

## II. Revue bibliographique.

### II.1 Introduction :

A l'heure actuelle, Le béton est le matériau de construction par excellence. Le plus utilisé dans le secteur de génie civil et travaux publics. En effet, sa rapidité de fabrication, sa mise en place, son faible coût et ses performances mécaniques ainsi que sa durabilité ont contribué à accroître son utilisation pour tous les ouvrages, comme les bâtiments d'habitation, les ponts, les centrales nucléaires etc...

La forme la plus ancienne du béton remonte à 7000 ans avant JC. Un matériau similaire était connu des égyptiens et des Romains, mais l'essor réel du béton tel qu'on le connaît aujourd'hui est dû à l'anglais Joseph Aspidin qui en 1824 fait breveter le ciment Portland [2].

### II .2 Définition d'un béton :

Le béton est un matériau composite résultant d'un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, granulats et le plus souvent, d'adjuvants, qui constituent un ensemble homogène, après le durcissement il devient un matériau pierreux [2].

### II .3 Classification des bétons :

#### II .3.1 Selon la masse volumique :

En général le béton peut être classé en 4 groupes, selon la masse volumique [3] :

- Béton très lourd :  $\rho > 2500 \text{ Kg/m}^3$ .
- Béton lourd (béton courant) :  $\rho$  entre :  $1800 - 2500 \text{ Kg/m}^3$ .
- Béton léger :  $\rho$  entre :  $500 - 1800 \text{ Kg/m}^3$ .
- Béton très léger :  $\rho < 500 \text{ Kg/m}^3$ .

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants :

- Béton de ciment (le ciment).
- Béton silicate (la chaux).
- Béton de gypse (le gypse).
- Béton asphalte.

#### II .3.2 Selon la résistance caractéristique à la compression :

La norme EN 206 classe les bétons en fonction de leur résistance caractéristique à la compression conformément au tableau (1), Dans ce tableau  $f_c$  kcyL est la résistance caractéristique mesurée sur cylindres (c'est cette résistance qui correspond à la résistance

caractéristique à laquelle il est fait référence dans l'Euro code 2),  $f_{ck}$  cube est la résistance caractéristique mesurée sur cubes [4].

Classe de la résistance à la compression	Résistance caractéristique minimale sur cylindriques	Résistance caractéristique minimale sur cubes
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60

**Tableau II. 1: Classes de résistance du béton [2].**

### II .3.3 Selon la classe de consistance :

Il existe 5 classes de consistance des bétons (S1 à S5). La mesure de l'affaissement est réalisée à l'aide du cône d'Abrams (Slump test) [2].

Classes de consistance	S1	S2	S3	S4	S5
Affaissement (mm)	10-40	50-90	100-150	160-210	> 220

**Tableau II. 2 : Classes de consistance [2].**

Les consistances peuvent également être spécifiées par d'autres essais, temps VEBE, indice de serrage ou diamètre d'étalement.

## II .4 Les constituants du béton :

### II .4.1 Le ciment Portland :

#### II .4.1.1 Définition et historique :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire un matériau finement moulu qui, gâché avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et de processus d'hydratation et qui, après durcissement conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau [5].

En 1824, l'écossais Aspidin obtient un brevet d'invention, sur la fabrication d'un liant à partir du mélange de chaux et d'argile qu'il appela "ciment Portland" à cause de l'aspect présenté par ce liant durci qui rappelait celui de la pierre calcaire de la Presqu'île de Portland [6].

Ainsi, le XX<sup>e</sup> siècle a ouvert la voie aux ciments artificiels qui prendront progressivement le pas sur les liants à base de chaux. L'utilisation de ces ciments artificiels sera plus manifeste à l'issue de la deuxième guerre mondiale lorsque le secteur du bâtiment produisit essentiellement des logements neufs bâtis à partir d'éléments préfabriqués et n'utilisant plus de liants à base de chaux.

#### **II .4.1.2 Processus de fabrication :**

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise des outils et des techniques de production, des contrôles rigoureux et continus de la qualité. Le processus de fabrication du ciment peut se diviser en deux étapes principales. La première concerne la fabrication de la roche artificielle appelée clinker, constituant principal du ciment. La deuxième étape consiste à broyer finement ce clinker avec d'autres constituants minéraux pour obtenir un ciment ayant des propriétés bien déterminées.

##### **A. Elaboration du clinker :**

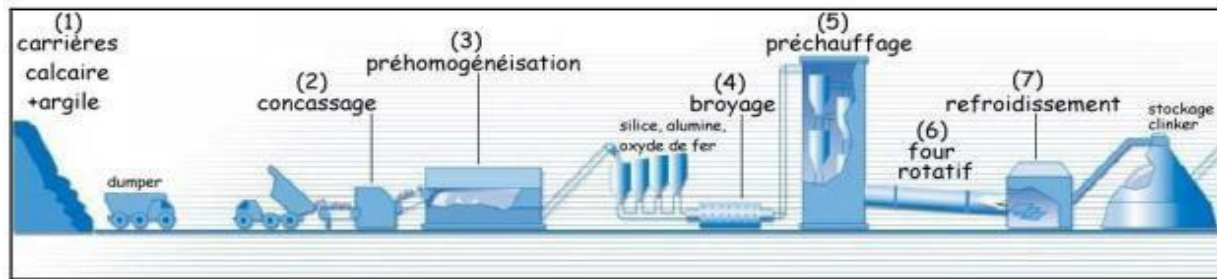
La fabrication du clinker est un processus qui se déroule en trois grandes étapes qui sont :

##### **A.1. L'extraction et la préparation des matières premières :**

Les matières premières qui apportent les oxydes nécessaires pour synthétiser le clinker sont issues de carrières (Figure II.1). Le calcaire est la matière première principale et est introduite à raison de 75 à 80 % dans le mélange cru. Il contient majoritairement de la calcite  $\text{CaCO}_3$ . Les autres oxydes sont en général apportés par l'argile ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), le sable ( $\text{SiO}_2$ ) et le minerai de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Les carrières de calcaire et d'argile (Figure.II.1 : étape 1) sont proches de la cimenterie pour éviter des coûts de transport trop élevés. Les matières premières sont concassées (Figure II.1 : étape 2) afin de disposer des particules de taille inférieure à 50 mm. Un mélange de 80% de calcaire et de 20% d'argile est réalisé dans un hall de pré homogénéisation. Le pré homogénéisation (Figure II.1 : étape 3) assure la micro homogénéité du mélange cru ainsi que la régularité de sa composition chimique [7].

##### **A.2. La cuisson :**

L'étape de cuisson du cru comporte deux phases : une phase de décarbonatation partielle de la poudre crue dans un pré calcinateur et une étape de cuisson dans un four rotatif. (Figure II.1 : étape 5). Cette étape assure la décarbonatation partielle du cru avant l'entrée dans le four. (Figure II.1 : étape 6). Dès l'entrée dans le four à 1050°C, il se produit des réactions chimiques. La matière achève sa décarbonatation et subit plusieurs réactions à l'état solide jusqu'à 1250°C. Pour la suite un ensemble de réactions solide-liquide constituant la clinkérisation, conduit à la formation des minéraux constitutifs du clinker. La figure II.1 résume le processus de fabrication du clinker [7].



FigureII. 1 : *Elaboration du clinker* [8].

Le refroidisseur (Figure II.1 : étape 7) fige par trempe le clinker à l'état où il se trouve aux températures élevées de cuisson. La vitesse de refroidissement, particulièrement aux hautes températures, affecte le mode et la texture de cristallisation des composés du clinker, et par là-même, leur réactivité. Le choc thermique au cours du refroidissement provoque aussi un réseau de microfissures, qui sera utile par la suite, car il favorise le broyage du clinker.

#### b. Le broyage du clinker :

A la sortie du four (Figure II.2), la granulométrie du clinker est trop grossière pour que sa réactivité soit suffisante. Le broyage du clinker développe les propriétés hydrauliques du ciment et lui confère ses principales propriétés rhéologiques. A cette étape, différents minéraux naturels ou artificiels sont ajoutés simultanément (Figure.II.2 : étape 8) pour ajuster la composition du mélange. Ainsi, 5% de sulfate de calcium sont ajoutés sous forme de gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ou d'hémi hydrate ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ) ou d'un mélange des deux. Ce composé sert à réguler la prise du ciment en agissant sur la réaction d'hydratation du C3A [9], [10].

Le clinker et ses additifs sont réduits finement dans un broyeur à boulets (Figure II.2: étape 9).

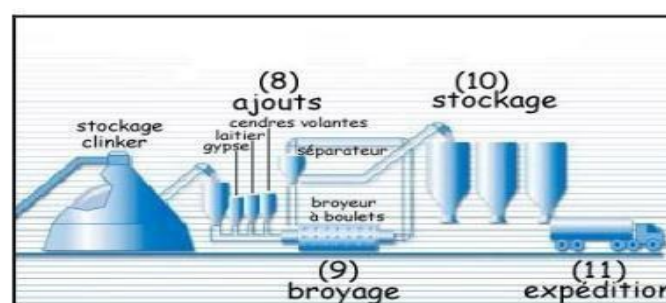


Figure II. 2 : *Obtention du ciment par broyage du clinker* [8].

#### II .4.1.3 Principaux constituants du ciment :

Théoriquement, un ciment portland ne comporte que du clinker et du sulfate de calcium. Cependant en pratique et pour des raisons d'économie et d'énergie, une partie de clinker peut être remplacée par des additions minérales telles que les laitiers de haut fourneau, les cendres volantes, les pouzzolanes et les fillers [11].

- Le Clinker.
- Le Gypse :

Le gypse doit être ajouté en faible quantité (moins de 5%) aux autres constituants du ciment au cours de sa fabrication en vue de réguler la prise [9], [10].

- Les ajouts minéraux :

D'après leur composition, les ajouts minéraux contiennent principalement de la silice amorphe qui réagit activement avec l'hydroxyde de calcium qui se forme lors de l'hydratation des minéraux faisant partie du clinker.

#### II .4.1.4 Composition du ciment :

Le ciment portland contient quatre constituants principaux :

- le silicate bi-calcique :  $\text{SiO}_2$ , 2  $\text{CaO}$  (ou  $\text{C}_2\text{S}$ ) ;
- le silicate tricalcique :  $\text{SiO}_2$ , 3  $\text{CaO}$  (ou  $\text{C}_3\text{S}$ ) ;
- l'aluminate tricalcique :  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 3 $\text{CaO}$  (ou  $\text{C}_3\text{A}$ ) ;
- l'alumino-ferrite tétra-calcique : 4  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (ou  $\text{C}_4\text{AF}$ ).

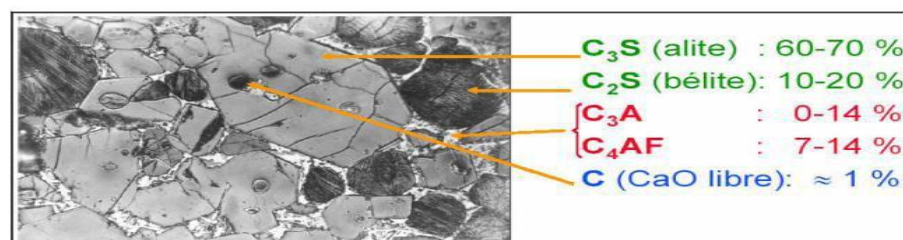


Figure II. 3 : Micrographie de clinker montrant ses quatre principales phases cristallines [7].

#### II .4.1.5 L'hydratation du ciment et son mécanisme :

Les principaux hydrates, formés par réaction entre l'eau et les constituants du ciment, sont les silicates de calcium hydratés (C-S-H), l'hydroxyde de calcium (ou portlandite; CH), l'ettringite ( $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{Cs} \cdot \text{H}_{32}$ ) et le monosulfoaluminate de calcium hydraté ( $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{Cs} \cdot \text{H}_{12}$ ). Les principales réactions d'hydratation des ciments sont résumées dans la liste suivante [11] :

<u>Phases anhydres</u>		<u>Phases hydratées</u>
$\text{C}_3\text{S}$	→	$\text{C-S-H} + \text{CH}$
$\text{C}_2\text{S}$	→	$\text{C-S-H} + \text{CH}$
$\text{C}_3\text{A}$	→	$\text{C}_2\text{AH}_8 + \text{C}_4\text{AH}_{13} + \text{C}_3\text{AH}_6$
$\text{C}_3\text{A} + \text{gypse}$	→	$\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{Cs} \cdot \text{H}_{32} + \text{C}_3\text{A} \cdot \text{Cs} \cdot \text{H}_{12} + \text{C}_4\text{AH}_{13}$
$\text{C}_4\text{AF}$	→	$\text{C}_2(\text{A},\text{F}) \cdot \text{H}_8 + \text{C}_4(\text{A},\text{F})\text{H}_{13} + \text{C}_3(\text{A},\text{F})\text{H}_6$
$\text{C}_4\text{AF} + \text{gypse}$	→	$\text{C}_3(\text{A},\text{F}) \cdot 3\text{Cs} \cdot \text{H}_{32} + \text{C}_3(\text{A},\text{F}) \cdot \text{Cs} \cdot \text{H}_{12} + \text{C}_4(\text{A},\text{F})\text{H}_{13}$

### II .4.1.6 Classification des ciments :

#### A. suivant les résistances à la compression :

La norme européenne [EN 197-1] classe les ciments courant d'après leur résistance à la compression (résistance normale) déterminée conformément à la norme [EN 196-1], mesurée à 28 jours en six classes de résistance. Et exprimée en  $\text{N/mm}^2$  (MPa) [12].

Désignation de la classe de résistance	Résistance de la compression (en MPa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	à 2 jours	à 7 jours	à 28 jours	
32.5 N	-	$\geq 16$	$\geq 32.5$	52.5
32.5 R	$\geq 10$	-		
42.5 N	$\geq 10$	-	$\geq 42.5$	$\leq 62.5$
42.5 R	$\geq 20$	-		
52.5 N	$\geq 20$	-	$\geq 52.5$	-
52.5 R	$\geq 30$	-		

**Tableau II. 3 : Classification des ciments suivant les résistances à la compression [12].**

La classe R correspond à une résistance au jeune âge plus élevée que la classe normale correspondante (N).

#### B. suivant leur composition :

Le tableau suivant présente la classification des ciments suivant leur composition selon La norme européenne [EN 197-1] :

Type de ciment	Clinker (K) %	Autres constituants principaux(%)	Constituant secondaire(%)
<b>CEM I</b> Ciment Portland artificiel (CPA)	95 à 100	0	0 à 5
<b>CEM II</b> Ciment Portland composé (CPJ)	65 à 94	6 à 35	0 à 5
<b>CEM III</b> Ciment de haut fourneau (CHF) ou (CLK)	5 à 64	36 à 95	0 à 5
<b>CEM IV</b> Ciment pouzzolaniques (CPZ)	45 à 89	11 à 55	0 à 5
<b>CEM V</b> Ciment composé	20 à 64	26 à 80	0 à 5

**Tableau II. 4 : Classification des ciments suivant leur composition [NF EN 197- 1].**

### C. suivant le type d'environnement :

Certains ciments ont des propriétés supplémentaires leur permettant de s'adapter à des environnements spéciaux de type :

➤ Ciment PM : [EN 197-1]

Résistant à l'eau de mer est un ciment courant possédant des caractéristiques physiques et chimiques complémentaires (teneur limitée en aluminat tricalcique) qui lui donne une résistance accrue à l'agression des ions sulfate en présence d'ions chlorure, au cours de la prise et ultérieurement.

➤ Ciment ES : [EN 197-1]

Résistant aux eaux sulfatées est un ciment courant présentant des teneurs limitées en aluminat tricalcique (C3A) afin d'avoir une résistance accrue à l'agression des ions sulfate au cours de la prise et ultérieurement.

➤ Ciments CP : [EN 197-1]

Pour béton précontraint, on distingue deux types de ciments qui diffèrent par leur teneur en ions sulfure  $SO_4^{2-}$  :

➤ Ciments de la classe CP2

Contenant moins de 0,2 % d'ions sulfure recommandé pour la précontrainte par pré-tension.

➤ Ciments de la classe CP1

Contenant moins de 0,7 % d'ions sulfure recommandé pour la précontrainte par post-tension. Il existe par ailleurs des ciments spéciaux répondant à des conditions spécifiques (durcissement très rapide, résistance aux fortes chaleurs ou aux agressions chimiques. C'est le cas du ciment alumineux fondu, très résistant aux milieux acides.



## **II .4.2 L'eau de gâchage :**

L'eau de gâchage est l'eau incorporée au mélange liant et granulats afin d'enclencher sa prise et de conférer au béton sa plasticité, donc son ouvrabilité [13].

Pour convenir à la confection des bétons, les eaux ne doivent contenir ni composée risquant d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité risque de modifier ces qualités original [3]. La qualité de l'eau de gâchage doit répondre à la norme [EN 1008] [2].

### **II .4.2.1 Caractéristiques de l'eau de gâchage :**

#### **A. Caractéristiques physiques :**

L'eau de gâchage des bétons doit être propre, ne pas contenir de matières en suspension au-delà de certaines valeurs permises.

Les tolérances réglementaires sont les suivant [14] :

-2g/l pour les bétons type A.

-3g /l pour les bétons type B.

-5g/l pour le béton type C.

Les matières en suspension n'ont pas la même nocivité.

-béton type A : béton de haute qualité à résistance élevée.

-béton type B : béton à faible perméabilité.

-béton type C : béton à faible résistance peut au non armé.

#### **B. Caractéristiques chimiques :**

L'eau de gâchage des bétons ne doit pas contenir de sels dissous au-delà de :

-15g/l pour les bétons type A et type B.

-30g/l pour le béton type C.

L'eau de mer est admise pour le gâchage des bétons du type C, sauf certaines prescriptions spéciales Toute eau douteuse doit être analysée chimiquement au laboratoire spécialisé [14] .

## **II .4.3 Les granulats :**

On appelle «granulats» les matériaux inertes, sables, graviers ou cailloux issus de carrières, blocs de roche concassés et broyés, ou des granulats roulés, extraits du lit des rivières qui entre dans la composition des bétons. Ces matériaux sont quelques fois appelés (agrégats).



Les granulats comprennent les sables et pierrailles. Ils sont classés en fonction de leurs grosseurs (comprise entre 0 et 125 mm) [15].

Les granulats représentent, après l'eau et l'air, la matière première la plus importante utilisée dans un pays.

#### II .4.3.1 Les différents types des granulats :

Les granulats utilisés pour le béton sont soit d'origine naturelle, artificiels ou issu de recyclage leur taille variable déterminera l'utilisation du béton.

Trois grandes familles de granulats sont définies en fonction de leur origine :

##### A. Les granulats alluvionnaires ou de carrière (naturel) :

Leurs gisements sont des matériaux meubles, non consolidés. Ils proviennent de lits ou anciens lits de rivière, les fonds de lacs ou certains fonds marins. L'extraction des granulats alluvionnaires se fait « à sec » ou « dans l'eau », à l'aide de pelles hydrauliques ou de draglines. La technique d'exploitation varie en fonction de la situation du gisement par rapport à la hauteur du cours d'eau ou de la nappe phréatique. Ces granulats peuvent être traités suite à leur extraction. Ils sont concassés si leur granulométrie est trop importante. Cette opération est suivie d'un criblage, d'un lavage et d'un calibrage [15].

Les granulats naturels issus de différentes roches meubles ou massives [16], extrait in situ et ne subissant aucun traitement autre que mécanique (concassage, criblage, lavage et sélection) [16].

##### B. Les granulats de roches massives et artificiels :

D'origine minérale résultants d'un procédé industriel comprenant des transformations thermique et autre [16].

Types des roches massives	Exemple de famille de granulats
Roche magmatique – roche éruptive	Granite, rhyolite, porphyre, diorite, basalte...
Roche sédimentaire	Grès, grès quartziques, silex, calcaire, etc.
Roche métamorphique	Gneiss, micaschistes, quartzites, etc.

Tableau II. 5 : *Différents types des granulats issus de la roche massive* [16].

##### C. Les granulats de recyclage :

Les granulats sont produits en concassant et en recyclant des matériaux de chantiers de démolition comme les bétons ou en recyclant des sous-produits de l'industrie tels les laitiers de hauts fourneaux ou les mâchefers [17]. Après concassage, lavage et criblage, leur usage reste souvent réservé à des emplois spécifiques compte tenu de leur qualité particulière et de la réglementation en cours [16].

### **II .4.3.2 Les gros granulats :**

Selon leurs natures et leurs prévenances on distingue deux types de granulats :

#### **A. Les granulats de rivière :**

Ils proviennent de la désagrégation des roches (graviers) ils sont en général très durs et très propres, Cependant leurs grains après par le frottement n'offrent pas une très bonne adhérence au liant [18].

#### **B. Les granulats de concassage :**

Ils sont obtenus en concassant des roches dures (siliceuses, calcaires ou granitiques).

Les grains sont anguleux, ils doivent être soigneusement lavés afin de les débarrasser des poussières qui les recouvrent au moment du concassage (pierres concassées) [18].

### **II .4.3.3 Les granulats fins (sable) :**

Dans le béton le sable occupe presque  $\frac{1}{4}$  de son volume par conséquent la qualité du sable influant considérablement sur la qualité du béton. Il remplit avec le ciment et l'eau les vides entre les grains de gravier donnant ainsi la structure compacte du béton.

### **II .4.3.4 Classification de sable :**

#### **A. suivant leurs prévenances :**

##### **➤ Sable de rivière :**

Ils sont extraits par dragage du lit des cours d'eau (matériaux siliceux). Il est bon parce qu'il est bien lavé mais sa forme ronde facilite les mouvements et diminue son adhérence aux mortiers et béton. Le sable gypseux est à éliminer [18].

##### **➤ Sable de mer :**

Il provient de la désagrégation des roches sous-marines ou des falaises sous l'action des mouvements des eaux. Il est pur et excellent s'il n'est pas trop fin, il est chargé de sel.

Avant l'utilisation on doit le laver à l'eau douce pour le purifier ou le laisser exposé aux intempéries pendant un certain temps ; afin de le débarrasser au maximum des sels marins qu'il contient. Ces sels sont susceptibles de réagir en présence des liants (ciment) [18].

##### **➤ Sable de dune :**

Ce sable est de qualité très médiocre pour la construction, car il est constitué d'éléments très fins (faible résistance mécanique de béton). Il provient d'éléments de désagrégation des roches transportées par le vent [18].

##### **➤ Sables de carrière :**

Il doit être lavé avant usage pour éliminer les matières terreuses. Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains de sable en l'empêchant d'adhérer aux liants. Le sable quartzeux

exemple de matières terreuses ou argileuses est excellent pour la confection du béton et mortier [18].

**B. suivant leurs grosseurs :**

- sable fin 0.08 à 0.315 mm,
- sable moyen 0.315 à 2.00 mm,
- sable gros 2.00 à 5.00 mm.

**II .5 Les Principaux propriétés du béton :**

**II .5.1 A l'état frais :**

La caractéristique essentielle du béton frais est l'ouvrabilité, qui conditionne non seulement sa mise en place pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrailage, mais également ses performances à l'état durci [19].

Il existe un très grand nombre d'appareils de mesure de l'ouvrabilité du béton reposant sur des principes différents.

On comprend qu'il est difficile de convenir d'un tel appareil tenant compte de tous les bétons possibles pour tous les usages et qui tiennent compte aussi des différents facteurs de l'ouvrabilité. Certains appareils sont utilisés à la fois par les laboratoires et par les chantiers [19].

**II .5.1.1 L'ouvrabilité du béton frais :**

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. On n'en citera que quelques-uns qui sont les plus couramment utilisés dans la pratique. Affaissement au cône d'Abram.

**II .5.1.2 La ségrégation :**

La ségrégation est une séparation des constituants du béton frais qui peut se produire chaque fois que celui-ci est transporté ou mis en mouvement (transbordements, mise en place, compactage) ou simplement sous l'effet gravitaire quand le béton est en repos.

La ségrégation a toujours des conséquences importantes sur l'aspect du béton et le plus souvent aussi sur la qualité [20], [21]. Elle peut résulter d'une séparation entre :

- les différentes fractions granulaires.
- les granulats et la pâte de ciment.
- les fines et l'eau de gâchage.

Parmi les formes les plus courantes de ségrégation, il faut mentionner :

- les «nids de gravier» : concentrations locales de gros granulats.
- les «remontées d'eau» : eau séparée ou excédentaire remontant le long des faces verticales lors du compactage.

- le «ressuage» : accumulation d'un excédent d'eau sur les surfaces plus ou moins horizontales du béton. Il en résulte des surfaces irrégulières, farineuses ou poreuses.
- les micro-ségrégations (ciment/fines) sont souvent plus gênantes pour l'œil que pour la qualité.

### **II .5.2. A l'état durci :**

La caractéristique essentielle du béton durci est la résistance mécanique en compression à un âge donné (28 jours). Le béton est un matériau travaillant bien en compression, dont la connaissance de ses propriétés mécaniques est indispensable pour le calcul du dimensionnement des ouvrages.

Lorsqu'il est soumis à l'action d'une charge rapidement croissante, le béton se comporte comme un matériau fragile. D'une part, sa rupture n'est pas précédée de déformations importantes et, d'autre part, sa résistance à la traction est beaucoup plus faible que sa résistance à la compression.

On se préoccupe assez peu de sa durabilité, de son imperméabilité. Très souvent un béton de résistances mécaniques élevées est durable bien que l'on puisse confectionner avec un ciment très performant un béton sous-dosé, peu étanche, de durabilité limitée, mais possédant cependant les résistances en compression exigées.

On verra que la résistance du béton dépend d'un grand nombre de paramètres : le type et le dosage des matériaux utilisés, le degré et la condition de réalisation etc.

La résistance d'un béton est une notion toute relative et elle dépend de la méthode d'essai utilisée (comprenant la forme des éprouvettes).

#### **II .5.2.1 Résistance à la compression :**

La résistance en compression dépend directement de la composition du béton, c'est à dire de la classe de résistance du ciment, du rapport E/C, de la nature des granulats, du volume de pâte, de la présence d'additions [22].

La résistance en compression simple du béton est le paramètre fondamental du comportement et la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages en béton armé.

Tout d'abord, l'ingénieur de bureau d'études s'intéresse à une valeur caractéristique le plus souvent à 28 jours. Cette durée ne signifie pas que les réactions d'hydratation du ciment sont terminées. C'est, en fait, un compromis entre un délai trop long pour le contrôle et l'obtention d'une valeur représentative de la résistance finale que l'on peut considérer comme acquise après plusieurs mois de réactions d'hydratation [23].

### II .5.2.2 Résistance à la traction :

La mesure de la résistance en traction est beaucoup plus rare que celle de la résistance en compression. Ceci essentiellement parce que, dans les règlements actuels, le béton tendu est généralement négligé (en béton armé et précontraint, mais pas dans les chaussées, par exemple). De plus, cette résistance en traction étant faible, une estimation à partir de la résistance en compression est souvent suffisante [23].

### II .5.2.3 La porosité :

#### Définition :

La porosité d'un matériau caractérise l'importance des vides qu'il contient. Elle est défini par le rapport entre le volume des pores  $V_p$  et le volume total  $V_t$ .

La porosité comprend tous les pores du matériau, elle est généralement supérieure à 10 % pour un béton courant. Les pores forment des réseaux de vide plus ou moins. La porosité dépend de plusieurs facteurs ; le rapport E/C (Eau sur Ciment), la compacité du béton frais, le volume des granulats et la Porosité des granulats.

#### - les types des pores :

❖ **les pores interconnectés** : ils forment un espace connecté dans le milieu poreux et participent au transport de matière à travers le matériau.

❖ **Les pores aveugles** : ils sont interconnectés d'un seul côté et peuvent être accessibles à un fluide extérieur mais ils ne participent pas au transport de matière.

❖ **Les pores isolés** : ils ne communiquent pas avec le milieu extérieur.  
La porosité ouverte, aussi appelée (porosité accessible), rassemble deux des catégories de pores précitées (pores interconnectés et aveugles). Dans le cas du béton, on néglige la proportion volumique est considérée comme égale à la porosité totale.

❖ La distribution des pores dans un béton couvre un large spectre de taille de pores : Capillaires, internes aux hydrates, bulles d'air et fissures dans le cas du béton, deux familles de taille de pores sont à considérer :

- Les pores capillaires peuvent être détectés par porosimètre au mercure. Ils représentent les espaces inter granulaires et sont directement liés au rapport E / C du mélange de la pâte de ciment.

- Les pores internes aux hydrates, intracrystallites (ou espaces inter feuillets) sont nettement plus petits que précédents, et sont intrinsèques à la formation des hydrates et indépendants du rapport E / C. Cette porosité peut être observée à l'aide de l'adsorption gazeuse .