

Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention du diplôme de master en génie civil

Option : structure



Thème : Etude de la durabilité des bétons de sable de fonderie

Réalisé par :

IDIR LYDIA

BOUTEBBA WISSAM

Encadré par :

M^{ME}.S.ATTIL

Devant le jury :

DR. BOUZIDI

DR. AREZKI

2019/2020

REMERCIEMENTS

Nous voulons exprimer par ces quelques lignes de remerciements notre gratitude envers tous ceux qui ont par leur présence, leur soutien, leur disponibilité et leurs conseils donné le courage d'accomplir ce projet.

Nous commençons par remercier ALLAH tout puissant de nous avoir donné le courage et la force pour la réalisation de ce mémoire.

On tient à remercier notre promotrice Madame ATTIL SOUAD pour nous avoir donné cette chance de pouvoir conduire et mener à bien ce travail. Et surtout pour avoir su nous suivre dans ces changements d'orientations afin que nous puissions nous approprier pleinement ce sujet qui nous tenait à cœur. Merci pour cette liberté et cette confiance accordée.

On remercie tout particulièrement les membres de jury Monsieur BOUZIDI et Madame AREZKI d'avoir accepté d'évaluer et d'examiner notre travail.

On remercie également l'Université de Bejaia (TargaOuzamour) de nous avoir accueilli et apporté la structure nécessaire pour cette aventure enrichissante. Ainsi, que tous les enseignants du Département de Génie Civil pour leur assistance tout au long de nos études universitaires.

Nous tenons à remercier grandement nos familles pour leurs sourires, leurs encouragements, et leurs bienveillances.

Afin de n'oublier personne, nous remercions profondément tous ceux qui nous ont encouragé, aidé et contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à:

Tous ceux qui se sont donné toutes les peines et les sacrifices,

Pour me voir réussir dans la vie.

Les deux personnes les plus chères à mon cœur, mon père et ma mère, qui

m'ont apporté soutien et réconfort tout au long de mes études.

A Mes frères «Ramzi Reda Zndine Jigo» et la famille «Idir» et «Afir»

et Tous mes amis sans exception.

Mes amis du groupe B4.

Et sans oublier mes enseignants qui m'ont soutenu durant

Toutes mes années d'études.

LYDIA

DEDICACE :

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut ...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance.... Aussi, c'est tout simplement que je dédie ce travail...

A mon cher fiancé ANOUAR,

Aucun mot ne peut qualifier ce que je ressens à ton égard. Tu as joué le rôle de correcteur, de point de ravitaillement, de coach et j'en passe, mais, surtout pour ce rôle fabuleux que tu remplis à merveille tous les jours celui de la tendresse et d'amour dont tu m'as entouré. Même lors de périodes difficiles tu as toujours su me remettre sur les rails avec tes conseils judicieux, et surtout tu as su me faire grandir un peu plus chaque jour. C'est au travers des valeurs que tu incarnes que j'ai pu puiser au fond de moi la force nécessaire.

Je te suis reconnaissante pour ton attachement et ton amour infini. Pour tout cela, "chaque cellule de mon corps" te remercie.

Cher ANOUAR, j'aimerais bien que tu trouves dans ce travail l'expression de mes sentiments de reconnaissance les plus sincères car grâce à ton aide et ta patience avec moi que ce travail a pu voir le jour...

Que dieu le tout puissant nous accorde un avenir meilleur.

A mes chers parents et beaux parents, pour leurs encouragements et leurs conseils j'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour;

A mes chers frères REDHA et RAMY, et à ma chère sœur HOUDA de m'avoir aidé à ranger mon éternel désordre! Je vous aime beaucoup.

A ma chère Madame S. ATTIL pour ses efforts et ses orientations.

A mes meilleures amies et à ma petite famille CHEA.

WISSAM



Table De

Matières

Table des matières

Listes des figures

Liste des tableaux

Notations et abréviations

Résumé

Problématique.....	1
Introduction Général.....	3
Chapitre I : Généralités sur les rejets industriels.....	5
I.1 INTRODUCTION:	5
I.2 DEFINITIONS DU CONCEPT DECHET	5
I.2.1. Concept littéraire :.....	5
I.2 .2. Concept environnemental :.....	5
I.2 .3.Concept économique :	5
I.2 .4. Concept juridique :	6
I.3.ORIGINE DE LA PRODUCTION DE DECHET:.....	6
I.4.CONSTITUTION CHIMIQUE DU DECHET :	6
I.5. DECHETS INDUSTRIELS	6
I.5.1.Déchets industriels banals (DIB) :.....	7
I.5.2.Déchets industriels dangereux (DID).....	7
I.5.3.Déchets industriels spéciaux (DIS).....	7
I.6. DECHETS DE LA CONSTRUCTION	7
I.7. LES IMPACTS DES DECHETS SUR L'ENVIRONNEMENT :.....	8
I.8. VALORISATION DES DECHETS :	8
I.9. TRAITEMENT DES DECHETS :	8
I.10.GESTION DES DECHETS.....	8
I.11. LA GESTION DES DECHETS.....	8
I.12. LERECYCLAGE.....	8
I.12.1. Intérêt du recyclage dans le domaine du génie civil	9
I.13.DECHETS RECYCLES DANS LE DOMAINE DU GENIE CIVIL.....	10
I.13.1.Les Laitiers sidérurgiques	10
I.13.2.Laitier d'acier	11
I.13.3.Sous-produits provenant des centrales thermiques	11

I.13.4.Mâchefer	11
I.13.5.Scories	12
I.13.6.Cendres volantes	13
I.13.7.Déchets de verre	13
I.13.8.Sables de fonderies	14
I.13.9.Déchets de briques.....	14
I.14. OBJECTIF DE LA VALORISATION:	15
I.15.CONCLUSION	16
Chapitre II: Sable de fonderie.....	16
II.1 INTRODUCTION:	16
II.2. SABLE:.....	17
II.2.1.Définition d'un sable:.....	17
II.2.2. Origine de sable:.....	17
II.2.3. Classification des sables:	17
II.2.3.1. Granulométrie	17
II.2.3.2. Propreté:.....	18
II.2.3.3. Nature minéralogique :	18
II.2.4. Les types des sables selon leurs provenances:.....	18
II.5. SABLE DE FONDERIE:	19
II.5.1. Définition:.....	19
II.5.2 Origine:	20
II.5.3. Caractéristiques chimiques:	20
II.5.4. Propriétés physiques:.....	20
II.5.5.Composition générale:	21
II.5.6. Conditions d'utilisation:	21
II.6. LES CRITERES POUR LE CHOIX D'UN SABLE DE FONDERIE :	22
II.6.1. Economiques (coût et disponibilité).....	22
II.6.2. Techniques :.....	22
II.7. LES SABLES DE FONDERIE EN ALGERIE:	22
II.7.1. Sable à vert ou à l'argile	22
II.7.2. Sable au silicate de soude	22
II.7.3. Sable au silicate de soude avec bentonite	22
II.7.4. Sable à la résine.....	22
II.7.5. Sables au ciment.....	23

II.8. CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS SABLES UTILISÉS EN FONDERIE	23
II.9. LES SOLUTIONS POUR LES SABLES DE FONDERIE :	23
II.11. UTILISATION DES SABLES DE FONDERIE DANS LA PRODUCTION DES MORTIERS DE CIMENT ET DES BETONS.....	25
II.12. CLASSIFICATION DES SABLES	26
II.13. UTILISATION DES SABLES DE FONDERIE EN CONSTRUCTION	26
ROUTIERE.....	26
II.13.1. Utilisation en assises de chaussées	26
II.13.2. Utilisation en couche de roulement.....	26
II.14.PERSPECTIVES DES UTILISATIONS DE SABLES DE FONDERIE.....	27
II.15. Conclusion:	27
Chapitre III : Durabilité des bétons.....	28
III.1. INTRODUCTION	28
III.2. DEFINITION DU BETON	28
III.3. LES CONSTITUANTS DU BÉTON	29
III.3.1. Ciment :	29
III.3.2. Additions minérales :	29
III.3.3. Granulats :	29
III.3.4. Eau de gâchage :	29
III.3.5. Adjuvants.....	29
III.4. LA DURABILITE.....	30
III.4.1. Généralités	30
III.4.2. Introduction à la durabilité.....	30
III.4.3. Définition de la durabilité :	31
III.4.4 Durabilité et économie :	31
III.4.5 Béton durable et béton résistant :	31
III.4.6. Facteurs influant sur la durabilité du béton :	32
III.4.7. Conception de la structure	33
III.4.8. Opération de construction	34
III.4.9. Gestion et maintenance	34
III.4.10. Propriété du matériau	34
III.4.11. Condition environnementale externe	35
III.5. CAUSE D'UNE MAUVAISE DURABILITE	36
III.6. LES ATTAQUES CHIMIQUES DU BETON	36

III.6.1. Attaques par les acides.....	37
III.6.2. Les attaques sulfatiques	38
III.6.3. Attaques par les ions chlorures :	38
III.7. CONCLUSION	39
Chapitre IV : Résultats bibliographiques et discussions	40
IV.1. INTRODUCTION	40
IV.2. ETUDE DES PROPRIETES PHYSICOMECHANQUES DES BETONS ET MORTIERS A BASE DE SABLE DE FONDERIE	40
VI.2.1. Introduction :	40
VI.2.2. Résultats et interprétation des essais sur les mortiers	40
VI.2.2.1. résistance à la traction par flexion :	40
VI.2.2.2. résistance à la compression :	41
VI.2.3. Résultats et interprétation des essais sur les bétons.....	43
IV.2.3.1. Masse volumique du béton :.....	43
IV.2.3.2. Résistance à la compression :.....	44
IV.3. DURABILITE DES BETONS A BASE DE SABLE DE FONDERIE	45
IV.3. 1. Introduction.....	45
IV.3. 2. Caractéristiques des sables utilisés	45
IV.4. DURABILITE DES BETONS A BASE DU SABLE DE DEMOLITION ET AJOUTS MINERAUX ACTIFS[59]	49
IV.4.1. Comportement du mortier à l'état durci	49
IV.4.1.1. Résistance à la compression	49
IV. 5. Conclusion:	53
Conclusion générale	54

LISTE DES

FIGURES

Liste des figures

Figure I.1: problème du déchet général	5
Figure I.2: Schématisation du concept déchet.....	6
Figure I.3 : Répartition des déchets dans un bâtiment	7
Figure I.4 : Usine de recyclage des déchets.....	9
Figure I.5: Photo d'un laitier de haut fourneau.....	10
Figure I.6 : Photo d'un laitier d'acier	11
Figure I.7 : Photos du mâchefer.....	12
Figure I.8 : Site de stockage scories et scories	12
Figure I.9 : Photo de la cendre volante.....	13
Figure I.10 : Déchets de verres.....	14
Figure I.11 : Sable de fonderies.....	14
Figure I.12 : Briques en terre crue.....	15
Figure I.13 : Briques en terre cuite.....	15
Figure II.1: Différents sables.....	17
Figure II.2: Sable de fonderie.....	19
Figure II.3: Résine.....	20
Figure II.4: Catalyseur.....	20
Figure II.5 : Sable de fonderie.....	20
Figure III.1 : Formulation du béton.....	28
Figure III.2: Facteurs influant sur la durabilité des structures en béton armé	32
Figure III.3: Processus de détérioration du béton armé.....	35
Figure III.4: La détérioration des silos-tours en béton due à l'attaque des acides d'ensilage. (Photo offerte par : Thomas P. Rylett Ltd., ingénieur-conseil en structures).....	37

Figure III.5 : Les attaques des sulfates sur les armatures et le béton.....	38
Figure III.6: Agression du béton par activité des chlorures	39
Figure IV.1: La machine de l'essai de traction par flexion.....	40
Figure IV.2 : Essai de résistance à la compression	41
Figure IV.3 : Les résistances mécaniques des mortiers à base de sable de fonderie à 28 jours.....	42
Figure IV.4: Masses volumiques du béton de sable de fonderie	43
Figure IV.5: Essai de compression d'une éprouvette cylindrique de béton	44
Figure IV.6: Résistance à la compression en fonction des différents dosages du sable de fonderie	44
Figure IV.7: Résistance à la compression et à la flexion des mortiers.....	45
Figure IV.8: Evolution des retraits des mortiers en fonction du temps	46
Figure IV.9: Résistances des bétons à 28 J.....	47
Figure IV.10: Variation de l'expansion des matériaux	48
Figure IV.11: Résistance à la compression des mortiers conservé dans une solution sulfatée	48
Figure IV.12: Résistance à la compression des mortiers conservés dans une solution acide.....	49
Figure IV.13: Résistance à la compression des mortiers à base de sable de béton concassé différents dosages en ciment CPJ.....	51
Figure IV.14: Résistance à la compression des mortiers à base de sable de brique concassé pour différents dosages en ciment CPJ.....	52
Figure IV.15: Résistance à la compression des mortiers à base de sable de béton concassé pour différents dosages en ciment CRS.....	52
Figure IV.16: Résistance à la compression des mortiers à base de sable de brique concassé pour différents dosages en ciment CRS.....	53

Liste Des

Tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Déchets dans un bâtiment.....	7
Tableau II.1 : Classes de propreté d'après les valeurs de l'équivalent de sable.....	18
Tableau II.2 : Caractéristiques des sables de fonderie.....	23
Tableau VI.1 : Les résultats à la traction des mortiers à base de sable de fonderie à 28 jours.....	41
Tableau IV.2 : Les résistances à la compression des mortiers à base de sable de fonderie à 28jours.....	41
Tableau IV.3 : Résistance à la compression des mortiers à base de sables recyclés pour des dosages de ciments respectifs 300, 350, 400 kg/m ³ sur des éprouvettes (4x4x16)cm ³	50
Tableau IV.4 : Résistance à la compression pour mortier dosé à 400 kg/m ³ à base de sables recyclés sur des éprouvettes (7x7x7)cm ³	50

AVREVIATIONS

&

NOTATIONS

Notations et abréviations

Abréviations et symboles	Signification
BCR	Boulonnerie, Coutellerie, Robinetterie
OM	Ordures Ménagères
DIB	Déchets Industriels Banals
DIS	Déchets Industriels Spéciaux
DMS	Déchets Ménagers Spéciaux
DTQS	Déchets Doxique en Quantité dispersé
DMA	Déchets Ménagers et Assimilés
DI	Déchets Inters
DAS	Déchets d'Activités de Soins
DEEE	Déchets (Electronique, Electrique, Electroménager
C/N	Carbone /Azote
MATE	Ministère de l'Aménagement du Territoire de
	l'Environnement
CET	Centre d'Enfouissement Technique
ESV	L'Equivalent de Sable à Vue
ESP	L'Equivalent de Sable au Piston
MF	Module de Finesse
SFU	Sable de Fonderie Usé
AEA	Agent Entraîneur d'Air
SP	Super Plastifiant
AV	Agent de Viscosité
E/C	Eau/Ciment
E/L	Eau/liant
C-S-H	Silicate de Calcium Hydrate
BHP	Béton à Hautes Performances

Introduction

Générale

Devant les besoin sans cesse croissant des ressources en matériaux et les exigences ainsi que les conditions de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et d'étudier toutes les possibilités et opportunités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine du Génie Civil.

Parmi ces déchets, on trouve la fumée de silice, le laitier granulé de haut fourneau, les cendres volantes... etc. Ces déchets peuvent être incorporés dans le béton comme ajout minéral ou granulats fin (sable), afin d'améliorer certaines propriétés à l'état frais (telle que la fluidité) ou durci (telle que la durabilité du béton) [1].

Le sable est l'un des principaux ingrédients utilisés comme agrégat fin dans la production de béton. Il est coutume de dire en fonderie de moulage qu'un bon sable permet de fabriquer de bonnes pièces.

Les dépôts de sable naturel et de gravier, surtout ceux qui sont situés près de grands centre urbains, risque de s'épuiser ou d'entraîner des frais d'exploitation très élevés ; en raison du coût du transport et des restrictions relatives à la protection de l'environnement. C'est pourquoi la production des granulats recyclés s'est développée au début des années80[2].

En outre, la restriction dans l'extraction de sable par les organisations gouvernementales à augmenter le prix du sable, affectant gravement la stabilité de l'industrie de la construction[2]. Pour ces raisons, l'utilisation des granulats recyclés dans les bétons présentent plusieurs avantages tout au niveau environnementale, technologie et économique qui intéresse de plus en plus les industriels. Cependant, trouver un matériau de substitution pour faire face à la demande croissante en granulats à bétons et mortiers est intéressant.

Dans cette présente étude, on va s'intéresser à un type de sable disponible en quantité importante localement, qui est le sable de fonderie. Ces types de sable sont propres, secs, riches en silice de granulométrie uniforme, l'étendue de sa plage granulométrique varie entre 0.063 mm et 2mm (ou entre 0.075mm et 1mm pour d'autre auteur)[3].

D'après les résultats de plusieurs recherches, le sable de fonderie est classé comme matériaux de substitution pour les granulats fins, et c'est un matériau mis en rebut issu de l'industrie des moulages métaux ferreux et non ferreux.

Le sable de fonderie a été réutilisé comme matériau de fondation, dans les applications de stabilisation des routes et des sols[4]. Cependant, des quantités très importantes de sable de

fonderie à valoriser au travers de multiples filières multiples. La génération des sables de moulages est couramment mise en œuvre en fonderie.

En effet, la valorisation des sables de fonderie répond à un impératif environnemental mais également à une logique économique et écologique. La durabilité des ouvrages en béton, qui peut être définie comme étant leur capacité d'assurer la tenue en service prévue, est une caractéristique très importante, surtout pour les ouvrages importants de génie civil (ponts, silos, réservoirs, barrages, enceintes nucléaires....); car en cas de dégradations de tels ouvrages, les conséquences seront multiples et graves surcoûts de réparation, limitation de la durée de vie de l'ouvrage et dans des cas extrême la ruine partielle ou totale de l'ouvrage. Donc, la prise en compte préventive des facteurs qui peuvent affecter la durabilité des ouvrages est impérative lors de la conception et de l'élaboration de ces ouvrages.

La durabilité d'un béton est une réponse aux charges en service et aux conditions environnementales. Ainsi la durabilité d'un béton dépend d'une multitude de caractéristiques du matériau, mais aussi de l'agressivité de son environnement. Divers phénomènes de détérioration peuvent affecter la durabilité du béton [5].

L'objectif de cette étude de recherche est de contribuer à la réutilisation d'un rejet industriel, qui est le sable de fonderie, disponible en grande quantité au niveau de l'unité BCR de AIN KEBIRA (Sétif-Algérie). Ce sable provoque des problèmes de circulation dans l'unité, vu qu'il occupe des vastes surfaces ; pour cela son utilisation par recyclage permettra:

- D'éliminer les déchets d'où la protection de l'environnement ;
- D'aider à résoudre certains problèmes liés au manque de ce granulat.

Ce mémoire est constitué de:

- Introduction général ;
- Chapitre I : Généralités sur les rejets industriels ;
- Chapitre II : Les sables de fonderie ;
- Chapitre III : Durabilité des bétons ;
- Chapitre IV : Résultats des différentes recherches effectuées sur les sables de fonderie ainsi que leurs discussions.

Enfin, une conclusion générale clôturera notre travail en synthétisant les principaux résultats obtenus dans les différentes recherches.

Résumé

L'épuisement des gisements naturels de granulats et les difficultés pour ouvrir de nouvelles carrières imposent de chercher de nouvelles sources d'approvisionnement.

Le recyclage et la valorisation des déchets et sous-produits industriels sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation et de protéger l'environnement.

En effet, l'industrie métallurgique des métaux ferreux rejette chaque année de grandes quantités de sable de fonderie susceptible d'une utilisation dans le domaine de la construction.

Les sables de fonderie sont des sous-produits de l'industrie de la fonderie. Dans le procédé de moulage de pièces métalliques, les fonderies utilisent un sable fin siliceux associé à d'autres matériaux tels que l'argile ou des liants organiques. Les sables de fonderie sont donc susceptibles d'être utilisés pour la fabrication des bétons hydrauliques. Des recherches ont montré que l'utilisation de ce sable à 25% comme substituant d'un sable ordinaire est intéressante.

MotsClés: sable de fonderie, valorisation, déchets, béton.

Abstract

The depletion of natural aggregates and the difficulties in opening new quarries necessitate the search for new sources of supply.

The recycling and recovery of industrial waste and by-products is now seen as a solution for the future in order to meet the deficit between production and consumption and to protect the environment.

In fact, the ferrous metal industry releases large quantities of foundry sand each year, which may be used in construction.

Foundry sands are by-products of the foundry industry. In the metal castings process, foundries use fine siliceous sand combined with other materials such as clay or organic binders. Foundry sands are therefore likely to be used in the manufacture of hydraulic concretes. Research has shown that the use of this 25% sand as a substitute for ordinary sand is interesting.

Keywords: foundry sand, valorization, waste material, concrete.

ملخص

استنفاد الرواسب الكلية الطبيعية والصعوبات فيفتح مستودعات جديدة تتطلب المحاجر مصادر إمداد جديدة ينظرا لان إلى إعادة تدوير النفايات الصناعية والمنتجات الثانوية واستردادها على أنها حل للمستقبل من أجل سد العجز بين الإنتاج والاستهلاك و حماية البيئة.

في الواقع أن صناعة المعادن الحديدية تطلق كميات كبيرة من الرمل المسبك لعام، والتي يمكن استخدامها في البناء. إن رمال المسبك هي منتج ثانوي لصناعة المسبك. فعملية تشكيل الأجزاء المعدنية، تستخدم مسابك الرمال السيليكات الدقيقة مرتبطة بمواد أخر بمثل الطين أو المواد الرابطة العضوية. لذلك من المحتمل أن تُستخدم رمالا لمسبك في تصنيع الخرسانة الهيدروليكية. ولقد أظهرت الأبحاث أن استخدام هذه الرمال بنسبة 25% كبديل للرمل العادية أمر مثير للاهتمام.

الكلمات المفتاحية: الرمل المسبوك، استعادة النفايات، مواد النفايات، الخرسانة.

Problématique:

Les agrégats sont un constituant fondamental dans l'industrie de la construction et des travaux publics, leur consommation est particulièrement importante dans les infrastructures et les réseaux de toute sorte.

En effet, ces composants de bétons sont indispensables à l'économie nationale, ils doivent être considérés à leur juste valeur dans la planification économique et à l'aménagement du territoire.

Les agrégats font partie des richesses naturelles au même titre que la forêt, l'agriculture, l'eau ...etc. Ils ont les caractéristiques suivantes:

- ❖ Ils sont disponibles dans la nature en quantité limitée ;
- ❖ Ils ne sont pas renouvelables ;
- ❖ Ils sont généralement extraits dans l'environnement ;
- ❖ Une fois utilisés, ils sont récupérables et recyclables ;
- ❖ Le coût du transport en vrac est basé sur la distance à parcourir; donc, plus le site est éloigné, plus est élevé le coût de la matière première ;
- ❖ La récupération et le recyclage des agrégats ne sont pas identifiés comme un objectif prioritaire dans le domaine des richesses naturelles.





La prise en compte des agrégats recyclés sur les caractéristiques physico-mécanique, des bétons ont une valeur variable en fonction de l'âge et des paramètres de formulation (dosage en ciment, en additions, en eau, en adjuvants et nature de ciments).

Le sable joue un rôle très important lors de la fabrication du béton, car il influence à la fois les propriétés du béton à l'état frais (rhéologie) et à l'état durci (résistance mécanique et durabilité). Son rôle se traduit par une série de normes très restrictives sur la qualité des sables que l'on peut utiliser pour fabriquer du béton. Les caractéristique importantes des sables à béton sont:

- ✚ Leur teneur en eau ;
- ✚ Leur teneur en argile ;
- ✚ Leur granulométrie ;
- ✚ Leur origine et nature.

Avec l'amenuisement des réserves naturelles de sable, il est nécessaire de se préoccuper dès aujourd'hui à l'utilisation des sables manufacturés, *des sables recyclés*, des sables de dunes ou des sables de mer, de façon à fabriquer des bétons économiques et durables.

Dans ce contexte, notre travail a pour objectif principal de contribuer à la valorisation du sable de fonderie comme substitut au granulat naturel dans la production de nouveaux bétons structurels, tels que

-  Collaborer à préserver l'environnement ;
-  Répondre à la demande croissante en granulats ;
-  Participer à mettre en valeur des granulats recyclés ;
-  Eliminer ou diminuer les déchets des unités industrielles (sable de fonderie).

Chapitre I

Généralités Sur

Les

Rejets

Industriels

I.1 INTRODUCTION:

Les déchets ne sont pas uniquement un problème environnemental mais aussi une perte économique. Une fraction de plus en plus importante de ces déchets est maintenant compostée ou recyclée, et la part finissant à la décharge s'amenuise. Comment pouvons-nous modifier la façon dont nous produisons et consommons pour produire de moins en moins de déchets tout en utilisant ce qui reste comme une ressource?

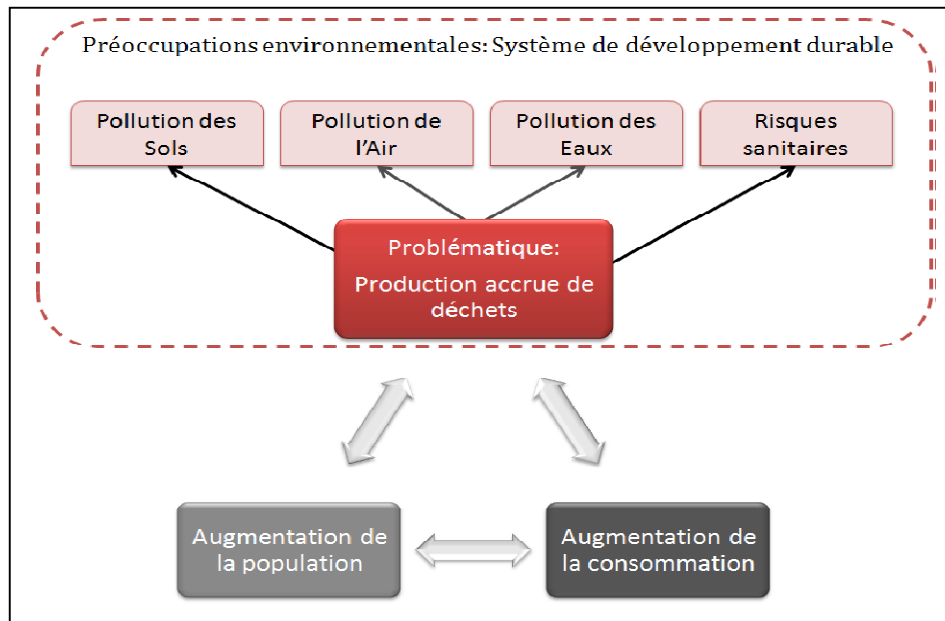


Figure I.1: problème du déchet général [6]

I.2 DEFINITIONS DU CONCEPT DECHET

I.2.1. Concept littéraire :

- Perte, diminution qu'une chose subite dans l'emploi qui en est fait.
- Ce qui reste d'une matière qu'on a travaillée.
- Résidu impropre à la consommation, inutilisable (et en général sale ou encombrant).

I.2 .2. Concept environnemental :

Du point de vue de environnemental, un déchet constitue une menace à partir du moment où l'on envisage un contact avec l'environnement. Ce contact peut être direct ou le résultat d'un traitement.

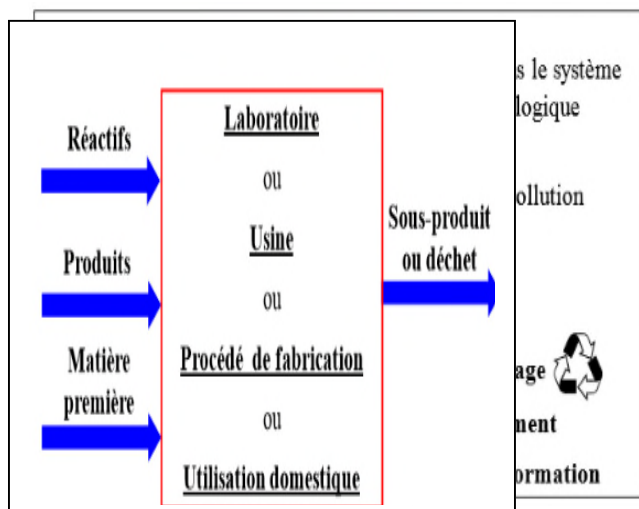
I.2 .3. Concept économique :

Sur le plan économique, un déchet est une matière ou un objet dont la valeur économique est nulle ou négative pour son détenteur à un moment et dans un lieu donné.

I.2 .4. Concept juridique :

L'article 3 de la loi 01/19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets définit le déchet comme suit : "tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout objet, bien meuble dont le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer".

La figure 2 ci-après illustre le concept déchet; ses sources habituelles de production et son statut [7] :



(a) Sources habituelles de production du sous-produit, (b) Statut du déchet : gisement de matière première

Figure I.2: Schématisation du concept déchet [7].

I.3. ORIGINE DE LA PRODUCTION DE DECHET:

Les déchets peuvent être d'origine diverses: industrielle, artisanale, domestique, ...etc.

En effet, toutes les activités humaines produisent des déchets, même celles liées à la nature avec les déchets verts, leur production est inéluctable [8].

I.4. CONSTITUTION CHIMIQUE DU DECHET :

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Par ailleurs, Il peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux [9].

I.5. DECHETS INDUSTRIELS

Selon le rapport sur la gestion des déchets en Algérie [10], l'Algérie génère 2550000t/an de déchets industriels. Ces derniers peuvent être classés en 3 catégories :

I.5.1. Déchets industriels banals (DIB) : sont des déchets ni inerte ni dangereux, générés par les entreprises dont le traitement peut éventuellement être réalisé dans des installations.

I.5.2. Déchets industriels dangereux (DID) : Ils sont particulièrement nocifs pour l'environnement.

I.5.3. Déchets industriels spéciaux (DIS) : Ils désignent les déchets qui présentent des risques pour l'environnement et la santé humaine [11].

I.6. DECHETS DE LA CONSTRUCTION

Les déchets du BTP concernent les déchets de : construction, réhabilitation, démolition [12].

La figure suivante montre la répartition des déchets dans un bâtiment.

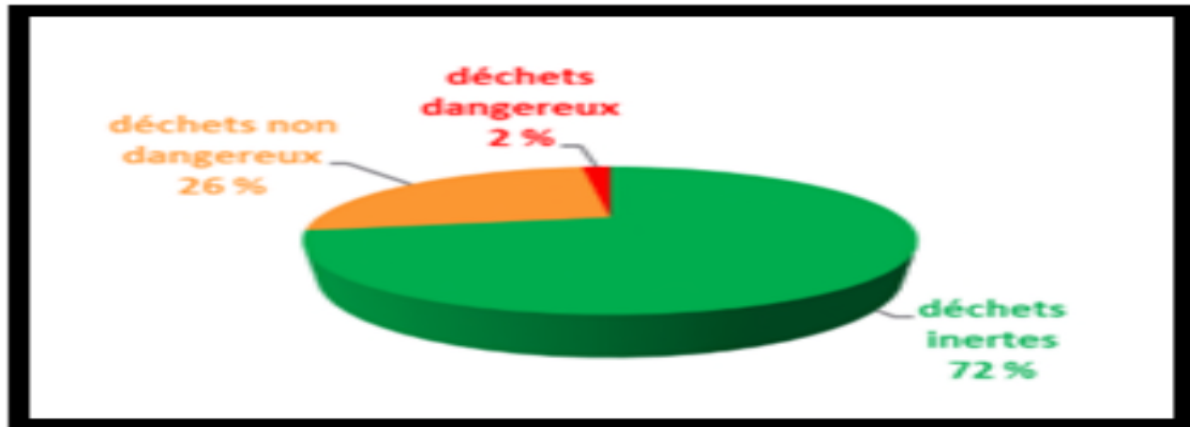


Figure I.3 : Répartition des déchets dans un bâtiment [12].

Tableau 1.1 : Déchets dans un bâtiment [12].

<p>INERTES</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bétons, - Briques, tuiles et céramiques, - Mélange de béton, briques, tuiles et céramiques, - Verre (partie vitrage uniquement), - Matériaux bitumineux sans goudron, - Terres et pierres (y compris déblais mais hors terre végétale).
<p>DÉCHETS NON DANGEREUX</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Métaux et leurs alliages, - Bois bruts ou faiblement adjuvantes, - Papiers, Cartons, - Plastiques, - Laines minérales, - Peintures, vernis, colles, mastics en phase aqueuse, - Cartouches ne contenant pas de produits toxiques, - Mélanges de ces différents déchets, y compris les mélanges contenant des déchets inertes, (déchets d'équipements électriques et électroniques) ne contenant pas de substances dangereuses, - Déchets alimentaires liés à la vie sur le chantier... - du Plâtre.



- Aérosols, - Accumulateurs et piles contenant des substances dangereuses, - Bois traité avec des substances dangereuses, - Boues de séparateur d'hydrocarbures, - Cartouches contenant des substances dangereuses, - Emballages souillés par des substances dangereuses, - Produits contenant du goudron, - Lampes à économie d'énergie, -déchets d'équipements électriques et électroniques contenant des substances dangereuses, - peintures, vernis, colles, solvants contenant des substances dangereuses, - Pinceaux, chiffons souillés avec des produits dangereux, - Produits absorbants pollués aux hydrocarbures, - Transformateurs au pyralène... - de l'amiante friable et lié, tous matériaux amiantés,

I.7. LES IMPACTS DES DECHETS SUR L'ENVIRONNEMENT :

Les déchets industriels peuvent avoir des conséquences très néfastes pour l'environnement s'ils sont mal gérés. Leurs impacts sur l'air, l'eau et le sol ne sont pas négligeables [13].

I.8. VALORISATION DES DECHETS :

La valorisation des déchets concerne le recyclage, le réemploi ainsi que la réutilisation [14].

I.9. TRAITEMENT DES DECHETS :

Le traitement des déchets en terme d'un processus vise à :

- Valoriser au maximum les déchets ;
- Transformer les déchets en rejet éco compatible ;
- Stocker les résidus ultimes [15].

I.10. GESTION DES DECHETS

La gestion des déchets constitue une préoccupation majeure pour les autorités en charge de ce secteur. Elle représente aujourd'hui un véritable enjeu tant financier, en raison de l'augmentation croissante des coûts de gestion des déchets [16].

I.11. LA GESTION DES DECHETS

La gestion des déchets regroupe la collecte, le transport, la valorisation et l'élimination des déchets généralement issus des activités humaines. L'accent a été mis, ces dernières décennies, sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et surtout sur leur valorisation.

I.12. LERECYCLAGE

Le recyclage, qui a pour avantage de réduire la consommation en matière première pour la fabrication de nouveau bien, permet de minimiser l'impact en environnemental des déchets.

Afin que les déchets recyclables puissent être effectivement recyclés. Cette opération a pour objectif principal d'éviter un souillage des déchets recyclables par des déchets non recyclables. En effet, ceci pourrait les rendre impropres au recyclage. D'autre part, il permet d'orienter les différents déchets vers la bonne destination. [16]



Figure I.4 : Usine de recyclage des déchets.

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et utilisés [17].

I.12.1. Intérêt du recyclage dans le domaine du génie civil

Actuellement, la plupart des granulats disponibles sur le marché sont des granulats naturels issus de carrières ou de l'extraction des lits des fleuves ou des fonds marins. Ces produits offrent l'avantage d'une qualité relativement constante et d'un approvisionnement continu. Le granulat recyclé ne peut pas être considéré à ce jour comme un matériau de remplacement qui permettrait d'éviter l'exploitation des gisements naturels mais il peut ralentir ce processus. Par exemple, la Belgique produit chaque année environ 72 millions de tonnes de granulats tous types confondus. La répartition des différents types de granulats s'effectue de la manière suivante [18] :

- granulats naturels : environ 43 millions de tonnes par an (+/- 58%) ;
- granulats marins : environ 4 millions de tonnes par an (+/- 5,5%);
- granulats artificiels : environ 2 millions de tonnes par an (+/- 2,25%);
- sables/graves : environ 11 millions de tonnes par an (+/- 14,75%);
- granulats recyclés : 14 millions de tonnes par an (+/- 19,5%).

Ainsi le recyclage des déchets comme granulats pour les routes ou la construction permet:

- Une économie de la ressource naturelle ;
- Une réduction du transport des matériaux, donc une réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre ;
- Une mise en œuvre rapide minimisant la gêne pour les habitants ;

- La réduction des quantités de matériaux mis en décharge.

Au niveau environnemental, le recyclage complet du béton contribue à minimiser l'impact CO2 du fait que :

- pour les grandes agglomérations, l'utilisation des granulats recyclés permettra de diminuer une partie du CO2 attribuée au transport de granulats ;
- Le béton concassé est susceptible de piéger le CO2 en se carbonatant [19];
- La récupération des fines potentiellement utilisables, après traitement, dans la production d'un nouveau ciment ou autre liant hydraulique, a un impact sur la réduction de la production de CO2 des cimenteries.

De plus le recyclage est une activité économique à part entière. Elle est le moyen de création de richesses pour les entreprises de ce secteur. Par exemple, les 205 entreprises du recyclage en Ile-de-France rassemblent près de 5000 salariés en 2015. En Algérie, on estime que le recyclage créera plus de 30000 postes d'emplois directs. En théorie, presque tous les matériaux sont recyclables. En pratique, l'absence de filière rentable fait qu'ils ne sont pas tous recyclés.

I.13. DECHETS RECYCLES DANS LE DOMAINE DU GENIE CIVIL

I.13.1. Les Laitiers sidérurgiques

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer en fonte brute. Le laitier est ensuite refroidi lentement à l'air libre et donne un matériau cristallin et compact connu sous le nom de «laitier refroidi à l'air» ou bien il est refroidi rapidement et traité au moyen de jets d'eau pour obtenir un matériau léger désigné sous le nom «laitier expansé». Le laitier refroidi à l'air est approprié comme granulats pour le béton. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications [16].



Figure I.5: Photo d'un laitier de haut fourneau.

I.13.2.Laitier d'acier

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bicalcique, il est utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. Normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé. L'utilisation de ces laitiers est assez peu répandue en raison des problèmes de stabilité dimensionnelle. Des procédés de vieillissement se sont développés afin de maîtriser cette instabilité et des initiatives de valorisation, notamment en génie civil. Aussi, les risques environnementaux associés à l'utilisation des laitiers dans certaines filières sont encore peu connus [16].



Figure I.6 : Photo d'un laitier d'acier.

I.13.3.Sous-produits provenant des centrales thermiques

Dans les centrales électriques anciennes, les résidus de la combustion de houille sont désignés sous le nom de «mâchefer». Dans les centrales modernes, on utilise du charbon broyé ou pulvérisé pour la production de vapeur. Les petites particules qui sont transportées par les gaz de combustion sont recueillies par précipitation électrostatique ou par un autre moyen quelconque. Les particules sont appelées «cendres volantes». Certaines particules de cendres forment des scories qui tombent au fond du four. Dans les fourneaux à température élevée, il se produit également des résidus fondus appelés laitier de charbon [16].

I.13.4.Mâchefer

Le mâchefer contient une proportion considérable de charbon non brûlé et d'autres impuretés. Il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton. Etant donné que le mâchefer contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé. Ce matériau risque de devenir de plus en plus rare à mesure que les centrales électriques anciennes passent à la combustion de charbon pulvérisé. A la sortie du four d'incinération les

mâchefers sont généralement humides et contiennent des éléments grossiers (exemples : verre, ferrailles, gros imbrûlés). Les mâchefers sont classés en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques en 3 catégories:

- Mâchefers de catégorie «V» à faible fraction lixiviable (fraction d'éléments solubles dans un solvant);
- Mâchefers intermédiaires de catégorie «M»;
- Mâchefers avec forte fraction lixiviable de catégorie «S» [16].



Figure I.7 : Photos du mâchefer.

I.13.5.Scories

Ces résidus constituent environ 2,5% de la production totale de cendres. On prévoit que plus le charbon sera utilisé, plus on aura de cendres. La composition chimique des scories de combustion américaines est semblable à celle des cendres volantes, sauf que les scories ont une plus forte proportion d'alcalis et de sulfates. Les scories de charbon et le laitier de charbon peuvent être utilisés comme granulats légers [16].



Figure I.8 : Site de stockage scories et scories.

I.13.6.Cendres volantes

Les cendres volantes pourraient constituer de très bons granulats légers, mais elles ne sont pas beaucoup utilisées. Elles sont issues de la combustion du charbon pulvérisé et poussé dans la

chambre de combustion d'un four par des gaz d'échappement. Elles sont préférables à beaucoup d'autres granules légers étant donné qu'elles donnent une combustion plus efficace, du fait que le carbone contenu dans les cendres produit la quantité de chaleur nécessaire pour éliminer l'humidité des boulettes et pour amener les boulettes à la température de frittage. Les cendres volantes sont classées selon leurs teneurs en CaO et du type du charbon brûlé [16].

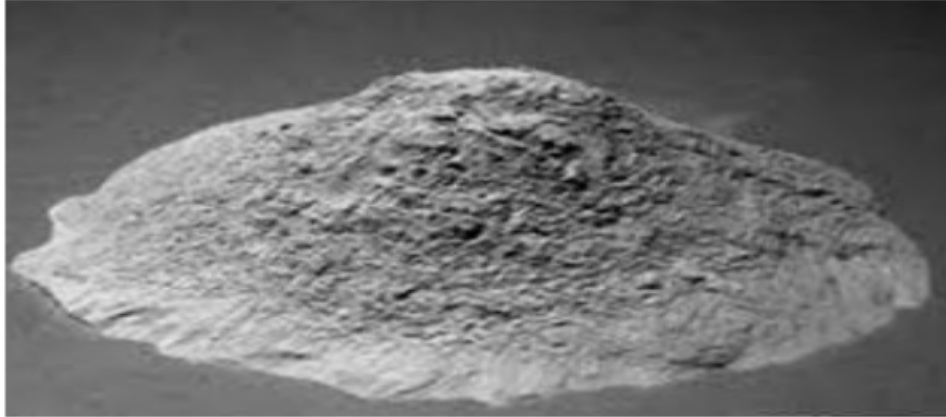


Figure I.9 : Photo de la cendre volante.

I.13.7. Déchets de verre

Le verre est un corps solide, non cristallin, homogène, provenant du refroidissement progressif de certaines substances après fusion. Le verre est l'un des matériaux les plus utiles car il possède de nombreuses qualités. Il est facile à modeler, transparent et peut prendre de nombreuses formes. Le problème environnemental que posent les déchets non biodégradables tels que les bouteilles non réutilisables (verre) devient une préoccupation majeure au regard des quantités énormes produites dans les grandes villes. L'une des rares voies de recyclage de ces déchets est de les stocker dans les procédés de construction (béton). Ainsi, le verre est un matériau riche en silice et en sodium. Son utilisation dans une matrice cimentaire entraîne deux réactions à effet contraire : la réaction alcali silice néfaste pour les bétons par les gonflements qu'elle génère, et la réaction pouzzolanique qui est bénéfique.

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année et une voie de recyclage du verre consiste à l'utiliser dans les matériaux de construction. Il est utilisé sous deux formes principales: les granulats (taille > 4mm) et les poudres (taille < 4mm). Les granulats sont utilisés en remplacement des graves dans les bétons et lui procurent une résistance moindre. Les poudres sont utilisées dans les mortiers en remplacement du sable mais aussi dans l'industrie du ciment comme fines [16].



Figure I.10 : Déchets de verres.

I.13.8.Sables de fonderies

Les sables de fonderie sont des sous-produits de l'industrie de la fonderie. Dans le procédé de moulage des pièces métalliques, les fonderies utilisent un sable fin siliceux associé à d'autres matériaux tels que l'argile ou des liants organiques (résines phénoliques). Quand le sable n'est plus réutilisable pour l'industrie de la fonderie, il est mis en décharge. Les sables de fonderie sont donc susceptibles de constituer une matière première d'un coût assez faible pour la fabrication des bétons hydrauliques. La réglementation française, en l'occurrence l'Arrêté Ministériel du 16 juillet 1991 relatif à l'élimination des sables de fonderie contenant des liants organiques de synthèse, précise les conditions de la réutilisation de ces sables: «les sables de fonderie peuvent être utilisés pour la fabrication de produits à base de liants hydrauliques si leur teneur en phénol est inférieure à 5mg/kg de sable rapporté à la matière sèche»[16].

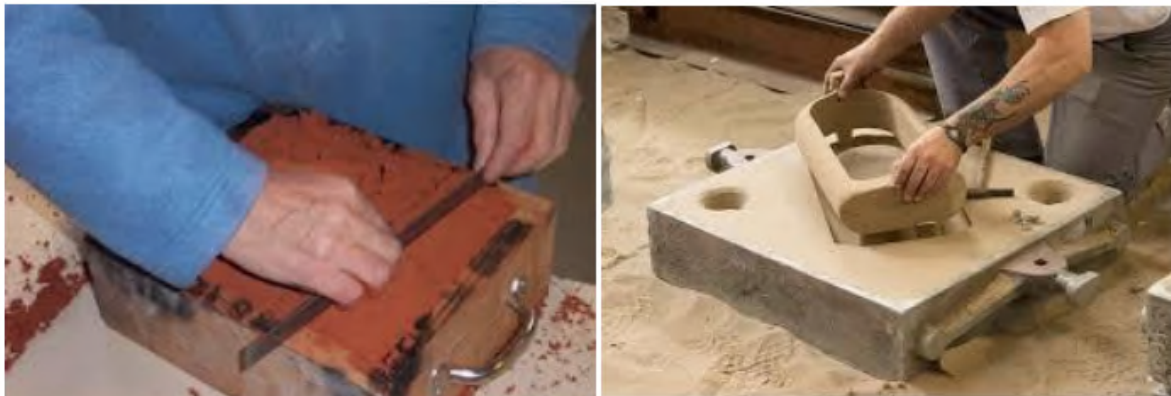


Figure I.11 : Sable de fonderies.

I.13.9.Déchets de briques

Les déchets de briques sont issus de l'industrie des produits rouges. Ces produits comptent parmi les plus anciens matériaux de construction, ils sont des produits céramiques dont les argiles sont la matière première et parfois des additifs. Les briques ont généralement une forme parallélépipède rectangle. Il existe deux types de briques: briques en terre crue et briques en terre cuite [16].

- **Briques en terre crue**

Les briques en terre crue constituent un matériau de base pour la construction de murs et de voûtes. En principe, les briques sont, fabriquées à base de terre (environ 75%), de paille (environ 20%) [16].



Figure I.12 : Briques en terre crue [20].

- **Briques en terre cuite**

Les briques en terre cuite se composent d'argile, de sable et d'eau. Les composants sont broyés jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène [16].



Figure I.13 : Briques en terre cuite [20].

I.14. OBJECTIF DE LA VALORISATION:

L'intérêt qui est porté de plus en plus à la valorisation des déchets et des sous-produits industriels est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement [21]. Les arguments peuvent être résumés en:

- augmentation de la production ;
- Le coût de stockage ou de traitement est de plus en plus élevé ;
- Une législation de plus en plus sévère ;
- Une meilleure gestion de la recherche.

I.15.CONCLUSION

Les déchets constituent un réel problème, inhérente à toute vie biologique et à toute activité humaine, la recherche de solution est une vraie nécessité pour les collectivités.

Plusieurs types de déchets potentiellement recyclables en construction, les laitiers de haut fourneau, les mâchefers, les scories, les cendres volantes, les déchets de verre, les sables de fonderies...etc. L'utilisation de ces produits dans l'élaboration des bétons et des ciments, nécessite des travaux de recherches.

Dans ce chapitre, nous avons abordé les différents rejets industriels et ceux utilisés en construction. Dans cette étude on s'intéresse aux déchets de sable de fonderie et son utilisation entant que granulats pour béton.

Chapitre II



Chapitre II

Sable

De

Fonderie

II.1 INTRODUCTION:

La progression rapide de la mondialisation et la croissance de la population ont entraîné une croissance du domaine de bâtiment qui a entraîné une augmentation de la demande de matériaux de construction. Une demande croissante de sable qui est l'un des principaux ingrédients utilisés comme agrégat fin dans la production de béton à augmenter son prix, donc, trouver un matériau de rechange au sable est devenu nécessaire.

A cet égard, ce chapitre a pour objectif de valoriser les sables de fonderie dans les bétons.

II.2. SABLE:

II.2.1. Définition d'un sable:

On entend par sable la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 0,080 mm et 5 mm ; il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une classification à une autre. Ce sont aussi les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à 6,3mm et dont le passant à 80 microns n'excède pas 30% [22].

On retrouve le sable sur les milliers de plages bordant les mers et océans du monde entier. Ce sédiment peut être de différentes couleurs (blanc, brun, ocre, noir,...) selon le type de roche dont il est issu[23].



Figure II.1: Différents sables.

II.2.2. Origine de sable:

Le sable peut avoir une origine naturelle ou artificielle:

- **Origine naturelle:** il provient de la désagrégation naturelle de roches au cours de leur processus d'érosion.

- **Origine artificielle:** il est obtenu par broyage de roches massives après des opérations de concassage et de criblage, il est appelé aussi sable de carrière, il est caractérisé par des grains aux aspérités marquées.

II.2.3. Classification des sables:

On peut classer les sables selon trois paramètres dont :

II.2.3.1. Granulométrie

Elle permet de séparer les sables en trois catégories[24] :

- **Sables fins :** plus de 75% des éléments supérieurs à 80µm, sont inférieurs à 0,5mm. Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves.
- **Sables moyens :** Moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,2 et 2mm.
- **Sables grossiers :** Plus de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,5 et 5mm. Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves.

II.2.3.2. Propreté:

La propreté d'un sable peut être appréciée par l'intermédiaire d'un essai appelé « équivalent de sable » (Norme NF EN 933-8). Cet essai consiste à donner une indication sur l'importance des impuretés (argile, poussière, matière organique, ...etc.) contenues dans les sables. Ces impuretés influent négativement sur l'adhérence entre les grains de sable et le ciment, ce qui conduit à chuter la résistance mécanique des bétons et des mortiers[25].

Le tableau ci-dessous donne le classement des sables d'après la propreté :

Tableau II.1 : Classes de propreté d'après les valeurs de l'équivalent de sable[25]

ESV (%)	ESP(%)	Interprétations
ESV<65	ESP<60	Sable argileux; non convenable pour des bétons de qualité.
65≤ESV<75	60≤ESP<70	Sable légèrement argileux; convenable pour des bétons courants.
75≤ESV<85	70≤ESP<80	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses; parfaitement convenable pour des bétons de qualité.
ESV≥85	ESP≥80	Sable très propre; risque d'un défaut de plasticité du béton.

II.2.3.3. Nature minéralogique :

En général, les sables peuvent être classés comme suit:

- Sables siliceux.
- Sables silico-calcaires.
- Sable calcaires.

II.2.4. Les types des sables selon leurs provenances:

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit [26] :

- **Sable de rivière** : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de mer** : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- **Sable de carrière** : Il contient souvent un pourcentage important de fines et une faible quantité d'argile.
- **Sable artificiel** : il est obtenu par concassage des roches. Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
- **Sable de dune** : c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne.

II.5. SABLE DE FONDERIE:

II.5.1. Définition:

Le sable de fonderie est un élément essentiel de la préparation des moules qui concerne deux secteurs de la fonderie[27] :

1. Le secteur sablerie qui stocke, prépare les mélanges, achemine la matière vers l'atelier de moulage en sable, puis récupère le sable utilisé pour, soit le régénérer, soit le transporter en décharge.
2. Le secteur noyautage qui possède dans les grandes fonderies, sa propre préparation de mélange sable+ catalyseur+résine, au plus près des machines de moulage des noyaux.



Figure II.2: Sable de fonderie.



Figure II.3: Résine



Figure II.4: Catalyseur

II.5.2 Origine:

Le sable de fonderie est un sable propre, de granulométrie uniforme, ayant une haute qualité qui est lié par un liants pour former des moules afin de mouler des pièces en métal ferreux ou non ferreux.

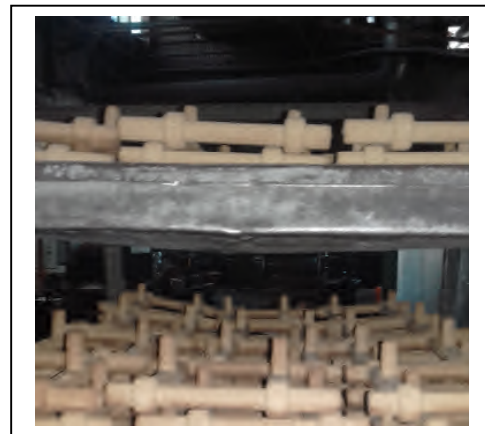


Figure II.5 : Sable de fonderie

II.5.3. Caractéristiques chimiques:

Les déchets de sable de fonderie résultent d'une dégradation thermique des sables de moulage et de noyautage à haut température.

Ces rejets présentent les caractéristiques minéralogiques semblables à celles des sables d'origine.

Les sables sont constitués essentiellement par du sable siliceux lié à une fine couche du carbone brûlé, des résidus de liants (en provenance des noyaux) et de la poussière.

Les teneurs en silice varient entre 90% (sable vert) et 98% (sable a prise chimique).

Les déchets de sable à vert comportent de la bentonite déshydratée (4à5%), appelée chamotte et du noir de carbone (0.5%).

Les sables à prise chimique qui ont au moulage jusqu'à 2% de résines, n'en comportent quasiment plus après la coulée du métal dans le moule.

A noter que les sables usés devront être exempts de corps étrangers tels que des billes de métal (sable de dessablage), bavures et morceaux de noyaux (sables de criblage).[28]

II.5.4. Propriétés physiques:

Les principales propriétés physiques des sables de fonderie pour le moulage et le noyautage sont la forme des grains, la granulométrie et l'indice de finesse, la masse volumique apparente et absolue, la conductivité thermique, le coefficient de dilatation thermique et le point de fusion.

Les principales propriétés chimiques sont la composition chimique, les pertes au feu, le PH, les demande acide et basique.[29]

II.5.5. Composition générale:

La satisfaction de l'ensemble des exigences ci-dessus fait qu'un sable de fonderie est très généralement composé de trois catégories de matériaux qui sont:

- Un matériau granuleux ou sable de base qui en constitue la masse principale, en quelque sorte son squelette réfractaire ;
- Un liant organique ou minéral destiné à agglomérer les grains entre eux et qui doit obligatoirement pouvoir évoluer de l'état liquide ou plastique à l'état solide, c'est le phénomène de durcissement ;
- Un certain nombre d'adjuvants, sans pouvoir liant mais néanmoins nécessaires à la réussite d'un moulage destinés à conférer des propriétés secondaire comme l'état de surface ou bien les propriété de démoulage (du modèle).[30]

II.5.6. Conditions d'utilisation:

Un sable de fonderie doit satisfaire à deux exigences fondamentales qui sont :

- ✓ La mise en forme au contact d'un modèle mère en épousant tous ses détails. Le serrage du sable est effectué par un effort manuel ou mécanique (pression, secousse, vibration, projection mécanique ou pneumatique),
- ✓ la conservation de cette forme jusqu'à la solidification complète du métal ; cela sous-entend des caractéristiques mécaniques suffisantes pour résister à la pression statique du métal liquide ainsi qu'à la pression dynamique (afin d'éviter les phénomènes d'érosion) sans pour autant faire obstacle au retrait du métal encours de solidification.

D'autres propriétés sont également nécessaires :

- La réfractaire, car le sable doit présenter une température de fusion supérieure à la température de coulée de l'alliage considéré ;
- la perméabilité, qui permet l'évacuation des gaz contenus dans l'empreinte du moule ou générés lors de la coulée ;
- l'absence des réactions moule-métal susceptibles de créer des défauts d'inclusions solides ou gazeuses dans le métal constituant la pièce, la facilité de décochage, afin de pouvoir séparer facilement la pièce obtenue de son moule [31].

II.6. LES CRITERES POUR LE CHOIX D'UN SABLE DE FONDERIE :

II.6.1. Economiques (coût et disponibilité) : De ce point de vue, la silice est de loin la moins chère et la plus disponible. C'est aussi le sable qui est le plus largement utilisé en moulage sable à vert. Le zircon est par exemple d'un coût environ 20 fois supérieur à la silice et est faiblement disponible.

II.6.2. Techniques :

Les caractéristiques physiques et en particulier la température de fusion et la dilatation thermique qui vont impacter la tenue à chaud et la résistance à l'agression du métal liquide lors de la coulée. De ce point de vue, la silice a les moins bonnes propriétés intrinsèques alors que la chromite et le zircon présentent, quant à eux, les meilleures caractéristiques, ce qui réserve leur utilisation aux métaux ferreux à haut point de fusion. D'autres critères de choix peuvent intervenir comme la compatibilité avec les résines utilisés, la facilité de mise en décharge ou de recyclage (compatibilité avec d'autres types de sable) [32].

II.7. LES SABLES DE FONDERIE EN ALGERIE:

L'industrie Algérienne des fonderies utilise de nombreux types de sables qui servent à confectionner des moules et des noyaux pour le moulage de ces pièces métalliques. Le plus souvent en sable siliceux (sable d'origine) complété par des liants selon les applications envisagées et le type d'alliage[33]. Les principaux sables de moulage étudiés et utilisés sont:

II.7.1. Sable à vert ou à l'argile : Le sable de base est constitué principalement de grains de silice pure (quartz), mélangés avec de la bentonite (5 % à 10 %), avec du noir minéral et de l'eau. Le sable à vert est très utilisé pour la confection des moules, appelé « moulage à vert ». Ce procédé est employé pour la fabrication des pièces en fonte.

II.7.2. Sable au silicate de soude : Le sable au silicate de soude dénommé sable de remplissage (3 % à 4 %) est utilisé pour la confection de grandes séries de moules et de noyaux. Ces mélanges sont durcis, par injection de gaz carbonique. Ce type de sable est utilisé

pour le moulage de pièces en acier.

II.7.3. Sable au silicate de soude avec bentonite : Appelé aussi sable de contact. Sa composition est la même que celle du sable au silicate de soude (S2) mais on ajoute de la bentonite (4 % à 4.5 %) pour améliorer l'état de surface des pièces.

II.7.4. Sable à la résine : D'une manière générale, les résines sont utilisées à faible dosage, de l'ordre de 2 %, comme liant organique. Cette résine thermodurcissable durcie en présence d'un catalyseur.

II.7.5. Sables au ciment : L'incorporation de 8% à 10% de ciment (généralement du ciment Portland) est utilisée pour la confection de moules de grande dimension. La vitesse de la prise peut être accélérée par des adjuvants appropriés.

II.8. CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS SABLES UTILISÉS EN FONDERIE

Les caractéristiques des différents sables utilisés sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.2: Caractéristiques des sables de fonderie [34].

	Chromite	Kerphalite	Olivine	Silice	Zircon
Prix	Elevé	Elevé	moyen	faible	élevé
Densité	4.5	3.1	3.5	2.6	4.5
T°C Fusion	2100	1850	1850	1725	2300
Compatibilité résine	Haute	Haute	Moyenne	Très haute	Très haute

Le choix d'un sable est déterminé par son:

1. **Coût:** La silice a le meilleur taux de rentabilité.
2. **Rapport technique:** on peut par exemple conclure que la silice a une température de fusion assez faible par rapport aux autres sables, on ne l'utilisera pas pour des applications nécessitant de très bonnes caractéristiques mécaniques.

Le "sable" comporte également des liants qui lui donnent sa plasticité (caractéristique du sable à épouser les formes du modèle et à les conserver après la solidification du métal), ces liants doivent réduire au maximum les réactions entre le métal et le moule qui sont les facteurs de risque les plus sensibles. Les liants sont soit minéraux (argile, plâtre, ciment, ...) soit organiques (résines synthétiques, huiles siccatives, ...). D'autres produits entrent dans la composition du sable comme les agents de démoulage ou les enduits destinés à faciliter l'extraction des pièces de leurs moules.

II.9. LES SOLUTIONS POUR LES SABLES DE FONDERIE :

- 1. Prévention / Réduction:** il faut optimiser le processus de manière à réduire la production de pertes ou de rebuts des moules et noyaux. il faut favoriser le recyclage in situ pour les sables de fonderie à liants minéraux.
- 2. Gestion dans l'entreprise:** Lors de leur stockage sur le site de la fonderie en attente d'élimination, ces sables sont entreposés sur un sol imperméable et à l'abri des eaux pluviales et de ruissellement.
- 3. Collecte:** La collecte doit être réalisée par une entreprise spécialisée. Le détenteur doit tenir un registre spécifiant la date de départ des déchets, la nature et la destination des sables et leur volume (ou leur poids).
- 4. Traitement et valorisation:** La valorisation représente 20% des déchets de sables (+ 30% en centre de stockage + 50% en stockage interne).

La majeure partie des sables de fonderie à liants minéraux est recyclée in situ, directement sur le lieu de production des sables usés. Les sables usés à liants organiques peuvent suivre quatre voies de valorisation.

- 5. La régénération mécanique:** consiste à séparer les résines enrobant les grains (opérations de dégangage et de désenrobage) par frottement des grains les uns contre les autres ou par projection contre une surface dure. Les déchets à base de résine issus de cette opération sont éliminés de la même façon que les sables non brûlés.
- 6. La régénération thermique:** permet de détruire la résine par passage dans des équipements chauffés au gaz ou à l'électricité.
- 7. La régénération par voie bactériologique:** permet de réduire le taux de phénols des sables.

Des sables de fonderie contenant des liants organiques de synthèse sont prévus dans l'arrêté du 16 juillet 1991[35]. Trois possibilités y sont décrites, elles nécessitent toutes un test de lixiviation:

- Utilisation en tant que remblais routier (taux de phénols < 1mg/kg de sable rapporté à la matière sèche),
- Utilisation dans la fabrication de produits à base de liants hydraulique (graves, parpaings...)(taux de phénols <5mg/kg).
- Valorisation dans des procédés aptes à détruire des liants organiques et cela, quelle que soit la teneur des sables en phénols : fabrication de tuiles, briques, ciment... sous réserve que les installations soient autorisées au titre de la législation sur les

installations classées.

8. Stockage : En fonction de l'état des sables, de leur taux de phénols et du test de lixiviation, le stockage est régi soit par l'arrêté du 16 juillet 1991, soit par la réglementation générale sur le stockage. Leurs prescriptions s'appliquent que le stockage soit connexe à l'installation de fonderie ou collectif. Le choix du centre de stockage, après stabilisation, est conditionné par l'état des sables (brûlé ou non) et de leur teneur en phénols.

1. Les sables non brûlés et déchets provenant du dégangage et des enrobages:
 - ✓ centre de stockage de déchets dangereux si le taux de phénols est > 50 mg/kg de sable rapporté à la matière sèche.
 - ✓ Centre de stockage de déchets non dangereux si le taux de phénols est < 50 mg/kg.
2. Les sables brûlés issus du noyautage et sable brûlés non retenus au tamisage
 - ✓ Centre de stockage de déchets non dangereux si le taux de phénols est < 50 mg/kg
 - ✓ Centre de stockage de déchets industriels inertes provenant d'une installation classée dont le taux de phénols est < 1 mg/kg de matière sèche[34].

II.10. Recyclage de sable de fonderie:

Le recyclage du sable de fonderie usé et non dangereux peut économiser de l'énergie, réduire le besoin d'extraire des matériaux vierges et peut réduire les coûts tout pour les producteurs de sable de fonderie. Le sable de fonderie recyclé trouve généralement son utilisation dans les applications de construction, mais peut également être utilisé comme suit:

- Matière première pour la fabrication de ciment Portland.
- Remplacement partiel des agrégats fins dans les mélanges d'asphalte.
- Sable requise pour le mélange de mortier de maçonnerie.

Une analyse individuelle du sable de fonderie usé en termes de propriétés physique et chimiques est nécessaire afin de déterminer le potentiel de recyclage du sable de fonderie et de ses applications.

II.11. UTILISATION DES SABLES DE FONDERIE DANS LA PRODUCTION DES MORTIERS DE CIMENT ET DES BETONS

Le sable de fonderie usé (SFU) est un matériau mis au rebut issu de l'industrie des moulages de métaux ferreux et non ferreux. C'est un mélange de sable de silice spécifique à

la taille de haute qualité, peu d'impureté des sous-produits ferreux et non ferreux du procédé de coulée métallique, lui-même et d'une variété de liants [36].

Bien que le sable de fonderie usé soit partiellement un matériau recyclé lui-même, qu'il soit recyclé et réutilisé avec succès à travers de nombreux cycles de production, il perd souvent ses caractéristiques, en particulier la propreté et l'uniformité.

En outre, conformément à la réglementation en vigueur, le sable de fonderie usé est classé comme déchets non dangereux et, par conséquent, il a une valeur économique intrinsèque importante, en particulier en termes de fer et d'acier. Récemment, un certain nombre de travaux de recherche appliquées [37-39], y compris le brevet[40], visant à étudier la faisabilité de réutiliser des sables de fonderie usés dans d'autres secteurs industriels que ferreux. Le produit le plus adapté semble être l'industrie des matériaux de construction, en raison de l'emploi de sable de fonderie usé dans plusieurs matériaux de construction, comme: ajout au clinker pour la production ciment Portland, le béton structurel, les briques, les conglomerats de bâtiments, la base de la route, le remplissage structurel, le remplissage écoulé, l'amendement du sol ou l'amende portion agrégée de béton ou d'asphalte à chaud [41-43].

Récemment, une recherche préliminaire a été menée par des auteurs [44] soulignant qu'une petite quantité de sable de fonderie usé est encore utilisée dans le clinker pour produire le ciment Portland composé. Cela semble dû aux coûts de transport pour regrouper l'usine de destination finale, en particulier compte tenu du Ciment Portland au sable de fonderie, qu'on utilise de nombreux fours à ciment nord-américaine.

II.12. CLASSIFICATION DES SABLES

Au titre de la norme XP P18-540, les sables propres de fonderie peuvent généralement être classés "a", article 7 ou 8. L'introduction d'argile au niveau de leur préparation peut cependant faire varier dans de grandes proportions leur propreté, traduite par PS (P18-597 - Détermination de la propreté des sables) ou VB (933-9 Essai au bleu de méthylène).

II.13. UTILISATION DES SABLES DE FONDERIE EN CONSTRUCTION ROUTIERE

Il est rappelé que conformément à l'arrêté du 16/07/91, les sables de fonderie entrant dans la confection de produits routiers appelés à développer des prises ne doivent pas dépasser le taux maximum de 5 mg de phénols par kg de matière sèche.

II.13.1. Utilisation en assises de chaussées

Il n'y a pas d'inconvénients à utiliser les sables de fonderie pour la confection de produit routiers à base de liants hydrauliques. Il est nécessaire cependant de s'assurer que la présence de produits organiques de synthèses n'inhibe pas les prises. La régularité des sables (granularité, argilo site,...) devient importante dans le cadre de cette orientation.

II.13.2. Utilisation en couche de roulement

Les sables de fonderie ne pourraient intervenir qu'en proportion très modeste dans la confection des produits à base de liants hydrocarbonés : en tant que correcteur granulaire.

La présence d'argile, de produits organiques de synthèse, et d'éléments grossiers pouvant atteindre les 20 mm voire les dépasser, font que cette orientation reste pour l'instant très marginale. Là, plus que précédemment encore, la maîtrise de la qualité du sable utilisé est prépondérante[45].

II.14. PERSPECTIVES DES UTILISATIONS DE SABLES DE FONDERIE

Dans les perspectives d'utilisations des sables de fonderie citons :

La fabrication de verre et de laine de verre. La teneur en phénols est ici peu importante dans la mesure où les sables subiront un processus thermique qui dégradera la quasi-totalité des composés organiques.

La confection de produits à base d'asphalte ou de bitume comme les coulis d'étanchéité, bardeaux bitumineux (shingles). La régularité du sable reprend ici toute son importance.

La constitution de lits de pose dans le cadre de la mise en place de tous produits modulaires comme les pavés autobloquants. Il est nécessaire ici que le sable soit soigneusement criblé pour élimination de tout élément supérieur à 4 voire 5 mm qui pourrait constituer une gêne au regard de la planéité au moment de la pose.

La présence d'argile dans les sables peut conduire à rendre intéressant un apport déchaux (ou lait de chaux) qui pourrait générer des prises (peu rigides) rendant de la sorte le sable cohésif et moins sensible vis à vis de l'imbibition. Ceci reste cependant dans le champ de l'hypothèse et demande à être testé en vraie grandeur.

II.15. Conclusion:

Dans ce chapitre, on a donné la définition, les caractéristiques et les différentes utilisations des sables de fonderie ; surtout dans les bétons.

Chapitre III



Durabilité

Des

Bétons

III.1. INTRODUCTION

Le béton est développé sans cesse depuis la fin du XIX^{ème} siècle, il est aujourd'hui le matériau de construction le plus répandu dans le monde, plus de 7 milliards de mètres cubes sont coulés chaque année dans le monde environ 2 milliards de tonnes [46]. La durabilité de ce matériau reste un paramètre essentiel à prendre en charge à moyen et à long terme.

III.2. DEFINITION DU BETON

Le béton est un matériau de construction formé par un mélange de granulats, de sable, et d'eau aggloméré par un liant hydraulique (ciment), éventuellement complété par des adjuvants et des additions. Ce mélange, qui est mis en place sur le chantier ou en usine à l'état plastique, peut adopter des formes très diverses parce qu'il est moulable ; il durcit progressivement pour former finalement un monolithe. Selon le choix du ciment et son dosage par rapport aux granulats, selon la forme des granulats, selon l'utilisation d'adjuvants, les bétons obtenus peuvent avoir des caractéristiques très diverses [47].



Figure III.1 : Formulation du béton

III.3. LES CONSTITUANTS DU BÉTON

Les bétons sont constitués de ciment, de granulats et d'eau. Ils peuvent éventuellement contenir des additions minérales et des adjuvants.

III.3.1. Ciment :

Le ciment est un matériau généralement composé d'argile et de calcaire. Parmi les composants du béton, le ciment est l'un des composants les plus importants. Il est ce qu'on appelle un liant hydraulique et il confère également au béton certaines caractéristiques essentielles telles que sa résistance.

III.3.2. Additions minérales :

Les additions minérales sont des poudres utilisées dans le ciment ou directement dans le béton, en substitution partielle du ciment ou en complément, afin d'améliorer certaines propriétés du béton ou pour lui conférer des propriétés particulières. Les additions minérales peuvent être des cendres volantes, des fumées de silice, des laitiers de haut-fourneau, des additions calcaires ou des additions siliceuses.

III.3.3. Granulats :

On appelle granulats les matériaux inertes, graviers ou cailloux qui entrent dans la composition des bétons, qui correspondent à l'ensemble des grains compris entre 0 et 125mm dont l'origine peut être naturelle, artificielle ou provenant du recyclage des matériaux qui sont quelque fois encore appelés « agrégats ». Les granulats sont classés en plusieurs catégories avec des spécifications particulières pour chacune d'elles.

III.3.4. Eau de gâchage :

Les caractéristiques de l'eau de gâchage sont normalisées par la norme NF P 18-303. Les indications donnent des précisions sur les critères qui pourraient être retenus, pour définir la qualité d'une eau et les valeurs limitées à respecter suivant les types du béton à confectionner.

Pour convenir à la confection du béton, les eaux ne doivent contenir ni : Composés qui risquent d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originales. La norme P18-303 limite, à cet effet, le pourcentage de matières en suspension à 2 ou 5g/l et la teneur en sels dissous à 15 ou 30m/l suivant la nature du béton, précontraint ou non armé.

III.3.5. Adjuvants

Les adjuvants sont classés en trois grandes catégories [NF EN 934-2, 2002] :

1. Adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton (plastifiants réducteurs d'eau, super Plastifiants).
2. Adjuvants modifiant les cinétiques de prise et de durcissement (accélérateurs de prise, Accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise).
3. Adjuvants modifiant certaines propriétés du béton (entraîneurs d'air, générateurs de gaz, hydrofuges de masse, etc.)[48].

III.4. LA DURABILITE

III.4.1. Généralités

La durabilité d'un ouvrage caractérise sa capacité à conserver dans les conditions prévues les fonctions d'usage pour lesquelles il a été conçu (fonctionnement structurel, sécurité, confort des usagers) et à maintenir son niveau de fiabilité et son aspect, dans son environnement.

Un ouvrage doit résister aux charges auxquelles il est soumis mais aussi aux actions diverses telles que le vent, la pluie, le froid, la chaleur, le milieu ambiant... il doit également conserver son esthétique, et satisfaire les besoins des utilisateurs au cours du temps. Les structures sont soumises à l'agression d'agents chimiques présents dans l'air, l'eau et les sols.

La durabilité du maintien de ses fonctions est assortie d'une durée. Selon les Euro codes, il s'agit de la «Durée d'utilisation de projet » qui est en fait la durée prévue de service de l'ouvrage. Il devient possible de définir des objectifs de durabilité et de choisir avec précision les caractéristiques du béton en fonction de l'agressivité du milieu dans lequel se trouve l'ouvrage et d'optimiser ses caractéristiques afin de les adapter à la durée d'utilisation souhaitée.

Les connaissances actuelles sur les ciments et les bétons permettent d'optimiser et d'adapter la composition et la formulation des bétons aux contraintes environnementales auxquelles ils seront soumis, tout en respectant les critères de performances mécaniques.

Les normes et référentiels se complètent de manière cohérente et permettent de mieux appréhender et de mieux maîtriser la durabilité des structures en béton [49].

III.4.2. Introduction à la durabilité

La prise en compte de la durabilité des matériaux, lors de la construction d'un ouvrage est indispensable pour garantir sa durée de service et optimiser son coût global.

Les altérations du béton observées en présence d'agents agressifs, qu'ils soient minéraux, organiques ou biologiques, sont d'ordre chimique ou physique.

1. Les altérations physiques peuvent être surfaciques (abrasion, érosion, cavitation ou écaillage) ou interne sous forme de fissures (changement structural, gradients d'humidité ou de température, pression de cristallisation, exposition aux températures externes).
2. Les altérations chimiques sont dues essentiellement aux acides, aux bases et aux solutions salines, elles entraînent presque toujours la dissolution de la chaux et le plus

souvent, en association avec cette dissolution, la formation de composés nouveaux dont les conséquences sont d'ordre macroscopique.

III.4.3. Définition de la durabilité :

La durabilité d'un ouvrage est la capacité de maintenir les performances de sa propre fonctionnalité dans un environnement naturel, au service de l'environnement et des actions physiques et chimiques des matériaux internes.

III.4.4 Durabilité et économie :

La durabilité est un objectif de qualité pour l'ingénieur, et le métier de ce dernier consiste à atteindre les objectifs fixés au moindre coût.

III.4.5 Béton durable et béton résistant :

La porosité est le paramètre de premier ordre qui caractérise la texture du béton ; ce n'est évidemment pas le seul paramètre, mais c'est celui qu'il faut fixer avant d'étudier tous les autres. Il conditionne presque toutes les propriétés du béton et, en premier lieu, sa résistance mécanique.

La résistance aux efforts de compression est la propriété principale du béton, celle qui permet son utilisation comme matériau de construction. Plus faible est la porosité, plus grande est la résistance. Mais presque toutes les autres propriétés du béton dépendent de ce même paramètre de premier ordre.

Pour évaluer expérimentalement la durabilité du béton, il faut étudier son comportement vis-à-vis d'un certain nombre de mécanismes susceptibles de le dégrader. On peut traiter la question comme la durabilité du béton face au gel-dégel, à l'alcali-réaction, aux environnements agressifs.

Une façon pratique d'y parvenir est de toujours partir de la résistance aux efforts de compression pris comme critère global et de discuter de la durabilité en deux temps :

- Toutes choses égales par ailleurs, en comparant des bétons qui ne diffèrent que par leur résistance ;
- Puis à résistance constante, en examinant les paramètres spécifiques de la durabilité.

Il y a donc avantage, en vue de l'objectif de durabilité, à choisir la classe de résistance du béton en fonction de l'agressivité du milieu, d'autant plus élevée que le milieu est plus agressif. D'un point de vue pratique, cela signifie que c'est l'exigence de durabilité qui peut, parfois, déterminer la résistance à prendre en compte dans le calcul de l'ouvrage.

On peut considérer qu'un niveau de résistance adapté au milieu environnant est un premier critère de qualité qui doit être complété par d'autres conditions. En effet, tous les bétons de

même résistance à la compression ne sont pas également durables. A résistance égale, il existe des différences parfois importantes, entre les bétons. Au simple critère de résistance, il faut ajouter d’autres considérations. D’abord, la résistance (et ainsi la porosité) n’est qu’un critère de premier ordre qui doit être complété par d’autres mesures comme, par exemple, la perméabilité ou la diffusion, la distribution des tailles de pores. En effet, un autre facteur majeur est la dimension des pores. A porosité égale, les agents agressifs pénètrent d’autant plus difficilement que les pores sont fins. Or, la finesse des pores dépend du rapport E/C, du ciment (CHF-CEM III/A, CLC-CEM V/A et B, CLK-CEM III/C comparés au CPA-CEM I et CPJ-CEM II/A, des additions minérales (cendres volantes, laitiers), de l’exposition du béton (dessiccation, carbonatation) et même de la dimension et de la nature des granulats [50].

III.4.6. Facteurs influant sur la durabilité du béton :

La gestion et la maintenance, des propriétés des matériaux et des conditions environnementales externes influent sur la durabilité.

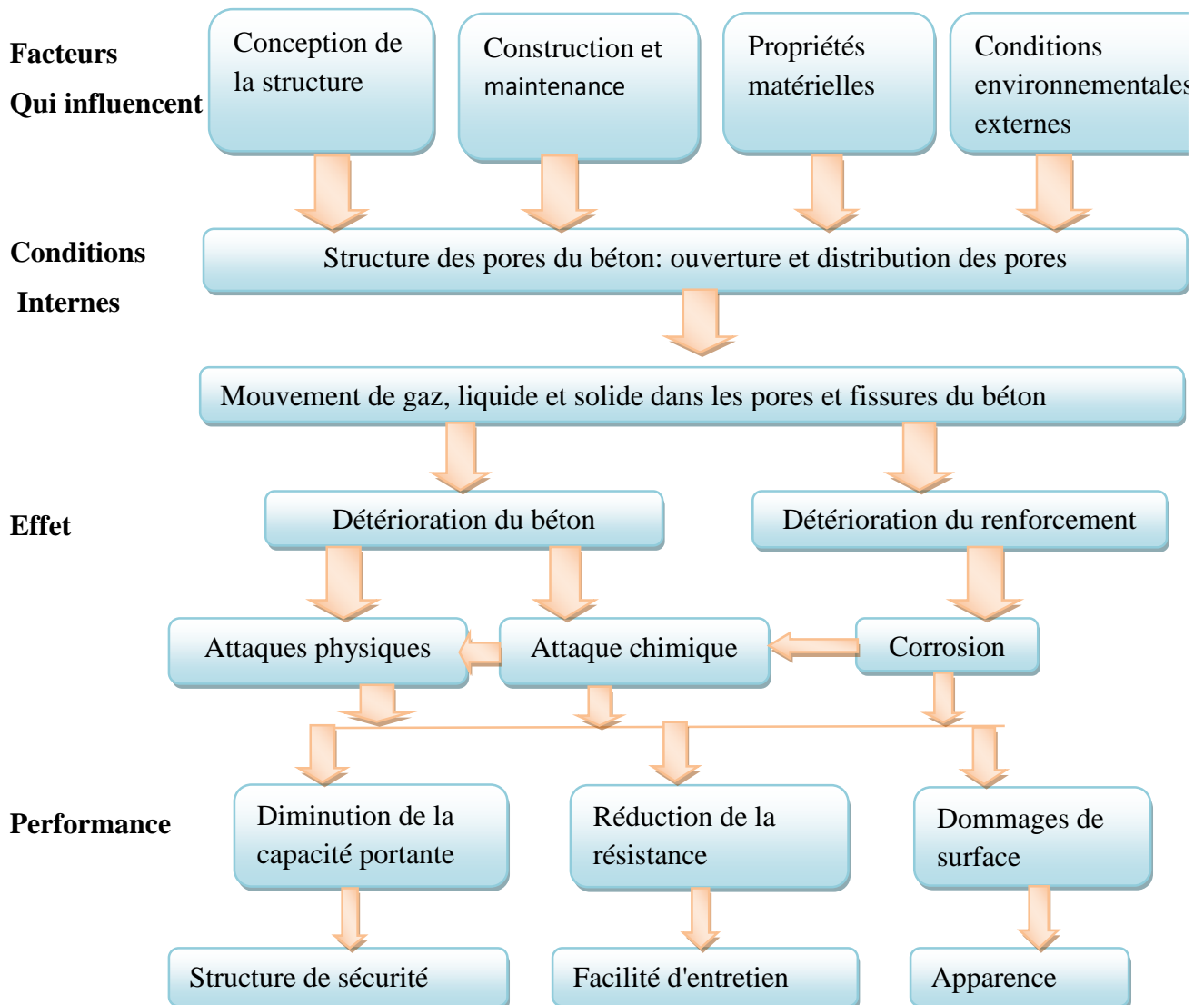


Figure III.2:Facteurs influant sur la durabilité des structures en béton armé [51].

Comme l'illustre la figure III.2, ces facteurs couvrent toutes les étapes de la conception, de la construction, de l'utilisation, de la gestion et de l'entretien de la structure en béton. Ils sont étroitement corrélés les uns aux autres, il est communément admis que la durabilité des structures en béton armé dépend principalement de l'optimisation de cinq facteurs majeurs. Il s'agit de la conception de la structure, de l'exploitation de la construction, de sorte que la durabilité des structures en béton armé sera fortement réduite si l'une d'elles est mauvaise [51].

III.4.7. Conception de la structure

Une conception correcte est la première exigence pour une structure durable. Cependant, en raison de normes et de spécifications techniques inadéquates, d'une sous-estimation des charges de service et d'une mauvaise information sur les conditions environnementales, l'aptitude au service des structures sera réduite.

Les structures endommagées par une mauvaise appréciation de l'agressivité de l'environnement se produisent fréquemment partout. Les caractéristiques de durabilité inférieures du béton peuvent être causées par les conditions environnementales sévères auxquelles le béton est soumis. Il est généralement admis que la durabilité du béton peut être influencée par les facteurs environnementaux suivants.

- Température - Humidité - Facteurs physiques - Facteurs chimiques - Facteurs biologiques.

Ces facteurs peuvent être attribués à des conditions climatiques telles que des changements dramatiques de température ou d'humidité, ou à une abrasion telle que l'explosion de liquides et de gaz nocifs à la fois naturellement et industriellement, ou une explosion d'agents biologiques [51].

III.4.8. Opération de construction

À la recherche des avantages économiques, certaines entreprises de construction adoptent une technologie et des méthodes de construction de mauvaise qualité dans le processus de construction. Des exemples pourraient être l'utilisation de matériaux de qualité inférieure, l'épaisseur insuffisante de l'enrobage en béton, le manque de jointoiment ou l'utilisation d'acier déjà corrodé dans les travaux de construction. Cela ne répond pas aux exigences de qualité de construction et les spécifications de conception, conduisant inévitablement à une détérioration de la durabilité et constituant une menace sérieuse pour les structures [51].

III.4.9. Gestion et maintenance

La durabilité de la structure en béton armé est étroitement liée à une utilisation raisonnable et à un bon entretien. L'entretien comprend l'inspection normale, la surveillance continue de la structure, ainsi que la réparation et la réhabilitation. Ils sont nécessaires pour assurer le fonctionnement normal des ponts. L'inspection vise à détecter tout signe de détérioration avant que le processus de détérioration ne devienne trop avancé. Des problèmes de durabilité se produiront si le personnel ne découvre pas les problèmes de durabilité lors de l'inspection du pont ou les a déjà découverts sans attention. Même les petits dommages ne sont pas correctement entretenus à temps; les dommages peuvent être cumulatifs dans le temps et mettre en danger les structures en béton armé [51].

III.4.10. Propriété du matériau

Dans le béton armé, la propriété la plus critique du béton est la perméabilité et la diffusion. Les gaz, liquides et ions dans le béton peuvent se déplacer à travers le béton lorsqu'il y a une différence de pression de l'air ou de l'eau, ou de la concentration d'ions.

Les gaz, les liquides et les ions peuvent traverser le béton de différentes manières. La structure du béton comprend des pores dans le coulis de ciment, des pores dans les agrégats, des pores à l'interface entre les agrégats et la pâte. Une construction défavorable peut également entraîner des nids d'abeilles structures. La porosité en général des granulats n'est normalement pas supérieure à 5% et la porosité du béton est d'environ 15%.

Comme décrit précédemment, tous les processus entraînant une détérioration du béton ou une corrosion des barres d'armature impliquent des phénomènes de transport à travers les pores et les fissures du béton. Lorsque les substances nocives pénètrent dans le béton, des réactions chimiques se produisent entre les substances et le composant du béton. Il endommage la structure du béton, entraînant des problèmes de durabilité dans les structures en béton[52].

Le processus de détérioration du béton est révélé sur la figure III.3. Premièrement, les facteurs d'érosion environnementaux détruisent le béton de surface, entraînant une corrosion des armatures et une réaction alcali-agrégat dans le béton. La plupart de ces changements s'accompagnent d'une expansion de volume. Les contraintes liées à l'expansion du béton génèrent plus de fissures dans le béton. Par conséquent, la perméabilité du béton est encore augmentée, ce qui accélère l'invasion des substances. Cela entraînera un large éventail de cycles de dommages aux structures en béton.

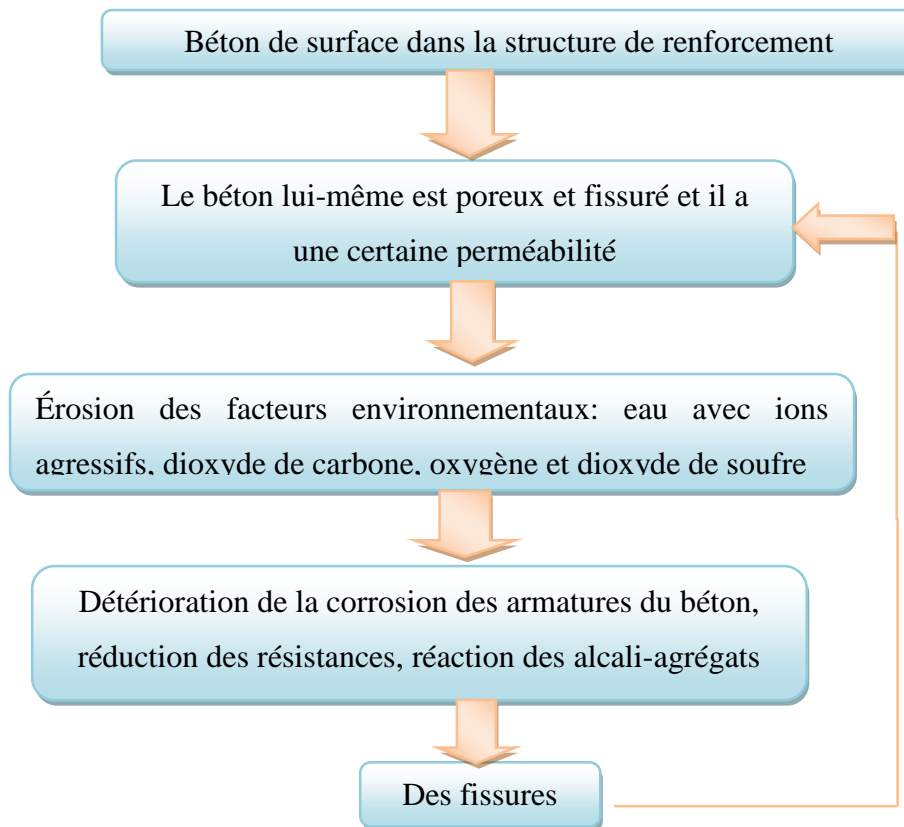


Figure III.3:Processus de détérioration du béton armé [51].

III.4.11. Condition environnementale externe

Les structures en béton sont normalement situées dans un environnement agressif qui peut générer divers types d'attaques externes. Il existe des actions externes qui peuvent provoquer une distribution inégale des contraintes dans le béton telles que l'action de gel-dégel, les conditions de mouillage et de séchage, les effets de chauffage et de refroidissement, le chargement et le déchargement sur la structure, etc. Attaque acide, attaque sulfate, attaque microbologique et autres types d'attaques physiques et chimiques pourraient également endommager le béton exposé au milieu environnant [52].

III.5. CAUSE D'UNE MAUVAISE DURABILITE

Une mauvaise durabilité se manifeste par une détérioration qui peut résulter de facteurs externes ou de phénomènes internes au béton. Les différentes actions peuvent être physiques, chimiques ou mécaniques.

Il convient de noter avant toute chose que la détérioration du béton est rarement attribuable à une seule cause : le béton peut souvent se comporter de façon satisfaisante en

dépôt de certaines déficiences, mais lorsqu'un facteur défavorable s'ajoute, les désordres apparaîtront.

Pour cette raison, il est quelquefois difficile d'attribuer la détérioration à une cause particulière ; mais la qualité du béton au sens le plus large du terme, doit presque toujours être prise en considération.

Une des principales causes de la détérioration de plusieurs structures provient de l'importance accordée à la résistance à la compression du béton durant la conception des structures et au peu d'attention accordée aux facteurs environnementaux auxquels la structure devra faire face tout en remplissant son rôle structurel.

D'autres facteurs affectent la durabilité d'un béton, en particulier les détails de construction. Dans plusieurs structures, des poutres en béton se sont détériorées par suite de détails de construction qui ont entraîné la concentration d'agents agressifs en des points spécifiques de la structure. Si la même quantité d'agents agressifs avait été distribuée uniformément sur toute la structure, elle n'aurait pas alors affecté la durabilité du béton et de la structure de façon aussi rapide.

Les spécialistes en matériaux pourront ajuster la formulation du béton et sélectionner les bons matériaux de telle sorte que le béton choisi puisse répondre le mieux possible à ces conditions environnementales [53].

III.6. LES ATTAQUES CHIMIQUES DU BETON

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour le matériau béton. Le paramètre régissant la durabilité est bien entendu la perméabilité. Plus cette dernière est réduite et mieux sa durabilité en sera augmentée.

Pour évaluer la durabilité « potentielle » d'un béton, il est nécessaire de connaître les mécanismes susceptibles de conduire à sa dégradation [54].

Les principaux processus chimiques à la base des dégradations du béton, pour la majorité des attaques chimiques, sont généralement regroupés en trois catégories:

- A- L'hydrolyse ou la lixiviation (dissolution) des hydrates.
- B- Les échanges ioniques entre les hydrates et le milieu agressif.
- C- La formation de produits expansifs à l'intérieur du béton.

III.6.1. Attaques par les acides

Les attaques acides se font principalement suivant un mécanisme de dissolution.

Suivant le cas, le phénomène de dissolution peut être accompagné de la précipitation du sel formé lors de la réaction base + acide si le sel est peu soluble. Ce sel peut avoir un effet colmatant et ralentir les réactions de dissolution.

Le produit final de dégradation par un acide peut-être un gel de silice résultant de la décalcification totale des C-S-H qui, selon Grube et al, peut avoir un rôle protecteur à la surface du béton et ralentir les réactions.



Figure III.4: La détérioration des silos-tours en béton due à l'attaque des acides d'ensilage. (Photo offerte par : Thomas P. Rylett Ltd., ingénieur-conseil en structures).

Les acides inorganiques forts ne réagissent pas uniquement avec l'hydroxyde de calcium. Ils attaquent également les autres composants de la pâte de ciment durcie, en formant des sels calciques, aluminiques ou ferriques, ainsi que des acides siliciques colloïdaux (gels de silice)[55].

III.6.2. Les attaques sulfatiques

La résistance du béton aux attaques des sulfates est l'un des facteurs les plus importants pour sa durabilité.

L'attaque sulfatique est accompagnée d'une précipitation de produits sulfatés dits «secondaires» dont la formation est postérieure à l'hydratation du ciment, d'une expansion importante et de détériorations chimico-mécaniques (modification des propriétés de transport et de la porosité, fissures, pertes de résistance et de cohésion). Ceci conduit à la ruine du

matériau cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration des sulfates au contact) et du ciment utilisé [56].



Figure III.5 : Les attaques des sulfates sur les armatures et le béton.

Des produits expansifs qui se forment uniquement dans les espaces internes de la pâte de ciment hydraté. Dans la majorité des cas, il n'y a pas ou peu d'expansion.

Cependant, son dispositif agit pour diminuer la résistance et l'adhérence de la pâte de ciment due à la dissolution de la portlandien CH et le gel et la décalcification du C-S-H qui est responsable des propriétés liantes de la pâte de ciment [56].

III.6.3. Attaques par les ions chlorures :

La corrosion des armatures générée par les ions chlorures est la principale cause de dégradation des structures en béton armé.

Les chlorures agissent dans les mécanismes de corrosion en diminuant la résistivité de l'électrolyte et en permettant un amorçage plus rapide de la corrosion en dé passivant la couche superficielle.

Les chlorures agissent aux zones anodiques, de surface bien plus petite que celles des zones cathodiques, et la vitesse de corrosion sur les zones anodiques s'en trouve fortement augmentée. Une fois la corrosion amorcée, il est bien plus difficile d'y remédier que dans le cas de la carbonatation car le processus est auto catalytique.

Les mécanismes de dégradation mis en jeu sont essentiellement les suivants :

- Dans le cas des chlorures de sodium et potassium : lixiviation du calcium de la portlandite et des C-S-H et formation de mono-chloro-aluminate de calcium ;

- Dans le cas des chlorures de calcium et de magnésium : lixiviation du calcium de la portlandite et des C-S-H et formation d'oxychlorures expansifs accompagnés de brucite $Mg(OH)_2$ et de mono-chloro-aluminate de calcium dans le cas de $MgCl_2$ [57].



Figure III.6: Agression du béton par activité des chlorures.

III.7. CONCLUSION

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour les bétons et les mortiers. Dans ce chapitre nous avons défini la durabilité et décrit les divers phénomènes tout en expliquant les différents facteurs influençant sur ce paramètre important tout en présentant les différentes attaques chimiques qui peuvent altérer le béton.

Chapitre IV

Chapitre IV

Résultats

Bibliographique

&

Discussion

IV.1. INTRODUCTION

Ce chapitre consiste à une présentation des différents résultats obtenus de la bibliographie sur les mortiers et les bétons à base de sable de fonderie, ainsi que leurs interprétations. Des résultats de phénomène de durabilité des bétons sont aussi donnés.

IV.2. ETUDE DES PROPRIETES PHYSICOMECHANQUES DES BETONS ET MORTIERS A BASE DE SABLE DE FONDERIE

VI.2.1. Introduction :

L'objectif de cette étude est de contribuer à la valorisation d'un déchet de la fonderie qui est le sable usé ou rejeté. Cette valorisation va permettre d'éliminer des grandes quantités de ce rejet au niveau de l'unité BCR de AIN KEBIRA (Sétif, Algérie). L'étude expérimentale a pour objectif d'évaluer les propriétés des mortiers et bétons avec substitution de sable ordinaire (de carrière) par un sable de fonderie qui est un rejet industriel à différents pourcentages (0%, 25%, 50%, 75% et 100%) [4].

VI.2.2. Résultats et interprétation des essais sur les mortiers

VI.2.2.1. résistance à la traction par flexion :

Les essais mécaniques d'écrasement est de flexion sont réalisés à l'aide d'une presse hydraulique de type Ibertest, assistée par ordinateur, sa capacité est de 200 KN.



Figure IV.1: La machine de l'essai de traction par flexion [4].

Après avoir effectué l'essai de traction par flexion avec la machine présenté précédemment les résultats obtenus sont donnés par le tableau suivant:

Tableau VI.1 : Les résultats à la traction des mortiers
à base de sable de fonderie à 28 jours[4]

N° de série	Résistances à la traction (MPa)
MT 0%	10.97
MT 25%	9.46
MT 50%	8.27
MT 75%	6.37
MT 100%	5.38

VI.2.2.2. résistance à la compression :

Après l'étude du comportement mécanique des mortiers par des essais de compression uni axiale réalisés. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau ci-dessous:

Tableau IV.2 : Les résistances à la compression des mortiers
à base de sable de fonderie à 28jours [4].

N° de série	Résistance à la compression (MPa)
MT 0%	52.4
M25%	53.52
M50%	41.28
M75%	28.8
M100%	21.32



Figure IV.2 : Essai de résistance à la compression[4].

Les résultats obtenus des écrasements obtenus précédemment sont schématisés dans l'histogramme ci-dessous :

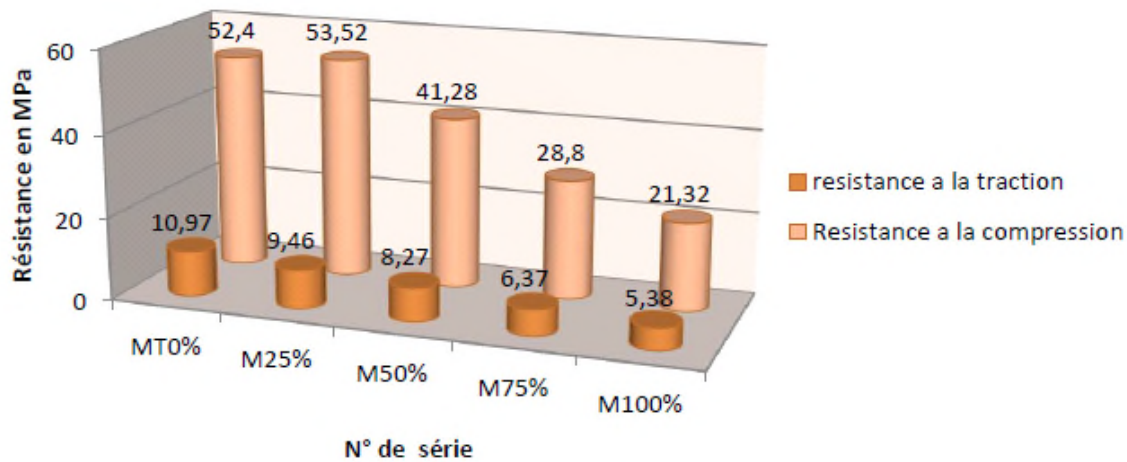


Figure IV.3 : Les résistances mécaniques des mortiers à base de sable de fonderie à 28 jours [4].

- **Interprétations des résultats:**

La résistance à la compression des éprouvettes de mortier préparés avec et sans sable de fonderie a été déterminée à l'âge de 28 jours.

Les auteurs de cette étude ont constaté que la résistance en compression du mortier à 25% de sable de fonderie est presque stable par rapport à celle du mortier témoin. A partir de ce dosage, une diminution de résistance est constatée en fonction de l'augmentation du pourcentage du sable de fonderie.

Si on s'intéresse à la flexion, la résistance diminue en fonction de l'augmentation du dosage de sable de fonderie et cela revient toujours à la qualité du sable utilisé[4].

VI.2.3. Résultats et interprétation des essais sur les bétons

IV.2.3.1. Masse volumique du béton :

La Détermination des masses volumiques des différentes séries de bétons confectionnées est importante (pour le béton frais et le béton durci).

Les résultats obtenus par les auteurs de cette étude sont donnés par les courbes ci-dessous :

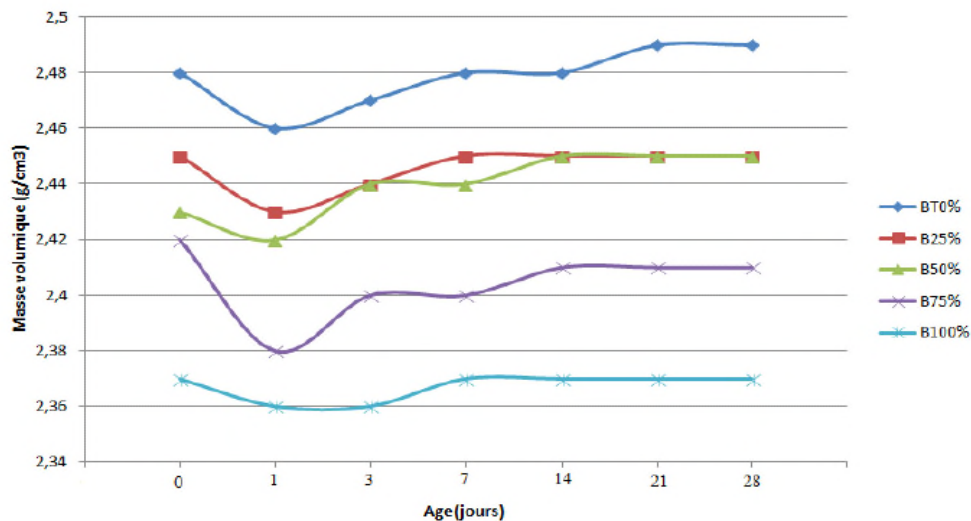


Figure IV.4: Masses volumiques du béton de sable de fonderie[4].

- **Interprétation des résultats**

A partir des courbes tracées la masse volumique des différents bétons varie en fonction du temps, tel qu'une diminution de cette masse est constatée de 0h à 24h, et cela est dû à la réaction d'hydratation et à l'évaporation de l'eau au-delà de 24h, les masses augmentent jusqu'à l'âge de 28 jours, et cela revient à l'hydratation continue du ciment.

Pour les masses obtenues aux différents dosages du sable de fonderie, les masses des bétons diminuent en fonction de l'augmentation du dosage du sable de fonderie, et cela revient à la qualité des deux sables utilisés.

IV.2.3.2. Résistance à la compression :

La détermination de la résistance à la compression des bétons est indispensable, car ce paramètre mécanique est considéré comme caractéristique fondamentale des bétons durcis.



Figure IV.5: Essai de compression d'une éprouvette cylindrique de béton[4].

Les résultats obtenus sont représentés par la figure suivante :

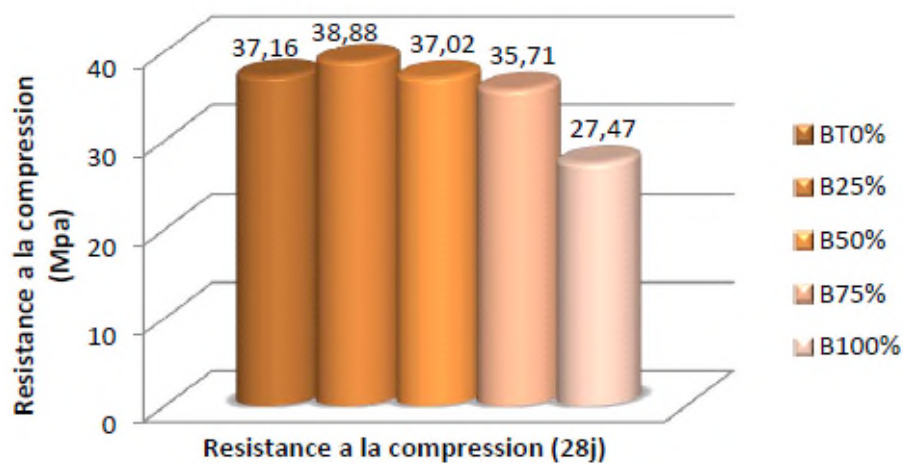


Figure IV.6: Résistance à la compression en fonction des différents dosages du sable de fonderie[4].

- **Interprétation des résultats**

La résistance à la compression des éprouvettes de béton préparés avec et sans sable de fonderie a été déterminée à l'âge de 28 jours.

La résistance en compression du béton à 25% de sable de fonderie est la meilleure, une diminution de résistance est constatée au-delà de 25% de sable de fonderie.

IV.3. DURABILITE DES BETONS A BASE DE SABLE DE FONDERIE[58]

IV.3. 1. Introduction

Ce travail qui a fait objet d'un article consiste en une étude de durabilité des bétons confectionnés avec un rejet d'usinage, qui est le sable de fonderie de l'unité BCR situé à AIN KEBIRA (Sétif, Algérie). Ce sable est utilisé en substitution d'un sable de carrière, tels que les pourcentages de substitution sont de : 25%, 50%, 75% et 100%.

IV.3. 2. Caractéristiques des sables utilisés

Les caractéristiques des sables utilisés sont illustrées par les photos DRX ci-dessous :

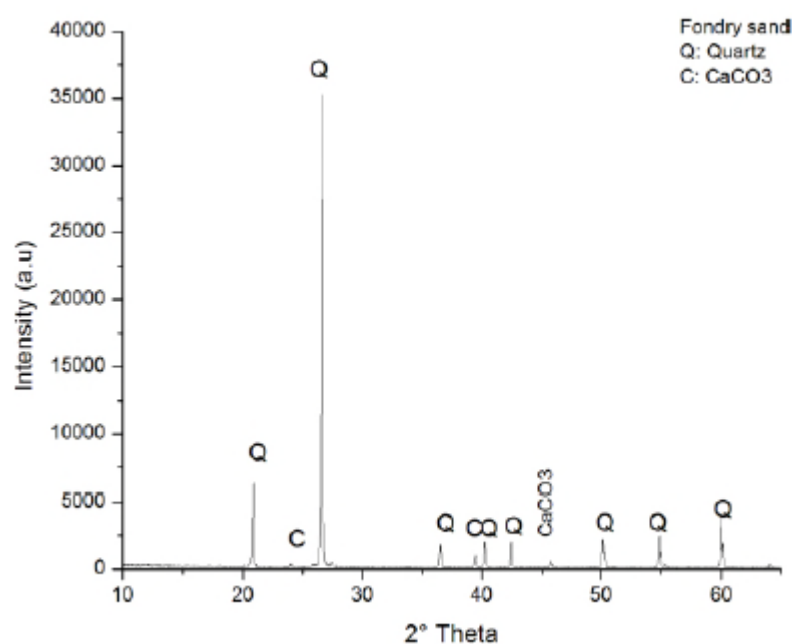


Figure : DRX du sable de fonderie de l'unité de BCR Ain El Kebira[58].

IV.3. 3. Essais sur mortiers

- Mesure de résistances

Les différents résultats obtenus et effectués sur les mortiers sont donnés par les figures suivantes :

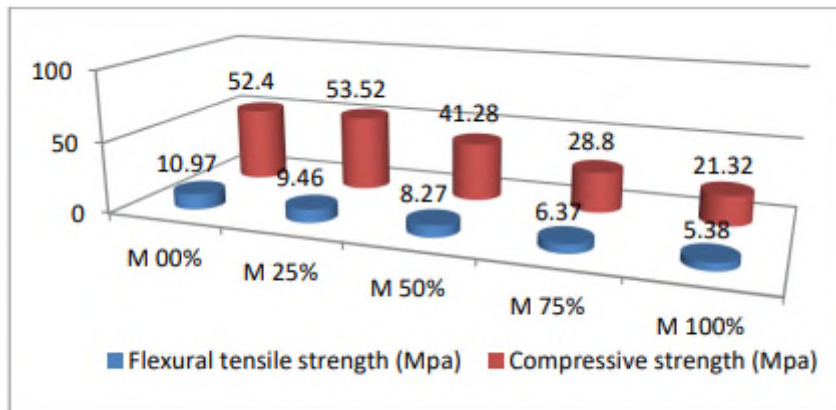


Figure IV.7: Résistance à la compression et à la flexion des mortiers[58].

D'après la figure les résistances à la flexion des mortiers diminues en fonction de l'utilisation du sable de fonderie. Par contre la résistance à la compression est meilleure pour une utilisation de 25% du sable de fonderie en substitution d'un sable de carrière, au-delà de 25% une diminution de résistance est constatée.

- **Mesure de retrait :**

Les résultats des essais de retrait effectués sur les différentes séries de mortiers sont représentés par la figure ci-dessous :

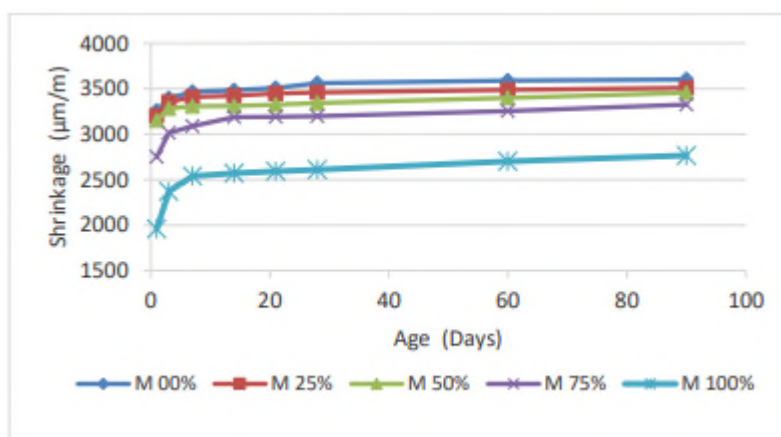


Figure IV.8: Evolution des retraits des mortiers en fonction du temps[58].

Le retrait des différentes séries de mortiers augmente en fonction du temps puis une stabilisation à partir de 60 j est constatée

Les résultats de cette étude ont montré aussi que le retrait diminue en fonction de l'augmentation de la substitution (augmentation de l'ajout de sable de fonderie).

IV.3. 3. Essais sur bétons

L'essai effectué sur les bétons durcis à base de sable de fonderie est l'essai de résistance à la compression, les résultats de cet essai sont donnés par la figure ci-dessous :

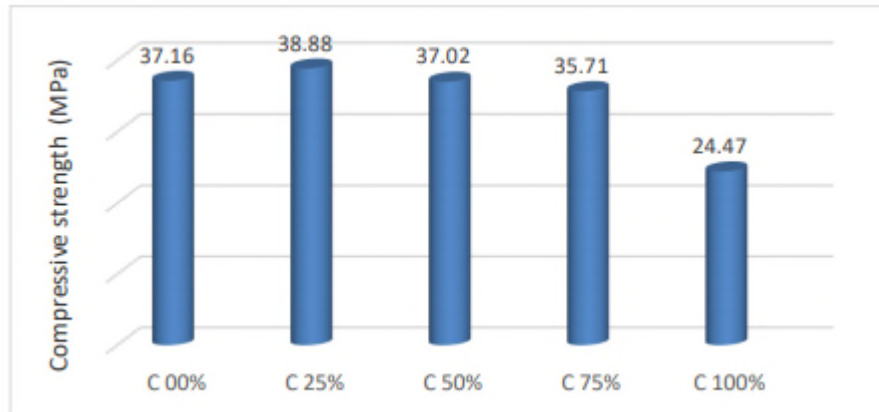


Figure IV.9: Résistances des bétons à 28 J[58].

Les résultats de variation des résistances à la compression des bétons est semblables à ceux des mortiers (la même allure et la même variation), tels que la meilleure résistance mécanique est à 25% de sable de fonderie et une diminution de cette résistance est constaté au-delà de ce pourcentage.

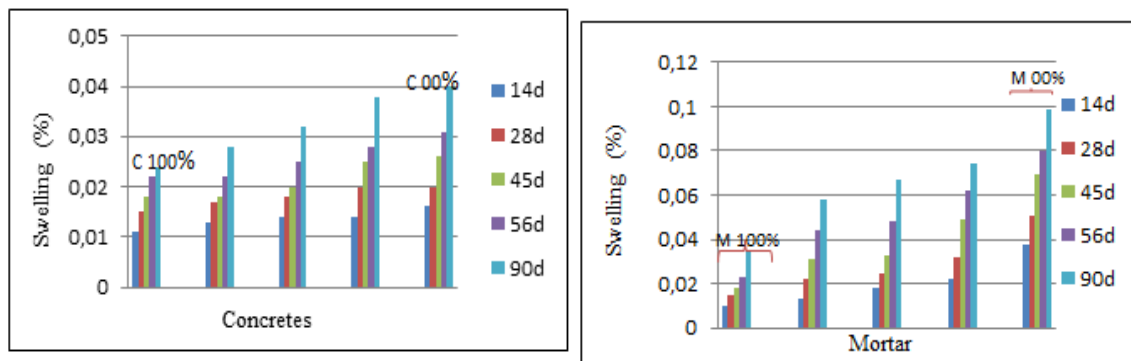
IV.3. 4. Essais de durabilité

Les essais de durabilité effectués sur les bétons et mortiers sont :

- **Résistance à l'attaque sulfatique :**

Les bétons et mortiers durcis sont conservés dans des solutions sulfatés concentrés à 5%

Variation de masse et résistance à la compression ont été évalués dans ce test.



a)- Bétons

b)- Mortiers

Figure IV.10: Variation de l'expansion des matériaux [58].

L'attaque au sulfate a clairement une influence sur les mortiers et bétons.

Il a été constaté que les mortiers sont plus détériorés que les éprouvettes de béton, les auteurs de cette recherche ont expliqué le phénomène par la composition initiale de ces mortiers et bétons.

La figure IV.11. Ci-dessous représente la variation des résistances des échantillons de mortiers conservés dans une solution sulfatée :

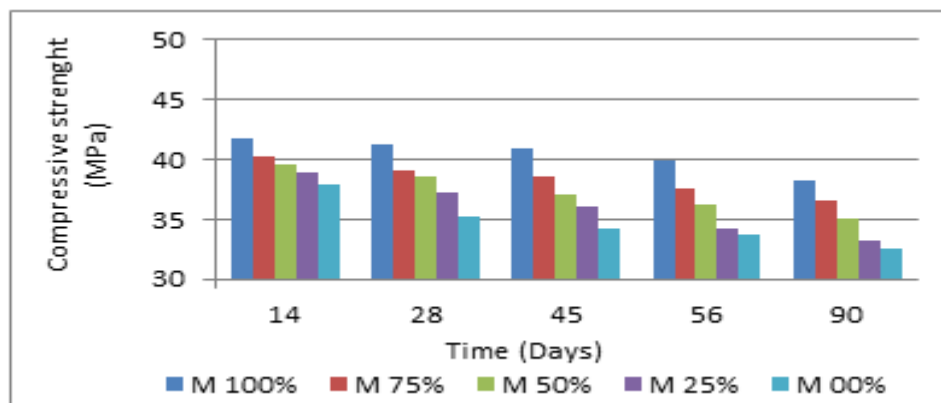


Figure IV.11: Résistance à la compression des mortiers conservés dans une solution sulfatée[58].

Les échantillons perdent leur résistance. Pour les échantillons M 100%, les résistances sont légèrement meilleures par rapport aux autres échantillons, de sorte que cette résistance a tendance à diminuer en fonction de la réduction du sable de fonderie. L'ajout de sable de fonderie n'a eu aucun effet négatif sur les différents résultats de résistances mécaniques à l'attaque du sulfate.

- **Résistance à l'attaque acide :**

Les échantillons sont placés dans une solution acide.

Les résultats des résistances mécaniques sont donnés par les figures ci-après :

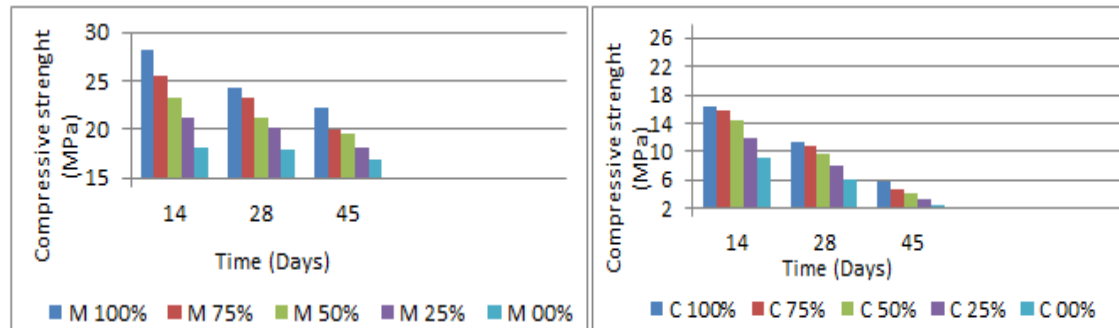
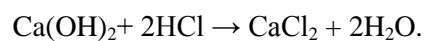
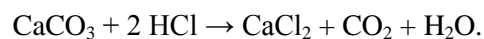


Figure IV.12: Résistance à la compression des mortiers conservés dans une solution acide[58].

La figure ci-dessus montre les résultats de la résistance à la compression des mortiers et bétons conservés en milieu acide, en terme de pertes de masses, les mortiers sont meilleures que celles du béton, d'après les auteurs de cette recherche ; l'attaque dans le béton est plus expresse que celle des mortiers.

Généralement, les réactions chimiques concernent deux éléments, qui sont principalement: l'hydroxyde de calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dans la pâte de ciment et le calcaire CaCO_3 dans les granulats, selon les équations suivantes:



IV.4. DURABILITE DES BETONS A BASE DU SABLE DE DEMOLITION ET AJOUTS MINERAUX ACTIFS[59]

Cette étude de recherche a pour objectif d'étudier le phénomène de durabilité à base des sables de démolition et ajouts des minéraux actifs.

IV.4.1. Comportement du mortier à l'état durci

IV.4.1.1. Résistance à la compression

La résistance mécanique du mortier après durcissement dépend du rapport E/C, de la qualité et nature de sable, du mode de conservation du mortier et de l'échéance de l'essai.

Cette résistance mécanique est caractérisée par sa classe de résistance à la rupture par compression et flexion.

Les résultats des essais à 28 jours des résistances à la compression et à la flexion effectués sur les éprouvettes de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ et $(7 \times 7 \times 7) \text{ cm}^3$ dans les tableaux ci-dessous :

Tableau IV.3 : Résistance à la compression des mortiers à base de sables recyclés pour des dosages de ciments respectifs 300, 350, 400 kg/m^3 sur des éprouvettes $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ [59]

Type de mortier	Résistance à la compression MPa					
	Dosage 300		Dosage 350		Dosage 400	
	CPJ	CRS	CPJ	CRS	CPJ	CRS
1^{ère} série						
100/0/0	12.00	22.50	19.50	30.00	24.00	42.00
80/20/0	11.00	21.00	18.00	28.00	22.00	40.50
70/30/0	10.00	19.50	16.75	26.50	21.00	39.00
50/50/0	8.75	17.00	14.00	24.00	18.00	37.00
30/70/0	7.00	13.50	10.00	21.00	14.00	32.00
2^{ème} série						
80/0/20	9.00	18.00	13.50	25.00	18.00	32.00
70/0/30	7.60	16.00	11.00	22.50	15.50	28.00
50/0/50	4.80	12.50	6.75	18.00	9.40	22.00
30/70/0	2.75	9.00	4.00	14.00	5.60	18.00

1ère série: Substitution en sable recyclés de béton de démolition.

2ème série: Substitution en sable recyclés de déchet de brique concassé.

Tableau IV.4 : Résistance à la compression pour mortier dosé à 400 kg/m^3 à base de sables recyclés sur des éprouvettes $(7 \times 7 \times 7) \text{ cm}^3$. [59]

DESINATION	Résistance à la compression MPa					
	Dosage 300		Dosage 350		Dosage 400	
	CPJ	CRS	CPJ	CRS	CPJ	CRS
100/0/0	12.70	24.00	20.80	28.00	25.00	43.00
50/50/0	9.50	18.00	12.83	22.00	19.00	36.00
80/0/20	10.40	11.42	13.20	15.00	16.00	32

Les graphes des figures ci-dessous montrent que :

- Les mortiers à base des sables recyclés présentent des résistances à la compression plus faible par rapport aux mortiers naturels qui nécessitent une augmentation du dosage et présentent un inconvénient du point de vue économique.

- Un mortier à base de sable concassé avec un taux de substitution de 20% présente une meilleure résistance à la compression.
- Au de la de 20% la résistance à la compression chute.
- Un mortier à base de sable de brique concassé avec un taux de substitution de 20% présente une meilleure résistance à la compression cependant elle est inférieure à celle du sable de béton concassé et cela peut être expliqué par la présence de matériaux argileux et la porosité élevée du sable concassé de brique.
- Avec le taux de substitution de 70% la résistance à la compression d'un mortier à base de sable concassé de brique chute d'une façon considérable.
- La résistance à la compression augmente avec le dosage en ciment dans tous les mortiers étudiés.
- Pour les essais effectués sur les éprouvettes de dimensions $7 \times 7 \times 7 \text{ cm}^3$ les résultats ont les mêmes tendances que celles des éprouvettes $4 \times 4 \times 16$.

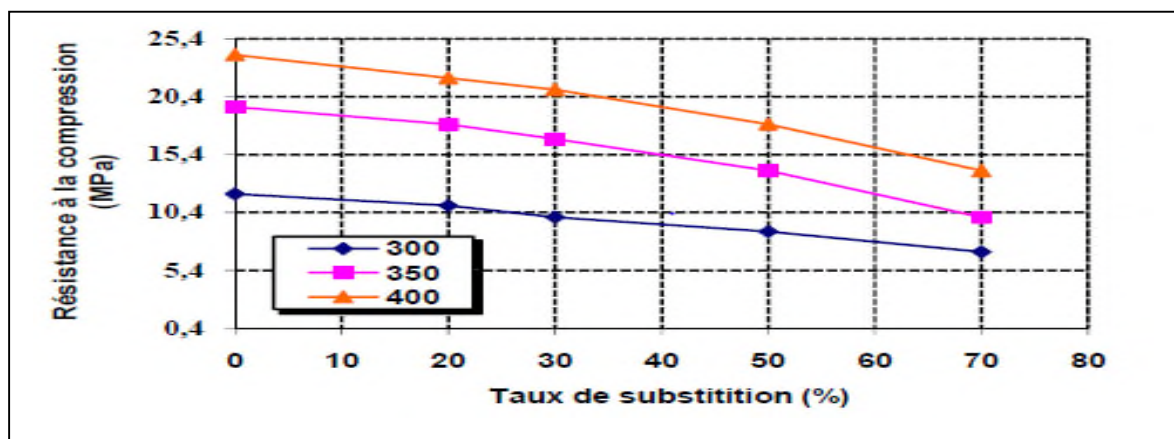


Figure IV.13: Résistance à la compression des mortiers à base de sable de béton concassé pour différents dosages en ciment CPJ [59].

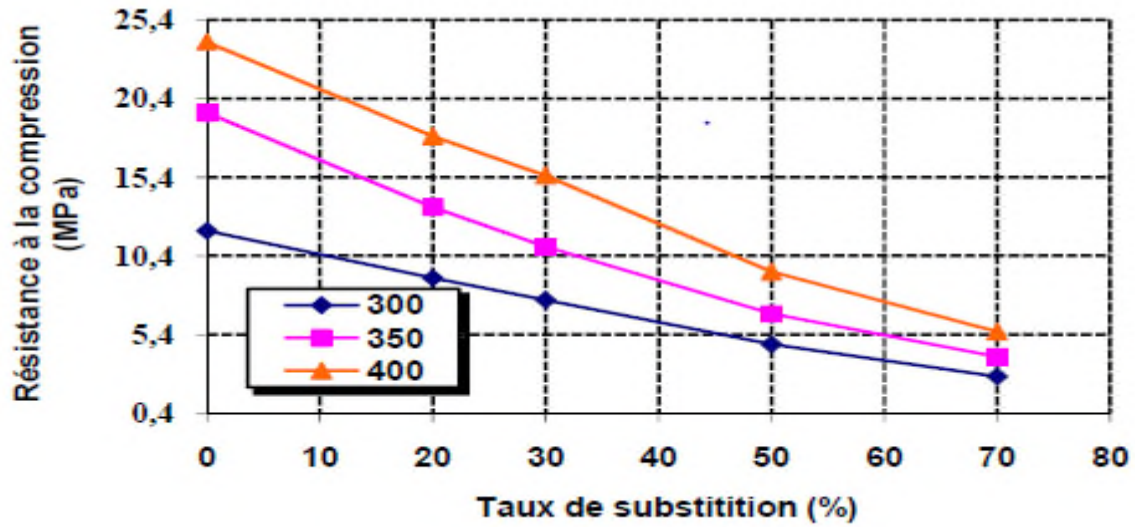


Figure IV.14: Résistance à la compression des mortiers à base de sable de brique concassé pour différents dosages en ciment CPJ [59].

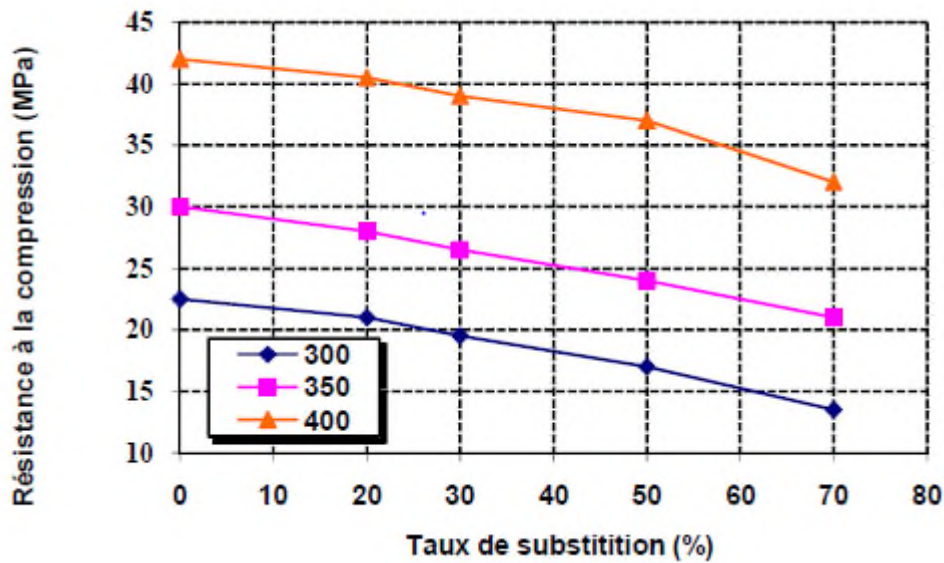


Figure IV.15: Résistance à la compression des mortiers à base de sable de béton concassé pour différents dosages en ciment CRS [59].

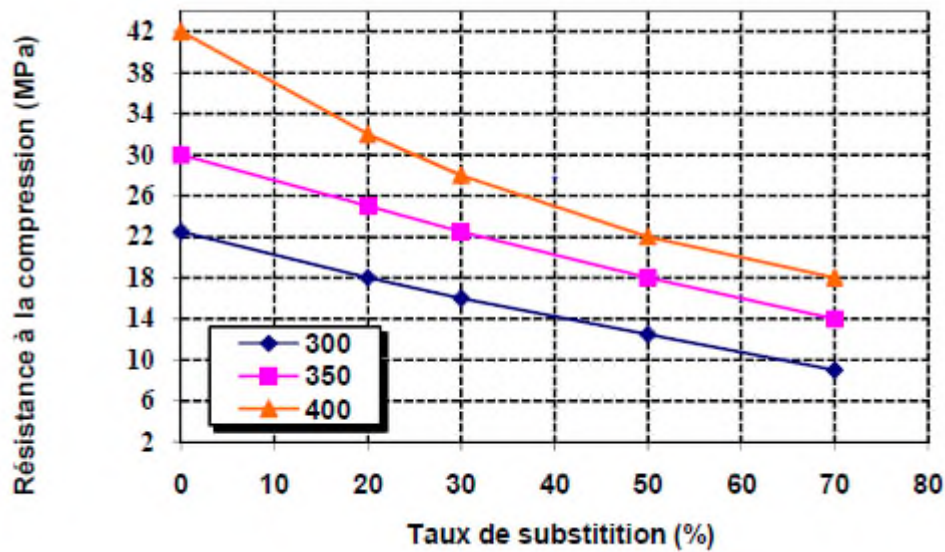


Figure IV.16: Résistance à la compression des mortiers à base de sable de brique concassé pour différents dosages en ciment CRS [59].

IV. 5. Conclusion:

Ce chapitre traite des conclusions basées sur les résultats des propriétés de résistance et de durabilité des deux qualités de bétons. L'inclusion de déchets de sable de fonderie comme remplacement partiel des granulats fins dans le béton a amélioré la résistance et la durabilité des deux qualités de béton.

Au cours de ces recherches, Les résultats obtenus, ont permis d'aboutir les principales conclusions qui sont les suivantes:

- Parmi les dosages des bétons étudiés, le dosage de 25% donne de meilleures résistances à la compression.
- Une meilleure maniabilité pour les dosages de 75% et 100%.
- Les bétons à base de sable de démolition de brique concassée résistent bien à des températures élevées.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Les recherches faites sur le sable de fonderie qui sont des sous-produits qui semblent avoir le potentiel de remplacer partiellement le sable en tant que granulat fin dans les bétons, ce qui leur offre une opportunité de recyclage. Si de tels types de matériaux peuvent être remplacés partiellement ou totalement par du sable naturel (granulats fins) dans les mélanges de béton sans diminuer la résistance et la durabilité, paraît une solution très économique et un bien environnemental.

Actuellement, une littérature très limitée est disponible sur l'utilisation de ces sous-produits dans le béton. Les déchets de sable de fonderie sont l'un des enjeux majeurs de la gestion des déchets de fonderie.

Les principales conclusions qui peuvent être tirées de différentes recherches sur l'utilisation de ce sable de fonderie sont:

- Le sable de fonderie joue un rôle sur la maniabilité du béton, tel que son utilisation qui rend le béton plus fluide (plus maniable) ;
- Les caractéristiques des bétons et mortiers à 25% de sable de fonderie sont similaires à celles de références, donc ce pourcentage est favorable ;
- Bonne résistance à 25% de sable de fonderie, proche de celle du mortier de référence.

Donc, l'utilisation d'un sable de fonderie est un avantage pour une construction fiable et économique.

C'est notre challenge pour les années à venir.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] réalisé par : OMIRI ABDELLAH et BOUAZOUMI LOUNIS; Mémoire de fin d'étude: recyclage (déchets), mortier autoplaçants; publier 8 janvier 2018.
- [2] (D.A.R. DOLAGE, M.G.S. DIAS , and C.T. ARIYAWANSA, "offshone sand as a fine aggregate for concrete production", British journal of applied science et technology, vol.3, no.4, PP. 813-825, 2003).
- [3] Site Google - définition de sable de fonderie.Fr.m.wikipedia.org.
- [4] D. ALLIOUCHE&D. ISSAD, " Etude des propriétés physico-mécaniques des bétons et des mortiers à base d'un rejet d'usinage (sable de fonderie)", Mémoire de fin d'études encadré par Mme S. ATTIL, Université A/Mira, Bejaia, 2017-2018.
- [5] Notion de durabilité des béton, Avril 2018, PATRICK GUIRAND.
- [6] Thèse de doctorat En environnement et Génie Urbain, présenté par Christelle Hatik, Soutenu le 11 décembre 2015, thème: proposition de scénarios de gestion raisonnée des Déchets en vue de leur valorisation énergétique; université de Réunion.
- [7] « Les bases de traitement des déchets solides » (Polycopié de Cours Conçu et réalisé par : Dr. BENNAMA Tahar, a l'usage des étudiants de Master & Licence en Génie des Procédés, Génie de l'Environnement et Chimie de l'Environnement, Janvier 2016.
- [8] S. KHOULDI et M.HAMDI. 3La gestion des déchets industriels. Etude de cas flash chemecals industry (FCI), mémoire de fin d'étude. En vue de l'obtention du diplôme licence ; spécialité: HSE. Université d'OUARGLA (2016-2017).
- [9] SPERANDIO K. : Identification des facteurs mobilisation des stratégies de gestion des déchets ménagers mises en œuvre par les collectivités locales, thèse: de doctorat,
- [10] <http://www.motors-dz.com/>
- [11] Akkouche.N., Optimisation de la valorisation énergétique des gaz de pyrolyse des pneus hors d'usage, thèse de doctorat, Université M'hamed Bougara - Boumerdes, 2016/2017.
- [12] Rapport sur la gestion des déchets solides en Algérie, Avril 2014.

[13] LEON CRAMBADE (vers une meilleure gestion des déchets industriels commission de développement durable). Année 2012;

[14] VORBURGER JULIA 04146528 (écologie industrielle et valorisation des déchets).

MBA gestion internationale déposé à la session d'hiver 2006.

[15] réaliser par Arsène NKITUAHANGA YENAMAU. Université de Kinshasa- Ingénieur Agronome 2010 problématique de la gestion des ordures ménagères.

[16] BELAIB AHLEM. Etude de la gestion et de la valorisation par compostage des déchets organiques générés par le Restaurant universitaire AICHA OUM ELMOUMINE (Willaya de Constantine). Mémoire de Magister en écologie. Option: gestion des déchets: Evaluation des solutions Environnementales.

[17] Medine.M., Etude expérimentale des bétons légers Incorporant des granulats issus du broyage des pneus usés, thèse de doctorat, Université Djillali Liabès, Algérie, 08/03/2018.

[18] André.L.R., Stéphane.O., Les réactions sulfatiques: conditions de formation, structure et expansion des minéraux secondaires sulfatés, Bulletin Des Laboratoires Des Ponts Et Chaussées - 225 - Mars-Avril 2000 - Réf. 4316 - PP. 41-50.

[19] Djemaci B., 2012- La gestion des déchets municipaux en Algérie: Analyse prospective et éléments d'efficacité Environnemental sciences. Université de Rouen, 2012 - French 21 28p. pdf

[20] SWEEP-NET (2010): "Rapport pays sur la gestion des déchets solides en Algérie" préparé par Y. KEHILA en collaboration avec L. GOURINE.

[21] L. ZEGHIGHI. " Etude des bétons basiques à base des différents granulats", thèse de Doctorat en sciences en Génie Civil. (2006).

[22] CHAUVIN J.J., Les sables: guide technique d'utilisation routière. ISTED, 76 p. France, 1987.

[23] Site WIKIPEDIA , future planète.

[24] GUENNOUN R., "Etude et formulation d'un béton de sable de dune" Alger, juin 2003.

- [25] AFNOR, 1999. Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats- partie 8: évaluation des fines- Equivalent de sable. NF EN 933-8.
- [26] REZIG. SALIMA, "Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux" mémoire de magister, université Mohamed Khider Biskira, année(2012).
- [27] GUERMITI. LAID, "contribution à l'amélioration certaines caractéristiques du béton de structure à base de sable de dune corrigé et renforcé par des fibres métallique" mémoire de magister, université KasdiMerbah OUAURGLA, année 2013.
- [28] DT8020, PDF. Guide d'application, Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière (les sables de fonderie).
- [29] Article, économie circulaire:" la valorisation des déchets de sable" sur MetalBlog 1^{er} octobre 2017.
- [30] Article: "les nouveaux liants inorganiques à base silicate" sur MétalBlog, 5 octobre 2017.
- [31] [https://fr.wikipedia.org/wiki/sable_\(fonderie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/sable_(fonderie)) .
- [32] <http://souspression.canalblog.com/archives/2011/09/07/21929497.html>.
- [33] S. AISSAT et A. KACIMI, Caractéristiques physique-chimique des sables usé de la fonderie de Tiaret en vu de leur valorisation", Laboratoire de recherche des Technologies industrielles, université IBN KHALDOUN- TIARET (2011).
- [34] A. OMIRI et L. BOUAZOUNI mémoire de fin d'étude ; En vue de l'obtention du diplôme Master, Spécialité: Génie de matériaux, Option: sciences des matériaux pour la construction Durable (MCD).
- [35] SHEN Jie., "comportement mécanique des matériaux et des structures précontraintes en bétons autoplaçants (BAP) ", Thèse de doctorat de l'Université de Reims champagne-ardenne-France, (2009) .
- [36] AFGC, "Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants" Association Française de génie civil, (2008).
- [37] P. TURCR., "Retrait et fissuration des bétons autoplaçants influence de la formulation " thèse de doctorat de l'université de Nantes France , (2004).

- [38] R. DUPAIN, R. LANCHON., J.C. SAINT-ARROMAN , "Granulats, sol, ciment, et béton" CASTEILLA, Paris, (2004).
- [39] M. NEHDI, S. MINDESS, C. AITCIN P., "Rhéologie of high- performance concrete : Effect og ultrafine", Cement and Concrete Research, 28(5), pp 687-697, (1998).
- [40] A. YAHIA, M. TANIMURA, Y. SHIMOYAMA., "Reological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C notion , cement and concrete Research", 35(3), PP 532-539, (2005).
- [41] N.A.HENDERSON, "self-compacting concrete at Millennum point", concrete, April, 26-27, (2000).
- [42] O.PETERSSON, P. BILLBERG, B.K.VAN, " A model for self compacting concrete". Proceedings of RILEM international conference on production Methods and Workability of Fresh concrete, paisley, June (1996).
- [43] P.L.DOMONE , H.W.CHAI., "testing of binders for high performance concrete ", cement and concrete Research , 27, 1141-1147. (1997).
- [44] T.SEDRAN , and F. DELARRARD, "Mix design of self- compacting concrete", Proceedings of the International RILEM conference on Production Methods and Workability of concrete, Paisley.Zds. P.J.M. Bartos, D.L. MARR, and D.J.CLELAND, PP. 439-450. (1996).
- [45] Guide technique régional relatif à la valorisation de sable de fonderie, PREDIS.
- [46] Innovation en Europe, Recherche et Résultat; Références du contrat: MAT1-CT94-0093
- [47] <https://www.infociments.fr/glossaire/beton>
- [48] Mémoire de mastère : Travaux public option : voiries et ouvrages d'Art (VOA) thème Recherche bibliographiques sur l'effet de la carbonatation sur la durabilité des bétons 2018.
- [49] Thèse de doctorat Présentée pour obtenir le grade de docteur de l'Université de Cergy-Pontoise (France) & le grade de Ph.D. de l'Université de Sherbrooke (Canada) .
- [50] Capmas A., «Béton et développement durable», LA DURABILITE DES BETONS, Presse de l'Ecole des Ponts et Chaussées, mai 2008.
- [51] Merdia A., Talah A., Kharchi F. et Chaid R., "Contribution à l'étude de la corrosion des BHP de pouzzolane en milieu sulfaté", Colloque International CMEDIMAT2005, Oran, Algérie, les 06 et 07 Décembre 2005.

- [52] Zhang, C., Yang, J., Re, S. & Wang, M., 2007. La relation entre la perméabilité et la durabilité du béton et les méthodes pour améliorer l'imperméabilité. Produits en béton, juin.
- [53] Lin, C., 2013. Mesures visant à améliorer la durabilité du pont en béton armé au stade de la construction. Science and Technology Guidance, décembre.
- [54] Vagelis, G.P., Costas, G.V. & Michael, N.F., 1991. Caractéristiques physiques et chimiques affectant la durabilité du béton. ACI Material Journal, mars.
- [55] Yassine SENHADJI : L'influence de la nature du ciment sur le comportement des mortiers vis-à-vis des attaques chimiques (acides et sulfatiques) (Mémoire de Magister-USTMB d'Oran -2006).
- [56] Richard Gagné : GCI 714 - Durabilité et réparations du béton : Cours de génie civil (Université de Sherbrooke).
- [57] GRUBE H., RECHENBERG W. - «Durability of concrete structures in acidic water». Cem.Concr. Res., vol. 19, n° 5, p 183-
- [58] S. Kherbache, N. Bouzidi : "Concretes properties made with machining reject (foundry sand)", J. Mater. Environ. Sci., 2019, 10 (11), pp. 1043-1052 1043 .
- [59] BENAICHI El HADJ, Soutenu le 20 /12 /2018, diplôme de :Doctorat en Sciences, Spécialité : Génie Civil, Option: Génie Civil, Thème: Durabilité des bétons à base du sable de démolition et ajouts minéraux actifs. Université Mohamed Khider - Biskra. (2018-2019).