux. Comme dans la méthode de Faury, on aboutit donc en principe à une granularité continue sauf, bien entendu, si les granulats dont on dispose en pratique présentent une discontinuité. Toutefois, pour éviter la cassure de la droite de référence au point d'abscisse ($< \frac{D}{2}$) – Joisel a déterminé l'échelle de l'intervalle ($> \frac{D}{2}$) de façon à n'avoir qu'une simple et unique droite, c'est l'avantage de cette méthode mais, en revanche, il faut employer un graphique dont l'échelle des abscisses est variable d'une étude à l'autre, d'un type de granulats à un autre.

C'est ensuite par une méthode graphique dont nous nous inspirons que se déterminent les pourcentages des divers granulats.

Comme pour les méthodes Faury et Vallette le dosage en ciment est déterminer par cette méthode est le dosage minimale correspondant théoriquement – sur le plan granulométrique, à la compacité maximale ; ce dosage est en général nettement inférieur (150 à 200 Kg/m³ dent la plupart des cas).Une correction doit donc être apportée dans ce sens [42].

III.13 Méthode des volumes absolus :

La somme des volumes absolus des matériaux d'origine dans un m^3 est égale au volume de la composition du béton se pratique suivent l'ordre :

- 1- On définit le rapport ciment-eau ou eau-ciment.

- 2- On calcule la dépense d'eau.
- 3- On détermine la dépense du ciment.
- 4- On détermine la dépense des agrégats.
- 5- On vérifie la fluidité du mélange de béton.
- 6- On prépare les éprouvettes pour définir le comportement mécanique.
- 7- On fait les essais dans le délai fixé.

III.13.1 Définition du rapport ciment-eau ou eau-ciment :

- a) Pour béton a $C/E < 2.5$ → $R_b = A * R_c [C/E - 0.5]$
- b) Pour béton a $C/E > 2.5$ → $R_b = A * R_c [C/E + 0.5]$

III.14 La formulation des bétons à laitier (Méthode des coulis) :

Le point critique de la formulation d'un béton à laitier consiste à associer un ciment et la laitier afin d'obtenir un mélange fluide, mais de faible teneur en eau, tout en permettant une mise en œuvre aisée pendant un temps donné.

Un liant a été choisi à priori, on cherche la quantité d'eau suffisante à fluidifier le mélange.

Lorsque la quantité d'eau a été trouvée, on vérifie qu'il n'y a pas de risque de perte d'ouvrabilité pour le couple [ciment – laitier] utilisé avec le dosage déterminé.

➤ Principe de la méthode des coulis :

La partie fine de la granularité d'un béton concentre l'essentiel de la surface des grains susceptible d'absorber des molécules de l'eau.

En étudiant la partie de béton frais contenant les grains solides de taille $< 2\text{mm}$ et la pâte de ciment, on obtient un " béton en réduction " dont la fluidité fournira l'image du comportement du béton frais.

Formulation d'un béton à laitier éteinte de référence :

- Le béton de départ est formulé avec des quantités et qualités de liant(s) susceptibles de fournir la résistance recherchée ;
- On détermine le squelette granulaire avec une méthode du type Faury ;
- On règle finalement la quantité d'eau pour obtenir un affaissement à cône d'abrams.

III.15 Méthodes de calcul de la composition du béton selon G. Dreux :

III.15.1 Données de base :

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 ferraillées : distance minimale entre elles et couvertures par rapport au coffrage.

b) Résistance souhaité :

On demandera en général, une résistance nominale s_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 :

$$f'_{c28j} = f_{c28j} + 15\% * f_{c28j} \quad (\text{III.6})$$

c) Ouvrabilité désirée :

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

Tableau III.2 : Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône ou au test d'ouvrabilité [39]

Plasticité	Serrage	Affaissement A en cm	Nombre de chocs test
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2	>60
Béton ferme	Bonne Vibration	3 à 5	30 à 50
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9	15 à 25
Béton mou	Piquage	10 à 13	10 à 15
Béton liquide	Léger piquage	≥ 14	< 10

III.15.1.1 Dimension maximale des granulats :

La dimension maximale des granulats (D_{max}) est choisie suivant les spécificités 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 diminués de 20% environ.

Tableau III.3 : Dimension maximale du granulat [39]

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	$D \leq 0.8 c$	$D \leq 0.7 c$
r- rayon moyen des mailles de ferrailage	$D \leq 1.85 r$	$D \leq 1.65 r$
r'- rayon moyen du moule (volume à remplir de béton par rapport à la surface totale des parois et armatures.	$D \leq 1.2 r'$	$D \leq r'$
hm = épaisseur minimale	$D \leq 0.25 hm$	

III.15.1.2 Dosage en ciment :

On commencera par évaluer approximativement le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne désirée f'_{c28j}

$$f'_{c28j} = G \cdot R_{c28j} (C/E - 0.5) \quad (\text{III.7})$$

Avec :

f'_{c28j} : Résistance moyenne en compression désirée (à 28 jours) en bars,

R_{c28j} : 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 III.4 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire (G) [39]

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins ($D \leq$)	Moyen ($25 \leq D \leq$)	Gros ($D \geq$)
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 N°(III.1) permet d'évaluer approximativement C en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée qui doit être considérée comme une donnée au problème.

III.16 Méthode de FAURY :

III.16.1 Principe de la méthode :

Le principe de Faury est basé sur la granularité continue des granulats, elle s'inspire de la théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen. Le mélange optimum est celui dont la courbe granulométrique se rapproche le plus possible de la courbe de référence donnée par la méthode. Cette courbe est tracée dans un axe rectangulaire dont les abscisses croissant proportionnellement à la racine cinquième des dimensions en mm des trous des tamis [45].

III.16.2 Tracer de la courbe :

La courbe de référence conduisant à la compacité maximale est normalement une droite mais Faury à distinguer la zone des grains fins et moyens ($<D/2$) de la zone des gros grains ($>D/2$), la courbe granulométrique de référence devient donc un composé de deux segments de droites avec des pentes différentes, l'abscisse du point de rencontre des deux segments correspond à $D/2$ et l'ordonnée Y est donnée par une formule qui tient compte de la nature des granulats et du niveau de consistance recherché :

$$\frac{B}{\frac{R}{D}-0.75} + \sqrt[5]{D} Y = A + 17 \quad (\text{III.8})$$

- A : coefficient qui se choisit dans le tableau des valeurs de A .
- D : dimension maximale du béton.
- B : coefficient dépendant de la puissance de serrage, on le prend égale à 1.5 en cas de serrage moyen (béton mou), et 1.0 en cas de serrage énergétique (béton ferme)
- R : rayon moyen du moule.

On note que : en masse indéfini la formule de Y devient :

$$Y = A + \sqrt[5]{D} \quad (\text{III.9})$$

Le segment de droite correspond à la zone des éléments inférieurs à $D/2$ s'obtient en joignant le point qui correspond conventionnellement à la dimension des grains de ciment pris égale à 0.0065mm au point $D/2$.

Le segment qui correspond à la zone d'élément supérieur à $D/2$ s'obtient en joignant le point correspondant à la dimension maximale du béton au point $D/2$.

Le point correspondant à la dimension maximale du béton est donné par :

$$D = d_1 + (d_1 - d_2) x/y \quad (\text{III.10})$$

d_1 : Diamètre du plus grand tamis sur lequel on obtient un refus

d_2 : Diamètre du tamis immédiatement inférieur

x : Proportion des grains retenus sur le tamis d_1

y : Proportion des grains entre d_1 et d_2 .

III.16.3 Calcul de l'indice des vides :

Le volume des vides est ici représenté par la somme des volumes(e) de l'eau de prise et du volume(v) inclus dans le béton, ce volume que nous désignant par I et le complément à 1 de la compacité P , ainsi : $I = e + v$ où $I = 1 - P$

La quantité d'eau de gâchage se détermine par la formule suivante :

$$\text{- avec effet de paroi : } I = \frac{K}{\sqrt[5]{D}} + \frac{k'}{\frac{R}{D}} \quad (\text{III.11})$$

$$\text{- En masse indéfini : } I = \frac{K}{\sqrt[5]{D}} \quad (\text{III.12})$$

- K : coefficient qui se choisit dans le tableau des valeurs de K
- D : dimension maximale du béton
- K' : Coefficient qui dépend de la puissance du serrage
- R : rayon moyen du moule.

Tableau III.5 : Valeur de « A » [45]

	S roulé /G roulé	S roulé/G concassé	S concassé/G concassé
Très fluide	32	34	38
Fluide	30-32	32-34	36-38
Mou	28-30	30-32	34-36
Ferme	26-28	28-30	32-34
Très ferme	24-26	26-28	30-32
Puissant	22-24	24-26	28-30

Tableau III.6 : Valeur de « K » [45]

	S roulé /G roulé	S roulé/G concassé	S concassé/G concassé
Très fluide	0.370	0.405	0.450
Molle	0.350-0.370	0.375-0.405	0.430-0.460
Ferme	0.330-0.350	0.355-0.385	0.400-0.430
Très ferme	0.250-0.330	0.330-0.350	0.350-0.370
Extra sèche	0.250	0.330	0.350

III.16.4 Détermination des proportions des matières sèches :

Deux méthodes existent :

- la méthode des indices pondéraux
- la méthode graphique

Nous nous proposerons de développer la méthode graphique, qui consiste à définir les pourcentages en volumes absolus des matières sèches que sont les granulats et le ciment.

III.16.4.1 Pourcentage en volume absolu du ciment :

C'est généralement le cahier des clauses technique particulières (CCTP) qui définit le dosage en ciment et ce compte tenu des résistances nominales du béton à 28j. Il est en général compris entre 250 et 450 Kg / m³.

Le pourcentage en volume absolu du ciment se définit par :

$$C(\%) = X / P_s \quad (III.13)$$

Où :

- C : ciment,
- X : dosage en ciment tel que prévu par CCTP,
- P_s : poids spécifique du ciment.

III.16.4.2 Pourcentage en volume absolu des granulats :

Trois cas présentent :

- **1^{er} cas** : le diamètre maximum du sable (S) est équivalent au diamètre minimum du gravillon (G) une verticale à l'axe des abscisses et passant par le D_{max} du sable et le D_{min} du gravillon coupe la courbe de référence au point M
(100-M) représente le pourcentage en volume absolu du gravillon.
Le point (M) représente le pourcentage en volume absolu du sable et du ciment.
- **2^{eme} cas** : les courbes granulométriques du sable et du gravillon se chevauchent, une verticale à l'axe des abscisses est tracée de façon à ce qu'elle coupe la courbe du sable à un point qui représente un % de refus équivalent au tamisât du point de coupure de la courbe du gravillon.
Cette verticale coupe la courbe de référence au point M.
(100-M) représente le pourcentage en volume absolu du gravillon.
Le point M représente le pourcentage en volume absolu du sable et du ciment.
- **3^{eme} cas** : les courbes granulométriques du sable et du gravillon sont discontinues [45].
 d_0 étant le diamètre max du sable et d_2 le diamètre min du gravillon, on trace une verticale d_1 à l'axe des abscisses de telle sorte que $d_1 = d_0 + d_2 / 2$.
Cette verticale d_2 coupe la courbe de référence au point M.
(100-M) représente le pourcentage en volume absolu du gravillon.
Le point M représente le pourcentage en sable et en ciment. On note que lorsque le

béton est composé de plusieurs granulats la procédure est répétitive.

III.16.4.3 Calcul des volumes absolus des matières sèches :

Le volume absolu des matières sèches correspond au : (Volume total du béton) – (volume d'eau de gâchage qui correspond au volume des vides).

Le volume total du béton pris en compte dans les calculs est égale à 1000 litres

- volume absolu du ciment : (Pourcentage en volume absolu du ciment) × (Volume absolu des matières sèches).
- volume absolu du sable : (Pourcentage en volume absolu du sable) × (Volume absolu des matières sèches).
- volume absolu du gravillon : (Pourcentage en volume absolu du gravillon) × (Volume absolu des matières sèches).

III.16.4.4 Calcul des masses de matières sèches :

Masse de ciment= (volume absolu) × (poids spécifique)

Masse de sable= (volume absolu) × (poids spécifique)

Masse de gravillon= (volume absolu) × (poids spécifique)

III.16.5 Tracer de la courbe du mélange :

La courbe du mélange est déterminée de la façon suivante :

- Gravillon : on multiplie le pourcentage en volume absolu du gravillon par les pourcentages des tamis successifs obtenus lors de l'analyse granulométrique.
- Sable : idem.
- Ciment : le pourcentage en volume absolu du ciment est identique pour toutes les ouvertures de tamis.

La courbe du mélange correspond à la somme du pourcentage de chaque constituant obtenu au niveau de chaque ouverture de tamis [45].

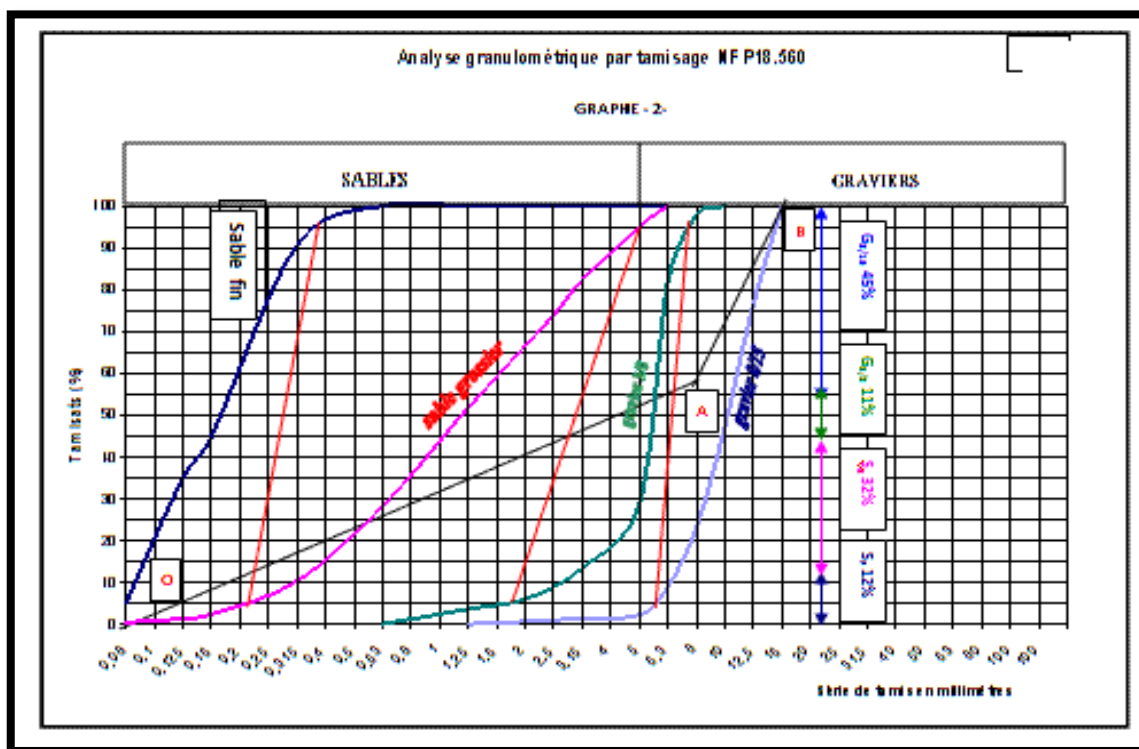


Figure III.1 : Analyse granulométrique par tamisage [39]

III.17 Conclusion :

Cette partie théorique nous permet de conclure que le béton est un mélange homogène de granulats, de ciment, d'eau, d'adjuvant et d'ajout, dans des proportions étudiées. Pour obtenir un béton avec certaines performances désirées on doit appliquer des techniques ou des méthodes, qu'on appelle les méthodes de formulations. Il y a plusieurs systèmes et méthodes de formulation de béton.

Parmi ces méthodes on a utilisé la formulation du béton par la méthode de Faury ; elle offre l'avantage d'être simple et pratique car elle permet d'optimiser l'ouvrabilité et de déterminer le dosage des granulats, le dosage en eau et le dosage en ciment et elle est basée sur des abaques qui permettent d'évaluer approximativement le dosage en ciment et en eau à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée.