

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 Guelma



Mémoire de Mastère

Présenté à l'Université de Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de : Génie Civil et Hydraulique
Spécialité : Génie Civil
Option : Matériaux en Génie Civil

Présenté par : **HIOUN MOHAMED ANIS**

**Thème : Recherche bibliographique sur la durabilité
du béton à base de verre**

Sous la direction de : Pr. BELACHIA MOULOUD

Octobre 2020

Remerciements

En préambule à ce mémoire, je souhaite adresser ici mes remerciements à :

Notre créateur (**DIEU**) pour m'avoir donné de la force à Accomplir ce travail.

Mon encadreur « **Pf. BELACHIA MOULOUD** », pour l'implication Qu'il a pu avoir tout au long de ce projet, son suivi ses conseils et ses orientations.

Tous les membres des « **Jurys** », pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner ce mémoire et pour leur bienveillante attention

Tous les travailleurs de « **LNHC** » (**LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET CONSTRUCTION**) de **SKIKDA**.

Le Laboratoire de (**MDC**) Département de génie civil, université de **SKIKDA**

Tous les travailleurs de département de génie civil et hydraulique, université de **GUELMA**.

Tous les travailleurs de **LA CARRIÈRE D'AGRÉGATS « ENOF »** Unité Elghedir (**SKIKDA**).

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à tous mes **proches et amis** qui m'ont toujours soutenues et encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents,

Que dieu les protège

À mes sœurs

À toute ma famille, mes amis

et collègues.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

CHAPITRE 01 : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Introduction.....	02
-----------------------	----

I.2 Notion des déchets.....	03
-----------------------------	----

I.2.1 Définition d'un déchet.....	03
-----------------------------------	----

I.2.2 Définition d'un déchet ménager et assimilé	03
--	----

I.3 Classification des déchets.....	03
-------------------------------------	----

I.3.1 Selon la réglementation algérienne.....	03
---	----

I.3.2 Selon la nature.....	04
----------------------------	----

I.3.3 Selon l'origine.....	06
----------------------------	----

I.4 Gestion des déchets.....	09
------------------------------	----

I.4.1 La réduction.....	09
-------------------------	----

I.4.2 La réutilisation (réemploi).....	09
--	----

I.4.3 Le tri sélectif des déchets.....	09
--	----

I.4.4 La collecte.....	09
------------------------	----

I.4.5 Les installations.....	10
------------------------------	----

I.4.6. Les traitements.....	11
-----------------------------	----

I.5 Généralité sur les verres	12
-------------------------------------	----

I.5.1 Définition	12
------------------------	----

I.5.2 Principales matières premières du verre.....	13
I.5.3 Propriétés de verre.....	14
I.5.4 Classification de verre.....	16
I.5.5 Le recyclage du verre.....	20
I.5.6 Recyclage du verre en Algérie.....	21
I.5.7 Domaines de recyclage des déchets de verre.....	22
I.6 Généralité sur le ciment.....	22
I.6.1 Définition	22
I.6.2 Caractéristiques des différentes formes du ciment	22
I.6.3 La fabrication du ciment.....	23
I.7 Généralité sur le béton	23
I.7.1 Définition	23
I.7.2 Différents catégories de béton.....	24
I.7.3 Caractéristiques principales du béton frais.....	25
I.7.4 Caractéristiques principales du béton durcissant	30
I.8 Conclusion.....	34

CHAPITRE 02 : METHODES ET MATERIAUX

II.1 Introduction.....	35
II.2 Méthode expérimentales	35
II.2.1 Essais sur ciment.....	35
II.2.1.1 Masse volumique	35

II.2.1.2 Essai de consistance	36
II.2.1.3 L'essai de prise	38
II.2.1.4 Résistance du ciment.....	39
II.2.2 Essais sur sable	41
II.2.2.1 Module de finesse.....	41
II.2.2.2 Equivalent de sable.....	41
II.2.2.3 Analyse chimique.....	43
II.2.2.4 Analyse granulométrique.....	43
II.2.2.5 Coefficient d'absorption.....	44
II.2.2.6 Bleu méthylène.....	45
II.2.3 Essai sur gravier.....	45
II.2.3.1 Los Angeles.....	45
II.2.3.2 Micro Deval.....	47
II.2.4 Essai sur béton.....	49
II.2.4.1 Essai d'affaissement.....	49
II.2.4.2 L'air occlus.....	50
II.2.4.3 L'essai de résistance par scléromètre	51
II.2.4.4 L'essai de résistance par ultrasons	52
II.3 Matériaux.....	55
II.3.1 Le ciment.....	55
II.3.2 Le sable.....	55

II.3.3 Les gravillons.....	55
II.3.4 L'eau.....	55
II.3.5 Analyse des matériaux.....	56
II.3.5.1 Analyses chimiques.....	59
II.3.5.2 Analyse granulométrique par tamisage.....	60
II.4 Conclusion.....	63
Conclusion générale.....	64
Références bibliographiques.....	65

Liste des figures

Figure I.1 : Déchets dangereux.....	04
Figure I.2 : Déchets ménagers et assimilés.....	06
Figure I.3 : Déchets médicaux et pharmaceutiques.....	07
Figure I.4 : Déchets agricoles.....	07
Figure I.5 : Les déchets organiques.....	08
Figure I.6 : composition d'un verre silico-sodo-calcique.....	14
Figure I.7 : Processus de transformation de déchets de verre.....	20
Figure I.8 : Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams.....	26
Figure I.9 : Mesure de la consistance (Essai Vébé).....	27
Figure I.10 : Mesure de l'affaissement sur table	28
Figure I.11 : Résistance du béton frais.....	29
Figure I.12 : Les moules cylindriques, cubiques et les éprouvettes pour mesurer la résistance en compression.....	31
Figure I.13 : Variations des résistances en compression d'un béton en fonction de la forme et des dimensions des éprouvettes.....	32
Figure I.14 : Différents essais sur les résistances d'un béton en traction.....	33
Figure II.1 : Mode opératoire de la masse volumique absolue.....	36
Figure II.2 : Appareil de Vicat.....	37
Figure II.3 : L'essai de prise	38
Figure II.4 : Les différentes phases de l'essai de prise.....	39
Figure II.5 : Moule prismatique 4*4*16.....	40
Figure II.6 : Eprouvette utilisé dans l'essai E.S.....	41
Figure II.7 : Machine d'agitation E.S	42
Figure II.8 : Tamis.....	44
Figure II.9 : Machine Los Angeles.....	46
Figure II.10 : Machine Micro Deval.....	48
Figure II.11 : Boulets utilisés dans l'essai MDE.....	48
Figure II.12 : Différentes phases de l'essai d'affaissement par cône d'Abrams.....	49
Figure II.13 : Différentes phases de l'essai Air Occlus	51

Figure II.14: Un Scléromètre 52

Figure II.15: Appareillage ultrasonique..... 53

Figure II.16: Transmission directe..... 53

Figure II.17: Transmission indirect..... 54

Figure II.18 : Transmission semi-directe..... 54

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Capacité de recyclage.....	21
Tableau I.2 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône.....	27
Tableau I.3 : Les valeurs d'étalement à la table.....	29
Tableau I.4 : Les résistances caractéristiques des bétons.....	30
Tableau II.1 : Valeurs limites de résistance à la compression.....	40
Tableau II.2 : Classification des sables selon l'essai E.S.....	43
Tableau II.3 : Nombre de boulets utilisés selon les granulats	46
Tableau II.4 : Classification des graviers selon l'essai LA.....	47
Tableau II.5 : Différentes classes de consistance	50
Tableau II.6 : Les différents matériaux utilisés.....	56
Tableau II.7 : Résultat des essais réalisés sur les gravillons.....	57
Tableau II.8 : Granularité des gravillons.....	57
Tableau II.9 : Résultat des essais réalisés sur le sable.....	58
Tableau II.10 : Résultat d'essais sur ciment.....	58
Tableau II.11 : Analyse chimique de l'eau de gâchage.....	59
Tableau II.12 : Analyse chimique des agrégats.....	59
Tableau II.13 : Analyse granulométrique par tamisage de sable 0/4.....	60
Tableau II.14 : Analyse granulométrique par tamisage du gravier 8/16.....	61
Tableau II.15 : Analyse granulométrique par tamisage du gravier 4/8.....	62

Liste des abréviations

NF : Norme Française

NE : Norme Européenne

CEM III : Ciment classe 3

CPJ : Ciment Portland avec ajouts

M_r : Module de finesse

E.S : Equivalent de sable

Ab : Coefficient d'absorption

LA : Coefficient Los Angeles

MDE : Coefficient Micro Deval

Résumé

La valorisation des déchets dans le domaine du génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux.

La valorisation des déchets possède deux impacts très importants à savoir l'impact environnemental et l'impact économique. Dans plusieurs pays du monde, différents déchets sont utilisés dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment ou le béton comme poudres, fibres ou agrégats.

Ce travail s'intéresse à la valorisation d'un déchet nuisible pour l'environnement, il s'agit du déchet de verre. Plusieurs types de déchets de verre sont ajoutés dans le béton en remplaçant une quantité de sables selon plusieurs pourcentages (10-20-30 et 40%). Les propriétés à l'état frais (maniabilité, air occlus et densité) et à l'état durci (résistance à la compression, à la traction, retrait et absorption d'eau) des différents bétons réalisés sont analysées et comparées par rapport à leurs témoins respectifs pour voir la possibilité d'introduire le verre dans le domaine de la construction.

Mots Clés : valorisation, déchet de verre, béton, substitution, caractéristiques mécaniques.

Abstract

Waste recovery in civil engineering is an important sector insofar as the products that one wishes to obtain are not subject to overly rigorous quality criteria.

Waste recovery has two very important impacts, namely the environmental impact and the economic impact. In several countries of the world, different wastes are used in the field of construction and especially in cement or concrete as powder, fibers or aggregates.

This work is concerned with the recovery of an environmentally harmful waste, which is glass waste. Several types of glass waste are added to the concrete by replacing an amount of sand in several percentages (10-20-30 and 40%). The properties in the fresh state (workability, air entrainment and density) and in the hardened state (resistance to compression, traction, contraction and water absorption) of the various concretes produced are analyzed and compared with their respective controls to test the possibility of introducing glass in the construction field.

Keywords: recovery, waste of glass, concrete, substitution, mechanical characteristics.

ملخص

يعد استرداد النفايات في الهندسة المدنية قطاعا هاما طالما أن المنتجات المراد الحصول عليها لا تخضع لمعايير جودة شديدة الصرامة.

استرداد النفايات له أثرين هامين للغاية يتمثلان في التأثير البيئي والتأثير الاقتصادي. في كثير من دول العالم، يتم استعمال النفايات في ميدان البناء وخاصة في الإسمنت أو الخرسانة كمسحوق، ألياف أو حصى.

يهتم هذا العمل باسترداد نفايات ضارة بالبيئة، ألا وهي النفايات الزجاجية. عدة أنواع من النفايات الزجاجية أضيفت للإسمنت معوضة كمية من الرمل حسب عدة نسب (10-20-30 و 40%). الخصائص في الحالة المرنة (قابلية الاستعمال ، احتباس الهواء ، الكثافة) وفي الحالة الصلبة (مقاومة الضغط ، الشد ، الانكماش وامتصاص الماء) لمختلف الخرسانات المنجزة تم تحليلها ومقارنتها مع الخرسانة العادية بالترتيب لمعرفة إمكانية إدخال الزجاج في مجال البناء.

الكلمات المفتاحية : الاسترجاع ، نفايات الزجاج ، الخرسانة ، الاستبدال ، الخصائص الميكانيكية.

Introduction général

Introduction général

Le développement socio-économique et l'accroissement démographique a conduit à l'augmentation de la quantité des déchets produits. Le verre constitue une composante importante des ménages et des déchets industriels en raison de son poids et de sa densité. En 2009, 11 542 556 tonnes de verre ont été collectées en Europe.

Le recyclage et la valorisation des déchets sont la meilleure solution pour éliminer ce problème et de protéger l'environnement, Le recyclage du verre est beaucoup plus simple que le recyclage d'autre matière, car le verre peut se recycler à l'infini. Son caractère minéral et inerte en fait un matériau non-dangereux et très stable. Si le recyclage n'était pas pratiqué, il lui faudrait plus de mille ans pour se dégrader dans la nature. Une tonne de verre recyclée représente 0,66 tonne de sable et 0,1 tonne de calcaire, 1,17 m³ et 1,46 MWh soit 0,46 tonne d'équivalent CO₂ évitée [1].

D'autre part, le verre a des vertus qui lui permettent désormais d'être utilisé dans d'autres voies que celles connues traditionnellement c'est-à-dire celles qui consistent à le réemployer comme matière première pour la fabrication des mêmes produits que ceux dont il est issu. Ainsi, nombre de secteurs d'activité l'utilisent dans la fabrication de différents matériaux, ils peuvent par exemple être intégrés sous forme de granulés à des matrices de béton [2].

Le verre concassé présente des performances comparables et parfois même supérieures à la plupart des matériaux traditionnels utilisés pour l'abrasion.

Dans notre travail, nous allons essayer de valoriser les particules fines de verre en différents pourcentage par substitution avec le ciment, les fractions les plus grossiers peuvent être utilisées comme remplacement de sable.

Ce mémoire se compose de 3 chapitres, tels que :

- ❖ Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique (généralité sur le verre, ciment, et béton).
- ❖ Le deuxième chapitre sur les caractérisations de matières premières utilisées ainsi que les différents essais effectués sur les bétons réalisés à l'état frais (l'affaissement, l'air occlus...) et à l'état durci (résistance à la compression, traction ...).
- ❖ Le troisième chapitre présente les résultats obtenus et leurs interprétations, mais malheureusement il a été annulé à cause de Covid19.

Finalement, ce mémoire s'achève par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I : Recherche bibliographique

I.1 Introduction

Le verre – une vaste source de déchet industriel, devient un thème de recherche dans le béton pour quatre raisons principales [1] :

1. Etant un matériau artificiel, la composition chimique du verre est stable et bien définie.

Cela permet de prévenir les réactions chimiques inattendues et de modifier ou de traiter le verre si nécessaire. L'aspect chimique est bien donc maîtrisé.

2. L'absorption d'eau dans le verre est négligeable voire nulle. C'est un avantage pour la formulation du béton car les autres matériaux naturels comme le gravier ou le sable absorbent plus ou moins une quantité d'eau initiale dépendante de leur nature et leur origine. Grâce à cette propriété du verre, la maniabilité du béton ou le rapport entre eau et liant pourrait être amélioré sans besoin d'ajouter des plastifiants. Cet avantage favorise les propriétés rhéologiques du béton frais.

3. Un autre atout du verre est sa résistance abrasive et sa dureté par rapport à celle des granulats naturels. En plus la résistance en compression du verre concassée est bien mentionnée. De ce côté, nous pouvons considérer la nature mécanique du verre concassée comme bien adapté pour l'utilisation comme granulats dans le béton.

4. Enfin, l'intérêt le plus important est de profiter de la source de verre recyclé qui augmente de millions de tonnes chaque année dans le monde entier (41 milliards d'objets de verre en moyenne chaque année aux Etats-Unis). Etant un matériau très durable et recyclable à 100% et à l'infini, il est nécessaire de profiter cette ressource par rapport à l'environnement.

Grâce à ces avantages, l'utilisation du verre dans la fabrication du béton devient un sujet intéressant dans plusieurs pays. Au cours des années, de nombreux progrès ont été apportés à ce sujet. Malgré plusieurs avantages, le verre est chimiquement incompatible avec le ciment et présente un phénomène insurmontable dans le système cimentaire : la réaction alkali-silica (en anglais alkali silica reaction, ou ASR) – qui se produit entre l'alcalin dans le ciment et la silice amorphe dans le verre. Cette réaction crée un gel qui gonfle en présence d'humidité et qui cause dans un premier temps des fissures dans le béton durci. A cause de ce phénomène qui est qualifié de « cancer des bétons », les premières recherches sur l'utilisation du verre n'ont été pas très réussies [Phillips et al.1991]. [2]

I.2 Notion des déchets

La question des déchets a commencé à se poser de manière aigue avec le développement urbain. Le volume de déchets s'amplifie de façon préoccupante, leur caractère hétérogène rend difficile la généralisation d'une filière de traitement, connaître leur composition et leurs caractéristiques permettra le choix d'une filière de traitement la mieux adaptée et la plus pérenne possible. [3]

I.2.1 Définition d'un déchet

Un déchet est un débris, un résidu considéré comme indésirable et sans valeur pour la personne qui s'en débarrasse. Le terme « déchet » revêt une signification particulière selon les pays, les cultures et même les personnes. Ainsi, un objet peut être sans valeur pour une personne et avoir une valeur pour une autre (un meuble antique mis au rebut par exemple).

Selon La loi n° 01-19 du 12 décembre 2001, déchets est 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.

I.2.2 Définition d'un déchet ménager et assimilé

Selon la loi N° 01-19 du 12 décembre 2001, est considéré comme déchet ménager et assimilé tout déchet issu des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers. [4]

I.3 Classification des déchets

I.3.1 Selon la réglementation algérienne

Déchets ménagers et assimilés : tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales, et autres qui, par leur nature et leur composition sont assimilables aux déchets ménagers.

Déchets spéciaux : tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes.

Déchets spéciaux dangereux : tous déchets spéciaux qui par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement.

Déchets inertes : tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et /ou à l'environnement.

I.3.2 Selon la nature

Déchets dangereux : les déchets dangereux sont les déchets issus de l'activité industrielle contiennent, en quantité variable, des éléments toxiques ou dangereux qui présentent des risques pour la santé humaine et l'environnement et qui de ce fait, nécessitent un traitement particulier, adapté à leur dangerosité. Un déchet dangereux présente une ou plusieurs des caractéristiques suivantes : explosif, comburant, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérigène, infectieux, corrosif, mutagène, ...



Figure I.1 : Déchets dangereux

Déchets non dangereux : les déchets non dangereux sont les déchets qui ne sont pas toxiques et ils ne constituent pas un risque sur la santé ou l'environnement parce qu'ils ne présentent aucune des caractéristiques relatives au degré de dangerosité. Ils sont principalement générés par les entreprises et les industriels, mais aussi par les collectivités et les ménages.

Le traitement de ces déchets permet de les transformer en matières réutilisables ou en matières premières secondaires et de limiter ainsi l'épuisement des matières premières.

Typologies des déchets acceptés [5] :

- Déchets Industriels Banals (D.I.B)
- Ordures ménagères résiduelles (O.M.R.)
- Encombrants
- Emballages valorisables en mélange ou pré-triés
- Bois A et Bois B
- Déchets verts
- Papiers, cartons
- Verre
- Déchets minéraux (sable, laitiers...)
- Déchets volumineux (laine de verre, polystyrène...)
- PVC (menuiserie)

Déchets inertes : les déchets inertes sont les déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou nuire à la santé humaine.

Déchets ultimes : déchets qui ne sont plus valorisables, ni par recyclage, ni par valorisation énergétique.

Un déchet résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux.

I.3.3 Selon l'origine

Déchets ménagers et assimilés : les déchets issus des ménages et tout déchet provenant des activités économiques, commerciales ou artisanales et qui par leur nature, leur composition et leurs caractéristiques, sont similaires aux déchets ménagers.



Figure I.2 : Déchets ménagers et assimilés.

Déchets des Activités Economiques (DAE) : il s'agit de déchets d'entreprises qui s'apparentent, par leur nature et leur composition, aux déchets ménagers. La loi considère qu'ils sont « assimilables aux déchets ménagers » et peuvent ainsi être collectés et éliminés comme tels.

Déchets industriels : tout déchet résultant d'une activité industrielle, agroindustrielle, artisanale ou d'une activité similaire ;

Déchets médicaux et pharmaceutiques : tout déchet issu des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, palliatif ou curatif dans les domaines de la médecine humaine ou vétérinaire et tous les déchets résultant des activités des hôpitaux publics, des cliniques, des établissements de la recherche scientifique, des laboratoires d'analyses opérant dans ces domaines et de tous établissements similaires ;



Figure I.3 : Déchets médicaux et pharmaceutiques.

Déchets agricoles : tout déchet organique généré directement par des activités agricoles ou par des activités d'élevage ou de jardinage (gazon, branchage...)



Figure I.4 : Déchets agricoles.

Déchets organiques : les termes suivants recouvrent la même notion : déchets biodégradables ou compostables, les bio-déchets ou les déchets fermentescibles. Un déchet organique est tout déchet pouvant subir une décomposition biologique naturelle, anaérobie ou aérobie. Il s'agit de : (résidus verts, boues d'épuration des eaux, déchets organiques de la cuisine, journal, fleur coupées...), Ces déchets peuvent être dégradés par les bactéries, champignons et autres micro-organismes et/ou par des réactions chimiques (oxydation, minéralisation). S'ils n'étaient pas contaminés.



Figure I.5 : Les déchets organiques.

I.4 Gestion des déchets

La gestion des déchets est toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations (Loi 01-19). La réduction à la source, la réutilisation, le recyclage, la valorisation et l'élimination doivent être privilégiés dans cet ordre dans le domaine de la gestion des déchets.

I.4.1 La réduction

L'objectif de la réduction est double. D'une part, il s'agit de réduire la consommation des produits afin d'assurer une gestion durable des ressources naturelles, d'autre part, elle vise à minimiser les impacts qui résultent de la gestion des déchets sur l'environnement.

I.4.2 La réutilisation (réemploi)

L'objectif essentiel du réemploi des déchets consiste à maintenir, le plus longtemps possible, les matières dans le circuit économique et réduire ainsi la consommation des matières premières et l'accumulation des déchets.

I.4.3 Le tri sélectif des déchets

Pour valoriser et/ou recycler les déchets, on ne peut plus les collecter en mélange, ceux-ci doivent avoir été préalablement triés.

Ainsi, les ménages constituent le premier maillon de la chaîne de valorisation des matériaux recyclables, par leur capacité et leur volonté à trier les déchets ménagers, pratique qui est un signal d'une certaine sensibilité environnementale.

I.4.4 La collecte

La collecte des déchets ménagers peut prendre plusieurs formes dans les villes des pays en voie de développement. Selon le pays, la taille de la ville, les moyens financiers et les techniques disponibles.

A. Collecte par apport volontaire en container

L'apport volontaire est le dépôt des déchets par les habitants en un endroit où le service de collecte pourra les enlever. Les containers sont déchargés, au niveau d'un site de transit, puis acheminés vers la décharge par moyens lourds, ou directement transportés à la décharge.

B. Collecte séparable par apport volontaire

Ce type de collecte est très répandu pour le verre, le papier et les emballages. En Europe ils utilisent des bennes ou des colonnes, réparties dans des villes à des endroits où elles ne génèrent pas trop d'inconvénients, où elles sont faciles d'accès pour les usagers et pour les engins d'enlèvement.

C. Collecte en porte à porte par moyens lourds

La collecte en porte à porte s'effectue par moyens lourds (camions spécialisés ou non, tracteurs) devant chaque maison ou ensemble de maisons.

D. Collecte en mélange

C'est la collecte traditionnelle. Des sacs en plastique ou tout autre récipient contenant des déchets non triés, déposés devant les maisons et ramassés à jour fixe.

E. Collecte séparable

Ce mode de collecte permet de collecter séparément les déchets qui ont été stockés dans des containers différents.

I.4.5 Les installations**A. Déchetterie**

La déchetterie est un espace aménagé gardienné, clôturé où le particulier peut apporter ses déchets encombrants et éventuellement d'autres déchets triés, en les répartissant dans des conteneurs distincts, en vue de valoriser et traiter au mieux les matériaux qui les constituent.

B. Le centre de tri

Le centre de tri constitue un élément essentiel dans l'opération de collecte sélective. C'est le lieu où sont acheminés les déchets recyclables ménagers, soit par collecte en porte à porte,

soit en apport volontaire. Cette installation permet le tri des déchets afin d'en extraire des matériaux, conformes à des prescriptions techniques minimales, qui seront recyclés par le repreneur.

C. Station de transit

La station de transit ou centre de transfert, reçoit les flux de déchets ménagers ramassés par les véhicules de collecte et permet leur stockage dans des fosses ou dans des conteneurs. Ils sont ensuite acheminés, par mode de transport à grande capacité vers une installation de traitement ou de stockage.

I.4.6 Les traitements

A. Le compostage

Selon Mustin (1987) le compostage est un procédé biologique aérobie contrôlé, de conversion et de valorisation de substrats organiques en un produit stabilisé, hygiénique et riche en composés humiques appelé compost.

B. La méthanisation

Traitement biologique, par voie anaérobie (absence d'oxygène), de valorisation de la matière organique qui permet de produire un biogaz combustible composé majoritairement de méthane.

C. Le recyclage

Le recyclage fait partie intégrante de l'approche gestion intégrée des déchets solides. Il permet de réintroduire dans le cycle de production des matériaux qui composent un produit similaire arrivé en fin de vie. Ce mode de traitement concerne surtout le verre, le papier/carton, le plastique et les métaux.

D. Incinération

Selon Desachy (2001), l'incinération consiste à brûler les ordures ménagères dans des fours spéciaux adaptés à leurs caractéristiques : composition et taux d'humidité. C'est le procédé de traitement qui permet la plus grande réduction du volume des déchets. En effet, au bout du processus, il n'en reste que 10 à 20% du volume initial (Balet, 2005). Cependant la

combustion doit être menée correctement et assortie d'un traitement des fumées afin d'éviter tout transfert de pollution ou de nuisance. Les résidus de ce genre de traitement peuvent être valorisés en produisant de l'énergie ou utilisés dans les constructions routières (mâchefers).

E. Mise en décharge

Contrairement aux autres procédés de traitement des déchets, la mise en décharge est la méthode de traitement la plus simple, la plus économique et la plus ancienne, mais elle présente des contraintes environnementales. Dans de nombreux pays en voie de développement c'est le procédé le plus communément utilisé pour le traitement des déchets ménagers, mais dans les pays avancés en termes de gestion des déchets, ce mode de traitement tend à disparaître.

F. Enfouissement

L'enfouissement consiste à stocker les déchets sous terre, dans des centres d'enfouissement techniques où les déchets sont répandus en couches successives sur un terrain dont les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques, ainsi que l'aménagement permettent de limiter au maximum les risques de nuisances et de pollution des milieux environnants.

Trois types de CET sont utilisés pour recevoir les déchets :

- CET de classe I : pour les déchets spéciaux dangereux
- CET de classe II : pour les déchets ménagers et assimilés et les déchets spéciaux non dangereux,
- CET de classe III : pour les déchets inertes. [4]

I.5 Généralité sur les verres

I.5.1 Définition

Il n'existe pas une, mais plusieurs définitions du verre. Ainsi, on peut le définir différemment suivant que l'on considère :

- les objets que l'on peut fabriquer à partir de cette matière (aspect fonctionnel) : par analogie avec le verre utilisé pour boire ou le verre à vitre. Le verre est un matériau solide transparent, homogène et cassant. Il résiste bien au feu et au contact de pratiquement tous les liquides et solides connus.

- que ce matériau a une structure particulière (aspect structural) : le verre est un solide non cristallin (amorphe). Il ne présente pas comme pour les structures cristallines d'ordre à longue distance (ordonnement des atomes et existence d'une maille cristalline). C'est un état particulier de la matière : l'état vitreux.
- que c'est un état particulier de la matière (aspect opérationnel) : le verre est un solide obtenu par trempe d'un liquide surfondu. [6]

Certains éléments comme le silicium et le bore peuvent former un verre par leur seule combinaison avec de l'oxygène (oxyde de ...) et par élévation à une très haute température. Ces oxydes sont appelés oxydes formateurs car ils forment le squelette du verre. On les combine avec d'autres éléments dits « modificateurs » qui sont :

- Les fondants qui abaissent la température de fusion des oxydes formateurs (silice = 1730°C).
- Les stabilisants qui modifient les propriétés physiques du verre atténuées par l'adjonction du fondant. [7]

I.5.2 Principales matières premières du verre

Le verre doit être constitué de 4 éléments principales : un VITRIFIANT, le dioxyde de silicium (SiO_2), constituant à plus de 98% du sable, qui va rendre le produit vitreux ; Un FONDANT, l'oxyde de sodium (Na_2O), qui va abaisser la température de fusion du verre ; Un STABILISANT l'oxyde de calcium (CaO), l'oxyde de magnésium (MgO), etc., enfin d'autres éléments peuvent être ajoutés comme du Calcin qui favorise la vitrification.

Voici un exemple de composition d'un verre silico-sodo-calcique :

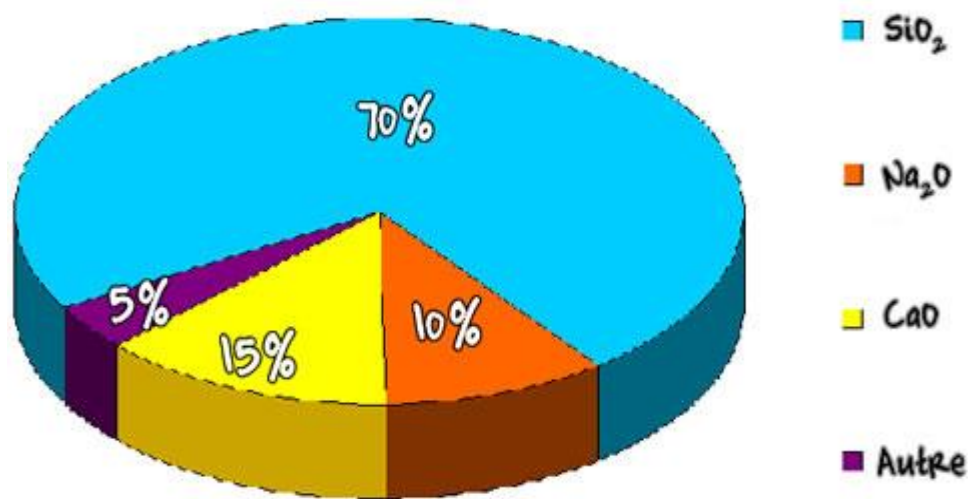


Figure I.6 : Composition d'un verre silico-sodo-calcique.

Pour les obtenir des verres colorés on ajoute d'autres substances, le plus souvent ce sont des colorants minéraux à base métallique (car ce sont les seuls qui peuvent être mélangé à la silice pendant la fusion). On peut également remarquer que le sable utilisé dans le mélange est composé de 98% de Silice, mais également 2% d'oxyde métallique, ce qui donne au verre son aspect légèrement verdâtre.

Par exemple : le Bleu peut être obtenu en rajoutant de l'oxyde de cobalt (CoO) ; le rouge en rajoutant de l'oxyde de cuivre (CuO) et le Brun en rajoutant de l'oxyde de chrome (Cr_2O_3).

Dans les matériaux vitreux, leur rare structure est un paramètre essentiel pour comprendre ou prédire leurs propriétés. [8]

I.5.3 Propriétés de verre

Le verre est la seule matière minérale solide que l'on puisse produire à des dimensions et sous des formes quelconques tout en conservant sa transparence[9]. Ses propriétés physiques, chimiques, thermiques sont les suivantes :

A. Propriétés physiques

- La transparence : mais il peut être opaque ou opalescent.

- La dureté : seuls les diamants et le carbure de tungstène le rayent. Le verre le plus dur est le verre de Bohême et le cristal est le plus tendre.
- La densité : elle dépend des composants ; elle est d'environ 2,5. Cela signifie qu'un mètre cube pèse environ deux tonnes et demie ou qu'une feuille d'un mètre carré et d'un millimètre d'épaisseur pèse 2,5 kg.
- La résistance et l'élasticité : la cassure du verre est liée à sa flexion et à sa résistance au choc. Il casse là où le métal se tord. Contrairement, sa résistance à la compression est importante : il faut une pression de 10 tonnes pour briser un centimètre cube de verre.
- L'imputrescibilité : il ne se putréfie pas.
- L'imperméabilité : elle est extrêmement grande mais le verre reste poreux pour certains liquides comme le kérosène ; on dit « qu'il sue ».

B. Propriétés thermiques

- La dilatation : c'est un très mauvais conducteur de chaleur. Il se brise s'il subit un brusque changement de température car les différentes parties du verre ne se réchauffent pas en même temps. Son coefficient de dilatation est faible, ce qui lui confère de nombreuses applications : il sert d'isolant thermique (laine de verre). On retrouve presque les mêmes coefficients que certains métaux d'où l'exécution de soudures verre-métal. Ce coefficient varie selon la composition.
- La conductivité : il est mauvais conducteur (environ 500 fois moins que le cuivre) ; on l'utilise comme isolant électrique. C'est aussi un bon isolant acoustique suivant l'épaisseur de la feuille. Ceci n'est pas le cas à chaud car il devient conducteur à partir de 250°C.
- Il est ininflammable et incombustible.

C. Propriétés chimiques

- L'action de l'eau : l'eau agit sur les silicates qui, en se décomposant, forment un dépôt en surface qui devient peu à peu opaque ; le verre perd de sa transparence.

- L'action de l'air : les silicates alcalins se combinent avec l'acide carbonique contenu dans l'air ce que donne un dépôt blanchâtre à la surface du verre.
- L'action de la lumière : exposés aux ultraviolets, certains verres se colorent ou se décolorent.
- L'action des acides : ils décomposent la silice, le plus rapide est l'acide fluorhydrique qui permet de graver en profondeur le verre plaqué. Le verre peut donc être dissout.

I.5.4 Classification de verre

A. Verre naturel

Des substances à l'état vitreux existent rarement dans la nature ce sont essentiellement les verres volcaniques ou la vitrification survient lorsque la lave fondu arrive à la surface de la croûte terrestre et y subit une brusque refroidissement. Parmi ces verres on peut citer par exemple les Obsidiennes et les Pechstein. [10]

B. Verre artificiel

Bien que des substances très variées puissent former des verres, seul un nombre restreint de ceux-ci ont acquis une importance pratique. Dans ce qui suit, nous citons les principaux types de verres, leurs caractérisations principales et leurs domaines d'utilisation.

➤ Verre d'oxyde

Les verres d'oxyde sont historiquement les plus anciens et industriellement les plus exploités. La plupart de verres sont constitués par des oxydes ou des mélanges d'oxydes tel que : SiO_2 , B_2O_3 , GeO_2 , P_2O_5 .

- Verre de silice

Les verres de silice sont le plus important et représentent plus de 9.5% de tonnage des verres produits industriellement. Ils sont des matériaux transparents compose de sable de silice (SiO_2) fondant à une température très élevée ($1750\text{-}2000\text{C}^\circ$), constitué par un assemblage désordonné de tétraèdre (SiO_4). Ce matériau possède une excellente transparence dans le domaine ultraviolet. De ce fait, il est très utilisé dans les lampes à vapeur de mercure. En revanche, dans le domaine d'IR, il absorbe certaines bandes puis est totalement opaque à partir de 5.10^{-6} m. Les verres de silices possèdent aussi une bonne isolation thermique. Ainsi

le coefficient de dilatation est de l'ordre de 10^{-7} (K⁻¹) qui lui confère une très bonne tenue au choc thermique.

Les qualités optiques de la silice, le rend susceptible de réaliser des dispositifs sous forme de guides d'onde ou de constituants de cœur de fibre optique pour les télécommunications. De nombreuses utilisations pour les synthèses chimiques : vaisselle, creusets, tubes,...

- **Verre sodocalssique**

C'est un des matériaux de base de l'industrie moderne, il se compose de 70%mol de SiO₂, 20%mol de Na₂O et de 10 (% mol.) de CaO. Il possède une bonne stabilité chimique et un coefficient de dilatation très élevé. Il est utilisé comme un verre plat et creux (des ampoules électrique et en bouteille).

- **Verres de borates**

Les verres de borate sont constitués de l'anhydride borique B₂O₃ qu'il est passant systématiquement à l'état vitreux au refroidissement. A cause de son hygroscopicité (le verre de B₂O₃ est très soluble dans l'eau), le verre de borate n'est jamais utilisé seul dans la pratique mais entre la composition de nombreuse verre industriels. Les verres de borates ont fait l'objet de nombreux travaux à cause de leur température d'élaboration moins élevée que celle des silicates.

Les boro-aluminates du système CaO-B₂O₃-Al₂O₃ possèdent une isolation électrique élevée qu'ils trouvent lieu dans les applications électrotechnique.

La famille de borosilicate du système 80SiO₂-15B₂O₃-5Na₂O est la plus adoptée dans les verres de Pyrex, Simax ou Vycor. Ces verres sont utilisés essentiellement en chimie pour la verrerie de laboratoires à cause de leur faible coefficient de dilatation thermique (voisin de 3.10^{-6} K⁻¹) et leur bonne résistance chimique.

- **Verre de phosphate**

Les verres phosphatés se singularisent des silicates par leur faible température de fusion, leur grande transparence dans l'UV et leur faible transparence dans l'IR. Les verres phosphates sont très performants surtout lorsqu'ils sont dopés aux ions de terres rares tels que l'Er³⁺. Ils

s'avèrent être d'excellents candidats pour les applications à gain élevé (amplificateurs optiques compacts) [11]. Cependant, les verres phosphates s'accompagnent d'une faible durabilité chimique. Pour pallier cet inconvénient, il est possible de stabiliser la matrice phosphatée en modifiant sa composition. De séries de verre phosphaté ont été développées tel que le verre boro-phosphaté qui se trouve dans des applications majeures (scellement, revêtement) ainsi que le verre silico-phosphaté qui a été développé pour la technologie de conducteurs optiques (photonique).

- **Verres de Germinâtes [12]**

L'oxyde de germanium GeO_2 forme un verre iso-structural de la silice à base de tétraèdres GeO_4 . Du fait de son prix qui est très élevé, sa faible réfractivité et sa moindre résistance aux agents corrosifs, il est rarement utilisé dans les compositions verrières. Cependant son importance est surtout d'ordre fondamental lorsqu'on l'ajoute comme dopant dans le verre de silice pour augmenter l'indice de réfraction, ce qui en fait un élément de choix pour la réalisation du cœur des fibres optiques pour la télécommunication à longue distance.

➤ **Verre d'oxydes lourds**

Les verres d'oxydes lourds se composent essentiellement des oxydes : PbO , WO_3 , Sb_2O_3 , As_2O_3 , GeO_2 , TeO_3 . Ils forment des verres avec des indices de réfractifs plus élevés et une transmission dans l'infrarouge plus étendue jusqu'à $8\mu\text{m}$. Ils sont utilisés dans la mise en œuvre des instruments optiques de précision (lentilles objectives), ils jouent aussi le rôle de filtre (verre de protection) ou guide d'onde pour la transmission des signaux.

➤ **Verre de Chalcogénures**

On appelle un chalcogène les éléments S, Se, Te. Ils peuvent former de verre eux-mêmes à eux tout seul ou avec l'association d'autres éléments du groupe IV (Ge, Si, Sn) et le groupe V (Sb, As) [13]. Ils forment des verres binaires tel que As_2S_3 , As_2Se_3 , GeS_2 ou ternaires tel que $\text{As}_2\text{S}_3\text{-Ag}_2\text{S}$, $\text{Sb}_2\text{S}_3\text{-Ag}_2\text{S}$, $\text{B}_2\text{S}_3\text{-Li}_2\text{S}$ [14]. Dans un domaine de vitrification plus étendu. La plupart des verres chalcogénures sont opaques dans le domaine de visible et transparents dans l'infrarouge (jusqu'à $30\mu\text{m}$). Ils possèdent également une température de ramollissement entre $100\text{-}300^\circ\text{C}$ et une faible résistance chimique. De ce fait ils sont utilisés principalement au domaine d'optique infrarouge (lentilles, capteurs infrarouge, xérogaphie,...).

➤ **Verre d'Halogénures**

C'est une grande famille de verres composée essentiellement des éléments halogènes tels que le chlore, le bromure, l'iodure ou le fluor. On connaît les verres chlorés comme : $ZnCl_2$, $BiCl_3$, $CdCl_2$, ou d'autres verres halogénés comme : $ZnBr_2$, PbI_2 . Tous ces verres sont transparents dans l'infrarouge alors que leur application reste hypothétique. [15]

➤ **Verres de Fluorures**

Les fluorures comme les oxydes peuvent former des verres en raison de leur rayon ionique de l'ion F^- très voisin de l'ion O^{2-} ($R_{F^-} = 1,285$; $R_{O^{2-}} = 1,35$). Les verres de BeF_2 et les fluorobérylates forment des verres iso structuraux de silicates. Par la suite les verres dits ABF (Aluminium Béryllium Fluor) issu du système $BaF_2-CaF_2-AlF_3-BeF_2$ ont été proposés.

La révolution de verres fluorés fut enclenchée depuis 1975 par la découverte de nouvelles séries de verres fluorés par les frères Michel et Marcel Poulain. Parmi ces verres on obtient essentiellement les fluorozirconates, les fluoroaluminates ou les fluoroindates ainsi que les verres dérivés de ThF_4 UF_4 MnF_2 ScF_3 . La plupart de ces verres possèdent une bonne transmission dans le visible jusqu'à $1\mu m$ dans l'infrarouge. Ces caractéristiques placent ces verres en tête de liste comme des sérieux candidats pour l'optique et la réalisation de matériaux pour les fibres optiques. Ils se trouvent aussi des applications dans la chimie de dérivés fluorés.

Les verres fluorés typiques les plus connus sous le nom commerciales : Le ZBLAN : $53ZrF_4 + 20BaF_2 + 4LaF_3 + 3AlF_3 + 20NaF$ ou le ZBLA : $57ZrF_4 + 36BaF_2 + 4LaF_3 + 3AlF_3$.

Ces verres se caractérisent par leur grande fenêtre optique (200-10000 nm).

➤ **Verre Organiques**

Il existe des polymères vitreux comme les poly méthacrylates qui forment des verres sous l'appellation commerciale "Plexiglas" "Altuglas". Il y a des nombreux composants organiques qui conduisent à des verres tels que : le Salol et le Glycérol. Les verres organiques ont l'avantage de présenter un bon facteur de mérite au-dessus de $2\mu m$. En revanche, ils sont à exclure pour des applications dans le domaine de télécommunications ($1,5\mu m$) du fait de leur absorption résiduelle et à leur basse température de transition vitreuse.

➤ Verre métallique

Les premiers alliages métalliques amorphes furent obtenus en couches minces, mais le premier verre métallique obtenu par une hypertrempe de liquide fut décrite en 1960 et c'est un alliage Or-Silicium. Les verres métalliques se partagent en deux classes principales :

a) Alliage métal-métalloïde, où le métal est métal de transition : Au, Pd, Pt, Fe, Ni, Mn et le métalloïde : Si, Ge, P, B. On trouve par exemple Pd80Si20 et Ni80P20 et le verre commercial Fe40Ni40P14B6.

b) Alliage métal-métal : On a Mg65Cu35, Au55Cu45, Sn90Cu10, Zr72Co28, Zr50Cu50, Ni60Nb40. On a également Pd40Cu30Ni30P20.

Les verres métalliques ont fait l'objet de nombreuses recherches en raison des leurs propriétés mécaniques remarquables. L'une de ces propriétés le plus intéressantes est leur haute résistance à la corrosion ; C'est pour quoi ils peuvent être utilisés comme revêtement anticorrosion.

I.5.5 Le recyclage du verre



Figure I.7 : Processus de transformation de déchets de verre [16]

Le verre constitue une composante importante des ménages et des déchets industriels en raison de son poids et de sa densité. La composante de verre dans les déchets municipaux est généralement constituée de bouteilles cassées, verrerie, des ampoules et autres articles. Aussi de nombreuses méthodes manuelles de création d'objets en verre ont un taux de défectuosité de l'ordre de quarante pour cent. . Le recyclage du verre est le processus de transformation de déchets de verre en produits utilisables (figure I.7). Pour ce faire, les déchets de verre doivent être séparés par leur composition chimique (séparés en différentes couleurs) car le verre conserve sa couleur après le recyclage, et ensuite, en fonction de l'utilisation finale et les capacités locales de transformation. Cette procédure permet d'utiliser moins d'énergie que la fabrication du verre à partir de sable, de chaux et de soude.

I.5.6 Recyclage du verre en Algérie [17]

La composition des déchets solides produits en Algérie se caractérise par une part très significative des produits organiques avec un taux moyen de 72%. Quant au plastique, il ne représente que 10% de ces déchets et 9,3 % pour le papier/carton, 4,14% pour le chiffon et autres, 3,2% pour les métaux et 1,36% pour le verre. La capacité de recyclage de ces déchets est donnée dans le (tableau I.1).

Tableau I.1 : Capacité de recyclage [18]

Nature des déchets	Quantité en tonne/an
Papier	385.000
Plastique	130.000
Métaux	100.000
Verre	50.000
Matières diverses	95.000
Total	760.000

I.5.7 Domaines de recyclage des déchets de verre

Le recyclage du verre d'emballage possède de nombreux avantages, et celui notamment d'être utilisé à l'infini. Le verre après broyage peut être réutilisé sous plusieurs formes dans

plusieurs secteurs d'activité. La construction : il remplace les gravillons qu'on peut trouver dans les parpaings, et possède des qualités d'acoustique et de légèreté.

L'abrasion : les microbilles de verre pour traiter des surfaces sans les endommager ou la poudre de verre afin de préparer des surfaces à travailler, et les billes de verre pour le broyage. Les pigments pour la peinture : dans les enduits pour un effet esthétique particulier ou dans la peinture pour la signalisation routière. Les matériaux de décoration : dans les roches décoratives pour la mosaïque par exemple Le nettoyage : par la libération de soude et de potasse, ainsi que grâce à ses microparticules, qui possèdent des qualités de détergents.

I.6 Généralité sur le ciment

I.6.1 Définition

Le ciment est une matière pulvérulente, à base de silicate et d'aluminate de chaux, obtenue par cuisson, en proportions variables selon les matières premières utilisées :

- Silicate tricalcique, ou C_3S ($3 CaO, SiO_2$),
- Silicate bicalcique, ou C_2S ($2 CaO, SiO_2$),
- Aluminate tricalcique, ou C_3A ($3 CaO, Al_2O_3$),
- Aluminoferrite tétracalcique, ou C_4AF ($4 CaO, Al_2O_3, Fe_3O_3$).

Les matières premières essentielles sont la roche calcaire et l'argile. Elles sont broyées et éventuellement additionnées de produits secondaires. Le mélange obtenu s'appelle le cru et est composé d'environ 80 % de calcaire et d'environ 20 % d'argile.

I.6.2 Caractéristiques des différentes formes du ciment

Cette matière forme, avec l'eau ou une solution saline, une pâte plastique liante. Après avoir durci dans l'air ou dans l'eau, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité. Sous forme de poudre mélangée à l'eau, le ciment permet d'agréger du sable fin pour produire du mortier, des granulats et du béton. Le mot recouvre plusieurs matériaux comme le plâtre, la chaux, la pouzzolane, le ciment prompt, le ciment Portland et le ciment de romain.

A. Caractéristiques de la poudre

- Surface spécifique / finesse blaine : 2 800 à 5 000 cm^2/g
- Masse volumique apparente : 1 000 kg/m^3

- Masse volumique absolue : 3 000 à 3 200 kg/m³

B. Caractéristiques sur pâte ou mortier

- Début de prise : aiguille de Vicat
- Expansion : aiguille de Le Chatelier
- Résistances mécaniques : 2 jours/7 jours/28 jours
- Chaleur d'hydratation : 250 à 400 J/g

I.6.3 La fabrication du ciment

Sa fabrication passe par sept étapes : l'extraction des matières premières, leur homogénéisation, les méthodes de fabrication par voie humide ou sèche, le séchage, le broyage, la cuisson et le refroidissement.

Pour la construction d'une maison, on peut choisir d'utiliser les parpaings de ciment qu'on appelle aussi blocs de béton. La France est leader mondial de l'industrie cimentière.

Dans le procédé dit à voie sèche, le plus courant aujourd'hui, le cru est préchauffé (et donc séché) dans un pré-calcinatoire. Il est ensuite introduit dans un four cylindrique et tournant, aujourd'hui toujours horizontal (légèrement incliné). Leur longueur varie de 30 à 110 mètres. Un brûleur chauffe l'intérieur du four entre 1.400 et 1.500 °C.

La matière extraite du four s'appelle le clinker et est formée de blocs solides ressemblant à de la lave. Ce clinker est broyé et on ajoute au moins du sulfate de calcium, sous forme de gypse ou d'anhydrite, à raison de 3 à 5 %. Le résultat est le ciment. Cette formule classique est celle du ciment dit Portland. [19]

I.7 Généralité sur le béton**I.7.1 Définition**

Un béton est un mélange de mortier avec une certaine proportion de gravillons ou de pierres destinés à compléter l'ossature minérale dans des conditions à la fois compatibles avec les nécessités de la mise en œuvre et commandées par des considérations de compacité de résistance et d'économie.

On fabrique généralement le béton en un seul stade, par mélange dosée du ciment, du sable et des gravillons (ou des pierres) et gâchage à l'eau en quantité déterminée pour le mouillage,

l'ouvrabilité (ou maniabilité), et la prise, compte tenu de l'humidité des granulats (particulièrement des sables).

Les mortiers et bétons font prise et durcissent. C'est la prise du liant (chaux ou ciment) qui est la cause de l'évolution des compounds d'agrégats inertes et de pâte active. Il est nécessaire pour avoir un produit irréprochable que tous ces grains inertes, des plus petits aux plus gros, soient non seulement enveloppés de pâte de ciment, mais qu'ils adhèrent à cette dernière.

Plusieurs conditions sont indispensables à l'adhérence liant-granulats :

- Il faut que les grains des granulats soient hydrophiles
- Il faut que les grains soient mouillés par l'eau soit directement, soit par la pâte de ciment et d'eau.
- La relation d'adhérence entre le liant et les grains inertes doit être une relation d'affinité.
- L'adhérence du liant aux grains inertes rend indispensable la propreté de ces derniers.
- L'enrobage parfait des grains par des films d'une pâte de ciment, comporte des difficultés très rapidement croissantes avec la grosseur des grains inertes et nécessite la constitution de bétons à minimum de grains fins (< 200 pour les grains autres que les grains de ciment).

La quantité d'eau est dosée en fonction des moyens de serrage dont on peut disposer (indépendamment des autres conditions telles que : moyen de transport, granulométrie des granulats, dosage en ciment, etc.), pour assurer une bonne ouvrabilité du béton. Donc, le rapport eau/ciment est essentiel.

I.7.2 Différents catégories de bétons

La Norme P 18-301 classe les bétons de construction en trois types, suivant leur emploi :

- Type A : résistances mécaniques très élevées (ouvrages BA)
- Type B : faible perméabilité (barrages, réservoirs)
- Type C : peu ou pas armé (massifs de fondation).

On peut aussi les classer suivant leur densité en trois catégories :

A. Bétons Ordinaires (2100 à 2400 kg/m³)

- Grande masse • Béton armé d'ossatures de bâtiment

- Béton étanche
- Béton de grands ouvrages
- Préfabriqué précontraint
- Pistes, routes, aérodromes.

B. Bétons légers (600 à 1800 kg/m³)

Ils sont destinés principalement à la confection des parpaings, éléments préfabriqués, cloisons,... Ces bétons ont l'avantage d'améliorer l'isolation thermique et phonique des constructions. On distingue :

- Les bétons caverneux (sans sable)
- Les bétons cellulaires (obtenus par dégagement gazeux)
- Les bétons de granulats légers (laitier, argile et schiste expansé).

C. Bétons lourds (3500 à 4500 kg/m³)

Ils sont utilisés pour la protection contre les rayons X. Les granulats employés sont lourds.

I.7.3 Caractéristiques principales du béton frais [20]

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

Il existe un très grand nombre d'appareils de mesure de l'ouvrabilité du béton reposant sur des principes différents. Certains mesurent une compacité, d'autres un temps d'écoulement ou encore utilisent l'énergie potentielle du béton ou nécessitent un apport d'énergie extérieur.

On comprend qu'il est difficile de convenir d'un tel appareil tenant compte de tous les bétons possibles pour tous les usages et qui tiennent compte aussi des différents facteurs de l'ouvrabilité. Certains appareils sont utilisés à la fois par les laboratoires et par les chantiers. La distinction proposée est donc parfois assez artificielle, sauf dans le cas d'appareillage très élaboré.

A. L'ouvrabilité du béton frais

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

➤ Affaissement au cône d'Abrams

Cet essai (slump-test) est incontestablement un des plus simples et des plus fréquemment utilisés, car il est très facile à mettre en œuvre. Il ne nécessite qu'un matériel peu coûteux et peut être effectué directement sur chantier par un personnel non hautement qualifié mais ayant reçu simplement les instructions nécessaires au cours de quelques séances de démonstration. L'appareillage est complètement décrit dans la norme NF P 18-451 et est schématisé sur la figure I.8. Il se compose de 4 éléments : un moule tronconique sans fond de 30 cm de haut, de 20 cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10 cm de diamètre en sa partie supérieure ; une plaque d'appui ; une tige de piquage ; un portique de mesure.

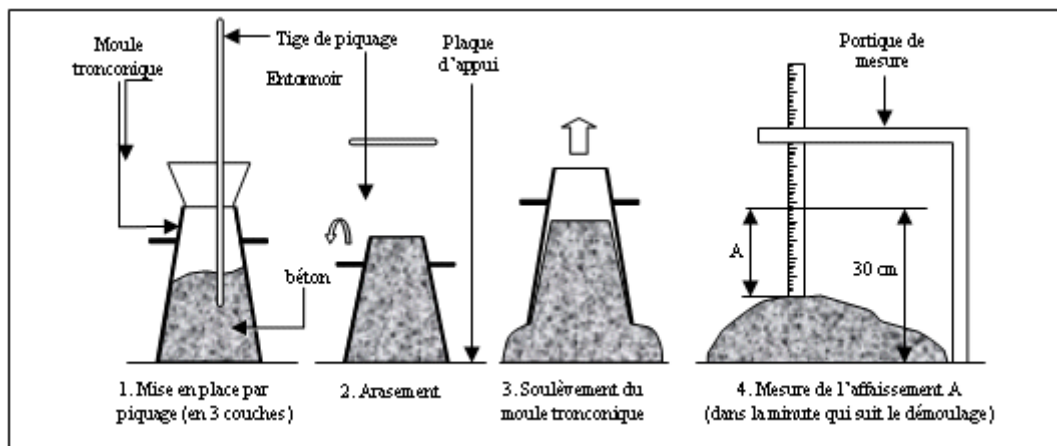


Figure I.8 : Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams

Les mesures sont évidemment quelques peu dispersées et il ne faut pas accorder à cet essai un caractère trop rigoureux, mais on peut admettre qu'il caractérise bien la consistance d'un béton et permet le classement approximatif indiqué au tableau I.2.

Tableau I.2 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme F	0 à 4	± 1 cm
Plastique P	5 à 9	± 2 cm
Très plastique TP	10 à 15	± 3 cm
Fluide F1	≥ 16	

Malheureusement, cet essai ne convient pas pour tester les bétons qui seraient encore plus fermes, plus secs qu'un béton donnant un affaissement presque nul. Dans ce cas-là, il convient de déterminer la consistance du béton frais par une autre méthode, qui s'appelle l'essai Vébé, schématisé sur la figure I.9.

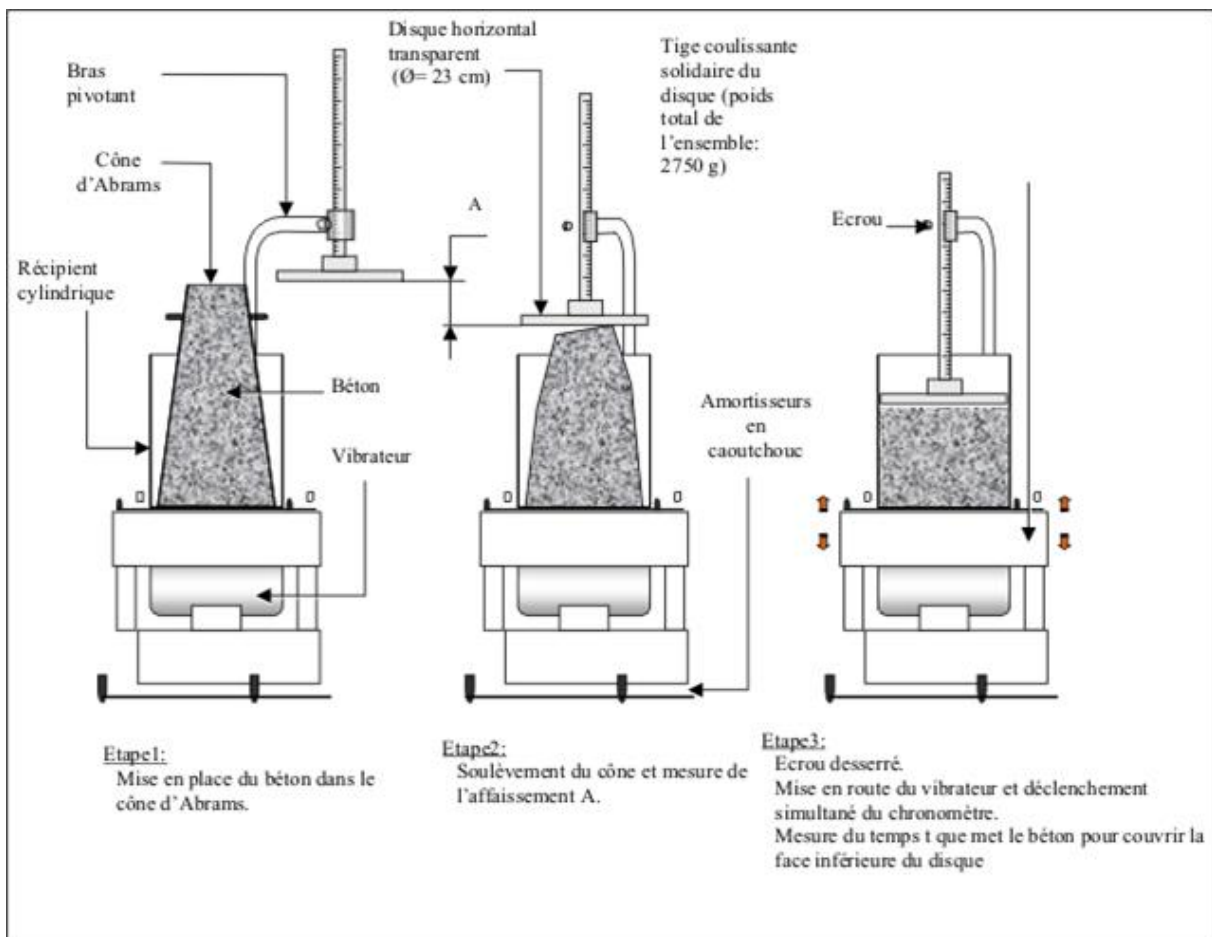


Figure I.9 : Mesure de la consistance (Essai Vébé)

➤ **Étalement sur table (flow-test)**

L'essai d'étalement sur table (Flow-test) consiste à utiliser une table à chocs Figure I.10 comprenant un plateau métallique animé d'un mouvement vertical. Un moule tronconique disposé sur cette table et du matériau à étudier (mortier ou béton). Après arasement et démoulage (en soulevant le moule), on donne à la table, à l'aide d'une manivelle, quinze chocs en quinze secondes (hauteur de chute = 12,5 mm). Le matériau s'étale sous forme d'une galette dont on mesure les deux diamètres perpendiculaires. L'étalement (en %) est donné par la formule :

$$\frac{D-D_1}{D} \times 100$$

avec D_1 : diamètre inférieur du moule ;
 D : diamètre moyen de la galette après étalement.

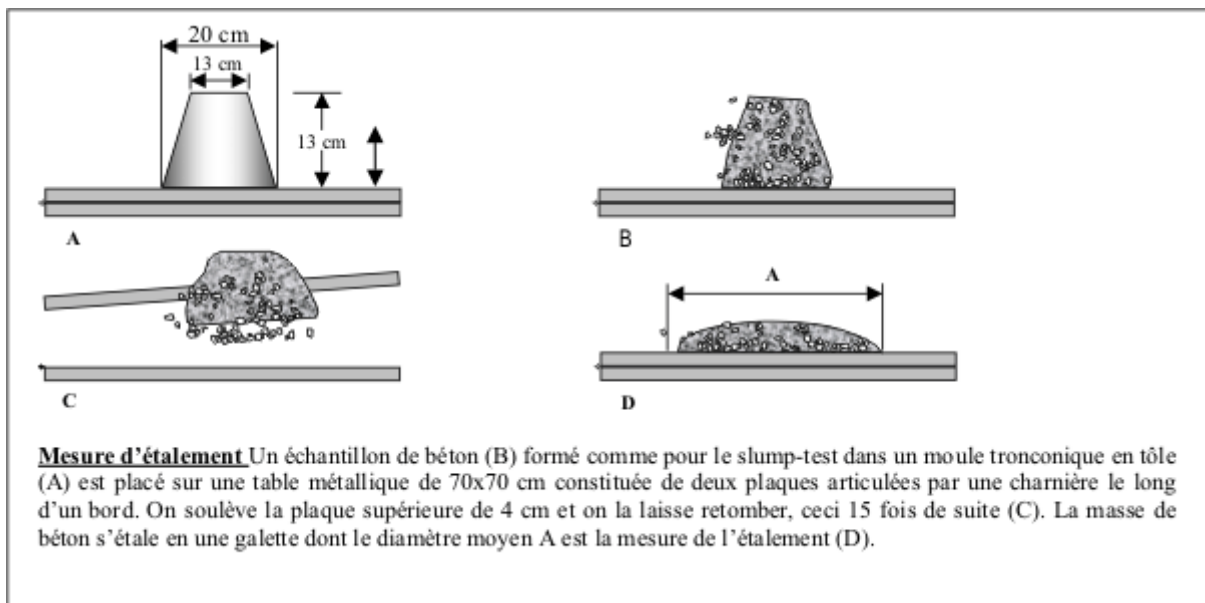


Figure I.10 : Mesure de l'affaissement sur table

C'est un essai très simple utilisable sur mortier ou sur béton (moules et tables de dimensions différentes), aussi bien en laboratoire que sur les chantiers (il est dans ce cas, très utilisé en Allemagne). On peut pour le béton admettre les valeurs données dans le tableau I.3.

Tableau I.3 : Les valeurs d'étalement à la table

<i>Ouvrabilité</i>	<i>Étalement à la table (%)</i>
Très ferme	10 – 30
Ferme	30 – 60
Normal	60 – 80
Mou	80 – 100
Très mou à liquide	>100

B. Résistance du béton frais

La résistance du béton frais est faible, mais elle intéresse plus particulièrement les fabricants pour le démoulage immédiat (avant prise du ciment) d'éléments de grande série.

À la suite d'études faites sur ce sujet, il semble que :

- le rapport optimal E/C est voisin de 0,40 (béton plutôt sec),

$$\frac{\text{Sable}}{\text{Granulat}}$$

- le pourcentage optimal est d'environ 0,38 (soit : G/S = 2,6 valeur élevée),
- les granulats concassés donnent des résistances plus élevées que les granulats roulés,
- la fréquence de la vibration est prépondérante (résistance triplée quand on passe de 3000 à 6000 périodes par minute).

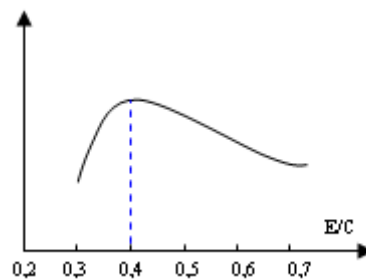


Figure I.11 : Résistance du béton frais

La résistance en compression peut atteindre 0,3 à 0,4 MPa tandis que celle en traction ne dépasse guère 1/100e de ces valeurs, soit 0,004 MPa.

I.7.4 Caractéristiques principales du béton durcissant [21]

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

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

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

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

Par ailleurs, la résistance du béton est fonction d'une quantité de facteurs autres que la classe de ciment et qui sont à contrôler et à surveiller dès le choix de la qualité des granulats et tout au long de la chaîne de bétonnage.

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

Le tableau I.4 ci-dessous indique les différentes catégories de béton avec les valeurs des résistances caractéristiques auxquelles elles correspondent, ces valeurs étant données pour les résultats obtenus sur cylindres et sur cubes, plusieurs pays de la CEE utilisant les cubes pour le contrôle des résistances à la compression.

Tableau I.4 : Les résistances caractéristiques des bétons

Classe	C12,5/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/45	C45/55	C50/60
f_{ck} cyl.	12	16	20	25	30	35	40	45	50
f_{ck} cube	15	20	25	30	37	45	50	55	60

A. La résistance en compression

La résistance en compression à 28 jours est désignée par f_{c28} . Elle se mesure par compression axiale de cylindres droits de révolution et d'une hauteur double de leur diamètre. Le cylindre le plus couramment employé est le cylindre de 16 (d = 15,96 cm) dont la section est de 200 cm². La normalisation européenne indique comme dimension des cylindres d = 15 cm de H = 30 cm.

Elle varie suivant la taille des éprouvettes essayées. Plus celles-ci sont petites et plus les résistances sont élevées. La résistance sur cylindre d'élanement 2 (par exemple diamètre de 16 cm, hauteur de 32 cm) est plus faible de l'ordre de 20% que la résistance sur cubes de 20 cm (Figure I.12).

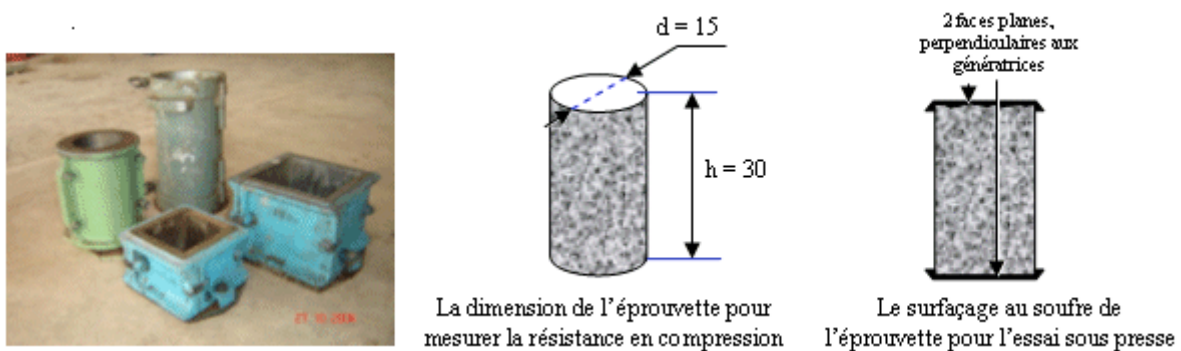


Figure I.12 : Les moules cylindriques, cubiques et les éprouvettes pour mesurer la résistance en compression

Le béton de l'ouvrage a des résistances différentes de celles du même béton essayé sur éprouvettes d'essais normalisés (il y a l'effet de masse et une hydratation différente du fait des évolutions des températures elles-mêmes différentes). La résistance en compression est donc à associer à la méthode d'essai (ou à la référence à la norme utilisée) et à l'échéance fixée.

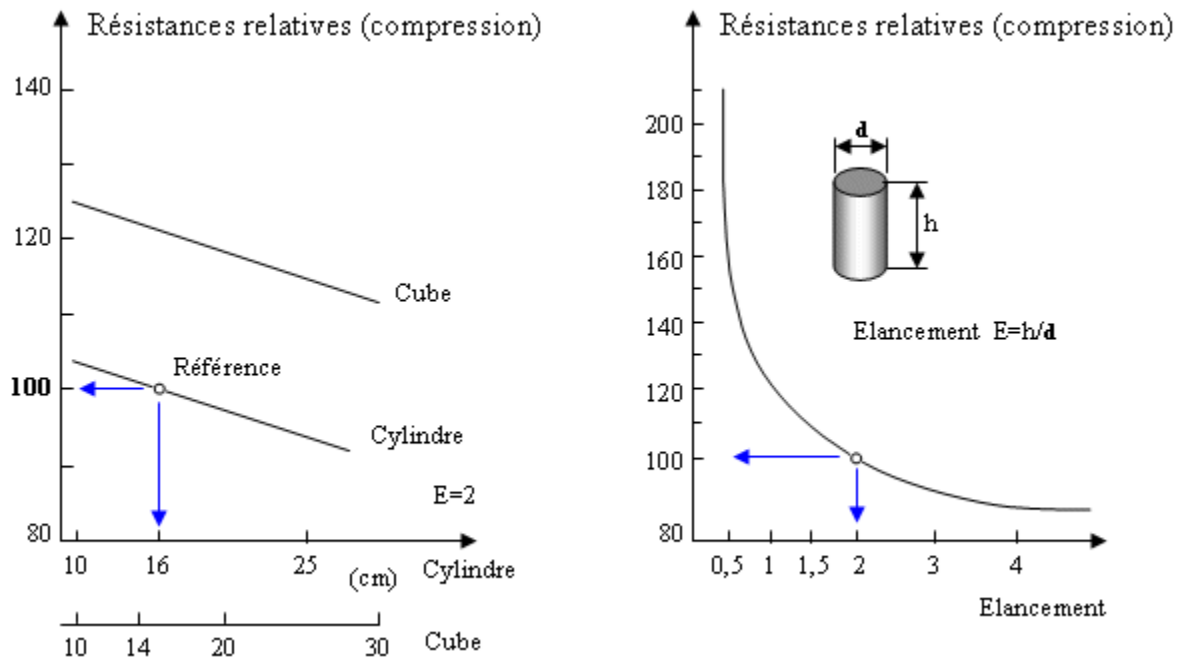


Figure I.13 : Variations des résistances en compression d'un béton en fonction de la forme et des dimensions des éprouvettes

B. La résistance en traction

Généralement le béton est un matériau travaillant bien en compression, mais on a parfois besoin de connaître la résistance en traction, en flexion, au cisaillement. La résistance en traction à 28 jours est désignée par f_{t28} .

➤ **La résistance en traction - flexion**

Les essais les plus courants sont des essais de traction par flexion. Ils s'effectuent en général sur des éprouvettes prismatiques d'élancement 4, reposant sur deux appuis (Figure I.14):

- soit sous charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre).
- soit sous deux charges concentrées, symétriques, égales, appliquées au tiers de la portée (moment maximal constant entre les deux charges (Figure I.14)).

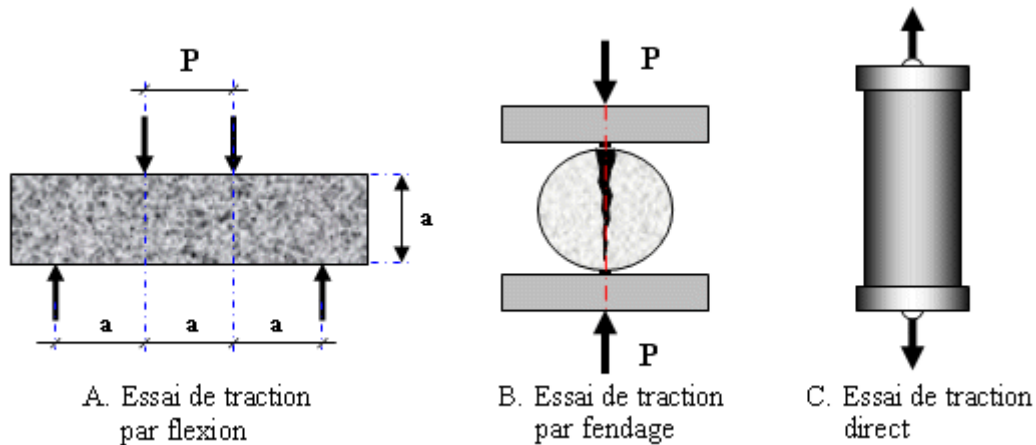


Figure I.14 : Différents essais sur les résistances d'un béton en traction

➤ **La résistance en traction par fendage**

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse. Cet essai est souvent appelé "Essai Brésilien". Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du diamètre vertical, la résistance en traction sera :

$$f_{ij} = 2 \frac{P}{\pi DL}$$

Avec : j = âge du béton (en jours) au moment de l'essai ;

D et L = diamètre et longueur du cylindre.

➤ **La résistance en traction directe**

La mesure se fait par mise en traction de cylindres identiques à celle de la résistance en traction par fendage, mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, après sciage des extrémités, le collage de têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite.

I.8 Conclusion

L'accumulation de déchets de verre peut être dangereuse pour l'environnement, afin d'éviter de tels risques, des solutions appropriées doivent être recherchées pour réutiliser ces déchets dans différents domaines.

Parmi les solutions possibles, il y a la réutilisation comme alternative aux matériaux de construction, c'est ce que nous allons apprendre à travers certaines expériences que nous ferons dans cette recherche.

Chapitre II : Méthodes et Matériaux

II.1 Introduction

La caractérisation des matériaux utilisés dans la composition d'un béton joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures, les propriétés essentielles du béton sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants. De ce fait, la normalisation des modes d'essais et d'identification des composants d'un béton, selon les normes en vigueur. Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux à utiliser dans la confection du béton à étudier ainsi que les essais à effectuer selon les normes françaises et les modes opératoires en vigueur. [22]

II.2 Méthode expérimentales

II.2.1 Essais sur ciment

II.2.1.1 Masse volumique

II.2.1.1.1 La masse volumique apparente

Définition

La masse volumique apparente d'un liant est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

Mode opératoire

Prendre l'échantillon dans les deux mains.

- Verser l'échantillon toujours au centre du récipient, jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône, raser à la règle et peser le contenu.
- Calculer la masse volumique apparente à partir de la formule suivante :

$$M_{vapp} = \frac{M_T - M_0}{V}$$

Avec :

M_{vapp} : la masse volumique apparente.

M_0 : la masse du récipient de mesure vide.

M_T : la masse du récipient avec l'échantillon.

V : le volume du récipient de mesure.

II.2.1.1.2 La masse volumique absolue [23]

Définition

La masse volumique absolue (encore appelée masse spécifique) est le rapport entre la masse du matériau et le volume de matière pleine sans aucun vide entre dans les grains (volume absolu de la matière).

Mode opératoire

Mettre dans une éprouvette un volume V_1 d'eau.

- Peser une masse M du corps et l'introduire dans l'éprouvette.
- Lire de nouveau le volume V_2 .
- Le volume absolu est $V = V_2 - V_1$

La masse volumique absolue est :

$$M_{\text{vabs}} = \frac{M_S}{V_2 - V_1}$$

M_{vabs} : Masse volumique absolue.

M_S : Masse des grains solides

V_1 : volume de l'eau

V_2 : volume total (grains solides+ eau).

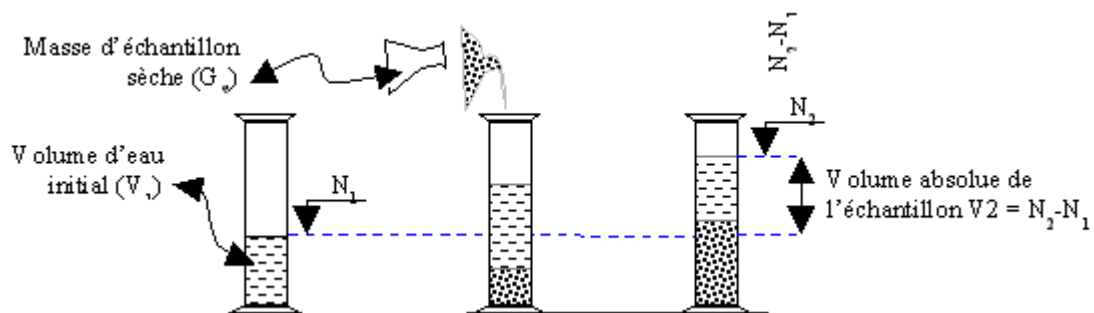


Figure II.1 : mode opératoire de la masse volumique absolue

II.2.1.2 Essai de consistance

L'essai de consistance permet de déterminer la quantité d'eau optimale pour gâcher un liant afin d'obtenir une pâte normale. La pâte obtenue a une résistance spécifiée à la pénétration d'une sonde normalisée.

Principe de l'essai

L'essai est réalisé pour trouver la quantité d'eau qui doit être mélangé toujours suivant le même processus avec une masse de ciment, dans laquelle la sonde de l'appareil de Vicat ne s'enfonce que de (6 ± 1) mm du fond du moule.

Matériel utilisé

- Salle climatisée
- Malaxeur normalisé
- Appareil de VICAT (le nom de l'ingénieur français). L'appareil est composé d'un moule tronconique ($h=40$ mm $d_1= 70$ mm et $d_2= 80$ mm) et d'une tige coulissante équipée à son extrémité d'une sonde de $\Phi = 10$ mm
- Balance précise à 0,1 g près
- Chronomètre précise à 0,1 s près

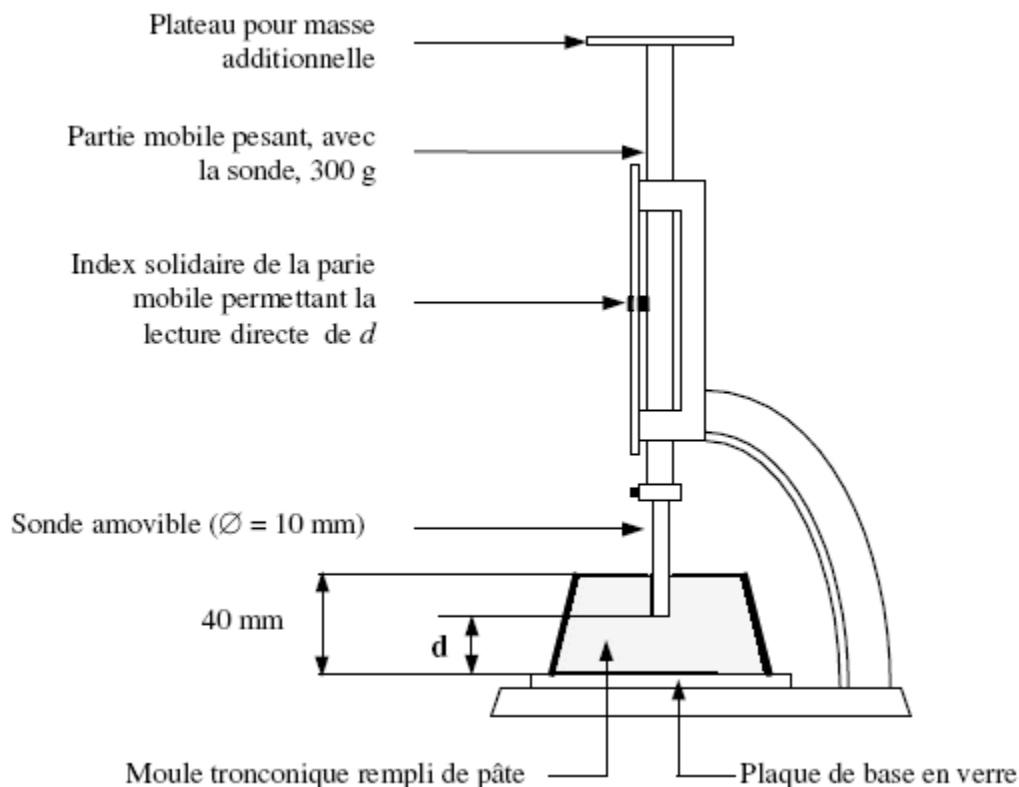


Figure II.2 : Appareil de Vicat

La pâte est alors rapidement introduite dans le moule tronconique posé sur une plaque de verre, sans tassement ni vibration excessifs. Il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et-vient effectué avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface supérieure du moule. Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de Vicat.

La sonde est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans élan (sans vitesse). La sonde alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), relever la distance d séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base.

• la pâte sera à consistance normale si $d = 6\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$:

Si $d > 7\text{ mm}$: il n'y a pas assez d'eau,

Si $d < 5\text{ mm}$: il y a trop d'eau.

II.2.1.3 L'essai de prise

L'essai de prise permet de déterminer le temps de prise, ce qui correspond au temps écoulé du moment de gâchage du ciment jusqu'au début de prise.

Principe de l'essai

L'essai est réalisé pour mesurer le début de prise sur pâte à consistance normalisée à l'aide d'un appareil simple de laboratoire qui est l'appareil classique de Vicat équipé d'une aiguille de diamètre 1.13 mm (charge de $300\text{ g} \pm 1\text{ g}$).

Le début de prise est l'intervalle de temps passé entre l'instant de gâchage du liant et celui où l'aiguille de Vicat s'arrête à une distance du fond du moule de $(4 \pm 1)\text{ mm}$. La fin de prise est obtenue lorsque l'enfoncement de la sonde n'est que 0.5 mm.



Figure II.3 : L'essai de prise

Conduite de l'essai :

Avant de commencer l'essai, il faut mouiller et égoutter le godet et le batteur du malaxeur.

- Préparer une pâte à consistance normalisée. Le temps t_0 est celui du moment de gâchage du liant.
- Remplir immédiatement de pâte le moule tronconique et araser la surface en prenant appui sur le bord du moule.
- Régler le niveau zéro de l'aiguille
- Centrer le moule dans l'axe de la sonde, abaisser la sonde avec précaution jusqu'à ce qu'elle arrive au contact de la pâte, et desserrer la vis pour que la sonde pénètre sous son poids propre dans la pâte.
- Après 30 secondes, noter la valeur de l'enfoncement « d » lue sur l'index de l'appareil.
- Placer le moule dans une armoire humide (20 ± 1) °C et 90% d'humidité relative (Un bain d'eau dans lequel il est possible de maintenir les moules remplies à (20 ± 1) °C peut être utilisé, pourvu qu'il puisse être prouvé que les mêmes résultats d'essais sont obtenus.
- Procéder de la même façon à des intervalles de temps de 5 mn près, jusqu'à l'observation du début de prise et la fin de prise.

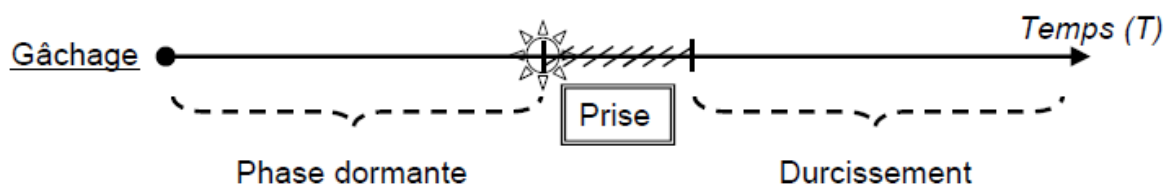


Figure II.4 : Les différentes phases de l'essai de prise

II.2.1.4 Résistance du ciment

La classe de résistance d'un ciment est la valeur minimale de résistance à la compression (exprimée en MPa), mesurée sur éprouvettes 4x4x16cm, 28 jours après leur confection et conservées dans l'eau à 20°C.



Figure II.5 : Moule prismatique 4 x 4 x 16

Il existe trois classes de résistance courante d'un ciment, 32,5 42,5 et 52,5 définies dans la norme NF EN 197-1. À chaque classe de résistance courante correspondent trois classes de résistance à court terme : une classe de résistance à court terme ordinaire, notée N, une classe de résistance à court terme élevée, notée R, et une classe de faible résistance à court terme, notée L. La classe L est uniquement applicable aux ciments CEM III qui sont alors des ciments de haut fourneau à faible résistance à court terme. [24]

Tableau II.1 : Valeurs limites de résistance à la compression

Valeurs limites de résistance à la compression			
Classe de résistance	Résistances minimales absolues en MPa		
	2 jours	7 jours	28 jours
32,5 L	–	10	30
32,5 N	–	14	30
32,5 R	8	–	30
42,5 L	-	14	40
42,5 N	8	–	40
42,5 R	18	–	40
52,5 L	8	–	50
52,5 N	18	–	50
52,5 R	28	–	50

II.2.2 Essais sur sable

II.2.2.1 Module de finesse

C'est un module qui nous permet de caractériser la finesse des différents types de sable par la somme des pourcentages des refus cumulés pour les tamis de série suivant (0,16-0,315-0,63-1,25-2,5-5 mm).

$$M_f = \frac{\sum \% \text{ refus}}{100}$$

II.2.2.2 Equivalent de sable

Définition et But de l'essai

Permet de mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible ou d'éléments argileux dans les sols ou agrégats fins. Pour un béton, ces fines risquent d'inhiber l'hydratation du liant et gênent l'adhérence avec les agrégats.

Principe

Dans le cas des sables, le degré de propreté est fourni par un essai appelé "équivalent de sable piston (Esp)" qui consiste à séparer le sable des particules très fines qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage. L'essai est fait uniquement sur la fraction de sable 0/2 mm.

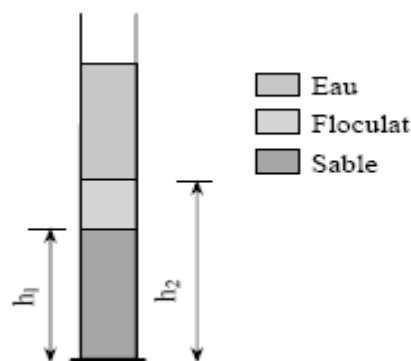


Figure II.6 : Eprouvette utilisé dans l'essai E.S

Matériel utilisé

Eprouvettes, en matière plastique, avec 2 traits repères ($\Phi_{int} = 32 \text{ mm}$; $h = 430 \text{ mm}$), Entonnoir, tamis, spatule, balance, thermomètre, récipients, Machine agitatrice électrique ou manuelle, Réglet de mesure et piston taré comporte 3 vis formant des butées (masse 1 kg).



Figure II.7 : Machine d'agitation E.S

Mode opératoire.

- remplir les 2 éprouvettes de solution lavant jusqu'au 1er repère, ensuite verser la quantité de sable tarée,
- éliminer les bulles d'air en frappant chaque éprouvette contre la paume de la main et laisser reposer 10 minutes,
- boucher les éprouvettes et les agiter d'un mouvement rectiligne, horizontal, sinusoïdal de 20 cm d'amplitude à l'aide d'une machine à secouer (90 allers et retours en 30 secondes).
- laver et remplir les éprouvettes avec le tube laveur en rinçant le bouchon, lavant les parois intérieures de toutes les éprouvettes et laver la masse du sable en y faisant remonter et descendre lentement le tube ainsi les fines remontent en surface,
- on ferme le robinet lorsque la solution atteint le 2eme trait (supérieur) et on sort le tube laveur,
- on laisse reposer 20 minutes en évitant toute vibration,
- on mesure à vue les hauteurs h_1 et h_2 (h_2 est entachée d'incertitude)
- pour effectuer la mesure de façon plus précise, on introduit le piston taré à travers le flocculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieur de l'éprouvette et on l'immobilise au contact du sable,
- mesure h_2 ,
- noter la température.

Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX. [25]

Tableau II.2 : classification des sables selon l'essai E.S

PS	Nature et qualité du sable
< 60	"Sable argileux" risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
$60 \leq PS < 70$	"Sable légèrement argileux" de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
$70 \leq PS < 80$	"Sable propre" à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$PS > 80$	"Sable très propre" l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

II.2.2.3 Analyse chimique

L'analyse chimique des granulats utilisés est indispensable dans le but de savoir le taux des matières nuisibles qui peuvent affecter la qualité du béton ou mortier.

II.2.2.4 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre **0,063** et **125 mm**. On appelle :

- REFUS : sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.
- TAMISAT : (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

Principe de l'essai

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.



Figure II.8 : Tamis

Les masses des différents refus et tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique. [26]

II.2.2.5 Coefficient d'absorption

Définition

C'est une mesure des pores accessibles à l'eau. Il est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon.

Conduite d'essai

Après imbibition dans l'eau pendant 24 heures, étaler l'échantillon sur une surface plane non absorbante et le soumettre à un flux d'air chaud (l'étuve), tout en le remuant afin que la surface externe des grains sèche. Ce séchage doit être effectué de manière douce afin de ne pas éliminer l'eau qui pourrait être piégée à l'intérieur du granulat. Les grains sont alors libres de toutes forces d'attraction capillaire. On peut vérifier que cet état a été atteint en plaçant le matériau dans un moule tronconique, posé sur une surface plane non absorbante, et en le compactant légèrement. On vérifie que celui-ci s'écoule en démoulant.

Le coefficient d'absorption d'eau (Ab) est défini par la relation :

$$Ab\% = \frac{p_2 - p_1}{p_1} \times 100$$

p_1 = masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 °C

p_2 = masse de l'échantillon imbibé par l'eau

II.2.2.6 Bleu méthylène

Couramment, l'essai au bleu de méthylène est utilisé pour caractériser l'activité de l'argile contenue dans les sols. Il est utilisé également pour quantifier de manière sûre et simple la propreté des granulats.

On appelle valeur de bleu du granulat le nombre :

$$V_B = \frac{V}{M_s}$$

V est le volume de la solution de bleu de méthylène injectée a la pris d'essai

M_s est la masse sèche de l'échantillon

But de l'essai

Evaluer l'influence des fines d'origine argileuses contenus dans les sables et graves d'origine naturelle ou artificielle.

Principe

L'essai consiste à prélever du granulat un échantillon de la fraction granulométrique **0/2mm** et d'injecter successivement des doses élémentaires d'une solution de bleu de méthylène dans un bain aqueux contenant l'échantillon. La capacité d'absorption correspond à la quantité totale de bleu introduite lorsqu'on est en présence d'un début d'excès. [27]

II.2.3 Essai sur gravier**II.2.3.1 Los Angeles**

L'essai LOS ANGELES est destiné à évaluer la résistance des granulats à la fragmentation. Pour tester la dureté d'un matériau, on le soumet à une épreuve de chocs dans un tambour.

Il se pratique sur les classes granulaires 4/6, 6/10 et 10/14 (gravillons pour chaussée et bétons hydrauliques).



Figure II.9 : Machine Los Angeles

Mode opératoire

Mise en place de l'échantillon dans la machine ainsi que la charge de boulets relatifs à la classe granulaire choisie (voire le tableau).

Tableau II.3 : nombre de boulets utilisés selon les granulats

Classes granulaires (mm)	Nombre de boulets	Poids total de la charge (g)
4 – 6,3	7	3080 ± 20
6,3 – 10	9	3960 ± 25
10 – 14	11	4840 ± 25
10– 25	11	4840 ± 25
16 – 31,5	12	5280 ± 25
25 – 50	12	5280 ± 25

Un échantillon de fraction 10/14 mm (par exemple) et de masse sèche à 5000 g ± 5 g (M_0) est placé dans un tambour contenant 11 boulets d'acier normalisés.

Au cours de l'essai, le tambour effectue 500 tours à une vitesse de rotation comprise entre 31 et 33 tours/min.

La friction des granulats entre eux et des granulats contre les boulets et les parois du tambour provoque leur dégradation plus ou moins accrue.

L'échantillon est ensuite retiré et lavé au-dessus d'un tamis avec des mailles de 1.6 mm.

On pèse le refus après séchage (M_1).

Le Coefficient Los Angeles (LA) est un pourcentage en masse du rapport des éléments passant au tamis de 1.6 mm séchés après lavage et la masse sèche initiale des granulats intacts. [28]

$$LA = 100 * (M_0 - M_1) / M_0$$

Tableau II.4 : Classification des graviers selon l'essai LA

Valeurs repères	
Coefficient LA	Appréciation
<15	Très bon à bon
15 à 25	Bon à moyen
25 à 40	Moyen à faible
>40	Médiocre

II.2.3.2 Micro Deval

Définition et But de l'essai.

L'essai Micro Deval (MDE) est destiné à appréhender la résistance à l'usure par attrition d'un granulat.

Le matériau évolue pendant l'essai par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine en rotation et sur les boulets (charge abrasive) à sec ou en présence d'eau.

La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les classes granulaires : 4-6.3mm ; 6.3-10 mm ; 10-14 mm ; 25-50 mm.

Pour les essais effectués sur les gravillons entre 4 et 14 mm, une charge abrasive est utilisée.



Figure II.10 : Machine Micro Deval

Principe de l'essai

Le matériau soumis à cet essai évolue par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine en rotation et sur les boulets (charge abrasive).



Figure II.11 : Boulets utilisés dans l'essai MDE

Calcul du MDE :

Calculer alors le coefficient MDE pour chaque cylindre de cette façon :

$$\text{MDE} = (500 - m) / 5$$

Avec m la masse du refus à 1.6 mm.

La valeur du MDE à utiliser, arrondi à l'entier le plus proche, est la moyenne des deux essais.

[29]

II.2.4 Essai sur béton

II.2.4.1 Essai d'affaissement

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams est un essai réalisé sur le béton de ciment frais peu fluide pour déterminer sa consistance.

Cet essai est réalisé à l'aide d'un tronc de cône en acier galvanisé de 10 et 20 cm de diamètres intérieurs sur une hauteur de 30 cm, d'une plaque en acier à la surface dure et non absorbante et d'une tige d'acier de 16 mm diamètre dont l'extrémité est arrondie.

Le cône est placé sur la plaque puis rempli en trois couches de béton frais. Chaque couche est piquée 25 fois à l'aide de la tige. La tige doit être enfoncée jusqu'aux couches précédentes afin de correctement lier les différentes strates.

Une fois le cône entièrement rempli et après avoir été arasé il est levé doucement, verticalement avec une légère rotation pour obtenir le démoulage. L'affaissement du béton peut ensuite être mesuré.



Figure II.12 : Différentes phases de l'essai d'affaissement par cône d'Abrams

La mesure de l'affaissement sera selon le tableau :

Tableau II.5 : Différentes classes de consistance

NFP 18-305 et fascicule 65A CCTG		
Consistance	Affaissement (cm)	tolérances
Ferme (F)	1 à 4	± 1 cm
Plastique(P)	5 à 9	± 2cm
Très plastique(TP)	10 à 15	± 3 cm
Fluide(F)	≥16	

Plus l'affaissement est élevé, plus le béton est fluide. [30]

II.2.4.2 L'air occlus

Définition

Air contenu dans le béton sous forme de bulles sphériques, il augmente leur volume.

Mode opératoire

À l'aide de la main écope, placer le béton dans le récipient de manière à éliminer autant d'air occlus que possible. Introduire le béton en trois couches d'épaisseurs approximativement égales.

Serrer à refus le béton immédiatement après son introduction.

La quantité de matériau utilisée dans la couche finale doit être suffisante pour remplir le récipient sans avoir à retirer du matériau en excès. Une petite quantité de béton supplémentaire peut être ajoutée si besoin et serrée ensuite afin de remplir le récipient, mais il convient d'éviter de retirer du matériau en excès.

Deux méthodes alternatives sont possibles :

- La méthode de la colonne d'eau
- La méthode du manomètre.

Pour les deux méthodes, il convient de nettoyer soigneusement les rebords du récipient et du couvercle et de s'assurer de la bonne étanchéité sous pression entre le couvercle et le récipient. L'essai sera ensuite réalisé conformément à la norme et le résultat exprimé en % arrondi à 0,1 % près.

Ces essais ne sont pas significatifs pour des bétons d'affaissement nul et les bétons réalisés avec des granulats poreux ou légers. [31]



Figure II.13 : Différentes phases de l'essai Air Occlus

II.2.4.3 L'essai de résistance par scléromètre

Principe

En fait il s'agit de tester la dureté de surface d'un béton durci. Cette dureté étant d'autant plus élevée que le béton est plus résistant, cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné.

Matériel nécessaire

- Un scléromètre ; l'appareil est composé d'une masselotte qui est projetée par un ressort sur une tige métallique en contact avec la surface du béton. Le rebond de la masselotte est d'autant plus important que la surface du béton est très dure. La hauteur du rebond est lue sur une échelle graduée et permet de définir un (indice sclérométrique) I_s .
- Un bloc néoprène armé pour le tarage du scléromètre.



Figure II.14 : Un Scléromètre

Matériaux utilisés

3 éprouvettes en béton (16.32) cm² préalablement coulées.

Modes opératoires

- ✚ Prendre 3 éprouvettes dans la salle de TP, puis peser les 3 éprouvettes, et mesurer leurs dimensions.
- ✚ Tracer ensuite et sur chaque éprouvette le quadrillage détaillé pendant la séance de cours sur les essais non destructifs,
- ✚ Placer l'éprouvette sur la presse mécanique,
- ✚ Bloquer l'éprouvette entre les plateaux de la presse,
- ✚ Effectuer 10 mesures à l'aide du scléromètre digital,
- ✚ Noter les valeurs dans un tableau.

II.2.4.4 L'essai de résistance par ultrasons**Principe des ultrasons :**

Le principe de la méthode des ultra-sons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton à l'aide d'un générateur et d'un récepteur. [32]

Matériel nécessaire :

- Appareillage ultrasonique,
- Balance.



Figure II.15 : Appareillage ultrasonique

Matériaux utilisés :

Trois (3) éprouvettes cubiques en béton (15.15.15) cm³ préalablement coulées.

Manières de mesure

La détermination de la vitesse de propagation des ultrasons se fait de trois manières, suivant le type de l'élément à tester :

Mesures en transparence (Directe)

Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester.

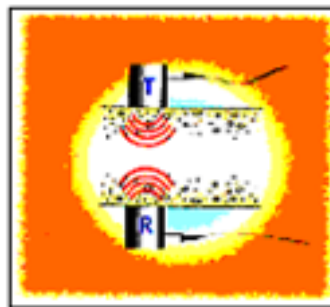
*A : Transmission directe*

Figure II.16 : Transmission directe

Mesures en surface (indirecte)

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur.

L'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance. Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant.

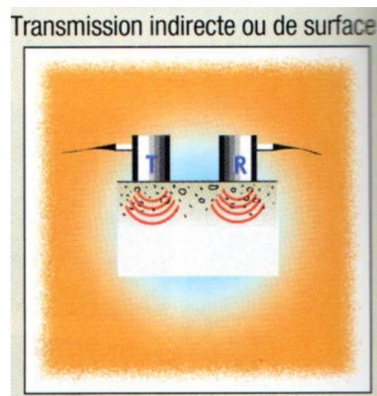


Figure II.17 : Transmission indirecte

Mesures semi-directe

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les éléments de structure où l'on ne peut pas utiliser les deux autres manières.

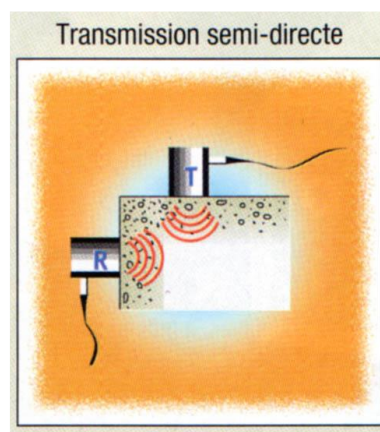


Figure II.18 : Transmission semi-directe

II.3 Matériaux

II.3.1 Le ciment

Le liant utilisé dans le cadre de cette étude est le ciment CPJ CEM II/A-M (L-S) 42.5N SCHS (HADJAR SOUD) dont la masse volumique est prise égale à 3.1 t/m³.

II.3.2 Le sable

On a utilisé le sable de carrière 0/4 provenant de la carrière ENOF « Elghdir » Azzaba, wilaya de Skikda ainsi qu'une quantité de poudre de verre nettoyé, concassé, broyé, et tamisé par le tamis 0/4 pour remplacer une quantité de sable.

II.3.3 Les gravillons

Les gravillons sont provenus de la carrière ENOF, on a utilisé deux types de gravier :

- Gravier 4/8
- Gravier 8/16

II.3.4 L'eau

L'eau de gâchage utilisé est issue de robinet de Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction « LNHC Est » Wilaya de Skikda.

II.3.5 Analyse des matériaux

Les matériaux ont été prélevés et acheminés au Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction de « L.N.H.C » Unité de Skikda. Après réception, les échantillons ont été soumis aux essais d'identification au laboratoire, selon un programme d'essais réalisés conformément aux normes en vigueur citées ci-après :

-Analyse granulométrique selon :	NF EN 933-1
- Masse volumique et absorption selon :	NF EN 1097-6
- Los Angeles selon	NF EN 1097-2
- Micro Deval selon :	NF EN 1097-1
- Equivalent sable selon :	NF EN 933-8
-Stabilité au sulfate de magnésium selon :	NF EN 1367-2
- Chlorures (Cl ⁻) selon :	NF EN 1744-1
- Sulfates solubles (SO ₃) selon :	NF EN 1744-1
- Soufre total selon :	NF EN 1744-1

Les matériaux utilisés sont comme suit :

A. Agrégats

Les agrégats utilisés dans le cadre de cette étude sont :

Tableau II.6 : Les différents matériaux utilisés

Matériaux	Fraction	Nature	Provenance
Gravillons	8/16	Concassé	Carrière ENOF, LAGHEDIR, Skikda
Gravillons	4/8	Concassé	Carrière ENOF, LAGHEDIR, Skikda
Sable	0/4	Concassé	Carrière ENOF, LAGHEDIR, Skikda

Gravillons

Les gravillons provenant de la carrière « ENOF » ont donné les résultats récapitulés dans les tableaux ci –après :

Tableau II.7 : Résultat des essais réalisés sur les gravillons

Désignation	Granularité	App	LA	Alkali Silicate Réactivité (%)	MDE	Absorption	Densité absolue (t/m ³)
Carrière ENOF	Gravillon 4/8	6.81	20	NR	14.2	0.38	2.72
	Gravillon 8/16	6.19				0.40	2.75
spécifications		V _{ss} : LA _A = 35	V _{ss} : LA _A = 35	<1	V _{ss} : LA _A = 25	V _{ss} : 3.5	-

Tableau II.8 : Granularité des gravillons

Désignation	Granularité	Granularité					
		2D	1.4D	D	(D+d) 2	D	d/2
		Passant (%)					
	Gravillon 4/8	100	100	100	75	66	04
	Gravillon 8/16	100	100	94	74	20	02
spécifications		V _{si} = 100	V _{si} = 99	L _i = 80 L _s = 100	/	/	V _{ss} = 5

Les sables

Les résultats d'analyse de sables, Carrière ENOF obtenus sont donnés dans le tableau ci-après :

Tableau II.9 : Résultat des essais réalisés sur le sable

Désignation	Granularité			catégorie	ES _v	Absorption	Densité absolue (t/m ³)
	2D	1.4D	D				
	Passant (%)						
Sable de carrière ENOF	100	100	94	G _F 85	72	1.81	2.65
spécifications	V _{si} = 100	L _i = 95 L _s = 100	L _i = 85 L _s = 99	G _F 85	V _{si} = 70	-	-

B. Liant hydraulique (Ciment) :

Le liant utilisé dans le cadre de cette étude est le ciment CPJ CEM II/A-M (L-S) 42.5N SCHS (HADJAR SOUD) dont la masse volumique est prise égale à 3.1 t/m³.

Tableau II.10 : Résultat d'essais sur ciment

Désignation	Début de prise (min)	Fin de prise (min)	Compression à 2 j (mpa)	Compression à 28 j (mpa)
CPJ CEM II 42.5 SCHS	141	276	13.8	45.3
spécifications	L _i = 60	L _s =720	L _i = 10	L _i = 42.5 L _s = 62.5

C. Eau de gâchage

L'eau utilisé dans le cadre de cette étude provient de l'alimentation en eau potable, il ne contenait pas de matière en suspension ou de sels dissous.

Tableau II.11 : Analyse chimique de l'eau de gâchage

Désignation	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	PH
Eau de la centrale skibat	152.67	95.85	8.21
spécifications	Ls = 2000	Ls = 500	L _i = 4

II.3.5.1 Analyses chimiques

Les analyses chimiques sur le sable et gravillon provenant de la carrière « ENOF » ont donné les résultats récapitulés dans le tableau ci –après :

Tableau II.12 : Analyse chimique des agrégats

Désignation	Classe granulaire (mm)	Sulfates de magnésium (%)	chlorures (%)	Sulfates solubles (%)	Soufre total (%)	Matières organiques (%)
Carrière ENOF	0/4	6	0.029	0.003	0.0125	<0.1
	4/8		0.031	0.006	0.0142	<0.1
	8/16		0.031	0.003	0.0139	
Spécifications		Sable : < 35 Gravier : < 25	≤ 0.1	≤ 0.8	≤ 1.0	Sable : < 0.5 Gravier : < 0.1

II.3.5.2 Analyse granulométrique par tamisage

Tableau II.13 : Analyse granulométrique par tamisage de sable 0/4

Projet :		Feuille d'essai de laboratoire		Matériel vérifié	
Dossier N° :		Analyse Granulométrique par Tamisage		Document de référence NF EN 933-1	
Echantillon N° :01					
Provenance du matériau : ENOF-LAGHEDIR-SKIKDA			Date de prélèvement : 08/12/2019		
Classe Granulaire d/D : SABLE 0/4			Date d'essai : 10/12/2019		
Expression des résultats					
Procédé utilisé :			lavage et tamisage		
Masse sèche M1 : 300 g		Masse Humide M'1 :		Masse sèche après lavage M2 : 256 g	
Masse sèche retirée par lavage M1 - M2 = 44 g					
Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Pourcentage des refus cumulés (Rn/M1) x 100	Pourcentage cumulé de tamisât 100 -(Ri/M1x 100)	Observation
5.6		0	0	100	
4.0		18	06.0	94	
2.8		68	22.66	77	
2.0		102	34.0	66	
1.0		162	54.0	46	
0.5		200	66.66	33	
0.25		222	74.0	26	
0.125		242	80.66	19	
0.063		252	84.0	16	
Fond P =	4.0		∑ Ri +P	256	
$\frac{M2 - \sum Ri + P}{M2} \times 100 < 1\% ; 0$		$f = \frac{M1 - M2 + \rho}{M1} \times 100 ; 16$		$M_f = \frac{\sum (>4) + (>2) + (>1) + (>0.5) + (>0.25) + (>0.125)}{100} = 3.37$	

Tableau II.14 : Analyse granulométrique par tamisage du gravier 8/16

Projet :		Feuille d'essai de laboratoire		Matériel vérifié	
Dossier N° :		Analyse Granulométrique		Document de référence	
Echantillon N° : 02				NF EN 933-1	
Provenance du matériau : ENOF-LAGHEDIR-SKIKDA			Date de prélèvement : 08/12/2019		
Classe Granulaire d/D : GRAVIER 8/16			Date d'essai : 09/12/2019		
Expression des résultats					
Procédé utilisé :			lavage et tamisage		
Masse sèche M1 : 3000 g		Masse Humide M'1 :		Masse sèche après lavage M2 :2972 g	
Masse sèche retirée par lavage M1 - M2 =28 g					
Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Pourcentage des refus cumulés (Rn/M1) x100	Pourcentage cumulé 100 -(Ri/M1x 100)	Observation
31.5					
22.4					
20.0		0	0	100	
16.0		36	1.20	99	
12.5		766	25.33	75	
11.2		932	31.06	69	
10		1334	44.46	56	
8.0.0		2394	79.8	20	
6.3		2782	92.73	7	
5.6		2904	96.8	3	
4.0		2950	98.33	2	
2.8					
2.0					
1.0					
0.5					
0.25					
0.125					
0.063		2.0			
Fond P =	02		$\sum Ri +P$	2970	
$\frac{M2 - \sum Ri + P}{M2} \times 100 < 1\% = 0.06$			$f = \frac{M1 - M2 + P}{M1} \times 100 = 1.0$		

Tableau II.15 : Analyse granulométrique par tamisage du gravier 4/8

Projet :		Feuille d'essai de laboratoire		Matériel vérifié	
Dossier N° :		Analyse Granulométrique		Document de référence NF EN 933-1	
Echantillon N° : 02					
Provenance du matériau : ENOF-LAGHEDIR-SKIKDA			Date de prélèvement : 08/12/2019		
Classe Granulaire d/D : GRAVIER 4/8			Date d'essai : 09/12/2019		
Expression des résultats					
Procédé utilisé :			lavage et tamisage		
Masse sèche M1 : 1600 g		Masse Humide M'1 :		Masse sèche après lavage M2 :1548 g	
Masse sèche retirée par lavage M1 - M2 =52 g					
Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus cumulés Rn (g)	Pourcentage des refus cumulés (Rn/M1) x100	Pourcentage cumulé 100 -(Ri/M1x 100)	Observation
31.5					
22.4					
20.0					
16.0					
12.5					
11.2					
10					
8.0.0					
6.3		0	0	100	
5.6		118	7.37	93	
4.0		542	33.87	66	
2.8		906	56.62	43	
2.0		1536	96.0	04	
1.0					
0.5					
0.25					
0.125					
0.063		10.0			
Fond P =	10		∑ Ri +P	1546	
$\frac{M2 - \sum Ri + P}{M2} \times 100 < 1 \% = 0.12$			$f = \frac{M1 - M2 + P}{M1} \times 100 = 3.9$		

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés ainsi que les différentes méthodes de caractérisation à réaliser. Ces méthodes devraient permettre d'avoir une idée précise sur leurs propriétés.

Conclusion général

L'accumulation de déchets de verre peut être dangereuse pour l'environnement, afin d'éviter de tels risques, des solutions appropriées doivent être recherchées. Parmi les solutions possibles, il y a la réutilisation comme alternative aux matériaux de construction, et ça c'était notre sujet de recherche pour ce mémoire.

Malheureusement, à cause de cette pandémie contagieuse de Covid19, on n'a pas pu réaliser notre travail, les laboratoires universitaires étaient fermés, ainsi que les laboratoires nationaux.

Personnellement, j'ai été programmé pour travailler au Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction « LNHC-Est » de la wilaya de Skikda, j'ai apporté les agrégats de la carrière « ENOF » situé à Elghdir – Azzaba – Skikda, et le ciment de la cimenterie de « Hdjer Essoud », qui ont été stockés au laboratoire en attendant mon tour qui a été programmé fin mars, mais le laboratoire a fermé ses portes avant cette date et y avait pas autre moyen pour travailler, donc j'étais obligé d'annuler le chapitre 03.

Notre objectif était d'essayer de valoriser les particules fines de verre concassé en différents pourcentage par substitution dans le béton comme remplacement de sable, puis faire une étude à long terme sur ces caractéristiques à l'état frais et durci en faisant des essais normalisés (masse volumique, affaissement, résistance à la traction-compression), et enfin voir la possibilité d'utiliser ces poudres de verre dans le béton après l'analyse des résultats obtenus, et comme le laboratoire était fermé j'ai pas pu faire mon travail, donc j'étais obligé à rechercher sur des sujets similaires et voir leurs résultats et leurs décisions concernant la valorisations des verres.

Enfin, d'après des anciennes études réalisées, on trouve que la valorisation des déchets de verre dans le béton est possible, certes il donne des propriétés mécaniques moins que le béton ordinaire mais il reste utilisable dans le domaine de construction.

Références bibliographiques

- [1] Philippe Gautron, Technique de l'ingénieur, Valorisation et recyclage des déchets (A3830) 1993.
- [2] Jean-Michel Ballet, Aide-mémoire gestion des déchets. 2ème édition. Paris DUNOD 2008
- [3] [Byars *et al.* 2003] Byars. E.A., Meyer. C., Zhu. H., Use of waste glass for constructive products legislative and technical issues; Proc., Int. Symp. On Recycling and Reuse of 105 Waste Materials, Dundee, 2003.
- [4] [Phillips *et al.* 1991] Phillips. J.C, Chan. D.S, Refuse Glass Aggregate in Portland Cement Concrete], [Trombly, J., Developing Non-Traditional Glass Markets, Resource recycling, 1991.
- [5] BOUGLOUF Mohamed, « Contribution à la gestion et la valorisation des déchets solides et ménagers à Skikda (Nord-est algérien) », mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Sciences de la mer, 24/04/2014.
- [6] ABDEDOU Katia et OUSSAD Samira, « Evaluation de la gestion des déchets ménagers dans la commune de Bouzeguène et implication pour la mise en œuvre d'un mode de gestion plus durable », mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master Spécialité : gestion des déchets solides, 2015.
- [7] <https://www.baudelet-environnement.fr/> [Accès le 24/03/2018].
- [8] <http://www.primeverre.com/tout-sur-le-verre/definition/> [Accès le 28/12/2019].
- [9] matières premières pour la fabrication du verre sur site www.univerre.fr [consulte le 4/2018].
- [10] <http://tpeverre.free.fr/composition.html> [Accès le 28/12/2019].
- [11] Peter Rice ; Hugh Dutton, Le verre structurel, Editions du Moniteur Paris, 1990.
- [12] J. Zarzycki, Les verre et l'état vitreux, Masson, Paris, (1982).
- [13] L. Petit, Thèse doctorat de l'université de Bordeaux, (2002)
- [14] A. Doina STOITA, thèse de l'université de CLAUDE BERNARD-LYON1, 7 juin 2006.
- [15] J. E. Shelby, Introduction to glass Science and Technology, Royal Society of Chemistry, (2005).

Références bibliographiques

- [16] M. T. Soltani, Thèse doctorat de l'université de Biskra, (2005).
- [17] L. Charef Khodja, Mémoire de magister de l'université de Biskra, (2010).
- [18] Source de l'image : Recyclage et valorisation du verre : www.idverre.net
- [19] Brahim DJEMACI, La gestion des déchets en Algérie : analyse prospective et éléments d'efficacité, thèse de doctorat, Université de Rouen, 2011.
- [20] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement MATE 2005.
- [21] <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-ciment-4696/>
[Accès le 11/01/2020].
- [22] <http://mdevmd.accesmad.org/mediatek/mod/page/view.php?id=3020>
[Accès le 11/01/2020].
- [23] <http://mdevmd.accesmad.org/mediatek/mod/page/view.php?id=3021>
[Accès le 11/01/2020].
- [24] BOULIFA Marwa et DEBABI Adel, « utilisation de poudre de verre dans le mortier », mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master Spécialité : Construction Civil et Industriel, 2017.
- [25] [https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/masse-volumique-du-beton-et-de-ses-constituants/#:~:text=On%20distinguera%20donc%20la%20masse,et%20la%20masse%20volumique%20absolue.&text=La%20masse%20volumique%20absolue%20\(encore,volume%20absolu%20de%20la%20mati%C3%A8re\).](https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/masse-volumique-du-beton-et-de-ses-constituants/#:~:text=On%20distinguera%20donc%20la%20masse,et%20la%20masse%20volumique%20absolue.&text=La%20masse%20volumique%20absolue%20(encore,volume%20absolu%20de%20la%20mati%C3%A8re).) [Accès le 03/08/2020].
- [26] <https://www.infociments.fr/glossaire/classe-de-resistance-dun-ciment#:~:text=La%20classe%20de%20r%C3%A9sistance%20d,norme%20NF%20EN%20197%2D1.> [Accès le 21/07/2020].
- [27] https://ft.univ-tlemcen.dz/assets/uploads/pdf/departement/gc/tp/proprete_granulats.pdf
- [28] https://ft.univtlemcen.dz/assets/uploads/pdf/departement/gc/tp/analyse_granulometrique.pdf
- [29] <https://fr.scribd.com/document/288021175/TP2-Bleu-Du-Methylene>
[Accès le 10/07/2020].
- [30] <https://www.wikip.fr/essais-mateacuteriaux-granulaires/essai-los-angeles>
[Accès le 15/07/2020].

Références bibliographiques

[31] « SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION », cour réalisé par M. Ghomari F et Mme Bendi-Ouis A, Université Aboubekr Belgaid, Tlemcen, Année universitaire 07-08.

[32] https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_d%E2%80%99affaissement_au_c%C3%B4ne_d%E2%80%99Abrams#:~:text=L'essai%20d'affaissement%20au%20c%C3%B4ne%20d'Abrams%20est,12350%2D2%20d%C3%A9crit%20cet%20essai. [Accès le 03/08/2020].

[33] https://mediatheque.snbpe.org/userfiles/file/mediatheque/public/realisation_des_essais_courants_sur_beton_frais_et_beton_durci___conseils_pratiques.pdf [Accès le 03/08/2020].

[34] Mohamed Yagoub, « EVALUATION DE LA QUALITE DU BETON DE FIBRES IN SITU CAS DE BETON AUTOPLAÇANT AVEC DES FIBRES MIXTES», mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Magister Spécialité : matériaux de constructions, université Mohamed Khider, Biskra, 2009.