REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ Dr YAHIA FARÈS DE MÉDÉA

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département du génie de la Matière



***Projet de* fin d'Etudes**

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie civil

Option : Construction et Matériaux

Influence couplée du sable de concassage et du type de ciment sur la qualité du béton vibré

Realisé par :
Melle KHADAR Sabrina
Melle KOUIDRI Yousra

Encadré par :
Pr DEBIEB Farid
Co-encadré par :
Mr GUENDOUZ Mohamed

Juin 2016

REMERCIMENT

Nous remercions DIEU Tout Puissant, Clément et miséricordieux de nous avoir donné le courage et l'ardeur nécessaire pour l'accomplissement de tout ce travail.

Nous n'aurions pas pu réaliser ce travail sans l'aide et l'encouragement de nos familles que nous remercions vivement.

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude et toute notre reconnaissance au professeur Debieb Farid, et Monsieur Guendouz Mohamed qui nous ont conseillé, guidé et suivi tout au long de notre travail.

Notre haute considération va à l'égard des membres du jury devant lequel cette thèse sera soutenue.

Un grand merci à tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à l'élaboration de ce projet.

Sabrina et Yousra

Dédicace

Je dédié ce travail :

A ***ma mère*** *mon âme qu'elle a beaucoup sacrifie pour moi depuis*

Ma naissance jusqu'à Maintenant et qu'elle n'a jamais cessé de m'encourager que dieu la garde

A ***mes chers frères*** *(Mohamed .Walid.Ihab)*

A toute ***ma famille***
A tous ***mes amis*** *surtouts* ***mes amis proches***

Et
À tous ceux que j'aime
et qui m'aiment

Sab

Dédicace

Par gratitude , je ne saurais oublier de dédier ce travail aux étres qui me sont très chers , lesquels n'ont ménagé aucun effort et consenti beaucoup de sacrifices pour me faire bénéficier de leur soutien ,tant matériel que moral , comme ma chére mére , mon frére kasim , mon cher oncle Amine et Abdellah , mes cousines Asma et Takia et toute la famille chacun par son nom .

De méme à l'égard de mes chers amis Longou Ahmed , Abdallah El Hadj Abdelkader , Younes , Djamel, Kouidri Yasmine , Boukoftane Wahiba , Saidani Chafia , Dhif Ahlem Ben Saad Fouzia , Salah Amina , Nadia , Hassiba , Fatima , Karima, Khaoula et tous les autres .

Et enfin a toute personne ayant de loin et de prés collaboré pour l'accomplissement de ce travail

Kouidri Yousra

Résumé

ملخص

الهدف الاساسي من هذا المشروع هو دراسة تأثير كل من الرمل المسحوق ونوع الاسمنت على جودة الخرسانة.استعملنا ثلاثة انواع من الاسمنت و نوعين من الرمل المسحوق ,و قمنا بدراسة كل من خصائص والمميزات الفيزيائية والميكانيكية ومتانة الخرسانة وأعطى كل من رمل الهاشمية واسمنت صور الغزلان افضل النتائج

Résumé

L'objectif principal de ce projet de recherche est l'étude de l'influence couplée du sable de concassage et du type de ciment sur la qualité du béton vibré(béton ordinaire).trois types de ciments et deux types de sables de concassage ont été utilisées.les composants du béton sont caractérises et analyses et les propriétés physique ,mécanique ainsi que la durabilité du béton ont sont etudiés.les résultats obtenus ont montré que la combinaison de sable d'Elhachimiya et du ciment de SorElghozlene a donné les meilleures performances mécaniques du béton

Abstract

The purpose of this project is to analyses the effect of the combination of cement and crushed sand on the behavior of vibrated concrete (ordinary concrete).three type of cement and two type of crushed sand are used. the components of concrete are characterized and analyzed and the physical, mechanical and the durability of concrete are analyzed. The results show that the optimal combination with crushed sand of Elhachimiya and cement of SorElghozlene gives the good mechanical performances of concrete

Sommaire

Remerciement
Résumés
Sommaire
Liste des tableaux
Liste des figures
Notation et abréviation
Introduction générale

Chapitre1 : REVUE BILBIOGRAPHIQUE

Introduction
1.1 Le Béton de ciment 5
1.2. Ciment et comportement du béton 5
1.2.1 Définition du ciment 5
1.2.2 Historique du ciment 6
1.2.3 Fabrication du ciment 9
1.2.4 Constituants principaux du ciment..... **Erreur ! Signet non défini.**
1.2.5 Types de ciment au Monde et en Algérie ..... **Erreur ! Signet non défini.**
1.2.6 Influence du ciment sur le comportement du béton..... **Erreur ! Signet non défini.**
1.3 Le sable ..... **Erreur ! Signet non défini.**
1.3.1 Définition ..... **Erreur ! Signet non défini.**
1.3.2. Composition du Sable ..... **Erreur ! Signet non défini.**
1.3.3 Les différents types de sable 30
1.3.4 Elaboration de sable de concassage ..... **Erreur ! Signet non défini.**
1.3.5 Le béton de sable de concassage.....41
1.4 Conclusion

Chapitre 2 : MATERIAUX ET ESSAIS

2.1. Introduction.....50
2.2 Matériaux utilisés.....50
2.2.1 Les ciment :.....50
2.2.2. Les granulats ..... **Erreur ! Signet non défini.**
2.3.3. Eau de gâchage ..... **Erreur ! Signet non défini.**
2.3 Formulation du béton..... **Erreur ! Signet non défini.**

2.4 Techniques expérimentales.....61
2.4.1 Mise en œuvre.....61
2.4.2 Essais réalisés sur béton frais :.....62
2.4.3 Fabrication et confection des éprouvettes.....63
2.4.4 Essais sur béton durci..... **Erreur ! Signet non défini.**
2.5Conclusion

Chapitre 3 : ANALLSE ET DISCUSSION DES RESULTATS

3.1 Introduction..... **Erreur ! Signet non défini.**
3.2 Béton frais..... **Erreur ! Signet non défini.**
3.2.1 L'ouvrabilité ..... **Erreur ! Signet non défini.**
3.2.2 La densité ..... **Erreur ! Signet non défini.**
3.3 Béton durci..... **Erreur ! Signet non défini.**
3.3.1 Résistances à la compression..... **Erreur ! Signet non défini.**
3.3.2 Résistances à la traction par flexion..... **Erreur ! Signet non défini.**
3.4 Approche de durabilité..... **Erreur ! Signet non défini.**
3.4.1 Mesure des variations de longueur ..... **Erreur ! Signet non défini.**
3.4.2 Mesure des variations de masse..... **Erreur ! Signet non défini.**
3.5Conclusion

Conclusion générale
Recommandations
Références bibliographique
Annex

Liste des figures

Liste des figures

Figure .1.1 : aqueduc de Segovie (ciment romain)..... 6
Figure .1.2 : Utilisation de ciment modernes pour la fabrication de bétons apparents…….....6
Figure .1.3 : Constituants et fabrication du ciment ……..……10
Figure .1.4 : Composition d'une cimenterie ……..13
Figure .1.5 : Le schéma de la fabrication du ciment ……14
Figure .1.6: Le schéma de la fabrication du ciment par voie sèche ……15
Figure .1.7: Les étapes de fabrication de ciment ……....16
Figure .1.8: La répartition des cimenteries en Algérie ……...22
Figure .1.9 : Ouvrabilité des bétons des différents ciments utilisés ……24
Figure .1.10 : Densités du béton des différents ciments……..25
Figure .1.11 : Porosités du béton en fonction des différents ciments……25
Figure .1.12 : Résistance à la compression du béton à 28 jours des différents ciments utilisés……26
Figure .1.13 : Résistance à la flexion en fonction des différents ciments utilisés ……27
Figure .1.14.a : Evolution de la sorptivité du Béton en fonction du temps jusqu'à 2 heures…..27
Figure .1.14.b : Evolution de la sorptivité du Béton en fonction du temps jusqu'à 24 heures…….28
Figure .1.15 : Sable Alluvionnaire ……30
Figure .1.16 : Les sables de rivière……31
Figure .1.17 : Sable graveleux……31
Figure .1.18 ; Gros sable……32
Figure .1.19 : Sables marins……32
Figure .1.20 : sable fluviatiles……33
Figure .1.21 : Sables éoliens……34
Figure .1.22 : Différents types de sable de dune…… 34
Figure .1.23 : Sable normalisé……35
Figure .1.24 : Sable de concassage……36
Figure .1.25 : Schéma général des opérations de lavage ……38
Figure .1.26 : Les principales étapes de l'élaboration de Sable de Concassage ……39
Figure .1.27 : Extraction et élaboration des sables de concassage ……40
Figure .1.28 : variation de la résistance à la compression en fonction d'age du béton à sable

Liste des figures

naturel avec un slump de 10 mm.....43
Figure .1.29 : variation de la résistance à la compression en fonction d'age du béton à sable concassé avec un slump de 10 mm 44
Figure .1.30 : Variation de la résistance à la compression des bétons en fonctiondu taux de fillers (Kristel).....44
Figure .1.31 : Le taux optimal des fines pour différents types de propriétés du béton - [22] tiré de CDT.....47

Figure. 2.1: Ciment MATINE.....41
Figure. 2.2 : Diagramme de DRX appliqué sur le CEM II/B 42.5 MATINE.....52
Figure. 2.3: Ciment Sor-El Ghozlane.....53
Figure .2.4 : Diagramme de DRX appliqué sur le CEM II/B 42.5 Sor-El Ghozlane 53
Figure .2.5 : Ciment Portugal.....54
Figure .2.6 : Les sables utilisés.....55
Figure .2.7 : L'analyse granulométriques des sables utilisées.....56
Figure .2.8 : Gravier utilisé.....57
Figure .2.9 : Analyse granulométrie du gravier 8/15 et 15/25.....58
Figure .2.10 : Courbe de référence 01.....59
Figure .2.11 : Courbe de référence 02.....59
Figure .2.12 : variables étudiées.....60
Figure .2.13 : Malaxage du béton.....62
Figure .2.14 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams.....62
Figure .2.15 : Mesure de la densité du béton.....63
Figure .2.16 : Fabrication et serrage des éprouvettes.....63
Figure .2.17 : Conservation des éprouvettes dans l'eau à 20°C ± 2°C.....64
Figure .2.18 : Conservation des éprouvettes à l'air libre.....64
Figure .2.19 : Presse hydraulique (2000 kN).....65
Figure .2.20 : Essai de compression.....66
Figure .2.21 : Essai de traction par flexion.....66
Figure .2.22 : Absorption d'eau par succion capillaire.....67
Figure .2.23 : La mesure à l'aide de déformètre.....68
Figure .2.24 : Principe de mesure du retrait et gonflement.....69
Figure .2.25 : Mesure des variations de masse.....69

Liste des figures

Figure. 3.1 : Ouvrabilité des différents types de béton fabriqué.....73
Figure. 3.2 : La densité des différents types de béton fabriqué.....74
Figure. 3.3 : La résistance à la compression des différents types de béton fabriqué.....75
Figure. 3.4 : La résistance à la traction des différents types de béton fabriqué.....76
Figure. 3.5 : L'évolution de Retrait des différents types de béton fabriqué.....77
Figure. 3.6 : évolution de gonflement des différents types de béton fabriqué.....78
Figure. 3.7 : La Perte de masse des différents types de béton fabriqué.....79
Figure. 3.8 : Gain de masse des différents types de béton fabriqué.....80
Figure. 3.9 : Absorption capillaire des différents types de béton.....81

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : composition des liants hydrauliques anciens et modernes 5
Tableau 1.2 : Désignation des différents types de ciment en fonction de leur composition ...16
Tableau 1.3 : Spécification et valeurs garanties en fonction de la classe 17
Tableau 1.4: Limite des classes et sous classes de résistances (nouvelle norme AFNOR).....17
Tableau 1.5 : Utilisations des ajouts dans les cimenteries algériennes..... 19
Tableau 1.6 : Composition chimique des différents sables..... 26

Tableau 2.1 : Composition chimique des ciments MATINE.....48
Tableau 2.2 : Composition minéralogique des ciments MATINE.....48
Tableau 2.3 : Essai physiques sur le ciment MATINE.....49
Tableau 2.4 : Composition minéralogique de ciment Sor-El Ghozlane 50
Tableau 2.5 : Composition minéralogique de ciment Sor-El Ghozlane..... 50
Tableau 2.6 : Essai physiques sur le ciment Sor-El Ghozlane 51
Tableau 2.7 : Essai physiques sur le ciment Portugal 51
Tableau 2.8 : caractéristique physique des sables utilisées.....53
Tableau 2.9 : Propriétés physiques et mécaniques des graviers utilisés.....54
Tableau 2.10 : Essais de caractérisation sur bétons durcis.....58
Tableau 2.11 : Essais de caractérisation sur bétons durcis.....62

Notation et abréviation

Notation et abréviation

Ab	Coefficient d'absorption
ACI	American Concrete Institute
Aff.	affaissement au cône d'Abrams
c	compacité
C	dosage en ciment
$CaCO_3$	calcite
CPJ, CEM II	ciment portland composé
CTC	contrôle technique de constructions
C3S	silicates tricalciques (alite)
C2S	Les silicates bicalciques (belite)
C3A	Les aluminates tricalciques
C4AF	Les aluminoferrites tétracalciques
d	petit diamètre des grains
D	Fumée de silice
D, Dmax	diamètre maximal des grains
d/D	classe granulaire
D.T.R	document technique réglementaire
E	poids d'eau dans le matériau
E/C	rapport eau/ciment
EMP	Epaisseur maximale de pate
Epr.	Éprouvette
ES	équivalent de sable
Eq	équation
f	flèche du fluage

f_0	flèche instantané correspondante au fluage
Fc_{28}^{moy}	résistance moyenne en compression à 28 jours
Fig.	Figure
FS	fumée de silice
G/C	rapport granulat/ciment
G/S	rapport gravier/sable
H.R	humidité relative
j	nombre de jours
L, LL	Filler calcair
LA	coefficient Los Angeles
LECA	Light expanded clay aggregate
Mf	module de finesse du sable
NR	non réactif
p	porosité

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est actuellement l'un des matériaux de construction les plus utilisées à travers le monde. La simplicité de sa fabrication et de sa mise œuvre, son faible coût de revient et les performances mécanique et de durabilité qu'il assure ont légitime son utilisation pour réaliser des ouvrages les plus divers, notamment des bâtiments, des immeuble d'habitation, bureau, pont, centrale thermique et nucléaire……ect. Les constituants principaux donnant au béton sa résistance mécanique et sa performance sont le ciment et le granulat (sable et gravier). La connaissance des propriétés physiques et mécaniques de ces paramètres est indispensable.

En Algérie, il existe plus de 13 cimenteries produisant différents types et classes de ciment. Le changement de la source d'approvisionnement du ciment est fréquent. La connaissance des caractéristiques du ciment et son effet sur la performance du béton est indispensable pour éviter les avis subjectifs sur la qualité du ciment.

Par ailleurs, le sable de concassage est l'un des plus importants ressources naturelles disponibles en grande quantité en Algérie. Pour sélectionner les meilleurs et les plus appropriées parmi ces différents types de sable, des études doivent être réalisés pour déterminer l'effet de chaque type sur les caractéristiques du béton.

L'objectif principal de ce projet est d'étudier l'influence couplé du type ciment et du sable de concassage sur les caractéristiques du béton vibré. Pour cela nous avant réparti notre travail comme suit :

Après une introduction générale, une revue bibliographique sur la production du ciment et ses caractéristiques, le sable de concassage ainsi que l'influence de ces paramètres sur le comportement du béton est présentée dans le premier chapitre.

Le deuxième chapitre décrit les caractéristiques des matériaux de base utilisés, les formulations des composites, et les techniques expérimentales utilisées durant cette étude pour évaluer les propriétés des bétons fabriqué à partir des trois types de ciments et de sable différents à l'état frais (ouvrabilité, densité), les propriétés mécaniques (résistance à la compression et à la flexion)

et la durabilité (absorption d'eau, les variations dimensionnels (retrait et gonflement) et les variations massique (perte et gain de masse)),

Le chapitre 3 présente les résultats de la caractérisation des différents bétons obtenus à l'état frais et durci, ainsi que les indicateurs de la durabilité.

Enfin, nous terminons cette étude par une conclusion générale, qui rappelle les principaux résultats obtenus et propose des recommandations pour d'éventuels futurs travaux.

CHAPITRE 1 :

Revue Bibliographique

Introduction:

Dans ce chapitre, on présente une synthèse bibliographique sur le béton ordinaire, ses composants et ses caractéristiques, en soulignant influence de ciment et de sable sur les performances de béton vibré

1.1 Le Béton de ciment

Le béton de ciment est un matériau composite aggloméré constitué de granulats durs de diverses dimensions collées entre eux par un liant hydraulique. Composé essentiellement de granulats (gravier, sable et filler), de ciment, d'eau de gâchage et d'adjuvants pour améliorer ou acquérir certaines caractéristiques ou propriétés pour faire face à des situations bien définies.

Le béton de ciment est, de beaucoup, le matériau de construction le plus largement utilisé. Son applicabilité à des usages multiples a été grandement augmentée du fait de la mise au point de nombreuses modifications. L'exécution convenable des opérations de bétonnage, en vue d'obtenir à la fin du traitement certaines propriétés, exige des connaissances techniques spécifiques relatives au comportement des ingrédients : ciment, agrégat, eau et adjuvants.

1.2. Ciment et comportement du béton

1.2.1 Définition du ciment

Le ciment est un liant hydraulique se présentant sous la forme d'une poudre très fine. C'est un liant, c'est-a-dire qu'il possède la propriété de lier, d'agglomérer des matières inertes solides. C'est un liant hydraulique, c'est-a-dire qu'il durcit et adhère aux matières inertes âpres avoir été mélange avec l'eau : il durcit sous eau aussi bien qu'a l'air.

Aux termes de la norme européenne EN197, le ciment est une "matière finement broyée formant, par addition d'eau en quantité convenable, une pate plus ou moins fluide, susceptible de durcir tant sous eau que dans l'air, et d'agglomérer les substances adéquates".

La même norme définit la propriété d'hydraulicité d'une matière comme étant : "l'aptitude d'un produit à faire prise et a durcir en présence d'eau avec formation de composes stables".

En géologie le terme est utilisé en référence aux minéraux à grains fins qui tiennent ensemble une matrice de grains plus grossiers dans les roches sédimentaires. De tels ciments sont

composés typiquement de minéraux calcaires, quartz ou d'argile on utilise encore les matériaux anciens de liaison tels que la chaux, la chaux hydraulique, le gypse et certains rocs volcaniques (pouzzolanes). Ils sont cependant aujourd'hui éclipsés par le ciment Portland, inventé en 1824 par Joseph Aspdin, qui fit cuire dans sa cuisine un mélange de calcaire et d'argile. Le terme « Portland » vient du nom de la carrière d'où venaient les composants utilisés par Aspdin et est apparenté à la chaux hydraulique dont il constitue un perfectionnement considérable.

1.2.2 Historique du ciment [1]

Les ***liants minéraux*** ont été utilises depuis la plus haute antiquité et principalement a l'époque romaine (Fig. 1.1) durant laquelle de véritables bétons a base de ***liants naturels*** (pouzzolane en mélange avec la chaux) ont été mis en œuvre et subsistent encore de nos jours (Tableau 1.1). Jusqu'a la fin du 18ieme siècle, la cuisson plus ou moins poussée de la chaux avec des quantités variables d'argile, donne lieu a des chaux plus ou moins hydrauliques, mais de liant ne servit qu'a la confection de mortiers de maçonnerie.



Fig.1.1. aqueduc de Segovie (ciment romain)



Fig.1.2. Utilisation de ciments modernes pour la fabrication de bétons apparents

C'est au 19eme siècle que la relation de cause a effet entre la présence d'argile dans les chaux et l'hydraulicité de ces derniers est découverte et exploitée dans la fabrication de divers liants

qui aboutirent au ciment Portland. A la fin de ce même siècle, l'hydraulicité du laitier de haut-fourneau granule par trempe sera mise en lumière et exploitée. Le 20eme siècle verra surtout la naissance et la croissance d'une véritable industrie cimentière dont la production ne cessera de croitre tant en quantité qu'en qualité (Fig.1.2).

L'évolution de l'industrie cimentière belge au 20eme siècle peut être divisée en trois phases :

- jusqu'en 1945, les progrès réalises ont surtout porte sur l'amélioration des techniques de fabrication en vue d'obtenir un produit de qualité valable et constante;
- de 1945 à 1960, la productivité s'est accrue notablement. La rationalisation de la production a requis la fermeture de multiples usines et le remplacement de nombreuses unités de production par d'autres de plus en plus grandes;
- de 1960 à nos jours, certaines unités de production ont encore été remplacées par de veritables géants mais c'est surtout l'automatisation et la centralisation des commandes et du contrôle de production qui ont caractérise cette époque.

L'Algérie est, en matière d'industrie cimentière, un des pays de pointe au niveau mondial pour sa haute technicité et son bilan énergétique.

Le développement n'a pu s'effectuer que grâce a l'apparition de matériels nouveaux : fours rotatifs et broyeurs à boulets en particulier.
Les procèdes de fabrication n'ont pas cessé de se perfectionner. Pour produire une tonne de clinker constituant de base du ciment, il fallait en 1870 : 40 heures, actuellement il faut environs 3 minutes **[1].**

Tableau 1.1. composition des liants hydrauliques anciens et modernes [1]

APPELLATION		MATIERES PREMIERES			FABRICATION		GACHEE ET HYDRATATION
		Nature	Proportions en % des oxydes contenus dans ces matières		Opérations principales	Composition après traitement	
			CaO	SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3			
CHAUX HYDRAULIQUES		Calcaires argilo-siliceux	de 90 à 67	de 10 à 33	- Cuisson avec formation vers 1.000-1.100°C, d'une certaine quantité de constituants hydrauliques (silicates et aluminates de calcium). - Extinction à l'eau transformant le CaO non combiné, en $Ca(OH)_2$ avec foisonnement amenant la pulvérisation. - Broyage pulvérisant les constituants hydrauliques.	Mélange en poudre de chaux hydratée (min. 15 % titré en CaO) et de silicates et aluminates de calcium. Plus ce mélange est riche en constituants hydrauliques, plus la chaux est "hydraulique".	A la gâchée, il y a formation d'une pâte où l'eau joue le rôle actif d'agent d'hydratation vis-à-vis des constituants hydrauliques. Après hydratation il s'en suit une structure mixte formée par le réseau microcristallin des constituants hydrauliques hydratés et par les grains de $Ca(OH)_2$ qui assouplissent la raideur du réseau cristallin mais en réduisent la résistance.
CIMENTS ANCIENS	Pouzzolane + Chaux grasse	Mélange utilisé par les Romains pour la fabrication de leurs bétons. En présence d'eau, la silice active de la pouzzolane et la chaux hydratée se combinent pour donner des silicates de calcium hydratés (voir ciment portland).					
	Ciment Romain ou ciment prompt ou ciment naturel à prise rapide	Liant obtenu par cuisson modérée de "septaria", concrétions calcaires dont la teneur en argile est supérieure à celle des matières premières intervenant dans la fabrication du clinker portland. A été abandonné car tributaire de gisements très rares et donnant lieu à des prises trop rapides.					
	Ciment naturel à prise lente	Ciment quasi identique au ciment portland quant à la composition et les caractéristiques mais obtenu au départ d'une seule matière première, à savoir des calcaires argilo-siliceux. A été abandonné au profit du mélange artificiel plus précis qui caractérise le clinker portland.					
CIMENTS MODERNES	A base de clinker portland seul (1)	Mélange de craies ou de pierres calcaires et d'argile ou de schiste	~65	~ 30	- Cuisson avec formation entre 1.000 et 1.500°C des constituants hydrauliques : silicates et aluminates de calcium. - Broyage amenant la pulvérisation.	Poudre constituée de silicates et aluminates de calcium. Il ne reste plus de chaux à l'état libre au-delà d'une fraction de %.	A la gâchée il y a formation d'une pâte où l'eau joue le rôle actif d'agent d'hydratation vis-à-vis des constituants hydrauliques. Après hydratation, il s'en suit une structure microcristalline (gel) faite essentiellement de silicates de calcium hydratés, constellée de cristaux de chaux hydratée en proportion d'autant plus grande que le mélange est riche en clinker portland.
	A base de clinker portland et de laitier (1)	Mélange de clinker portland et de laitier en diverses proportions	Clinker portland ~65	~ 30	- Broyage pulvérisant et homogénéisant le mélange.	Poudre faite d'un mélange de silicates et aluminates de calcium et de chaux, silice, alumine et magnésie réactives.	
			Laitier ~50 (2)	~ 50			
	A base de laitier et de sulfate de calcium	Mélange de laitier et de sulfate de calcium (10 à 15 % en poids)	~50 (2)	~ 50	- Broyage pulvérisant et homogénéisant le mélange.	Poudre constituée de chaux, silice, alumine et magnésie réactives et de sulfate de calcium.	

1.2.3 Fabrication du ciment [1]

La fabrication de ciment se réduit schématiquement aux trois opérations suivantes:

- préparation du cru
- cuisson
- broyage et conditionnement

Il existe 4 méthodes de fabrication du ciment qui dépendent essentiellement du matériau:

- Fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne).
- Fabrication du ciment par voie semi-humide (en partant de la voie humide).
- Fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée).
- Fabrication du ciment par voie semi-sèche (en partant de la voie sèche).

Le composé de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison de la chaux (CaO) avec la silice (SiO_2), l'alumine (Al_2O_3), et l'oxyde de fer (Fe_2O_3). La chaux nécessaire est apportée par des roches calcaires, l'alumine, la silice et l'oxyde de fer par des argiles. Les matériaux se trouvent dans la nature sous forme de calcaire, argile ou marne et contiennent, en plus des oxydes déjà mentionnés, d'autres oxydes et en particulier Fe_2O_3, l'oxyde ferrique.

Le principe de la fabrication du ciment est le suivant:

calcaires et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker.

Un mélange d'argile et de calcaire est chauffé. Au début, on provoque le départ de l'eau de mouillage, puis au delà de 100 °C, le départ d'eau d'avantage liée. A partir de 400°C commence la composition en gaz carbonique (CO_2) et en chaux (CaO), du calcaire qui est le carbonate de calcium ($CaCO_3$).

Le mélange est porté à 1450-1550 °C, température de fusion. Le liquide ainsi obtenu permet l'obtention des différentes réactions. On suppose que les composants du ciment sont formés de la façon suivante: un partie de CaO est retenu par Al_2O_3 et Fe_2O_3 en formant une masse liquide. SiO_2 et CaO restant réagissent pour donner le silicate bicalcique dont une partie se transforme en silicate tricalcique dans la mesure où il reste encore du CaO non combiné.

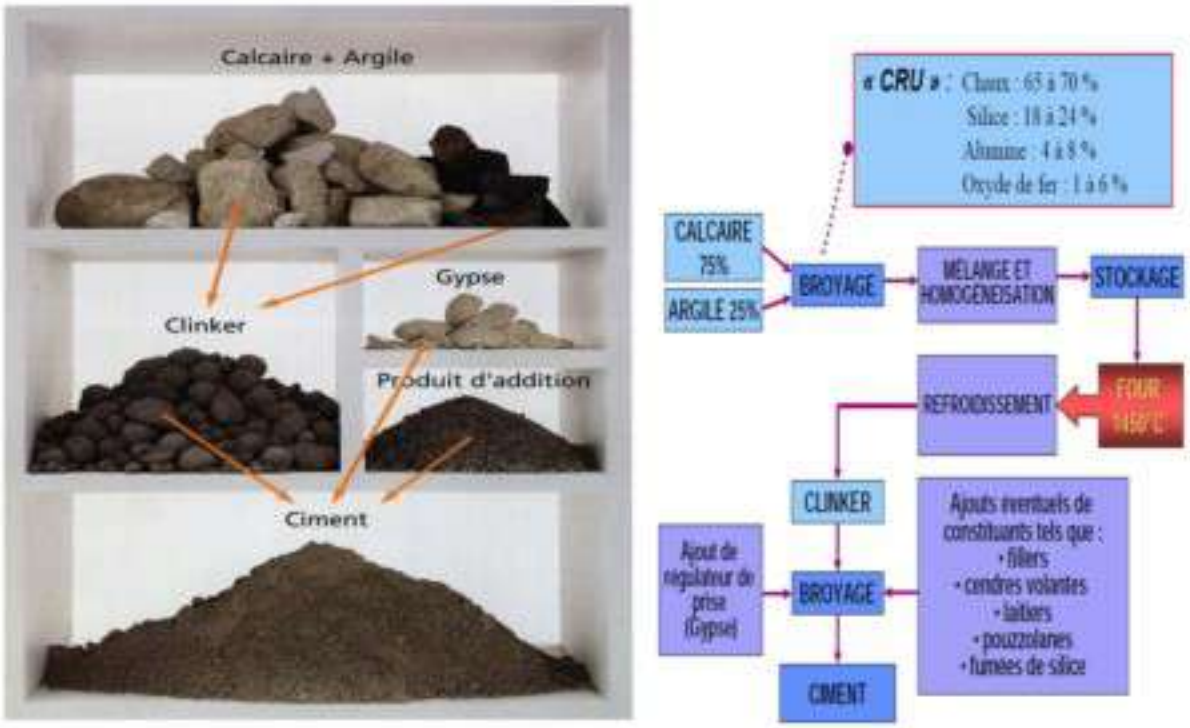


Fig 1.3 Constituants et fabrication du ciment **[1]**

- **Fabrication par voie humide**

Cette voie est utilisée depuis longtemps. C'est le procédé le plus ancien, le plus simple mais qui demande le plus d'énergie.

Dans ce procédé, le calcaire et l'argile sont mélangés et broyés finement avec l'eau de façon, à constituer une pâte assez liquide (28 à 42% d'eau).On brasse énergiquement cette pâte dans de grands bassins de 8 à 10 m de diamètre, dans lesquels tourne un manège de herses.

La pâte est ensuite stockée dans de grands bassins de plusieurs milliers de mètres cubes, où elle est continuellement malaxée et donc homogénéisée. Ce mélange est appelé le cru. Des

analyses chimiques permettent de contrôler la composition de cette pâte, et d'apporter les corrections nécessaires avant sa cuisson.

La pâte est ensuite envoyée à l'entrée d'un four tournant, chauffé à son extrémité par une flamme intérieure. Un four rotatif légèrement incliné est constitué d'un cylindre d'acier dont la longueur peut atteindre 200 mètres. On distingue à l'intérieure du four plusieurs zones, dont les 3 zones principales sont:

- Zone de séchage.
- Zone de décarbonatation.
- Zone de clinkerisation.

Les parois de la partie supérieure du four (zone de séchage - environ 20% de la longueur du four) sont garnies de chaînes marines afin d'augmenter les échanges caloriques entre la pâte et les parties chaudes du four.

Le clinker à la sortie du four, passe dans des refroidisseurs (trempe du clinker) dont il existe plusieurs types (refroidisseur à grille, à ballonnets). La vitesse de trempe a une influence sur les propriétés du clinker (phase vitreuse).

De toutes façons, quelque soit la méthode de fabrication, à la sortie du four, on a un même clinker qui est encore chaud de environ 600-1200 °C. Il faut broyer celui-ci très finement et très régulièrement avec environ 5% de gypse $CaSO_4$ afin de «régulariser» la prise.

Le broyage est une opération délicate et coûteuse, non seulement parce que le clinker est un matériau dur, mais aussi parce que même les meilleurs broyeurs ont des rendements énergétiques déplorables.

Les broyeurs à boulets sont de grands cylindres disposés presque horizontalement, remplis à moitié de boulets d'acier et que l'on fait tourner rapidement autour de leur axe (20t/mn) et le ciment atteint une température élevée (160°C), ce qui nécessite l'arrosage extérieur des broyeurs. On introduit le clinker avec un certain pourcentage de gypse en partie haute et on récupère la poudre en partie basse.

Dans le broyage à circuit ouvert, le clinker ne passe qu'une fois dans le broyage. Dans le broyage en circuit fermé, le clinker passe rapidement dans le broyeur puis à la sortie, est trié

dans un cyclone. Le broyage a pour but, d'une part de réduire les grains du clinker en poudre, d'autre part de procéder à l'ajout du gypse (environ 4%) pour réguler quelques propriétés du ciment portland (le temps de prise et de durcissement).

A la sortie du broyeur, le ciment a une température environ de 160 °C et avant d'être transporter vers des silos de stockages, il doit passer au refroidisseur à force centrifuge pour que la température de ciment reste à environ 65 °C.

- **Fabrication par voie sèche**

Les ciments usuels sont fabriqués à partir d'un mélange de calcaire ($CaCO_3$) environ de 80% et d'argile ($SiO_2 - Al_2O_3$) environ de 20%. Selon l'origine des matières premières, ce mélange peut être corrigé par apport de bauxite, oxyde de fer ou autres matériaux fournissant le complément d'alumine et de silice requis.

Après avoir finement broyé, la poudre est transportée depuis le silo homogénéisateur jusqu'au four, soit par pompe, soit par aéroglisseur.

Les fours sont constitués de deux parties:

- Un four vertical fixe, préchauffeur (cyclones échangeurs de chaleur).
- Un four rotatif.

Les gaz réchauffent la poudre crue qui circule dans les cyclones en sens inverse, par gravité. La poudre s'échauffe ainsi jusqu'à 800 °C environ et perd donc son gaz carbonique (CO_2) et son eau. La poudre pénètre ensuite dans un four rotatif analogue à celui utilisé dans la voie humide, mais beaucoup plus court.

La méthode de fabrication par voie sèche pose aux fabricants d'importants problèmes techniques:

- La ségrégation possible entre argile et calcaire dans les préchauffeurs. En effet, le système utilisé semble être néfaste et en fait, est utilisé ailleurs, pour trier des particules. Dans le cas de la fabrication des ciments, il n'en est rien. La poudre reste homogène et ceci peut s'expliquer par le fait que l'argile et le calcaire ont la même

densité (2,70 g/cm^3). De plus, le matériel a été conçu dans cet esprit et toutes les précautions ont été prises.

- Le problème des poussières. Ce problème est rendu d'autant plus aigu, que les pouvoirs publics, très sensibilisés par les problèmes de nuisance, imposent des conditions draconiennes. Ceci oblige les fabricants à installer des dépoussiéreurs, ce qui augmente considérablement les investissements de la cimenterie. Les dépoussiéreurs sont constitués de grilles de fils métalliques portés à haute tension et sur lesquels viennent se fixer des grains de poussière ionisée. Ces grains de poussière s'agglomèrent et sous l'action de vibreurs qui agitent les fils retombent au fond du dépoussiéreur où ils sont récupérés et renvoyés dans le four. En dehors des pannes, ces appareils ont des rendements de l'ordre de 99%, mais absorbent une part importante du capital d'équipement de la cimenterie.
- Le problème de l'homogénéité du cru est délicat. Nous avons vu comment il pouvait être résolu au moyen d'une préhomogénéisation puis d'une homogénéisation.

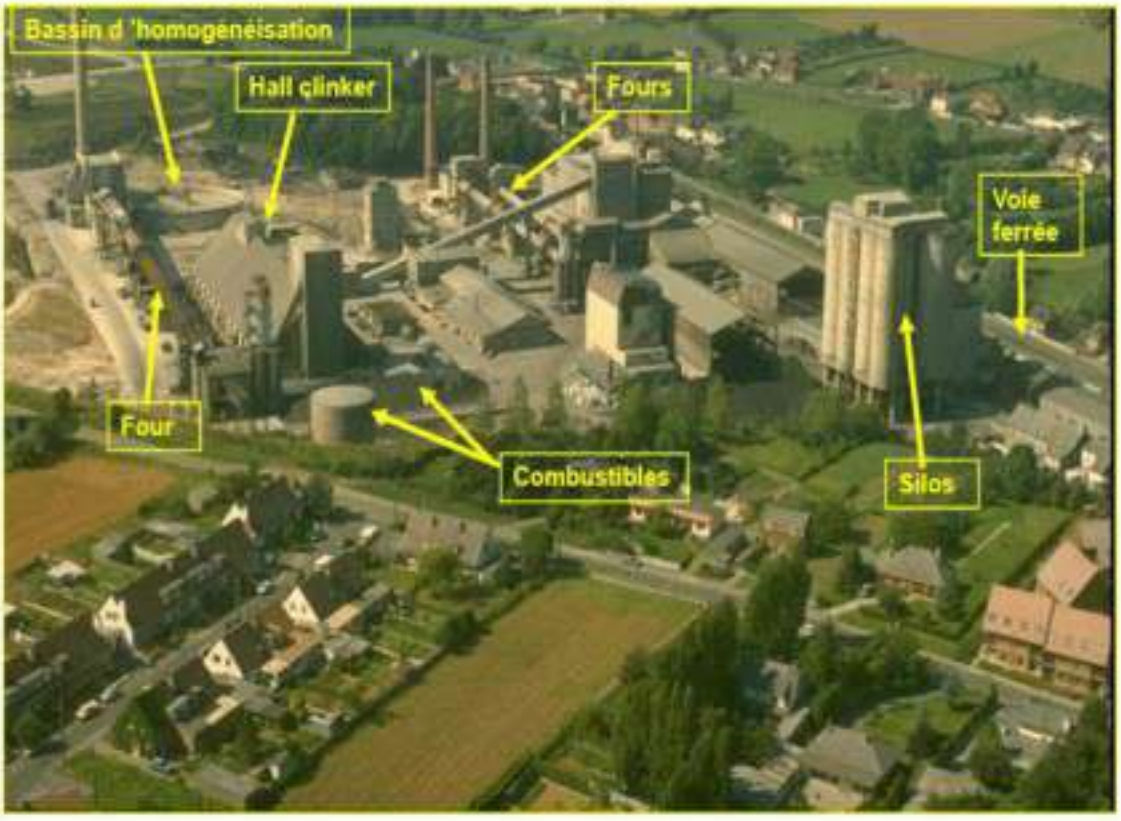


Fig.1.4 Composition d'une cimenterie

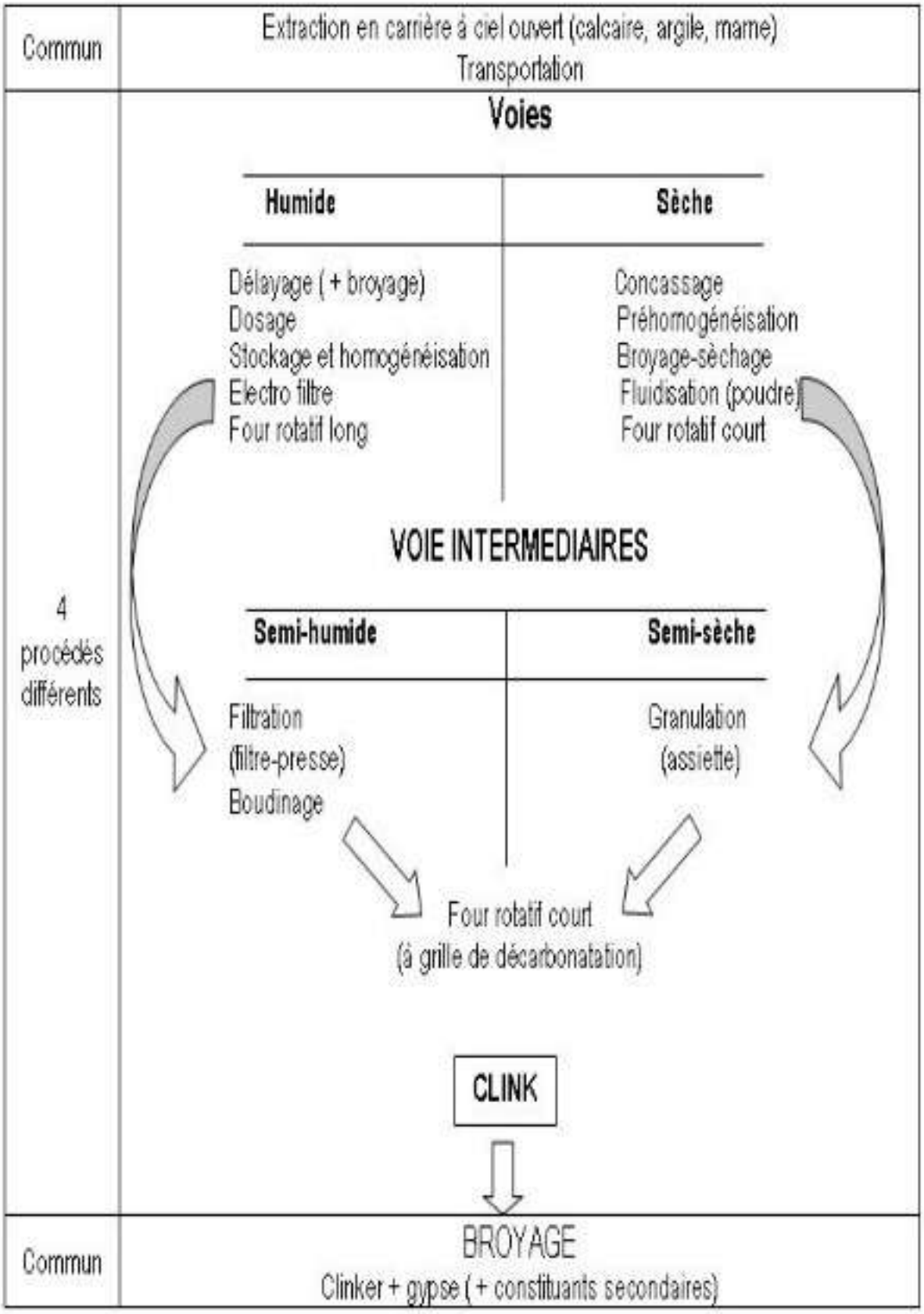


Fig.1.5 Le schéma de la fabrication du ciment

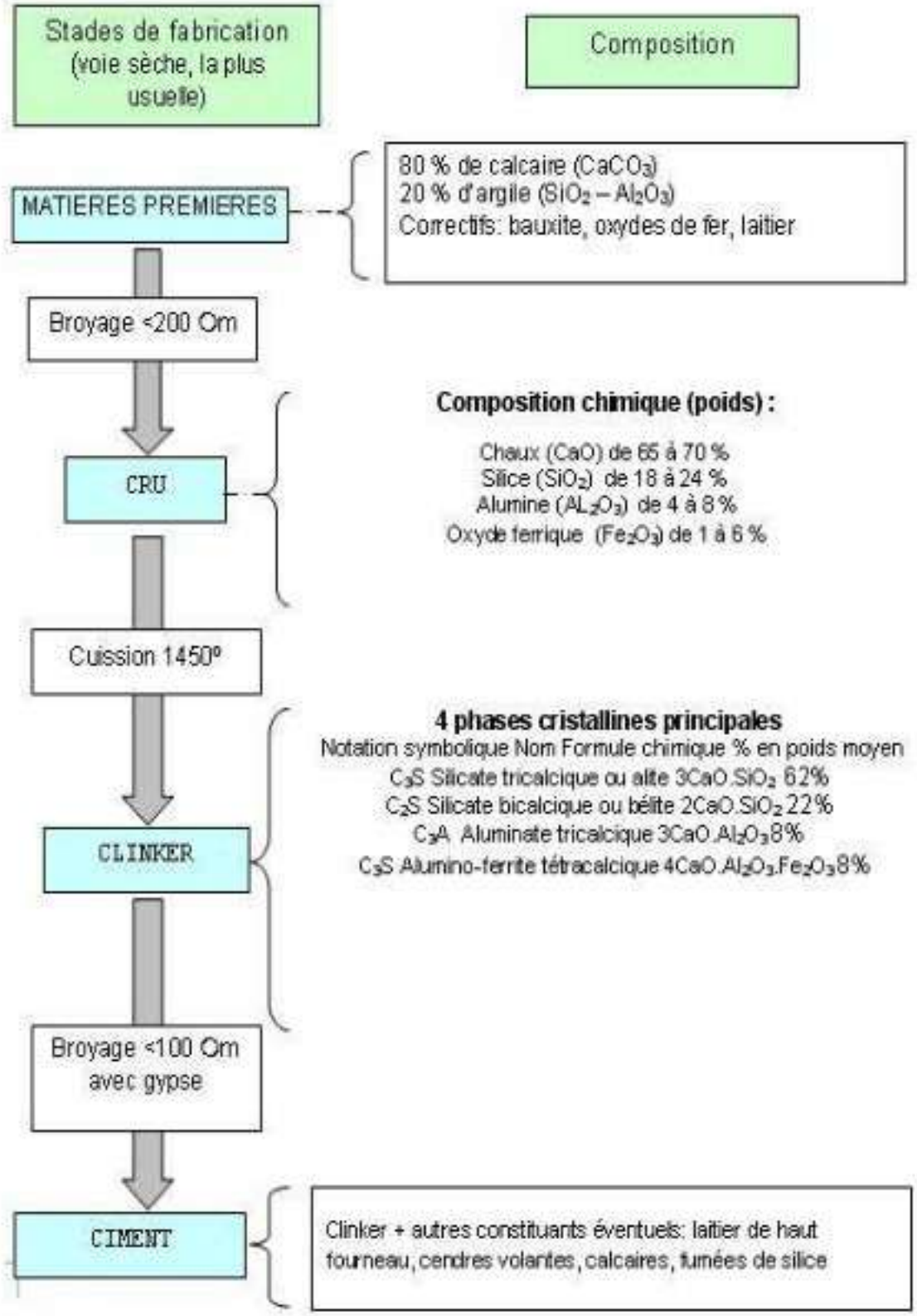


Fig.1.6. Le schéma de la fabrication du ciment par voie sèche

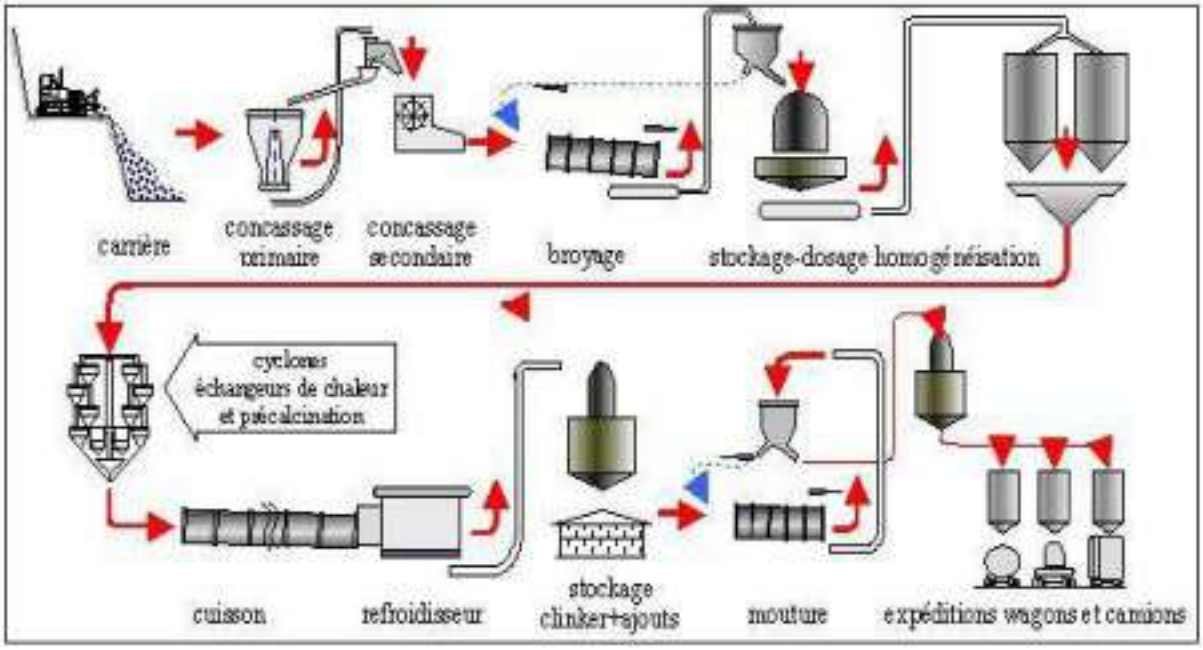


Fig.1.7. Les étapes de fabrication de ciment

1.2.4 Constituants principaux du ciment

1.2.4.1 Constituants du clinker

Les principaux composants anhydres obtenus lors du refroidissement rapide du clinker sont:

- Le silicate tricalcique $3CaO.SiO_2$ (C_3S) (50-70% du clinker).
- Le silicate bicalcique $2CaO.SiO_2$ (C_2S) (10-30% du clinker).
- L'aluminate tricalcique $3CaO.Al.O_3$ (C_3A) (2-15% du clinker).
- L'alumino-ferrite tétracalcique (Ferro-aluminate tetracalique) $4CaOAl_2O_3.Fe_2O_3$ (C4AF) (5-15% du clinker).

Le clinker contient encore en faibles quantités, sous forme de solution solide ou pris dans des combinaisons complexes, des alcalis (Na_2O, K_2O), de la magnésie (MgO), diverses traces de métaux.

La teneur en alcalis et magnésie doit rester faible, car ces matières peuvent influencer défavorablement la stabilité du ciment durci .
A l'aide du microscope, on peut distinguer la structure minéralogique du clinker en trois phases, auxquelles les chercheurs donnèrent les noms suivants:

- A = alite (phase cristallisée), se présente sous la forme de cristaux polygonaux assez grands (grains anguleux foncés) de l'ordre de 50µ.
- B = bélite (phase vitreuse), se trouve sous forme impure dans le clinker (grains légèrement arrondis et rayés).
- C = célite (phase vitreuse légèrement foncée et claire), se trouve dans le clinker sous forme impure et de phase vitreuse.

1.2.4.2 Les autres constituants des ciments

Le ciment portland est composé de clinker moulu auquel on ajoute une quantité de gypse, destiné à régulariser la prise. Pour modifier les propriétés du ciment, on ajoute les autres constituants associés au clinker grâce à leurs caractéristiques chimiques ou physiques.

Les constituants les plus utilisés sont:

- **Calcaires**

Les calcaires sont considérés comme un des constituants principaux du ciment. Ils doivent présenter une proportion de carbonate de calcium $CaCO_3$ supérieure à 75% en masse.

- **Laitier granulé de haut fourneau**

Le laitier est un sous-produit de l'industrie métallurgique ayant des propriétés hydrauliques. Il est obtenu par refroidissement rapide (trempe) de certaines scories fondues provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau.

- **Cendres volantes (V ou W)**

Elles sont les produits pulvérulents de grande finesse, provenant du dépoussiérage des gaz de combustion des centrales thermiques. On distingue:
Les cendres volantes siliceuses (V) qui ont des propriétés pouzzolaniques;
Les cendres volantes calciques (W) qui ont des propriétés hydrauliques et parfois pouzzolaniques.

- **Schistes calcinés**

Ce sont des schistes que l'on porte à une température d'environ 800 °C dans un four spécial. Finement broyés, ils présentent de fortes propriétés hydrauliques et aussi pouzzolaniques.

- **Fumée de silice**

Les fumées de silices sont un sous-produit de l'industrie du silicium et de ses alliages. Elles sont formées de particules sphériques de très faible diamètre (de l'ordre de 0,1 µm). Pour entrer dans la composition d'un ciment en tant que constituant principal, elles doivent être présentes pour au moins 85 % (en masse). Les fumées de silices ont des propriétés pouzzolaniques.

- **Fillers**

Ce sont des "constituants secondaires" des ciments, donc ils ne peuvent jamais excéder 5 % en masse dans la composition du ciment. Ce sont des matières minérales, naturelles ou artificielles qui agissent par leur granulométrie sur les propriétés physiques des liants (maniabilité, pouvoir de rétention d'eau).

1.2.5 Types de ciment au Monde et en Algérie

Les types de ciments existent au monde et en Algérie sont classées en fonction de leur composition et de leur résistance normale.

1.2.5.1 Classification des ciments en fonction de leur composition

Les ciments constitués de clinker et des constituants secondairs sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux par les normes NF P15-301 et ENV 197-1. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèse):

- CEM I: Ciment portland (CPA - dans la notation française),
- CEM II: Ciment portland composé (CPJ),
- CEM III: Ciment de haut fourneau (CHF),
- CEM IV: Ciment pouzzolanique (CPZ),
- CEM V: Ciment au laitier et aux cendres (CLC).

La proportion (en masse) des différents constituants est indiquée dans le tableau 1.2. Les constituants marqués d'une étoile (*) sont considérés comme constituants secondaires pour le type de ciment concerné; leur total ne doit pas dépasser 5%. (Les fillers sont considérés comme des constituants secondaires).

1.2.5.2 Classification des ciments en fonction de leur résistance normale

Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours; **[2]**des sous classes "R" sont associées à ces 3 classes principales pour désigner des ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées. Ces classes sont notées, classe 32,5, classe 42,5, classe 52,5. Elles doivent respecter les spécifications et valeurs garanties du tableau 1.3. Les valeurs entre parenthèses sont les valeurs garanties lorsqu'elles peuvent être inférieures aux valeurs spécifiées.

Tableau 1.2. Désignation des différents types de ciment en fonction de leur composition

	Cim. Port-land	Ciment Portland composé		Ciment de haut fourneau			Ciment pozzolanique		Ciment au laitier et aux cendres	
	CPA-CEM I	CPJ-CEM II/A	CPJ-CEM II/B	CHF-CEM III/A	CHF-CEM III/B	CLK-CEM III/C	CPZ-CEM IV/A	CPZ-CEM IV/B	CLC-CEM V/A	CLC-CEM V/B
Clinker (K)	/95%	/80% ≤94%	/65% ≤79%	/35% ≤64%	/20% ≤34%	/5% ≤19%	/65% ≤90%	/45% ≤64%	/40% ≤64%	/20% ≤39%
Laitier (S)	*	6%≤ total ≤20% (fumée de silice ≤10%)	21%≤ total ≤35% (fumée de silice ≤10%)	/36% ≤65%	/66% ≤80%	/81% ≤95%	*	*	/18% ≤30%	/31% ≤50%
Pouzzolanes (Z)	*			*	*	*	10% ≤ total ≤35% (fumée ≤10%)	36% ≤ total ≤55% (fumée ≤10%)	18%≤ total ≤30%	31%≤ total ≤50%
Cendre siliceuses (V)	*			*	*	*				
Fumée de silice (D)	*			*	*	*			*	*
Cendres calciques (W)	*			*	*	*	*	*	*	*
Schistes (T)	*			*	*	*	*	*	*	*
Calcaires (L)	*			*	*	*	*	*	*	*
Fillers (F)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tableau 1.3. Spécification et valeurs garanties en fonction de la classe

Classe	Résistance à la compression (MPa) EN 196-1				Retrait à 28 jours	Début de prise	Stabilité
	au jeune âge		à 28 jours		P 15-433	EN 196-3	EN 196-3
	2 jours	7 jours	mini.	maxi.	(µm/m)	(min)	(min)
32,5		(17,5)	/32,5 (30)	≤52,5	≤800	/90	≤10
32,5 R	/13,5 (12)	/ ≤	/32,5 (30)	≤52,5	≤1 000	/90	≤10
42,5	/12,5 (10)		/42,5 (40)	≤62,5	≤1 000	/60	≤10
42,5 R	/20 (18)		/42,5 (40)	≤62,5	≤1 000	/60	≤10
52,5	/20 (18)		/52,5 (50)			/60	≤10
52,5 R	/30 (28)		/52,5 (50)			/60	≤10

Tableau 1.4. Limite des classes et sous classes de résistances (nouvelle norme AFNOR)

Désignation de la classe	Sous classe éventuelle	Résistance à la compression		
		à 2 jours minimaux	à 28 jours minimales	maximales
350	-	-	250	450
450	- R (rapide)	- 150	350 350	550 550
550	- R (rapide)	- 225	450 450	650 650
THR Très hautes performances	-	300	550	-

1.2.5.3 l'industrie de ciment en Algérie

Les pouvoirs publics en Algérie ont lancé un programme très ambitieux dans le domaine de la construction, on parle de la réalisation de plus d'un million de logement avec des divers équipements publics universitaires et éducatifs etc. …, pour la période 2010-2014. Pour la concrétisation de ce programme le pays sera appelé à consommer plus de 19 millions de tonnes de ciment par année [3].

A l'heure actuelle la production nationale du ciment est assurée principalement par le groupe étatique « Entreprise régionale des ciments ERC » et la société privée Cement Company (ou ACC) de Lafarge Ciment Algérie. Lafarge a deux usines l'une implantée dans la wilaya de Msila et l'autre à la wilaya de Mascara, avec une capacité d'environ 4 millions de tonnes de ciment par an [3].

Le groupement ERC possède 12 usines de production de ciments et dérivés implantées le long de la partie nord du pays avec une capacité théorique de production estimée à 11,5

Millions de tonnes par année et dispose de 3 directions régionales :

L'Entreprise Régionale du ciment de l'est (ERCE) est propriétaire de 4 cimenteries :

- ✓ Cimenterie d'Ain-Touta – Wilaya de Batna.
- ✓ Cimenterie d'Ain El Kebira – Ain El Kebira- Setif.
- ✓ Cimenterie de Hamma Bouziane – Wilaya de Constantine.
- ✓ Cimenterie de Hdjar El Soud – Wilaya de Skikda.
- ✓ Cimenterie de Tébéssa.

L'Entreprise Régionale du ciment de l'Ouest (ERCO) est propriétaire de 3 cimenteries :

- ✓ Cimenterie de Zahana.
- ✓ Cimenterie de Saida.
- ✓ Cimenterie de Béni-Saf.

L'Entreprise du Ciment et Dérivé d'El Chlef (ECDE) est propriétaire de la cimenterie d'Oued Sly à El Chlef.

L'Entreprise Régionale du ciment du Centre (ERCC) est propriétaire de 3 cimenteries :

- ✓ Cimenterie de Meftah, wilaye de Blida.
- ✓ Cimenterie de Rais-Hamidou, wilaya d'Alger.
- ✓ Cimenterie de Sour-El-Ghozlane, wilaya de Bouira.
- ✓

L'industrie de ciment en Algérie utilise plusieurs ajouts qui sont peu couteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'El Hadjar, le calcaire, et la pouzzolane naturelle. Une variation assez élevé du ciment produit a été constaté par Lagab et Haoua dans la cimentrie algérienne en comparaison à la celle dans les pays développés **[4].**

Le tableau 1.5 résume les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes.

Tableau 1.5. Utilisations des ajouts dans les cimenteries algériennes.

Entreprise	Cimenterie	Ajout utilisé
ERCE	Ain Touta Ain El Kebira Hamma Bouziane Hdjar Aissaoui Tébessa	Pouzzolane Pouzzolane Pouzzolane Laitier Tuf
ERCC	Meftah Raïs Hamidou Sour El Ghozlane	Tuf/Calcaire Poussière Calcaire/Tuf
ECDE	Chlef	Calcaire
ERCO	Beni Saf Zahana Saida	Pouzzolane Pouzzolane Pouzzolane
ACC	Msila Sig	Calcaire Calcaire - Pouzzolane

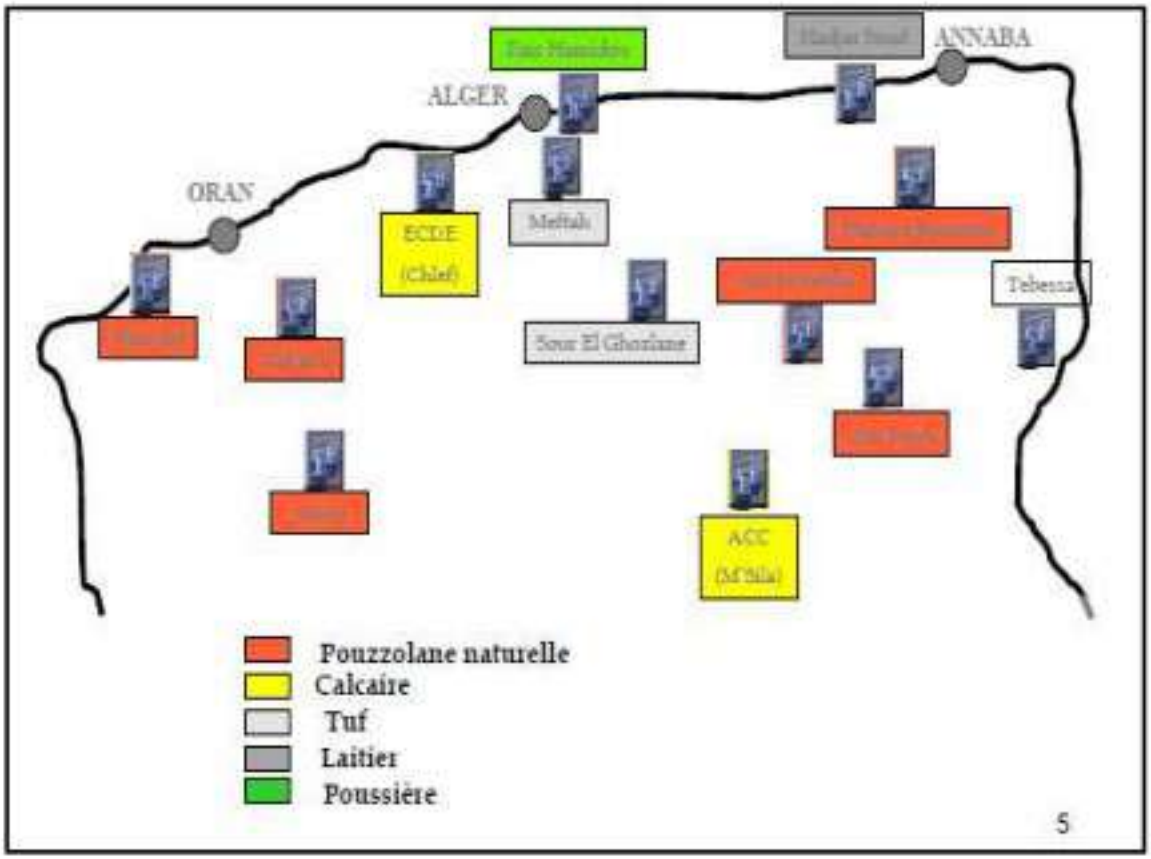


Fig.1.8.. La répartition des cimenteries en Algérie [3]

Dans le but d'accroître la production de ciment, de mettre à niveau les cimenteries et de lancer de nouveaux investissements, le capital social de certaines cimenteries publiques a été ouvert à hauteur de 35% aux partenaires étrangers durant la période 2005-2008. C'est ainsi que les sociétés des ciments de Hadjar-Soud et de Sour El Ghozlane ont conclu des partenariats, en janvier 2008, avec la société italienne Buzzi Unicem, spécialisée dans la production du ciment et de ses dérivés.

La cimenterie de Béni-Saf a, quant à elle, signé en juillet 2005 un accord de partenariat avec la société saoudienne "Pharaon investment group limited", alors que celle de Zahana avait noué un accord en décembre 2007 avec le groupe égyptien Asec.

La cimenterie de Meftah a fait l'objet d'un partenariat en juin 2008 avec le leader mondial des matériaux de construction, le français Lafarge [02].

1.2.6 Influence du ciment sur le comportement du béton

Le ciment est l'élément qu'a la plus grande influence sur les propriétés du béton. Il intervient principalement par la composition chimique du clinker, les ajouts éventuel (laitier, cendres volantes, pouzzolanes, etc.) et la finesse [2]. Différents types de ciment existent sur le marché, et le choix d'un type, est conditionné par les performances souhaitées du béton (performances mécanique, délais de prise, durabilité, etc.).

1.2.6.1 Influence du ciment sur l'ouvrabilité du béton

Plusieurs études ont réalisés pour déterminer l'influence du ciment sur l'ouvrabilité du béton. Azizi [3] a étudié l'influence de type de ciment (13 ciments Algériens et 2 ciments étrangers) sur l'ouvrabilité du béton de ciment vibré. Ils ont trouvé que pour un rapport fixe d'E/C, les mélanges des bétons confectionnés ont donné des bétons plastiques pour une valeur comprise entre 60 à 90 mm avec une tolérance de mesure d'affaissement de 20 mm à l'exception du ciment importé de la Turquie qui a donné une ouvrabilité de 35 mm (Fig.1.9). Ils ont expliqué cette chute d'ouvrabilité par l'ajout de quartz au ciment utilisé et à sa grande finesse (5208 cm2/g). Skendar. Et al [4] ont aussi trouvé que les bétons confectionnés avec des ciments de surface spécifique de Blaine élevée donnent des valeurs d'affaissement plus faibles.

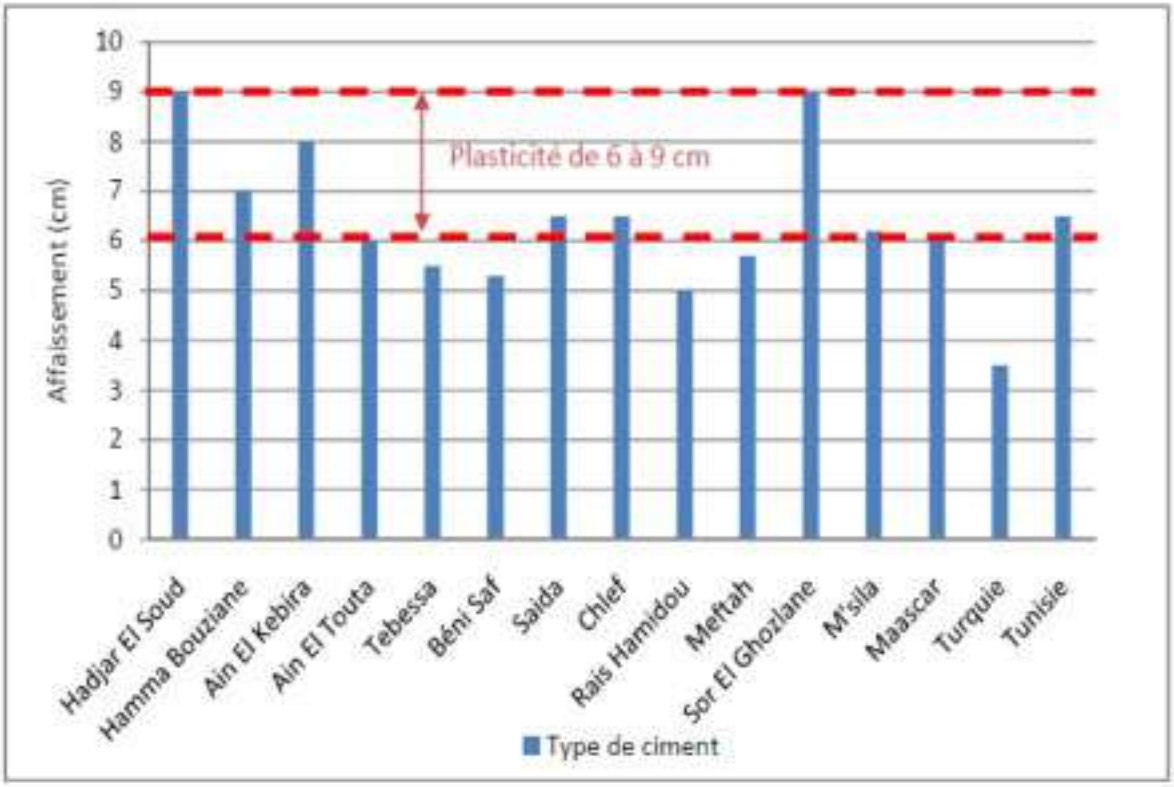


Fig.1.9. Ouvrabilité des bétons des différents ciments utilisés [3]

1.2.6.2 Influence du ciment sur la densité et porosité du béton

Azizi et al [3] ont étudié l'influence de type de ciment (13 ciments Algériens et 2 ciments étrangers) sur la densité et la porosité du béton ordinaire. Ils ont trouvé que la densité du béton varie toujours de 2400 kg/m3 à 2450 kg/m^3 (Fig.1.10). La variation est très faible (environ 2%). La porosité du béton (Fig. 1.11) est relativement comparable pour tous les ciments testés (6% à 8%).

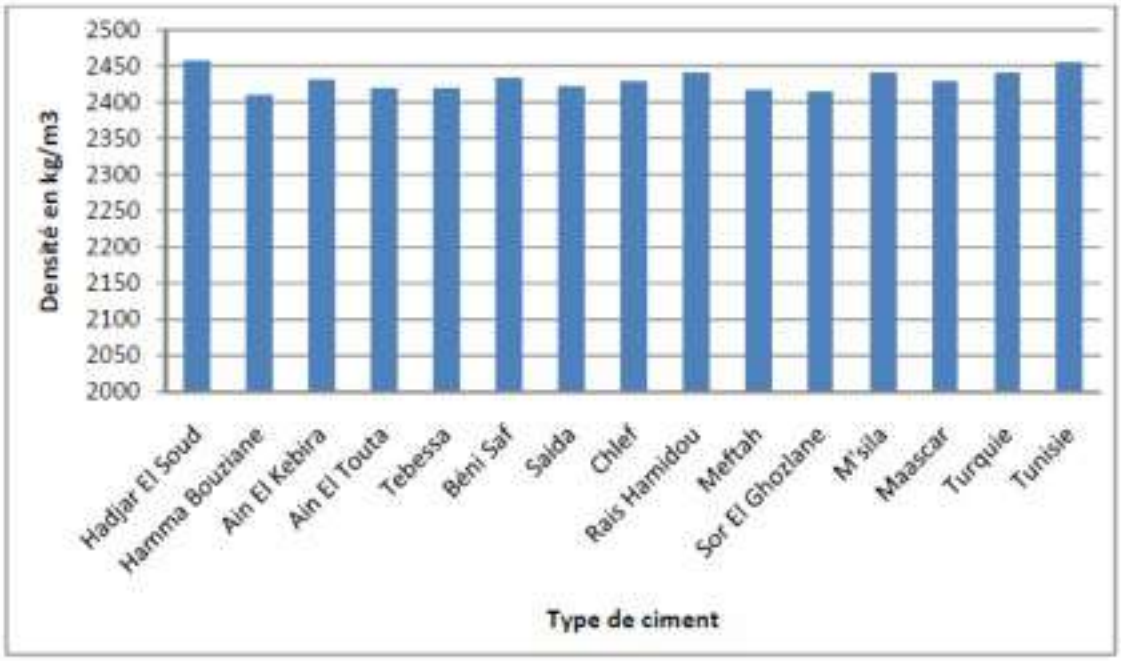


Fig. 1.10. Densités du béton des différents ciments [3].

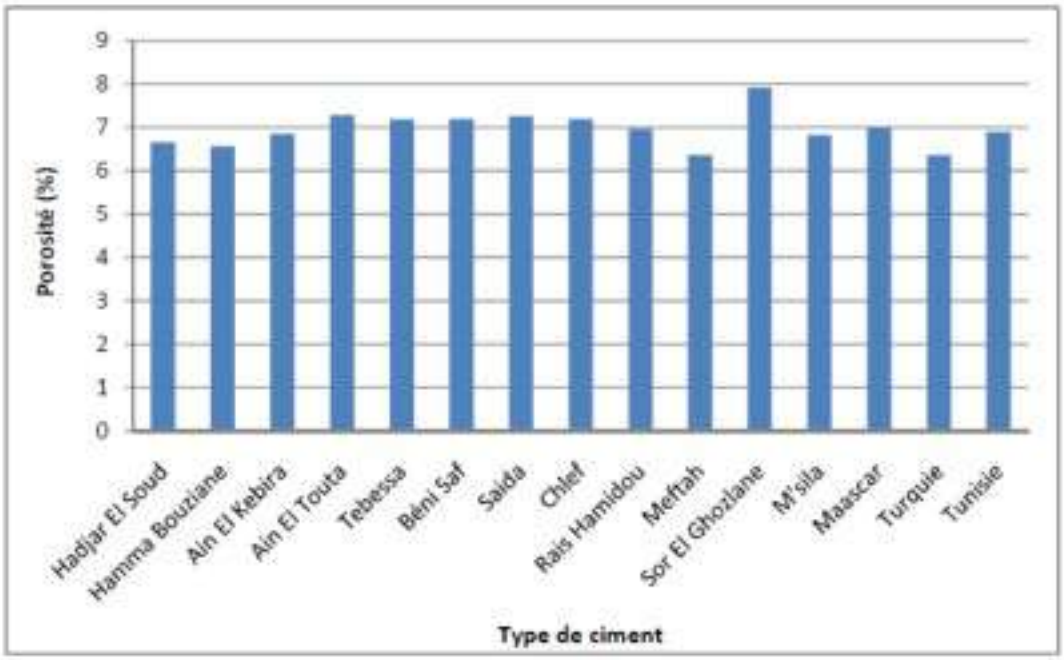


Fig.1.11. Porosités du béton en fonction des différents ciments [3].

1.2.6.3 Influence du ciment sur la résistance et porosité du béton

Pratiquement, les résistances du béton croissent linéairement en fonction de la finesse de mouture du liant, surtout aux jeunes âges [3].

La qualité mécanique du ciment est traduite par sa classe de résistance, qui est un paramètre déterminant pour la résistance du béton. Plus celle-ci est élevée plus la résistance du béton l'est également.

L'étude faite par Azizi et al [3] ont montrés la résistance à la compression et à la traction présentent une variation importante tout dépend le type de ciment utilisé.

La résistance à la compression à 28 jours a varié de 24 MPa à 37 MPa. La différence entre la plus grande valeur (ciment de Turquie) et la plus petite valeur (ciment de Rais Hamidou) est de 54% montrant ainsi l'importance du choix de ciment et la prise en compte de sa finesse et de sa composition chimique.

La figure 1.12 résume la résistance de la flexion du béton à 28 jours pour tous les ciments testés. On remarque que la résistance à la flexion varie de 2.15 MPa à 3.55 MPa. Le rapport Rcompression/Rflexion varie de 10 à 12.

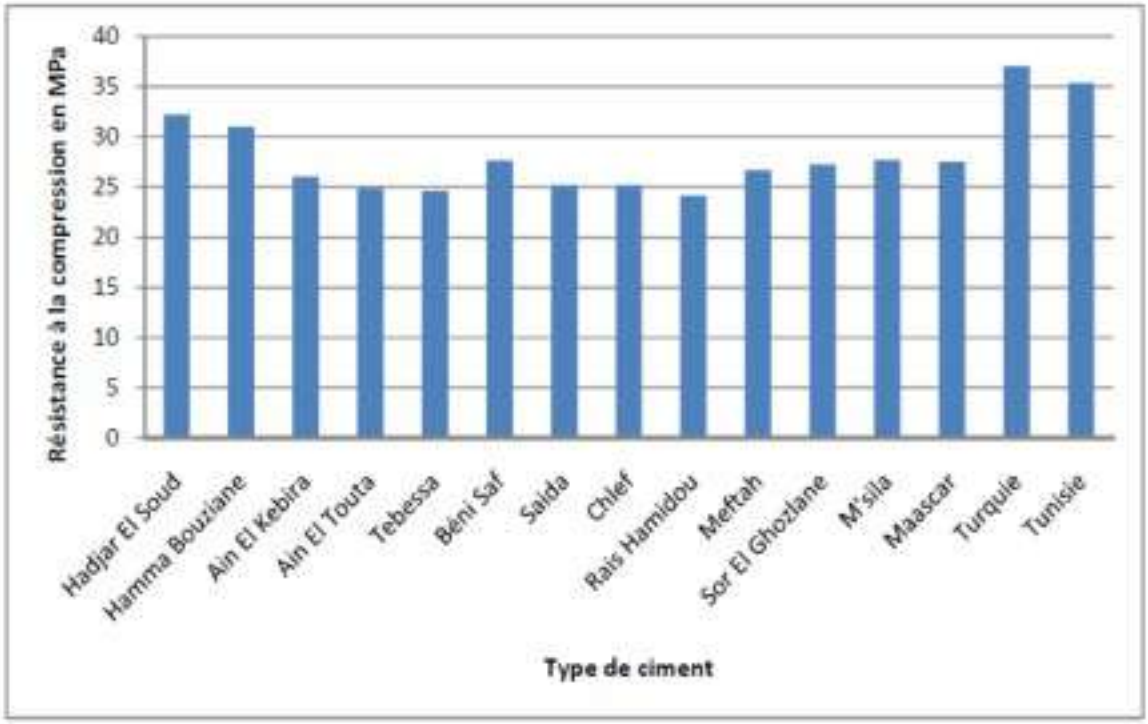


Fig. 1.12. Résistance à la compression du béton à 28 jours des différents ciments utilisés [3].

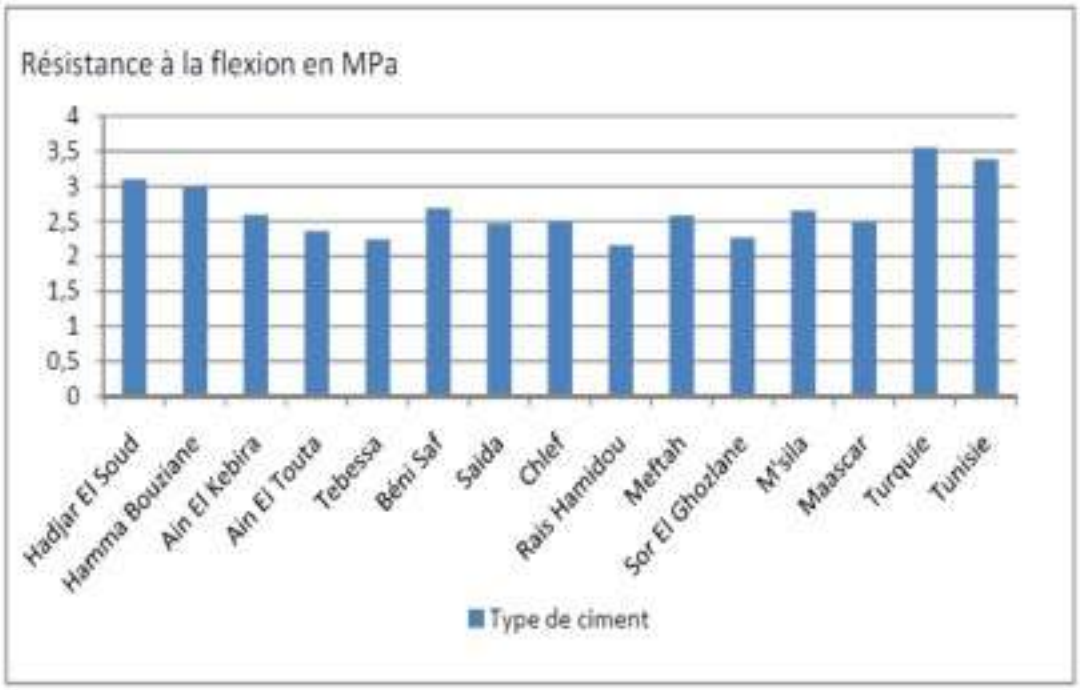


Fig. 1.13. Résistance à la flexion en fonction des différents ciments utilisés [3].

1.2.6.4 Influence du ciment sur l'absorption capillaire du béton

Les résultats des essais de sportivité appliqués sur des échantillons en béton fabriqués à base de ciment différents ont été trouvés par létude d'Azizi et al [3] et présentés dans les figures 1.14.a et 1.14.b.

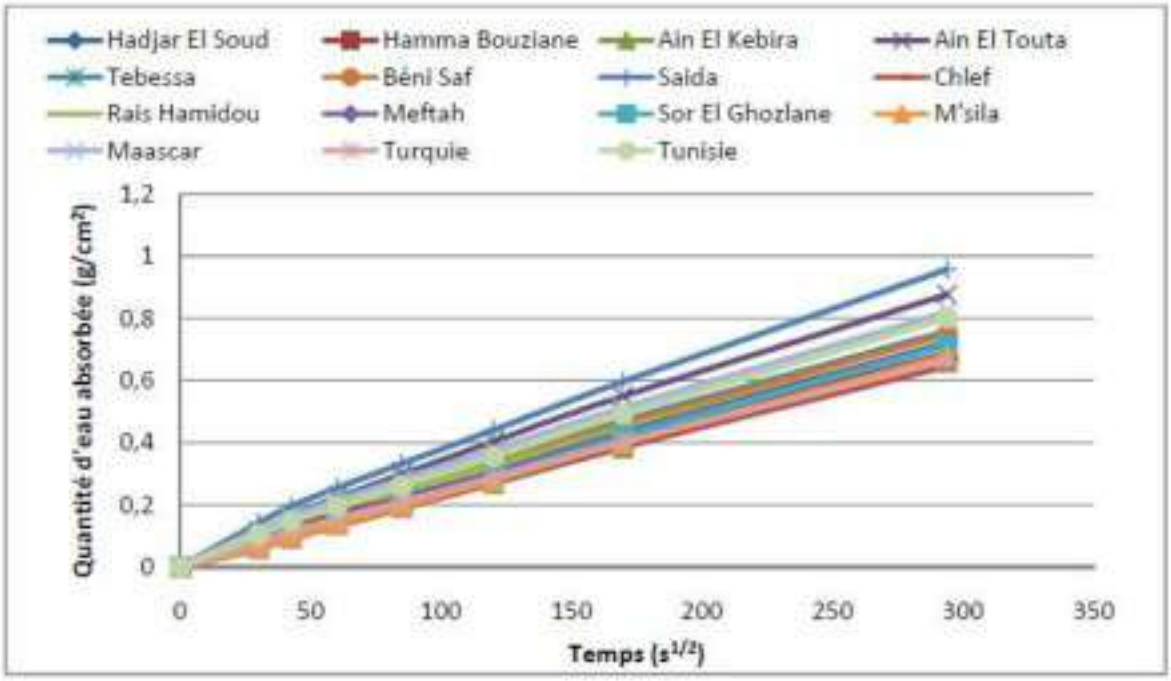


Fig. 1.14.a. Evolution de la sorptivité du Béton en fonction du temps jusqu'à 2 heures [3]

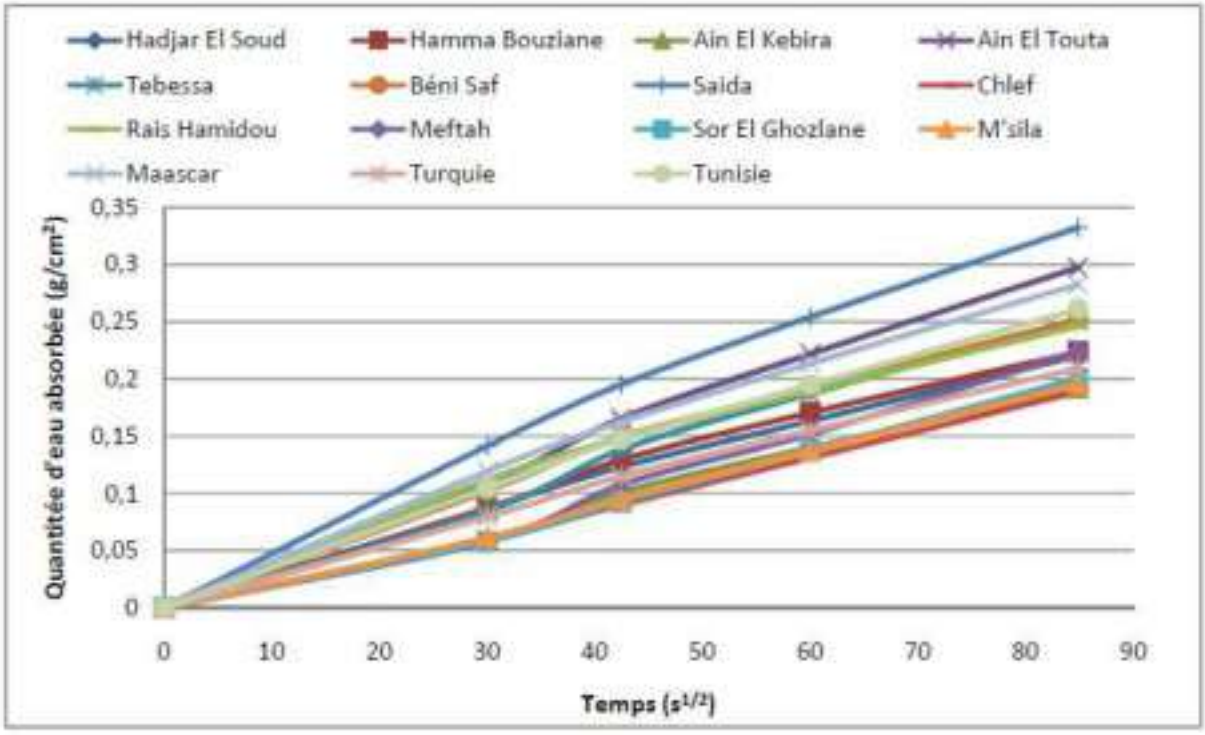


Fig. 1.14.b. Evolution de la sorptivité du Béton en fonction du temps jusqu'à 24 heures [3].

Les résultats obtenus montrent que La sportivité est influencée par le ciment utilisé en raison de la variation des finesses et l'ajout utilisé dans les différents ciments. Par conséquent, pour une même composition, la durabilité du béton est influencée par le choix du ciment à utiliser.

1.3 Le sable

1.3.1 Définition

On appelle sable le mélange meuble de grains de 0.063 à 4.00 mm, désigné par le symbole 0/D et peut résulter de l'altération naturelle des roches massives ou meubles et/ou de leur concassage ou de traitement thermique des roches ou par recyclage des matériaux. Le sable constitue l'agrégat essentiel dans la composition des mortiers et bétons où il assure la continuité granulaire entre le ciment et le gravier d'une part et une meilleure cohésion d'autre part, de plus il participe à la résistance à l'écrasement. [5]

Le sable est **naturel** s'il est issu des roches meubles ou massives d'origine minérale, n'ayant subi aucun traitement ou transformation autre que mécanique. Parmi les granulats naturels les plus utilisés pour le béton, on trouve les granulats qui proviennent de roches sédimentaires

siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres.

Le sable est dit **artificiel** : s'il provient de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou minerais (exemple : schiste expansé, argile expansée)

Le sable est dit **recyclé** : s'il provient de la démolition (matière inorganique) d'ouvrage ou lorsqu'il est réutilisé. [5]

1.3.2. Composition du Sable

- **Composition minéralogique:**

Les sables sont principalement constitués de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite. La couleur du sable est d'autant plus claire que la teneur en silice est élevée. Les sables sont toujours définis en fonction des constituants majoritaires : on parle ainsi de sable quartzeux, feldspathique, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier. Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux. [5]

- **Composition chimique :**

Le sable est un matériau qui contient différents éléments chimiques suivants :
(SiO_2 – Al_2O_3 – Fe_2O_3 – CaO – K_2O – SO_3), chaque élément a un pourcentage précis et varie d'un sable à l'autre.
D'après certaines recherches qui ont été faites par un chercheur, il a déduit les valeurs suivantes de chaque élément chimique :

Tableau 1.6.Composition chimique des différents sables [5]

Constituant	Sable concassé	Sable de mer	Sable de dune	Sable d'oued
SiO_2	2.50	46.48	94.19	83.65
Al_2O_3	2.63	3.68	1.95	4.50
Fe_2O_3	0.58	0.29	0.41	0.53
CaO	70.69	50.00	2.59	5.17
K_2O	/	/	1.14	2.28
SO_3	traces	traces	traces	traces

Les résultats trouvés montrent que les sables d'oued et des dunes contiennent des quantités importantes de silice, elle est de 94.19 % pour celui du sable des dunes et 83.65 % pour le sable d'oued, ces sables sont siliceux. En ce qui concerne le sable de mer et de concassage les pourcentages de silice sont respectivement de 46.48 % et 2.50 %, alors que celui du calcaire il est de 50.00 % pour le sable de mer et de 70.69 % pour le sable concassé, ces sables sont de nature calcaire. Les sulfates pour tous les sables sont à l'état de traces. [5]

1.3.3 Les différents types de sable [6]

On distingue plusieurs types de sable selon leur origine.

1.3.3.1 Les sables alluvionnaire

Ce sont des matériaux qui existent, dans certaines régions, en abondance dans la nature. Ils sont le résultat d'un processus complexe d'érosion et de sédimentation. Leur formation s'effectue en trois étapes successives : la décomposition sur place des différentes roches suivie d'un transport qui les amène à un dépôt où ils demeurent sous différentes formes.



Fig.1.15. Sable Alluvionnaire

Les sables alluvionnaires les plus rencontrés et les plus connus sont :

- **Les sables de rivière :** rencontrés se trouvent soit dans des oueds à écoulement fréquent de la bordure de l'Atlas (dépôts actuels), soit dans des lits d'anciens oueds dont l'écoulement remonte à des époques géologiques antérieures. Les principaux types retenus pour les usages routiers sont les suivants:



Fig.1.16. Les sables de rivière

- **Sable graveleux :** ou non à granulométrie assez étalée et avec fines (15 à 30 %). On l'utilise pour la couche de fondation et la couche de base (technique du sable-argile);



Fig.1.17. Sable graveleux

- **Gros sable :** de préférence graveleux à granulométrie étalée pour enrobés (enrobés à froid lorsqu'il y a assez de grossiers ou sable enrobé à chaud).



Fig.1.18. Gros sable

- **Les sables marins :** Les éléments de petite taille, peu affectés par l'action fluviatile, parviennent à la mer et s'y trouvent au fond. Ils sont mélangés à d'autres éléments provenant de l'action d'arrachement de la mer aux côtes et finissent par se déposer après avoir subi un long frottement. Les sables marins se caractérisent par leur petite taille de forme anguleuse.
- **Les sables marins littoraux** : On trouve ces sables dans les régions littorales. Ils se caractérisent par une granulométrie uniforme, des grains fins qui peuvent contenir de grandes quantités de minéraux rares; ils peuvent aussi avoir de fortes teneurs en calcaire ou en être complètement privés.



Fig.1.19. Sables marins

- **Les sables fluviatiles :**

On les trouve dans les fleuves et les rivières et éventuellement sur leurs côtes; ce sont des restes d'altération transportés par ces cours d'eau et déposés avant d'atteindre la mer. En raison

de la courte distance de transport, les grains de ces sables sont plus grossiers, mal concassés et présentent une forme anguleuse et un aspect très rugueux.



Fig.1.20. sable fluviatiles

- **Les sables éoliens** :

Ils sont constitués de grain de sable d'origine quelconque et se trouvent dans plusieurs régions du désert sous forme de dunes, qui occupent des vastes surfaces (exemple de sud algérien). Leur origine est très différents, ils sont pris et déposés par le vent. Ils se caractérisent par une granulométrie uniforme de taille moyenne (autour de 5mm), de grains arrondis et dépolis à cause de nombreux chocs entre eux. La vitesse du vent, son pouvoir portant ainsi que les distances de transport sont les seuls facteurs qui déterminent la taille des grains**. [7]**



Fig.1.21. Sables éoliens

1.3.3.2. Sables de dune

Le sable est l'un des matériaux les plus abondants au Sahara et parfois le seul dans de vastes zones. Les différents types de sables sahariens sont [Ben Dhia, 1998 et Domec, 1980]:

- **Sables de dune éoliens** Les dunes sont constituées de sable plus ou moins fin, à granulométrie serrée ou très serrée.
- **Sables de regs :** Le reg est une formation de surface qui recouvre de vastes zones plates ou à relief très mou. L'action du vent a balayé le sable fin et enrichi la surface d'éléments plus gros tels les cailloux, gravier, gros sable, qui se trouvent disposés d'une manière régulière.
- **Sables géologiques :** en place On peut ranger sous cette dénomination des formations continentales de sols fins, tels les sables argileux du continental intercalaire (appelé parfois albien), qui affleurent à la bordure ouest et sud du Sahara central et oriental (Reggane, Adrar, In Salah, plateau du Tahouratine).
- **Sables gypseux :** Nous rangeons dans une catégorie spéciale et en raison de leur large utilisation routière, des sables contenant des proportions variables de gypse et étant soit des sables géologiques en place, soit des dépôts alluvionnaires.
- **Sables gypso-calcaires :** Dans les plateaux entre Ouargla et Hassi Messaoud, on trouve sous une dalle de calcaire assez dure de surface, un mélange de cailloux calcaires mi-durs et de sable gypso-calcaire. Ce tout venant a été utilisé pour la route Ouargla/ Hassi Messaoud. Ces sables n'ont pas été utilisés seuls jusqu'ici**. [8]**



Fig .1.22. Différents types de sable de dune

1.3.3.3 Sable normalise:

Le sable normalisé est un sable naturel, siliceux (le plus quartzeux possible en particulier dans sa partie fine), propre, à grains arrondis et secs. Il est constitué par un mélange de sable avec un appoint de sable fin quartzeux. **[9]**



Fig.1.23. Sable normalisé

1.3.3.4 Les sables de concassage

Les sables de carrière (concassage) sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées.

Les sables de concassage présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage.
La valorisation des sables de concassage dans l'emploi des bétons constitue une action d'intérêt général et de portée nationale.

Ces types de sables contiennent souvent une quantité exagérée de fines dont la forme de grains est irrégulière, généralement de forme anguleuse. La fragmentation des roches notamment des calcaires s'accompagne de la production d'éléments très fins. La nature et la dureté de la roche influent sur la forme des grains pour un même mode de concassage. **[8]**



Fig.1.24. Sable de concassage

1.3.4 Elaboration de sable de concassage [6]

Les sables de concassage présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, degré de concassage. La valorisation des sables de concassage dans l'emploi des bétons constitue une action D'intérêt général de portée nationale. Actuellement en Algérie, les sables de concassage par leur méconnaissance, ils sont les moins recherches que les sables d'oued ou de mer par l'absence de normes ou des règles qui définissent leurs caractéristiques ainsi que leur limite d'emploi. Devant ce constat, le centre national d'études et de recherche intégrée du bâtiment (CNERIB) a été charge par la commission technique permanente du ministère de l'habitat et de l'urbanisme (CTP), de mener des travaux de recherche permettant la valorisation des sables de concassage, fabriqués par le potentiel national de production, pour la confection des mortiers et bétons. Ces types de sables sont les résidus de la production des graviers et gravillons, ils contiennent Souvent une quantité exagérée de fines. L'élaboration de sable de concassage a partir de roches meubles ou massives nécessite un certain nombre d'opérations , Les caractéristiques géométriques (granularité) et de Propreté des sables dépendent du processus d'élaboration dans les installations de traitement.

✓ **L'extraction**

L'ensemble des opérations d'extraction de la roche dans le gisement peut etre defini dans un plan d'exploitation qui traite :

- De la reconnaissance du gisement ;
- De l'enlèvement de la découverte ;
- Des méthodes d'extraction ;
- De l'organisation des fronts ;
- De l'homogénéisation des produits extraits et, s'il y a lieu, de la dilution.

Dans les roches massives, l'extraction se fait par minage suivant des plans de définis permettant d'obtenir un produit de bolomètre de l'ordre de 0/1000 mm

✓ **Le concassage et le broyage**

La fragmentation des matériaux se fait par concassage et broyage, les producteurs de granulats appellent concassage la fragmentation grossière et broyage l'élaboration de sables, petits gravillons et fillers. Leur rôle est de réduire les dimensions des éléments pour obtenir la granularité souhaitée et pour améliorer leur forme.

Les appareils utilisés se divisent en trois grandes catégories

- Les appareils travaillant par écrasement lent ;
- Les appareils travaillant par chocs ;
- Les appareils à effets multiples, travaillant éventuellement par gravité

✓ **Le criblage**

C'est l'opération qui permet de séparer et de classer un ensemble de grains 0/D provenant de l'extraction et /ou de concassage en sous-ensembles 0/Di ou di/Di. Elle se fait au moyen de cribles vibrants inclinés, constitués par un caisson équipé de grilles mis en vibration, le plus Souvent, par un arbre balourd, le tout étant supporté par une suspension souple (ressorts, tampons en caoutchouc)

➢ Le lavage, Le défanage

• Le lavage des granulats

Il a pour but d'éliminer les éléments de pollution (argiles) et l'excès des fines. On Peux suivant le degré et le type de pollution faire :

- Un lavage après extraction (sur gros appareil débourbeur)
- Un lavage sur crible sur le tout venant et/ou les gravillons
- Un lavage du sable en fin de parcours.

Le lavage des sables consiste en une mise en suspension dans l'eau dans un cone séparateur qui rejette les eaux boueuse de lavage et délivre une pulpe traitée dans un séparateur fluidique éliminant les fines (roues ou vis laveuses, hydro cyclones).

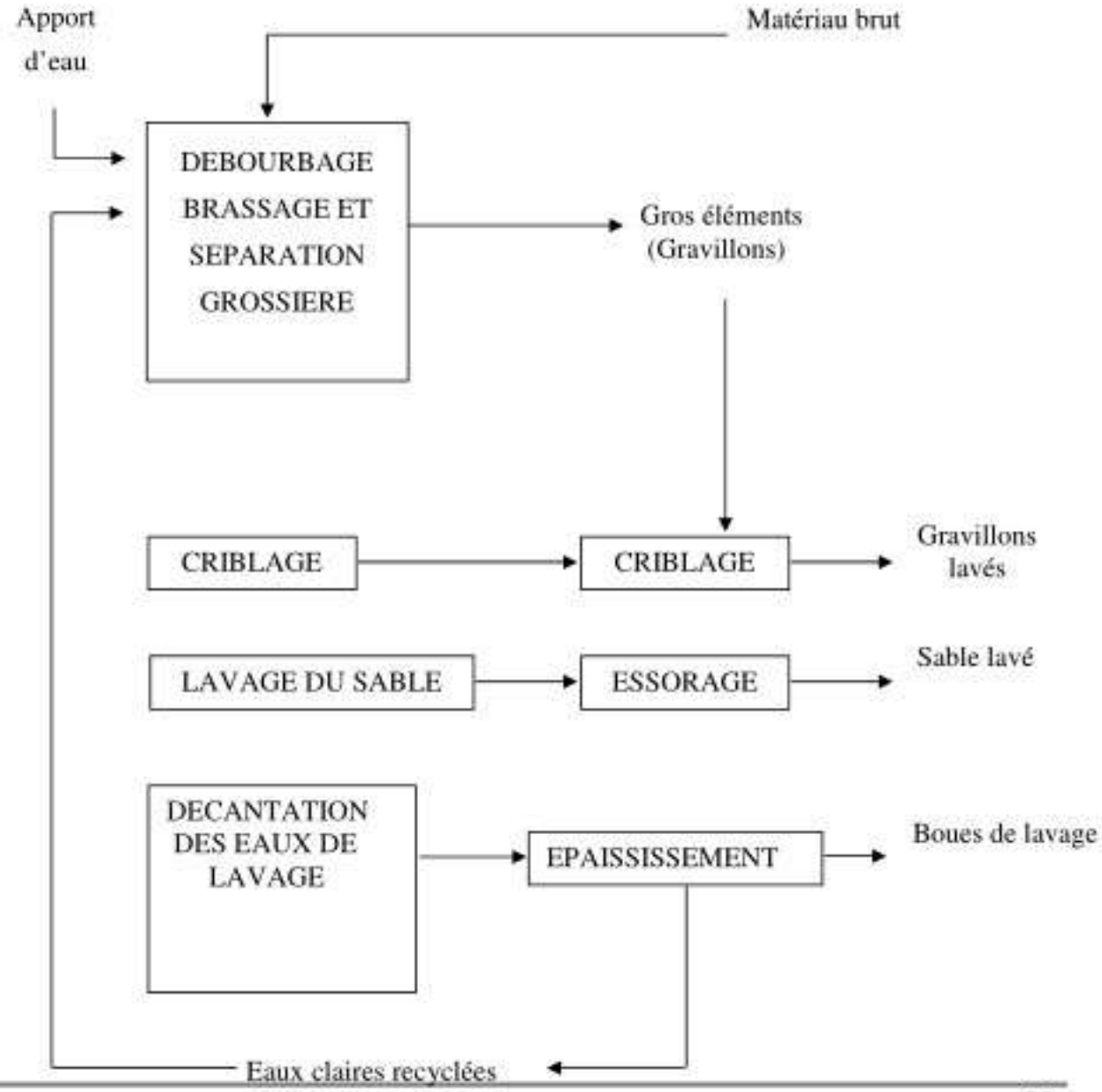


Fig. 1.25 . Schéma général des opérations de lavage [4].

- **Le défanage à sec**

Il a pour but d'éliminer par voie sèche l'excès de fines de broyage des sables. Il ne peut se faire que sur des produits très peu pollues par de l'argile (valeur de bleu inferieure a 1) et secs (humidité inférieure à 0.6-0.8%). Dans les cas d'humidité plus élevée, il faut sécher le produit avant défanage. Dans des conditions faciles (produit non pollué et sec), pour éliminer un excédent de fines, des systèmes du type goulotte



Fig.1.26. Les principales étapes de l'élaboration de Sable de Concassage

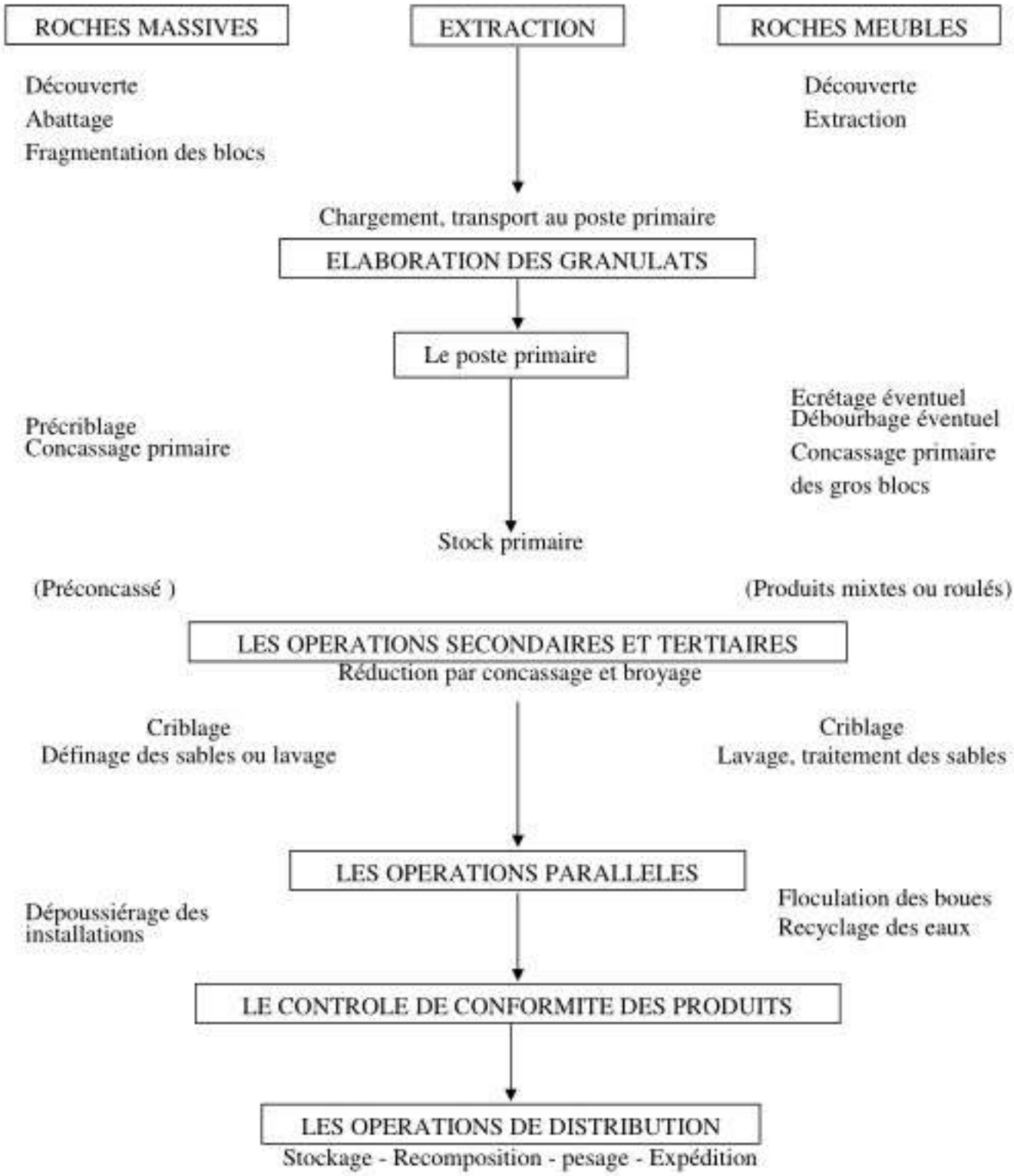


Fig. 1.27. Extraction et élaboration des sables de concassage

1.3.5 Le béton de sable de concassage

En les récentes années, il a eu lieu un intérêt croissant de l'utilisation du sable concassé obtenu des carrières de calcaire dans quelques pays où le sable alluvionnaire n'est largement disponible. D'ailleurs, la demande en agrégats pour produire le béton est encore élevé pendant que les ressources naturelles sont en décroissance.

Une large quantité de matériau à la dimension de filler est produite durant le processus de concassage des calcaires peu solides en particulier, qui peut être utilisée comme agrégat. L'utilisation de ce matériau est bénéfique pour l'amélioration du béton de sorte à décroître le contenu en air. Pour plusieurs années, le calcaire a été de plus en plus utilisé dans le béton comme gros agrégat, filler ou constituant principal du ciment. Il est utilisé dans le béton haute performance comme dans celui d'ordinaire. Comparé au béton ordinaire, avec le même rapport E/C et même ciment, le béton avec une teneur élevée de filler et une répartition convenable, possède généralement des caractéristiques améliorées dans la résistance.

Certaine quantité de fillers dans le béton favorise l'amélioration de cohésion. Cependant, une quantité excessive de fillers tend à croître le besoin en eau et dégrade l'adhérence agrégat-pâte du ciment. Les fillers aident à réduire le contenu total d'air dans le béton. Par conséquence, ça va contribuer à améliorer la qualité du béton. La poussière du calcaire concassé est utilisée comme matériau filler dans le ciment, ou agrégat pouvant avoir quelques effets bénéfiques sur le béton dépendant du taux de substitution et de la composition chimique de la poussière.
En vue de ceci, il est donc nécessaire de contrôler le contenu d'agrégat en argile, limon et la poussière fine. ASTM C 33 et BS 883 ont mis des limites maximales entre 3 et 15 % de la masse du sable, selon le type du matériau.

L'effet de l'ajout de fillers calcaires au ciment utilisé dans la confection de mortier et béton, à l'état frais et à l'état durci, a été le sujet de plusieurs recherches durant des années ; mais des travaux moindres, ont été faits pour étudier l'effet de l'ajout fillers calcaires au sable, sur les propriétés du béton.

Les granulats concassés issus de roche massive conviennent à la confection des bétons hydrauliques et à l'exécution des travaux de viabilité courants [7].

Les bétons confectionnés à partir de granulats concassés de roche massive ont une moins bonne maniabilité que les bétons de granulats alluvionnaires. Ceci est dû à la nature anguleuse, écaillée et allongée de grains de granulats concassés [8]. Pour atteindre une maniabilité comparable à celle des bétons de granulats alluvionnaire, il est nécessaire d'apporter une quantité d'eau supérieure au mélange et d'augmenter le dosage en ciment dans des proportions variant de 10 à 30 kg/m3 [9].

Toutefois, la demande en eau des bétons de granulats concassés peut être réduite en utilisant du sable alluvionnaire comme granulat fin. L'addition d'un plastifiant est également recommandée toujours dans le but d'améliorer la maniabilité des bétons frais [10].
Concernant la résistance mécanique, les bétons fabriqués avec des granulats concassés de type basalte ont généralement des résistances à la compression supérieures à celles des bétons de gravillons alluvionnaires [11, 12].
Par ailleurs, à résistance à la compression égale, les résistances à la flexion des bétons de gravillons concassés peuvent être entre 10 à 20 % supérieures à celles des bétons de gravillons alluvionnaires [12]. (a cause de l'adhérence)

D'après **Coquillat et Lesage** [13], en France, Les teneurs en fines déterminées expérimentalement comme optimales sont très voisines de celles résultant de la production industrielle des sables, résultat économiquement très intéressant. Pour 9 ou 10 sables sur 12, les résistances mécaniques des mortiers sont égales ou supérieures à celles du mortier normal. Pour les sables de basalte, de gneiss, d'andésite, de microdiorite, la résistance du mortier à fort dosage en ciment est supérieure de 20 à 25 % à celle du mortier normal.

Ahmed E.Ahmed et Ahmed A.El-Kourd [14] ont étudié l'influence des particules fines (fillers) de deux sables sur la performance du béton frais et durci. Ces sables utilisés dans le béton à Riyadh, la capitale de l'Arabie-Saoudite, sont soit du sable naturel d'oued ou fabriqué issu des pierres concassées. En général, les deux sables sont dérivés des roches calcaires. Les résultats indiquent que le besoin en eau croit rapidement quand le remplacement des fines dépasse plus de 5 % pour le béton de sable naturel et plus de 15 % pour le béton de sable concassé. Cependant, la résistance à la compression pour les bétons de même consistance décroît linéairement en augmentant le pourcentage des particules fines en substitution (Figures 1.28 et 1.29). La résistance à la flexion et d'adhérence en ont la même allure. Pour les bétons ayant le même rapport E/C, l'incorporation des particules fines provoque des

réductions significatives du slump. En revanche, la résistance à la compression du béton au sable naturel n'était pas affectée d'une façon significative par l'incorporation des particules fines, le béton au sable concassé a indiqué une augmentation dans la résistance. Les résultats de cette étude indiquent aussi que les taux limites de fillers inférieures à 75 µm sont de 5 à 10 %, respectivement, pour les bétons à sable naturel et à sable concassé de la région de Riyadh. Quand l'ouvrabilité de ces bétons est améliorée par des réducteurs d'eau, l'augmentation de ces limites de 7 à 15 %, respectivement, n'aura pas d'effets significatifs sur l'air occlus, la résistance à la compression et la contrainte d'adhérence du béton ; et par conséquent, ça sera acceptable.

Le retrait de dessiccation de bétons à sable naturel et à sable concassé de même slump (100 mm) croit avec l'augmentation de substitution de fillers. Aucune différence n'a été observée entre les valeurs du retrait pour les deux bétons ayant la même substitution.

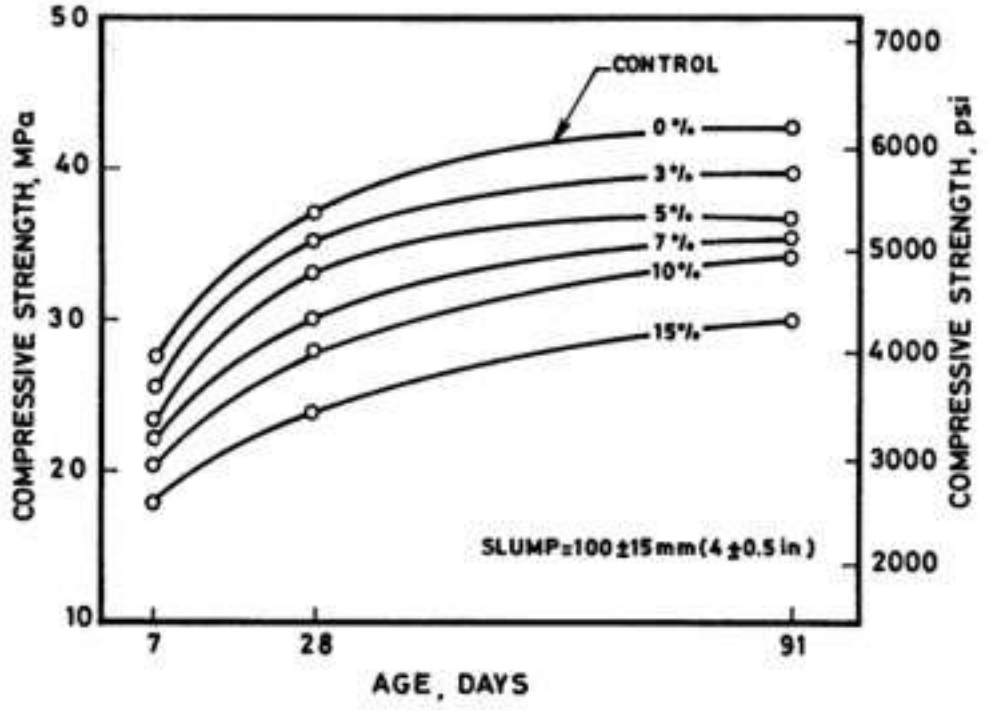


Fig.1.28. variation de la résistance à la compression en fonction d'age du béton à sable naturel avec un slump de 10 mm [14]

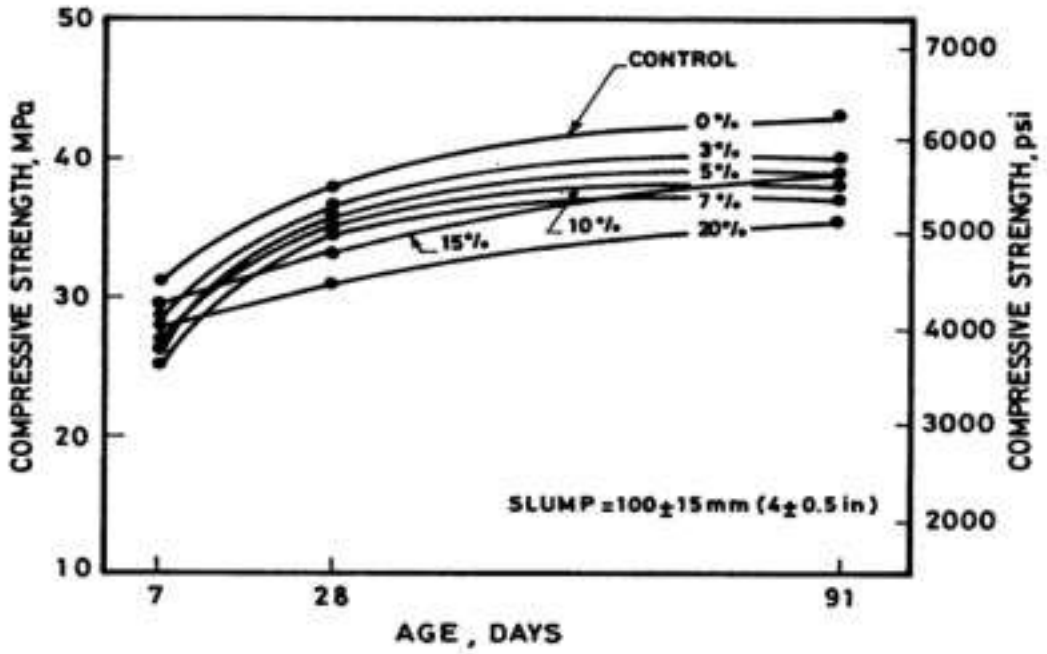


Fig.1.29. variation de la résistance à la compression en fonction d'age du béton à sable concassé avec un slump de 10 mm [14]

Sadhouari et al [15], de l'université d'Oran, ont conclu que la présence des fines en proportion modérée (entre 5 et 15 %) dans un sable est une nécessité (**Figure 1.30**), les résultats obtenus avec différents pourcentages de fines, ont mis en évidence l'intérêt de l'ajout des fillers calcaires pour l'amélioration des performances mécaniques des mortiers et bétons. Donc, le sable de concassage constitue une solution idéale au problème d'approvisionnement à condition qu'il soit corrigé en fines ou combiné avec un sable de mer.

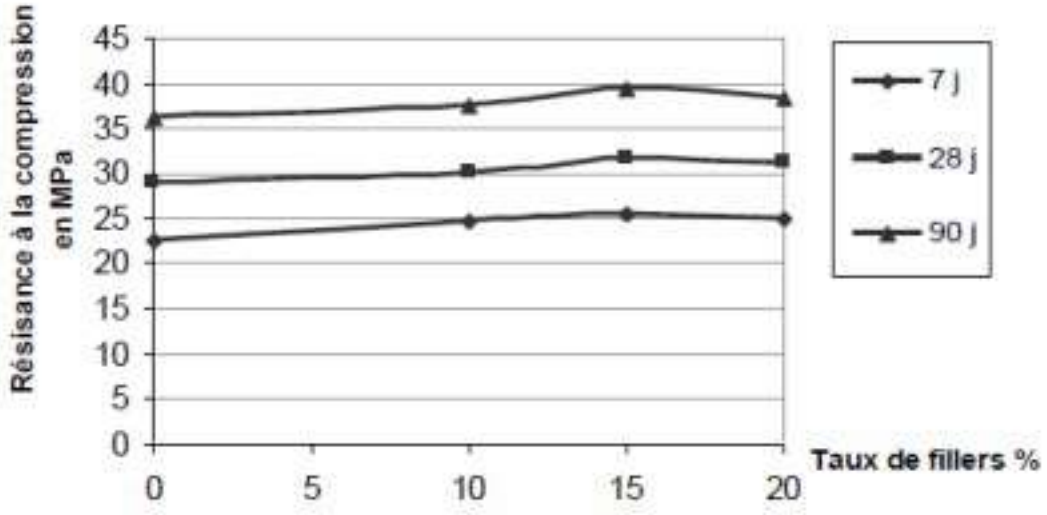


Fig. 1.30. Variation de la résistance à la compression des bétons en fonction du taux de fillers (Kristel). [15]

Hachaichi et Behim [16], de l'université d'Annaba ont montré que la substitution du sable naturel par les déchets de concassage ne répond pas uniquement à un souci environnemental mais contribue à l'amélioration de certaines propriétés mécaniques notamment la résistance en compression et physiques. La substitution du sable roulé par le sable concassé donne des résultats intéressants, notamment en compression. La présence des fines calcaires améliore la compacité du mélange par effet de remplissage et accélère l'hydratation du ciment à court terme par effet physique.

Makhloufi et al [17], de l'université de Laghouat, ont fais une étude aboutissant à la conclusion suivante: Les bétons fabriqués à partir des granulats calcaires concassés du Turonien de l'Atlas Saharien Central, ont un comportement mécanique qui se rapproche de celui des bétons fabriqués par des granulats alluvionnaires siliceux et silico-calcaires, puisque pour des maniabilités plastiques du béton frais, et après 28 jours de conservation dans un environnement ambiant, la résistance à la compression peut atteindre 25 MPA.

Alshahwany [18], après une recherche expérimentale sur, l'influence des fillers calcaires comme substitution partielle au sable sur les propriétés du béton à base agrégats de rivière, a conclu que l'affaissement décroît avec l'augmentation du taux de filler calcaire, alors que le besoin en eau croit légèrement avec l'augmentation de ce dernier, tandis que la résistance à la compression du béton croit avec l'augmentation du taux de substitution de filler dans le sable ; ainsi le béton constitué avec 20 % de substitution a donné la valeur élevée de résistance de compression. De plus, le remplacement partiel du sable par le filler calcaire à un taux de 20 % fait augmenter la résistance à la traction par fendage.

Kherbache et al [19], ils ont étudié les granulats produits par deux carrières de la wilaya de Bejaia, sont arrivés aux conclusions suivantes :

Les sables de concassage peuvent être utilisés dans les bétons de structure si la qualité et le taux de fines sont conformes aux spécifications en vigueur et que la composition optimale est à 10 % de fines pour les résistances à la compression. Par contre pour le retrait c'est l'inverse (retrait maximal à 10 % de fines) ; Afin de concilier résistance à la compression importante et retrait faible, on peut admettre que le taux de fines de 15 % est acceptable à condition d'utiliser des adjuvants et un meilleur contrôle des fines argileuses (essai au bleu de méthylène).

Ćurčić et al [20], ont utilisés différents types d'agrégats (de rivière, calcaire, andésite, diabase et basalte, ils ont tenté d'étudié l'influence de ces agrégats sur la consistance du béton, ils ont trouvé que les fines des agrégats concassés ont une importante influence sur la consistance puisqu'ils font diminuer l'ouvrabilité du béton .En revanche, la substitution avec les agrégats de rivière améliore l'ouvrabilité. D'autre part, le type d'agrégat a aussi une influence sur la consistance. On peut citer leurs conclusions dans les points suivants :

✓ Les consistance obtenues des deux méthodes slump test ou Vébé ont une excellente concordance.

✓ Quand le rapport E/C croît de 0.45 à 0.65, la consistance du béton change de ferme à liquide sans se soucier du type d'agrégat.

✓ Dans les mélanges aux agrégats concassés, les fines de pierres concassées ont une influence défavorable sur la consistance du béton à l'état frais.

✓ Les imperfections des fines des agrégats concassés disparaissent après sa substitution avec celles d'agrégat de rivière.

✓ Au rapport E/C de 0.55, il y a une importante influence du type d'agrégat sur la consistance du béton, tandis qu'au rapport E/C de 0.65, cette influence se minimise.

✓ Pour le béton confectionné d'agrégats concassé avec des fines de rivière, l'influence du type d'agrégat croit avec l'augmentation du rapport E/C.

✓ Pour le béton moderne, l'usage des superplastifiants parait nécessaire.

Ltifi et al [21], ont mené une étude sur l'effet de la substitution totale ou partielle de sable alluvionnaire par le sable de concassage sur le comportement de béton hydraulique et notamment sur la résistance à la compression. La conclusion de cette étude est que les résistances à la compression des différents bétons étudiés sont dans la même fourchettes de résistance (+10MPa), ce qui conduit à penser que le béton calcaire ne se distingue pas particulièrement, sur cet aspect, des bétons classiques. Ainsi, on peut conclure que ces matériaux locaux (sables de concassage) peuvent remplacer avantageusement le sable siliceux. Mais ont une influence importante de pourcentage des fines, on peut bien améliorer la qualité du béton calcaire en essayant d'enlever les fines, une voie possible mais délicate.

D'après **Sven-Henrik** [22], le contenu en fines du sable concassé est encore important. Il est souvent très élevé dans le sable concassé que le sable naturel (alluvionnaire) parce que les fines de ce dernier ont été lavées au cours de sa production naturelle. Les normes industrielles, comme ASTM C33 et les spécifications d'agrégats des producteurs du béton, permettent des taux limités de fines dans le sable. Malgré que des recherches récentes et des exemples commerciaux davantage indiquent les avantages d'utiliser des taux élevés des fines, le taux optimal des fines varie en fonction du type du béton à fabriquer de ces sables. Désormais, il y a un besoin de séparer les fines du sable puis les ajouter, sans se soucier du taux désiré. Une recherche du Chili (CDT - Corporación de Desarollo Tecnologico) a été faite pour établir le taux optimal des fines pour différents types de propriétés du béton (Figure 1.31).

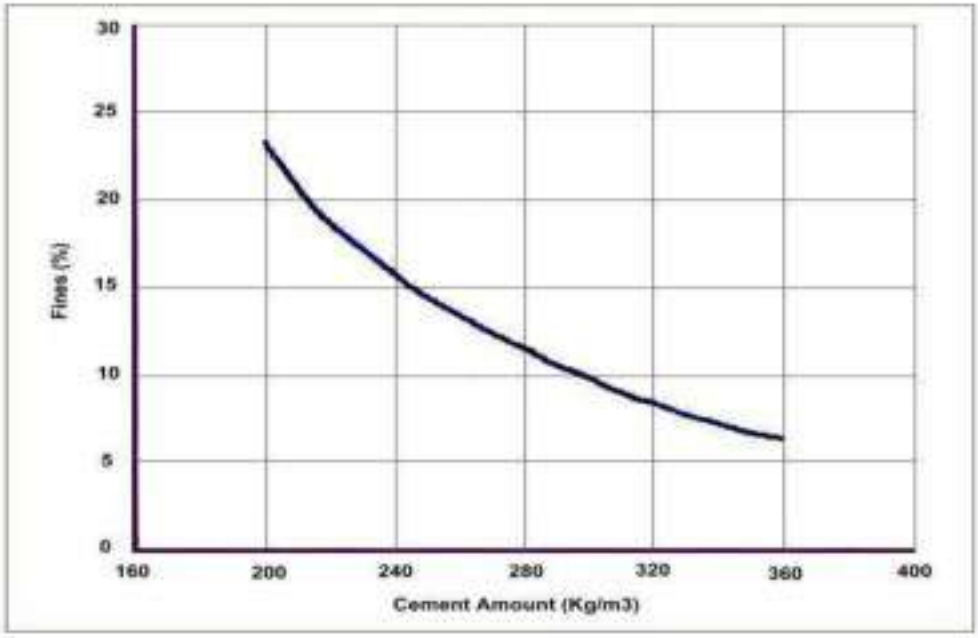


Fig. 1.31. Le taux optimal des fines pour différents types de propriétés du béton - [22] tiré de CDT

A titre d'exemple, on présente ci-dessous, une méthode révolutionnaire pour la solution du problème d'excès des fines dans le sable concassé, créée par la compagnie Metso minerals. [22]

Les équipements de Metso minerals pour le sable ont été basés rationnellement sur l'efficacité des systèmes de concassage et filtrage pour réduire les pertes de production et offrir un produit de qualité stable. Cela permettra aux producteurs de minimiser les frais de production tout en préservant un rendement élevé de produits.

Pour assurer une bonne qualité de sable concassé, tout le matériau doit passer au moins une fois par le concasseur. Typiquement, le sable concassé contient en excès de matériau de 0 à 0.25 mm en comparant avec les spécifications de la courbe enveloppe de granulométrie largement utilisée dans l'industrie. Cette solution est tout à fait loin des pratiques opérations de classification pour la plupart des tamis vibrants, avec la méthode traditionnelle d'enlever ces fines à travers les équipements de processus de mouillage comme les roues de sable ou les hydrocyclones. Les séries de Nordberg AC de classification par classificateur d'air emploient l'air au lieu de l'eau pour enlever les fines du sable concassé. Les avantages sont à la fois :

1. pas besoin d'eau ou traitement d'eau qui coûte cher.

2. un produit sec veut dire une économie en production car il n'y a pas besoin de séchage du produit.

1.6. Conclusion

Dans ce chapitre, on a tenté de faire une revue bibliographique sur le béton de ciment, le ciment (historique, fabrication, Types, influence sur le comportement du béton), ainsi que le sable de concassage et leur utilisation dans le béton (en présentant certains résultats de recherches faites en Algérie et à l'étranger, relatifs à la valorisation de ce sable comme substitution au sable alluvionnaire dans la fabrication du béton).

Nous nous sommes rendu compte il est indispensable de connaître les différentes propriétés du ciment avant son utilisation pour fabriquer le béton. Nous avons constatés aussi que, le sable concassé constitue une bonne alternative en matière de manque d'approvisionnement en sable alluvionnaire. Les résultats obtenus par plusieurs chercheurs sur le béton à base de sable de concassage apparaissent prometteurs, mais des études approfondies sur les propriétés de ce béton s'imposent davantage en vue d'une meilleure utilisation du sable de concassage dans les bétons et les mortiers.

CHAPITRE 2 :

Matériaux et Essais

2.1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux de notre étude et les techniques expérimentales utilisées. On présente en première partie les caractéristiques et les propriétés des matériaux de base utilisés dans la composition des différents bétons. Dans une seconde partie, on exposera la méthode de formulation adoptée dans les différentes compositions des bétons. Ensuite, on présente les essais réalisés au cours de notre investigation sur les bétons à l'état frais et à l'état durci.

Le béton caractérisé à l'état frais par les essais spécifiques suivants :

- L'ouvrabilité
- La densité

A l'état durci nous avons évalué la résistance à la compression et la résistance à la flexion aux différents âges.

En ce qui concerne l'étude de la durabilité, nous avons réalisé les essais suivants :

- L'absorption d'eau par capillarité.
- Les variations dimensionnelles (retrait et gonflement)
- Les variations massique (perte de et gain de masse)

2.2 Matériaux utilisés

2.2.1 Les ciment :

Trois types de ciment ont été utilisés au cours de cette étude.

- **Ciment MATINE**

Le premier type de ciment utilisé dans cette étude est le ciment portland composé ''MATINE '' CPJ-CEM II/A 42.5, qui a une résistance minimale à la compression à 28 jours de 42,5 MPa (Fig 2.1), une masse spécifique de 3,1 g/cm^3 ,et une finesse de 3964 (cm²/g) produit par la cimenterie d'Oggaz (Mascara) dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme NA 442 **[22]**.MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile. Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'aluminium (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). Ils sont rendus

aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 °C et 1500°C.

En présence d'eau à lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés. MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physicochimiques conforment à la norme NA 442 **[22]**, et à la norme NF P 15-301 **[23]**.



Fig. 2.1 : Ciment MATINE

Le tableau 2.1 résume la composition chimique et le tableau 2.2 représente la composition minéralogique du ciment utilisé. Les caractéristiques physicomécaniques sont représentées dans le tableau 2.3. L'analyse chimique du ciment menée par rayon X met en évidence l'existence des éléments de la composition minéralogique (Fig. 2.2).Néanmoins, cette analyse a un aspect qualitatif et non quantitatif. Cette analyse confirme l'existence des C_3S, C_2S, C_3A et C_4AF.

Tableau 2.1. Composition chimique des ciments MATINE

SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	CaO_{libre}	Cl	$R_{insо}$	PF
23.83	6.05	4.66	56.35	2.44	0.83	0.58	2.37	0.76	0.035	6.51	2.23

Tableau 2.2. Composition minéralogique des ciments MATINE

C3S	C2S	C3A	C4AF	CaO libre	Gypse	Ajout
59	16	7	12	1	5	17 % calcaire

Tableau 2.3 : Essai physiques sur le ciment MATINE

Essais	Norme
Consistance normale de la pâte de ciment (%)	25.50-28.00
Retrait à 28 jours (mm/m)	< 1000
Expansion (mm)	0.50 – 2.50
Début de prise (min)	120 – 180
Fin de prise (min)	210-280

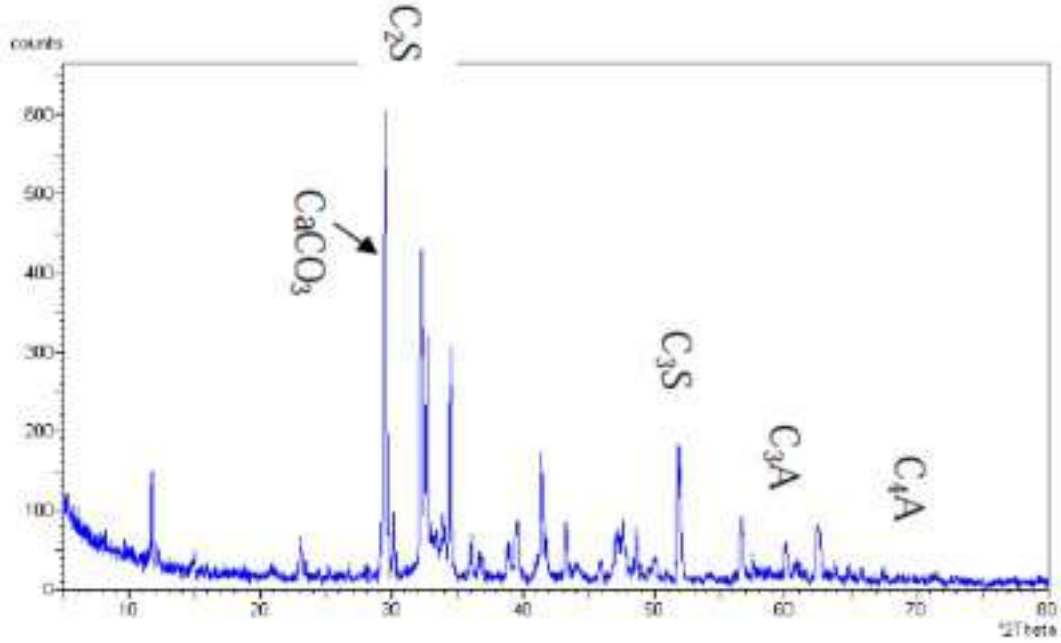


Fig.2.2: Diagramme de DRX appliqué sur le CEM II/B 42.5 MATINE.

➢ Ciment Sor-El Ghozlane :

Le deuxième type de ciment utilisé au court de ce travail est du type CEMII/A 42.5 ''Sor-El Ghozlane '' fabriqué par la cimenterie de Bouira en Algérie (Fig 2.1, qui a une résistance minimale garantie à la compression à 28 jours est de 42.5 MPa, masse spécifique est de 3,15 g/cm^3, et une finesse est de 4125 (cm^2/g).

Le tableau 2.4 résume la composition chimique et le tableau 2.5 représente la composition minéralogique du ciment utilisé. Les caractéristiques physicomécaniques sont représentées dans le tableau 2.6.



Fig 2.3: Ciment Sor-El Ghozlane

Tableau 2.4. Composition minéralogique de ciment Sor-El Ghozlane

SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	SO3	CaO_{libre}	Cl	R_{inso}	PF
19.26	4	3.34	63.3	2.29	0.58	0.18	1.59	0.72	0.009	0.74	5.13

Tableau 2.5. Composition minéralogique de ciment Sor-El Ghozlane

C3S	C2S	C3A	C4AF	CaO libre	Gypse	Ajout
59	16	7	12	1	5	17 % calcaire

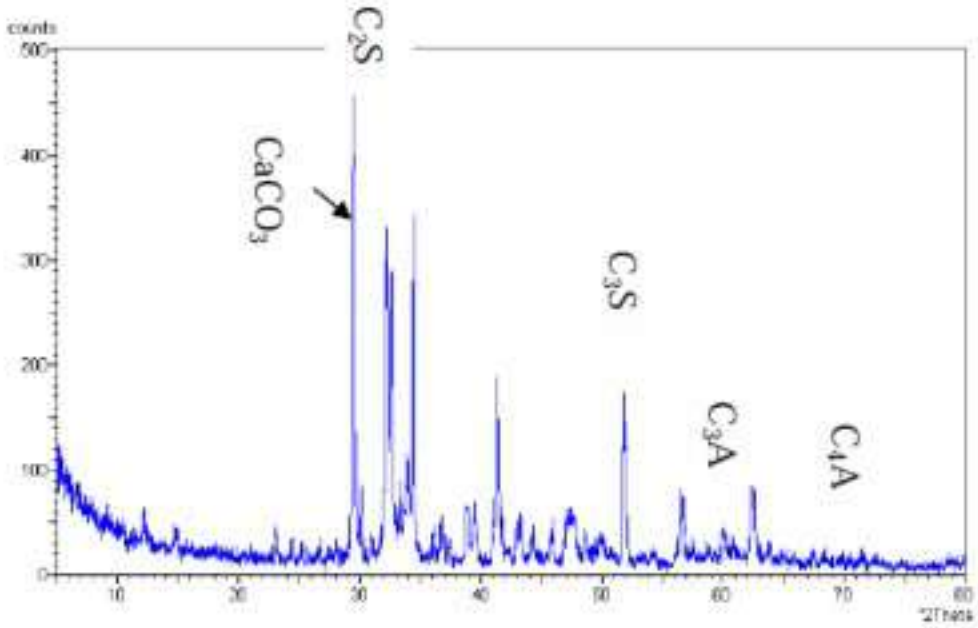


Fig.2.4: Diagramme de DRX appliqué sur le CEM II/B 42.5 Sor-El Ghozlane .

Tableau 2.6 : Essai physiques sur le ciment Sor-El Ghozlane

Essais	Norme
Consistance normale de la pâte de ciment (%)	25.50
Retrait à 28 jours (mm/m)	< 1600
Expansion (mm)	1.50 – 2.50
Début de prise (min)	170
Fin de prise (min)	250

- **Ciment Portugal**

Le Troisième type de ciment utilisé au court de ce travail est du type CEMII/A 42.5 'Portugal '' fabriqué par la cimenterie de CIMPOR en Portugal (Fig. 2.1) qui a une résistance minimale garantie à la compression à 28 jours est de 42.5 MPa, masse spécifique est de 3,14 g/cm^3, et une finesse est de 4192 (cm^2/g). Les caractéristiques physicomécaniques sont représentées dans le tableau 2.7.



Fig.2.5 : Ciment Portugal

Tableau 2.7 : Essai physiques sur le ciment Portugal

Essais	Norme
Consistance normale de la pâte de ciment (%)	27.50
Retrait à 28 jours (mm/m)	< 1800
Expansion (mm)	1.60 – 2.30
Début de prise (min)	180
Fin de prise (min)	240

2.2.2. Les granulats

a) Les sables

Trois sables ont été utilisés au cours de ce travail (Fig. 2.6) :

- Un sable d'El_hachimia
- Un sable d'El_hamdania
- Un sable de dune de Hassi Bahbah est utilisé pour la correction des deux types de sable précédente.

La courbe granulométrie des sables utilisées est représentée dans la figure 2.7, et les déférentes caractéristiques physiques sont donnés dans le tableau 2.8.



Sable d'El_hachimia



Sable d'El_hamdania



Sable de Hassi Bahbah

Fig.2.6 Les sables utilisés

Tableau 2.8 caractéristiques physiques des sables utilisés

Caractéristique	Sable d'El_hachimia	Sable de EL_hamdania	Sable de Hassi behbeh	Sable corrigé 01*	Sable corrigé 02*	Normes
Module de finesse	3.33	3.9	0.86	2.5	2.75	NF EN 933-1
Masse volumique absolue (g/cm³)	2.74	2.55	2.73	2.7	2.5	NF EN 1097-6
Masse volumique apparente (g/cm³)	1.45	1.49	1.44	1.49	1.4	NF EN 1097-3
Equivalent de sable (%)	70.00	62.5	79.00	65	63	NF EN 933-8
Taux d'absorption d'eau (%)	0.2	0.25	0.35	0.21	0.22	NF EN 1097-6
La compacité (%)	0.53	0.58	0.52	0.55	0.56	NF EN 1097-3
La porosité (%)	0.47	0.42	0.48	0.45	0.44	NF EN 1097-3

01* : Sable corrigé obtenus pas la combinaison de sable d'el Hachimia et sable de BaBah

02* : Sable corrigé obtenus pas la combinaison de sable d'el Hamdania et sable de BaBah

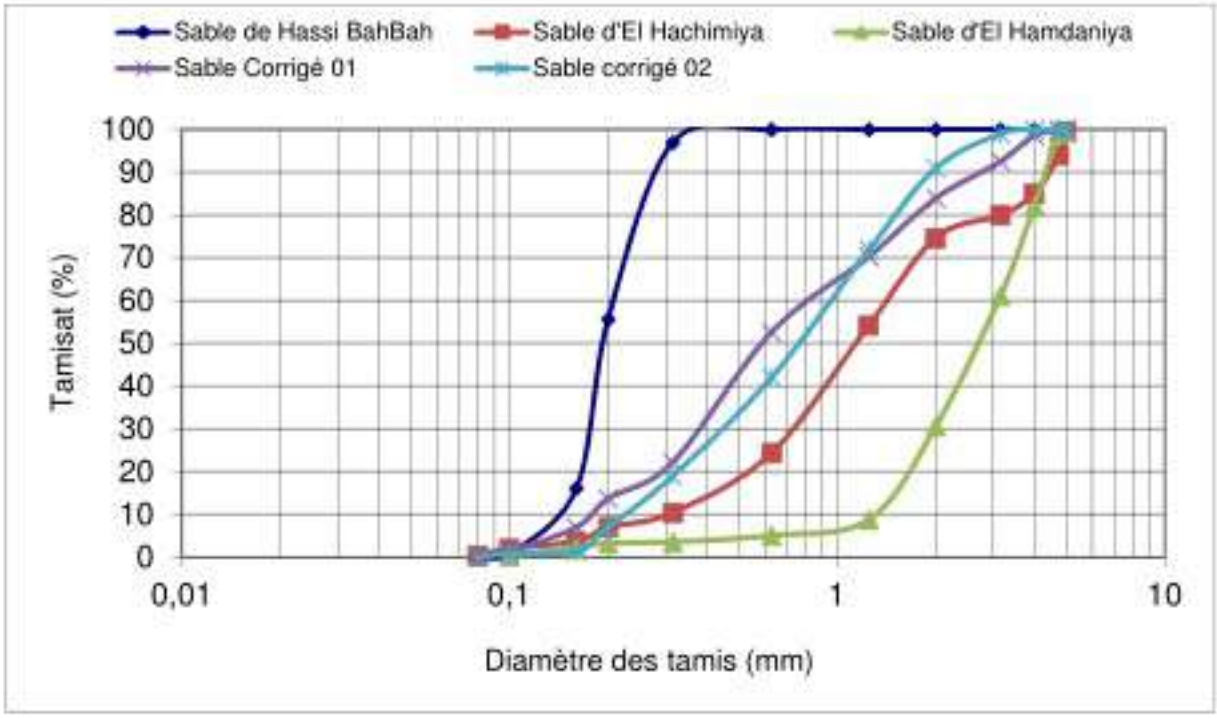


Fig.2.7. L'analyse granulométriques des sables utilisées

b) Le gravier

Le gravier utilisé est un gravier concassé à deux classes granulaires (8/15 & 15/25) (**Fig. 2.8**) provenant de la carrière de Mont Guorno de la région de Berouaguia (Médéa) dont les propriétés physiques et mécaniques sont présentées au tableau 2.8 et l'analyse granulométrique est présentée dans la Figure 2.9.



Gravier 8/15 Gravier 18/25

Fig.2.8. Gravier utilisé

Tableau 2.9**:** Propriétés physiques et mécaniques des graviers utilisés.

caractéristiques	Gravier 8/15	Gravier 15/25	Norme
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.6	2.69	NF EN 1097-6
Masse volumique apparente (g/cm3)	1.28	1.26	NF EN 1097-3
Taux d'absorption d'eau (%)	0.02	0.01	NF EN 1097-6
Résistance aux chocs (Los-Angeles)	24.10	24.18	NF EN 1097-2

D'après les résultats du tableau 2.9, il parait que les gros granulats sont de bonne qualité et peuvent être utilisés pour un béton.

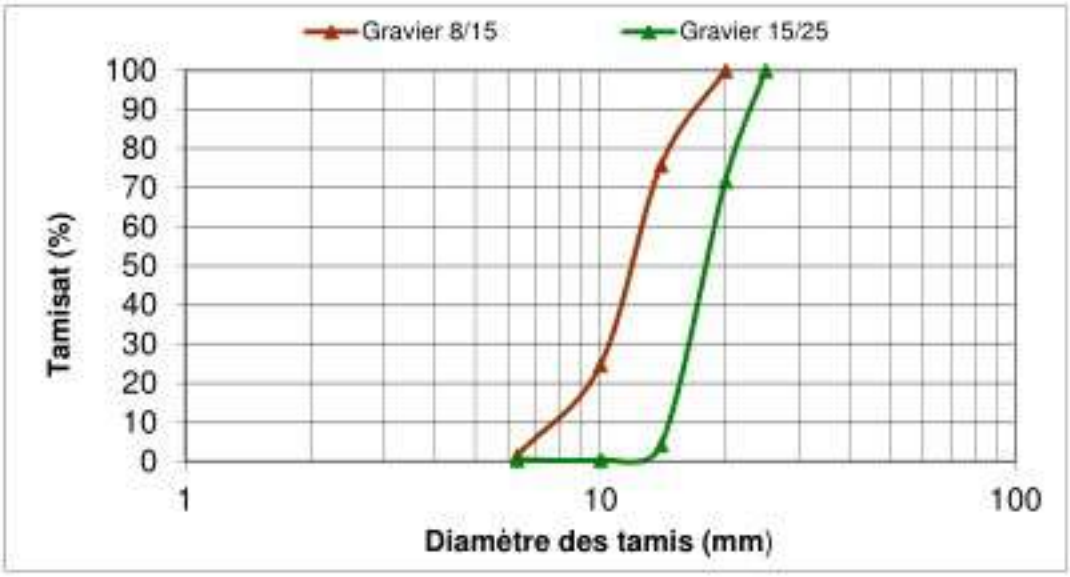


Fig.2.9: Analyse granulométrie du gravier 8/15 et 15/25.

2.3.3. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents bétons est l'eau potable. En référence à la norme NF EN 1008 **[24],** l'eau de gâchage doit être vérifiée par les trois critères (chimiques, physiques et mécaniques) si elle présente un doute. Pour éviter tout risque nous avons opté pour une eau de gâchage qui est l'eau potable de distribution exempte d'impuretés avec un PH = 7,9 ; et conforme aux exigences de la norme suscitée.

2.3 Formulation du béton

La méthode utilisée pour formuler notre bétons est celle de Dreux – Gorisse, qui se base sur l'utilisation de courbes granulaires de référence (**Fig. 2.10** et **2.11**) **[25]**.cette méthode est retenue pour sa simplicité à déterminer les différents composants du béton. Nous avons fabriqué 6 béton à base des ciments et sable de concassage différents .Les familles de béton réalisées sont répertoriées comme suit:

B1 : Béton fabriqué à partir de ciment MATINE et du sable de concassage d'El Hachimia

B2 : Béton fabriqué à partir de ciment MATINE et du sable de concassage d'El Hamdania

B3 : Béton fabriqué à partir de ciment de Sor-El Ghozlane et du sable de concassage d'El Hachimia

B4 : Béton fabriqué à partir de ciment de Sor-El Ghozlane et de sable de concassage d'El Hamdania

B5 : Béton fabriqué à partir de ciment de Portugal et du sable de concassage d'El Hachima

B6 : Béton fabriqué à partir de ciment de Portugal et du sable de concassage d'El Hamdania

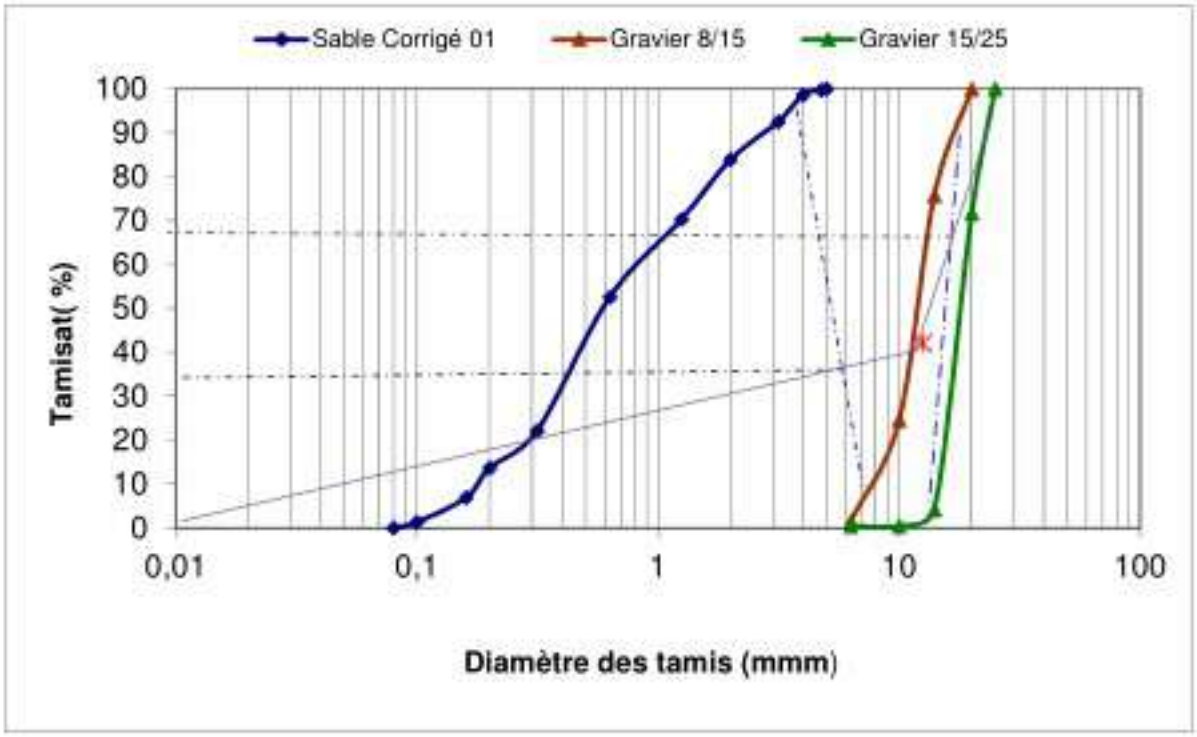


Fig.10 : Courbe de référence 01.

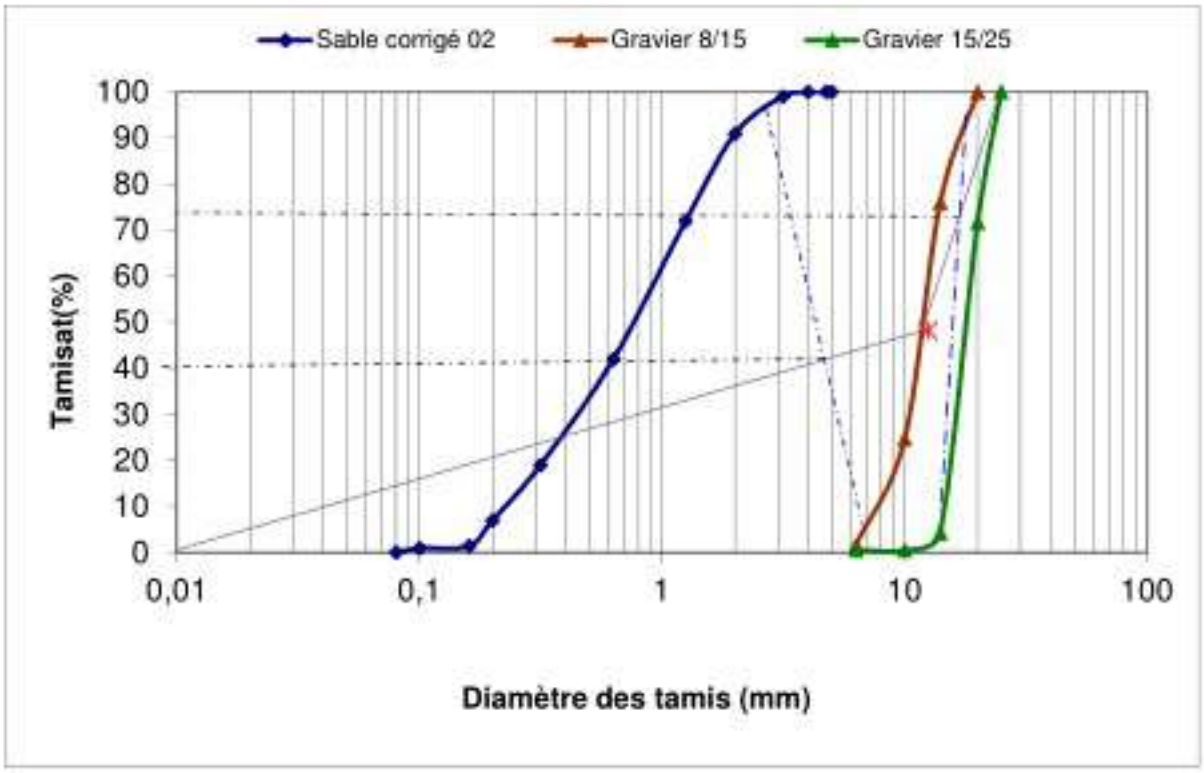


Fig.2.11: Courbe de référence 02.

Les différents variables étudiées sont résumé dans la figure suivante (Fig. 2 .12) :

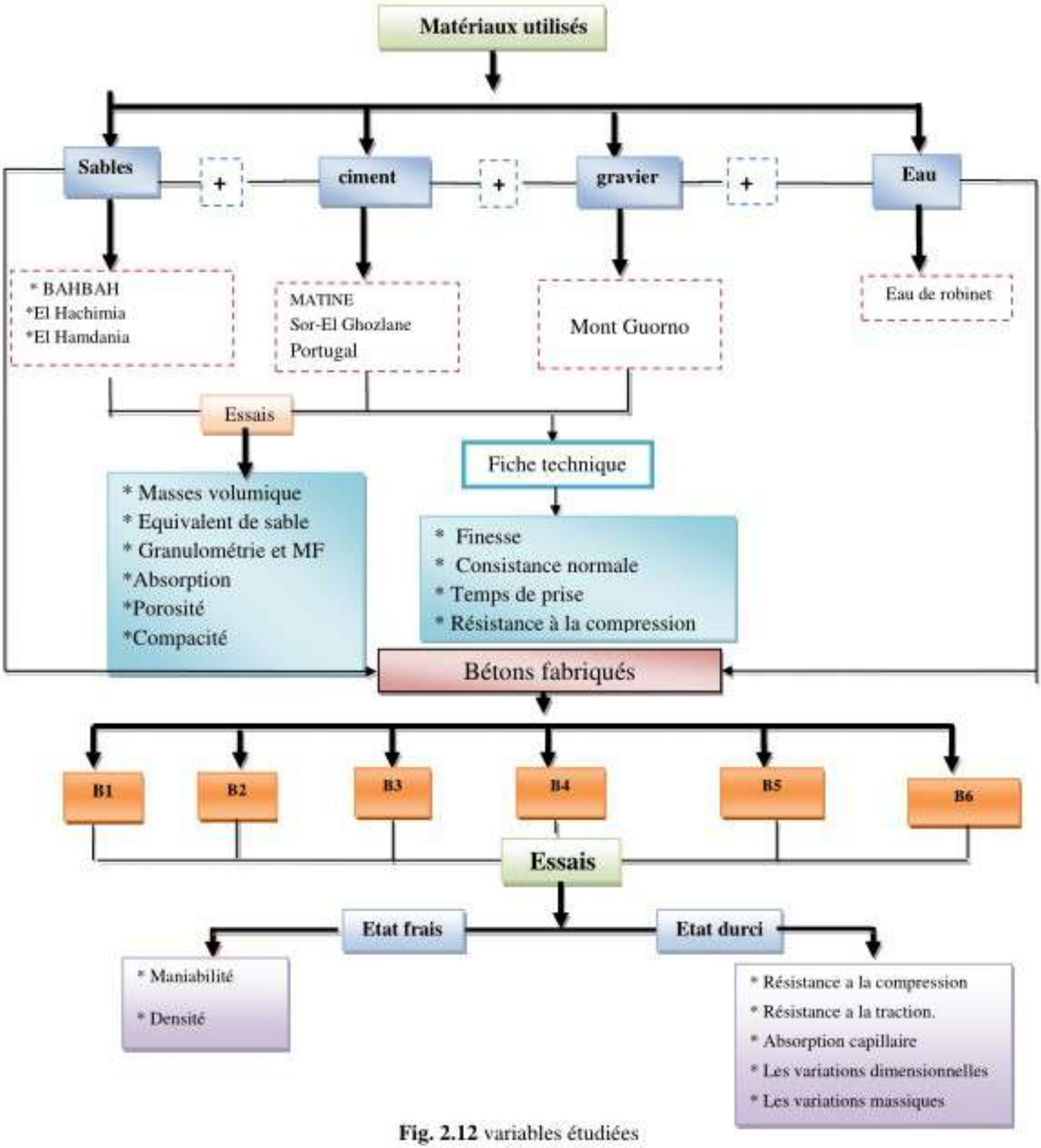


Fig. 2.12 variables étudiées

Le tableau suivant résume les différant compositions pour 1 m³ de chaque béton :

Tableau 2.10 : Essais de caractérisation sur bétons durcis.

	B1	B2	B 3	B4	B5	B6
Ciment (kg)	350					
Sable fins (kg)	231.87	229.7	231.87	229.7	231.87	229.7
Sable gros (Kg)	474.24	444	474.24	444	474.24	444
Gravier 8/15(Kg)	602.88					
Gravier 15/25(Kg)	477					
Eau (kg)	206					
E/C	0.59					

2.4 Techniques expérimentales

Dans cette partie, la métrologie expérimentale ainsi que les différents essais réalisés au laboratoire sont exposés en accord aux normes en vigueur.

2.4.1 Mise en œuvre

- l'homogénéisation du mélange à sec (ciment et sable) pendant deux minutes environ à vitesse lente.
- introduction de l'eau de gâchage au cours du malaxage, ce qui a pour but de mouiller le mélange et de faciliter la mise en place, ceci pendant deux minutes à vitesse rapide.

L'homogénéisation est réalisée à l'aide d'un malaxeur à axe vertical d'une capacité de 40 litres, pour les essais de formulation et de caractérisation. (Fig.2.13).



Fig. 2.13 : Malaxage du béton.

2.4.2 Essais réalisés sur béton frais :

Juste après chaque malaxage, deux essais sur béton frais ont été réalisés

A. L'Ouvrabilité

· L'ouvrabilité a été mesurée selon la norme NF EN 12350-2 **[26],** NA 431 **[27]** ASTM C 143-78 **[28]** en utilisant le cône d'Abrams (Fig. **2.14**).



Fig. 2.14: Essai d'affaissement au cône d'Abrams.

B. La densité

- La masse volumique du béton a été mesurée selon la norme NF EN 12350-6 **[26],** NA436 **[29],** (Fig. **2.15**).



Fig.2.15: Mesure de la densité du béton

2.4.3 Fabrication et confection des éprouvettes

Les différents types de bétons sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Le béton a été coulé dans des moules métalliques de forme prismatiques de 7×7×28 cm^3 destiné pour les essais de traction par flexion et d'autre éprouvettes de 10×10×10 cm^3 destiné pour les essais de compression conformément la norme NF EN 12390-3 **[30].** Les éprouvettes confectionnées ont été coulées dans les moules en plusieurs couches et mises en place par vibration manuel (**Fig.2.16**).



Fig.2.16: Fabrication et serrage des éprouvettes.

Juste après la confection, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter le risque d'évaporation excessive et le retrait plastique. Après 24 heures de la confection, les éprouvettes ont été démoulées et conservées selon deux modes différents : dans l'eau à 20°C ± 2°C (**Fig. 2.17**) et à l'air libre d'un climat moyen (laboratoire) (**Fig.2.18**).



Fig. 2.17 .Conservation des éprouvettes dans l'eau à 20°C ± 2°C



Fig. 2.18. Conservation des éprouvettes à l'air libre

Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant environ 24 heures avant l'âge d'essai et jusqu'à poids constant.

2.4.4 Essais sur béton durci

Les essais de caractérisation sur béton de sable durci sont résumes dans le tableau 2.11 suivant :

Tableau 2.11 : Essais de caractérisation sur bétons durcis.

Essais	Appareil	Dimension (cm)
Traction	La Presse hydraulique	7x7x28
Compression		10x10x10
Retrait + gonflement	Déformètre	7x7x28
Variation massiques	Balance	
Capacité d'absorption d'eau	Essaie d'absorption	demi-prisme d'éprouvette 7x7x28

2.4.4.1. Résistance a la compression

L'essai de compression est mené sur des éprouvettes de forme cubique normalisées de 10 cm d'arrête (norme NF EN 12390-3 **[30]**, NA 427**[31]**)

La vitesse de chargement est constante. La machine d'essai est une presse de force de classe « B » et d'une capacité maximale de 2000 KN conforme à la norme NF P 18-412**[32]** (**Fig. 2.19**).

Les éprouvettes sont conservées sans être déplacée pendant 24 heures. Après démoulage, les éprouvettes sont conservées jusqu'à réalisation des essais dans le même milieu ambiant.



Fig.2.19.: Presse hydraulique (2000 kN).

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression. L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture. La conduite de l'essai est la suivante :

L'éprouvette, une fois rectifiée doit être centrée sur la presse d'essai avec une erreur inférieure à 1% de son diamètre. La mise en charge doit être effectuée à raison de 0.5 MPa avec une tolérance de {0.2 MPa. Pour des éprouvettes de 10x10x10 cm, cela signifie une montée en charge de 10 KN /s} 4 KN / s. La charge de rupture est la charge maximale

enregistrée au cours de l'essai. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.



L'éprouvette avant l'écrasement



L'éprouvette après l'écrasement

Fig.2.20: Essai de compression.

2.4.4.2. Résistance à la traction par flexion

Des éprouvettes prismatiques normalisées, de dimensions 7x7x28 cm ont été utilisés pour la détermination de la résistance à la traction. Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NF P 18-411 **[32]** munie d'un banc de flexion 3 points (Fig. **2.21**).

Cet essai est homologué de norme NF P 18-407 **[33],** (NA 428) **[34],** ASTM C293 **[28]**, et permet de déterminer la résistance à la traction par flexion du béton étudié. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté a et de longueur 4a (7 x 7 x 28). Pour une charge totale P, le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est :

M = Pa /3 et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est $f_{tj} = 3,6M / a$



a/ L'éprouvette avant l'essai.



b/ L'éprouvette après l'essai.

Fig.2.21 : Essai de traction par flexion.

2.4.4.3. Absorption d'eau

Dans cet essai de mesure d'absorption de d'eau de béton, on prend un morceau d'éprouvette de béton déjà sécher et on le pesé (m_0), après on introduire le dans un bac remplir de 1 cm d'eau (**Fig. 2.22**), pendant chaque intervalle de temps (15 min, 30 min ,1 h, 2 h ,4h ,24h, on remesure les morceaux (mi), le différent de poids c'est le poids de l'eau absorbé (mi- m0) (NE 13057) **[35]**.

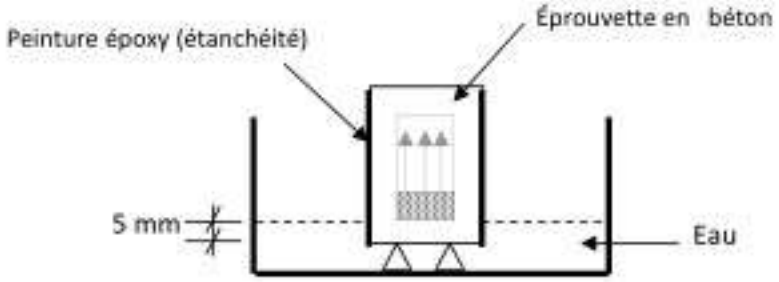


Fig. 2.22 : Absorption d'eau par succion capillaire.

2.4.4.4. Variations dimensionnels et massique

En l'absence de toute charge, le béton se déforme instantanément. Ces déformations sont dues essentiellement à une perte d'eau de gâchage par évaporation, qui se traduit par un rétrécissement des éléments en béton. Le retrait dépend non seulement des conditions de conservation (humidité, température) mais dépend aussi des constituants du béton .

Les mesures du retrait à l'air libre et gonflement sous eau ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques 7x7x28 cm^3 conformément à la norme [NF P 18-404] **[36].** Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 h, placées dans un déformètre (Fig. 2.23) munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait et gonflement à tout moment à cours terme et moyenne terme (du 1j jusqu'a 300 jours). La conservation des éprouvettes est faite à l'air libre dans le laboratoire à une température de 25 à 30°C pour l'essai de retrait, et dans l'eau à 20°C ± 2°C pour l'essai de gonflement.



Fig.2.23. La mesure à l'aide de déformètre

2.4.4.4.1 Mesure des variations de longueur

La mesure a lieu, l'axe longitudinal de l'éprouvette étant vertical. Si, d'une mesure à l'autre, la variation de longueur d'une des 3 éprouvettes dépasse de plus de 0.03mm celle de l'éprouvette ayant la variation la plus voisine, il y a lieu d'en rechercher la cause (poussière, mauvais contact de scellement des plots,… etc.).Et si elle ne peut être éliminée, l'éprouvette doit être rebutée.

Avant chaque sérié de mesures, l'appareil est étalonné avec une tige de métal de 280 mm de longueur et dont les extrémités reproduisent la forme des plots de l'éprouvette (la tige est réalisée en métal Invar et protégée contre les variations de température qu'elle est appelée à subir au cours des manipulations)

2.4.4.4.2 Mesure des variations de masse

Si, en plus de retrait, on désire mesurer la variation de masse, pesé à 0.1g prés l'éprouvette à chacun des temps ou est effectuée une mesure de longueur.

- **Expression des résultats**

Pour chaque éprouvette on calcul les rapports suivants:

ΔL : Variation de longueur par apport à la longueur origine,

L0 : Longueur de base, prise égale à 160mm.

ΔM : Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage,

M : Masse de l'éprouvette au moment du démoulage.

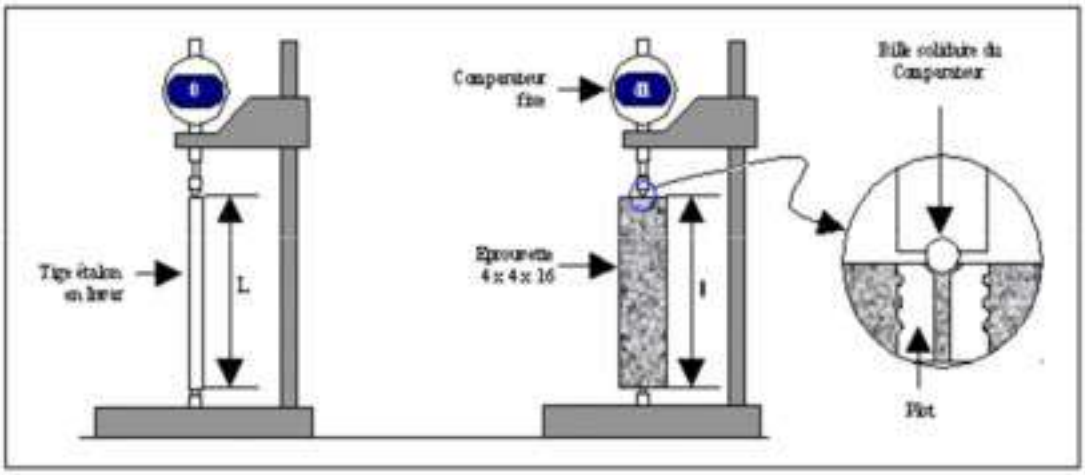


Fig.2.24. Principe de mesure du retrait et gonflement



Fig.2.25. Mesure des variations de masse

- **Conduite de l'essai**

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur L = 160 mm. Soit dl(t) la valeur lue sur le comparateur au l'éprouvette a une longueur au temps considéré:

$$\because \quad l = L + dl(t) \qquad \text{.....(Equation 2.1)}$$

Soit l (t_0) la longueur de l'éprouvette au temps t_0 choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera:

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0) \quad \text{.....(Equation 2.2)}$$

La variation relative de longueur est généralement désignée par ε et a pour expression:

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L} \quad \text{.....(Equation 2.3)}$$

Δ L (t) est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule. Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air ΔL (t) est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau, Δl(t) peut être positif: il y a alors gonflement).

2.5 Conclusion :

L'utilisation des matériaux locaux dans la fabrication du béton est constitué une alternative économique et technologique importante dans certains pays en voie de développement. Cette recherche présente une contribution à l'étude de l'effet couplé de type de ciment et de sable de concassage sur les caractéristiques du béton. Trois types de ciment et deux sables de concassage différents ont été utilisés. Cette partie de l'étude a successivement traité les points suivants : - Caractérisation physique et chimique des matériaux utilisés dans les compositions des bétons. - La méthode de formulation utilisée, cette méthode appelée méthode expérimentale de Dreux –Gorisse. - Les procédures expérimentales et les essais réalisés sur les différents bétons à l'état frais et à l'état durci au cours de cette étude. - Pour évaluer la durabilité des bétons obtenus, nous avons choisi les essais de l'absorption d'eau, les variations dimensionnelles (retrait et gonflement), les variations massique (perte et gain de masse)

CHAPITRE 3 :

Résultats et interprétation

3.1 Introduction

Les résultats des différents essais réalisés sur les bétons à l'état frais et durci sont rassemblés ci-après et les valeurs données sont les moyennes arithmétiques des trois résultats d'essais.

3.2 Béton frais

3.2.1 L'ouvrabilité

Les résultats des essais de l'ouvrabilité sont donnés par figure

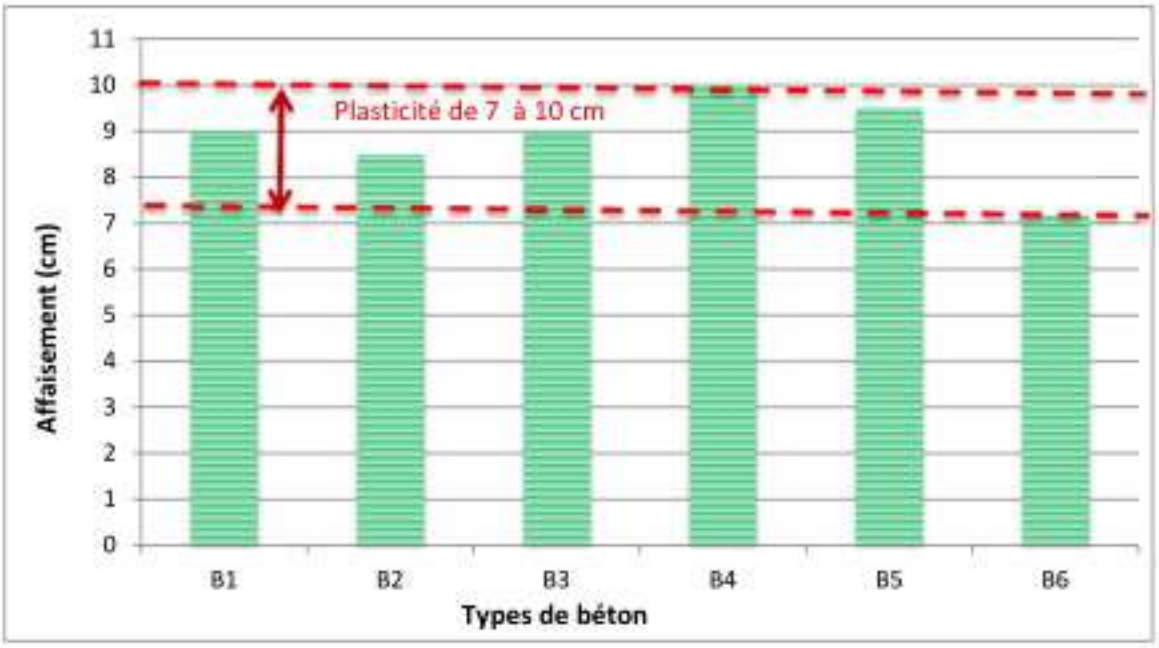


Fig. 3.1: Ouvrabilité des différents types de béton fabriqués

Pour un rapport fixe d'E/C de 0.59, et quelques soit le type du ciment et la nature de sable concassé utilisés, tous les mélanges des bétons confectionnés ont donné des bétons plastiques pour une valeur comprise entre 70 à 100 mm avec une tolérance de mesure d'affaissement de 30 mm ce qui confirme les résultats de Skendar **[4]** et Azzizi **[3]** qui ont étudié l'influence de type de ciment Algérienne sur l'ouvrabilité du béton ordinaire. Ils ont trouvé que tous les mélanges des bétons confectionnés ont donné des bétons plastiques pour une valeur comprise entre 60 à 90 mm.

3.2.2 La densité

La densité des différents bétons réalisés est résumée dans les figures ci-dessous :

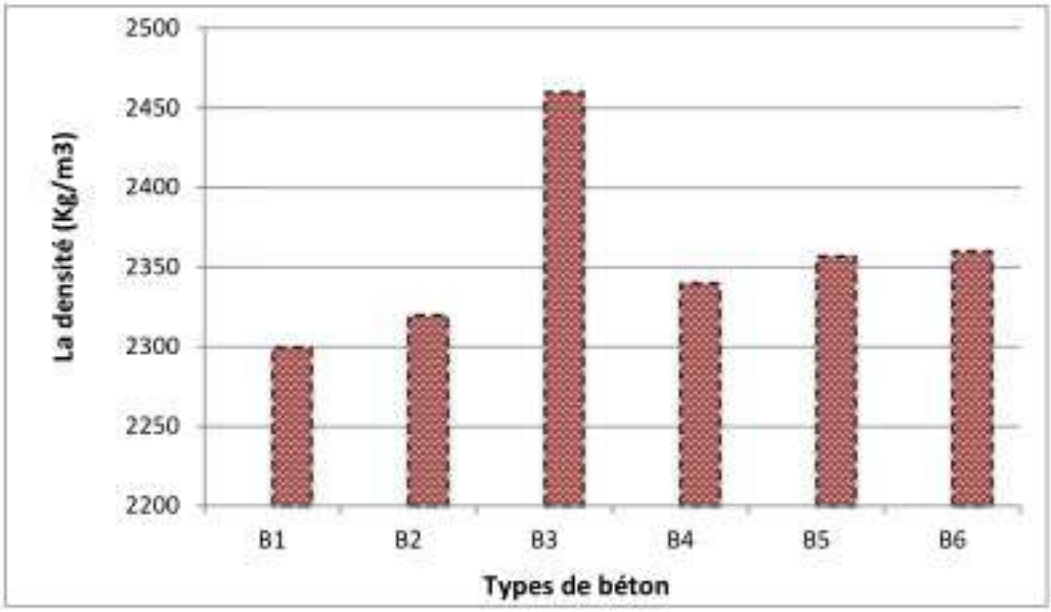


Fig. 3.2: La densité des différents types de béton fabriqué

La figure ci-dessus représente la densité des différents bétons réalisés, qui varie entre 2300 Kg/m^3 et 2460 kg/ m^3 avec une variation de 13 %.Les résultats obtenus montrent que le béton B2 (Béton fabriqué à partir de Ciment de Matine et du Sable concassé d'El_ Hamdania), B3 (Béton fabriqué à partir de Ciment de Sor-El Ghozlane et du Sable concassé d'al Hachimiya) et B4 (Béton fabriqué à partir de Ciment de Sor-El Ghozlane et du Sable concassé d'El_ Hamdania) ont une densité plus importante que les autres types de béton . Cette variation de la densité dépend de la densité du ciment et du sable de et les propriétés du clinker (sa finesse, la nature de l'ajout et la teneur de substitution du ciment ainsi que leur porosité) ainsi que la densité des granulats utilisés c'est le cas du ciment Matine et du sable d'al hamdaniya qui ont masse volumique apparent supérieur et par conséquence donnent des bétons plus dense. Azizi et al **[3]** ont trouvé des résultats différents, ils ont trouvés que la densité du béton fabriqué à partir de ciment mâtine est plus grand que celle du béton fabriqué à partir d'un ciment de Sor-El Ghozlane mais avec un même type de sable.

3.3 Béton durci

De la même façon que le béton frais, les résultats des différents essais réalisés sur le béton durci sont résumés comme suit :

3.3.1 Résistances à la compression

Pour chaque essai, les résultats sont la moyenne de (03) mesures prisent sur des éprouvettes de 7x7x28cm^3 à l'âge de 3 ,7 et 28 jours. Les résultats sont illustrés dans les figures suivantes :

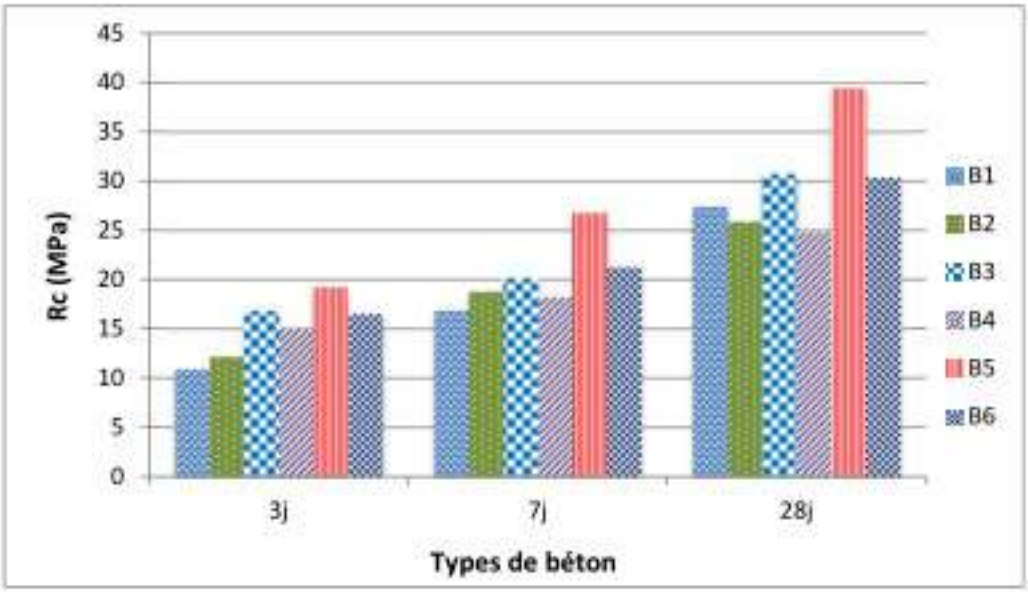


Fig. 3.3: La résistance à la compression des différents types de béton fabriqué

D'après les résultats obtenus, on observe que la résistance à la compression de tous les types de bétons fabriqués augmente avec l'âge. Cette augmentation est due au développement de l'hydratation en fonction du temps.

La figure précédente montre que pour tous les âges, les bétons B3, B5 et B6 présentent la plus grande résistance à la compression par rapport aux autres types du béton. Elle est estimée à l'âge de 28 jours de 30 MPa pour le B3 et B6, 39,45 MPa pour le B5. La différence entre la plus grande valeur (présenté par le B5) et la plus petite valeur (présenté par le B4) est de 59 % montrant ainsi l'importance du choix de ciment (la prise en compte de sa finesse et de sa composition chimique) et de sable (sa dureté, porosité, compacité et module de finesse).

Les bétons confectionnés à partir de ciment présentant des finesses élevées (≥4000 cm²/g) (Sor-El Ghozlane, Portugal) ont donné les résistances les plus élevées à jeune âge. Skendar. **[4]** a aussi trouvé que les bétons confectionnés avec des ciments de surface spécifique de Blaine élevée donnent des valeurs d'affaissement plus faibles.

L'addition des fillers calcaires semble aussi à améliorer la résistance à jeune âge en raison de la réaction entre le $CaCO_3$ et le C_3A du ciment. Ceci est observé par les ciments de Sor-El Ghozlane. L'augmentation de la résistance à jeune âge est due selon Borgholm [88] à l'hydratation accélérée de l'alite du ciment en présence du calcaire. Ce qui confirme les résultats de AZZIZI et al **[3].**

En effet, il est montré par calorimétrie, que l'hydratation du silicate tricalcique (C_3S) est plus rapide en présence du calcaire **[37].** L'accélération de l'hydratation du silicate tricalcique est due à un effet physique dit de « nucléation hétérogène » où la germination du silicate de calcium hydraté (C-S-H) se produit plus facilement au contacte des grains de calcaire. Cette germination entraine une précipitation plus rapide des C-S-H et donc, aussi de la pentlandite $Ca(OH)_2$ et par conséquence une augmentation de la résistance.

D'après ces résultats on conclut que l'utilisation du sable d'El Hachemia présente toujours des meilleurs résultats, et cela pour tous les âges.

3.3.2 Résistances à la traction par flexion

Les résultats de la résistance à la traction par flexion des différents bétons confectionnés sont illustrés dans les figures ci-dessous :

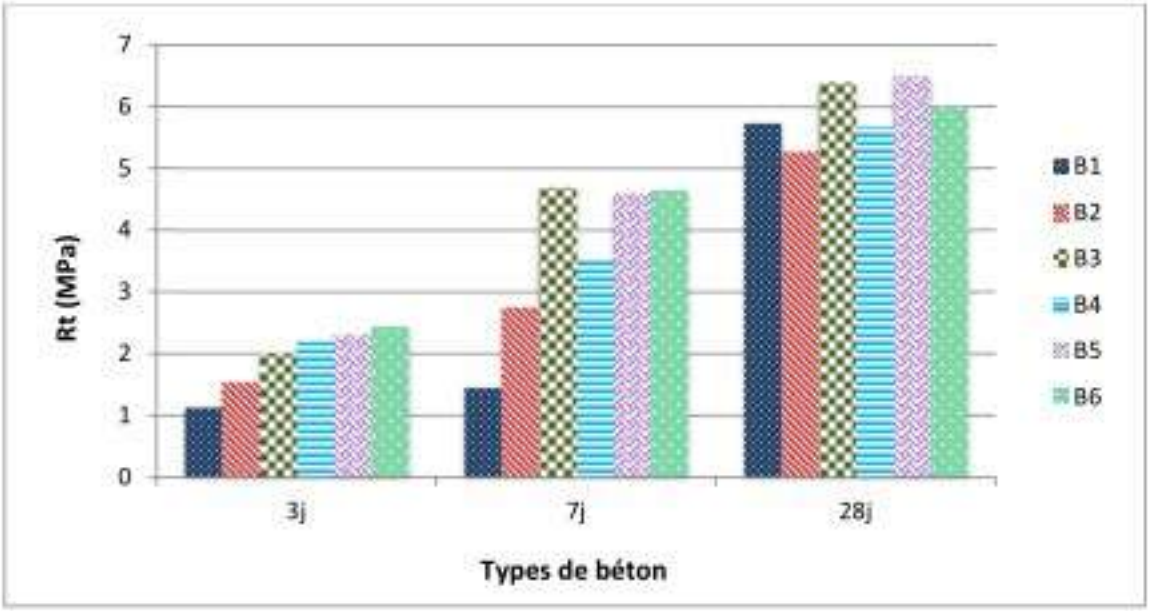


Fig. 3.4: La résistance à la traction des différents types de béton fabrique

D'après Les résultats obtenus, on remarque que la résistance à la flexion augmente avec l'âge pour tous les bétons fabriqués. On remarque aussi que quelque soit l'âge des éprouvettes, la résistance à la traction la plus élevée est obtenue par le béton B3, B5 et B6. Elle estimé à l'âge de 28 jours à 6.39 MPa pour le B3, 6.5 MPa pour le B5 et 6MPa pour le B6. La différence entre la plus grande valeur (présenté par le B5) et la plus petite valeur (présenté par le B2) est de 24 %.Les résultats obtenus montrent aussi que l'utilisation du sable d'El Hachemia présente toujours des meilleurs résultats, et cela pour tous les âges grâce a sa bonne granularité, ce qui confirme les résultats de AZZIZI **[3]**

3.4 Approche de durabilité

3.4.1 Mesure des variations de longueur

- **Retrait**

Lors du séchage, et en absence de touts charges extérieures, les échantillons diminuent spontanément de volume. Cette diminution s'appelle variation dimensionnelle ou encore retrait. Ce phénomène est du principalement à l'évaporation d'une quantité importante de l'eau de gâchage. Rappelons, qu'en réalité, l'hydratation du ciment ne nécessite qu'une petite quantité de l'eau de gâchage ; la plus grande partie de cette eau est destinée à la maniabilité lors du malaxage et elle doit s'évaporer par la suite. Le retrait a des conséquences très graves (des fissures dans la construction) s'il n'est pas limité.

Dans notre cas, et pour différents types des bétons fabriqués à base des ciments et des sables différents, les valeurs de retraits obtenues sont illustrées par les courbes suivantes :

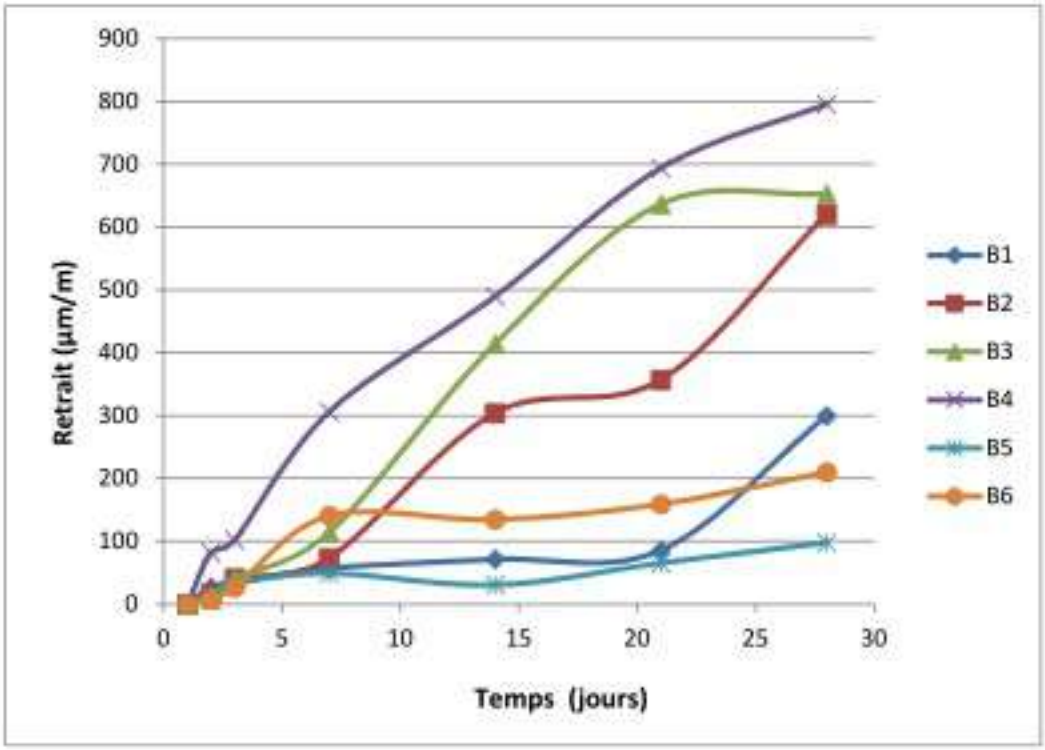


Fig. 3.5: L'évolution de Retrait des différents types de béton fabriqué

Les résultats obtenus montrent que le retrait mesuré sur les bétons testés varie de 100 µm/m à 800 µm/m à l'âge de 28 jours avec une évolution dans le temps.

A jeune âge, les bétons fabriqué à base de ciments qui ont une finesse élevée ou avec ajout calcaire comme les bétons B3, B4, B5 et B6 ont montré un retrait relativement élevé. A long terme le retrait augmente en raison de la création d'un réseau de pores capillaires à l'intérieur de la pâte de ciment hydratés. Lorsque ces capillaires sont saturés d'eau, la consommation d'eau pour l'hydratation du ciment provoque un assèchement, cela aboutit à la formation de ménisques où se produisent des forces d'attractions qui provoque les retraits. L'augmentation du retrait est aussi aggravée par la finesse et la présence d'une porosité capillaire élevée provoqué par les granulats (sable ou gravier). Ceci provoque la formation d'une grande quantité de ménisques et la cinétique d'hydratation devient très rapide à l'intérieure de la pâte de ciment hydraté c'est l'augmentation des forces de traction qui se développent à l'intérieur des capillaires.

- **Gonflement**

De la même façon, la mesure de gonflement des différents bétons confectionnés après l'immersion dans l'eau, les résultats est illustrée dans les figures ci-dessous :

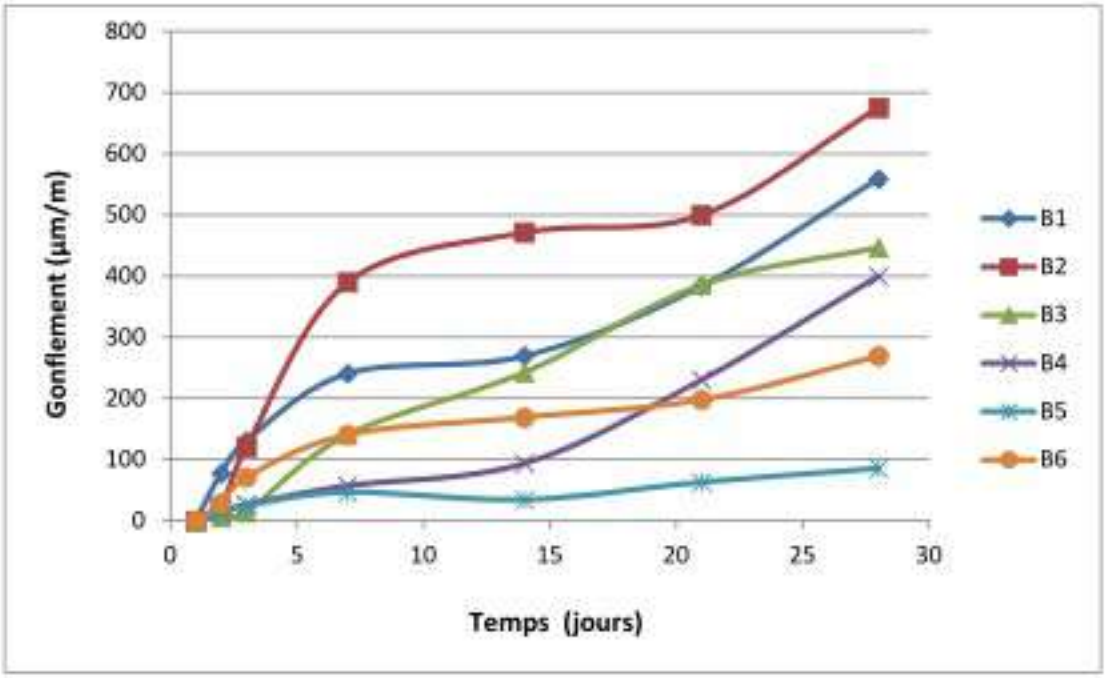


Fig. 3.6: évolution de gonflement des différents types de béton fabriqué

D'après la figure ci-dessus, on remarque que les valeurs de gonflement de tous les types des bétons augmentent en fonction du temps. Les résultats obtenus montrent aussi que les bétons B1 et B2 ont des taux de gonflement plus important que les autres types de bétons. Les valeurs de gonflement à l'âge de 28 jours varient entre 560 µm/m et 675 µm/m. Ces valeurs sont liées essentiellement par la porosité provoqué par les granulats (sable et gravier), et qui est plus important dans les bétons B1 et B2 qui sont présenté des valeurs extrêmement important.

3.4.2 Mesure des variations de masse

- **Perte de mase**

La perte de masse des déférents bétons est illustrée dans les figures suivantes :

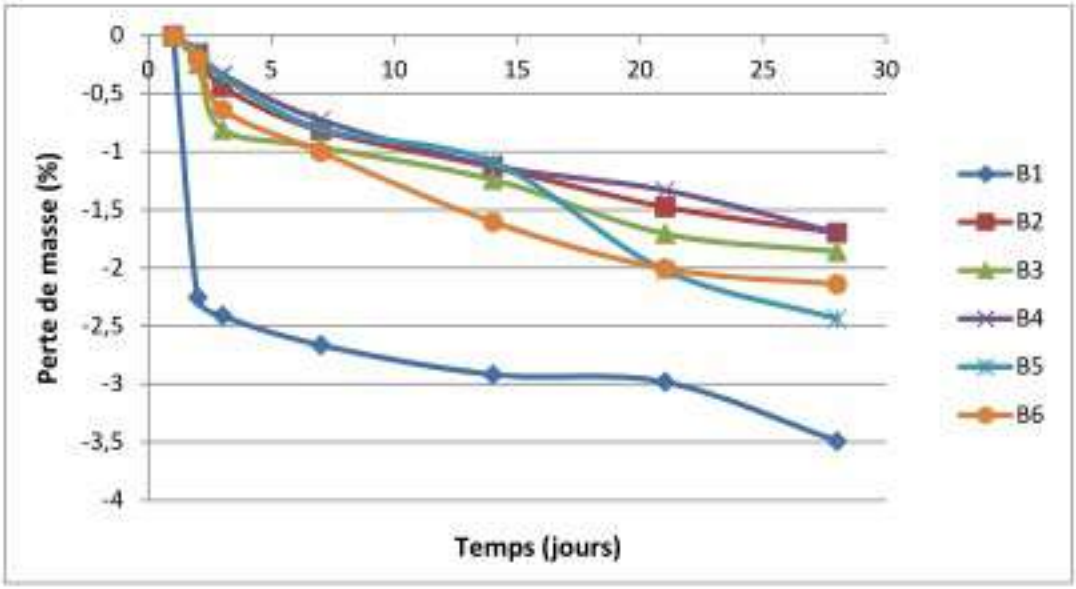


Fig. 3.7: La Perte de masse des différents types de béton fabriqué

La figure précédente montre que la perte de masse de tous les types du béton fabriqué est augmentée en fonction du temps avec une perte de masse qui varié de 1.7 % à 3.5 % à été obtenue. On remarque aussi que le béton B1 présente une perte de masse beaucoup plus importante que les autres types de béton. Ce changement de volume due au séchage et sans doute due à la perte de l'humidité qui dépend de l'environnement.

➢ **Gain de masse**

Le gain de masse des déférents bétons est illustré dans les figures ci-dessous :

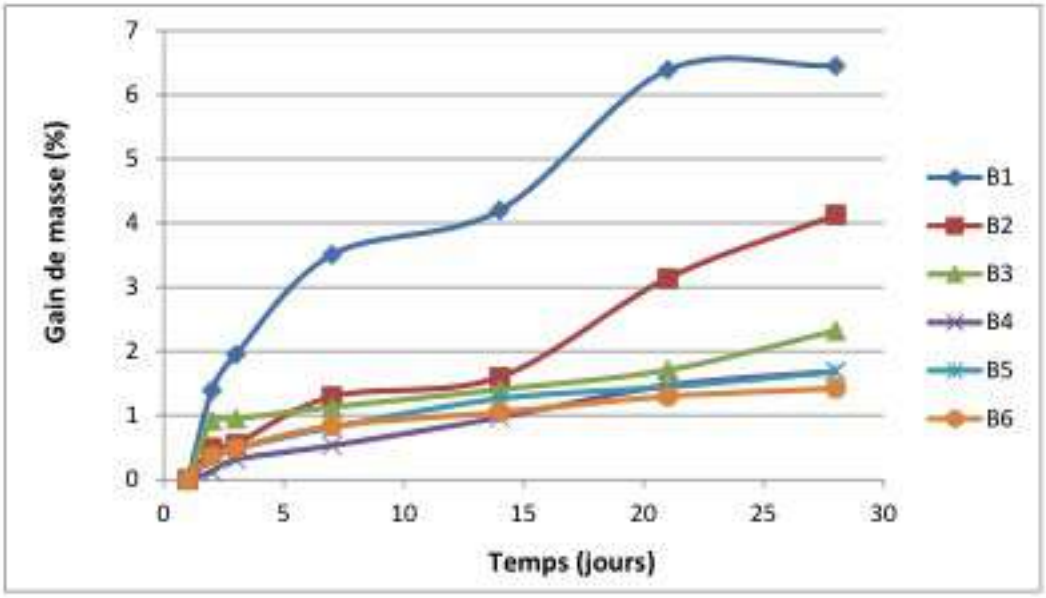


Fig. 3.8: Gain de masse des différents types de béton fabriqué

D'après les figures ci-dessus, on remarque que le gain de masse des différents bétons est augmenté en fonction du temps avec un gain de masse qui varié de 1.5% à 6.5 % à l'âge de 28 jours. On remarque aussi que le béton B1 et le béton B2 présentent des gains de masse plus important (qui varie entre environ 4 et 6.5 % à l'âge de 28 jours) par rapport aux autres types du béton. Ces différentes valeurs sont liées essentiellement par la porosité provoquée par les granulats, qui est beaucoup plus important dans le béton B1 et B2 que les autres types de béton. Par contre les bétons B4, B5 et B6 présente un gain de masse le moins important.

3.4.3 Absorption capillaire

La figure présente le coefficient d'absorption capillaire des différents types de béton. L'absorption capillaire est influencée par le ciment utilisé en raison de la variation des finesses et l'ajout utilisé dans les différents ciments et le granulat (sable ou gravier) en fonction de sa dureté, sa porosité et sa compacité. Par conséquent, pour une même composition, la durabilité du béton est influencée par le choix du ciment à utiliser.

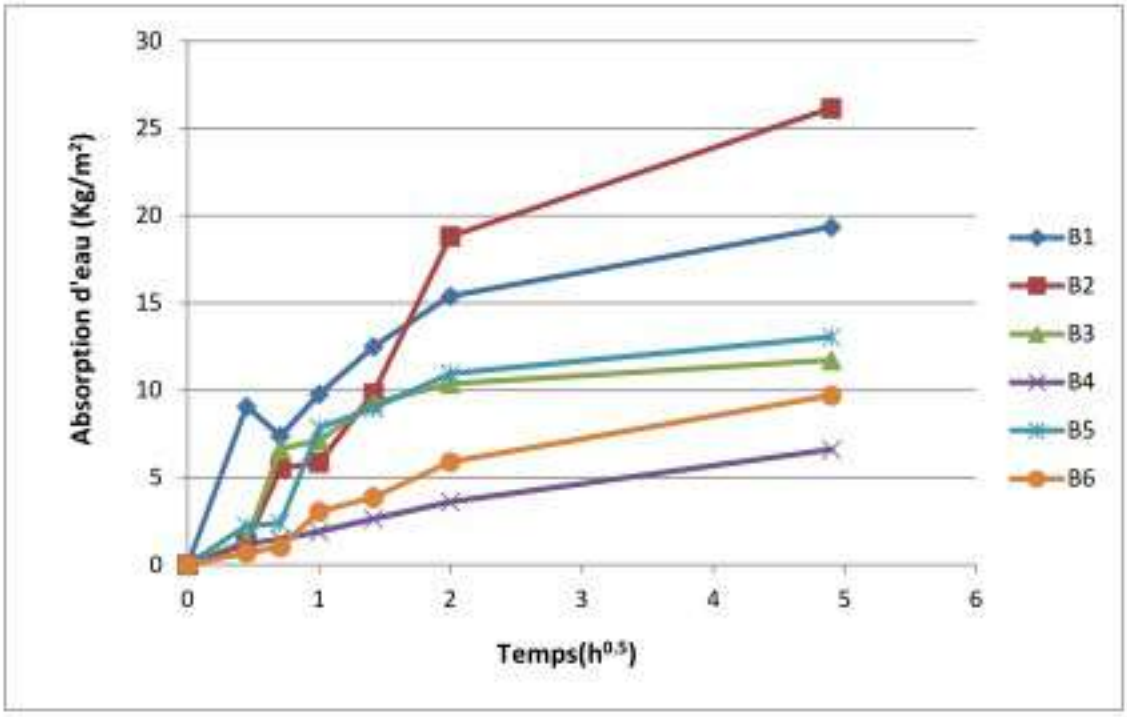


Fig.3.9 Absorption capillaire des différents types de béton

Les résultats de l'essai de l'absorptivité sont présentés dans la figure 3.9. On remarque que l'absorption capillaire augmente avec le temps. Elle plus élevée durant les premières minutes. L'absorption capillaire donne une idée sur les gros pores. Plus la résistance est élevée plus l'absorption est faible, les bétons fabriqué à partir des ciments aux ajouts calcaires (B3 , B4 , B5 et B6) ont aussi présentées des absorptions capillaires plus faible. Par contre, les résultats obtenus montrent aussi que les bétons B1 et B2 présentent des taux d'absorption les plus élevé (ordre de 20 à 26 Kg/m2).

On constate que la finesse du ciment accélère l'hydratation. Dans ce cas, les pores de la pâte durcie et les interfaces entre l'agrégat et la pâte de ciment sont remplie par ces ajouts minéraux, et par conséquent, les pores capillaires sont réduits par la formation des gels CSH d'où une réduction de la sorptivité des mortiers. D'ailleurs, le ciment de Sour El Ghozlane et de le Portugal à finesses élevées ont présentés des coefficients d'absorption les plus faibles.

L'absorption élevée indique que les pores sont continues et par conséquent le mortier a une faible durabilité par l'arrivé des eaux agressives (cas de B1 et B2).

Menadi, **[38]** a constaté dans son étude que le CEMI 32.5 avec les fines calcaires a une valeur d'absorption par capillarité supérieur à la valeur de l'absorptivité du CEMI 42.5 et le CEM II 42.5 A-L.

Said Mansor M. **[39]** a constaté que l'incorporation de 15% d'ajout de calcaire a un effet négligeable sur la sorptivité. , Skendar, **[4]** a aussi observé une faible réduction de la sorptivité pour les bétons contenant 5% de fines calcaires et une légère augmentation de la sorptivité pour 15% à 25% de fines calcaires.

3-5 Conclusion :

Dans notre chapitre une étude expérimentale a été élaborée pour déterminer l'influence copulée de type de ciment et de sable de concassage sur les caractéristiques physiques et mécaniques du béton vibré. Les résultats de cette étude ont donné les conclusions suivantes :

- Quelque soit le type de ciment et la nature de sable de concassage tous les mélanges des bétons confectionnés ont donné des bétons plastiques pour une valeur comprise entre 70 à 100 mm.
- La densité du béton est varie avec le type de ciment et le sable de concassage. Les bétons fabriqués à partir de ciment de Sor-El Ghozlane et du sable d'al Hachimia présente les bétons les plus denses (densité supérieure à 2400).
- Les bétons fabriqués à partir du ciment de Sor-El Ghozlane et de sable d'al Hachimia, du ciment Portugal et de sable d'al Hachimia ont donné les meilleures performances mécaniques à court et à long terme (résistance à la compression supérieur à 30MPa à l'âge de 28 jours et résistance à la traction par flexion superieure à 6 MPa).
- Les bétons fabriqués à partir de ciment de Sor-El Ghozlane et de Portugual (B3, B4, B5 et B6) ont présenté un retrait relativement élevé que les autres types de béton. Il est d'ordre de 600 à 800 µm/m.
- Les bétons confectionné par le ciment Mâtine (B1 et B2) ont des taux de gonflement plus important que les autres types de bétons (ordre de 560 µm/m et 675 µm/m).
- L e béton B1 présente une perte de masse plus élevé que les autres types de béton (d'ordre de 3.5 %).
- Le béton B1 et le béton B2 présentent des gains de masse plus importante (qui varie entre environ 4 et 6.5 % à l'âge de 28 jours) par rapport aux autres types du béton. Ces différentes valeurs sont liées essentiellement par la porosité provoquée par les granulats, qui est beaucoup plus important dans le béton B1 et B2 que les autres types de béton.

- Les bétons B1 et B2 présentent des taux d'absorption les plus élevé (ordre de 20 à 26 Kg/m2) que les autres types de béton.

Conclusion Générale
Et
Recommandation

Conclusion Générale Et Recommandation

Conclusion générale

Dans notre travail, une étude expérimentale a été élaborée pour déterminer l'influence copulée de type de ciment et de sable de concassage sur lescaractéristiques physiques et mécaniques du béton vibré. Les résultats de cette étude ont donné les conclusions suivantes :

- Quelque soit le type de ciment et la nature de sable de concassagetous les mélanges des bétons confectionnés ont donné des bétons plastiques pour une valeur comprise entre 70 à 100 mm.
- La densité du béton est varie avec le type de ciment et le sable de concassage. Les bétons fabriqués à partir de ciment de Sor-ElGhozlaneet du sable d'al Hachimiaprésente les bétons les plus denses (densité supérieure à 2400).
- Les bétons fabriqués à partir du ciment de Sor-ElGhozlaneetde sable d'al Hachimia, du ciment Portugal et de sable d'al Hachimia ont donné les meilleures performances mécaniques à court et à long terme (résistance à la compression supérieur à 30MPa à l'âge de 28 jours et résistance à la traction par flexion superieure à 6 MPa).
- Les bétons fabriqués à partir de ciment de Sor-ElGhozlane et de Portugual (Béton fabriqué à partir de ciment de Sor-ElGhozlane et du sable de concassage d'El Hachimia, Béton fabriqué à partir de ciment de Sor-ElGhozlane et de sable de concassage d'El Hamdania, Béton fabriqué à partir de ciment de Portugal et du sable de concassage d'El Hachima et Béton fabriqué à partir de ciment de Portugal et du sable de concassage d'El Hamdania) ont présenté un retrait relativement élevé que les autres types de béton. Il est d'ordre de 600 à 800 µm/m.
- Les bétons confectionné par le ciment Mâtine (Béton fabriqué à partir de ciment MATINE et du sable de concassage d'El Hachimiaou à partir du sable de concassage d'El Hamdania) ont des taux de gonflement plus important que les autres types de bétons (ordre de 560 µm/m et 675 µm/m).
- L e béton fabriqué à partir de ciment MATINE et du sable de concassage d'El Hachimia présente une perte de masse plus élevé que les autres types de béton (d'ordre de 3.5 %).
- Le béton Béton fabriqué à partir de ciment MATINE et du sable de concassage d'El Hachimiaou du sable de concassage d'El Hamdaniaprésentent des gains de masse plus importante (qui varie entre environ 4 et6.5 % à l'âge de 28 jours) par rapport aux

autres types du béton. Ces différentes valeurs sont liées essentiellement par la porosité provoquée par les granulats, qui est beaucoup plus important dans le béton fabriqué à partir de ciment MATINE et du sable de concassage d'El Hachimiaou du sable de concassage d'El Hamdania que les autres types de béton.

- Les bétons fabriqués à partir de ciment MATINE et du sable de concassage d'El Hachimia ou du sable de concassage d'El Hamdaniaprésentent des taux d'absorption les plus élevé (ordre de 20 à 26 Kg/m2) que les autres types de béton.

Vu les résultats obtenus de cette étude,nous recommandons d'utiliser le ciment de Sor-ElGhozlane et Portugual ainsi que le sable de concassage d'Al Hachimia pour avoir des bétons de bonne qualité.

RECOMMANDATIONS

Nous recommandons pour des futurs travaux l'étude :

- Influence couplé de type du ciment et du sable de concassage sur la durabilité du béton.
- Les performances des bétons de sable fabriqués par différents ciments différents
- Influence couplé de type du ciment et du sable de concassage sur les performances et la durabilité du béton autoplaçon.

Les références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

[1] Luc COURARD, Matériaux de construction, Uuniversité de liège Faculté des Sciences Appliquées Département ArGEnCo Secteur GeMMe – Matériaux de Construction, GCIV0184 Matériaux de construction 2BACIng et 2BACIngAR.

[2] http://www.reporters.dz/index.php/der/production-du-ciment-la-cimenterie-lafarge-algerie-de-biskra-operationnelle-en-2016

[3] Azizi.N : "caractérisation des ciments algériens et leurs effets sur les performances du béton "mémoire de Magister, université dr. yahia farés de Médéa, Algérie, 2011.

[4] Skendar. Z.: " durabilité du béton à base de sable de concassage" mémoire de Magister, Ecole nationale supérieur polytechnique, Algérie, 2009.

[5] R.Bertandy : « Influence des fillers calcaires sur la maniabilité des bétons », Annales de L'institut Technique du bâtiment et des Travaux Publiques, N° 147, France, 1975.

[6] S.Belounis, T.Chebab, K.Si-Naceur : « Valorisation des sables de concassage (dans le béton) », Mémoire de P.F.E, U.S.T Blida, 1997.

[7] Arquié.G , Panet.M , Tourenq.C : Granulats. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées , 1990.

[8] Rigan.J : Problèmes with using crushed sand in concrete production – Compte rendu conférence – construction press – 1981.

[9] Bulletin du ciment n° 21 : Béton avec granulat de pierres concassées — septembre 1981.

[10] Newman.K : Sea-dredged aggregates for concrete Cement lime gravel – octobre 1969.

[11] Schneider.U, Diederichs.U, Rosenberger.W : Propriétés et utilisation de béton normal avec des granulats de basalte – 3e partie. Betonwerk fertigteil technik vol 49 n° 1-1983.

[12] cours des matériaux de construction

[13] Coquillat.G , Lesage. R : Recherche de développement d'emploi des sables issus de roches massives siliceuses et silicatées dans les bétons hydrauliques. Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, N° 30.Paris 1984

[14] Ahmed E.Ahmed , Ahmed A.El-Kourd : Properties of Concrete Incorporating Natural and Crushed Stone Very Fine Sand- ACI, Materials Journal, V.86, No.4, July-August 1989.

[15] Sadhouari.F ,Goufi.N , Guezzouli.A : Valorisation de l'utilisation des sables concasses par analyse des propriétés des mortiers et bétons ; SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries.ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009.

[16] Hachaichi.S , Behim.M :Substitution du sable roule par les sables concasses et le laitier granule de haut fourneau dans les bétons de la région d'Annaba. Université d'Annaba - département de Génie Civil. Algérie, 2008.

[17] Makhloufi.Z , Bederina.M , Bouhicha.M : Caractérisation et comportement mécanique du béton calcaire superplastifié et non superplastifié du turonien de l'atlas saharien (étude comparative) ; SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009.

[18] R.B.A. Alshahwany : Effect of Partial Replacement of Sand with Limestone Filler on Some Properties of Normal Concrete ; Al-Rafidain Engineering, Vol.19,No.3, June 2011.

[19] Kherbache.S , Chelouah.N , Mehidi.K , Chikh amer.H , Tahakourt.A.K : Etude de l'influence de l'ajout de particules fines contenues dans les sables concassés sur le retrait et la résistance des bétons. Université A/MIRA de BEJAIA. Algérie, 2007.

[20] Topličić Ćurčić.G , Grdić.Z , Despotović.I , Ristić.N : Influence of crushed stone aggregate type on concrete consistency ; Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering Vol. 8, No 1, 2010, pp. 99 – 109.DOI: 10.2298/FUACE1001099T .

[21] Ltifi.M , Ben jamaa.N , Belhadj Ali.N , Akrout.K : Etude comparative des bétons hydrauliques à base de sable siliceux et sable calcaire de concassage.Colloque CMEDIMAT 2005.

[21] Sven-Henrik.N : Sand solutions: Replacing natural sand in concrete. Special report,issue of Quarry Management Journal (QMJ, UK), June 2008.

[22] NA 442 : " Ciment : définition, classification et spécification", Alger, 2000.

[23] NF 15-301, Normes Européenne : « Ciments courants »,1994

[24] NF 13057 NBN NE 13057, Normes Belge, « Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton-Méthodes d'essai-détermination de l'absorption capillaire », Octobre 1997, Mai 2002

[25] Hermide G., 2008, « *Influence du volume de pâte et de la concentration en ciment sur la performance du béton : vers le développement d'un béton à contenu minimal en pâte* », Thèse de doctorat de l'école normale supérieure de Cachan, France

[26] NF EN 12350-2, 1999, « *Essai pour béton frais. Partie 2 : Essai d'affaissement* », AFNOR

[27] NA 431, 1989, «béton frais, détermination de la consistance-essais d'affaissement » Norme algérienne

[28] ASTM C 143-78 Standard test method for slump-test .USA: ASTM; 2005

[29] NA 436 ,1992-08-20 « bétons frais, détermination de la consistance-essais d'affaissement ».Norme algérienne

[30] NF EN 12390-2, 2003, « *Essai pour béton durci. Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes* », AFNOR.

[31] NA427 ,1989 «Détermination de la résistance a la compression des éprouvettes» Norme algérienne

[32] NF P 18-412, 1981, «caractéristiques particulière des machines hydrauliques pour essais de compression

[33] NF P 18-407,2003 «*Essai pour béton durci. Partie 4 : Résistance à la traction des éprouvettes* », AFNOR

[34] NA428 ,1992-08-20, «béton –détermination de la résistance a la flexion des éprouvettes» Norme algérienne.

[35] NF 13057 NBN NE 13057, Normes Belge, « Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton-Méthodes d'essai-détermination de l'absorption capillaire », Octobre 1997, Mai 2002

[36] NF P 18-404 essais d'étude de convenance et contrôle et conservation des éprouvettes

[37] Habbouche. A.: " Propriété mécanique et durabilité du béton à base de sable de concassage " Mémoire de Magister, Département de Génie Civil, Université de Blida, Algérie, Juin 2002.

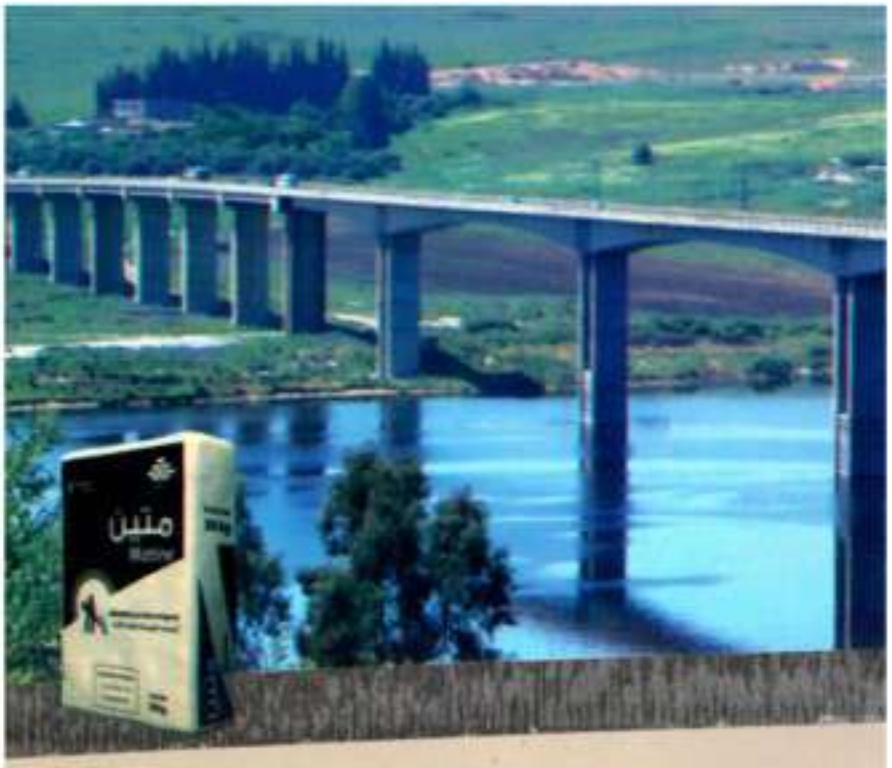
[38] Menadi. B.: " Performance du mortier et béton à base de filler calcaire" mémoire de Doctorat, Département de Génie Civil, Université de Blida, Algérie, 2008.

[39] Said Mansor. M.: " Etude des proprietés des mortiers et bétons à base de ciments ternaires" mémoire de Magister, Département de Génie Civil, Université de Blida, Algérie, 2003

[40] Hadj Sadok. A.: " Comportement des mortiers et bétons à base de ciments au laitier d'El Hadjar dans des milieux agressif " Thèse de Doctorat, Département de Génie Civil, Université de Blida, Algérie, 2010

Annexe

Fiche technique du ciment



Ciment

MATINE

Ciment pour béton exigeant

- Destiné aux bétons de performances avec une résistance caractéristique à la compression Rc 28≥ 25 MPa
- Compatible avec les différents adjuvants et ajouts cimentaires
- Approprié à la réalisation des bâtiments étanchés, tunnels, barrages et ponts

Nous pouvons utiliser les proportions moyennes mentionnées ci-dessous dans le cas de l'absence d'une formulation étudiée.



Remarque : Ces dosages ne sont donnés qu'à titre indicatif, les résultats de ces formulations peuvent varier selon la nature des matériaux utilisés et les conditions de mise en œuvre.

LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A 42,5 R - NA 442

FICHE TECHNIQUE

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°c. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94 .

Domaine d'utilisation :

MATINE est utilisé pour tous les projets courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) :
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .ect) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de désallement,..ect) ;
- Secteur industriel.

Algerian Cement Company (SPA)
33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71

LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A-42,5 R - NA 442

FICHE TECHNIQUE

Analyses et caractérisation

Analyses chimiques	
Perte au feu (%), **(NA 5042)**:	7.00 – 9.50
Résidus insolubles (%), **(NA 5042)**:	1.5– 3.0
Teneur en sulfates SO_3 (%), **(NA 5042)**:	2.00 – 2.50
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%) :	1.90 – 2,30
Teneur en chlorures (%), **(NA 5042)**:	0,01 – 0,03
Composition hypothétique du clinker (Bogue)	
Silicates tricalciques C_3S (%) :	58.00 – 64.00
Aluminates tricalciques C_3A (%) :	6,0– 8,00
Propriétés physiques	
Consistance normale de la pâte de ciment (%) :	25,5 – 28,00
Finesse suivant la méthode de Blaine **(NA 231)**:	4300 – 4 800
Retrait à 28 jours en µm/m	<1 000
Expansion en mm	0,5 – 2.5
Temps de prise à 20°C (NA 230)	
Début de prise (min)	120 - 180
Fin de prise (min)	210 - 280
Résistance à la compression (NA 234)	
02 jours (Mpa)	> 20
28 jours (Mpa)	≥ 42.5 & 62,5

Algerian Cement Company (SPA)
33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71

Equipement secondaire

Les balances

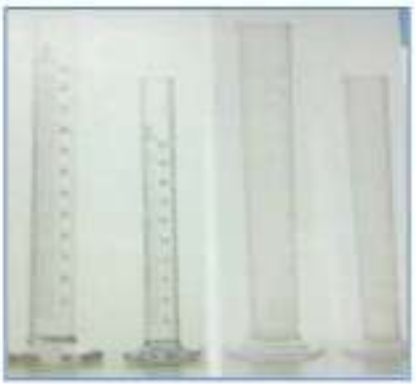




Agitatrice



Eprouvettes et béchers en verre et en plastique graduées







Spatules flexibles en acier inox



Pinceaux

