

République Algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université A. Mira de Bejaia



Faculté de Technologie  
Département de génie des procédés

***Mémoire de fin d'étude***  
***En vue d'obtention du diplôme de master en Génie Civil***

***Option: structures***

***Thème***

***Valorisation du sable de fonderie de l'unité BCR de Ain El  
Kebira (Setif) dans les bétons et les mortiers.***

**Réalisé par :**

*M<sup>elle</sup> HASSANI AMEL*

*M<sup>elle</sup> BENMAOUCHE WISSAM*

**Encadré par :**

*M<sup>me</sup> S.ATTIL*

**Soutenu devant le jury :**

*M<sup>me</sup> MEZIANI*

*M<sup>r</sup> TAHAKOURET*

***PROMOTION : 2021-2022***

# Remerciement

*On remercie Dieu de tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Dans les lignes qui suivent nous voulons remercier tous ceux qui ont été avec nous durant cette période de près ou de loin.*

*D'abord, on remercie notre promotrice **M<sup>me</sup> S.ATTIL** pour la qualité de son encadrement, pour sa patience, et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*On remercie également tous les membres de jury qui ont accepté d'examiner notre travail.*

*Nos remerciements les plus sincères s'adressent de même à **M<sup>elle</sup> A.AKEB** doctorante à l'université de Bejaïa, pour son aide et sa compréhension.*

*EN fin, on remercie tous les ingénieurs et les techniciens de LTP-  
Est dont :*

***M<sup>r</sup> M.TAHIR, M<sup>r</sup> M.ATTIK, M<sup>r</sup> M.AIT AISSA, M<sup>r</sup> M.ZAIDI,  
M<sup>elle</sup> K.YAHIAOUI, M<sup>r</sup> H.OUADI, et M<sup>me</sup> N.ABDENNOUCHE***

# *Dédicace*

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut ...  
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le  
respect, la reconnaissance... Je dédie ce travail à*

***MES CHERS PARENTS*** *qui ont été toujours à mes côtés et  
m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues  
années d'étude.*

***MES CHERS GRANDS-PARENTS*** *qui ont fait tous  
pour moi depuis ma naissance, je vous remercie pour  
votre amour et douas, que dieu vous protège pour moi.*

*Mon frère **NASSIM** et ma sœur **MILISSA** qui ont été avec  
moi pendant cette période, je vous remercie et je n'oublierai  
jamais votre soutien, je vous aime.*

*Mes oncles **MOULOUD ET MOKRANE** et leurs petites  
familles, mon petit oncle **SOFLANE** et ma tante **FADILA** et  
ses enfants **RAHIM, RAOUF ET LOUIZA**.*

*Mes amis, **NISSA, THIZIRI**, à tous ceux qui me sont chère et  
à tous ceux qui m'ont encouragé et aidé de près où de loin.*

*Ma binôme **WISSAM**.*

***AMEL***

## ***Dédicace***

*Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime et qu'on remercie en exprimant la gratitude et la reconnaissance durant toute notre existence.*

*Je dédie ce mémoire :*

*A mes très chers parents, qui m'ont donné autant d'amour et d'affection et qui se sont toujours éveillés à ce que leur fille ait de bonnes qualités, je vous remercie pour m'avoir donné la chance de découvrir le monde du savoir.*

*A mes chères sœurs : **Yasmine, Célia et Lamisse***

*A mon cher frère : **Mahmoud***

*Mes neveux : **Ayoub et Anes***

*Ma petite nièce : **Sanae***

*A ma chère copine **Thiziri***

*A ma chère binôme **Amel***

*A tous ceux qui sont dans mes pensées et que*

*Je n'ai pas cité.*

**Wissam**

---

# *Table de Matières*

---

## Table des matières

|  |    |
|--|----|
| Remerciement   |    |
| Dédicaces  |    |
| Table des matières   |    |
| Table des figures  |    |
| Table des tableaux   |    |
| Notations et abréviations  |    |
| Résumé   |    |
| <i>Introduction Générale</i> .....   | 1  |
| <i>Chapitre I :Recherches bibliographiques</i>                                 |    |
| I.1 Introduction .....   | 3  |
| Valorisation et recyclage des déchets .....                                    | 3  |
| Définition du recyclage .....  | 3  |
| Intérêt de la valorisation et le recyclage dans le génie civil .....           | 3  |
| Classification des déchets .....   | 4  |
| Définition des déchets .....   | 4  |
| Classification des déchets .....   | 4  |
| Classification des déchets selon la réglementation algérienne .....            | 5  |
| Utilisation des déchets industriels dans le monde .....                        | 5  |
| Différents types de déchets industriels .....                                  | 6  |
| Fibres métalliques .....   | 6  |
| Boues d'usinage .....  | 6  |
| Laitier de haut fourneau .....   | 7  |
| Sable de fonderie.....   | 7  |
| Durabilité des bétons .....  | 11 |
| Définition de la durabilité.....   | 11 |
| I. 6.2 Différents phénomènes de durabilité.....                                | 11 |
| I.6.3 Différents travaux réalisés sur le sable de fonderie dans le béton ..... | 12 |
| Conclusion.....  | 14 |
| <i>Chapitre II: Caractérisation des matériaux</i>                              |    |
| Introduction.....  | 15 |
| Essais sur les granulats .....   | 15 |
| Echantillonnage et prélèvement (NF P 18-533) .....                             | 15 |

---

## *Table de matière*

---

|  |    |
|--|----|
| Analyse granulométrique (NF P 18-560).....                             | 16 |
| Mesure du coefficient d'aplatissement des granulats (NF P 18-561)..... | 24 |
| Détermination de la teneur en eau des sables.....                      | 27 |
| Essai au bleu de méthylène (Essai à la tache) NF P 18-592.....         | 32 |
| Détermination des masses volumiques NF P 18 – 555.....                 | 34 |
| Essai de résistance à l'usure et au choc.....                          | 39 |
| Fiches techniques.....   | 43 |
| Ciment.....  | 43 |
| Adjuvant.....  | 43 |
| Eau.....   | 43 |
| Conclusion.....  | 44 |

### *Chapitre III : Formulation des bétons et mortiers et essais réalisés*

|   |    |
|---|----|
| Introduction.....   | 45 |
| Formulation des bétons.....   | 45 |
| II.2.1 Méthode Dreux-Gorisse.....   | 45 |
| Confection des éprouvettes.....   | 49 |
| Récapitulation de la composition des différentes gâchées.....             | 53 |
| Formulation des mortiers.....   | 53 |
| Dosages ou pesées des constituants.....                                   | 53 |
| Malaxage de mortier.....  | 56 |
| Les essais sur le béton à l'état frais.....                               | 59 |
| Préparation de gâchées.....   | 59 |
| Affaissement au cône d'Abrames (NF P 18-451).....                         | 59 |
| Essai teneur en air occlus.....   | 60 |
| Les essais sur béton et mortier durci.....                                | 61 |
| Conservation des éprouvettes.....   | 61 |
| Mesure des masses volumiques sèches.....                                  | 61 |
| La résistance à la flexion (MORTIER).....                                 | 62 |
| La résistance à la compression (essai d'écrasement).....                  | 62 |
| Conservations des échantillons de mortier dans des milieux agressifs..... | 63 |
| Milieu acide (HCl).....   | 63 |
| Milieu sulfaté (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).....                    | 64 |
| Essai de l'attaque basique (NaOH).....                                    | 64 |
| Conservation des mortiers dans un milieu neutre (eau distillée).....      | 64 |
| Conclusion.....   | 65 |

### *Chapitre IV : Résultats et discussions*

---

## *Table de matière*

---

|   |    |
|---|----|
| Introduction.....                       | 67 |
| Essais sur les bétons .....             | 67 |
| L'affaissement.....                     | 67 |
| La teneur en air.....                   | 67 |
| La masse volumique .....                | 68 |
| Résistance à la compression.....        | 69 |
| Essais sur les mortiers .....           | 71 |
| La masse volumique .....                | 71 |
| IV.3.2. La résistance à la flexion..... | 72 |
| La résistance à la compression.....     | 73 |
| Essai d'attaques chimiques .....        | 73 |
| Conclusion.....                         | 75 |

### *Conclusion Générale*

### *Références Bibliographiques*

### *Annexes*

---

---

*Liste  
des figures*

---

## ***LISTE DES FIGURES***

**Figure I.1 :** Fibres métalliques.

**Figure I.2:** Boues d'usinage

**Figure I.3:** Laitier de haut fourneau

**Figure I.4:** sable de fonderie

**Figure I.5:** l'unité de BCR (GROUPE SANIAK)

**Figure I.6:** Sable de plage

**Figure I.7:** échantillon de sable

**Figure I.8:** machine de test de granulométrie

**Figure I.9:** sable

**Figure I.10:** résine

**Figure I.11:** catalyseur

**Figure I.12:** malaxeur

**Figure I.13:** la noyautéuse

**Figure I.14:** déchet de la fonderie

**Figure I.15:** Valeur d'affaissement des mélanges de béton à différents niveaux de remplacement déchet.

**Figure I.16:** Affaissement avec le déchet de sable de fonderie

**Figure I.17:** Résistances à la compression à 28 jours des mélanges de béton à différents pourcentages de déchet.

**Figure II.1.:** Opération de quartage

**Figure II.2:** Colonne de tamis

**Figure II.3:** Etuvage des matériaux.

**Figure II.4:** Opération de tamisage.

**Figure II.5:** Noyau de sable avant concassage

**Figure II.6:** Broyeur

**Figure II.7:** Le rejet de sable après le tamisage.

**Figure II.8:** La courbe granulométrique des granulats

**Figure II.9:** Série de grille à fonte

**Figure II.10:** Détermination de l'équivalent de sable (0/4 et fonderie).

**Figure II.11 :** Essai bleu de méthylène.

---

**Figure II.12:** Premier prélèvement de la goutte.

**Figure II.13:** Résultats de bleu Méthylène pour les deux sables

**Figure II.14:** Pycnomètre

**Figure II.15:** Détermination de la masse volumique absolue.

**Figure II.16:** Echantillon émergé dans l'eau

**Figure II.17:** Masse volumique en vrac

**Figure II.18:** Coulage du matériau.

**Figure II.19:** Appareil de Micro-Deval

**Figure II.20:** Appareil de Los Angeles.

**Figure II.21:** Matériau récupéré après l'essai.

**Figure III.1:** Courbe de mélange selon Dreux-Gorisse.

**Figure III.2:** Les moules 15×15 cm<sup>2</sup>.

**Figure III.3:** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du béton témoin.

**Figure III.4:** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du béton avec 5% de sable de fonderie.

**Figure III.5:** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du béton avec 10% de sable de fonderie.

**Figure III.6:** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du béton avec 15% de sable de fonderie.

**Figure III.7:** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du béton avec 20% de sable de fonderie.

**Figure III.8:** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du mortier témoin.

**Figure III.9:** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du mortier avec 5% de sable de fonderie.

**Figure III.10:** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du mortier avec 10% de sable de fonderie.

**Figure III.11:** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du mortier avec 15% de sable de fonderie.

**Figure III.12:** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du mortier avec 20% de sable de fonderie.

**Figure III.13:** malaxeur.

**Figure III.14:** Table à choc.

---

**Figure III.15:** Les éprouvettes de mortier.

**Figure III.16:** Les éprouvettes après démoulage.

**Figure III.17:** Les éprouvettes dans l'eau.

**Figure III.18:** Gâchée.

**Figure III.19:** Confection des moules.

**Figure III.20:** Essai d'affaissement.

**Figure III.21:** Aéromètre.

**Figure III.22:** Conservation des mortiers.

**Figure III.23 :** Conservation des bétons.

**Figure III.24:** Le dispositif de rupture en flexion.

**Figure III.25:** Essai de compression sur le mortier.

**Figure III.26:** Essai de compression sur béton.

**Figure III.27 :** Préparation de la solution de 5% de HCL.

**Figure III.28 :** Préparation de la solution de 5% de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

**Figure II.29:** Préparation de la solution de 5% de NaOH.

**Figure III.30 :** Les éprouvettes dans un milieu neutre.

**Figure IV.1:** Variation de l'affaissement en fonction de différents dosages série sable de fonderie.

**Figure IV.2:** Détermination de la quantité d'air occlus.

**Figure IV.3:** La teneur en air en fonction de différents dosages série sable de fonderie.

**Figure IV.4:** Masse volumique du béton.

**Figure IV.5:** Essai de compression.

**Figure IV.6:** Résistance à la compression à 28 jours avec les différents dosages du sable de fonderie dans les bétons.

**Figure IV.7:** Résistance à la compression à 90 jours avec les différents dosages du sable de fonderie dans les bétons.

**Figure IV.8:** Masses volumiques des mortiers.

**Figure IV.9:** Essai de flexion.

**Figure IV.10 :** Résistance à la flexion en fonction des différents dosages du sable de fonderie dans les mortiers.

---

**Figure IV.11 :** Résistance à la compression en fonction des différents dosages du sable de fonderie dans les mortiers.

**Figure IV.12:** Mortiers conservés dans une solution acide.

**Figure IV.13:** Mortiers conservés dans une solution sulfatique

**Figure IV.14:** Mortiers conservés dans une solution basique

---

---

*Liste  
des tableaux*

---

---

## ***LISTE DES TABLEAUX :***

**Tableau I.1 :** Composition chimique du sable de fonderie de BCR (Sétif, Algérie).

**Tableau II.1:** Dimensions nominales des tamis.

**Tableau II.2:** Analyses granulométriques du gravier 3/8.

**Tableau II.3:** Analyses granulométriques du gravier 8/15.

**Tableau II.4:** Analyses granulométriques du gravier 15/25.

**Tableau II.5 :** Analyses granulométriques du sable 0/4.

**Tableau II.6 :** Analyse granulométrique du sable de fonderie.

**Tableau II.7 :** Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 3/8.

**Tableau II.8 :** Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 8/15.

**Tableau II.9 :** Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 15/25.

**Tableau II.10 :** La teneur en eau W du sable 0/4.

**Tableau II.11 :** La teneur en eau W du sable de fonderie.

**Tableau II.12 :** Equivalent de sable de fonderie.

**Tableau II.13 :** Equivalent de sable 0/4 MEZIANE EL MHIR.

**Tableau II.14 :** La valeur en bleu du sable 0/4.

**Tableau II.15 :** La valeur en bleu du sable pour le sable de fonderie.

**Tableau II.16 :** La masse volumique absolue des sables.

**Tableau II.17 :** Résultats des masses volumiques absolues des graviers.

**Tableau II.18 :** Les masse volumique en vrac des granulats.

**Tableau II.19 :** Charge abrasive correspondant à chaque classe granulaire.

**Tableau II.20 :** Résultats obtenu pour le gravier 10/14.

**Tableau II.21 :** Charge des boulets correspondants à chaque classe granulaire.

**Tableau II.22 :** Résultats obtenue de Los Angeles pour le gravier 10/14.

**Tableau III.1 :** Valeur de K.

**Tableau III.2 :** Les valeurs des tamisât (%) de la courbe de mélange.

**Tableau III.3 :** Composition de béton avec différent pourcentage de sable de fonderie.

**Tableau III.4 :** Dosage et constituants des différents mortiers.

**Tableau III.5 :** Durée des opérations de malaxage de mortier.

**Tableau IV.1 :** Le changement des masses des mortiers après l'immersion dans des différents milieux pendant 30 jours

---

---

*Notations  
et abréviations*

---

## ***LISTE DES ABREVIATIONS***

**BCR** : Boulonnerie, Coutellerie, Robinetterie.

**PFE** : Projet fin d'étude.

**LTP-Est** : Laboratoire des travaux publics Est.

**DI** : Déchet inerte.

**DIB** : Déchets industriels banal.

**DIS** : Déchets industriels spéciaux.

**WFS** : Déchet de sable de fonderie.

**NF P** : Norme française.

**NF E** : Norme européenne.

**ME** : Module de finesse.

**A** : Aplatissement.

**ES** : Equivalent de sable.

**ESP** : Equivalent de sable par piston.

**ESV** : Equivalent de sable visuel.

**MB** : Valeur en bleu.

**$\rho_a$** : Masse volumique absolue.

**$\rho_b$** : Masse volumique apparente (en vrac).

**MDE** : Le coefficient micro-Deval

**LA** : Los angeles.

**E/C** : Le rapport masse d'eau /masse sèche du ciment.

**G/S** : Le rapport masse du gravier / masse sèche de sable.

**Psc** : Poids du sable concassée.

**Psf** : Poids du sable de fonderie.

**Fcj** : Résistance à la compression le jour j.

**Rf** : Résistance à la flexion.

**$\rho_{bf}$**  : Masse volumique du béton frais.

**$\rho_{bd}$**  : Masse volumique du béton durci.

---

---

# *Résumé*

---

**Résumé :**

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

*Ces rejets peuvent être incorporés dans le béton et mortier comme ajout minéral ou substituant (granulat fin) sable, afin d'améliorer certaines propriétés à l'état frais telle que la fluidité ou durci comme la durabilité du matériau béton.*

*L'objectif de cette recherche répond au souci de valorisation le rejet industriel (sable de fonderie) de l'unité BCR Ain-Kbira Sétif dans le domaine génie civil.*

*Pour répondre à cette préoccupation, nous avons procédé à la caractérisation des matières premières pour la fabrication des bétons et mortiers pour arriver à valoriser ce sable de fonderie dans la fabrication des bétons et mortiers, et d'étudier son comportement et son influence sur les caractéristiques physico-mécanique sur des bétons ainsi que leurs durabilités.*

*Pour atteindre l'objectif visé, nous avons substitués le sable par le sable de fonderie de l'unité de BCR, dans des formulations des bétons et mortiers en teneurs multiples*

*(5%, 10%, 15% et 20%)*

*L'influence du sable de fonderie sur le comportement du béton et mortier a été par des propriétés mécaniques, dont les résultats ont indiqué que la meilleure résistance est obtenue pour un taux de substitution d'un sable de fonderie de 20% pour les béton et 10% pour les mortiers.*

---

---

*Introduction*

*Générale*

---

La problématique de l'épuisement des ressources naturelles renouvelables et également non renouvelables et la raréfaction des matières premières est devenue, en quelques décennies, une préoccupation majeure à l'échelle mondiale.

Les ressources sont menacées aussi bien par l'industrialisation et le développement des activités que par certains phénomènes écologiques.[1].

Le béton, étant le matériau de construction le plus largement utilisé dans le monde, est l'épine dorsale de toutes les activités de construction et de développement dans le monde. Chacun des principaux constituants du béton a un impact environnemental, à un degré différent. Utilisé en quantité énorme dans le monde, il soulève différents problèmes de durabilité. On s'inquiète de plus en plus de la surexploitation des sables et graviers naturels, constituants du béton. L'utilisation massive de béton due à l'essor de l'urbanisation et de l'industrialisation a entraîné une sur extraction du sable de la rivière du lit de la rivière. Cela a entraîné plusieurs conséquences néfastes, notamment l'augmentation de la profondeur du lit de la rivière, l'abaissement de la nappe phréatique, l'exposition des sous-structures des ponts, et un impact majeur sur les rivières.

En outre, la subsistance de l'industrie de la construction a été gravement affectée en raison des restrictions dans l'extraction du sable de la rivière, entraînant une hausse du prix du sable[2].

Depuis plusieurs décennies, divers déchets industriels ont été largement étudiés comme matériau de remplacement/alternative aux granulats fins. D'autres matériaux ont été découverts pour améliorer à la fois les aspects mécaniques et la durabilité du béton, et cette procédure peut fonctionner pour une production de béton à long terme. Différents déchets industriels sont disponibles pour être utilisés dans les produits en béton, tels que les cendres volantes, la fumée de silice, les déchets de verre et les déchets de marbre.

L'utilisation de rejets industriels dans le béton l'a rendu moins cher et la réutilisation des déchets est considérée comme la plus respectueuse alternative de l'environnement pour traiter le problème des décharges de déchets. Parmi ces rejets, sable de fonderie qui peut être utilisé dans le béton à la place du sable de rivière naturel ou celui de carrière [3]

Le sable de fonderie est essentiellement un granulats fin, il peut être utilisé de la même manière que les sables naturels ou manufacturés. Les sables de fonderies pourraient également être utilisés dans les remblais, la construction de couches barrières, la construction de routes.

Le plus grand volume de sable de fonderie est utilisé dans des applications géotechniques, telles que, les remblais d'aménagement de sites et les assises routières[4].

Une augmentation des propriétés de résistance peut être obtenue par l'inclusion de ce rejet de fonderie en remplacement partiel ou totale de l'agrégat fin dans la fabrication du béton[5].

Face à cette problématique, des filières de valorisation en génie civil ont été recherchées. Cette opération de valorisation conjugue un avantage économique et un enjeu environnemental. La valorisation des déchets sert à protéger l'environnement car elle tend à réduire les quantités de déchets à stocker.[6]

L'objectif de notre étude est de valoriser un déchet de la fonderie qui est un sable usé ou rejeté, qui a pour but d'éliminer ou de réduire les grandes quantités produites par l'unité BCR de AIN KEBIRA (Sétif, Algérie) qui occupe une grande surface et provoque un problème de circulation dans l'unité.

Ce travail porte sur l'étude des propriétés des bétons et mortiers à base de sable de fonderie, ainsi que leurs durabilités, il est présenté comme suit :

- ❖ Une introduction générale.
- ❖ Chapitre I : recherche bibliographique sur les déchets.
- ❖ Chapitre II : Caractérisation de tous les matériaux entrant dans la composition des bétons.
- ❖ Chapitre III : Formulation des bétons et mortiers et essais réalisés.
- ❖ Chapitre IV : résultats et discussions.

En fin une conclusion générale clôturera ce mémoire.

---

*Chapitre I :*

*Recherche bibliographique*

---

## **I.1 Introduction**

La production de déchets a augmenté en raison de l'augmentation de la population et des progrès technologiques [3]. Tous les principaux constituants du béton ont un impact environnemental différent et causent des problèmes de durabilité différents. Pour éviter les effets environnementaux associés au béton et à ses composants, il est nécessaire de passer à d'autres substituts respectueux de l'environnement et durables [7].

Ce premier chapitre se concentre sur les sables de fonderie et ses utilisations dans le béton. L'une des principales raisons de leur utilisation dans le béton structurel est d'empêcher l'exploitation des granulats naturels et les transformant en réserves précieuses.

### **Valorisation et recyclage des déchets**

#### **Définition du recyclage**

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers, qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société de consommation. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés.

L'Algérie l'un des pays du Maghreb, qui a initié ses efforts dans le domaine du recyclage des déchets depuis 2001, voit toujours ce secteur ne pas décoller[8].

#### **Intérêt de la valorisation et le recyclage dans le génie civil**

La valorisation est l'ensemble des opérations effectuées sur un objet inutile afin de le rendre à nouveau utile. Elle permet de réaliser un nouveau produit de qualité égale ou supérieur. Les techniques de valorisation des déchets sont économiquement utiles. Elles permettent d'économiser les ressources, de générer des produits substituables à un prix compétitif et aussi de réduire la quantité de déchets dans la nature[9].

Recycler des déchets dans une utilisation comme granulats pour les routes ou la construction permet :

- ✓ La diminution de la matière première durant des siècles.
- ✓ Le coût de stockage ou de traitement est de plus en plus élevé (économies).
- ✓ Une meilleure gestion de la recherche.
- ✓ Une réduction du transport des matériaux, donc une réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à l'effet de serre ;
- ✓ Une mise en œuvre rapide minimisant la gêne pour les habitants ;
- ✓ La réduction des quantités de matériaux mis en décharge.

## Classification des déchets

### Définition des déchets :

Selon l'article L541-1-1 du Code de l'Environnement, un déchet est défini comme :

« Toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». En fonction de leurs types et de leurs origines, les déchets ont un niveau de dangerosité variable qui, dans certains cas, peut être préjudiciable à l'homme et à l'environnement[10].

### Classification des déchets

Plusieurs classifications des déchets sont actuellement utilisées :

- **Selon leur source** (origine, périmètre de collecte) :
  - Déchets des commerces ;
  - Déchets des activités de soins ;
  - Déchets industriels (Déchets industriels banals, Déchets industriels spéciaux)
  - Déchets agricoles ;
- **Selon leur nature physique** :
  - Déchets solides ;
  - Boues ;
  - Déchets liquides ou pâteux ;
  - Déchets gazeux.
- **Selon leur nature chimique** :
  - Déchets métalliques ;
  - Déchets minéraux ;
  - Déchets organiques ;
- **Selon leur toxicité** :
  - Déchets dangereux ;
  - Déchets inertes ;
  - Déchets non dangereux.

### **Classification des déchets selon la réglementation algérienne [11] :**

#### **Déchets municipaux (urbain) :**

Il s'agit des déchets ménagers, ils comportent les ordures ménagères.

#### **Déchets d'activités de soin ou déchets hospitaliers :**

ce sont des déchets issu des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, curatif ou palliatif, dans le domaine de la médecine humaine et vétérinaire, y compris les déchets des laboratoires médicaux ; qui peuvent provoqué plusieurs dangerosité ce qui mène à les classé comme étant des déchets dangereux.

#### **Les déchets industriels :**

Ces déchets sont produits par les entreprises industrielles, commerciales ou artisanales, ils peuvent se trouver en 03 phases ; déchets inertes, déchets banals et déchets dangereux :

##### **a- Déchets inertes DI :**

Ce sont des déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable. Ces déchets proviennent des activités de construction, de réhabilitation (rénovation) et de démolition liées au secteur du bâtiment ainsi que les activités liées à la réalisation et à l'entretien d'ouvrage publique.

##### **b- Déchets industriels banal DIB :**

Ce sont des déchets non dangereux (non inertes, assimilables aux ordures ménagères), donc ce sont des déchets non toxiques qui proviennent de l'ensemble des activités économiques, tels que le plastique, verre, papiers, sable de fonderie ....) .

##### **c- Déchets industriels spéciaux DIS :**

Ces déchets sont tellement dangereux qui peuvent nuire la santé humaine ou l'environnement tels que : les déchets d'amiante, boues de peinture, produits de vidange, aussi ceux issu de l'industrie pétrolière et ceux provenant de l'activité radioactive ou l'industrie chimique.

### **Utilisation des déchets industriels dans le monde :**

En raison des quantités toujours croissantes de déchets et de sous-produits industriels, la gestion des déchets solides est la principale préoccupation dans le monde. La rareté de l'espace d'enfouissement et en raison de son coût toujours croissant, le recyclage et l'utilisation des sous-produits industriels et des déchets sont devenus une proposition attrayante pour l'élimination[12]

Il est évident que l'exploitation des déchets augmente de manière insignifiante chaque année dans le monde et non recyclés. Par conséquent, le recyclage des déchets consomme de l'énergie et produit de la pollution. Ces dernières années, la gestion de ces bétons et déchets démolis est le problème critique auquel sont confrontées toutes les nations du monde. Les déchets comprennent le béton démolis, les déchets agricoles, le verre et le plastique ; causant des problèmes d'élimination comme une fois qu'ils ont été utilisés. Afin de faire face à une telle situation, l'application de tels déchets en tant que source dans la production de béton peut être utilisée en remplaçant certaines parties du contenu d'origine des granulats par ces rejets.

Le recyclage de ces déchets dans le bétonnage aide non seulement à gérer les déchets solides, mais aide à préserver les ressources naturelles[13].

### **Différents types de déchets industriels :**

#### **Fibres métalliques :**

La fibre métallique est parmi les fibres les plus commercialisées vendues, et bien sûr disponibles sous des formes et dimensions les plus variées (figure 1). Ces fibres présentent un module d'élasticité de 210 (GPa), une masse volumique de 7.85t/m<sup>3</sup> et une résistance à la traction de 1 à 2 (GPa). Elles existent sous diverses formes et longueurs. L'élanement est souvent compris entre 30 et 150 pour une longueur allant de 6.4 à 76 mm. Le pourcentage volumique de fibres métalliques dans le béton varie de 0.3 à 3%. L'optimisation du pourcentage de fibres, de la longueur et de la forme a donné lieu à de nombreuses études[14].

Pour des usages particuliers, certaines fibres utilisées sont inoxydables ou traitées contre la corrosion. Leur principal avantage est une amélioration de la résistance à la traction et à la flexion, une augmentation de la ductilité donc une bonne tenue aux chocs ainsi qu'à l'usure[15].



**Figure I.1:** Fibres métalliques.

#### **Boues d'usinage :**

Le terme commun « boues d'usinage » regroupe plusieurs types de déchets industriels issus de l'industrie mécanique : boues de rectification, mais aussi boues de broyage, de finition de masse, etc. [16]. Les boues ont longtemps été un déchet volumineux pour les collectivités et les industriels. Chaque année, les industries mécaniques produisent quelque 50 000 tonnes de boues. A ce jour, 80% de ces boues ne sont pas réutilisées et finissent en décharge.



**Figure I.2:** Boues d'usinages.

### **Laitier de haut fourneau :**

C'est un sous produit lors de la transformation du fer en fonte brute; il est ensuite refroidi à l'air libre un matériau cristallin et compact appelé laitier « refroidi à l'air » qui est approprié comme granulats pour le béton; ou bien refroidi rapidement et traité au moyen de jets d'eau pour obtenir un matériau léger désigné sous le nom «laitier expansé»

Le laitier de haut fourneau est utilisé [17] :



**Figure I.3:** Laitier de haut fourneau

#### ➤ **En cimenterie :**

Dans la plupart des pays, le laitier granulé et broyé est utilisé dans le ciment portland comme ajout pour fabriquer des ciments portland au laitier. il permet à la fois des économies considérables d'énergie et permet d'obtenir des ciments présentant des propriétés variées

#### ➤ **Pour la confection des bétons :**

Le laitier concassé forme d'excellents granulats pour le béton.

#### ➤ **Pour les travaux routiers :**

Les utilisations concernent la construction des chaussées, des routes, autoroutes et les assises où on peut utiliser soit le laitier granulé où le laitier concassé.

### **Sable de fonderie**

#### **I.5.4.1 Définition :**

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

Le secteur sablerie qui stocke, prépare les mélanges, achemine la matière vers l'atelier de moulage en sable, puis récupère le sable usé pour, soit le régénérer, soit le transporter en décharge.

Le sable de fonderie utilisé dans cet étude est un noyau de : sable+résine+catalyseur.



**Figure I.4:** sable de fonderie

#### 1.5.4.2 Différents types de sables de fonderie :[18]

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

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

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

**Sable à la résine** : D'une manière générale, les résines sont utilisées à faible dosage, de l'ordre de 2 %, comme liant organique.

#### Processus de fabrication du sable de fonderie lié chimiquement de l'unité BCR(GROUPE SANIAK) [19] :



**Figure I.5:** l'unité de BCR (GROUPE SANIAK)

#### Production :

A chaque arrivage du sable provenant de plage (fond des mers) afin d'assurer une homogénéité des produits (sable), le chef d'atelier de la fonderie :



**Figure I.6:** sable de plage

- Etablie un ordre d'essai de matériaux pour l'analyse granulométrique du sable au niveau du laboratoire de la fonderie.
- Vérifie et assurer que l'opérateur :
  - ✓ Déploie le sable par terre pour séchage à l'air libre.
  - ✓ Procède au remplissage de la trémie après que le sable ait été séché.
  - ✓ Vérifie que la température du four rotatif est égale ou supérieure à 100°C.
- Prélève un échantillon de sable sur l'installation de traitement de sable et établi un ordre d'essai de matériau pour l'analyse granulométrique au niveau de laboratoire.
- Ajuster la réglette du tamis en fonction des résultats obtenus après l'analyse granulométrique.
- Prélève une troisième fois un échantillon du collecteur pour analyse granulométrique.



**Figure I.7:** échantillon de sable



**Figure I.8:** machine de test de granulométrie

**a- Contrôle :**

Le laboratoire communique le résultat de l'indice de finesse (qui est compris entre  $47 < AFS < 55$ ) au chef d'atelier fonderie.

**b- Préparation et distribution de sable :**

Pour la préparation du mélange : sable + résine + catalyseur l'opérateur doit :



**Figure I.9:** sable



**Figure I.10:** résine



**Figure I.11:** catalyseur

1. Vérifier le bon fonctionnement des malaxeurs (essai à vide)
2. Préparer le mélange : sable +résine +catalyseur (durcisseur) dont Chaque mélange (charge) est composé de :
  - ✓ 40kg de sable neuf.
  - ✓ 0.980kg de résine.
  - ✓ 0.280kg de catalyseur.



**Figure I.12:** malaxeur

3. Procède au pesage du sable en mode manuel.
4. Procède au pesage de la résine en mode manuel pour s'assurer que le taux de résine par rapport à la qualité de sable est correct.
5. Procède au pesage de catalyseur par rapport à la quantité de résine est correct.
6. Enclenche le procédé de malaxage pendant 5 minutes en surveillant le processus de mélange.
7. Contrôle de la qualité du mélange.
8. Distribue le sable préparé vers les trémies des noyanteuses à la demande de machiniste.



**Figure I.13:** la noyanteuse

9. Refaire l'opération à chaque demande.
10. Nettoyage et entretien courant des malaxeurs et du poste de travail.

Les sables de fonderie sont utilisés pour confectionner des moules et des noyaux dans lesquels sont coulés les métaux en fusion. Quand le sable n'est plus réutilisable pour l'industrie de la fonderie il sera rejeté et considéré comme un déchet de fonderie.



Figure I.14: Déchet de la fonderie

Tableau I.1 : Composition chimique du sable de fonderie de BCR (Sétif, Algérie)

| Constituants                   | %  |
|--------------------------------|----|
| CaCO <sub>3</sub>              | 03 |
| SiO <sub>2</sub>               | 90 |
| Cl                             | 00 |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>  | 00 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 07 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -  |
| CaO                            | -  |
| MgO                            | -  |
| Na <sub>2</sub> O              | -  |

### Durabilité des bétons :

#### Définition de la durabilité:

La durabilité d'un béton est de pouvoir conserver sa résistance et de continuer de remplir sa fonction tout au long de sa durée de vie utile pas à une durée indéfinie, il en résulte que le béton doit résister aux mécanismes de dégradation auxquels il peut être exposé.

### I. 6.2 Différents phénomènes de durabilité :

#### I. 6.2.1 La corrosion des armatures :

La corrosion représente l'attaque destructive d'un métal par des réactions électrochimiques qui conduisent à un transfert d'ions et d'électrons à l'interface métal-solution [20].

### **I. 6.2.2 Carbonatation :**

La pâte de ciment hydratée constitue un milieu fortement alcalin (**pH >12**) qui agit comme passivant vis-à-vis de l'acier: l'armature ne rouillera pas, bien qu'elle soit en contact avec l'eau et l'oxygène pénétrant via les capillaires et les microfissures[21]

La réaction du dioxyde de carbone(CO<sub>2</sub>) avec les substances alcalines du béton s'appelle la carbonatation.

### **1.6.2.3 Gel et dégel :**

Les dégradations occasionnées par le gel sont de deux types :

- Une fissuration répartie dans la masse du béton, provoquée par un mécanisme de gel interne.
- Un délitage de la zone superficielle, appelé écaillage, qui résulte d'un gradient thermique important au voisinage de la surface.

Ces deux types de dégradations, qui peuvent se produire simultanément ou de manière indépendante, sont dus à des mécanismes distincts.[22] L'action répétitive de cycles de gel et le dégel, ou une brusque chute de température superficielle généralement provoquée par l'action des sels de dévers glaçage.

### **I.6.2.4 Les attaques chimiques :**

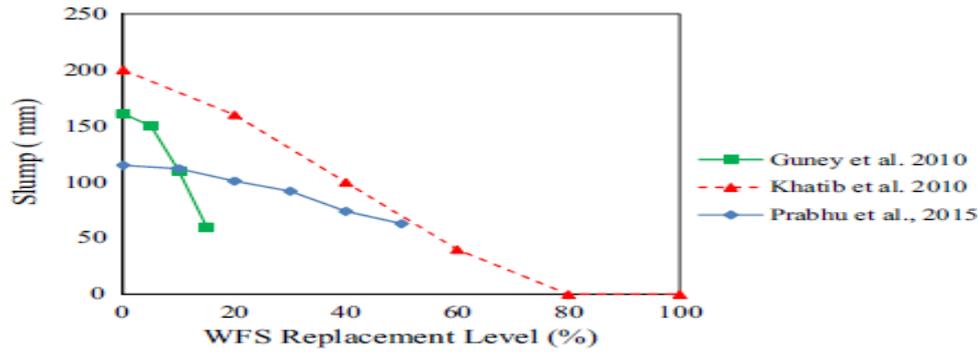
Le problème de la mécanique de durabilité dans l'attaque chimique est un phénomène dépendant du temps et migrant vers l'emplacement consistant en des micro-problèmes, tels que des changements de propriétés physiques dus à des changements d'hydrates, des changements de volume de produits de réaction, etc., ainsi que des macro-problèmes, tels que la résistance réduite due à la dissolution ou aux fissures. Le mécanisme de l'attaque chimique est extrêmement complexe, et bon nombre de ses problèmes n'ont pas été quantitativement évalué.[23]

## **I.6.3 Différents travaux réalisés sur le sable de fonderie dans le béton :**

L'augmentation de la population et les progrès technologiques ont entraîné une augmentation de la production de déchets. Ainsi, de nombreux chercheurs et scientifiques du monde entier trouvent de nouvelles façons de réduire ces déchets ou une meilleure alternative pour les utiliser comme ressources à valeur ajoutée. Depuis plusieurs décennies, divers déchets industriels font l'objet d'études approfondies en tant que substitut/matériau de remplacement des déchets fins. Il a été constaté que la substitution de matériaux alternatifs dans le béton améliore à la fois les propriétés mécaniques et de durabilité, et cette pratique peut conduire au développement durable du béton[2].

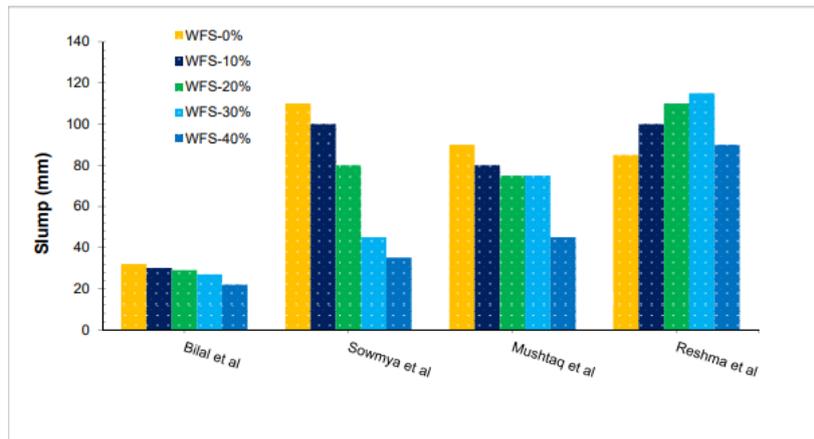
### **I.6.3.1 Affaissement :**

**Guney et al, Khatib et al, Parabhu et al.** Dans leurs travaux de recherches ont trouvés que la valeur de l'affaissement diminue on augmentant le pourcentage de déchet.



**Figure I.15:** Valeur d'affaissement des mélanges de béton à différents niveaux de remplacement déchet [2].

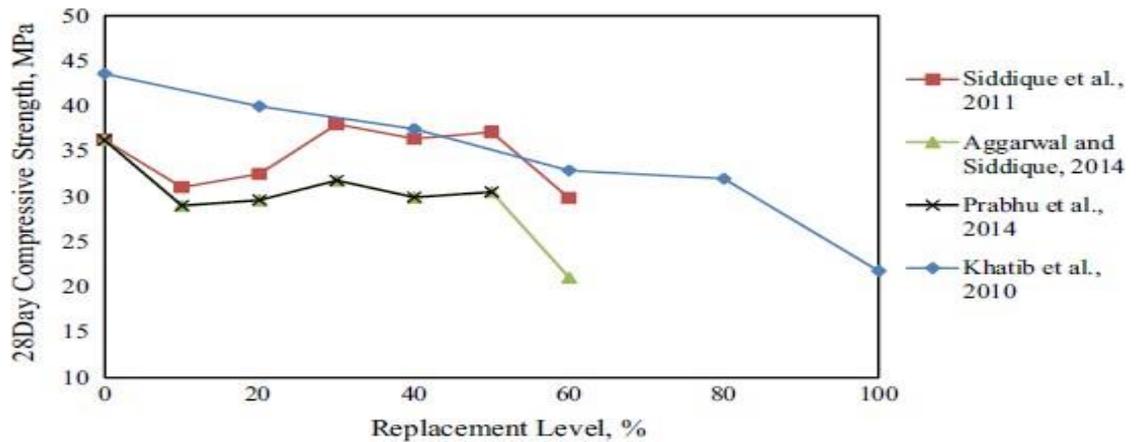
Par contre, **Reshma et al.** Ils ont trouvés le contraire. En augmentant le pourcentage de déchet la valeur de l'affaissement augmente.



**Figure I.16 :** Affaissement avec le déchet de sable de fonderie[3]

### 1.6.3.2 Résistance à la compression des bétons à base de sable de fonderie : [2]

- ✓ Dans l'étude de **Siddique et al**, une augmentation constante de la résistance du béton avec le déchet de sable de fonderie, lorsqu'il était ajouté jusqu'à 30 % en remplacement du sable.
- ✓ Dans les travaux de **Prabhu et al**, qui ont utilisé WFS préalablement lavé quatre fois pour éliminer les particules de cendres et d'argile, puis séché au soleil pendant deux jours. Ils ont obtenu une augmentation de résistance à la compression en utilisant 20 % et 30% de déchet de sable de fonderie en remplacement d'agrégats fins.



**Figure I.17:** Résistances à la compression à 28 jours des mélanges de béton à différents niveaux de remplacement [2].

### 1.6.3.3 Résistance aux sulfates des bétons à base de sable de fonderie :[2]

Dans les travaux de recherche de **Prabhu**, il a observé une diminution de la résistance aux sulfates du béton avec l'augmentation du taux de remplacement du WFS. Un effet substantiel sur les propriétés de résistance a été observé sur les mélanges de béton contenant plus de 30 % de remplacement de WFS. La diminution de la résistance aux sulfates avec l'augmentation de la teneur en WFS a été attribuée à la présence de traces de soufre (SO<sub>3</sub>) dans le WFS.

#### **Conclusion :**

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

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

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

---

*Chapitre II:*  
*Caractérisation des*  
*matériaux*

---

## **Introduction :**

Avant d'utiliser un matériau de construction quelconque, on est obligé de le caractériser.

Ce chapitre sert à identifier les différents constituants d'un béton suivant des essais et des normes bien indiqués (sable et gravier), et à disposer de fiches techniques des autres constituants (ciment, eau et adjuvant).

## **Essais sur les granulats :**

### **Echantillonnage et prélèvement (NF P 18-533) [24]**

Les essais effectués en laboratoire portent nécessairement sur les quantités réduites des matériaux. Ces quantités doivent permettre de mesurer des paramètres caractéristiques de l'ensemble des matériaux dans lequel on a fait un prélèvement.

Le prélèvement d'échantillons se fait en deux temps :

- Prélèvement au niveau de la carrière d'une quantité de matériaux nettement plus grande que celle qui sera utilisée pour l'essai proprement dit.

- Au laboratoire: prélèvement de la quantité nécessaire à l'essai et qui doit être également représentative de l'échantillon de départ.

- **Prélèvement sur le tas (sable et graviers) [24]**

Les essais que nous avons réalisés au laboratoire, ont porté sur des échantillons obtenus par des prélèvements sur les tas effectués au niveau de la carrière **Meziane EL-Mhir, Bordj Bou Arreridj**, pour les graviers (3/8, 8/15 et 15/25) et le sable concassé (0/4).

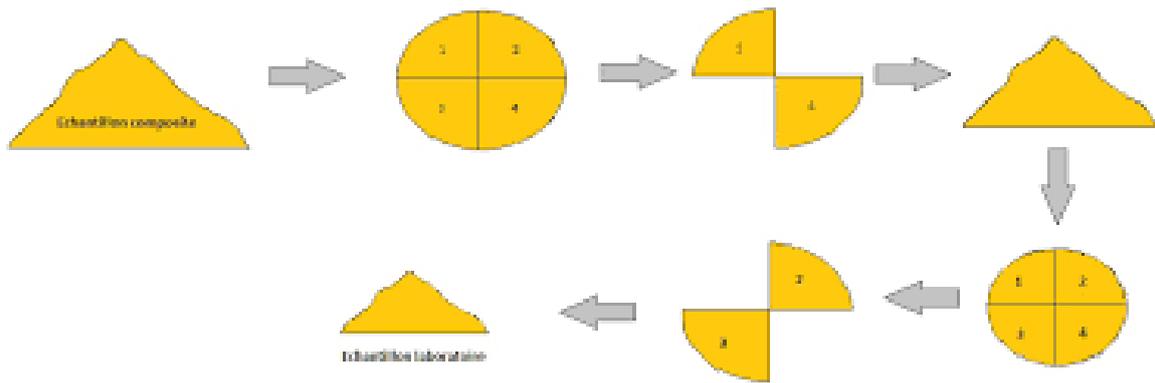
- **Prélèvement en laboratoire (échantillonnage en laboratoire) [24]**

Le passage de l'échantillon total prélevé sur le tas à l'échantillon réduit, nécessaire à l'essai, peut se faire par quartage ou à l'aide d'un échantillonneur. L'échantillon doit être séché à l'étuve à 105°C s'il est exempt de minéraux argileux, ce qui est rare, ou à 60 °C dans le cas contraire.

- **Quartage :**

Comme le nom l'indique, on divise l'échantillon en quatre parties égales dont on ne retient que la moitié en réunissant deux quarts opposés.

Si cette quantité (1/2) est encore importante, Cette sélection est homogénéisée et un nouveau quartage est effectué, l'opération pouvant se répéter trois ou quatre fois. On obtient ainsi un échantillon représentatif du matériau initial (figure II.1).



**Figure II.1.:** Opération de quartage

### **Analyse granulométrique (NF P 18-560)[25]**

#### **▪ But de l'essai :**

Pour de nombreux travaux et pour l'exécution de nombreux essais, il est nécessaire de connaître certaines caractéristiques de matériaux utilisés, caractéristiques qui représentent:

- Les dimensions.
- La forme.
- La masse volumique.
- La porosité.
- La teneur en impureté, de l'échantillon qui a été prélevé.

L'analyse granulométrique est la première de ces recherches, elle caractérise ces granulats en déterminant la grosseur des grains qui les constituent, et le pourcentage des grains de chaque grosseur.

#### **▪ Principe de l'essai :**

L'analyse consiste à séparer et à classer les grains constituant l'échantillon selon leur grosseurs en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. L'échantillon étudié est mis sur le tamis supérieur et le classement des grains est obtenu par vibration de la colonne de tamis.

#### **▪ Matériel utilisé**

Ce sont des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisées soit à partir d'un maillage métallique, soit par perçage d'une tôle. La dimension nominale des tamis est donnée par l'ouverture de la maille, c'est-à-dire par la grandeur de l'ouverture carrée. Ces dimensions sont telles qu'elles se suivent dans une progression géométrique, depuis le tamis 0,063 mm jusqu'au tamis 80mm. Les dimensions nominales normalisées des tamis, seuls appareils utilisés actuellement selon la norme (NF P 18-560), sont les suivantes :

**Tableau II.1:** Dimensions nominales des tamis.

|               |              |             |             |              |              |              |              |              |              |              |             |
|---------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| <b>Module</b> | <b>12</b>    | <b>20</b>   | <b>21</b>   | <b>22</b>    | <b>23</b>    | <b>24</b>    | <b>25</b>    | <b>26</b>    | <b>27</b>    | <b>28</b>    | <b>29</b>   |
| <b>Tamis</b>  | <b>0.063</b> | <b>0.08</b> | <b>0.1</b>  | <b>0.125</b> | <b>0.160</b> | <b>0.200</b> | <b>0.250</b> | <b>0.315</b> | <b>0.400</b> | <b>0.500</b> | <b>0.63</b> |
| <b>Module</b> | <b>30</b>    | <b>31</b>   | <b>32</b>   | <b>33</b>    | <b>34</b>    | <b>35</b>    | <b>36</b>    | <b>37</b>    | <b>38</b>    | <b>39</b>    | <b>40</b>   |
| <b>Tamis</b>  | <b>0.8</b>   | <b>1.0</b>  | <b>1.25</b> | <b>1.60</b>  | <b>2.00</b>  | <b>2.50</b>  | <b>3.15</b>  | <b>4.00</b>  | <b>5.00</b>  | <b>6.30</b>  | <b>8</b>    |
| <b>Module</b> | <b>41</b>    | <b>42</b>   | <b>43</b>   | <b>44</b>    | <b>45</b>    | <b>46</b>    | <b>47</b>    | <b>48</b>    | <b>49</b>    | <b>50</b>    |             |
| <b>Tamis</b>  | <b>10</b>    | <b>12.5</b> | <b>16</b>   | <b>20</b>    | <b>25</b>    | <b>31.5</b>  | <b>40</b>    | <b>50</b>    | <b>63</b>    | <b>80</b>    |             |



**Figure II.2.:** Colonne de tamis

▪ **Conduite de l'essai :**

Le matériau sera séché à l'étuve à une température maximale de 105 °C, et après avoir pris le poids de l'échantillon, on emboîte les tamis les uns sur les autres, dans un ordre tel que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers pour une analyse complémentaire. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'éviter toute perte de matériau pendant le tamisage.



**Figure II.3.:** Etuvage des matériaux.

On appellera tamisât, le poids du matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids de matériau retenu par ce même tamis.

Le matériau étudié est versé sur le tamis supérieur et on met le couvercle pour éviter la dispersion de la poussière. On agite manuellement ou mécaniquement cette colonne de tamis.



**Figure II.4.:** Opération de tamisage.

✓ **Dimensions des tamis utilisés :**

Pour les sables, on utilise les tamis d'ouverture (en mm) :

0,063 – 0,08 – 0,125 – 0,250 – 0,315 – 0,500 – 1 – 2 – 4

Pour les graviers, on utilise les tamis d'ouverture (en mm) :

0,063 – 0,08 – 0,125 – 0,250 – 0,315 – 0,500 – 1 – 2 – 4 – 6,3 – 8 – 10 – 12,5 – 14 –  
16 – 20 – 25.

✓ **Préparation de l'échantillon**

La prise de l'échantillon est effectuée par quartage.

La masse du matériau utilisé sera telle que :  $M \geq 0.2 D$  selon la norme (NF 18-560)

Tel que : **M** : Masse de l'échantillon en kilogrammes (kg).

**D** : Diamètre du plus gros granulat, exprime en millimètre (mm).

Les masses des échantillons soumises à l'essai, sont les suivantes :

- 15/25  $M \geq (0.2).25 = 5$  kg
- 8/15  $M \geq (0.2).15 = 3$  kg
- Sable 0/4  $M \geq (0.2).4 = 0.8$  kg

**Analyse granulométrique des gravillons**

Les résultats des analyses granulométriques pour les gravillons 15/25, 8/15 et 3/8 sont représentés dans les tableaux suivants :

**Tableau II.2:** Analyses granulométriques du gravier 3/8.

| Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_{\text{éch}} = 2158\text{g}$ |       |         |           |
|---|-------|---------|-----------|
| tamis   | Refus | % Refus | % Tamisât |
| 8   | 29    | 1.32%   | 99%       |
| 6,3   | 566   | 25.77%  | 74%       |
| 4   | 1937  | 88.21%  | 12%       |
| 2   | 2113  | 96.22%  | 4%        |
| 1   | 2128  | 96.90%  | 3%        |
| 0,5   | 2135  | 97.22%  | 3%        |
| 0,315   | 2138  | 97.36%  | 3%        |
| 0,25  | 2139  | 97.40%  | 3%        |
| 0,125   | 2140  | 97.45%  | 3%        |
| 0,063   | 2157  | 98.22%  | 2%        |

**Tableau II.3:** Analyses granulométriques du gravier 8/15.

| Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M éch =4046g |       |         |           |
|--|-------|---------|-----------|
| tamis  | Refus | % Refus | % Tamisât |
| 16   | 138   | 3.37%   | 97%       |
| 14   | 633   | 15.45%  | 85%       |
| 10   | 1684  | 41.10%  | 59%       |
| 8  | 2477  | 60.46%  | 40%       |
| 6,3  | 3307  | 80.72%  | 19%       |
| 4  | 3907  | 95.36%  | 5%        |
| 2  | 3957  | 96.58%  | 3%        |
| 1  | 3988  | 97.34%  | 3%        |
| 0,5  | 4017  | 98.05%  | 2%        |
| 0,315  | 4024  | 98.22%  | 2%        |
| 0,25   | 4026  | 98.27%  | 2%        |
| 0,125  | 4034  | 98.46%  | 2%        |
| 0,063  | 4039  | 98.58%  | 1%        |

**Tableau II.4:** Analyses granulométriques du gravier 15/25.

| Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M éch =5362g |       |         |           |
|--|-------|---------|-----------|
| tamis  | Refus | % Refus | % Tamisât |
| 25   | 51    | 0.95%   | 99%       |
| 20   | 2290  | 42.52%  | 57%       |
| 16   | 5115  | 94.97%  | 5%        |
| 14   | 5354  | 99.41%  | 1%        |
| 10   | 5356  | 99.44%  | 1%        |
| 8  | 5357  | 99.46%  | 1%        |
| 6,3  | 5357  | 99.46%  | 1%        |

### Analyses granulométriques des sables

- **Analyse granulométrique du sable concassée :**

- ✓ **Préparation de l'échantillon**

On prend le poids du sable à son état naturel humide. Séché à l'étuve à une température de 105°C. Soit (M<sub>éch</sub>) sa masse sèche

- ✓ **Exécution de l'essai**

Le mode opératoire de l'analyse granulométrique du sable est le même que pour les gravillons, le résultat de cette analyse est représenté dans le tableau suivant :

**Tableau II.5:** Analyse granulométrique du sable 0/4.

| Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M <sub>éch</sub> = 1303g |       |         |           |
|--|-------|---------|-----------|
| tamis  | Refus | % Refus | % Tamisât |
| 4  | 100   | 6.49%   | 94%       |
| 2  | 456   | 29.59%  | 70%       |
| 1  | 709   | 46.01%  | 54%       |
| 0,5  | 926   | 60.09%  | 40%       |
| 0,315  | 1016  | 65.93%  | 34%       |
| 0,25   | 1060  | 68.79%  | 31%       |
| 0,125  | 1193  | 77.42%  | 23%       |
| 0,063  | 1298  | 84.23%  | 16%       |

- ✓ **Expression des résultats**

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut-être quantifié par le calcul du module de finesse MF. Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis de modules (22, 25, 28, 31,34, 37). Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons.

- **Le module de finesse**

Suivant la norme EN 12-620 le module de finesse est :

$$\frac{6+30+46+60+69+77}{100} = \mathbf{2,88}$$

- **$2.8 < MF \leq 3.3$**  : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

- **Analyse granulométrique du sable de fonderie :**
  - ✓ **Préparation de l'échantillon :**

Avant de procéder à une analyse quelconque d'un échantillon solide, nous lui faisons subir un traitement mécanique qui est la phase la plus délicate pour préparer un échantillon représentatif.

Pour atteindre ce but, nous avons appliqué les deux opérations suivantes :

- **Broyage :**

Cette opération sert à broyer le noyau de sable de la fonderie BCR à sa dimension initiale puisque le noyau a été récupéré sous forme de moule. Pour réaliser cette réduction nous avons utilisé le broyeur du laboratoire de l'université de Bejaïa comme s'est présenté dans la figure ci-dessous :



**Figure II.5.:** Noyau de sable avant concassage



**Figure II.6.:** Broyeur

- **Tamisage :**

L'analyse granulométrique du sable de fonderie est similaire à celle du sable de carrière.



**Figure II.7:** Le rejet de sable après broyage.

Tableau II.6: Analyse granulométrique du sable de fonderie.

| Ouverture des tamis (mm) | Pourcentage des refus cumulés (Rn /M1)*100 | Pourcentage cumulés de tamisât 100-(Rn/M1*100) |
|--------------------------|--|--|
| 2                        | 00   | 100%   |
| 1                        | 0.2  | 100%   |
| 0.5                      | 04   | 96%  |
| 0.315                    | 32.5                                       | 68%  |
| 0.25                     | 70.5                                       | 30%  |
| 0.125                    | 97.6                                       | 02%  |
| 0.063                    | 99   | 01%  |

○ Le module de finesse :

$$\frac{0+0.2+4+70.5+97.6}{100} = 1.72$$

MF < 1.8 : Le sable est à majorité de grains fins.

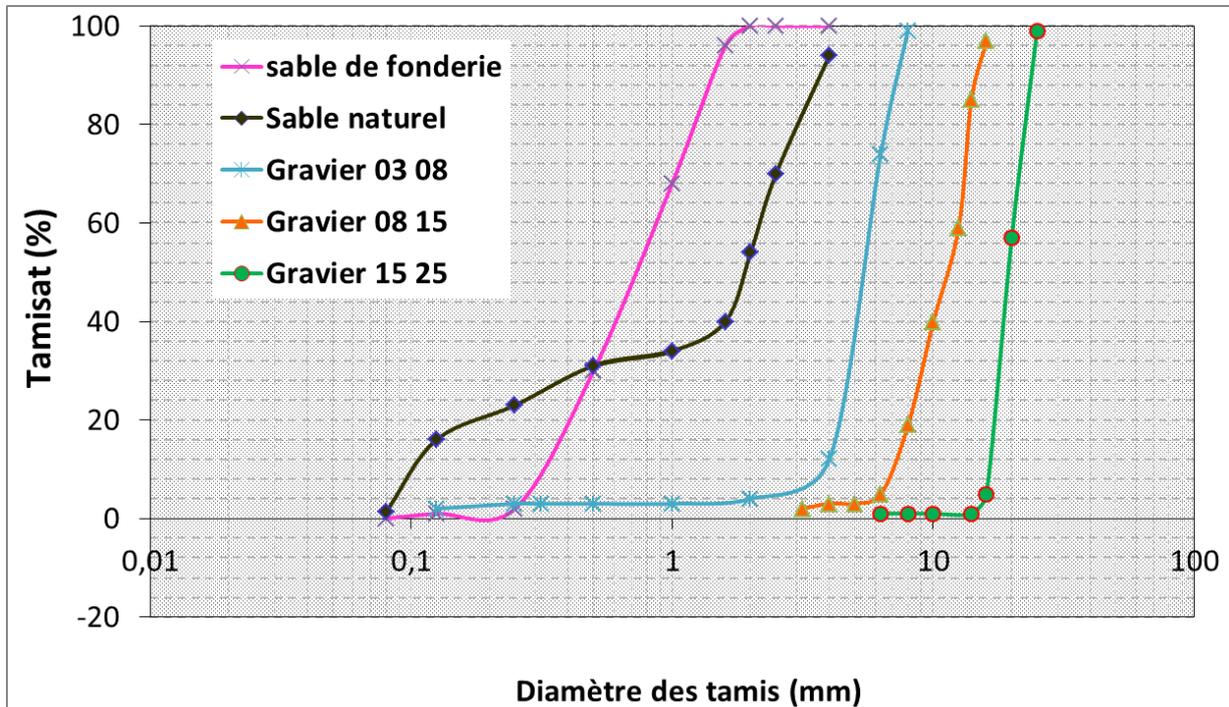


Figure II.8 : La courbe granulométriques des granulats

### Mesure du coefficient d'aplatissement des granulats (NF P 18-561)[26]

#### ✓ But de l'essai

L'élaboration des bétons de ciment, ainsi que la réalisation des corps de chaussées et des couches de roulement, nécessite de n'utiliser que des granulats ayant une forme assez ramassée, à l'exclusion des granulats plats. En effet, ceux-ci ne permettent pas de réaliser des bétons très compacts, et par ailleurs, en technique routière, ils ne peuvent être utilisés car ils conduisent à des couches de roulement trop glissantes. La détermination du coefficient d'aplatissement est l'un des tests permettant de caractériser la forme plus ou moins massive des granulats.

#### ✓ Principe de l'essai

L'essai consiste à effectuer une double opération de tamisage :

Le tamisage classique (analyse granulométrique) sur une colonne de tamis normalisé à mailles carrées, pour classer l'échantillon de granulats étudié en différentes classes granulaires  $d/D$  dont les dimensions sont telles que  $D = 1.25 d$  ; suivant la grosseur  $G$ .

De ce fait, les classes de grosseur  $G$  ainsi définies sont telles qu'elles suivent la progression géométrique des ouvertures des tamis utilisés au cours de l'analyse granulométrique.

Le tamisage des différentes classes granulaires  $d/D$ , ainsi isolées, sur des grilles à fentes parallèles d'écartement  $E = d / 1.58$ .

#### ✓ Equipement nécessaire

Le coefficient d'aplatissement s'obtient en faisant une double analyse granulométrique en utilisant successivement, et pour le même échantillon de granulat :

Une série de tamis normalisés à mailles carrées, utilisés pour l'analyse granulométrique définie par la norme **NF P 18-560**.

On utilise les tamis de dimensions d'ouverture de maille de :

50 – 40 – 31,5 – 25 – 20 – 16 – 14 – 12,5 – 10 – 8 – 6,3 – 5 et 4 mm

Une série de tamis à fentes de largeur normalisées (grille). Constituées par des barres cylindriques parallèles fixées dans un châssis carré (**Figure II.9**).

Les écartements intérieurs des barres sont respectivement de :

31,5 – 25 – 20 – 16 – 14 – 12,5 – 10 – 8 – 6,3 – 5 – 4 – 3,15 et 2,5 mm



**Figure II.9:** Une grille à fonte.

✓ **Conduite de l'essai :**

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme **NF P 18-533**.

On opère, comme dans l'analyse granulométrique, avec un échantillon représentatif de matériaux de masse  $M$  qui doit être supérieure à  $0.2 D$  ( $M \geq 0.2 D$ ), avec :

**M** : la masse de l'échantillon exprimé en (kg).

**D** : le diamètre maximum des granulats exprimé en (mm).

Procéder au tamisage de l'échantillon sur tamis à mailles carrées par voie sèche sur les tamis en se conformant aux prescriptions de la norme **NF P 18 560**. Puis tamiser chaque classe granulaire obtenue par l'opération précédente sur une grille dont l'écartement entre les barres est défini par le tableau de correspondance ci-dessous

**Expression du coefficient d'aplatissement « A »**

Pour une classe granulaire  $d/D$  donnée, on peut définir un coefficient d'aplatissement partiel

$$A_i = \frac{R_i}{m_i} * 100$$

**Tableau II.7:** Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 3/8.

| Masse sèche de la prise d'essai $M_0 = 1943$ g |   | Passant au tamis de 4mm : 235 g    |                                      |
|--|---|------------------------------------|--------------------------------------|
| Granulat élémentaire $d_i/D_i$ (mm)            | Masse $R_i$ du granulat élémentaire $d_i/D_i$ (g) | Largeur de fente de la grille (mm) | Passant sur grille à fente $m_i$ (g) |
| 8/10   | 31  | 5                                  | 00                                   |
| 6.3/8  | 479   | 4                                  | 60                                   |
| 5/6.3  | 362   | 3.15                               | 39                                   |
| 4/5  | 827   | 2.5                                | 87                                   |
| $M_1 = \sum R_i$                               | 1699  | $M_2 = \sum m_i$                   | 186                                  |
| $A = \sum_{M_1}^{M_2} * 100 = 10,94\% = 11\%$  |   |                                    |                                      |

**Tableau II.8 :** Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 8/15.

| Masse sèche de la prise d'essai M0= 4162 g |  | Passant au tamis de 4mm : 168 g    |                                   |
|--|--|------------------------------------|-----------------------------------|
| Granulat élémentaire di/Di (mm)            | Masse Ri du granulat élémentaire di/Di (g) | Largeur de fente de la grille (mm) | Passant sur grille à fente mi (g) |
| 16/20                                      | 180  | 10                                 | 10                                |
| 12.5/16                                    | 716  | 8                                  | 94                                |
| 10/12.5                                    | 825  | 6.3                                | 114                               |
| 8/10                                       | 455  | 5                                  | 94                                |
| 6.3/8                                      | 892  | 4                                  | 128                               |
| 5/6.3                                      | 422  | 3.15                               | 51                                |
| 4/5  | 223  | 2.5                                | 22                                |
| $M1 = \sum Ri$                             | 4013                                       | $M2 = \sum mi$                     | 513                               |
| $A = \sum \frac{Mz}{M1} * 100 = 13\%$      |  |                                    |                                   |

**Tableau II.9:** Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 15/25.

| Masse sèche de la prise d'essai M0= 5449g        |  | Passant au tamis de 4mm : 08 g     |                                   |
|--|--|------------------------------------|-----------------------------------|
| Granulat élémentaire di/Di (mm)                  | Masse Ri du granulat élémentaire di/Di (g) | Largeur de fente de la grille (mm) | Passant sur grille à fente mi (g) |
| 25/31.5  | 46   | 16                                 | 00                                |
| 20/25  | 2630                                       | 12.5                               | 86                                |
| 16/20  | 2613                                       | 10                                 | 75                                |
| 12.5/16  | 140  | 08                                 | 08                                |
| 10/12.5  | 03   | 6.3                                | 00                                |
| 8/10   | 00   | 05                                 | 00                                |
| 6.3/8  | 00   | 04                                 | 00                                |
| 5/6.3  | 00   | 3.15                               | 00                                |
| 4/5  | 00   | 2.5                                | 00                                |
| M1=∑ Ri  | 5432                                       | M2=∑ mi                            | 169                               |
| $A = \sum \frac{m_i}{M_1} * 100 = 3.11\% = 03\%$ |  |                                    |                                   |

Les coefficients d'aplatissement des trois graviers (3/8, 8/15 et 15/25) sont inférieurs à 20 donc nos gravillons sont massifs de classe A. On peut les utiliser dans la fabrication des bétons.

#### Détermination de la teneur en eau des sables :

- **But de l'essai**

Mesurer la quantité d'eau dans les sables utilisés (sable concassé, sable de fonderie).

-Une masse (m) de matériau est placée dans une coupelle ou un bac propre et sec de masse connue (m1).

-La prise d'essai est son contenant sont pesés immédiatement (m2=m+m1). Puis ils sont introduits dans une étuve.

-Après le séchage (évaporation d'eau), la prise est repesé (m3).

Mh=m2-m1 : la masse humide de l'échantillon.

Mdsec=m3-m1 : la masse sèche de l'échantillon.

Mw=m2-m3

La teneur en eau :  $W = \frac{M_w}{M_d} * 100$  (%)

Les résultats sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

**Tableau II.10** : La teneur en eau W du sable 0/4.

| Essai  | Prise 01 | Prise 02 |
|--|----------|----------|
| N° de la tare                                | L        | T        |
| M1=masse de la tare (g)                      | 198.39   | 198.29   |
| M2=(échantillon humide + tare)<br>(g)        | 464.72   | 473.9    |
| Mh=m2-m1 (g)                                 | 266.33   | 275.61   |
| M3=(échantillon sec + tare) (g)              | 461.18   | 470.24   |
| Md sec = m3-m1 (g)                           | 262.79   | 471.95   |
| Mw= m2-m3 (g)                                | 3.54     | 3.66     |
| La teneur en eau $W = \frac{M_w * 100}{M_d}$ | 1.35     | 1.34     |
| Moyenne (%)                                  | 1.35     |          |

**Tableau II.11** : La teneur en eau W du sable de fonderie.

| Essai  | Prise 01 | Prise 02 |
|--|----------|----------|
| N° de la tare                                | A        | B        |
| M1=masse de la tare (g)                      | 256.55   | 249.77   |
| M2=(échantillon humide + tare)<br>(g)        | 530.00   | 570.00   |
| Mh=m2-m1 (g)                                 | 273.45   | 320.23   |
| M3=(échantillon sec + tare) (g)              | 629.45   | 569.36   |
| Md sec = m3-m1 (g)                           | 272.9    | 319.59   |
| Mw= m2-m3 (g)                                | 0.55     | 0.64     |
| La teneur en eau $W = \frac{M_w * 100}{M_d}$ | 0.2      | 0.2      |
| Moyenne (%)                                  | 0.2      |          |

### **Equivalent de sable :(NF P 18-598)[27]**

La détermination de l'ES s'effectue sur la fraction de sable passants au tamis à mailles carrés de 5 mm et compte globalement la qualité des éléments fins contenus dans cette fraction, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux et les éléments fins (argiles, impuretés...).

L'équivalent de sable s'exprime par:

- **ESP** : Equivalent de sable mesuré au piston (le sable est compacté dans l'éprouvette).
- **ESV** : Equivalent de sable mesuré a vue (les hauteurs mesurées directement par la règle).

#### **• Matériels utilisés**

- Prise d'essai correspondant à une masse sèche de  $120\text{g} \pm 1\text{g}$  de sable passant au tamis de 5mm.
- Eprouvettes graduées.
- Un tube laveur (tuyau souple, robinet).
- solution lavante.
- Une règle graduée.
- Un piston.
- Un chronomètre.
- Un agitateur électrique.

#### **• Préparation de l'échantillon pour essai**

L'échantillon pour laboratoire doit être préparé suivant les prescriptions de la norme **(NF P 18-553)**.

Sa masse doit être telle que la fraction passant au tamis de 5 mm pèse 500 à 700 g.

L'essai s'effectue sur un sable dont la masse sèche doit être égale à  $120\text{ g} \pm 1\text{ g}$ .

#### **• Exécution de l'essai**

##### **✓ Mise en place de l'essai**

La solution lavante ayant été introduite dans l'éprouvette cylindrique, jusqu'au trait de repère inférieur, la prise d'essai, correspondant à une masse sèche de  $120\text{g} \pm 1\text{g}$  de matériau, est versée soigneusement à l'aide d'un entonnoir, dans l'éprouvette posée verticalement.

Laisser reposer dix minutes (**Figure II.10**).

##### **✓ Agitation de l'éprouvette**

À la fin de cette période de dix minutes, boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon de caoutchouc, puis fixer l'éprouvette sur la machine d'agitation.

-Faire subir à l'éprouvette  $90\text{ cycles} \pm 1\text{ cycle}$  en  $30\text{ s} \pm 1\text{ s}$ .

Remettre l'éprouvette en position verticale sur la table d'essais.

-Lavage

-Enlever le bouchon et le rincer au-dessus de l'éprouvette avec la solution lavante.

-En descendant le tube laveur dans l'éprouvette, rincer les parois de l'éprouvette avec la solution lavante, puis enfoncer le tube jusqu'au fond de l'éprouvette.

-Faire remonter les éléments argileux, tout en maintenant l'éprouvette en position verticale en procédant de la manière suivante : l'éprouvette étant soumise à un lent mouvement de

rotation, remonter lentement et régulièrement le tube laveur. Lorsque le niveau du liquide atteint le trait de repère supérieur, relever le tube laveur, de façon à ce que le niveau du liquide se maintient à hauteur du trait de repère.

-Arrêter l'écoulement dès la sortie du tube laveur.

✓ **Mesures**

-Laisser reposer pendant  $20 \text{ min} \pm 10 \text{ s}$ .

-Au bout de ces 20 min, mesurer à l'aide d'une règle la hauteur  $h_1$  du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette.

-Mesurer également la hauteur  $h_2$  du niveau supérieur de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette.



**Figure II.10.:** Détermination de l'équivalent des sables.

Les résultats obtenus pour les deux sables utilisés sont mentionnés dans le tableau ci-dessous

**Tableau II.12 : Equivalent de sable de fonderie.**

|  |  |                        |
|--|--|------------------------|
| <b>La teneur en eau sous échantillon</b> | <b>0.20</b>                                      |                        |
| N°1 W (%)                                |  |                        |
| Si $f \leq 10\%$                         | $Mt = \frac{120 \times (100 + W)}{100} = 120.24$ |                        |
|  | La première éprouvette                           | La deuxième éprouvette |
| <b>La masse de l'éprouvette Mt (g)</b>   | 120.24   | 120.120                |
| <b>La hauteur du flocculat h1 (mm)</b>   | 11.2   | 11.7                   |
| <b>La hauteur du sédiment h2 (mm)</b>    | 9.4  | 9.1                    |
| <b>Rapport (h2/h1)*100</b>               | 83.93  | 77.77                  |
| <b>Equivalent de sable</b>               | 80.85%   |                        |

**ES ≥ 80** : Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faut rattraper par une augmentation du dosage en eau.

**Tableau II.13 : Equivalent de sable 0/4 MEZIANE EL MHIR**

|  |  |                     |
|--|--|---------------------|
| <b>La teneur en eau sous échantillon</b>                                   | <b>1.35</b>  |                     |
| N°1 W (%)  |  |                     |
| <b>Masse humide de la deuxième prise d'essai M1 (g)</b>                    | 780.52   |                     |
| <b>Masse sèche de la deuxième prise d'essai après lavage à 0.063mm (g)</b> | 596.30   |                     |
| <b>Teneur en fine (<math>f = 100 - \frac{(100+W)}{M1}</math>) (%)</b>      | 22.57  |                     |
| Si $f > 10\%$  | $Mt = M3 + M4 = 120.72$                                      |                     |
| <b>M3 : masse granulat humide deuxième sous échantillon</b>                | $M3 = \frac{1200}{f} \left(1 + \frac{W}{100}\right) = 53.89$ |                     |
| <b>M4 : masse de sable correcteur sec</b>                                  | $M4 = 120 - \frac{1200}{f} = 66.83$                          |                     |
|  | Première éprouvette  | Deuxième éprouvette |

|  |        |        |
|--|--------|--------|
| <b>La masse de l'éprouvette Mt (g)</b> | 120.72 | 120.72 |
| <b>La hauteur du flocculat h1 (mm)</b> | 10.1   | 10.1   |
| <b>La hauteur du sédiment h2 (mm)</b>  | 7.7    | 7.5    |
| <b>Rapport (h2/h1)*100</b>             | 74.24  | 74.26  |
| <b>Moyenne</b>                         | 75%    |        |

$70 \leq ES < 80$  : Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

### Essai au bleu de méthylène (Essai à la tache) NF P 18-592 [26, 27]

- **Définition et but de l'essai :**

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins d'un sable à adsorber du bleu de méthylène.

Le bleu de méthylène étant adsorbé préférentiellement par les argiles, cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments. On appelle valeur au bleu des fines, la quantité de bleu de méthylène adsorbée par une quantité de fines.

- **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à fixer sur les grains d'argile des molécules de bleu de méthylène et par un test simple, on évalue la quantité de bleu fixé. On injecte successivement des doses élémentaires d'une solution de bleu de méthylènes dans un bain aqueux contenant la prise d'essai.

On contrôle la capacité d'adsorption du bleu après chaque ajout en effectuant une tache sur un papier filtre (teste à la tache).

- **Conduite de l'essai :**

- ✓ **Préparation de la solution du bleu de méthylène a 10g/l**

Préparer la solution de bleu de méthylène en mélangeant, à raison de 10g de poudre de bleu de méthylène par litre de solution, des cristaux de bleu de méthylène a de l'eau distillée.

- ✓ **Préparation de l'échantillon :**

L'essai est effectué sur la fraction granulométrique 0/2 mm du matériau; Celle-ci donne l'essentielle de la réaction au bleu de méthylène.

- ✓ **Mise en place de la prise d'essai :**

On prépare 200g de la fraction 0/2 mm du sable sec que l'on met à tremper dans un bûcher de 100 ml d'eau déminéralisée. Le tout est maintenu en agitation permanente au moyen de l'agitateur pendant 3 min, à 400 tr/min (**Figure II.11**).



**Figure II.11:** Essai au bleu de méthylène.

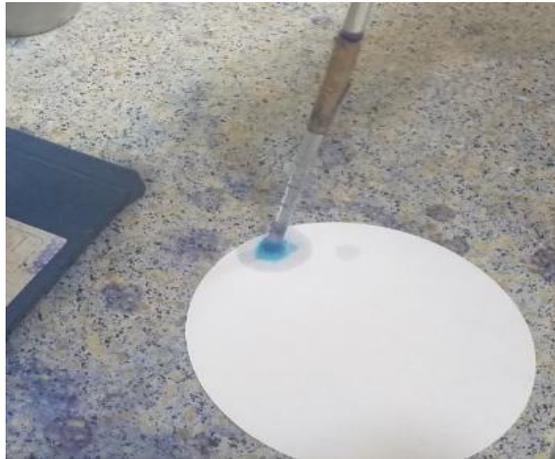
✓ **Test de la tache :**

Il consiste à injecter successivement des doses bien déterminées de bleu de méthylène dans la suspension du sable jusqu'à atteindre la saturation des particules d'argile. Et le test de la tache permet de repérer l'instant de saturation.

Pour cela, on prélève une goutte de liquide dans le bêcher contenant le sable imbibé de bleu, et on dépose celle-ci sur le papier filtre (**Figure II.12**).

Deux cas possibles :

- La goutte centrale bleue est entourée d'une zone humide (auréole) incolore : **Le test est négatif.**
- La goutte centrale bleue est entourée d'une zone humide (auréole) teintée de bleu : **Le test est positif.**



**Figure II.12.:** Premier prélèvement de la goutte.

✓ **Dosage :**

A l'aide de la burette, on injecte dans le récipient une dose de  $2\text{cm}^3$  de solution de bleu de méthylène, cette addition étant suivie du test de la tache sur le papier filtre.

On procède ainsi jusqu'à ce que le test devienne positif. A ce moment, on laisse s'opérer l'adsorption du bleu tout en effectuant des tests de minute en minute.

• **Expression des résultats :**

La valeur de bleu du sable est donnée par la formule :  $MB = \frac{V}{M} * 10$

Avec :

V : volume de solution de bleu utilisée jusqu'à obtention du test positif (en cm<sup>3</sup>).

M : masse sèche de la prise d'essai (en g).

- **Résultats de l'essai :**

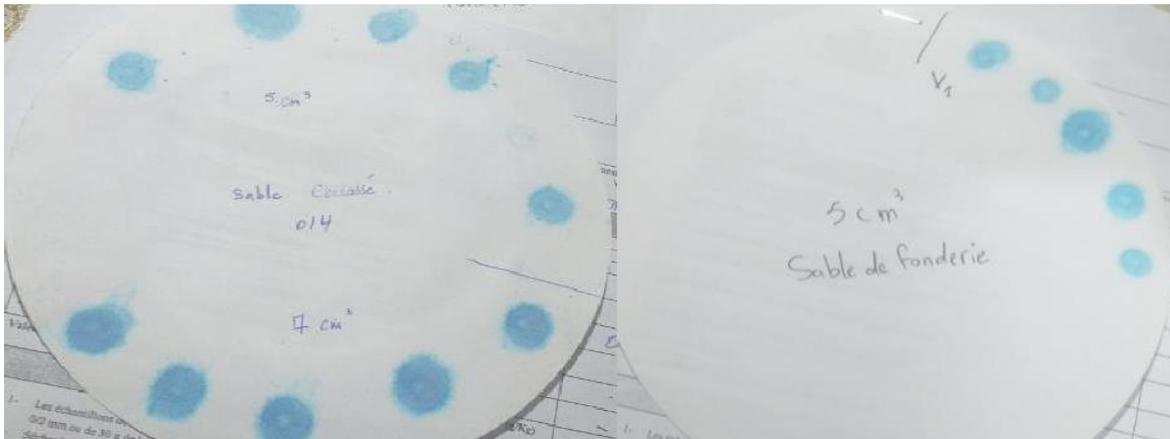
**Tableau II.14:** La valeur au bleu du sable 0/4

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Volume du bleu introduit V<sub>total</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>                                      | <b>07</b> |
| <b>La valeur en bleu des sables de fraction</b><br><b>0/2 <math>MB = \frac{V}{M} * 10</math> (g/kg)</b> | 0.35      |

**Tableau II.15:** La valeur au bleu du sable de fonderie

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Volume du bleu introduit V<sub>total</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>                                      | <b>05</b> |
| <b>La valeur en bleu des sables de fraction</b><br><b>0/2 <math>MB = \frac{V}{M} * 10</math> (g/kg)</b> | 0.25      |

Pour les deux sables MB<01 donc ce sont des sables non argileux, mais la fraction 0/2 de sable de fonderie est plus propre que celle de sable 0/4.



**Figure II.13.:** Résultats de bleu de Méthylène pour les deux sables

### Détermination des masses volumiques NF P 18 – 555

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps.

Comme on distingue le volume absolu et le volume apparent, il faut distinguer de même :

Masse volumique absolue.

Masse volumique apparente.

- **Principe de la détermination**

Il suffit de déterminer le volume (absolu ou apparent) occupé par une certaine masse du corps étudié.

### Détermination de la masse volumique absolue $\rho_a$ [27]

#### ✓ Définition

Le volume absolu du corps est généralement déterminé en mesurant le volume d'un liquide que déplace l'introduction de ce corps.

La masse volumique absolue  $\rho_a$  est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides existant dans ou entre les grains.

#### ▪ Méthode de la mesure au pycnomètre pour les sables : NF P 18-555

#### ✓ Equipement nécessaire

Le pycnomètre est un petit ballon d'environ 50 à 100 cm<sup>3</sup>, fermé dans sa partie haute par un bouchon bien rodé, ce qui permet d'isoler un volume d'eau caractéristique à l'appareil, identique à chaque utilisation (**Figure II.14**).



**Figure II.14:** Pycnomètre

#### ✓ Préparation de la prise de l'essai

Les granulats doivent être échantillonnés conformément à l'**EN 932-1**, puis réduits conformément à l'**EN 932-2**. La masse de la prise d'essai de granulats doit être supérieure ou égale à 1 Kg. Laver la prise d'essai sur un tamis de 4 mm et de 0.063 mm afin d'éliminer les grains les plus fins.

**M1** : Masse des granulats saturés et séchés

**M2** : Masse du pycnomètre remplie des granulats saturés

**M3** : Masse du pycnomètre remplie d'eau seulement

**M4** : Masse de la prise d'essai séchée à l'étuve



Figure II.15: Détermination de la masse volumique absolue.

Tableau II.16 : La masse volumique absolue des sables.

| Sables   | 0/4           | Fonderie      |
|--|---------------|---------------|
| La masse volumique de l'eau à la température enregistrée | 0.9980 (21°C) | 0.9968 (26°C) |
| M1 (g)   | 808.07        | 568.88        |
| M2 (g)   | 1316.62       | 1143.82       |
| M3 (g)   | 808.44        | 807.77        |
| M4 (g)   | 802.84        | 564.52        |
| Masse volumique absolue (T/m <sup>3</sup> )              | 2.719         | 2.46          |
| Coefficient d'absorption d'eau<br>WA=100*(M1-M4) /M4 (%) | 0.651         | 0.77          |

▪ **Détermination de la masse volumique absolue pour les graviers : NF P 18-554**

✓ **Matériau soumis à l'essai**

L'échantillon pour essai doit être préparé suivant les prescriptions de la norme de l'échantillonnage.



Figure II.16.: Echantillon émergé dans l'eau

Tableau II.17 : Résultats des masses volumiques absolues des graviers.

| Graviers   | 3/8     | 8/15    | 15/25   |
|--|---------|---------|---------|
| La masse volumique de l'eau à la température enregistrée 21.6° | 0.9978  | 0.9978  | 0.9978  |
| M1 (g)   | 1228.78 | 1342.32 | 1436.19 |
| M2 (g)   | 4088.82 | 4161.61 | 4223.85 |
| M3 (g)   | 3310.8  | 3310.8  | 3310.8  |
| M4 (g)   | 1214.14 | 1325.02 | 1422.62 |
| Masse volumique absolue (T/m <sup>3</sup> )                    | 2.78    | 2.79    | 2.79    |
| Coefficient d'absorption d'eau<br>WA=100*(M1-M4) /M4 (%)       | 1.21    | 1.31    | 0.95    |

#### Détermination de la masse volumique apparente pb[25]

On appelle masse volumique apparente, la masse de l'unité de volume du matériau en vrac, c'est-à-dire vide compris.

##### ✓ Matériels Utilisés

- Un récipient.
- Une règle à araser.
- Une balance.



Figure II.17.: Masse volumique en vrac

✓ **Conduite de l'essai**

- On pèse d'abord le récipient vide (M1) pour éliminer son poids propre, dans la balance.
- On prend une quantité du matériau, pour faire l'échantillonnage.
- On met le matériau échantillonné dans les mains formant un entonnoir.
- On laisse le matériau couler dans le récipient afin d'avoir un débordement.



**Figure II.18.:** Coulage du matériau.

- On arase le surplus du matériau à l'aide d'une règle à araser.
  - On pèse le récipient rempli. Soit M2 la masse de l'ensemble.
- L'opération doit être effectuée trois fois pour chaque échantillon.

Telle que :  $\rho_r = (M2 - M1) / V_r$  avec :

**M1** : la masse du récipient vide

**M2**: la masse du récipient plein.

**Vr**: volume du récipient.

**Tableau II.18 :** Les masse volumique en vrac des granulats

| Matériaux                | N° D'échantillon | M1   | M2    | Volume du récipient | $\rho_b = (M2 - M1) / V_r$ | $\rho_b$ moyenne |
|--------------------------|------------------|------|-------|---------------------|----------------------------|------------------|
| <b>Sable 0/4</b>         | 1                | 1275 | 3113  | 1036.19             | 1.774                      | <b>1.764</b>     |
|                          | 2                | 1275 | 3104  | 1036.19             | 1.765                      |                  |
|                          | 3                | 1275 | 3092  | 1036.19             | 1.754                      |                  |
| <b>Sable de fonderie</b> | 1                | 1275 | 2716  | 1036.19             | 1.39                       | <b>1.389</b>     |
|                          | 2                | 1275 | 2714  | 1036.19             | 1.389                      |                  |
|                          | 3                | 1275 | 2712  | 1036.19             | 1.387                      |                  |
| <b>Gravier 3/8</b>       | 1                | 3637 | 11422 | 5277.09             | 1.475                      | <b>1.497</b>     |
|                          | 2                | 3637 | 11602 | 5277.09             | 1.509                      |                  |
|                          | 3                | 3637 | 11590 | 5277.09             | 1.507                      |                  |
| <b>Gravier</b>           | 1                | 3637 | 11594 | 5277.09             | 1.508                      |                  |

|                          |   |        |       |          |       |              |
|--------------------------|---|--------|-------|----------|-------|--------------|
| <b>8/15</b>              | 2 | 3637   | 11556 | 5277.09  | 1.500 | <b>1.506</b> |
|                          | 3 | 3637   | 11611 | 5277.09  | 1.511 |              |
| <b>Gravier<br/>15/25</b> | 1 | 5704.9 | 21080 | 10498.49 | 1.465 | <b>1.466</b> |
|                          | 2 | 5704.9 | 21128 | 10498.49 | 1.469 |              |
|                          | 3 | 5704.9 | 21090 | 10498.49 | 1.465 |              |

### Essai de résistance à l'usure et au choc[25, 27]

#### ✓ But des essais

Lors de la fabrication d'un béton, le malaxage est source de frottements intenses entre grains.

Si ces derniers ne sont pas assez résistants, ils peuvent se casser en produisant des sables ou des éléments fins. Il est donc nécessaire de procéder à des essais de résistance au choc et à l'usure, afin que les granulats puissent répondre aux spécifications de fabrication des bétons et aussi aux impératifs de pérennité des chaussées.

#### Essai Micro – Deval (NF P 18-572)

#### ✓ Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer dans des conditions normalisées, l'usure des granulats produite par frottements mutuels, en présence d'eau et d'une charge abrasive dans un cylindre en rotation.

La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les trois classes granulaires : 4 à 6.3mm ; 6.3 à 10mm ; 10 à 14mm de la granularité du matériau tel qu'il sera mis en œuvre.

Si (**M**) est la masse du matériau soumis à l'essai, (**m**) la masse des éléments inférieurs à 1.6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à l'usure s'exprime par la quantité :  $\frac{m}{M} \times 100$

Par définition, cette quantité sans dimension est appelée, suivant la méthode employée : coefficient Micro-Deval en présence d'Eau tel que :  $MDE = \frac{m}{M} \times 100$

#### ✓ Matériel utilisé

L'appareil Micro-Deval comporte 1 à 4 cylindres d'essai en acier ; ils sont entraînés en rotation par l'intermédiaire de deux arbres horizontaux. Chaque cylindrer permet d'effectuer l'essai (**Figure II.19**).

-La charge abrasive est constituée par des billes sphériques en acier.

-Un moteur doit assurer aux cylindres une vitesse de rotation régulière de  $100 \pm 5$  tours/min.

-Un jeu de tamis de 1,6 - 4 - 6,3 - 10 et 14 mm



**Figure II.19.:** Appareil de Micro-Deval

✓ **Matériau soumis à l'essai**

Pour effectuer un essai en présence de l'eau :

- Tamiser l'échantillon sur les tamis de la classe granulaire choisie (10/14)
- La masse de l'échantillon pour essai sera  $500g \pm 2g$ .

✓ **Exécution de l'essai**

- Introduire dans le cylindre d'essai, disposé d'une ouverture vers le haut, la charge abrasive, les 500 g du matériau préparé.
- La charge abrasive est fixée conformément aux indications du tableau suivant :

**Tableau II.19 :** Charge abrasive correspondant à chaque classe granulaire.

| Classe granulaire (mm) | Charge abrasive (g) |
|------------------------|---------------------|
| 4 à 6.3                | 2000±5              |
| 4 à 8                  | 2800±5              |
| 6,3 à 10               | 4000±5              |
| 8 à 11.2               | 4400±5              |
| 11.2 à 16              | 5400±5              |

- Après la préparation du matériau on introduit les échantillons dans les cylindres avec 2.5 L d'eau dans Chaque cylindre.
- On ferme les cylindres avec les couvercles, puis on met les cylindres dans l'appareil et on met la machine on marche avec une vitesse de  $100 \pm 5$  tours /min et pendant 2 heures.
- Après essai, on ouvre le cylindre en élevant leur couvercle puis à l'aide d'un bac on récupère le contenu de cylindre.
- Laver soigneusement à la pissette l'intérieur du cylindre en recueillant l'eau et les parties minérales entraînées.
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis 1,6 mm
- Laver l'ensemble sous un jet d'eau et retirer la charge abrasive, procéder en plusieurs fois pour faciliter l'opération.
- Sécher le refus à 1.6 mm à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante.
- Peser ce refus au gramme près, soit  $m'$  le résultat de la pesée.

• **Expression des résultats**

Le coefficient micro-Deval est par définition le rapport :  $MDE = \frac{500-m}{5}$

**Tableau II.20** : Résultats obtenu pour le gravier 10/14

| Essai  | Prise 01 | Prise 02 |
|--|----------|----------|
| Masse de la fraction refusée au tamis 1.6 mm (m) | 433      | 439      |
| MDE = (500-m)/5                                  | 13.4     | 12.2     |
| Moyenne de MDE                                   | 13%      |          |

MDE =13 < 20, Donc ce gravier (10/14) est classé en catégorie A [26]

**Essai los Angeles (NF P 18-573)**

• **Principe de l'essai**

L'essai consiste à mesurer la quantité inférieure à 1.6 mm en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations pendant 15 minutes.

La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les 6 classes granulaires :

4-6,3 mm, 6,3-10 mm, 10-14 mm, 10-25 mm, 16-31.5 mm, 25-50 mm

-La classe 10/25 mm doit contenir 60% de 10-16 mm

-La classe 16/31,5 mm doit contenir 40% de 16-25 mm

-La classe 25/50 mm doit contenir 60% de 25-40 mm

**Tableau II.21** : Charge des boulets correspondants à chaque classe granulaire

| Classe granulaire (mm) | Nombre de boulets | Masse de la charge de boulets (g) |
|------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| 10/14                  | 11                | 4690 à 4860                       |
| 4 à 8                  | 8                 | 3410 à 3540                       |
| 6.6 à 10               | 9                 | 3840 à 3980                       |
| 8 à 11.2               | 10                | 4260 à 4420                       |
| 11.2 à 16              | 12                | 5120 à 5300                       |
| 31.5/50                | 12                | 5120 à 5300                       |

La résistance à la fragmentation par chocs s'exprime par la quantité :

$$LA = \frac{5000-m}{50}$$

Avec : **m** : masse de refus au tamis 1.6 mm

• **Matériels utilisés**

-La machine Los Angeles comporte (**Figure II.20**):

-Un cylindre creux en acier de 12 mm ± 0.5 mm d'épaisseur, fermé à ses deux extrémités, ayant un diamètre inférieur à 711 mm ± 2 mm et une longueur inférieure à 508 mm.

- Le cylindre est supporté par deux axes horizontaux fixés à ses deux parois latérales, mais ne pénétrant pas à l'intérieur du cylindre.

-Une ouverture de 150 mm de largeur, sur toute la longueur du cylindre permet d'introduire l'échantillon.



**Figure II.20:** Appareil de Los Angeles.

- **Charge de boulets :**

- La charge est constituée par des boulets sphériques de  $47 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  de diamètre et pesant entre 420 et 445 g en acier.
- Un moteur assurant au tambour de la machine une vitesse de rotation régulière comprise entre 30 et 33 tours/minute.
- Un bac destiné à recueillir les matériaux après essai.
- Un compte tours de type rotatif, arrêtant automatiquement le moteur au nombre de tours voulu.
- Un jeu de tamis de diamètres convenables.

- **Préparation de l'échantillon pour l'essai**

Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie (10 /14), en commençant par le tamis le plus grand. Laver le matériau tamisé et le sécher à l'étuve à  $105^{\circ}\text{C}$  jusqu'à masse constante.

La masse de L'échantillon est de  $5000 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$ .

- **Exécution de l'essai**

- Introduire avec précaution la charge de boulets correspondant à la classe granulaire choisie, puis l'échantillon pour essai.
- Placer le couvercle.
- Effectuer à la machine 500 rotations à une vitesse régulière comprise entre 30 tr/mn et 33 tr/mn.
- Recueillir le matériau dans un bac placé sous l'appareil, en ayant soin d'amener l'ouverture juste au-dessus de ce bac, afin d'éviter les pertes de matériau.



**Figure II.21:** Matériau récupérer après l'essai.

- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6 mm, le matériau étant pris en plusieurs fois afin de faciliter l'opération.
- Laver le refus au tamis de 1.6 mm
- Egoutter et sécher à l'étuve à 105°C.
- Peser ce refus une fois séché. Soit (m) le résultat de la pesée.

**Tableau II.22 :** Résultats obtenue de Los Angeles pour le gravier 10/14

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Masse de refus au tamis 1.6 mm (m) (g)</b> | <b>4013</b> |
| <b>LA = (5000-m)/50</b>                       | <b>20</b>   |

LA=20<30 ==> le granulats est classé en catégorie A du point de vue résistance au choc [26]

### **Fiches techniques :**

#### **Ciment :**

Le ciment utilisé est le CEM II 42,5 de l'unité de Ain Kbir, (Sétif), ses caractéristiques sont données dans l'annexe « B ».

#### **Adjuvant :**

L'adjuvant utilisé dans notre mémoire est OPTIMA 208 A, ses propriétés sont données dans l'annexe « B ».

#### **Eau :**

L'eau utilisé est l'eau de robinet de la ville de Bejaia, ses caractéristiques sont données dans l'annexe « B ».

**Conclusion :**

On a réalisé dans ce chapitre les différents essais de caractérisations et d'identifications selon des normes des différents matériaux entrant dans la composition des bétons et mortiers.

---

*Chapitre III :*

*Formulation des bétons et  
mortiers et essais réalisés*

---

### **Introduction :**

La formulation d'un mortier ou un béton consiste à définir le mélange optimal des différents composants dont on dispose afin de réaliser un mortier ou un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la réalisation d'un ouvrage résistant avec une durabilité accrue.

Il existe plusieurs méthodes (Bolomey, Faury, Joise...etc), chacune de ces méthodes réside sur sa propre courbe de référence.

Dans ce chapitre on utilisera la méthode de DREUX GORISSE, c'est la méthode la plus utilisée actuellement, la plus simple et pratique.

### **Formulation des bétons :**

#### **Méthode Dreux-Gorisse [28] :**

Cette méthode à l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantier, et ayant données satisfaction. Elle est d'autre part rapide et très simple d'utilisation puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés. Et c'est une méthode adapté aux bétons plastiques.

- **Détermination de la composition du béton pour les granulats de la carrière de MEZIANE EL MHIR.**

Sur le graphique semi-logarithmique, on trace les courbes granulométriques des granulats 0/4, 3/8, 8/15 et 15/25.

- **Tracé de la courbe granulaire de référence**

La composition granulométrique optimale est représentée par une ligne brisée OAB, cette courbe nous permet de déterminer les différents pourcentages (%) des entrants dans la composition du béton.

- **Coordonnées des points O, A et B :**

- Le point d'origine **O**:

- Abscisse : **XO** = 0 mm
- Ordonnée : **YO** = 0%

- Le point d'extrémité **B**:

A l'ordonnée 100% correspond à la dimension D du plus gros granulats.

- Abscisse : **XB** = D = 25 mm
- Ordonnée : **YB** = 100%

- Le point A:(point de brisure), a des coordonnées ainsi définies:

- En abscisse :

Si  $D \leq 20$  mm, l'abscisse  $X_A = D/2$

Si  $D > 20$  mm, l'abscisse  $X_A$  est située au milieu du segment délimité par D et le tamis de maille 5 mm

➤ Dans notre cas :  $D > 20$ mm ( $D = 25$ mm)

Alors l'abscisse du point A est située au milieu du segment délimité par 25mm et par le tamis 5mm ; donc entre les tamis de mailles 10mm et 12.5mm.

$XA = 41.5$

- Ordonnée :

$$YA = 50 - \sqrt{D + K + K_s}$$

K : un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage et de la forme des granulats roulés ou concassés.

**Tableau III.1 : Valeur de K**

| Vibrations                                    |                           | faibles |          | Normales |          | puissantes |          |
|---|---------------------------|---------|----------|----------|----------|------------|----------|
|   |                           | roulé   | concassé | roulé    | concassé | roulé      | Concassé |
| Forme des granulats (du sable en particulier) |                           |         |          |          |          |            |          |
| Dosage en ciment                              | 400+<br>Super-plastifiant | -2      | 0        | -4       | -2       | -6         | -4       |
|   | 400                       | 0       | +2       | -2       | 0        | -4         | -2       |
|   | 350                       | +2      | +4       | 0        | +2       | -2         | 0        |
|   | 300                       | +4      | +6       | +2       | +4       | 0          | +2       |
|   | 250                       | +6      | +8       | +4       | +6       | +2         | +4       |
|   | 200                       | +8      | +10      | +6       | +8       | +4         | +6       |

Sachant que le dosage en ciment est de  $350 \text{ Kg/m}^3$  et que notre sable est concassé et choisissant une vibration normale, donc d'après le tableau :  $K = +2$

$K_s$  : correction supplémentaire.

$$K_s = 6 \text{ MF} - 15$$

$$K_s = 6 \times 2.88 - 15 = 2.28$$

$$YA = 50 - \sqrt{25 + 2 + 2.28} = 50\%$$

$$G1 \text{ (pourcentage des graviers } 15/25) = 25\%$$

$$G2 \text{ (pourcentage des graviers } 8/15) = 27\%$$

$$G3 \text{ (pourcentage des graviers } 3/8) = 11\%$$

$$S \text{ (pourcentage du sable } 0/4) = 37\%$$

$$G1 + G2 + G3 + S = 100\%$$

- **Trace de la courbe du mélange des granulats**

Les valeurs des tamisât en % de la courbe de mélange, sont calculées à partir des analyses granulométriques des granulats et des pourcentages de ces derniers, obtenus précédemment.

Ces valeurs des tamisât sont données par le tableau suivant :

**Tableau III.2** : Les valeurs des tamisât (%) de la courbe de mélange

| Tamis (mm) | Tamisât (%)<br>S (0/4) | Tamisât (%)<br>G3 (3/8) | Tamisât (%)<br>G2 (8/15) | Tamisât (%)<br>G1 (15/25) | Mélange<br>0.37S +0.25 G1+0.27<br>G2 + 0.11G3 |
|------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---|
| 31.5       | 100                    | 100                     | 100                      | 100                       | 100   |
| 25         | 100                    | 100                     | 100                      | 99                        | 99.75   |
| 20         | 100                    | 100                     | 100                      | 57                        | 89.25   |
| 16         | 100                    | 100                     | 97                       | 05                        | 75.44   |
| 14         | 100                    | 100                     | 85                       | 01                        | 71.20   |
| 10         | 100                    | 100                     | 59                       | 01                        | 64.18   |
| 8          | 100                    | 99                      | 40                       | 01                        | 58.94   |
| 6.3        | 100                    | 74                      | 19                       | 01                        | 50.52   |
| 4          | 94                     | 12                      | 05                       | 00                        | 37.45   |
| 2          | 70                     | 04                      | 03                       | 00                        | 27.15   |
| 1          | 54                     | 03                      | 03                       | 00                        | 21.12   |
| 0.5        | 40                     | 03                      | 02                       | 00                        | 15.67   |
| 0.315      | 34                     | 03                      | 02                       | 00                        | 13.45   |
| 0.25       | 31                     | 03                      | 02                       | 00                        | 12.34   |
| 0.125      | 23                     | 03                      | 02                       | 00                        | 9.38  |
| 0.063      | 16                     | 02                      | 01                       | 0.5                       | 6.36  |

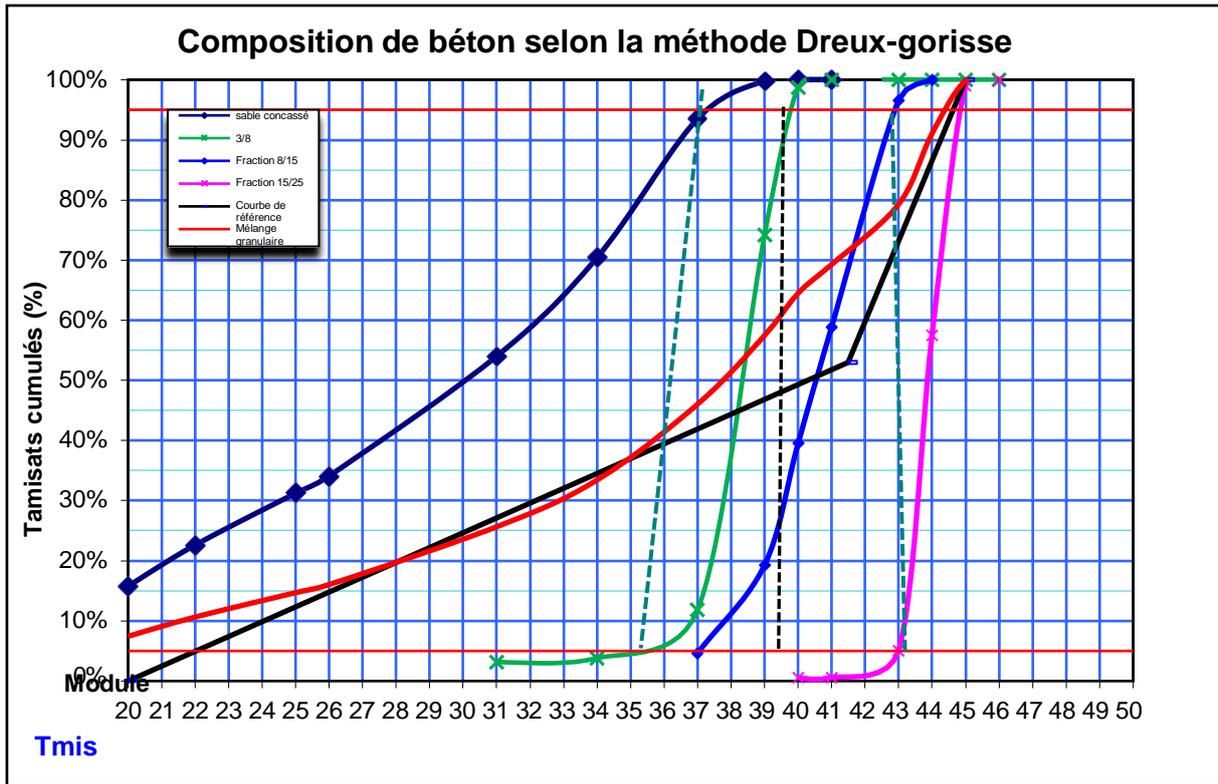


Figure III.1: Courbe de mélange selon Dreux-Gorisse

**Dosage en ciment :**

Le dosage en ciment le plus courant pour un béton de qualité est généralement de 350 Kg/m<sup>3</sup>. Nous allons donc, adopter cette valeur afin que nos résultats couvrent les cas les plus courants de la pratique.

**Dosage en eau :**

Connaissant le dosage en ciment (C=350 Kg/m<sup>3</sup>), et fixant un rapport d'eau sur ciment égal à 0.55 (E /C=0.55), cela revient à la teneur en fine élevée pour le sable concassé. Déterminer la quantité d'eau à utiliser pour 1m<sup>3</sup> de béton.

On a :  $E/C=0.55$

Donc :  $E=192.6 \text{ Kg/m}^3$ .

**Dosage des granulats :**

- Calcul du coefficient de compacité ( $\gamma$ )

**Définition:**

Le coefficient de compacité  $\gamma$  est le rapport d'un mètre cube du volume absolu des matières solides (ciment et granulats) réellement contenues dans un mètre cube de béton frais.

$$\gamma = V_m / 1000$$

Avec :

- $V_m$  : volume absolu des matières solides.
- $V_m = V_G + V_S + V_C$  (litres).
- $V_G$  : volume des gravillons.
- $V_S$  : volume du sable.
- $V_C$  : volume du ciment.

Les valeurs du coefficient de compacité ( $\gamma$ ) sont données dans le tableau de l'annexe « C »

D'après ce dernier tableau, on détermine  $\gamma$  comme suit :

Pour  $D=20$  mm  $\Rightarrow \gamma=0.825$

Pour  $D=25$  mm  $\Rightarrow \gamma= ?$

Pour  $D=31,5$  mm  $\Rightarrow \gamma=0.830$

Et ça, pour une consistance plastique et un serrage de vibration normale.

Donc, on aura  $\gamma=0.827$  Pour  $D=25$  mm.

- **Volumes absolus des constituants solides**

- Volume total absolu =  $1000 \times \gamma = 797$  litres

- Volume absolu du ciment =  $350/3.1=113$  litres (la valeur moyenne spécifique des grains de ciment est 3.1)

- Volume absolu des quatre (04) granulats est :  $797-113 = 684$  litres

Alors les volumes absolus des constituants sont les suivants :

-Volume absolu du sable 0/4.....  $684 \times 0.37 = 253.08$  litres

-Volume absolu du gravier 3/8.....  $684 \times 0.11 = 75.24$  litres

-Volume absolu du gravier 8/15.....  $684 \times 0.27 = 184.68$  litres

-Volume absolu du gravier 15/25.....  $684 \times 0.25 = 171$  litres

-Volume absolu du ciment ..... 113.00 litres.

Total=797 litres.

- **Dosage des granulats et de ciment ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )**

On obtient ces dosages, en multipliant le volume absolu de chaque granulat par sa masse volumique absolue ( $\rho_s$ ).

-Sable 0/4.....  $253.08 \times 2.72 = 688.38$   $\text{Kg}/\text{m}^3$

-Gravier 3/8.....  $75.24 \times 2.78 = 209.16$   $\text{Kg}/\text{m}^3$

-Gravier 8/15.....  $184.68 \times 2.79 = 515.26$   $\text{Kg}/\text{m}^3$

-Gravier 15/25.....  $171 \times 2.79 = 477.09$   $\text{Kg}/\text{m}^3$

-Ciment.....  $113.00 \times 3.10 = 350$   $\text{Kg}/\text{m}^3$

➤ **Influence du rapport G/S**

Pour garantir une bonne résistance du béton, Dreux recommande d'avoir un rapport en masse G/S (Gravier/Sable) voisin de 2

- **Calcul de G/S:**

$G/S = (209.16+515.26+477.09) / 688.38 = 1.75$

**Confection des éprouvettes :**

- **Dimension des moules (NF P18-400) :**

Les dimensions des moules doivent être choisis en fonction du diamètre maximal des granulats (D) entrant dans la composition du béton. Pour notre étude, on utilisera des moules cubiques de  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$  (Figure III.2).



**Figure III.2:** Les moules 15×15×15 cm<sup>3</sup>

- **Gâchée d'essai**

La gâchée exécutée au laboratoire, doit permettre d'obtenir un volume de béton frais excédant celui des éprouvettes.

Les constituants sont introduits dans la cuve dans l'ordre suivant : Gravillons, sable de fonderie, ciment et enfin eau.

L'eau de gâchage doit être rajoutée après un malaxage à sec de l'ordre de 1 min ; le malaxage est alors poursuivi pendant 2 min.

- **Remarque**

Dans notre étude, on compte réaliser des bétons plastiques avec un affaissement voisin de 8 cm. Sachant qu'on a besoin pour chaque gâchée d'essai de :

- Remplir 6 moules cubiques de 15×15 cm<sup>2</sup>
- Remplir le cône d'Abrams.

Donc le volume à réaliser :

$$V = (6 \times 15 \times 15 \times 15) + (3.14 \times 8 \times 8 \times 32)$$

$$V = 26.7 \text{ l}$$

On prend **V= 28Littres**

La masse de chaque composant est de :

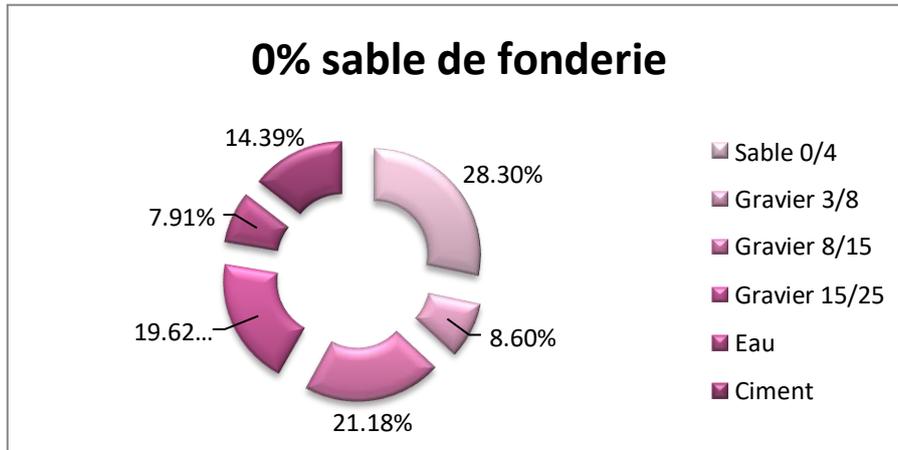
- Eau.....(192.5×28)/1000= 5.39l
- Ciment ..... (350×28)/1000=9.8Kg
- Sable 0/4... ..... (688.38×28)/1000= 19.27Kg
- Gravier 3/8... .....(209.16×28)/1000= 5.86Kg
- Gravier 8/15... .....(515.26×28)/1000= 14.43Kg
- Gravier 15/25... .....(477.09×09)/1000=13.36Kg

- **Masse en fonction de l'ajout de sable de fonderie :**

Connaissant la masse du sable du béton témoin (avec 0% de sable de fonderie) nécessaire pour 28Littres, on peut déterminer la masse de sable et les masses de déchet de sable de fonderie aux différents pourcentages.

- **0% de sable de fonderie :**

Poids de sable :  $P_s = 19.27\text{Kg}$  ce qui donne :  $P_{sf} = 0\text{Kg}$

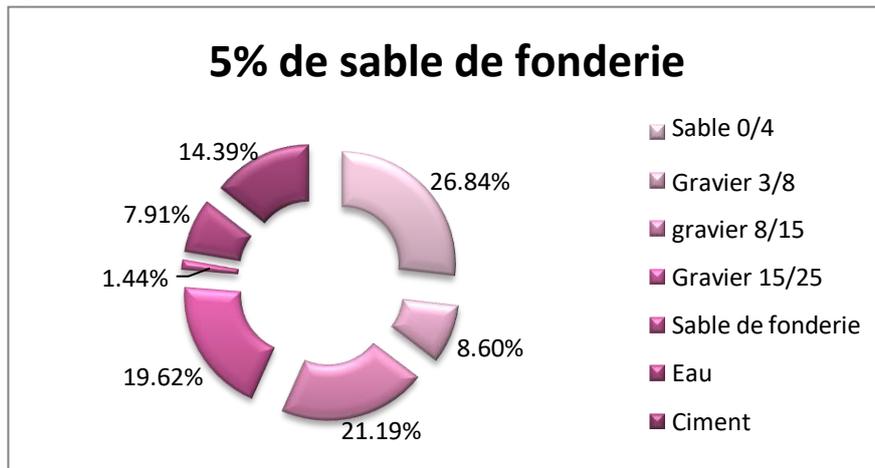


**Figure III.3 :** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du béton témoin.

- **5% de sable de fonderie :**

$P_{total} = (P_s + P_{sf}) = 19.27\text{Kg}$ .

$P_{sf} \rightarrow 5\% = 1\text{Kg}$

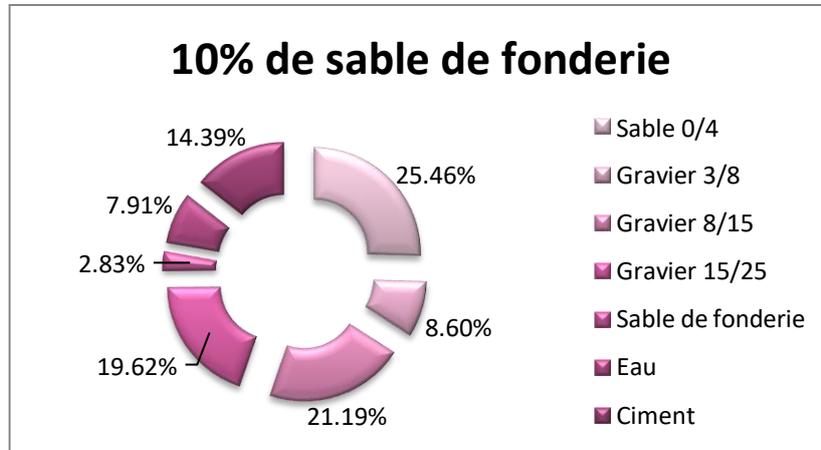


**Figure III.4 :** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du béton avec 5% de sable de fonderie.

- **10% de sable de fonderie :**

$$P_{total} = (P_s + P_{sf}) = 19.27 \text{Kg.}$$

$$P_{sf} \rightarrow 10\% = 1.93 \text{Kg}$$

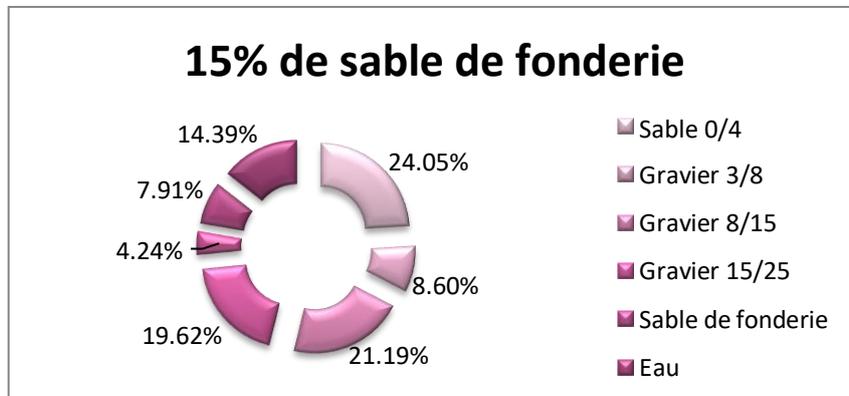


**Figure III.5 :** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du béton avec 10% de sable de fonderie.

- **15% de sable de fonderie :**

$$P_{total} = (P_s + P_{sf}) = 19.27 \text{Kg.}$$

$$P_{sf} \rightarrow 15\% = 2.89 \text{Kg}$$

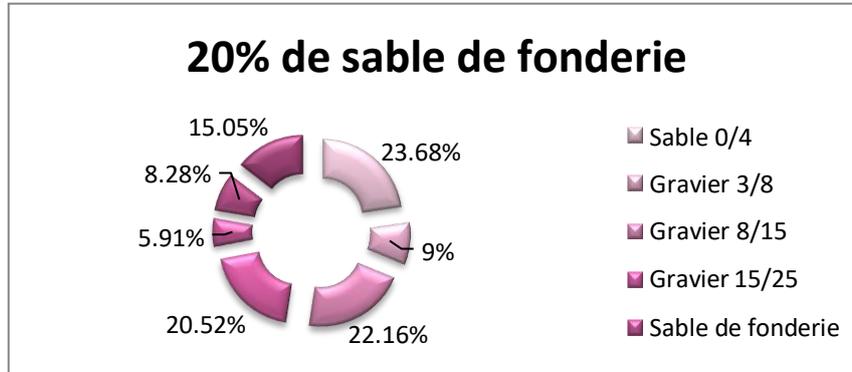


**Figure III.6:** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du béton avec 15% de sable de fonderie.

- **20% de sable de fonderie**

$$P_{total} = (P_s + P_{sf}) = 19.27 \text{ Kg.}$$

$$P_{sf} \rightarrow 20\% = 3.85 \text{ Kg}$$



**Figure III.7 :** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du béton avec 20% de sable de fonderie.

**Récapitulation de la composition des différentes gâchées :**

**Tableau III.3:** Composition de béton avec différents pourcentages de sable de fonderie

| N° de la série | Sable 0/4 (Kg) | Sable de fonderie (Kg) | Gravier 3/8 (Kg) | Gravier 8/15 (Kg) | Gravier 15/25 (Kg) | Eau (Kg) | Ciment (Kg) | Adjuvant (g) |
|----------------|----------------|------------------------|------------------|-------------------|--------------------|----------|-------------|--------------|
| <b>B0</b>      | 19.27          | 00                     | 5.86             | 14.43             | 13.36              | 5.39     | 9.8         | 58.8         |
| <b>B5</b>      | 18.27          | 01                     | 5.86             | 14.43             | 13.36              | 5.39     | 9.8         | 58.8         |
| <b>B10</b>     | 17.34          | 1.93                   | 5.86             | 14.43             | 13.36              | 5.39     | 9.8         | 58.8         |
| <b>B15</b>     | 16.38          | 2.89                   | 5.86             | 14.43             | 13.36              | 5.39     | 9.8         | 58.8         |
| <b>B20</b>     | 15.42          | 3.85                   | 5.86             | 14.43             | 13.36              | 5.39     | 9.8         | 58.8         |

**Formulation des mortiers :**

**Dosages ou pesées des constituants :**

Dans le cas de la préparation de trois éprouvettes (4\*4\*16) cm, les quantités sont respectivement les suivantes:

-Sables + Sable de fonderie → 1350g ± 5g.

-Ciment → 450g ± 2g.

-Eau → 247.5g ±1g.

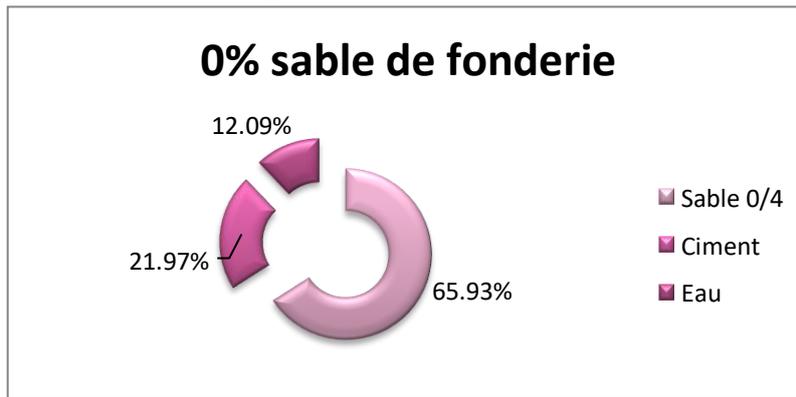
Le rapport E/C d'un tel mortier est donc 0.55. (La teneur en fine de sable 0/4 très élevé)

On compte réaliser 05 séries d'éprouvettes, en variant les pourcentages de sable de fonderie par apport au poids de sable 0/4.

- **0% de sable de fonderie : (mortier témoin)**

Poids de sable :  $P_s = 1350g$

Poids de sable de fonderie :  $P_{sf} = 0Kg$



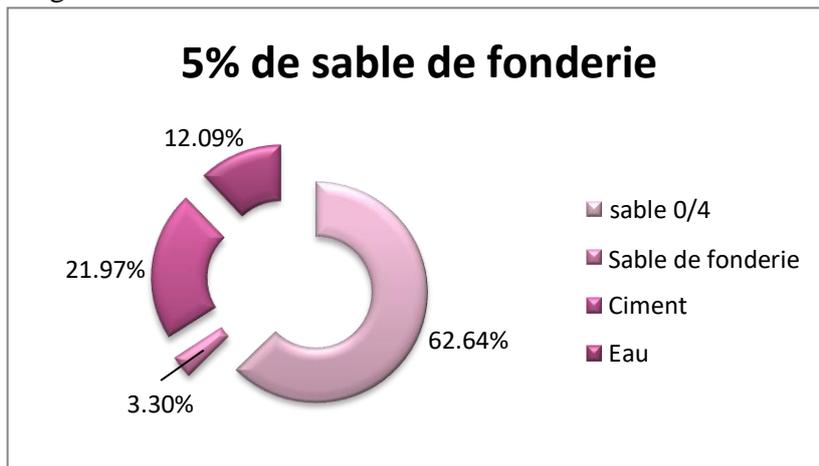
**Figure III.8 :** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du mortier témoin.

- **5% de sable de fonderie :**

$P_{total} = (P_s + P_{sf}) = 1350g.$

$P_t \rightarrow 100\% = 67.5g$

Donc :  $P_s = 1282.5g$



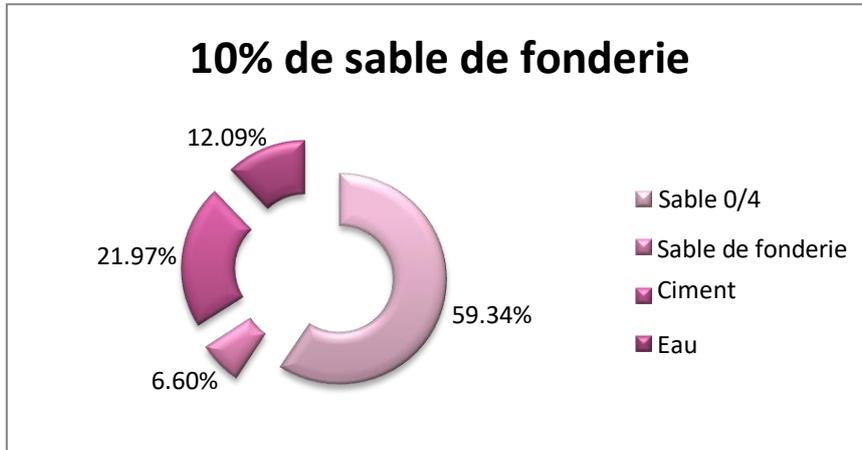
**Figure III.9 :** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du mortier avec 5% de sable de fonderie.

- **10% de sable de fonderie :**

$P_{total} = (P_s + P_{sf}) = 1350g$ .

$P_{sf} \rightarrow 10\% = 135g$

Donc : 1215g



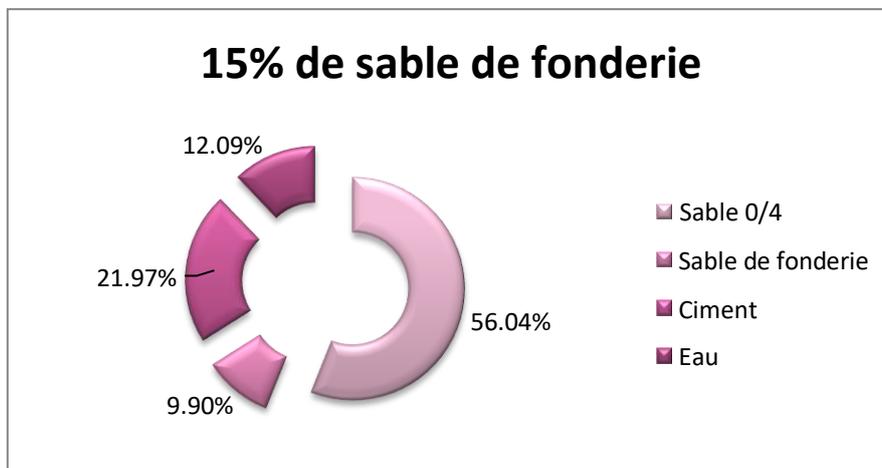
**Figure III.10 :** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du mortier avec 10% de sable de fonderie.

- **15% de sable de fonderie :**

$P_{total} = (P_s + P_{sf}) = 1350g$ .

$P_{sf} \rightarrow 15\% = 247.5g$

Donc :  $P_s = 1147.5g$



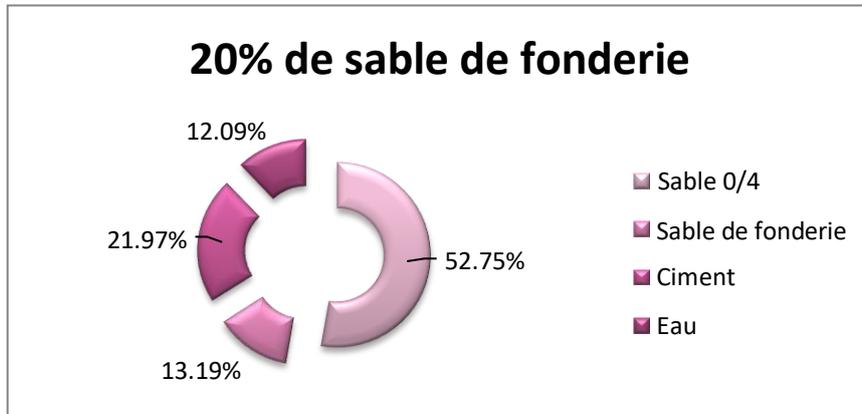
**Figure III.11 :** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du mortier avec 15% de sable de fonderie.

- **20% de sable de fonderie :**

$P_{total} = (P_s + P_{sf}) = 1350g$ .

$P_{sf} \rightarrow 20\% = 270g$

Donc :  $P_s = 1080g$



**Figure III.12 :** Les pourcentages des différentes fractions granulaires entrants dans la composition du mortier avec 20% de sable de fonderie.

• **Récapitulation de la composition des mortiers :**

Les différents dosages des mortiers sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau III.4 :** Dosages des constituants des différents mortiers.

| N° de la série | Sable 0/4(g) | Sable de fonderie(g) | Ciment(g) | Eau(g) |
|----------------|--------------|----------------------|-----------|--------|
| M0             | 1350         | 00                   | 450       | 247.5  |
| M5             | 1282.5       | 67.5                 | 450       | 247.5  |
| M10            | 1215         | 135                  | 450       | 247.5  |
| M15            | 1147.5       | 202.5                | 450       | 247.5  |
| M20            | 1080         | 270                  | 450       | 247.5  |

**Malaxage de mortier :**

Le mélange doit être effectué au moyen d'un malaxeur. Avant d'être utilisé pour les différents essais de maniabilité de résistance, ces mortiers sont malaxés pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme :



**Figure III.13:** Malaxeur

Ces opérations de malaxage sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.5 :** Durée des opérations de malaxage de mortier.

| Opération        | Introduction de l'eau | Introduction du ciment |               | Introduction du sable |                | Raclage de la cuve |         |                |
|------------------|-----------------------|------------------------|---------------|-----------------------|----------------|--------------------|---------|----------------|
| Durée            |                       |                        | 30s           | 30s                   | 30s            | 15s                | 1min15s | 60s            |
| Etat du malaxeur | Arrêt                 |                        | Vitesse lente |                       | Vitesse rapide | Arrêt              |         | Vitesse rapide |

- **Moulage des éprouvettes**

Avec le mortier préparé pour chaque série d'éprouvette, on remplit le moule 4x4x16. Les éprouvettes sont moulées au moyen de l'appareille a chocs.



**Figure III.14 :** Table à choc

- **Conservation des éprouvettes :**

- **Avant démoulage**

Le moule rempli de mortier, marqué et placé jusqu'au moment du démoulage dans une salle humide a la température de  $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  dont l'humidité relative, est d'au moins 90%. Chaque moule est extrait de la salle de conservation à l'heure prévue pour son démoulage.



Figure III.15 : Les éprouvettes de mortier.

- **Démoulage des éprouvettes prismatiques :**

Le démoulage est exécuté entre 20 et 24 heures après la mise en moule.



Figure III.16 : Les éprouvettes de mortier après démoulage

- **Conservation pour la résistance à la compression et attaque chimique:**

Une fois démoulées et marquées et éventuellement pesées, les éprouvettes sont conservées entièrement immergées dans l'eau à  $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  (Figure III.17), jusqu'au moment de l'essai de rupture.

On découpe les prismes en petits cubes de  $4 \times 4 \times 4\text{ cm}^3$  pour les attaques chimiques.



Figure III.17 : Les éprouvettes de mortiers conservées dans l'eau

## Les essais sur le béton à l'état frais :

### Préparation de gâchées :

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules, Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage.
- Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, si non les sécher préalablement dans l'étuve.
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée.
- Peser les matériaux secs et les introduire dans le malaxeur.
- Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec.
- Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement l'eau
- Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage



Figure III.18 : La gâchée

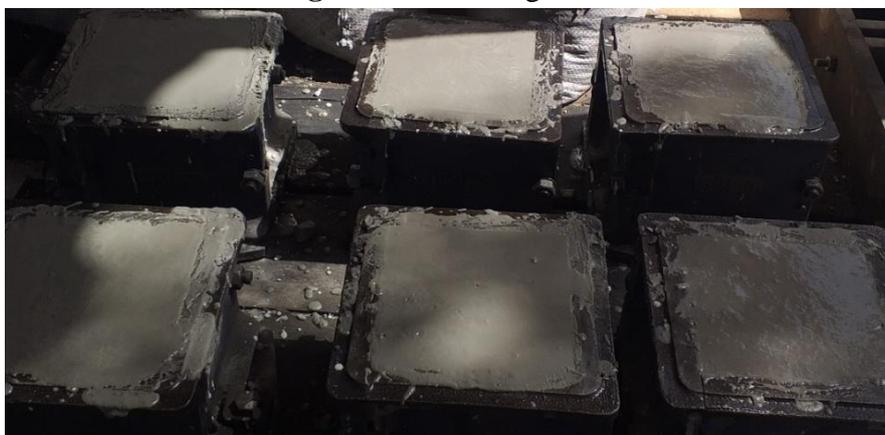


Figure III.19 : Confection des moules.

### Affaissement au cône d'Abrames (NF P 18-451) :

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre, il peut être effectué directement sur chantier. Il est utilisable à tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 40 mm.

- **Principe de l'essai**

Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son poids propre. Plus cet affaissement sera grand, plus le béton sera fluide.

- **Matériel utilisé**

L'appareillage se compose de 4 éléments :

- un moule tronconique sans fond de 30 cm de haut, 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.

- **Conduite de l'essai**

La plaque d'appui et le moule (fixé sur la plaque) sont légèrement humidifiés. Le béton est introduit dans le moule en 3 couches d'égales hauteurs qui seront mises en place au moyen de la tige de piquage actionnée 25 fois par couche.

Après avoir arasé en roulant la tige de piquage sur le bord supérieure du moule, le démoulage s'opère en soulevant le moule avec précaution (**Figure III.20**). Le béton n'étant plus maintenu s'affaisse plus ou moins suivant sa consistance.



**Figure III.20** : Essai d'affaissement

**Essai teneur en air occlus :**

Lors d'un essai de gâchage, il est intéressant de mesurer la teneur en air d'un béton frais, pour avoir une première indication de la compacité.

La teneur en air se mesure à l'aide d'un aéromètre (**Figure III.21**). La méthode se base sur la compressibilité de l'air contenu dans le béton frais. Un volume déterminé de béton est mis en communication avec un volume d'air en surpression.

La valeur de la pression résultante permet de déterminer la teneur en air du béton.



Figure III.21: Aéromètre

### Les essais sur béton et mortier durci :

#### Conservation des éprouvettes :

Après le gâchage pour ce béton les moules sont conservés dans une pièce à température ambiante, et démoulés après 24h.

Une fois démoulées, pour assurer un bon mûrissement du béton, les éprouvettes sont conservées dans un bac d'eau à une température de 20°C (Figure III.22) et (Figure III.23), ceci permet d'éviter les pertes d'eau, et de garantir le déroulement normal du processus d'hydratation du ciment.



Figure III.22 : Conservation des mortiers



Figure III.23 : Conservation des bétons

#### Mesure des masses volumiques sèches :

Pour la détermination de la masse volumique :

-On pèse l'éprouvette pour chaque série après nettoyage aux différents âges, soit M la masse en (g).

-Puis on détermine le volume du moule, soit V le volume en (cm<sup>3</sup>)

-La masse volumique sera alors calculée par l'équation suivante :  $\rho = \frac{M}{V}$  (g /cm<sup>3</sup>)

### La résistance à la flexion (MORTIER)[26]

Cet essai est établi suivant la norme EN 196-1. (Figure III.24) présente le dispositif à rouleau utilisé en flexion trois points ; comportant deux appuis à rouleau distant de 100 mm sur lesquels repose l'éprouvette prismatique 40×40×160 mm<sup>3</sup>, et un troisième rouleau équidistant des deux premiers, transmettant une charge concentrée F<sub>f</sub>.

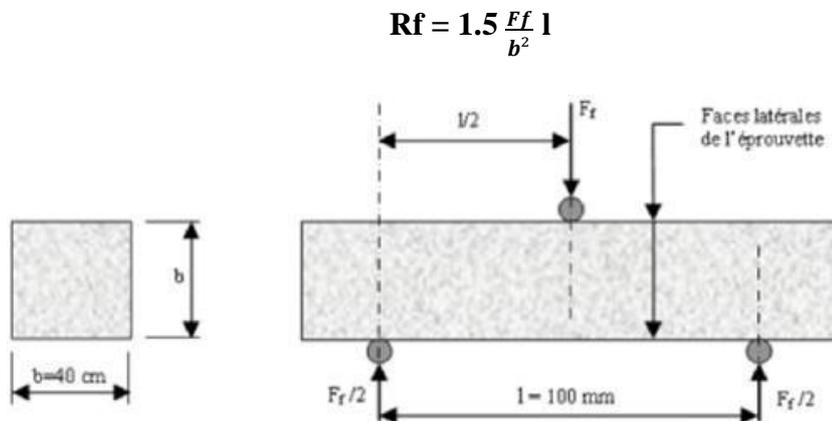


Figure III.24 : Le dispositif de rupture en flexion.

### La résistance à la compression (essai d'écrasement) :

C'est l'essai le plus couramment utilisé sur béton durci. Les résultats de l'essai de résistance à la compression sont affectés par plusieurs paramètres: le type de l'éprouvette et ses dimensions, la préparation des faces d'essai etc.

Actuellement, cet essai est le plus révélateur des décisions à prendre pour juger de la qualité d'un béton durci.

- **But de l'essai**

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du béton, qui peut être mesurée en laboratoire sur des éprouvettes.

- **Principe de l'essai**

Les éprouvettes étudiées sont soumises à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.

- **Conduite de l'essai**

- L'éprouvette, une fois rectifiée elle doit être centrée sur la presse d'essai.
- Appliquer le chargement jusqu'à la rupture de l'éprouvette
- Soit (S) la section orthogonale de l'éprouvette, la résistance f<sub>cj</sub>, est exprimée en MPa et a pour expression  $F_{cj} = \frac{P}{S}$  Avec :

P : charge de rupture exprimée en MN.

S : surface de l'éprouvette exprimée en m<sup>2</sup>.



**Figure III.25:** Essai de compression sur mortier



**Figure III.26:** Essai de compression sur béton

### Conservations des échantillons de mortier dans des milieux agressifs

L'objectif de cette partie d'étude est d'observer la tenue et le comportement des mortiers à base de sable de fonderie conservés dans des solutions basique, sulfaté et acide.

- ❖ Pour la caractérisation de la résistance chimique vis-à-vis des attaques par des solutions agressives, des éprouvettes de mortier 40x40x40 mm ont été conservées 28 jours dans l'eau à une température de  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  après le démoulage.

Après la durée de cure sous l'eau, les éprouvettes sont pesées pour déterminer la masse des échantillons de mortiers avant leur mise dans la solution d'attaque. Les échantillons qui ont donné la meilleure résistance à l'essai d'écrasement (5% et 10%) ainsi que le mortier témoin (0%) sont ensuite mis dans une solution de 5% de concentration. La résistance due aux agressions chimiques des échantillons immergés dans ces solutions est évaluée à court terme, pour suivre l'évolution de la durabilité par la dégradation des différents échantillons de mortiers.

#### Milieu acide (HCl) :



**Figure III.27 :** Préparation de la solution de 5% de HCL.

**Milieu sulfaté ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) :**



**Figure III.28 :** Préparation de la solution de 5% de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

**Essai de l'attaque basique ( $\text{NaOH}$ ) :**



**Figure II.29:** Préparation de la solution de 5% de  $\text{NaOH}$ .

**Conservation des mortiers dans un milieu neutre (eau distillée) :**

Les mortiers sont conservés dans un milieu neutre de référence (eau distillée)



**Figure III.30 :** Les éprouvettes dans un milieu neutre.

**Conclusion :**

Après avoir présenté dans ce chapitre, le mode de formulation du béton et mortier, ainsi que les essais à l'état frais et durcis avec leurs procédures expérimentales.

Nous allons présenter dans le prochain chapitre les résultats obtenus de tous les réalisés, afin d'évaluer l'influence du sable de fonderie sur les bétons et mortiers.

---

*Chapitre IV :*  
*Résultats et discussions*

---

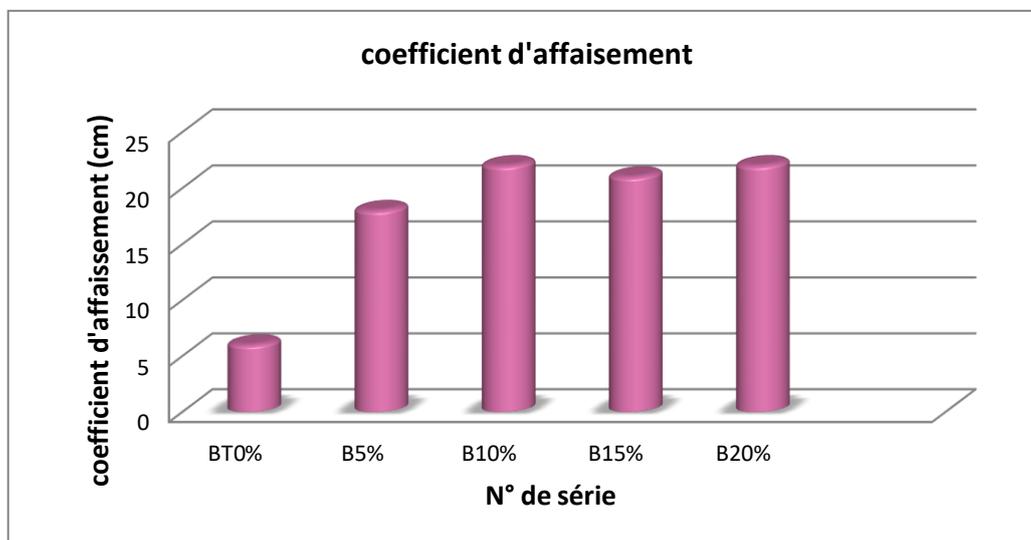
### Introduction :

Ce dernier chapitre consiste à présenter les différents résultats des essais obtenus sur les mortiers et bétons à base de sable de fonderie, ainsi que leurs discussions et interprétation des différents phénomènes étudiés.

### Essais sur les bétons :

#### L'affaissement

Après avoir effectué l'essai au cône d'Abrams qu'on a déjà définie dans le chapitre précédent, les résultats obtenus pour les différentes séries de béton sont récapitulés dans la figure ci-après.



**Figure IV.1:** Variation de l'affaissement en fonction de différents dosages de sable de fonderie.

- **Interprétation des résultats :**

Cet essai est exécuté sur le béton frais pour déterminer et quantifier l'ouvrabilité du béton.

Les valeurs d'affaissement obtenus montre que :

La variation de consistance du béton, du domaine plastique au domaine fluide revient au manque de la fraction fine dans ce rejet (sable de fonderie).

#### La teneur en air :

Après avoir effectué l'essai pour chaque série avec des dosages différents de sable de fonderie, les résultats obtenus sont récapitulés dans la figure ci-dessous (**Figure IV.3**) :



Figure IV.2 : Détermination de la quantité d'air occlus.

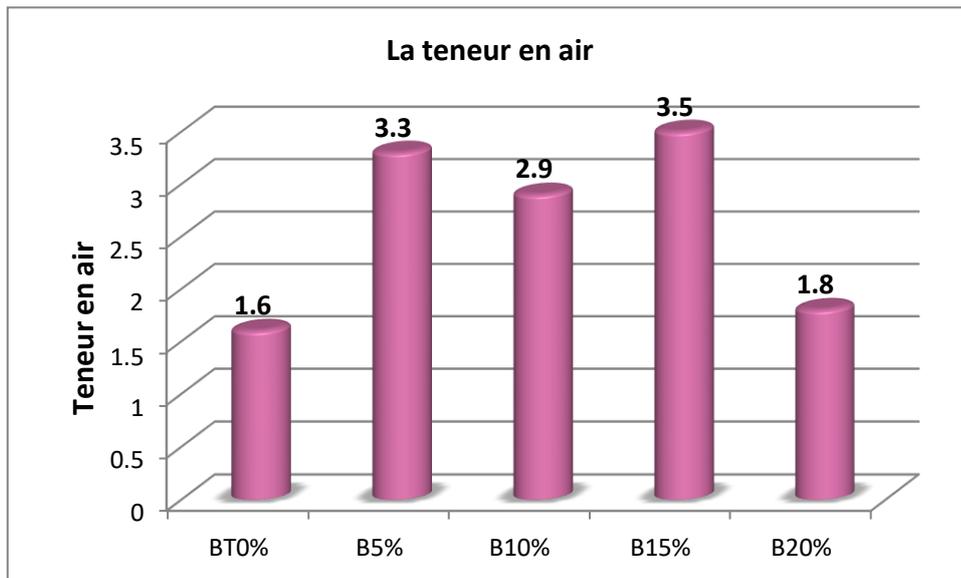


Figure IV.3: La teneur en air en fonction de différents dosages de sable de fonderie.

• **Interprétation des résultats :**

On constate une augmentation de la valeur de la teneur en air dans les bétons à 5% ,10% et 15% par rapport au béton témoin, et cela revient au sable de fonderie qui est faible en fines.

Par contre à 20% de sable de fonderie, on remarque une diminution de la teneur en air qui est plus proche de celle de béton témoin, et cela revient probablement à la bonne homogénéité du mélange de béton (béton compacte).

**La masse volumique :**

Les résultats obtenus sont résumés dans les courbes ci-après :

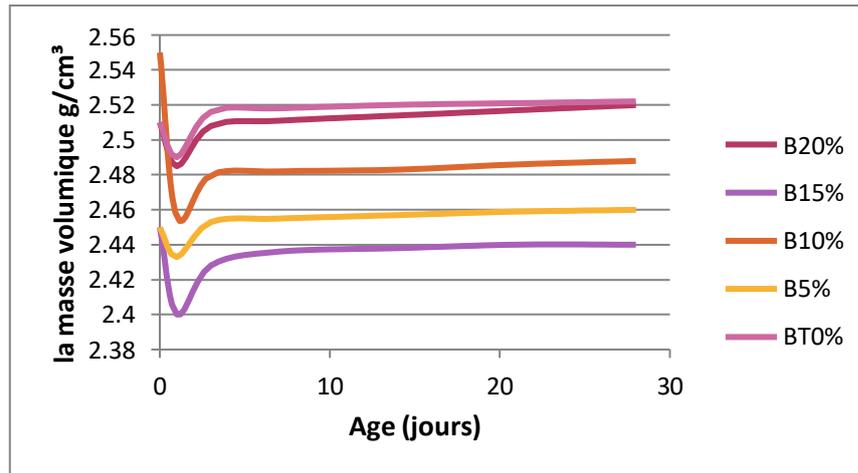


Figure IV.4 : Masse volumique du béton.

• **Interprétation des résultats :**

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

**Résistance à la compression :**



Figure IV.5: Essai de compression.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans les figures ci-après (**Figure IV.6**) et (**Figure IV.7**) :

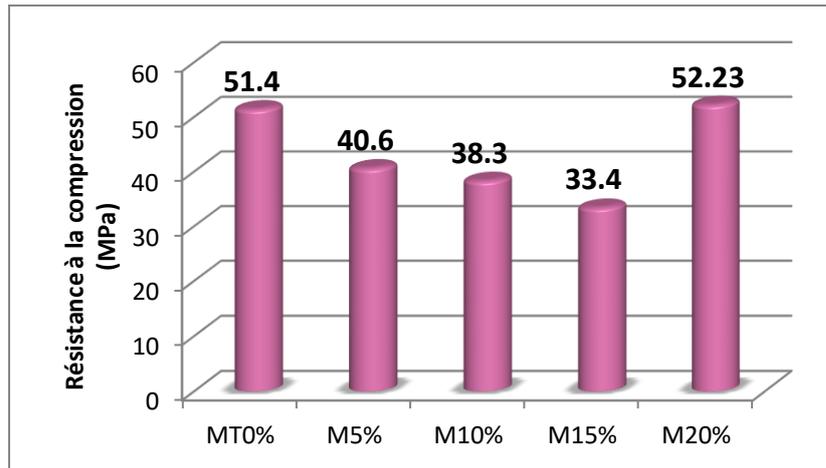


Figure IV.6 : Résistance à la compression à 28 jours avec les différents dosages du sable de fonderie dans les bétons.

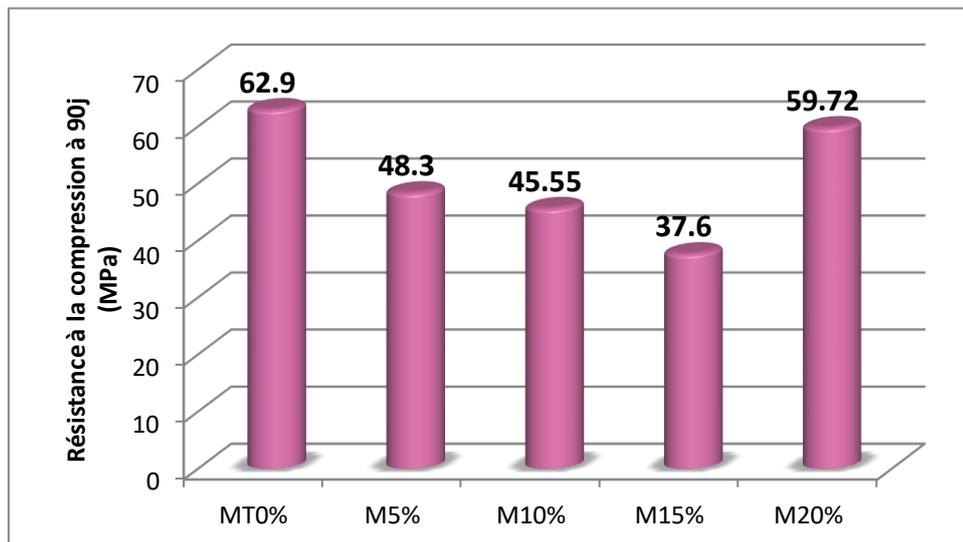


Figure IV.7 : Résistance à la compression à 90 jours avec les différents dosages du sable de fonderie dans les bétons.

- **Interprétation des résultats :**

On constate que la variation de la résistance à la compression à 28 jours et à 90 jours on la même allure, donc le même comportement que la variation de la teneur en air en fonction du dosage de sable de fonderie. . Ces résultats sont logiques à 20% meilleure résultats.

Nos résultats sont similaires à ceux de **Siddique et al**, et de **Prabhu et al**, qui ont obtenu une augmentation de résistance à la compression en utilisant 20 % et 30% de déchet de sable de fonderie en remplacement d'agrégats fins. [2]

## Essais sur les mortiers :

### La masse volumique :

Les résultats de détermination des masses volumiques des différentes séries de mortiers sont donnés par la figure ci-dessous.

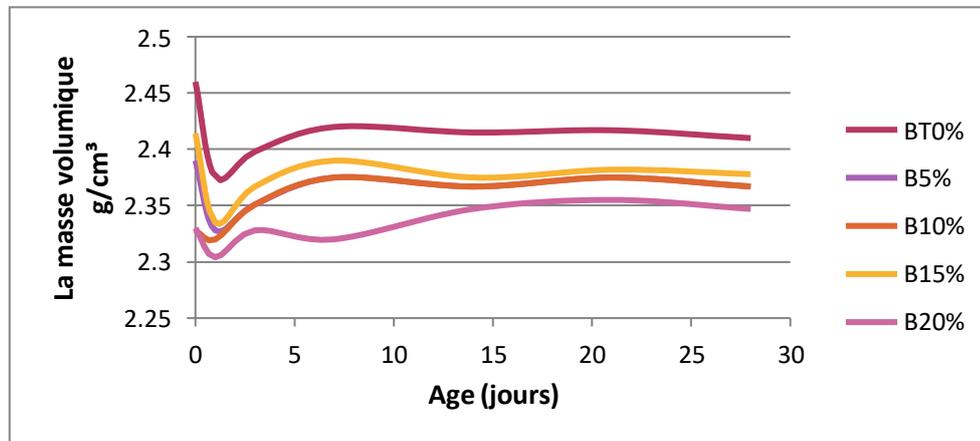


Figure IV.8: Masses volumiques des mortiers.

- **Interprétation des résultats :**

Nous remarquons à partir des courbes tracées que la masse volumique des différents mortiers varie en fonction du temps, tel que une diminution de cette masse est constatée de 0h à 24h, et cela est dû à la réaction d'hydratation et à l'évaporation de l'eau, au-delà de 24h une augmentation est clairement constatée jusqu'à l'âge de 14 jours, et cela revient à l'hydratation continue du ciment et la conservation de ces différents mortiers dans l'eau, au-delà de 14 jours elle reste constante (stabilisation).

En général, l'utilisation de sable de fonderie en substitution de sable de carrière fait diminuer la masse des mortiers, et cela revient au faible taux de fines contenus dans ce rejet (sable de fonderie).

### IV.3.2. La résistance à la flexion :



Figure IV.9 : Essais de flexion.

Les résultats de l'essai sont résumés dans la figure suivante (Figure IV.10) :

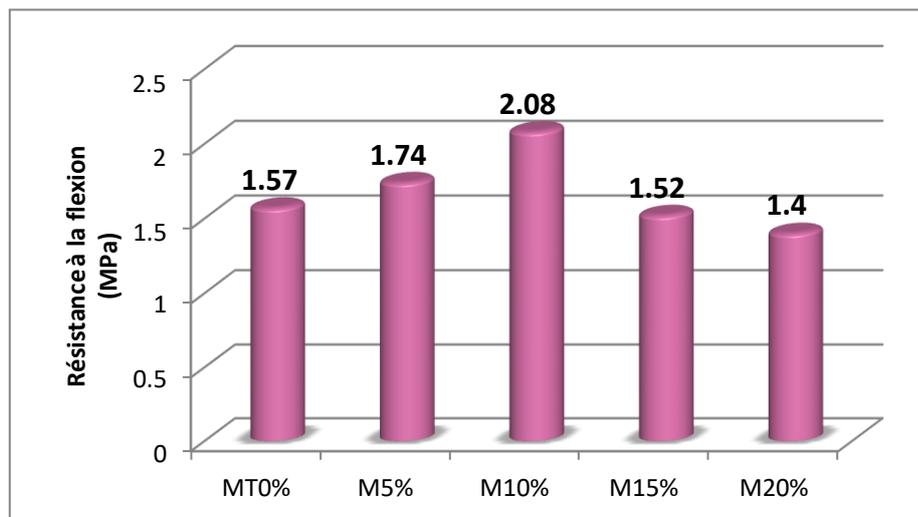


Figure IV.10: Résistance à la flexion en fonction des différents dosages du sable de fonderie dans les mortiers.

#### Interprétation des résultats :

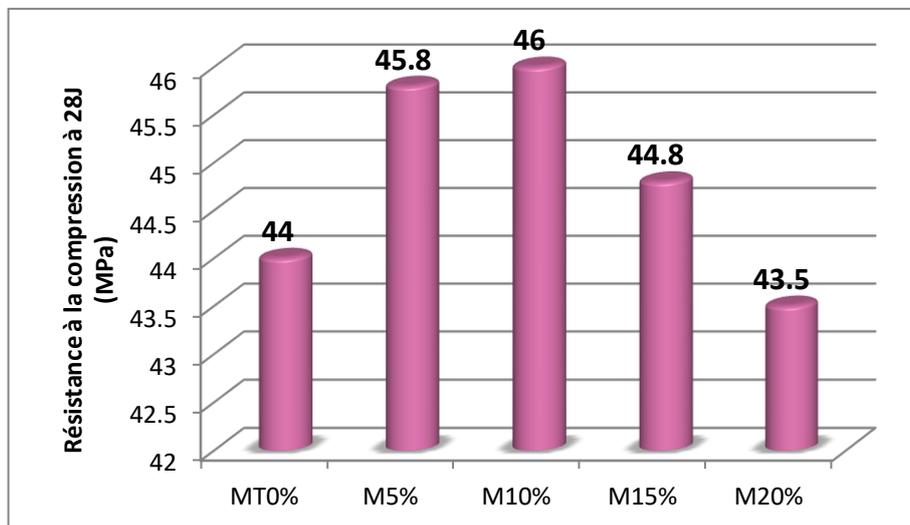
D'après les courbes, nous remarquons que ces dernières ont une forme d'une parabole avec un optimum de 10% de sable de fonderie. Pour les dosages inférieurs à cet optimum, les résistances augmentent, cela revient à l'augmentation de la compacité de béton.

Pour l'optimum de 10% de sable de fonderie, on remarque que la plus grande résistance est atteinte, ceci permet de dire que les composants de ce mélange sont en bon rapport et très compact.

Concernant la partie des dosages supérieurs à l'optimum, on remarque que la résistance à la flexion diminue, cela revient normalement à la qualité de ce sable.

### La résistance à la compression

Les résultats de cet essai sont récapitulés dans la figure ci-dessous (**Figure IV.11**) :



**Figure IV.11** : Résistance à la compression en fonction des différents dosages du sable de fonderie dans les mortiers.

### Interprétation des résultats:

Les résistances à la compression des éprouvettes de mortiers préparées avec et sans sable de fonderie ont été déterminées à l'âge de 28 jours.

On constate bien que les meilleures résistances sont obtenues aux dosages de 5 et 10% de sables de fonderies, et qui ont pour valeurs respectives: 45,8 et 46 MPa (quasiment la même résistance).

A partir de ces dosages une diminution de résistance est constatée en fonction de l'augmentation du pourcentage de ce sable de fonderie, cette réduction est due probablement à la diminution du taux de fines contenu dans le sable de fonderie, ce qui provoque une réduction de la compacité des mortiers, donc une baisse de résistance, mais qui présente des résistances acceptables.

### Essai d'attaques chimiques :

Les attaques chimiques peuvent dégrader les propriétés physiques et mécaniques du béton ainsi que sa durabilité au cours du temps. Parmi les attaques chimiques étudiées dans ce mémoire sont :

- 1- L'attaque sulfatique (milieu concentré à 5% de sulfate de sodium :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ;
- 2- L'attaque acide (milieu concentré à 5% de l'acide chlorhydrique :  $\text{HCl}$ ) ;
- 3- L'attaque basique (milieu concentré à 5% de soude :  $\text{NaOH}$ ) ;

Et un milieu neutre qui sert de référence, afin de discuter les résultats obtenus.

Les mortiers soumis aux différentes attaques sont de forme cubique ( $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ ), ils sont réalisés et conservés dans de l'eau maintenue à  $20 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$  pendant 28 jours.

Après une attaque de 30 jours, les mortiers sont illustrés par les figures ci-dessous :



**Figure IV.12:** Mortiers conservés dans une solution acide



**Figure IV.13:** Mortiers conservés dans une solution sulfatique



**Figure IV.14:** Mortiers conservés dans une solution basique

**Tableau IV.1** : Le changement des masses des mortiers après l’immersion dans des différents milieux pendant 30 jours

| Milieu                          | Pourcentage de sable de fonderie | Masse à 0 jour | Masse à 15 jours | Masse à 30 jours |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------|------------------|------------------|
| NEUTRE                          | 0%                               | 155.51         | 158.03           | 158.60           |
|                                 | 5%                               | 151.26         | 151.94           | 152.69           |
|                                 | 10%                              | 154.85         | 155.19           | 155.89           |
| NaOH                            | 0%                               | 155.19         | 154.07           | 154.89           |
|                                 | 5%                               | 152.86         | 153.99           | 154.98           |
|                                 | 10%                              | 151.09         | 152.29           | 152.98           |
| HCl                             | 0%                               | 153.82         | 145.23           | 141.76           |
|                                 | 5%                               | 148.61         | 147.42           | 145.32           |
|                                 | 10%                              | 155.12         | 154.72           | 152.56           |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 0%                               | 154.85         | 155.72           | 156.26           |
|                                 | 5%                               | 152.83         | 154.12           | 154.81           |
|                                 | 10%                              | 153.02         | 154.43           | 155.27           |

• **Interprétation des résultats :**

Après l'immersion des échantillons dans les différents milieux pendant une période de 30 jours, les échantillons sont pesés et pris en photo,

On constate que les changements sont insignifiants pour tous les milieux sauf celui du milieu acide qui est affecté par l’attaque.

Donc, les attaques chimiques n’ont pas dégradé les propriétés physiques des mortiers ainsi que leur durabilité, et cela revient au temps d’immersion qui est très court (30 jours), alors que la durabilité est étudiée à long terme.

**Conclusion :**

Au cours de ce chapitre, on a récapitulé les résultats réalisés sur les mortiers et bétons.

Ces résultats obtenus nous ont permis d’aboutir les principales conclusions qui sont les suivantes :

- Bonnes résistance à 20% de sable de fonderie pour le béton, proche à celle du béton témoin.
- La résistance à la compression et à la flexion des mortiers atteignent leur pic pour un taux remplacement de 10%

---

*Conclusion*

*Générale*

---

### Conclusion générale :

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans la problématique générale du développement durable, de l'amélioration et de maîtrise des propriétés des matériaux cimentaires. Par l'importance économique de ces matériaux à base de déchets industriels (sable de fonderie) et par l'aspect fondamental qu'implique leur étude, les recherches se situent à la conserve des intérêts industriels et scientifiques.

Aussi, notre recherche bibliographique nous a permis de dégager que parmi les paramètres les plus influant sur les propriétés que ce soit à l'état frais ou durci ou durabilité des bétons, on retrouve les caractéristiques des sables de fonderie. A partir des résultats des expériences et de leurs discussions, les conclusions suivantes peuvent être tirées:

1. Le sable de fonderie est plus fin ( $MF=1,72\%$ ) et plus propre ( $ES = 80,85\%$ ) par rapport au sable ordinaire ;
2. Le sable de fonderie rend le béton plus fluide, la valeur de l'affaissement augmente en augmentant le pourcentage de sable de fonderie ;
3. La teneur en air augmente en augmentant le pourcentage de sable de fonderie, par contre à 20% elle a diminué;
4. La résistance à la compression des bétons diminue pour les différents taux de remplacements de sable naturel par le sable de fonderie (5%, 10% et 15%) qui sont respectivement de (40,6 MPa ; 38,3MPa ; 33,4MPa), puis augmente pour un taux de remplacement de 20% de SF pour atteindre une résistance de 52,3MPa.
5. Les propriétés mécaniques des mortiers comme la résistance à la compression et à la flexion atteignent leur pic pour un taux remplacement de 10%, qui présente une bonne résistance à la compression de 46MPa et à la flexion de 2,08 MPa par rapport au témoin, puis un effet légèrement négatif a été trouvé pour les taux de remplacements de 15% et 20%.

Les essais de durabilité ont donné des résultats insignifiants, cependant Une durée complémentaire de conservation des échantillons dans les milieux agressifs est nécessaire pour voir la dégradation des matériaux à long terme.

Le sable de fonderie peut être donc utilisé comme substituant dans le génie civil, ce qui va nous permettre de résoudre plusieurs problèmes économiques et environnemental permettant de dégager des espaces de stockage au niveau de l'usine.

Pour cela le rejet de sable de la fonderie BCR peut être incorporé dans le béton et mortier, il serait intéressant d'entreprendre de nouvelles perspectives :

- Faire une substitution partielle de 25% à 100% totale avec un pas de 5%.
- Etudier la durabilité des bétons et mortiers à base de sable de fonderie à long terme.
- Broyer ce sable de fonderie et l'utiliser comme une poudre ou fines d'ajout dans la fabrication des bétons, briques et céramiques.

---

*Références*

*Bibliographiques*

---

### Références Bibliographiques

1. ح. مزهوب, and وهدبة, Limits of waste recovery in Algeria: Case of industrial waste recycling in Oran Limites de la valorisation des déchets en Algérie: Cas du recyclage des déchets industriels à Oran. 2018.
2. Bhardwaj, B. and P. Kumar, Waste foundry sand in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 2017. **156**: p. 661-674.
3. Ahmad, J., et al., Waste Foundry Sand in Concrete Production Instead of Natural River Sand: A Review. *Materials*, 2022. **15**(7): p. 2365.
4. Guney, Y., et al., Re-usage of waste foundry sand in high-strength concrete. *Waste Management*, 2010. **30**(8-9): p. 1705-1713.
5. Siddique, R., G. De Schutter, and A. Noumowe, Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 2009. **23**(2): p. 976-980.
6. Kherbache, S. and N. Bouzidi, Concretes properties made with machining reject (foundry sand). 2019.
7. Bhardwaj, B. and P. Kumar, Comparative study of geopolymer and alkali activated slag concrete comprising waste foundry sand. *Construction and Building Materials*, 2019. **209**: p. 555-565.
8. Nouri, I. and M.-a. Habouche, Limites De La Valorisation Des Déchets En Algérie: Cas Du Recyclage Des Déchets Industriels à Oran. 2018.
9. Belkadi, G., Rôle de la réglementation environnementale dans la gestion des déchets solides en Algérie: cas des entreprises agro-alimentaire de Béjaia Role of environmental regulation in the management of solid wastes, in Algeria: case of agro-food companies of the Bejaia's wilaya.
10. HAFFAF, F. and N.E. DJIAB, L'effet de l'utilisation des résidus (les copeaux métalliques) dans la formulation des bétons autoplaçants à l'état frais et durcis, 2021, university of M'sila.
11. Chanvillard, G., Analyse expérimentale et modélisation micromécanique du comportement des fibres d'acier tréfilées, ancrées dans une matrice cimentaire. *ETUDES ET RECHERCHES DES LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSEES-SERIE OUVRAGES D'ART*, 1993(OA12).
12. Siddique, R. and G. Singh, Utilization of waste foundry sand (WFS) in concrete manufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, 2011. **55**(11): p. 885-892.
13. Kishore, K. and N. Gupta, Application of domestic & industrial waste materials in concrete: A review. *Materials Today: Proceedings*, 2020. **26**: p. 2926-2931.
14. Houari, H., Contribution a l'etude du comportement du beton renforce de fibres metalliques soumis a l'action des charges maintenues et cycliques. 1995.
15. Dreux, G. and J. Festa, Nouveau guide du béton et de ses constituants 1998: Eyrolles.
16. Kherbache, S., et al. Study of the mechanical characteristics and chemical degradation of concretes based on machining sludge. in *MATEC Web of Conferences*. 2018. EDP Sciences.
17. Zahia, B., EFFET DE L'AJOUT DE LAITIER DE HAUT FOURNEAU SUR LA RHEOLOGIE DES BETONS A L'ETAT FRAIS ET A L'ETAT DURCI, 2018, Faculté des Sciences et Technologies.

18. Aissat, S. and A. Kacimi, Caractérisation physico-chimique des sables usés de la fonderie de Tiaret (Algérie), en vue de leur valorisation. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 2011. 7(3).
19. Document technique de l'unité BCR;SANIAK, A.E.K., Setif,Algerie.
20. V. BAROGHEL-BOUNY, B. CAPRA, S. LAURENS « La durabilité des bétons », juin 2008 Amphithéâtre Caquot, ENPC Paris.
21. Castellote, M., et al., Chemical changes and phase analysis of OPC pastes carbonated at different CO<sub>2</sub> concentrations. *Materials and structures*, 2009. 42(4): p. 515-525.
22. RICHARD GAGNE et RICHARD GAGNE « La durabilité des bétons » par : CRIB, Université de Sherbrooke et Lionel Linger VINCI Construction « chapitre 10 » Mardi 17 juin 2008 Amphithéâtre Caquot, ENPC Paris.
23. Sato, R., et al. Durability mechanics of concrete and concrete structures-Re-definition and a new approach. in *Committee Reports of JCI, 8th International Conference on Creep, Shrinkage and Durability of Concrete and Concrete Structures (CONCREEP8)*, Ise-Shima, Japan. 2008. Citeseer.
24. R.DUPAIN et R.LANCHON et J.C.ARROMAN :« Granulats, sols, ciments et Bétons». Casteilla, Paris 2004.
25. Dupain, R., R. Lanchon, and J.-C. Saint-Arroman, *Granulats, sols, ciments et bétons: Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire*1995: Editions Casteilla.
26. S.KHERBACHE :« Etude de l'influence de l'ajout de particules fines dans les sables concassé sur le retrait et la résistance des bétons », thèse de magister, Université de Bejaia.2006.
27. Document de qualité "ISO" de L.T.P.E de Bejaia
28. G. DREUX, J. FESTA, " Nouveau Guide du Béton et de ces constituants ", 8ème édition, Eyrolles, Mai 1998.

---

# *Annexes*

---

*Annexe « A »*

**Tableau 1 : Valeurs de l'équivalent de sable**

| ES à vue          | ES piston         | Nature et qualité du sable   |
|-------------------|-------------------|--|
| ES < 65           | ES < 60           | Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.  |
| $65 \leq ES < 75$ | $60 \leq ES < 70$ | Sable légèrement argileux de propreté admissible pour bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.   |
| $75 \leq ES < 85$ | $70 \leq ES < 80$ | Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.   |
| ES $\geq$ 85      | ES $\geq$ 80      | Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faut rattraper par une augmentation du dosage en eau. |

**Tableau 2 : La classification des sables selon le module de finesse :**

| MF                     | La classe  |
|------------------------|--|
| MF $\geq$ 1.8          | le sable est à majorité de grains fins,  |
| $1.8 \leq MF \leq 2.2$ | C'est un sable préférentiel  |
| $2.8 \leq MF \leq 3.3$ | le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables. |

---

**Tableau 3 : La classification des graviers selon le coefficient d'aplatissement**

| <b>Le coefficient d'aplatissement « A »</b> | <b>La classe</b> |
|---|------------------|
| $A \leq 20 :$                               | A                |
| $20 \leq A \leq 25$                         | B                |
| $25 \leq A \leq 30 :$                       | C                |

---

---

*Annexe « B » :*

*Les fiches techniques*

*-Ciment*

*-Adjuvant*

*-Eau*

---

# UN DEMI SIÈCLE AU SERVICE DE LA CONSTRUCTION.

NA 442/2013

# CEM II/A-L 42.5 N

Ciment Portland au Calcaire

## Produit disponible chez nos filiales

Société des Ciments de Hadjar Soud  
(SCHS, SKIKDA)

Société des Ciments de Ain El Kebira  
(SCAEK, Sétif)

Société des Ciments de Ain touta  
(SCIMAT, Batna)

Société des Ciments de Sour El Ghazlene  
(SCSEG, Bouira)

Société des Ciments de Béni Saf  
(SCIBS, Ain Temouchent)

Société des Ciments de Hamma Bouziane  
(SCHB, Constantine)

Société des Ciments de l'Algérois  
(SCAL, Alger)

Société des Ciments de Saida  
(SCIS, Saida)

Société des Ciments de la Mitidja  
(SCMI, Blida)

Entreprise des Ciments et Dérivés d'Ech-Cheliff  
(ECDE, Chlef)

Nouvel aéroport d'Alger  
construit avec le ciment GICA.



## Présentation

Le **CEM II/A-L 42.5 N** est un Ciment Portland au Calcaire (**CPC**), certifié selon exigences et les normes en vigueur.

## Domaine d'emploi

Le ciment **CEM II/A-L 42.5 N** de GICA est adapté pour les usages suivants :

- Travaux de fondation, souterrains, d'assainissement ;
- Génie civil (ouvrage et routes) ;
- Les bétons armés et non armés, préfabriqués ou précontraints, étuvés et auto étuvés ;
- Travaux de construction (logements, locaux commerciaux et industriels);
- Produits dérivés du ciments.

## Recommandations spécifiques et générales

- Pour les travaux sous la pluie, par temps chaud, par grand vent ou par temps de gel utilisé des adjuvants normalisés et appropriés ;
- Les coulées doivent être régulières et continues par couches de faible épaisseur ;
- La hauteur de chute du béton ne peut pas dépasser 1 mètre de hauteur, de façon à éviter toute ségrégation. Au delà de cette hauteur, il est indispensable de prévoir l'utilisation d'une goulotte amenée à hauteur convenable, ou d'une cheminée d'alimentation ;
- Adapter la vibration du béton à sa consistance pour obtenir une compacité optimal sans ségrégation ;
- Veiller au respect des temps de prise lors de la livraison du béton frais.

## COMPOSITION

|        | Clinker     | Ajout calcaire          | Constituant secondaire |
|--------|-------------|-------------------------|------------------------|
| Taux % | (80 à 94) % | Catégorie A (06 à 20) % | (De 0 à 5) %           |

## PACKAGING

Sacs 50kg / Disponible en Vrac

## CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

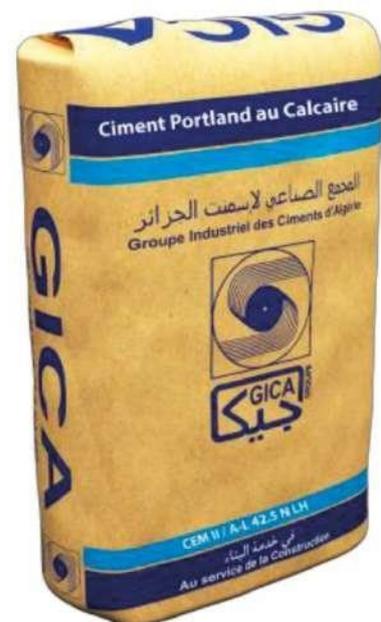
|       | TEMPS DE PRISE | STABILITÉ    |
|-------|----------------|--------------|
| TEMPS | ≥ 60 minutes   | ≤ 10 minutes |

## CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

| Résistance à la compression à 02 J | Résistance à la compression à 28 J                      |
|------------------------------------|---|
| ≥ 10.0 N/mm <sup>2</sup>           | ≥ 42.5(N/mm <sup>2</sup> ) & ≤ 62.5(N/mm <sup>2</sup> ) |

## CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

| Teneur en sulfates (SO3) | Teneur en chlorures (Cl) |
|--------------------------|--------------------------|
| ≤ 3.5 %                  | ≤ 0.10 %                 |



## Certification



Retrouvez nous sur



Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (GICA)  
Siège social : Route de Dar El Beida Meftah (W. de Blida), Algérie  
Tél/Fax : +213(0) 25 45 61 98 / 213(0) 25 45 62 61  
site web : [www.gica.dz](http://www.gica.dz)

# CHRYSO®Fluid Optima 208 A

## Superplastifiant haut Réducteur d'eau



**CHRYSO®Fluid Optima 208 A** est un Superplastifiant haut réducteur d'eau de dernière génération. Cet adjuvant fait appel à nos avancées les plus récentes dans la synthèse des molécules afin d'apporter :

- une large plage de dosage,
- un fort potentiel de réduction d'eau,
- du maintien d'ouvrabilité,
- une cohésion du béton.

**CHRYSO®Fluid Optima 208 A** est particulièrement recommandé pour le béton prêt à l'emploi. Cet adjuvant peut également être utilisé en combinaison avec d'autres produits de la gamme CHRYSO®.

### Informations indicatives

- Nature : liquide
- Couleur : Brun
- Densité (20° C) :  $1.070 \pm 0.020$
- pH :  $5.20 \pm 2.00$
- Extrait sec (halogène) :  $25.10 \% \pm 1.50 \%$
- Extrait sec (EN 480-8) :  $25.10 \% \pm 1.50 \%$
- Durée de vie : 18 mois

### Informations normatives et réglementaires

- Ce produit satisfait aux exigences de la norme NF EN 934-2 « ADJUVANTS DU BETON ».

### Domaines d'application

- Tous types de ciments
- BHP et BTHP
- Bétons plastiques, très plastiques, fluides
- Bétons pour ouvrages très ferraiillés
- Bétons précontraints
- Dallages, sols industriels
- Coulis d'injection

### Précautions

Stocker à l'abri du gel.

Eviter l'exposition prolongée à de fortes chaleurs. En cas de gel, ce produit conserve ses propriétés. Après dégel, une agitation efficace est nécessaire jusqu'à l'obtention d'un produit totalement homogène.

### Mode d'emploi

Plage de dosage : 0.3 à 3.0 kg pour 100 kg de ciment.

Il est courant de doser ce produit à 1 % du poids du ciment.

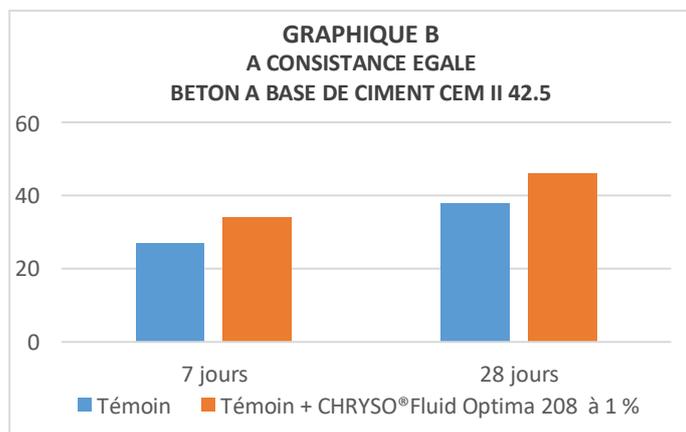
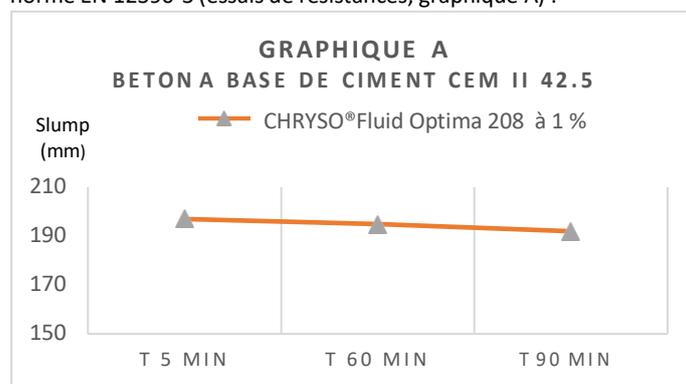
Ce produit doit être incorporé de préférence dans l'eau de gâchage ou en fin de malaxage.

Dans le cas d'un ajout différé sur béton frais, dans un camion toupie, il est nécessaire de malaxer à grande vitesse puis à vitesse lente (avec un minimum de 3 minutes, pour chaque régime).

L'efficacité maximale de ce produit doit être déterminée après des essais de convenance prenant en compte les caractéristiques rhéologiques et les performances mécaniques souhaitées pour le béton.

### Essais

Ces résultats ont été obtenus selon les modalités définies par la norme EN12358 (essais de consistance, graphique B) et la norme EN 12390-3 (essais de résistances, graphique A) :



### Sécurité

Ce produit est classé « sans danger ». En cas d'exposition, le port d'équipements de protection individuelle est recommandé.

Avant toute utilisation, consulter la fiche de données de sécurité [sur le site internet [www.chryso.dz](http://www.chryso.dz)].



## **Caractéristiques de l'eau de gâchage :**

### **Identification de l'échantillon :**

Type d'eau : Eau De Source

Date de prélèvement : 18/06/2021.

### **Norme d'essai :**

Analyse physico-chimique de l'eau : FDP 18-01

| Caractéristiques   | Résultats     | Limites admissibles  | Type de béton   |
|--|---------------|--|---|
| Huiles et graisses   | Absence       | <i>Ne dépassent pas les traces visibles</i>  |   |
| Détergents   | Absence       | <i>Disparition de la mousse &lt;2mn</i>  |   |
| Couleur  | Incolore      | <i>Jaune pâle</i>  |   |
| Matières en suspension   | Absence       | <i>Sédiment max de 4 ml par un échantillon de 80 ml</i>  |   |
| Odeur  | Pas d'odeur   | <i>-Absence totale de l'odeur avant et après addition de HCl<br/>-Légère odeur d'hydrogène sulfuré</i> |   |
| Acides   | PH = 8 T=24°C | <i>PH ≥ 4</i>  |   |
| Matières humiques  | Incolore      | <i>Couleur brun jaunâtre ou plus pâle après addition du NaOH</i>                                       |   |
| Teneur max en chlorures [Cl <sup>-</sup> ] (mg/l)  | 237.85 mg/l   | <i>500 mg/l<br/>1000 mg/l<br/>4500 mg/l</i>  | Béton précontraint-coulis<br>Béton armé<br>Béton non armé |
| Teneur en sulfates SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ] (mg/l) | 181.88 mg/l   | <i>&lt; 2000 mg/l</i>  |   |

### **Conclusion :**

**L'eau de gâchage, analysée, présente des résultats acceptables pour tous les types de bétons et les coulis de ciment.**

Annexe « C »

Tableau 4 : Coefficient de Compacité  $\gamma$

| Consistance      | Serrage                    | $\gamma$ Coefficient de compacité |       |        |       |        |       |       |
|------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
|                  |                            | D=4                               | D=8   | D=12,5 | D=20  | D=31,5 | D=50  | D=80  |
| <i>Moll</i>      | <i>Piquage</i>             | 0,750                             | 0,780 | 0,795  | 0,805 | 0,810  | 0,815 | 0,820 |
|                  | <i>Vibration faible</i>    | 0,755                             | 0,785 | 0,800  | 0,810 | 0,815  | 0,820 | 0,825 |
|                  | <i>Vibration normal</i>    | 0,760                             | 0,790 | 0,805  | 0,815 | 0,820  | 0,825 | 0,830 |
| <i>plastique</i> | <i>Piquage</i>             | 0,760                             | 0,790 | 0,805  | 0,815 | 0,820  | 0,825 | 0,830 |
|                  | <i>Vibration faible</i>    | 0,765                             | 0,795 | 0,810  | 0,820 | 0,825  | 0,830 | 0,835 |
|                  | <i>Vibration normal</i>    | 0,770                             | 0,800 | 0,815  | 0,825 | 0,830  | 0,835 | 0,840 |
|                  | <i>Vibration puissante</i> | 0,775                             | 0,805 | 0,820  | 0,830 | 0,835  | 0,840 | 0,845 |
| <i>ferme</i>     | <i>Vibration faible</i>    | 0,775                             | 0,805 | 0,820  | 0,830 | 0,835  | 0,840 | 0,845 |
|                  | <i>Vibration normal</i>    | 0,780                             | 0,810 | 0,825  | 0,835 | 0,840  | 0,845 | 0,850 |
|                  | <i>Vibration puissante</i> | 0,785                             | 0,815 | 0,830  | 0,840 | 0,845  | 0,850 | 0,855 |

---

Annexe « D »

**Tableau 5 : Les masses volumiques des bétons en kg**

| <i>jours</i><br><i>% de SF</i> | <i>24 heures</i> | <i>3 jours</i> | <i>7 jours</i> | <i>14 jours</i> | <i>21 jours</i> | <i>28 jours</i> |
|--------------------------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <i>0%</i>                      | 8.390            | 8.494          | 8.501          | 8.507           | 8.511           | 8.513           |
| <i>5%</i>                      | 8.212            | 8.282          | 8.288          | 8.294           | 8.301           | 8.315           |
| <i>10%</i>                     | 8.289            | 8.380          | 8.378          | 8.381           | 8.392           | 8.398           |
| <i>15%</i>                     | 8.115            | 8.195          | 8.222          | 8.231           | 8.235           | 8.240           |
| <i>20%</i>                     | 8.390            | 8.465          | 8.477          | 8.485           | 8.495           | 8.505           |

---

*Annexe « E » : les résultats des essais réalisés*

**Tableau E.1 : Résultat d'affaissement**

| N° de série | Coefficient d'affaissement (cm) | consistance |
|-------------|---------------------------------|-------------|
| <b>BT0%</b> | 06                              | Plastique   |
| <b>B5%</b>  | 18                              | Fluide      |
| <b>B10%</b> | 22                              | Fluide      |
| <b>B15%</b> | 21                              | Fluide      |
| <b>B20%</b> | 22                              | Fluide      |

**Tableau E.2 : La teneur en air.**

| N° de série             | BT0% | B5% | B10% | B15% | B20% |
|-------------------------|------|-----|------|------|------|
| <b>La teneur en air</b> | 1.6  | 3.3 | 2.9  | 3.5  | 1.8  |

**Tableau E.3: La résistance à la compression à 28j pour les bétons**

| N° de série | La résistance à la compression à 28j (MPa) |              |
|-------------|--|--------------|
|             | Rc à 28j                                   | Rc moyenne   |
| <b>BT0%</b> | 52.4                                       | <b>51.4</b>  |
|             | 51.1                                       |              |
|             | 50.7                                       |              |
| <b>B5%</b>  | 40.4                                       | <b>40.6</b>  |
|             | 40   |              |
|             | 41.4                                       |              |
| <b>B10%</b> | 37.8                                       | <b>38.3</b>  |
|             | 36.7                                       |              |
|             | 40.4                                       |              |
| <b>B15%</b> | 33.2                                       | <b>33.4</b>  |
|             | 33.9                                       |              |
|             | 33.2                                       |              |
| <b>B20%</b> | 52.9                                       | <b>52.23</b> |
|             | 50   |              |
|             | 53.8                                       |              |

**Tableau E.4:**La résistance à la compression à 90j pour les bétons

| N° de série | La résistance à la compression à 90j (MPa) |            |
|-------------|--|------------|
|             | Rc à 90j                                   | Rc moyenne |
| BT0%        | 63.6                                       | 62.9       |
|             | 62.2                                       |            |
|             | 58.2                                       |            |
| B5%         | 48   | 48.3       |
|             | 48.4                                       |            |
|             | 48.4                                       |            |
| B10%        | 44.4                                       | 45.55      |
|             | 52.9                                       |            |
|             | 46.7                                       |            |
| B15%        | 38   | 37.6       |
|             | 43   |            |
|             | 37.2                                       |            |
| B20%        | 60.44                                      | 59.72      |
|             | 59   |            |
|             | 55.6                                       |            |

**Tableau E.5 :** Résultats de l'essai de flexion.

| EPROUVETTE | CHARGE (KN) flexion | FLEXION (MPa) |
|------------|---------------------|---------------|
| M0         | 2.8                 | 1.57          |
| M5         | 3.1                 | 1.74          |
| M10        | 3.7                 | 2.08          |
| M15        | 2.7                 | 1.52          |
| M20        | 2.5                 | 1.40          |

---

**Tableau E.6 : Résultats de l'essai de compression.**

|                    | <b>La résistance à la compression à<br/>28 jours</b> |
|--------------------|--|
| <b>N° de série</b> | <b>Rc moyenne</b>                                    |
| <b>BT0%</b>        | <b>44</b>  |
| <b>B5%</b>         | <b>45.8</b>  |
| <b>B10%</b>        | <b>46</b>  |
| <b>B15%</b>        | <b>44.8</b>  |
| <b>B20%</b>        | <b>43.5</b>  |

---