



## I.1. INTRODUCTION:

Le béton est un matériau hétérogène multiphasique poreux dont les constituants présentent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques différentes.

Il est constitué d'un mélange de granulats et d'une pâte (ciment, d'eau et éventuellement d'ajouts).

Les granulats sont des matériaux inertes qui, agglomérés par un liant, constituent le squelette du béton, lui confèrent sa compacité, participent à sa résistance mécanique et atténuent les variations volumiques lors du durcissement.

La pâte de ciment est le siège des réactions d'hydratation des constituants qui conduisent aux processus de prise et de durcissement et la transforment en matrice liante.

Les adjuvants fournissent aux formulations de béton une gamme étendue, variée et nuancée de possibilités pour faciliter la mise en œuvre des bétons, adapter leur fabrication au temps froid ou au temps chaud, réduire les coûts de mise en œuvre, améliorer les propriétés du béton durci, voire même lui conférer des propriétés nouvelles.[1]

## I.2. Histoire du béton :

Les Romains de l'Antiquité savaient faire du béton. Ils avaient découvert que, pour fabriquer un liant hydraulique qui fasse prise sous l'eau, il fallait mélanger à de la chaux des déchets de fabrication des tuiles et des briques ou des cendres volcaniques (provenant notamment de Pozzuoli, dans la baie de Naples, qui donna son nom à la pouzzolane, roche volcanique).

Cette connaissance leur a, par exemple, permis de construire des ports protégés par des jetées en béton qui faisait prise sous l'eau, contrairement à la chaux (Vitruve, De l'architecture). Leur savoir s'est ensuite perdu au Moyen Âge. C'est la mise au point et le développement de la production des ciments artificiels modernes qui a permis l'essor de la construction actuelle en béton.

Aux barques en béton (1848) de Joseph-Louis Lambot (1814-1887) et aux caisses à fleurs (1849) de Joseph Monier (1823-1906) succèdent les réalisations d'entrepreneurs qui développent des « systèmes » de béton armé : François Coignet (1814-1888), qui met au point le béton aggloméré ; Monier, dont les brevets de 1877 et 1878 seront exploités en Allemagne ; **François Hennebique** (1842-1921), dont la société construira plus de 7 000 ouvrages, parmi lesquels le siège de cette dernière au 1, rue Danton (1900) à Paris et la villa de l'architecte à Bourg-la-Reine

(1903) sont des exemples encore existants ; **Armand Considère** (1841-1914), qui invente le béton fretté (1901)... En 1906, cette première phase prend fin avec la publication des Instructions relatives à l'emploi du béton armé, véritable premier règlement français de calcul des structures en béton armé. Au xx<sup>e</sup> siècle, c'est l'invention du béton précontraint par **Eugène Freyssinet** (1879-1962) qui ouvrira de nouveaux horizons au matériau béton. La précontrainte, qui consiste à garder le béton dans un état comprimé grâce à des câbles en acier tendus, permet d'atteindre de grandes portées avec du béton et a trouvé, notamment, son application dans les ponts. Depuis lors, les progrès dans les sciences des matériaux ont permis d'améliorer encore de manière spectaculaire les propriétés des bétons.[2]

### **I.3. Définition :**

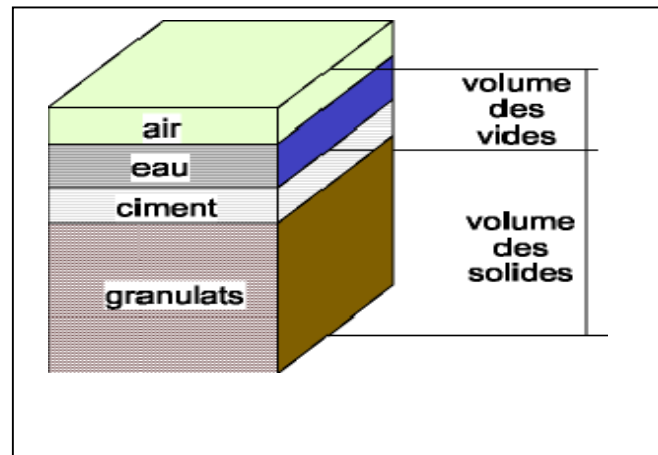
Le béton est un composite hétérogène multiphasique constitué d'un mélange intime de granulats, sable et de pâte (ciment, eau). La pâte de ciment représente 25 à 40 % du volume total du béton [3]. Chaque constituant joue un rôle bien défini : liant hydraulique pour la pâte de ciment, remplissage atténuateur de variations volumiques (retrait) et source de résistance pour les granulats.

Un béton hydraulique est constitué :

- d'une pâte pure (ciment+eau),
- d'un mélange granulaire,
- de produits additionnels (adjuvants, additions minérales).

On désigne habituellement sous le nom :

- de matrice ou de mortier : le mélange ( liant+sable+eau ),
- de squelette solide ou de squelette granulaire : mélange de granulats.



**Figure I.1:** Composition d'un béton.

#### **I.4. Constituants des matériaux cimentaires :**

Les caractéristiques physico-mécaniques du béton à l'état frais et à l'état durci dépendent de sa composition et des différentes actions mécaniques auxquelles il est soumis lors de sa fabrication.

Le béton est sujet à un ensemble de mécanismes de structuration (hydratation, floculation, ... etc) et de déstructuration ( malaxage, vibration, ... etc).

Les trois composants de base sont l'eau, le ciment et les granulats.

Des additions peuvent être rajoutées dans le but de modifier les propriétés telles que la maniabilité et la résistance. Le béton est donc un matériau divers hétérogène dont les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des constituants sont différentes. Chacun de ses composants joue un rôle bien précis dans le mélange.[4]

##### **I.4.1. Ciments :**

Les ciments sont des poudres fines obtenues par cuisson à haute température (vers 14500 c) et broyage d'un mélange minéral (calcaire + argile en général). Lorsqu'ils sont mélangés à l'eau, ils forment une pâte susceptible de faire prise et de durcir grâce à une réaction d'hydratation en général exothermique. [5]

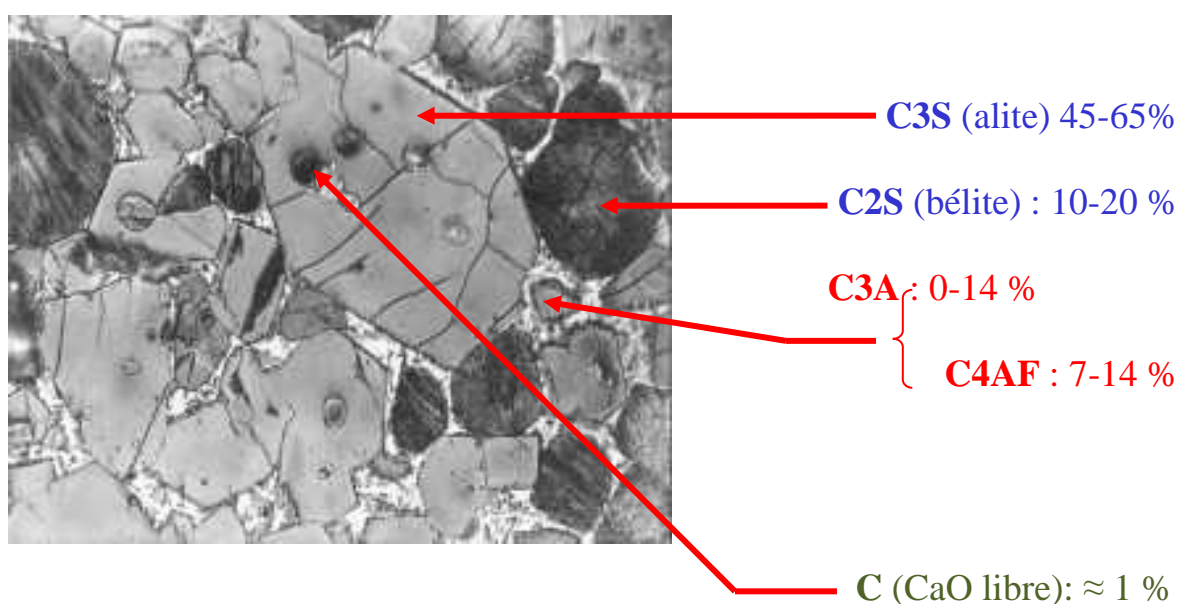
### I.4.1.1. Composition chimique et minéralogique :

#### I.4.1.1.1. Clinker :

Le clinker est le produit sortant du four à ciment avant broyage. Les clinkers obtenus peuvent être très différents les uns des autres suivant les matières premières utilisées, le procédé de fabrication et la vitesse de refroidissement. [4]

**Tableau I.1:** Composition minéralogique de clinker.[6]

Constituants	Composition et abréviation	Nom particulier	Pourcentage(%)
Silicate tricalcique	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C3S)	Alite Bélite	45-65
Silicate dicalcique	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C2S)		
Aluminate tricalcique	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C3A)	Célite	0-15
Alumino-ferrite tétracalcique	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{F}_2\text{O}_3$		0-10



**Figure I.2:** MEB ; les minéraux principaux du clinker

Suivant la carrière d'origine et les performances recherchées, le clinker est constitué de 62 % à 67 % de chaux combinée (CaO), de 19 % à 25 % de silice (SiO<sub>2</sub>), de 2 % à 9 % d'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), et de 1 % à 5 % d'oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Tableau I.2. [6]

**Tableau I.2:** Composition chimique de clinker

Les oxydes	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Cl	Pert au feu
<b>Minimum (%)</b>	20.0	3.7	1.7	61.0	1.7	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.15	0	0.2
<b>Maximum (%)</b>	24.3	7.1	5.7	68.1	4.0	1.4	0.7	1.3	0.6	1.2	0.4	0.1	1.1

#### I.4.1.1. 2. Gypse :

Durant la fabrication du ciment Portland, on ajoute du sulfate de calcium (gypse) afin de réguler la prise. En particulier, le contrôle de l'hydratation est lié à la quantité d'ions SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> en solution, qui dépend elle-même de la solubilité du sulfate de calcium ajouté au clinker.[4]

#### I.4.1.2. Hydratation du ciment :

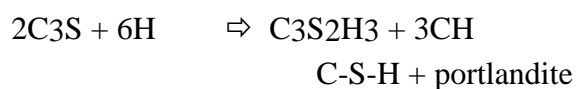
Le ciment portland possède des propriétés hydrauliques. Les réactions d'hydratation des 4 phases de ciment Portland se passent en même temps et contribuent avec une intensité différente au dégagement de chaleur du ciment. [6]

##### I.4.1.2.1. Hydratation de C<sub>3</sub>S:

Le C<sub>3</sub>S est la phase la plus importante du ciment. La chaleur dégagée par cette phase est l'une des plus élevée. La majeure partie de son hydratation se passe dans les 28 premiers jours. La réaction complète peut prendre jusqu'à 1 année.

La formule complète de C<sub>3</sub>S est : **3CaO.SiO<sub>2</sub>**

Au contact avec l'eau

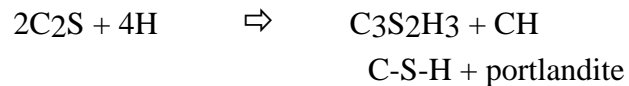


Les produits d'hydratation sont le silicate de calcium hydraté (C-S-H) et l'hydroxyde de calcium ou portlandite (CH) .[6]

### I.4.1.2.2 .Hydratation de C2S:

La vitesse d'hydratation de b-C2S est beaucoup plus faible que celle du C3S. Le b-C2S va surtout participer au développement des résistances après 28 jours et dégage une très faible chaleur.

La formule complète de C2S est:  $2\text{CaOSiO}_2$  Au contact avec l'eau:

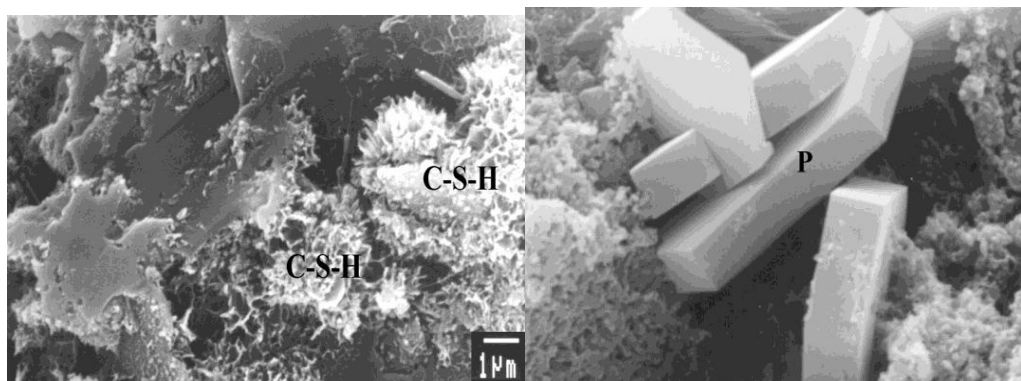


Les produits d'hydratation sont le silicate de calcium hydraté (C-S-H) et l'hydroxyde de calcium ou portlandite (CH).

La formule du C-S-H donnée dans l'équation ( $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ ) est approximative.

La quantité de CH produite dans ce cas est plus faible d'un tiers que dans le cas du C3S. La faible quantité de CH va favoriser le développement de meilleures résistances que dans le cas du C3S

Produits d'hydratation vus au MEB



**Figure I.3:** C-S-H externe cristallisé par précipitation Cristaux de portlandite  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . [6]

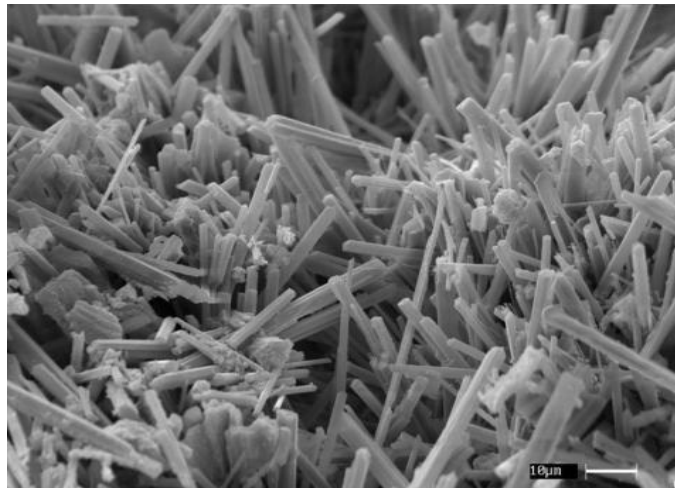
### I.4.1.2.3 .Hydratation de C3A et C4AF :

La réaction du C3A avec l'eau est très violente et exothermique, et si rien ne l'empêche, elle causera une prise éclair. C'est pour cette raison que du gypse soit additionné au clinker broyé pour retarder cette réaction. Il réagit avec le C3A et l'eau pour former des sulfoaluminates de calcium hydratés qui sont insolubles.

Le C3A a une influence sur la prise initiale de la pâte, mais passée cette étape il influence peu le comportement de la pâte sauf en cas d'attaque par les sulfates. Il contribue peu à la résistance de la pâte.

La formule complète de C3A est:  $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$

$\text{C3A} + \text{eau} + \text{gypse} \longrightarrow \text{Ettringite} + \text{C3A} \cdot 3\text{CS} \cdot \text{H}_32 + \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}.$ [6]



**Figure.4:** image en microscopie électronique à balayage de cristaux d'étringite

### **I.4.1.3. Classification des ciments:**

#### **I.4.1.3.1. Classification suivant la composition :**

La norme européenne **NF EN 197-1**[7] donne 27 ciments courants, qui sont regroupés en cinq principaux types à savoir :

- **CEM I :** Ciment Portland Artificiel.
- **CEM II :** Ciment Portland Composé.
- **CEM III :** Ciment de Haut Fourneau.
- **CEM IV :** Ciment Pouzzolanique.
- **CEM V :** Ciment aux Laitiers et aux Cendres.

#### **I.4.1.3.2. Classification suivant les résistances a la compression:**

La norme européenne **NF EN 197-1** [7] classes les ciments courant d'après leur résistance à la compression voir (Tableau I.3)



**Tableau I.3** : Résistance à la compression des ciments [7]

Classe de résistance	Résistance à la compression(Mpa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
23.5N	—	$\geq 16.0$	$\geq 32.5$	$\leq 52.5$
32.5R	$\geq 10.0$	—		
42.5 N	$\geq 10.0$	—	$\geq 42.5$	$\leq 62.5$
42.5 R	$\geq 20.0$	—		
52.5 N	$\geq 20.0$	—	$\geq 52.5$	—
52.5 R	$\geq 30.0$	—		

**I.4.2. L'eau de gâchage (NF EN 1008) [8] :**

Cette eau est un ingrédient essentiel du béton, joue deux fonctions principales : confère au béton sa maniabilité à l'état frais (ses propriétés rhéologiques) et assure l'hydratation des grains de ciment pour une prise et un durcissement.

La quantité d'eau utilisée ou plus précisément le rapport eau/ciment a une forte influence sur la porosité du béton, sa perméabilité, les résistances mécaniques, la durabilité, la microstructure et la cinétique d'hydratation.

**I.4.3. Les granulats (XP P 18-540) [9] :**

C'est l'ensemble des grains de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, peuvent être d'origine naturelle (sables et graviers de mer et de rivières), artificiels (argile expansée) ou issue du recyclage de déchets de l'industrie (laitier de haut fourneau). Ils constituent l'ossature du béton et occupent 70 à 80 % environ du volume de ce dernier.

Les granulats sont classés en fonction de leurs grosseurs déterminées par criblage sur des tamis à mailles dont la dimension intérieure est exprimée en millimètres.

Les principales divisions granulométriques des granulats données par la norme **XP P18-540** sont les suivantes :

- fillers 0/D ou  $D < 2$  mm.
- sables 0/D ou  $1 < D \leq 6,3$  mm.
- graves 0/D ou  $D > 6,3$  m
- gravillons d/D ou  $d \geq 1$  et  $D \leq 125$  mm.

#### **I.4.4. Les adjuvants (NF EN 934-2) [10] :**

L'adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égal à 5%, en masse du poids de ciment du béton, pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et / ou à l'état durci.

#### **I.4.5. Les ajouts :**

Les ajouts sont des matériaux présentant une granulométrie très fine que l'on incorpore le plus souvent au ciment et parfois au béton dans le but de modifier certaines de leurs propriétés [11].

Selon la norme ENV 206 [12], il existe deux types d'additions :

- **Les additions de type I :** Ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés qui, par leur composition granulométrique améliorent les propriétés physiques du ciment portland (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau...). Parmi ces additifs on distingue le calcaire et la poussière.
- **Les additions de type II :** Matériaux finement divisés à caractère inorganique, pouzzolanique ou hydraulique latent. Ils ont une teneur élevée en dioxyde de silicium seul ou, en dioxyde de silicium et oxyde d'aluminium combinés.

#### **Fumée de silice (D) :**

La fumée de silice est un sous produit des usines de fabrication d'alliage de silicium et de ferrosilicium obtenu dans un four à arc électrique à partir de quartz de grande pureté et de charbon [13]. La fumée de silice est constituée de particules très fines, environ 100 fois plus petites que les grains de ciment ( $SSB=2000 \text{ m}^2/\text{kg}$ ) [11]. La plupart ayant un diamètre compris entre 0.03 et 0.3 $\mu\text{m}$  le diamètre moyen habituel se situant en dessous de 0.1  $\mu\text{m}$ [13].

La fumée de silice présente des propriétés pouzzolaniques en raison de sa forte teneur en silice amorphe (vitreuse) et en raison de sa finesse, qui complète la granulométrie des ciments. Ces deux effets entraînent à la fois une forte augmentation de la compacité et une amélioration des résistances mécaniques du fait de la réaction pouzzolanique de la fumée de silice.

L'ajout de la fumée de silice diminue la perméabilité et augmente la résistance aux sulfates [11, 13]

## **Les cendres volantes :**

Les cendres volantes sont appelées cendres pulvérisées de combustible. Elles sont recueillies à partir des installations de dépoussiérage électrostatique ou mécanique des fumées de centrale thermique de charbon.

Les particules de cendres volantes sont sphériques et par conséquent avantageuses du point de vue de la demande en eau. Elles ont une finesse très élevée avec un diamètre compris entre (1 et 100  $\mu\text{m}$ ).

Leurs surfaces spécifiques de Blaine sont généralement comprises entre 250 et 600  $\text{m}^2/\text{kg}$ .

Elles sont composées essentiellement de  $\text{SiO}_2$  et  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [2].

Les principales exigences de la norme ASTM C 618 [38] concernent une teneur maximale de 70 % de silice, d'alumine, et d'oxyde de fer pris tous trois dans leur ensemble ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Le mélange avec le ciment donne un véritable liant car le  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  se combine avec le  $\text{SiO}_2$  et  $\text{Al}_2\text{O}_3$  des cendres.

La présence des cendres volantes dans le béton réduit la quantité d'eau ce qui induit une amélioration de l'ouvrabilité cette dernière est habituellement attribuée à la forme sphérique des cendres volantes [13]. Les cendres volantes peuvent être siliceuses ou calciques.

### **a/ siliceuses (V) :**

Elles présentent des propriétés pouzzolaniques c'est-à-dire qu'elles sont capables de fixer la chaux à température ambiante faisant prise et durcissant par hydratation. Elles sont constituées de Silice  $\text{SiO}_2$  réactive entre 40 et 50 % proportion qui ne doit jamais être inférieure à 25 % et d'alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  entre (20-30 %) environ, la proportion de la chaux réactive doit être inférieure à 5 % [11].

### **b/ calciques (W) :**

Ce sont des cendres volantes riches en chaux, c'est à dire ayant une teneur élevée de la chaux réactive supérieure à 5 % et elles peuvent parfois présenter une teneur en chaux allant jusqu'à 24 % [13]. En outre, leurs propriétés pouzzolaniques peuvent présenter des propriétés hydrauliques intrinsèques qui sont moins souvent utilisées [11].

Leur mélange avec le ciment donne un véritable liant; car le  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  se combine avec le  $\text{SiO}_2$  et  $\text{Al}_2\text{O}_3$  des cendres [13].

### **Le laitier granulé de haut fourneau (S) :**

Le laitier granulé de haut fourneau est un sous produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidie par aspersion d'eau. C'est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 %, de silice entre 25 et 35%, de l'alumine entre 12 et 30 % ainsi que de la magnésie et d'autres oxydes en très faible quantité.

Tous ces éléments sont pratiquement les mêmes que ceux du clinker [11].

La présence du laitier dans le mélange de mortier de ciment ou béton permet d'avoir :

- un temps de prise plus long
- une faible chaleur d'hydratation
- une meilleure ouvrabilité
- une faible résistance à jeunes âges et une bonne résistance à long terme .

### **Schistes calcinés (T) :**

Les schistes calcinés sont issus de roches sédimentaires ou métamorphiques obtenus à des températures de l'ordre de 800°C. En outre leurs propriétés pouzzolaniques; présentent des propriétés hydrauliques lorsqu'ils sont finement broyés [11].

### **pouzzolanes naturelles (Z) :**

Les pouzzolanes naturelles sont des produits naturels issus des roches volcaniques ou des roches sédimentaires, composés essentiellement de Silice  $\text{SiO}_2 \geq 25\%$ , Alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , et oxyde ferrique  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , La somme des trois oxydes ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) doit être supérieure à 70% selon la norme ASTM C 618 [14]. Elles sont employées en cimenterie pour leurs propriétés pouzzolaniques, c'est-à-dire l'aptitude à fixer la chaux à la température ambiante et à former des composés ayant des propriétés hydrauliques pouvant faire prise et durcir par hydratation [13].

### **Les fillers :**

Les fillers sont des produits obtenus par broyage fin ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basaltes, laitiers, kieselguhr, bentonites,...).

Les fillers sont des matériaux généralement inertes; c'est-à-dire ils n'ont aucune action chimique sur les ciments en présence d'eau mais pouvant parfois présenter des propriétés

légèrement hydrauliques ou pouzzolaniques.

Ils peuvent améliorer la maniabilité du ciment ce qui conduit à une augmentation de la maniabilité du béton [11].

### **Les fillers calcaires (L) :**

Le calcaire est utilisé dans la majorité des cimenteries algériennes, pour ses propriétés avantageuses; telles que la réduction du coût de fabrication, la protection de l'environnement et la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Dans cette partie on présente l'influence des fillers calcaires sur les propriétés du mortier et du béton.

Les fillers calcaires ajoutés au ciment doivent présenter une proportion de carbonate de calcium CaCO<sub>3</sub> supérieur à 75% en masse, une teneur en argile telle que l'absorption de bleu méthylène soit au plus de 1.2 g pour 100 g et une teneur en matière organique (T.O.C) au plus égale à 0.5 % [11].

### **I.4.5. Les Avantages d'utiliser les ajouts :**

L'utilisation d'ajouts cimentaires dans les industries du ciment et du béton présente des avantages techniques, économiques et écologiques.

#### **I.4.5.1. Avantages techniques :**

D'abord, l'incorporation de particules très fines dans un mélange de béton permet d'améliorer sa maniabilité et de réduire le besoin en eau à une consistance donnée (sauf pour les matériaux à très grande surface active, comme les fumées de silice), de plus, les ajouts cimentaires améliorent généralement les propriétés mécaniques l'imperméabilité et la ténacité et aux attaques chimiques enfin , par ce qu'ils permettent une moindre chaleur d'hydratation les ciments avec ajouts et en plus grande capacité d'allongement en traction, les ajouts cimentaires améliorent la résistance à la fissuration d'origine thermique [15].

#### **I.4.5.2 Avantages économiques :**

Typiquement, le ciment Portland est le composant le plus coûteux d'un mélange de béton, puisqu'il est un matériau à forte intensité d'énergie. La plupart des matériaux susceptibles de remplacer le ciment dans le béton sont des sous produits, et, à ce titre, demandent relativement moins d'énergie, sinon aucune, et sont beaucoup moins coûteux que le ciment Portland toutefois, la distance qui sépare la source des ajouts cimentaires et l'utilisateur final et le coût élevé du transport qui en résulte risquent de l'emporter sur leurs avantages économiques potentiels de

même, le manque de stockage abordable est parfois une barrière à leur utilisation dans certains marchés. [15]

### I.4.5.3 Avantages écologiques (émission de gaz à effet de serre) :

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique de fait, le remplacement du ciment Portland par les ajouts cimentaires réduit d'autant les émissions de CO<sub>2</sub> en général, l'utilisation de cendres volantes et de fumées de silice comme ajouts cimentaires ne demande pas un traitement à forte intensité d'énergie [15]

**Tableau I.4:** Récapitulatif des avantages des ajouts cimentaires

Avantages techniques	Avantages économiques	Avantages écologiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>* améliore la maniabilité</li> <li>* réduit la demande en eau</li> <li>* amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton</li> <li>* diminution de la chaleur d'hydratation dégagée du béton</li> <li>* diminue la fissuration d'origine thermique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* leur coût est souvent égal au coût du transport et de la manipulation.</li> <li>* réduit le prix du béton pour le coût du combustible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* diminution de l'émission du CO<sub>2</sub> par l'industrie cimentière</li> <li>* élimination des sous-produits de la nature</li> </ul>

### I.5. Propriétés des bétons :

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

#### ► 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.5.1. 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[16]

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 [17]

Dans le cas de béton ordinaire [18] 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.

#### **a. 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 [19].

Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance [20]

#### **b. 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, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage après un arasement approprié.

### **I.5.2. 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.

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.

#### **a. Résistance à la compression (NF EN-12390-3) [21] :**

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression unie axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydraté.

## **b. Résistances à la traction par flexion (NF EN-12390-5) [22] :**

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7x7x28 cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs.

### **I.6 Durabilité :**

Il est essentiel que chaque structure en béton puisse conserver sa résistance et continuer de remplir sa fonction tout au long de sa durée de vie utile. Il en résulte que le béton doit être en mesure de résister aux mécanismes de détérioration auxquels il peut être exposé. On dit d'un tel béton a une bonne durabilité.

Il est utile d'ajouter que le concept de durabilité ne signifie pas une durée de vie infinie, pas plus qu'il ne signifie que le béton doit résister à n'importe quelle agression. De plus, on constate maintenant, ce qui n'était pas toujours le cas auparavant, que, dans bien des cas, un entretien du béton est nécessaire. [23]

La durabilité du béton est un fait reconnu et attesté par la pérennité des ouvrages exposés aux conditions climatiques ou d'environnement les plus variées.

La notion de durabilité est donc indissociable de celle de qualité à tous les niveaux et, en particulier, de celle du matériau béton. L'exigence de la qualité est devenue aujourd'hui une nécessité et aussi un facteur d'économie de par sa contribution à la limitation des coûts de maintenance.

La qualité ne concerne pas uniquement le béton mais aussi ses composants.

Le concepteur doit disposer des informations nécessaires sur les matériaux pour réaliser des ouvrages résistants à la fois aux contraintes mécaniques et aux facteurs extérieurs de dégradation. Il ne faut cependant pas oublier que la durabilité du béton est aussi dépendante des conditions de mise en oeuvre et que toute négligence à ce niveau peut remettre en cause des matériaux de bonne qualité. [24]

### **I.7. Etat de Connaissance sur le sable de dune**

#### **I.7.1. Recherche menée dans le golfe d'Arabie:**

Suivant le rapport de synthèse des travaux élaboré par **KOTZIAS** [25] relatif aux recherches menées dans ces régions, le sable de dune à été utilisé dans le béton de sable pour les deux raisons suivantes :

- Les gros granulats ne sont disponibles que dans des endroits très lointains.



- Il y a abondance de sable de dune qu'on peut obtenir à moindre frais

Le sable de dune de ces régions se caractérise par un module de finesse égale à 1.5 par ailleurs la granulométrie de ce sable était en dehors de la limite du fuseau granulaire recommandé.

Le mélange adopté pour la construction est le suivant:

Sable 1350 kg/m<sup>3</sup>

Ciment (CPJ II) 460 kg/m<sup>3</sup>

E/C 0.65 a 0.50

Les résultats des essais de résistance obtenue pour deux valeurs de rapport E/C

E/C = 0.5                    la résistance à la compression à 28 jours 22 MPa

E/C = 0.65                    la résistance à la compression à 28 jours 12 MPa

L'utilisation de ce matériau dans ces régions, généralement consiste dans la construction des fondations, murs de soutènement et dalles des planchers.

### **I.7.2. Recherches menées en Afrique occidentale :**

**TYLER [26]** dans son rapport il a collecté toutes les informations disponibles sur les bétons de sable.

En ce qui concerne les matériaux utilisés :

Sable : a une qualité qui varie beaucoup d'une région à l'autre mais généralement il se caractérise par une granulométrie fine, et module de finesse est de l'ordre de 1.6

Le ciment utilisé, est conforme les normes britanniques BS12 Pour la composition recommandée c'est : 1 volume de ciment avec 6 volumes du sable.

L'utilisation de cette composition se manifeste dans les blocs des murs. Les résistances en compression de ces blocs, ne dépassaient pas 4.5 Mpa

Dans la même région une autre recherche à été effectuée par **UZOMAKA**, au **Nigeria** dont le but était l'analyse des quelques facteurs comme l'effet de la dimension des particules du sable, qui affectent la résistance des blocs.

**UZOMAKA [27]** a utilisé deux sables différents, un sable de dune très fin, et autre grossier, les résultats obtenus montrent que la résistance augmente avec le sable grossier, ce qui n'est pas le cas pour le sable de dune.

Il apparaît évident, quand il s'agit de sable de dune pour obtenir une résistance égale à celle du matériau coulé avec du sable grossier, on est obligé d'utiliser une grande quantité de ciment.

#### **I.7.4. Recherches menées en Algérie:**

Vu l'abondance de sable de dune dans le sud Algérien, plusieurs recherches ont été établies pour la composition d'un béton à base de sable de dune pendant les deux dernières décennies.

Dans ce cadre, les premières études ont été lancées par le **CNERIB** d'où une série de travaux de recherche ont été engagés pour la valorisation de ce matériau dans la masse de béton. [28]

La première étude avait été menée sur un sable apporté de Djelfa vers l'année 1985 [29], ce sable présente une porosité de 45% et classe granulaire de 0/0,63 mm

L'étude consiste en première phase à une recherche d'une formule à dosage optimum en ciment pour le sable utilisé.

- Le dosage en ciment varie de 300, 330 et 350 kg/m<sup>3</sup>
- La granulométrie du sable a été corrigée par l'incorporation des fillers en trois types différents, calcaire, siliceux et chaux aérienne,

Les résultats des essais de résistance obtenus lors de cette étude n'ont pas dépassés les 100 bars.

En revanche, la mesure de retrait malgré qu'elle ne dépasse pas le 21 jours, a donné de fortes valeurs, ce qui révèle la médiocrité de ces résultats, si l'on envisage les confections d'un béton de sable structurel à base de sable de dune.

**AHMED CHAOUCH** [30] a traité en première étape l'effet du rapport E/C et le dosage en filler calcaire sur la maniabilité de ce béton, ainsi il a pris un aperçu sur l'influence de ces deux paramètres sur la résistance du béton, pour le retrait et le fluage.

Le sable utilisé c'est le sable de dune provenant de la région d'EL Golea, qui présente une granulométrie très fine avec un module de finesse de l'ordre de 1,5.

La composition minéralogique de ce sable, quartzéuse et très peu de portion de feldspath et le gypse.

Pour le ciment c'est le CPA 325

L'étude a commencé par la formulation d'une composition sur la base de maniabilité.

5 valeurs ont été prises pour le rapport E/C : 0,4- 0,5- 0,6- 0,7 et 0,8; Chaque valeur est accompagnée par une variation croissante de concentration en ciment et en sable.

En 2<sup>ème</sup> étape d'autres séries d'essais ont effectués avec l'incorporation des filler et des adjuvants pour le but d'améliorer les propriétés du béton de sable de dune avec le minimum de dosage en ciment. Les compositions obtenues ont subi des essais mécaniques, à savoir les essais de compression et de traction.

La composition optimum aboutie dans cette étude a été formulée comme suit :

E/C 0,6

Dosage en filler 300 kg / m<sup>3</sup>

Dosage en ciment 400 kg/ m<sup>3</sup>

Sable de dune 1160 kg/ m<sup>3</sup>

Eau 240 l/m<sup>3</sup>

Adjuvant 2,8% du poids de ciment

Par ailleurs les résultats des essais pour cette composition sont:

	COMPRESSION ( BAR)	TRACTION (BAR)
7 jours	149,18	13,67
28 jours	206,00	19,33

Pour les essais de retrait opéré sur cette composition montrent que le béton de sable de dune a une grande valeur de retrait que celle de béton ordinaire, où cette valeur atteint jusqu'à 2,5 mm/m, ces valeurs apprécient fortement avec le dosage en eau et ciment.

En ce qui concerne le phénomène du fluage de béton de sable de dune, et d'après cette recherche, les déformations dépendent toujours de l'état de chargement.

**M. Ahmed TAFRAOUI** [31] , nous avons procédé à la recherche d'une formulation de BUHP, adéquate en terme de mise en œuvre et permettant de remplacer la fumée de silice par le métakaolin. Enfin, nous avons étudié la valorisation proprement dite du sable de dune.

Les bétons obtenus présentent des performances mécaniques très élevées, allant jusqu'à une résistance en compression de 250 MPa, une résistance en traction par flexion de 45 MPa et une résistance à la traction directe d'environ 20 MPa, avec le mode de traitement thermique approprié. Ils présentent aussi un très bon comportement différé, y compris sous charge, ainsi que d'excellents indicateurs de durabilité.

Cette étude montre que la valorisation du sable de dune étudié est tout à fait possible dans les BUHP, et en particulier les BUHP fibrés, et que le remplacement de la fumée de silice par le métakaolin n'altère pas les propriétés de ces bétons.

**M. Salim Guettala** [4] Les résultats ont démontré que jusqu'à 20% Sd pour remplacer le ciment Portland peut être utilisé avec une finesse de 4000 cm<sup>2</sup>/g sans affecter négativement la résistance à la compression, avec un effet optimum pour un pourcentage de l'ordre de 5 à 10 %. Au-delà d'une teneur de 20%, l'effet de dilution devient prépondérant et entraîne une diminution des résistances à la compression. Le sable de dune finement broyé, malgré sa nature cristalline, présente une réactivité pouzzolanique partielle.

L'utilisation du sable de dune finement broyé améliore globalement la structure poreuse du béton et contribue aussi à la densification de l'interface (mortier/gravier). De ce fait, le sable de dune finement broyé modifie les caractéristiques de rupture (déformabilité), ce qui permet une nette augmentation de la durabilité du béton.

### **Conclusion :**

La recherche bibliographique sur la matrice cimentaire vous permet de conclure que le qui lui sont recherchés. Ces critères sont essentiellement les résistances mécaniques et la durabilité, elles dépendent de la porosité et de la qualité et des composants.

A l'origine, les additions ont été lancées pour des raisons économiques. Soit ils existent sous forme de produits naturels, qui ne devaient être que peu traités, soit ils résultaient de processus industriels, sous forme des poudres comme sable du dune .

Indépendamment de ces avantages fonctionnels, écologiques et économiques, des additions influant positivement sur certaines des propriétés du béton à l'état frais mais surtout à l'état durci.

La raison l'addition de sable du dune broyé est d'amener une augmentation des performances physico-mécaniques. Ces bétons sont généralement obtenus à base de sable de dune broyé .

A défaut de fumées de silice, coûteuse, le présent travail traite l'influence de l'addition du sable de dune finement broyé au ciment, sur les performances physico-mécaniques, la durabilité du béton.

---

## CHAPITRE II

# CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX ET MÉTHODES ESSAIS