

CHAPITRE I Paramètres influençant la résistance mécanique du béton

I.1. Introduction

Le béton est un matériau essentiellement composé de ciment, d'eau, de sable et de gravier. Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire qu'il réagit avec l'eau pour former un nouveau composé, la pâte de ciment, qui est la phase liant les granulats. Un béton de qualité aura un bon dosage en ciment et en eau ainsi qu'une bonne proportion entre la quantité de pâte et de granulats. Différents adjuvants et ajouts cimentaires peuvent contribuer à modifier les propriétés du béton selon les fonctions qu'on lui destine.

Le béton est un mélange précisément dosé de ciment, de granulats, d'eau et d'adjuvants ; vers 2600 avant JC, les assyriens et les Babyloniens ,ont employé l'argile comme un matériau liant, c'est- à- dire comme le ciment ; les Égyptiens ont utilisé un ciment à base de chaux et de gypse ; en 1756, un ingénieur Anglais, John Sesson a fait le premier béton moderne (ciment hydraulique) en utilisant l'addition de gravillons naturels ressemblants aux graviers et d'un mélange de briques pulvérisées comme ciment ; en 1824, un inventeur Anglais, Joseph Aspdin ,Crée un ciment portland qui est la méthode la plus utilisée à ce jour pour la production de béton ; en 1849, un jardinier Parisien, Joseph Monier a inventé le béton armé à partir de l'idée de renforcer les bacs à fleurs qu'il construisait en béton en y incorporant des barres en fer.[11]

Généralement, les granulats (sable et graviers) occupent environ les trois quarts du volume totale du béton. Pour cela, il n'est pas étonnant que leurs propriétés affectent les performances du béton : ouvrabilité, résistance, durabilité,...etc. Donc on ne peut pas confectionner un bon béton avec des granulats dont les propriétés sont médiocres.

La présentation de certaines caractéristiques des granulats (forme, propreté, granulométrie,...) et leurs influences sur les qualités du béton sont l'objectif du chapitre en cours.

I.2. Texture et forme des granulats

L'adhérence (pâte de ciment – granulats) étant un phénomène de surface, donc l'état de surface est un paramètre qui influe sur elle et par conséquent sur la résistance du béton. La forme et l'état de surface d'un granulat a aussi une influence sur la maniabilité du béton.

CHAPITRE I Paramètres influençant la résistance mécanique du béton

La forme la plus souhaitable se rapprochant de la sphère et les mauvaises formes sont : aiguilles et plats, qui nécessitent une quantité d'eau plus élevée et peuvent provoquer des défauts d'aspect.

Le grain est caractérisé par trois dimensions : sa largeur L et sa grosseur g et sa petite dimension e (épaisseur). Le coefficient d'aplatissement (A) qui caractérise la forme des granulats à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur est par définition le pourcentage des éléments tels que $\frac{g}{e} \geq 1.58$. La norme NFP 18-541 spécifie que la valeur de $A \leq 30 \%$

On peut définir, aussi, le coefficient volumétrique C_v pour un granulat. Ce coefficient est le rapport du volume absolu d'un grain au volume de la sphère circonscrite à la plus grande dimension de ce grain :

Pour un ensemble de grains

$$C_v = \frac{\sum v}{\frac{\pi \sum d^3}{6}} \quad (I-1)$$

Pour un gravier C_v doit être supérieur à 0.20

I.3. Propreté du granulat

Parmi les impuretés prohibées pour un granulat, on peut citer : le charbon, les scories, les déchets de bois, brindilles, débris végétaux et plastique, ... etc.

Le pourcentage des impuretés doit être inférieur à 0.1%, même les granulats ne doivent pas contenir d'hydrocarbures, d'huiles végétales ou de matière organiques.

Pour les granulats supérieurs à 5 mm (gravillon, graviers) la norme tolère un pourcentage de 1.5 % de vase, argile et matière solubles éliminées par lavage et décantation.

Le fascicule 23 [8] stipule que ces granulats doivent contenir moins de 2 % de grains passant au tamis de 0.5 mm.

Si les granulats sont enrobés d'une gangue argileuse, la mise en œuvre du béton sera rendue beaucoup plus difficile, et l'adhérence des grains à la pâte de ciment est très altérée.

Pour les granulats inférieurs à 5 mm (sable) la mesure la plus représentative demeure l'essai d'équivalent de sable réalisé dans des éprouvettes à l'aide d'une solution lavante.

CHAPITRE I Paramètres influençant la résistance mécanique du béton

Le tableau suivant récapitule les résultats d'équivalent de sable et leur influence sur le béton.

Tableau (I-1) : Valeurs d'équivalent de sable[8]

ES à vue	ES au Piston	Nature et qualité du sable
ES <65	ES <65	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
$65 \leq ES < 75$	$60 \leq ES < 70$	Sable légèrement argileux de propriété pour béton de qualité courante et on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 \leq ES < 85$	$70 \leq ES < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES \geq 85	ES \geq 80	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses, risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

I.4. Influence de la granulométrie du sable :

La granulométrie du sable a une grande importance sur les qualités du béton. Une bonne granulométrie permet d'économiser le liant sans réduire la résistance.

La distribution granulométrique et la surface spécifique sont liées l'une de l'autre ; si la taille des grains augmente, la surface spécifique globale et la demande en eau diminuent. Donc plus le sable est riche en éléments grossiers, plus la maniabilité s'améliore.

I.5. La finesse

Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul de finesse MF. Plus que MF est faible, plus que le sable est riche en éléments fins. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse compris entre 2.2 et 2.8 ; au-dessous, le sable est très fin ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité.

Le module de finesse a aussi des effets sur l'absorption capillaire et la perméabilité du béton.

CHAPITRE I Paramètres influençant la résistance mécanique du béton

I.6. Rapport gravier sable $\frac{G}{S}$

Le rapport (G/S) correspond à celui des volumes absolus du gravier sur sable.

La coupure entre sable et gravier se fait au tamis de module 38(5mm).

Pour G/S ≥ 2.2 (valeurs les plus courantes) l'influence de G/S est faible. Mais,

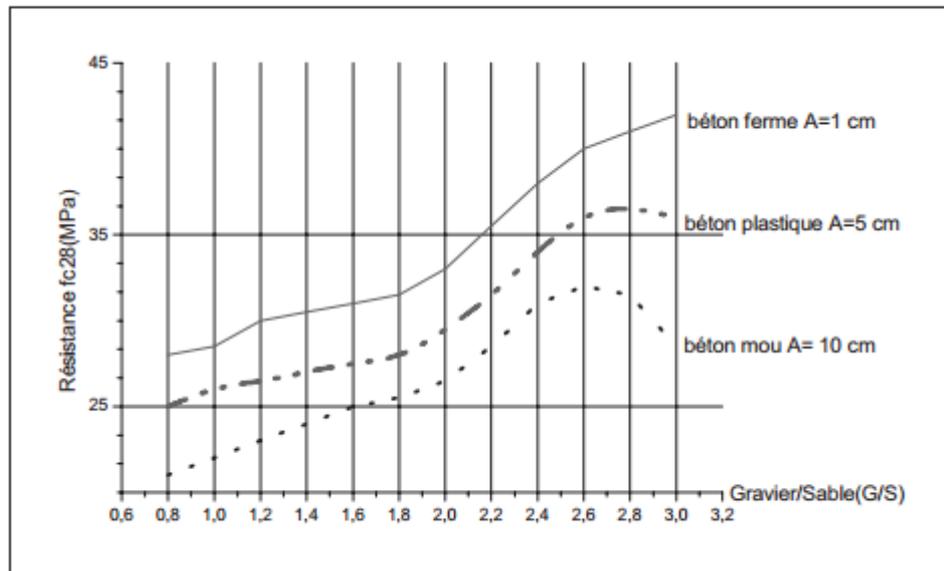
La résistance augmente sensiblement pour des valeurs élevées de $\frac{G}{S}$ surtout pour les bétons fermes. Le tableau (I-2) présente une récapitulation des qualités principales des bétons en fonction de leurs $\frac{G}{S}$.

Tableau (I-2) : Principales qualités des bétons en fonction de leur (G/S) et leur granularité[8]

Caractéristique	Appréciation concernant les bétons	
	à G/S élevé par rapport à ceux à G/S faible	à granularité discontinue par rapport à ceux à granularité continue
Ouvrabilité	Moins bonne surtout si G/S >2.2	Moins bonne
Résistance à la compression	Meilleure surtout pour G/S ≥ 2.2	Très légèrement supérieure
Résistance la traction	Sans corrélation apparente	Très légèrement inférieure
Module d'élasticité	Sans corrélation très nette sauf pour le module statique un peu plus élève en fonction de G/S	Un peu plus élevé
Vitesse de son	Sans corrélation très nette	Légèrement supérieure
Indice sclérométrique	Un peu supérieur	Très légèrement supérieure
Retrait	Sans corrélation très nette	Moins élevé surtout si G/S >2.2
Compacité, Densité	Légèrement plus élevé pour G/S >2.2	Un peu élevé

La figure ci-dessous montre l'influence de rapport $\frac{G}{S}$ sur la résistance du béton avec différentes plasticités

CHAPITRE I Paramètres influençant la résistance mécanique du béton



A : Affaissement au cône d'ABRAMS

Figure (I-1) : Variation de la résistance à la compression selon le rapport $\frac{G}{S}$ avec différente plasticité[8]

La tendance actuelle est de ne pas dépasser des valeurs de $\frac{G}{S}$ entre 1.5 à 1.6 ; c'est un léger sacrifice de la résistance au profit de l'ouvrabilité.

Concernant l'influence sur le retrait du béton, les études montrent que l'utilisation de gros granulats diminue le retrait comme ce qui est indiqué sur la figure suivante :

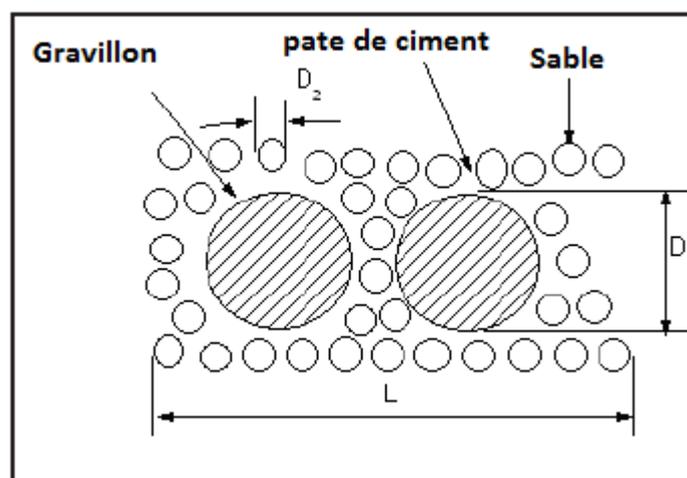


Figure (I-2) : Influence de la dimension de granulat sur le retrait[8]

CHAPITRE I Paramètres influençant la résistance mécanique du béton

Soient D_1 et D_2 les dimensions respectives des gravillons et du sable composants le squelette du béton. Le retrait éventuel est la réaction de la pâte liante qui enserre ces grains. Le retrait se produit donc dans l'épaisseur de la pâte qui lie les granulats deux à deux. Si le sable était le seul granulat, le retrait sur la distance L sera sous forme des retraits qui affectent les liaisons entre tous les grains de sable rencontrés sur la distance L . Mais, dans le cas de présence de deux gravillons sur la distance L , le retrait n'affecte en réalité que la distance $L - 2D_1$. Ce qui précède veut dire que : plus le rapport $\frac{G}{S}$ est élevé, plus le retrait est diminué [13].

I.7. Porosité et absorption

La porosité d'un granulat est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains. La porosité des granulats, leur imperméabilité et leur absorption influencent sur certaines de leurs propriétés comme la liaison avec la pâte de ciment, leur stabilité chimique et leur résistance à l'abrasion ainsi que la résistance du béton au gel dégel. [13]

La taille des pores des granulats est très variable : les plus gros peuvent être vus au microscope ou même à l'œil nu ; les plus petits sont à peine plus gros que les pores de la pâte de ciment. Les pores inférieurs à 4 % sont d'un intérêt particulier : il est admis qu'ils affectent la durabilité des granulats soumis à des cycles de gel dégel.

Généralement, le gravier a une absorption plus élevée que la roche de même type pétrographique car, sa surface est plus poreuse et absorbante en raison de son altération.

Il n'y a pas une relation directe et bien définie entre la résistance du béton et l'absorption des granulats. Mais, les pores à la surface des granulats affectent leur liaison avec la pâte de ciment, ce qui influence la résistance du béton. [13]

I.8. Influence du rapport $\frac{E}{C}$

Le rapport Eau/Ciment ($\frac{E}{C}$) est un paramètre qui influence certaines propriétés (physiques et mécaniques) du béton. Le dosage en eau est un facteur très important de la composition du béton. On ressent bien l'influence qu'il a sur la porosité du béton par les

CHAPITRE I Paramètres influençant la résistance mécanique du béton

vides créés, lorsque l'eau s'élimine pour différentes raisons (évaporation, combinaison chimique, absorption par les granulats).

La quantité de l'eau de gâchage est contrôlée par le rapport eau sur ciment. La résistance du béton en compression est d'autant plus élevée que le rapport $\frac{E}{C}$ est petit, c'est-à-dire que la quantité d'eau de gâchage est faible.

Une réduction de 15 litres (par m³) de la quantité d'eau de gâchage conduit à une augmentation de 5 à 10% de la résistance à la compression.

Cependant une trop faible quantité d'eau risque de ne pas pouvoir hydrater complètement le ciment, et peut entraîner une chute de résistance du béton. L'eau absorbé dans les granulats n'est pas immédiatement disponible pour le ciment et ne doit pas être prise en compte dans l'eau de gâchage [11]. Son influence sur la résistance en compression n'est pas clairement établie.

Si les granulats sont saturés, on peut supposer que le sens de migration de l'eau peut s'opposer à la pénétration de la pâte dans les pores des granulats et de réduire les liaisons entre le mortier et les granulats, donc la résistance de béton mais on peut aussi considérer que lorsque l'hydratation du ciment fait chuter l'humidité relative dans les pores capillaires de la pâte de ciment durcie, l'eau présente dans les granulats migre vers ces capillaires rendant possibles une hydratation supplémentaire et donc une amélioration de la résistance ce durcissement humide interne est d'autant plus efficace que le rapport $\frac{E}{C}$ est faible ou que

Le béton contient de la fumée de silice. Les plus faibles rayons des capillaires de ces bétons (Haute performance) expliquent l'intensité plus élevée des forces de succion. De même l'eau absorbée par les granulats permet de limiter efficacement le retrait du béton.

CHAPITRE I Paramètres influençant la résistance mécanique du béton

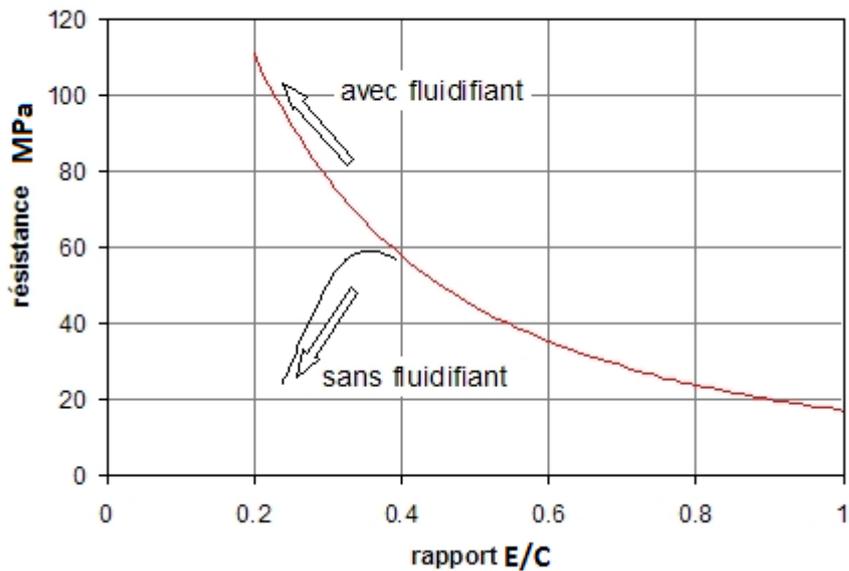


Figure (I-3) : Relation entre la résistance à la compression et le rapport $\frac{E}{C}$ [11]

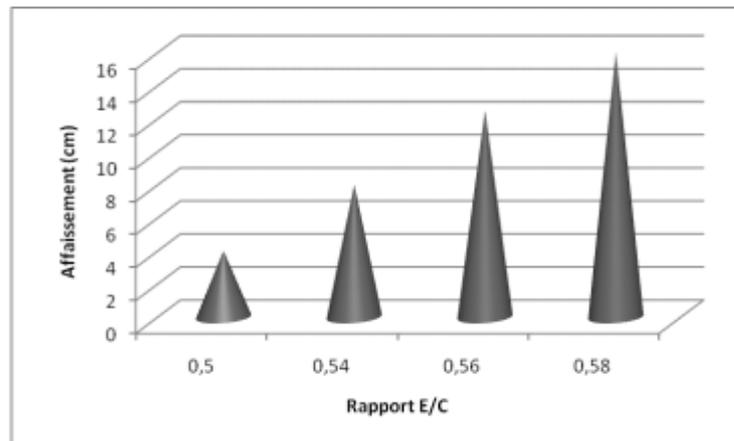


Figure (I-4) : Influence du rapport $\frac{E}{C}$ sur la maniabilité [20]

(La figure I-4) montre l'évolution de la maniabilité en fonction du rapport $\frac{E}{C}$. Le constat général qui se dégage est que l'affaissement au cône augmente lorsque le rapport $\frac{E}{C}$ est de 0.54 semble le plus approprié pour un béton courant et donne un affaissement de consistance, valeur ciblée dans la formulation.

CHAPITRE I Paramètres influençant la résistance mécanique du béton

I.9. Influence de la qualité du ciment

Les caractéristiques essentielles de la qualité d'un ciment était sa « classe de résistance » et nous rappelons qu'un ciment de la classe 42,5 par exemple présente une résistance comprise entre 42,5 et 62,5 MPA, en sorte que le béton fabriqué avec ce ciment présentera donc lui-même une résistance plus ou moins importante fonction de la « classe vraie » de ce ciment [12] , dans une étude de béton, il conviendra de tenir compte (dans toute la mesure du possible) de cette « classe vraie d'essai » que nous désignerons par CE, si cette classe vraie n'est pas connue, on pourra adopter dans l'étude, la valeur médiane 52,5 en sachant que cette valeur risque d'être un peu inférieure à la classe moyenne.

La résistance du béton ainsi étudié devra être également considérée comme valeur moyenne probable : cette valeur moyenne devra évidemment être fixée, pour l'étude, au-dessus (+ 15 à 20 %) de la résistance caractéristique spécifiée f_{c_j} pour le béton.

Remarque : nous rappellerons simplement dans ce paragraphe que les documents réglementaires spécifient que lors des épreuves d'étude des bétons, si on désigne par f_{ce} la résistance moyenne à la compression obtenue sur trois éprouvettes, la valeur trouvée doit répondre simultanément aux deux conditions suivantes :

$$f_{c_e} > f_{c_{28}} + h(c_e - c_{\min})(I - 2)$$

$$f_{c_e} > 1.1 f_{c_{28}}$$

Formules dans lesquelles :

$f_{c_{28}}$: est la résistance caractéristique spécifiée du béton à 28 jours ;

C_E : est la résistance à la compression du ciment à 28 jours ;

C_{\min} : est la valeur minimale de résistance à la compression à 28 jours du ciment (classe minimale garantie à 99 %).

h : est un coefficient pris égal à 1 sauf justification de la relation entre la résistance du béton et celle du ciment utilisé.

Bien qu'il s'agisse de comparer une valeur d'essai f_{ce} à la valeur caractéristique $f_{c_{28}}$, cette valeur paraît trop forte compte tenu que dans le béton, la classe vraie du ciment fait certes varier la résistance du béton, mais non pas en « valeur absolue » mais proportionnellement, le coefficient de proportionnalité étant de l'ordre de $\frac{1}{2}$.

CHAPITRE I Paramètres influençant la résistance mécanique du béton

Indique par ailleurs que si l'on dispose d'éléments permettant de prévoir la résistance du ciment avec plus de précision qu'en considérant strictement les tolérances fixées par la norme, ce qui peut être le cas lorsque l'on dispose des résultats d'autocontrôle du fournisseur.

Par ailleurs, il convient de tenir compte de l'aspect statistique de ces appréciations (la classe minimale du ciment est garantie à 99 % de valeurs supérieures) et qu'en pratique les résistances minimales trouvées sont toujours nettement au-dessus de cette résistance minimale garantie.

I.10. Conclusion

Dans ce chapitre Nous avons montré, que les qualités d'un béton dépendent des caractéristiques de leurs constituants, en particulier, les granulats qui occupent environ 75% du volume total du béton. Dans ce cadre, on expose les effets de forme, propreté, granulométrie des granulats et du rapport G/S sur les propriétés du béton toutes ces informations doivent être prises en considération dans le cadre de la formulation du béton pour comparer et interpréter les résultats expérimentaux.

La qualité du béton dépend de la qualité de la pâte et du granulat, ainsi que de celle du lien qui les unit ; dans du béton bien constitué, chaque particule de granulat est complètement enrobée de pâte et tous les espaces entre les particules sont complètement remplis de pâte ; pour toute combinaison de matériaux et de conditions de cure, la qualité du béton durci dépend dans une large mesure de la quantité d'eau utilisée par rapport à celle du ciment, la réduction de la quantité d'eau favorise la performance du béton.