



## Département de Technologie chimique industrielle

### Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme  
de Licence professionnelle en :

**Génie chimique**

**Thème :**

Caractérisation des sables de moulage de  
la fonderie de BERROUAGHIA

**Réalisé par :**

BENHADJOUDDJA Wiam

**Encadré par :**

- Mme BETEYEB Souhila

M.A.A / Institut de technologie

**Co-encadré par :**

- SEGHIER Mahmoud

Chef de contrôle / POVAL SPA

**Soutenu devant le jury :**

- Examineur : Mme HAMIDOUCHE.S

M.C.B/ Institut de technologie

- Président de jury : OUNISSIO

M.A.A/ Institut de technologie

Année Universitaire : 2021/2022

## **Remerciements**

*Reconnaissant l'incapacité de remercier, un mot d'amour et d'appréciation, une salutation de loyauté et de sincérité une salutation pleine de toutes les significations d'amour et de loyauté, une salutation de cœur.*

*Tout d'abord, je remercie Dieu Allah de m'avoir béni et donné la santé, la force et la volonté de mener à bien et de compléter ce mémoire*

*Puis, je remercie ma promotrice Mme **BETAYEB Souhila** pour ses efforts et son soutien et pour m'avoir prodigué des conseils et m'avoir guidé pas à pas.*

*Mes remerciements vont également aux membres de jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail.*

*J'adresse mes remerciements à **M.SEGHIER Mahmoud** chef de contrôle de l'unité fonderie **BERROUGHIA** qui m'a accompagné tout au long de la période de stage, puis Monsieur **BOU AISSA Moustapha** technicien au sein du laboratoire qui m'a fait confiance et qui a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires à l'accomplissement de ce travail.*

*Je remercie mes professeurs pour ce qu'ils m'ont apporté tout au long de mon parcours académique. Je remercie mes parents, mon frère, mes sœurs de m'avoir soutenu et je n'oublie pas non plus mes amis. Je dis merci beaucoup.*

# ***Dédicace***

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents :*

*Ma très chère mère qui m'a encouragée et soutenu pendant mes études depuis mon enfance*

*Mon très cher père qui a tout fait pour m'aider dans mes études*

*Mes deux sœurs **Sawssen** et **Lamia***

*Mon frère **Sofian***

*A tous les membres de ma famille et toute personne qui porte le nom **BENHADJOUJJA***

*A mes meilleures amies **Linda, Mona, Yamna, Nabila, Nasrine, Chaima** et **Youssra**.*

*A tous mes collègues de la promo génie chimique de l'année universitaire 2021 /2022*

**Wiam**

# **Sommaire**

# Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste d'abréviations

**Introduction** ..... 1

## **Chapitre I: Partie théorique**

I.1. Présentation de l'entreprise POVAL BERROUAGHIA ..... 2

I.1.1. Historique et mission de l'entreprise ..... 2

I.1.2. Objectifs de l'entreprise ..... 2

I.1.3. Organigramme de l'entreprise ..... 2

I.1.4. Présentation des unités de l'entreprise POVAL BERROUAGHIA ..... 3

I.2. Généralités sur la fonderie ..... 3

I.2.1. Type de fonderies ..... 3

I.2.2. Processus de fabrication ..... 4

I.2.3. Moulage ..... 6

I.2.4. Sables de moulage ..... 9

I.3.4. Défauts de moulage ..... 17

I.3.5. Contrôle et laboratoire ..... 17

## **Chapitre II : Matériel et Méthodes**

II.1. Contrôle de matières premières ..... 19

II.1.1. Analyse du sable neuf ..... 19

II.1.2. Contrôle de bentonite (origine Maghnia) ..... 29

II.1.3. Contrôle de noir minéral ..... 31

II.2. Contrôle de sable de moulage ..... 32

II.2.1. Détermination de l'humidité ..... 32

II.2.2. Détermination de la rétention de la bentonite ..... 33

II.2.3. Matière en suspension de sable de moulage ..... 34

II.2.4. Perte au feu ..... 34

## **Chapitre III : Résultats et discussion**

III.1. Résultats de contrôle de l'humidité et perte au feu ..... 35

III.2. Résultats de la granulométrie ..... 36

III.2.1. Sable neuf (de CHLEF) ..... 36

III.2.2. Résultats de granulométrie de bentonite ..... 40

III.3. Résultats d'autres contrôles des matières ..... 41

III.3.1. Sable neuf ..... 41

III.3.2. Bentonite .....	41
III.3.3. Noir minéral .....	41
III.3.4. Contrôle de sable de moulage (sable noir) .....	42
<b>Conclusion</b> .....	43
<b>Références bibliographiques</b> .....	44
<b>ANNEXES</b>	
<b>Résumé</b>	

# Liste des tableaux

# Liste des tableaux

## Chapitre I

<b>Tableau I. 1:</b> Composition de procédé cold BOXE .....	4
<b>Tableau I.2:</b> Composition de procédé NO-BACK .....	5
<b>Tableau I. 3:</b> Valeurs de la résistance des noyaux au pliage.....	5
<b>Tableau I. 4:</b> Composition de procédé CO2.....	5
<b>Tableau I. 5:</b> Influence des constituants du sable sur des propriétés physique.....	11
<b>Tableau I. 6:</b> Transformation de la silice en différentes formes selon la température.....	13
<b>Tableau I. 7:</b> Module de silicate de soude.....	16

## Chapitre II

<b>Tableau II. 1:</b> Groupes de sable .....	26
--	----

## Chapitre III

<b>Tableau III. 1:</b> Résultats des contrôles humidité et perte au feu .....	35
<b>Tableau III. 2:</b> Résultats de la granulométrie de sable neuf .....	36
<b>Tableau III. 3:</b> Résultats après (GM et DR) granulométrie et avant (SP et MS).....	38
<b>Tableau III. 4:</b> Refus des trois tamis voisins donnant la somme maximale .....	38
<b>Tableau III. 5:</b> Détermination de l'indice de finesse.....	39
<b>Tableau III. 6:</b> Résultats de tamisage de bentonite.....	40



# Liste des figures

# Liste des figures

## Chapitre I

<b>Figure I. 1:</b> Schéma de principe d'une sablerie .....	4
<b>Figure I. 2:</b> Châssis pour moulage main, (a) châssis simple, (b) châssis à barres pour gros moulage (en fonte ou en acier soude).....	7
<b>Figure I. 3:</b> Machine à mouler du type DEM-AD .....	8
<b>Figure I. 4:</b> Sable à vert de moulage (sable noir) .....	10
<b>Figure I. 5:</b> Sable neuf de CHLEF.....	13
<b>Figure I. 6:</b> Noir minéral .....	14
<b>Figure I. 7:</b> Bentonite de MAGHNIA .....	15
<b>Figure I. 8:</b> Structure schématique d'une feuille de montmorillonite.....	15
<b>Figure I. 9 :</b> Défaut gale sur la pièce .....	17
<b>Figure I. 10:</b> Soufflure ou bulle de la pièce.....	17

## Chapitre II

<b>Figure II. 1:</b> Appareil d'essai l'entonnoir(a), statif(b), clapet de fond(c), verre gradué(d).....	19
<b>Figure II. 2:</b> Chauffage (sécheur) .....	21
<b>Figure II. 3:</b> Creuset céramique.....	22
<b>Figure II. 4:</b> Four à moufle.....	22
<b>Figure II. 5:</b> Siphonage .....	24
<b>Figure II. 6:</b> Séparation des éléments inférieurs à 0,02mm et des éléments Supérieurs à 0,02 mm par décantation .....	24
<b>Figure II. 7:</b> Série des tamis DIN 4188 .....	24
<b>Figure II. 8:</b> Photographie d'un microscope optique utilisé au cours de la présente étude .....	28
<b>Figure II. 9:</b> Forme des grains de sable (de fonderie BERROUGHIA).....	29

## Chapitre III

<b>Figure III. 1:</b> Courbe granulométrique cumulative de sable neuf de Chlef .....	37
<b>Figure III. 2:</b> Refus (%) en fonction de diamètre de tamis .....	37
<b>Figure III. 3:</b> Formes des grains du sable neuf étudié (CHLEF) .....	40

# Liste d'abréviations

## Liste d'abréviations

**POVAL** : Pompes et vannes algériennes S.P.A.

**FGL** : Fonte grise lamellaire

**FGS** : Fonte grise sphéroïdale

**MS**: Matière en suspension

**DG**: Degré d'uniformité des grains

**GM** : Grosseur moyenne des grains

**DIN** : institut allemand de normalisation

**TGL** : La norme allemande

**AFS** : Indice de finesse

**PF** : Perte au feu

**H**: Humidité

**DR** : Degré de régularité

**SP** : Sable pur

**FB** : Fraction basique

**MV**: Matière volatile

# **Introduction**

### Introduction

Le moulage est l'un des anciens procédés de mise en forme des métaux. Son utilisation remonte à environ 5000 ans. Cette technique est largement utilisée à travers le monde de nos jours, avec une production mondiale de plus de 90 millions de tonnes en 2011, tous métaux confondus (environ 85000 tonnes en Suisse) [1].

Le sable de fonderie a posé, de tout temps, de nombreux problèmes aux fondeurs du fait de l'impossibilité où ils se trouvent, de prévoir d'améliorer le comportement des moules lors de la coulée, en partant d'un échantillon donné de sable [2].

Si l'on considère l'influence du sable sur la qualité des pièces produites, une étude systématique des rebutes montre que le sable est la cause de plus de 50% de la totalité des rebutes et que par ailleurs sur 90 défauts de fonderie répertoriés, est cité le sable comme cause probable de ceux-ci [2].

Donc l'objectif de cette étude est d'avoir les caractéristiques de sable de moulage de la fonderie BERROUAGHIA.

Ce mémoire est structuré comme suite :

- Le premier chapitre est une présentation de l'entreprise POVAL BERROUAGHIA, ainsi que des généralités sur la fonderie et ses processus de fabrication, dont nous avons détaillé le processus de moulage, ses types et les types des sables de moulage.
- Le deuxième chapitre est une étude pratique, concernant la caractérisation des sables de moulage et des additifs nécessaires pour former le sable de moulage comme première étape.
- Le troisième chapitre est une présentation des résultats et interprétations et discussions de ces résultats.
- A la fin, ce mémoire se termine par une conclusion générale.

# **Chapitre I: Partie théorique**

## I.1.Présentation de l'entreprise POVAL BERROUAGHIA

### I.1.1. Historique et mission de l'entreprise

L'entreprise POVAL SPA est une société public économique, elle a été créée en date du 23 juillet 1997 suite à la transformation juridique de l'ex-entreprise de production de matériel hydraulique (EN-PMH)

Ses missions principales sont la recherche, le développement et la commercialisation des produits : pompes, vannes, le matériel industriel de voirie, accessoires de tuyauterie et matériel anti incendie. POVAL dispose aussi d'autres activités : fabrication mécanique, pièces brutes de fonderie.

La société POVAL BERROUAGHIA est composée de quatre unités de production sont : l'unité de Maintenance, l'unité fonderie, l'unité pompes et vannes.

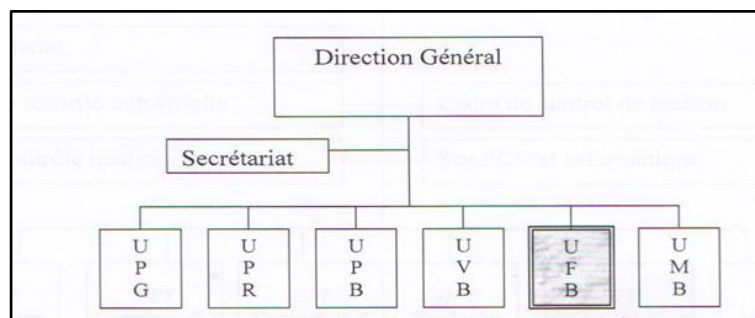
### I.1.2. Objectifs de l'entreprise

L'entreprise POVAL SPA a pour objectifs :

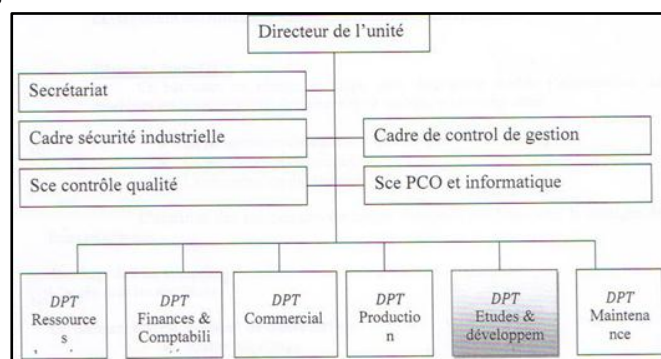
- L'amélioration des relations avec les clients et les acheteurs.
- L'introduction d'un réseau informatique.

### I.1.3. Organigramme de l'entreprise

#### I.1.3.1.Organigramme général de POVAL



#### I.1.3.2.Organigramme générale de l'unité de la fonderie:





#### ***1.1.4. Présentation des unités de l'entreprise POVAL BERROUAGHIA***

##### **a) Unité de maintenance et rénovation**

Cette unité est spécialisée dans la rénovation de machines-outils et équipements de fonderie, ainsi que la fabrication de diverses pièces de rechange [3].

##### **b) Unité vannes de BERROUAGHIA**

Cette unité est spécialisée dans la fabrication des vannes de sectionnement, matériel de protection des réseaux, anti-incendie, irrigation, accessoires réseau et raccords de canalisation[3].

##### **c) Unité pompes de BERROUAGHIA**

Cette unité est spécialisée dans la fabrication de pompes centrifuge depuis 1980, elle dispose d'une large gamme touchant tous les secteurs d'activité dont : l'hydraulique, l'agriculture, le bâtiment, l'assainissement, l'industrie [3].

### **I.2.Généralités sur la fonderie**

Une fonderie peut apparaître comme une technique de fabrication très simple, universellement connue, utilisée depuis des millénaires et qui consiste à « fondre un alliage et le couler dans un moule reproduisant la forme de la pièce à obtenir ». Le processus industriel se révèle beaucoup plus complexe ; il s'agit en effet de fabriquer des pièces répondant à des critères bien définis, avec des cahiers des charges rigoureux, dans une gamme étendue d'alliages différents à qui l'on demande des qualités plus élevées dans des gammes de masses allant de quelques grammes à plusieurs dizaines ou centaines de tonnes, avec des précisions dimensionnelles toujours plus serrées, des états de surface les meilleurs possibles, des formes complexes pour intégrer le maximum de fonctions et avec des cadences de production allant de la pièce unitaire à plusieurs milliers de pièces par jour dans des conditions les plus économiques possible.

#### ***1.2.1.Type de fonderies***

On peut disposer comme suit :

- Fonderie des métaux ferreux courants (fontes : fonte grise lamellaire FGL et fonte grise sphéroïdale FGS, aciers) ;
- Fonderie des métaux non-ferreux (aluminium, bronze, magnésium, zamac...)

- les alliages spéciaux, aciers inoxydables, réfractaires, inusinables, difficiles à mettre en forme par d'autres procédés de fabrication [4].

**I.2.2. Processus de fabrication**

La fabrication passe par les étapes suivantes :

- a. **Modelage** : réalisation de modèles et boîtes à noyaux [5].
- b. **Fusion** : élaboration du métal FGL20 (il existe 5 éléments de base pour la fonte : carbone 'C' –soufre 'S'– Manganèse 'Mn' –Phosphore 'P' –Silicium 'Si').
- c. **Sablerie** : préparation de sable de moulage (bentonite, charbon, sable neuf, eau, sable retour).

La préparation et la régénération des sables récupérés après décochage se font dans des installations appelées sableries où les sables sont tamisés, démottés, concassés, déferrés, dépoussiérés et refroidis (dans certains cas avant d'être malaxés et mélangés dans les broyeurs avec les apports d'eau et d'adjuvants, bentonite, noir minéral, etc.), pour être ensuite envoyés aux machines à mouler [6].

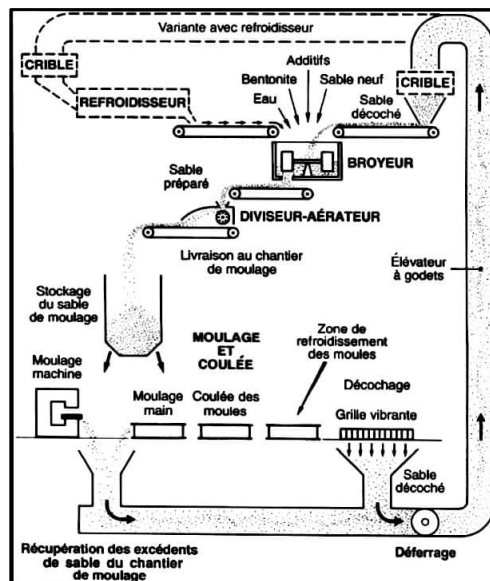


Figure I. 1: Schéma de principe d'une sablerie

- d. **Noyautage** : C'est une méthode de préparation de noyau.

- **Procédé Cold BOXE**

Tableau I. 1: Composition de procédé cold BOXE

Sable siliceux	(96,8-97,8)%
Liant résine synthétique	(1,5-2,0)%
Durcisseur (Guisnel)	(0,6-1,2)%

La préparation de pré mélange s'effectue dans le mélangeur à ailette pendant 5mn.

Quant à la préparation finale, elle s'effectue dans la machine à titre par pneumatique à une température variante de 15 à 40°C dont la durée de durcissement est de 15 à 60 secondes.

Le stockage des noyaux ne doit pas dépasser les 8 jours pour tous les procédés (sauf cronrig illimitée).

- **Procédé NO-BACK**

Le mélange est obtenu au moyen de liant, de résine synthétique ou purânique en ajoutant un catalyseur au sable siliceux.

**Tableau I.2:** Composition de procédé NO-BACK

Sable siliceux	(96,0-97,0)%
Liant à résine synthétique	(1,3-2,0)%
Durcisseur (Guisnel)	(1,0-2,0)%

Ces différentes matières sont traitées à des températures variant de 15 à 40 °C.

Le durcissement de 15 à 30 mn s'effectue dans les boites.

Les noyaux noircis sont séchés au four à une température de 120 à 150°C pendant une durée de 15 à 20 mn.

Les valeurs physiques des noyaux dépendent essentiellement du temps de durcissement, de température, et de la matière. Les valeurs de la résistance au pliage doivent donner après :

**Tableau I. 3:** Valeurs de la résistance des noyaux au pliage

1heure	7 KgF /cm <sup>2</sup>
2heures	18 KgF /cm <sup>2</sup>
4heures	24 KgF /cm <sup>2</sup>

- **Procédé CO<sub>2</sub>**

L'opération de durcissement s'effectue en utilisant le verre soluble comme composant et le gazage au CO<sub>2</sub> pour le durcissement.

**Tableau I. 4:** Composition de procédé CO<sub>2</sub>

Matière	Pourcentage en %	Temps de malaxage en (min)	Temps de gazage en (min)
Sable siliceux	95	03 min	15 min
Silicate de soude	05		

- **Procédé CRONNIG**

Le sable cronrig utilisé dans le procédé de noyautage prise à chaud, se solidifiant sous l'effet de la chaleur.

L'action de durcissement est la résultante de l'enrobage des grains de sable par des pellicules de résine.

Les boites à noyaux sont chauffées jusqu'à une température variant de 280 à 300°C avec un temps de prise de 4 mn maximal.

### **e. Ebarbage**

L'ébarbage est l'opération qui, en fonderie, consiste à éliminer les bavures de métal qui se sont solidifiées au niveau du joint entre les deux parties de moule .Ce processus se fait par quatres étapes : Le débouillage, dessablages, ébarbage et peinture.

### ***1.2.3. Moulage***

L'opération de moulage consiste à fabriquer un moule, généralement en matériaux réfractaires, qui porte l'empreinte en négatif de la pièce, cette empreinte étant obtenue à partir d'un modèle reproduisant la pièce à fabriquer [6]. Elle détermine en effet, d'après le modèle, les formes de la pièce à couler, ses dimensions et leur précision, ses états de surface, son refroidissement, et joue un rôle prépondérant sur de très nombreux paramètres influent sur sa qualité.

#### **1.2.3.1. Types de moulage**

Le moulage est la plus importante opération de fabrication en fonderie, c'est elle qui détermine les caractéristiques principales de la pièce et qui influe dans une très large proportion sur son niveau de qualité.

- ***Moulage main***

C'est le mode de moulage le plus anciennement utilisé dans toutes les fonderies. Avec le développement du machinisme et de la mécanisation, adaptés à des productions de masse, il a peu à peu régressé pour être surtout employé aujourd'hui dans les ateliers de fabrication de pièces unitaires de tous tonnages ou de très petites séries, ne justifiant pas, dans ce cas, des coûts d'outillage type machine trop élevés [6].

### ➤ *Principe*

On peut mouler une pièce d'après un modèle réalisé habituellement en bois, ce modèle peut être parfois simplifié (modèles carcasses ou squelettes, trousseau...).

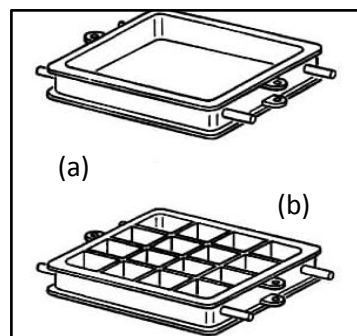
Le modèle est généralement séparé en deux parties suivant un plan de joint, une demi partie servant à faire le moule de dessous, l'autre demi partie sert à faire le moule de dessus.

Pour les plus gros moules, chaque partie de modèle peut être posée directement sur des marbres, à même le sol de l'atelier.

Toutes les parties en creux de la pièce qui ne se démoulent pas sont fabriquées dans les boîtes à noyaux pour être ensuite positionnées dans des parties prévues sur le modèle et reproduites en creux dans le moule.

L'apparition des modèles en polystyrène et des sables autdurcissants a permis de simplifier toutes ces opérations et d'apporter des gains de manutention considérables .

On peut aussi, en moulage main, surmouler une pièce irréparable que l'on utilise comme modèle pour fabriquer une pièce de remplacement [6].



**Figure I. 2:** Châssis pour moulage main, (a) châssis simple, (b) châssis à barres pour gros moulage (en fonte ou en acier soude)[6]

#### • *Moulage machine*

Il se réalise d'un moule à l'aide d'une machine à mouler. Il nécessite après remplissage du châssis en sable de moulage deux opérations fondamentales :

- Tassage et serrage du sable sur le modèle ;
- Démoulage, c'est-à-dire séparation du moule et du modèle.

On peut distinguer deux types de serrage selon la pression : le serrage à basse pression de  $(1,5 \text{ à } 4 \text{ ou } 5) \times 10^5 \text{ Pa}$  ( $1,5 \text{ à } 4 \text{ ou } 5 \text{ bar}$ ), le serrage à moyenne et haute pressions : de  $(7 \text{ à } 15) \times 10^5 \text{ Pa}$  ( $7 \text{ à } 15 \text{ bar}$ ) [6].



Figure I. 3: Machine à mouler du type DEM-AD

### I.2.3.2. Choix des procédés de moulage

Les procédés de moulage ont chacun des caractéristiques bien précises d'emploi qui les destinent préférentiellement à certain type de production (pièces unitaires, de moyennes ou grandes séries, en métaux ferreux, non ferreux, pièces de plus ou moins grandes précisions, etc.), ce qui nécessite, au moment du choix, de bien connaître les performances et les prix de revient de chacun des procédés possibles [6]. Donc il faut prendre en considération :

- la facilité de préparation et de mise en oeuvre des sables et des liants ;
- la durée de vie des sables préparés ;
- la bonne aptitude au stockage ;
- la perméabilité des sables moulés permettant une évacuation facile et rapide des gaz provenant de l'empreinte, du métal, des liants et des additifs éventuels, notamment pour les noyaux.
- la réfractarité et la bonne tenue à la chaleur au moment du remplissage de l'empreinte par le métal liquide ;
- les bonnes caractéristiques à froid et particulièrement :
  - une résistance à la compression suffisante pour les moules,
  - des résistances au cisaillement, à la traction assez élevées pour éviter des ruptures du sable au moment du démoulage,
  - une bonne résistance à la flexion (pour les noyaux), une absence de variations dimensionnelles pendant la prise (retrait ou gonflement),
  - des moules rigides, notamment pour les fontes GS afin de s'opposer au gonflement graphitique à la solidification ;
- l'absence de déformation pour les noyaux, l'absence de fluage, expansion ou retrait pendant la coulée et la solidification ;
- l'absence de réaction du matériau de moulage ou de noyautage avec le métal liquide, qui risque de provoquer des défauts sur les pièces, décarburation ou recarburation

superficielle, dégénérescence du graphite sous l'influence de certains composants des liants,

- la facilité de débouillage au moment du décochage ;
- les possibilités de récupération (sables chimiques) et de régénération (sables argileux) ;
- la compatibilité entre les systèmes de liants employés ;
- les problèmes d'environnement aux postes de préparation des sables et de confection des noyaux : pas de dégagement de gaz incommodant ni de dégagement de chaleur, qui nécessiteraient des protections et des captages efficaces, pas de dégagement de vapeurs nocives et de poussières au poste de décochage, mise en décharge des sables frais ou brûlés non susceptibles de pollution des nappes phréatiques ;
- la facilité et la sûreté des approvisionnements et le faible coût des formules de sable et des modes de moulage employés ;
- le montant des investissements à prévoir pour les outillages, dont l'amortissement et l'entretien représentent une partie non négligeable du coût de la pièce.

### ***1.2.4. Sables de moulage***

#### **1.2.4.1. Origine des sables**

Les sables sont des produits naturels constitués de grains, soit de silice, soit d'autre matière comme le zircon, l'olivine, la chromite, parfois des produits naturels transformés comme la charlotte (argile calcinée).

Les sables naturels sont extraits de carrières exploitées généralement à ciel ouvert. Ils se trouvent sous forme de dépôts en couches superposées plus ou moins régulières. Les qualités varient d'une carrière à l'autre et dans une même carrière, les couches peuvent être très différentes.

Un utilisateur a toujours avantages à bien connaître la carrière d'où provient le sable qu'il utilise. Il devra non seulement s'assurer des qualités du sable, mais aussi vérifier que le gisement est capable de fournir régulièrement cette qualité. C'est pourquoi il est préférable de ne retenir que des couches très épaisses [7].

#### **1.2.4.2. Sable à vert de moulage**

Le sable de moulage doit être infusible (résister à la température de coulée du métal), résistant (résister à l'érosion du métal liquide) et poreux (ne peut s'opposer au passage des gaz produits au moment de la coulée).

La silice est la base de tous les sables de moulage. Elle se présente sous l'aspect de grains plus ou moins gros, gros et arrondis. Ce qui donnent aux sables des degrés de finesse très variable. Elle résulte de la combinaison du silicium et d'oxygène



La densité de la silice est  $2.65 \text{ g/cm}^3$  et sa température de fusion est de  $1730^\circ\text{C}$  [8].



**Figure I. 4:** Sable à vert de moulage (sable noir)

### *a. Propriétés du sable à vert*

Pour être apte au moulage, un sable de fonderie doit posséder un certain nombre de qualités fondamentales qui sont [2] :

- La plasticité, c'est-à-dire l'aptitude du sable à prendre la forme du modèle. On la définit aussi comme l'aptitude au serrage du sable sous un effort donné.
- La cohésion qui permet au sable de conserver la forme donnée par le modèle, et de résister aux contraintes prenant naissance lors de la coulée du métal en fusion.
- La perméabilité : Aptitude du sable à se laisser traverser par les gaz au moment de la coulée, gaz emprisonnés à l'intérieur du moule par le métal ou issus de la combustion de certains éléments lors de l'élévation de la température.
- La résistance à la chaleur : Propriété du sable de ne pas se dégrader sous l'influence de la chaleur du métal liquide soit par fusion des éléments fins soit par dilatation excessive de ses constituants, ce qui maintient la cohésion à chaud.
- Réfractairité : Cette aptitude pour un matériau peut-être caractérisée par sa résistance pyroscopique, c'est à dire la température à laquelle un échantillon du produit, soumis à une élévation graduelle de température dans des conditions normalisées, se ramollit et s'affaisse sous son propre poids [9]. Aussi un matériau réfractaire doit être caractérisé par une résistance aux réactions des produits chimiques, une résistance mécanique et une résistance aux chocs thermiques [10].
- Dilatation : cette aptitude de matériau présente un intérêt considérable pour la conception des structures, car elle conditionne les modes d'assemblage et est responsable de l'établissement des contraintes thermiques internes [11].



- Fini de surface : fait référence à un vaste éventail de procédés industriels visant à altérer la surface d'un objet fabriqué d'un matériau non-ferreux, généralement fait d'acier inoxydable, de plastique [12].

Ces propriétés mécaniques du sable dépendent d'un certain nombre de facteurs physiques liés à ses différents constituants et dont on retrouvera l'influence dans le tableau I.4 :

- La finesse des grains de sable diminue la perméabilité du fait de l'accroissement de la compacité du moule et de l'augmentation de la surface de frottement entre le sable et les gaz. La réfractairité diminue de même, ce qui s'explique par l'augmentation du rapport surface/volume de chaque grain. Par contre, le fini de surface des pièces obtenues est amélioré.
- L'étalement de la granulométrie est défavorable à la plasticité. En effet une granulométrie concentrée avec des grains de diamètre uniforme donne un sable qui se serre en une masse régulière et ordonnée. La perméabilité diminue, les grains les plus fins se logeant dans les interstices laissés par les plus gros.
- La forme des grains a aussi son importance, car des grains ronds améliorent la plasticité, la cohésion et la perméabilité.

**Tableau I. 5:** Influence des constituants du sable sur des propriétés physique [2]

	Plasticité	Cohésion à vert	Cohésion étuvé	Perméabilité	Réfractairité	Tenue à dilatation	Cohésion à chaud	Fini de surface
Granulométrie fine	-	-	-	--	--			++
Granulométrie étalée	--	+	+	--		++/--		
Grains ronds	+	+	+	+				
Quantité d'argile	--	++	++	-	--	+	+	
Faible teneur en eau	-	++	++	++				
Teneur en eau optimale	Minimale	Forte		Maximale				
Forte teneur en eau	+	--	++	--		+	+	-
Noir minéral	-	+	+	--			-	++
Impuretés					--			

++ : Très favorable , + : favorable, - : défavorable, -- : très défavorable

### **b. Composition du sable à vert :**

Les sables de moulage naturels ou synthétiques contiennent les éléments suivants :

- Des grains de silice que l'on caractérise par leur dimension, leur répartition granulométrique et leur forme.
- Des éléments de dimension inférieure à  $20\mu$  comprenant :
  - L'argile (bentonite) (9-11%) proprement dite constituée de paillettes fines de l'ordre du micron qui renferment une certaine proportion d'eau de constitution.
  - Des poussières de silice (86-96%) et autres impuretés telles l'oxyde de fer, la chaux, des matières organiques, des alcalins qui peuvent former des silicates à bas point de fusion.
  - Des produits d'addition : noir minéral (2-6%) ou brai1 destinés à améliorer l'état de surface des pièces.
  - De l'eau (1,5%) d'apport qui donne à l'argile ses propriétés de liant, afin de réunir les grains de silice entre eux.

- **Sable neuf quartzeux :**

Est un sable du rivage très-fin, de nature quartzeuse, mélangé d'environ une cinquième partie de terre calcaire fortement atténuée.

La base des sables siliceux est la silice  $\text{SiO}_2$ .

Le sable neuf quartzeux doit correspondre aux exigences suivantes :

- %  $\text{SiO}_2$  mini 98 %;
- %  $\text{CaO}$  + %  $\text{MgO}$  0.5-1% au maxi ;
- %  $\text{K}_2\text{O}$  + %  $\text{Na}_2\text{O}$  0.1-0.5% au maxi ;
- %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  + %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.5% au maxi

Ces impuretés abaissent la réfractairité du sable :

- Grosseur moyenne des grains 0.2-0.3mm ;
- Degré d'uniformité des grains 65-85% ;
- Matière en suspension (MS%) 0.5-2% ;
- Perte au feu 0.5% au max.

Suivant le (Tableau I.5) la silice  $\text{SiO}_2$  peut être suivant les conditions de température et pression, cristallisée sous forme de quartz  $\alpha$ ,  $\beta$ , de tridymite, ou cristobalite.

**Tableau I. 6:** Transformation de la silice en différentes formes selon la température

Température	Cristallographie de SiO <sub>2</sub>	Dilatation
Ambiante	quartz $\alpha$	-
173°C	quartz $\beta$	1.5%
867°C	Tridymite	-
1470°C	Cristobalite	3-5%
1730°C	Silice amorphe	-

Il est intéressant d'étudier les transformations de phases, car les températures mises en jeu en fonderie de fonte et d'acier sont telles, qu'il y a transformation suivant les gradients de température de mouler.

En fonction de la température, le quartz  $\alpha$  se transforme en quartz  $\beta$  à partir de 573°C (anomalie bien connue de la dilatation de la silice). Cette transformation est réversible.

**- Dilatation de 1.5%**

Le quartz  $\beta$  se transforme ensuite en tridymite aux environ de 867°C.

A partir de 1470°C, le tridymite se transforme en cristobalite qui est une forme stable.

**- Dilatation de 3 à 5%**

Dans tous les cas, il s'agit de silice cristallisée et non de silice amorphe, puisque le point de fusion n'a pas été dépassé



**Figure I. 5:** Sable neuf de CHLEF

- **Noir minéral**

✓ **Définition :**

Le noir minéral est typiquement un charbon pulvérisé, utilisé comme inhibiteur d'oxydation du métal en fonderie de fonte sous forme d'addition au sable à vert ou d'enduit.



**Figure I. 6:** Noir minéral

✓ **Comment agit le noir minéral ?**

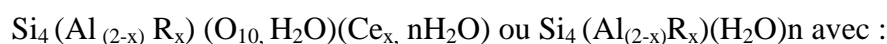
Un moule en sable constitué de sable siliceux, d'argile et d'eau est une masse poreuse humide.

- La finesse du noir contribue à l'étalement granulométrique du sable et donc s'oppose mécaniquement à la pénétration du métal entre les grains du sable compacté.
- A la coulée, l'atmosphère du moule est très chargée en vapeur d'eau et pourrait oxyder le métal. Les oxydes formés peuvent causer des défauts, mais aussi réagir avec la silice en accentuant l'altération de l'état de surface de la pièce.
- Le noir ajouté, se combinant à l'oxygène, permet un dégagement gazeux sous forme de CO-CO<sub>2</sub>, créant un milieu réducteur dans le moule.
- Le dégagement des matières volatils créent une protection à l'interface MOULE /METAL.

- **Bentonite**

Est un minéral industriel principalement composé d'argile. Générée à partir de cendres volcaniques, elle est constituée de minéraux de smectites, comprenant l'hectorite, la saponite, la nontronite ou la beidelite.

Les bentonites sont des silicates d'alumine hydratés, les montmorillonites appartenant dans le groupe de la bentonite de formule brute :



- R=Mg, Fe, Mn, Zn, Ni

- Ce (cations échangeables)= Ca, Na, Mg [13].

La bentonite est couramment utilisée comme matériau de liaison dans la préparation du sable pour produire de l'acier, du fer, et d'autres matériaux [14].

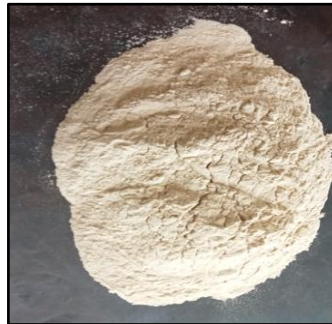


Figure I. 7: Bentonite de MAGHNIA

- **Structure de la bentonite**

Elle est constituée en principe de montmorillonite. Les bentonites du commerce de bonne qualité sont réputées en contenir de l'ordre de 80%. Elles sont mêlées à différents minéraux ou impuretés dont des métaux alcalins ou alcalinoterreux, des matières organiques et de la silice sous forme des grains [15].

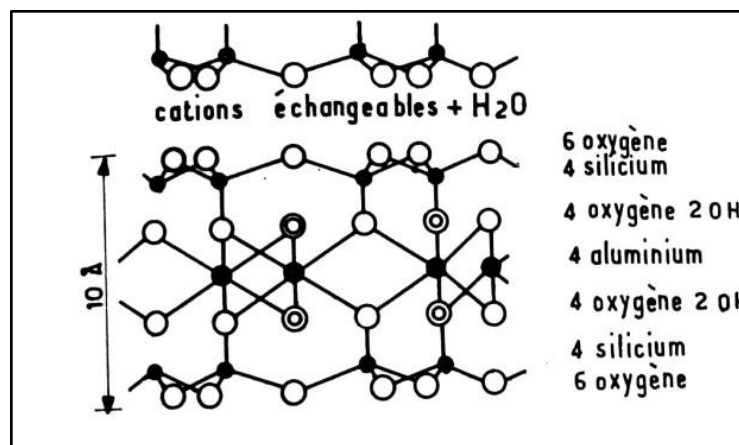


Figure I. 8: Structure schématique d'une feuille de montmorillonite [15]

### I.2.4.3. Sable furanique

Sable furanique est un sable de moulage qui repose sur l'utilisation d'un sable à base de résine synthétique (résine furanique) qui est ensuite mélangé avec un catalyseur, lequel provoque la polymérisation et donc le durcissement du sable.

Le sable furanique est un mélange de résine, acide et sable neuf. Il est particulièrement utilisé pour le moulage de grosses pièces en raison de sa rigidité [16].

#### I.2.4.4. Sable en CO<sub>2</sub>

Le procédé met en œuvre les constituants suivants :

- du sable.
- un silicate de soude.
- du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Le sable est préalablement mélangé au silicate de soude, le mélange est ensuite serré dans un moule puis gazé au CO<sub>2</sub>.

La prise débute dès la mise en contact du sable au silicate avec le dioxyde de carbone.

Il convient de remarquer que le mélange sable-silicate peut prendre après une exposition à l'air ambiant. Ceci est du non seulement à la présence de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, mais aussi à une simple déshydratation du silicate.

##### ❖ choix du silicate :

Le comportement des sables au silicate est en majeure partie fonction du module de ce dernier. Sur un plan qualitatif, on peut donner les appréciations résumées dans le tableau I.7.

Des silicates de soude de module faible (2 à 2.2) peuvent être exceptionnellement utilisés

**Tableau I. 7:** Module de silicate de soude

Module	Prise	Consommation de CO <sub>2</sub>	Résistance	Stockage	Débouillage
Elevé (2.8)	Rapide	Faible	Faible	Difficile	Aisé
Moyen (2.4)	Assez rapide	Assez faible	Moyenne	Moyen	Moyen
Bas (2.0)	Lente	Forte	Elevée	Possible	Difficile

##### ❖ Gaz CO<sub>2</sub> :

Le dioxyde de carbone, communément appelé "gaz carbonique " est inoffensif dans les conditions d'emploi du procédé. Le dioxyde de carbone est le plus souvent livré en bouteilles à l'état liquide. Devant être utilisé à la fonderie à l'état de gaz. Le CO<sub>2</sub> doit subir une évaporation avant l'emploi. Cette opération demande l'apport d'une certaine quantité de chaleur.

### 1.3.4. Défauts de moulage

Un défaut de moulage est une irrégularité indésirable dans une pièce obtenue par moulage, et caractérisation du procédé d'obtention et du métal coulé [17].

On peut classer les défauts selon leurs mécanismes [17] :

- ✓ Les défauts formés pendant le retrait et qui sont liés à la solidification ;
- ✓ Les défauts dus aux gaz ;
- ✓ Les défauts liés au matériau avec lequel est réalisé le moule ;
- ✓ Les défauts formés pendant le remplissage du moule ;
- ✓ Les défauts d'élaboration.



Figure I. 9 : Défaut gale sur la pièce



Figure I. 10: Soufflure ou bulle de la pièce

### 1.3.5. Contrôle et laboratoire

Le laboratoire de fonderie rassemble tous les appareils de contrôle et de suivi des caractéristiques chimiques et physiques des pièces fabriquées et des matériaux mis en œuvre.

Tout d'abord, on commence par le contrôle des matières premières à savoir : granulométrie des sables, conformité des analyses des métaux neufs, caractéristiques des argiles, des résines, des liants, de silicate de soude. Ensuite, on passe au contrôle de processus c'est-à-dire vérifier, à chaque stade du processus de fabrication, la conformité des variables de la production avec les réglages prévus par les fiches d'instruction, ce contrôle peut être visuel ou dimensionnel. Par exemple dans le processus de moulage on analyse et on contrôle périodiquement :

- des sables de moulage, par exemple toutes les demi-heures dans les installations de grande production, analyses faites généralement au laboratoire des sables ;
- la dureté des moules ;
- la température de coulée dans les moules ;
- les dimensions des pièces ;
- le bon fonctionnement des machines et des outillages.

Puis on analyse des matières première (bentonite, charbon, silicate de soude...), et le métal (contrôle des éléments nécessaires C, Si, Mn, P, S (analyse chimique rapide), ainsi que le sable (humidité, granulométrie).



## **Chapitre II : Matériel et Méthodes**

## Chapitre II : Matériel et Méthodes

### II.1. Contrôle de matières premières

#### II.1.1. Analyse du sable neuf

##### II.1.1.1. Détermination de la densité de sable neuf

##### II.1.1.1.1. Détermination de la densité apparente de sable neuf

Pour déterminer cette caractéristique, on pèse l'échantillon tassé et on mesure sa hauteur pour pouvoir ensuite calculer son cubage.

- **Analyse**

La masse en g divisé par le volume en  $\text{cm}^3$  donne la densité apparente de hauteur prescrite, on peut admettre le volume à environ  $98.2 \text{ cm}^3$  après quoi il est possible de déduire facilement de la pesée, la densité apparente [18].

La densité apparente est calculée en utilisant la relation suivante :

$$r = \frac{M}{V} [\text{g}/\text{cm}^3] \quad (\text{II.1})$$

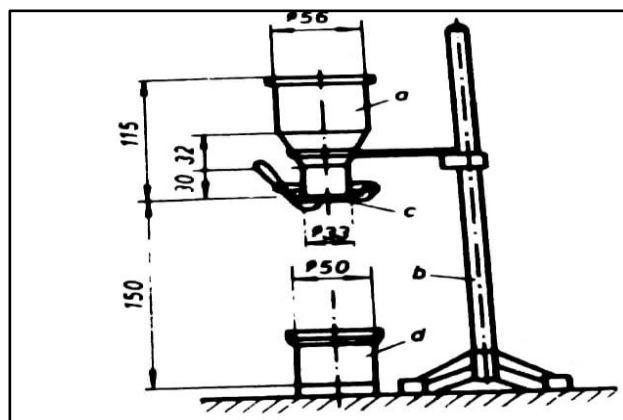
r : densité apparente [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ].

M : poids de l'échantillon [g].

V : volume de l'échantillon [ $\text{cm}^3$ ].

##### II.1.1.1.2. Détermination de la densité en vrac

- **Appareil d'essai**



**Figure II. 1:** Appareil d'essai l'entonnoir (a), statif(b), clapet de fond(c), verre gradué(d)

- **Détermination d'essai**

- On prélève 3 échantillons moyens d'environ 250 cm<sup>3</sup> que l'on verse en vrac dans l'entonnoir (a) de l'appareil d'essai sans prétassement. L'entonnoir possède une contenance approximative de 200 cm<sup>3</sup>. Il est fixé au statif (b).
- On place le verre gradué (d) d'une contenance exacte de 100 cm<sup>3</sup> bien d'aplomb sous l'entonnoir de remplissage.
- On règle la hauteur de l'entonnoir au statif de sorte que l'arête inférieure de l'ouverture de l'entonnoir soit une distance de 150 mm de la surface du verre.
- Ensuite, on ouvre le clapet de fond (c) de l'entonnoir de sorte que la quantité échantillonnée tombe dans le verre gradué.
- On racle le trop de sable qui dépasse du verre à l'aide d'une règle à angles droits sous un angle de 45° contre le bord du verre. Le contenu de verre est pesé à 0.1g près [18].

La densité en vrac est le poids par volume des matières versées de la manière prescrite.

La densité en vrac est exprimée en  $g/cm^3$  voire  $kg/dm^3$

- **Expression de calcul**

$$\text{densité en vrac} = \frac{1}{V} (M_1 - M_0) \text{ [g/cm}^3\text{]} \quad (\text{II.2})$$

$M_1$  : poids du verre remplie de substance en [g].

$M_0$  : poids du verre vide en [g].

$V$  : volume du verre gradué en [cm<sup>3</sup>].

Avec  $V=100 \text{ cm}^3$

### II.1.1.2. Détermination de la teneur en eau d'un sable neuf

- **Matériel**

- Balance électronique ;
- Capsule ;
- Chauffage (sécheur) ;
- Dessiccateur.



**Figure II. 2:** Chauffage (sécheur)

- **Mode opératoire**

- Peser la capsule vide.
- Peser une masse  $m=10g$  de sable neuf au moyen d'une balance électronique.
- Sécher dans un sécheur pendant 10-15 minutes.
- Laisser le sable refroidir dans le dessiccateur pendant 5 min.
- Peser le sable après séchage, noter la valeur

- **Expression de calcul**

$$H\% = (m_i - m_f) \times 100 \quad (\text{II.3})$$

$m_i$  = la masse de matière pesée avant le séchage.

$m_f$  = la masse de matière pesée après le séchage.

### II.1.1.3. Détermination de la perte au feu

- **Principe**

Déterminer la perte de masse après calcination à une température de  $1050^{\circ}\text{C}$ .

- **Matériel**

- Balance au dixième de mg.
- Four à moufle.
- Creuset en céramique.
- Capsules en porcelaine d'une capacité d'environ  $50\text{cm}^3$ .
- Dessiccateur.
- Sécheur.



**Figure II. 3:** Creuset céramique



**Figure II. 4:** Four à moufle

- **Mode opératoire [19] :**

- Sécher l'échantillon de sable pendant (10 min).
- Refroidir dans le dessiccateur (5 -10 min).
- Peser une masse  $m=5g$  de sable.
- Mettre dans un creuset en céramique puis calciner dans un four à moufle de température  $1050^{\circ}C$  pendant 2 heures.
- Refroidir dans le dessiccateur.
- Peser et noter la masse  $m'$  du sable calciné.

- **Expression de calcul**

La perte au feu à  $1050^{\circ}C$  du sable se calcule de la manière suivante

$$\%PF = [(m - m')/E] \times 100 \quad (\text{II.4})$$

$m$  : la masse de sable avant la calcination.

$m'$  : la masse de sable calciné.

#### **II.1.1.4. Détermination de la teneur en particules inférieures à $20\mu m$**

- **Principe**

Le principe est fondé sur l'application de la loi de Stokes, formule selon laquelle la vitesse de chute des particules de densité 2.65 et de dimension inférieurs à  $20 \mu m$  en suspension dans l'eau à une température de  $15^{\circ}C$ , est de l'ordre de 2 cm par minute.

Une méthode consiste en décantation et siphonages successifs, l'autre utilise un appareil de lévigation continue dans lequel le sable est soumis à l'action d'un courant d'eau ascendant de débit constant.

On procède d'abord à une lixiviation dans une solution tampon dans le but de décoller les impuretés des grains de silice.

Dans le cas d'un sable préalablement lié chimiquement, l'échantillon séjournera une nuit dans un four à moufle à une température de 950°C afin d'éliminer les liants organiques.

### ▪ *Décantations et siphonages*

#### **a. Appareillage**

Il comprend un bécher de 600 cm<sup>3</sup> et un siphon de 5mm de diamètre intérieur (figure II.6). Ce siphon comporte, à sa partie inférieure, une tige prenant appui sur le fond du vase et disposée de manière à ce que la distance du fond à la partie inférieure de l'orifice du siphon soit de 20 mm. Ce dernier a une hauteur telle que sa partie supérieure ne repose pas sur le bord du récipient [20].

#### **b. Mode opératoire**

- Remplir d'eau le bécher contenant le mélange qui a été lixivié, jusqu'à une hauteur de 14.5 cm. Lorsque la suspension est revenue au repos, laisser décanter 10 minutes puis siphonner.
- Remplir de nouveau à mi-hauteur, agiter à l'aide d'un agitateur à main (environ 30 s). Compléter à la hauteur de 14.5 cm. Une fois que liquide est au repos, laisser décanter de nouveau pendant 8 minutes. Siphonner comme précédemment.
- Recommencer cette opération en siphonnant après une décantation de 5 minutes exactement, jusqu'à ce que le liquide surnageant ne contienne plus d'argile en suspension, c'est-à-dire apparaisse absolument limpide.
- Au moyen d'un jet de pissette, transvaser le sable dans une coupelle tarée. Laisser reposer au moins 5 minutes. Décanter la majeure partie de l'eau en prenant bien soin de n'entraîner aucune particule de sable. Sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante. Après essais, conserver l'échantillon dans un dessiccateur si une analyse granulométrique doit être effectuée [20].

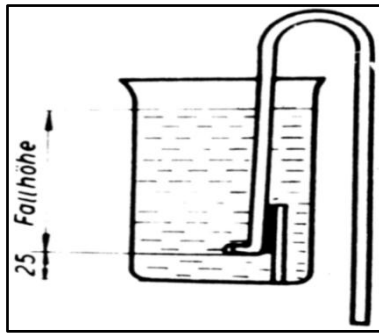


Figure II. 5: Siphonage

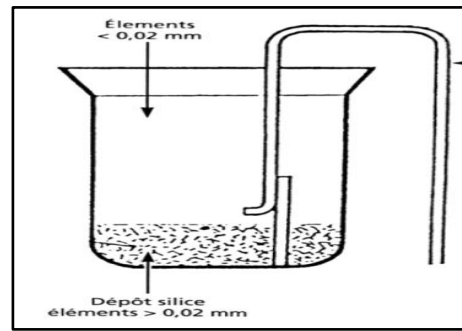


Figure II. 6: Séparation des éléments inférieurs à 0,02mm et des éléments Supérieurs à 0,02 mm par décantation [20]

### II.1.1.5. Détermination de la répartition granulométrique de sable neuf

- **Principe**

Séparer les différentes classes granulométriques d'un échantillon de sable.

- **Domaine d'application**

Cette méthode prescrit une technique de séparation des classes granulométriques d'un vibreur magnétique.

- **Appareillage**

- Balance de précision à (1/10) mg
- Série de tamis DIN 4188 (tamis GF).
- Vibreur magnétique.



Figure II. 7: Série des tamis DIN 4188

- **Mode opératoire**

- L'analyse granulométrique est normalement faite sur un échantillon débarrassé de ses éléments de moins de 20 micromètres et séché à 105°C jusqu'à masse constante.
- S'assurer que la série de tamis soit complète que les toiles soient parfaitement propres et en bon état.
- Emboîter les tamis les uns dans les autres dans l'ordre croissant des ouvertures de mailles, verser l'échantillon sur le tamis supérieur.
- Fixer la série de tamis sur le secoueur.
- Secouer pendant un temps constant, choisi en fonction du type de secoueur (10min étant considéré comme un minimum). Une minuterie peut utilement être adjointe au secoueur.
- L'opération terminée, recueillir séparément les refus ; brosser la toile avec précaution au moyen de la brosse appropriée appliquée normalement à sa surface, afin de récupérer le grain retenu dans les mailles. Effectuer cette opération sur les deux faces de la toile.
- Peser au cg près chaque refus. En noter la masse en regard du numéro du tamis correspondant.
- La somme des refus doit correspondre à la masse de sable initiale, avec une tolérance de  $\pm 0.2\%$ . L'écart conforme à cette tolérance est reporté sur tamis le plus chargé (ou par moitié sur chacun des tamis les plus chargés si ceux-ci accusent des refus égaux à 10 % près).
- Calculer chaque refus en pourcentage de la masse utilisée avant élimination des éléments de moins de 20 micromètres (chaque refus est automatiquement exprimé en pourcent si l'échantillon était de 100g).

**a. Détermination de la fraction basique**

La fraction basique du sable est la somme maximale des résidus dans trois tamis voisins.

**b. Détermination de la catégorie**

La catégorie est liée par la quantité de sable se trouvant dans les 2 tamis extrêmes de la  $F_B$ , dans ces conditions :

Le sable est de catégorie A, si la plus grande quantité de sable est située dans le tamis supérieur de la  $F_B$ .



Le sable est de catégorie B, si la plus grande quantité de sable est située dans le tamis inférieur de la F<sub>B</sub>.

*c. Détermination du groupe de sable neuf*

Le groupe du sable est déterminé d’après le numéro du tamis moyen de la fraction basique. En fonction de la grosseur des grains de la fraction basique, les sables sont divisés en 8 groupes universels représentés dans le tableau suivant :

**Tableau II. 1:** Groupes de sable [18]

Numéro des tamis de la fraction basique	Indication du groupe	Dénomination du groupe du sable
0.710-0.5-0.335	0.5	Gros
0.5-0.335-0.250	0.335	Très grand
0.355-0.250-0.2	0.250	Grand
0.250-0.2-0.180	0.2	Moyen
0.2-0.180-0.125	0.180	Fin
0.180-0.125-0.09	0.125	Très fin
0.125-0.09-0.063	0.09	Mince
0.09-0.063-Fond	0.063	Poussiéreux

*d. Détermination de la structure granulaire*

Si la quantité de sable se trouvant dans les 03 tamis voisins est supérieure à 70%, on dit que le sable à une structure **granulaire concentrée**, si cette quantité est entre 60% 70%, on dit que la structure est **étalée**. Si cette quantité est inférieure à 60%, On dit que le sable à une structure **très étalée** et **dispersée**.

*e. Détermination de l’indice de finesse (AFS)*

C’est un chiffre conventionnel qui a cependant l’avantage d’indique numériquement la prédominance des grains les plus nombreux d’un sable étudié.

L’indice de chiffre conventionnel est calculé selon la formule suivante :

$$AFS = \sum a_i + r_i / \sum r_i \tag{II.5}$$

r<sub>i</sub> : le résidu du sable dans chaque tamis

a<sub>i</sub> : le coefficient multiplicateur pour chaque tamis

### *f. Calcul de diamètre moyen des grains et le degré d'uniformité*

Le diamètre moyen des grains de sable  $d_m$ , et le degré d'uniformité ou régularité du sable C sont déterminés par la courbe granulométrique des valeurs cumulées, cette courbe est réalisée suivant les coordonnées :

- Axe des abscisses le logarithme décimal de l'ouverture des mailles des tamis.
- Axe des ordonnées le pourcentage de sable qui passe à travers le tamis considéré (C'est-à-dire se trouve dans les tamis inférieures du tamis considéré).

#### • **Détermination du diamètre moyen**

Pour obtenir le diamètre moyen des grains de sable qui par définition est le tamis fictif retenant 50% de masse de sable.

On trace la ligne horizontale du pourcentage 50% sur l'axe d'ordonnées jusqu'à intersection avec la courbe granulométrique cumulative de refus, on baisse en ligne perpendiculaire jusqu'à l'axe des abscisses et on note le point  $d_m$  correspondant au diamètre moyen.

#### • **Degré d'uniformité**

Pour la détermination du degré de régularité on calcule d'abord  $2/3 d_m$  et  $3/4 d_m$ . Puis on détermine  $\log 2/3 d_m$  et  $\log 3/4 d_m$  on établit ces points sur l'axe des abscisses, on rétablit deux perpendiculaires jusqu'à la courbe et puis on trace 2 lignes horizontales jusqu'à l'axe d'ordonnées, on obtient 2 points A et B et on calcule le degré de régularité DR% :

$$DR \% = B\% - A\% \quad (\text{II.6})$$

$$A\% = 4/3 \times DM$$

$$B\% = 2/3 \times DM$$

### **II.1.1.6. Détermination de la morphologie des grains [21]**

#### • **Principe**

Ce type de contrôle est purement qualitatif, mais il peut caractériser la forme des grains et mettre en évidence par exemple une pollution du sable, une fragilisation des grains ou un empoussiérement trop important.

#### • **Matériel**

- Microscope optique de grossissement compris entre 15 et 50.
- Lampe.

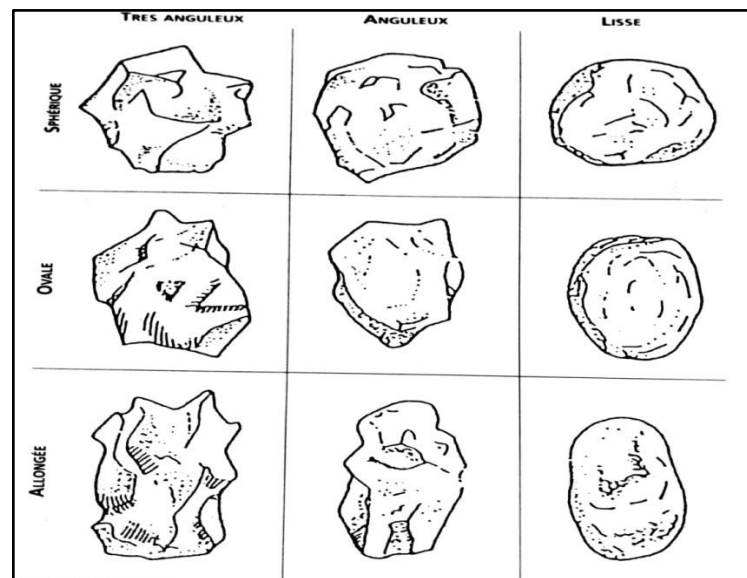
- Support.



**Figure II. 8:** Photographie d'un microscope optique utilisé au cours de la présente étude

- **Méthode d'examen**

- Etaler quelques centaines de grains de sable sur le support de façon à former une couche de sable très étalée. Dans l'oculaire il faut voir entre 50 et 300 grains de sable.
- Eclairer le support et régler le microscope optique pour avoir une image nette et contrastée.
- Contrôler et relever les éléments suivants :
  - Forme des grains de sable (grain fracturés, grains allongés ou sphériques, arêtes vives ou érodées...);
  - L'étalement granulométrique et la qualité des fines de sable ;
  - La couleur des grains et les gangues éventuelles ;
  - La présence d'agrégats et d'impuretés notamment les grains de carbonate (on peut déplacer le support sous l'objectif pour faciliter la recherche).
- Eventuellement classer la forme des grains suivant la figure II.9



**Figure II. 9:** Forme des grains de sable (de fonderie BERROUGHIA)

La forme des grains rencontrée dans les carrières est généralement entre **ronde** et **angulaire**. La forme des grains a une grande importance sur le comportement du sable lors de la coulée (dilatation plus importante des grains).

La surface des grains doit être lisse, vitreuse, et rugueuse. Des surfaces fortement crevassées ont pour conséquence une surconsommation du liant, en réduisant, en même temps les propriétés du sable.

## **II.1.2. Contrôle de bentonite (origine Maghnia)**

### **II.1.2.1. Détermination de la teneur en eau (Humidité)**

Le matériel utilisé, le mode opératoire et l'expression des résultats sont les mêmes qu'en partie précédente.

### **II.1.2.2. Détermination de perte au feu**

Le matériel utilisé, le mode opératoire et l'expression des résultats sont les mêmes qu'en partie précédente.

### **II.1.2.3. Détermination de l'aptitude au gonflement d'une bentonite**

- **Principe**

Appréciation du volume occupé par 2 grammes de bentonite introduits en petites fractions dans une éprouvette de 100 cm<sup>3</sup>, remplie d'eau distillée ou désionisée.

Le volume estimé de 2 g de bentonite est de l'ordre de 2cm<sup>3</sup>.

- **Matériel**

- Balance permettant de peser 2g de bentonite à  $\pm 0.1$ g.
- Eprouvette à pied de 100 cm<sup>3</sup>, graduée en cm<sup>3</sup>.
- Verre de montre, petite spatule.

- **Mode opératoire**

- Peser 2g de bentonite à  $\pm 0.1$ g dans un verre de montre ;
- Remplir l'éprouvette d'eau distillée, jusqu'à la graduation correspondant à 100 cm<sup>3</sup> ;
- Saupoudrer par petites fractions la prise d'essai en laissant les particules descendre d'elles-mêmes, en attendant 2 à 4 minutes après chaque ajout. Le nombre de fraction doit être compris entre 10 et 20 et le temps total de manipulation ne doit pas excéder 1 heure ;
- Faire la lecture 24 heures après la fin de l'introduction de l'échantillon ;
- Noter le volume en cm<sup>3</sup> occupé par les 2 grammes de bentonite.

- **Expression des résultats**

- L'aptitude au gonflement est le rapport entre le volume occupé par la prise d'essai et sa masse en (cm<sup>3</sup>/g), le résultat est arrondi à 0.5 cm<sup>3</sup>/g.
- Le volume de gonflement est une mesure pour la capacité de gonflement des argiles liants est déterminé d'après l'équation suivante :

$$V = \frac{V' \times 100}{100 - C} \quad (\text{II.7})$$

Tels que :

V : volume de gonflement calculé en rapport avec la matière (ml).

V' : volume de dépôt (ml)

C : teneur d'humidité de l'argile liant contrôlé en %

#### II.1.2.4. Détermination de la répartition granulométrique (tamisage) de la bentonite

- Peser 10g de bentonite ;
- Tamiser pendant 15 min ;
- Recueillir les refus des deux derniers tamis et les peser ;
- Calculer les refus en pourcentage, et les refus cumulés.

### II.1.3. Contrôle de noir minéral

#### II.1.3.1. Déterminer de la teneur en eau

- **Matériel**

- Balance précise au 0.0001 g.
- Etuve régulée à 105°C.
- Dessiccateur.
- Creuset.

- **Mode opératoire**

- Peser le creuset vide P1 ;
- Y mettre le produit (P2 = P1 + produit), mettre environ 3g pour le noir minéral ;
- Placer le creuset dans une étuve régulée à 105 pendant 1h ;
- Laisser refroidir en dessiccateur ;
- Peser le creuset sec (P3).

- **Expression des résultats**

$$\text{Eau \%} = \frac{(P2-P3)}{(P2-P1)} \times 100 \quad (\text{II.8})$$

#### II.1.3.2. Détermination de la teneur en cendres

- **Principe**

Définir le pourcentage de cendre d'un produit pulvérulent (noir minéral).

- **Matériel**

- Balance précise au 0.0001g.
- Four à moufle régulée à 900°C.
- Dessiccateur.
- Creuset en quartz.

- **Mode opératoire**

- Sécher le produit ;
- Noter les valeurs de la teneur en eau (P1 et P3) ;
- Placer le creuset dans le four à moufle régulée à 900°C pendant 3 h ;
- Laisser refroidir en dessiccateur ;
- Peser le creuset (P4).

- **Expression des résultats**

$$\text{Cendre \%} = \frac{(P4-P1)}{(P3-P1)} \times 100 \quad (\text{II.9})$$

### II.1.3.3. Détermination de la teneur en matière volatiles

- **Matériel**

- Balance précise au 0.0001 g.
- Four à moufle réglée à 900°C.
- Dessiccateur.
- Creuset en quartz à couvercle rodé.

- **Mode opératoire**

- Sécher le creuset et couvercle ;
- Peser l'ensemble creuset et couvercle (P1) ;
- Rajouter 1g à 0.0001 g près de noir non séché (P2) ;
- Mettre le couvercle ;
- Placer le creuset dans le four à moufle pendant 7mn précise ;
- Laisser refroidir en dessiccateur ;
- Peser creuset + résidus + couvercle (P3).

- **Expression des résultats**

$$\text{Matières volatiles \%} = 100 - \frac{(P3-P1)}{P2} \times 100 - \text{EAU\%} \quad (\text{II.10})$$

## II.2. Contrôle de sable de moulage

### II.2.1. Détermination de l'humidité

- **Matériel**

- Balance électronique ;
- Capsule ;
- Chauffage (sècheur) ;
- Dessiccateur.

- **Mode opératoire**

- Peser la capsule vide ;
- Peser m=10g de sable de moulage (sable noir) par balance électronique ;
- Sécher dans un sècheur pendant 15 minutes ;
- Laisser le sable refroidir dans le dessiccateur pendant 5 min ;
- Peser la masse finale de sable après séchage, noter la valeur.

- **Expression des résultats**

$$H\% = (m_i - m_f) \times 100 \quad (\text{II.11})$$

$m_i$  : la masse initial de sable avant le séchage.

$m_f$  : la masse finale de sable après le séchage.

### **II.2.2. Détermination de la rétention de la bentonite [22]:**

- **Matériel**

- Balance électronique ;
- Plaque chauffante ;
- Dessiccateur ;
- Burette ;
- Fiole de 250 ml ;
- Papier filtre.

- **Matière**

- Sable noir (sable de moulage).
- L'eau distillée.
- Acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (0.5N).
- Bleu de méthylène.

- **Mode opératoire**

- Peser  $m=5\text{g}$  (sable noir), ajouter 50ml de l'eau distillée ;
- Chauffer (10min) ;
- Laisser refroidir quelque minute ;
- Ajouter 2 ml d'acide  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0.5N) ;
- Agiter une minute ;
- Verser la solution de bleu de méthylène, agiter ;
- Prélever une goutte de solution et la déposer sur un papier filtre ;
- Si la tâche est bleu sombre ; on continue l'addition du bleu de méthylène, jusqu'à l'apparition d'un halo autour de la tâche, sécher le papier filtre ;
- Noter le volume et le rapporter sur la courbe d'étalonnage ;
- Abaisser la perpendiculaire ;
- Soit  $x$  la valeur obtenue, elle correspond au % de bentonite dans le sable noir.



**II.2.3. Matière en suspension de sable de moulage [23]:**

- **Matériel**

- Agitateur magnétique ;
- Plaque chauffante ;
- Balance ;
- Dessiccateur ;
- Four à moufle.

- **Mode opératoire**

- Sécher l'échantillon de sable pendant (10min) ;
- Refroidir dans le dessiccateur (5 -10min) ;
- Peser  $m=20g$  de sable ;
- Ajouter 10ml de tétrasodiumdiphosphate ;
- Ajouter 100ml d'eau distillée, chauffer (10min) ;
- Ajouter l'eau distillée jusqu'à 400 ml ;
- Mettre dans l'agitateur magnétique ;
- Ajouter l'eau de robinet jusqu'à 600ml, laisser reposer (30min) ;
- Procéder au siphonage–remplissage d'eau successivement, jusqu'à ce que le liquide surnageant devient claire ;
- Filtrer avec du papier filtre moyen ;
- Mettre dans un creuset en céramique sécher puis calciner dans le four à moufle de température  $1050^{\circ}C$  pendant 2 heures ;
- Refroidir dans le dessiccateur ;
- Peser et noter la masse  $m'$  du résidu.

**II.2.4. Perte au feu [19] :**

Le matériel utilisé, le mode opératoire et l'expression des résultats sont les mêmes qu'en partie précédente (II.1.1.3).

## **Chapitre III : Résultats et discussion**

## Chapitre III : Résultats et discussion

### III.1. Résultats de contrôle de l'humidité et perte au feu

**Tableau III. 1:** Résultats des contrôles humidité et perte au feu

	Sable neuf	Sable noir (à vert)	Noir minéral	Bentonite
Humidité (%)	3.95	4.40	3.28	6
Perte au feu (%)	0.23	3,24	/	10.82

Les résultats concernant l'humidité des différents constituants du sable de moulage indiquent que tous ces constituants sont dans les normes. Bien que la valeur de l'humidité du noir minéral soit un peu plus élevée par rapport à la norme (Annexe), elle reste acceptable parce que ceci n'affecte pas la composition finale du sable de moulage car l'humidité finale de ce dernier dépendra de toutes les humidités de tous les constituants.

Quant aux résultats de la perte au feu, celui de la bentonite sort légèrement de la norme, mais la valeur reste acceptable et n'affecte pas la qualité du sable de moulage. Si c'était encore plus élevée cela augmentera la perméabilité et la compression du sable de moulage.

Le sable noir par contre, présente une perte au feu très faible par rapport à la norme (entre 5 et 7%) et cela peut causer une perte de sable à vert. Donc ce sable ne peut être utilisé tel qu'il est mais il doit subir une correction pour augmenter sa PF.

### III.2. Résultats de la granulométrie

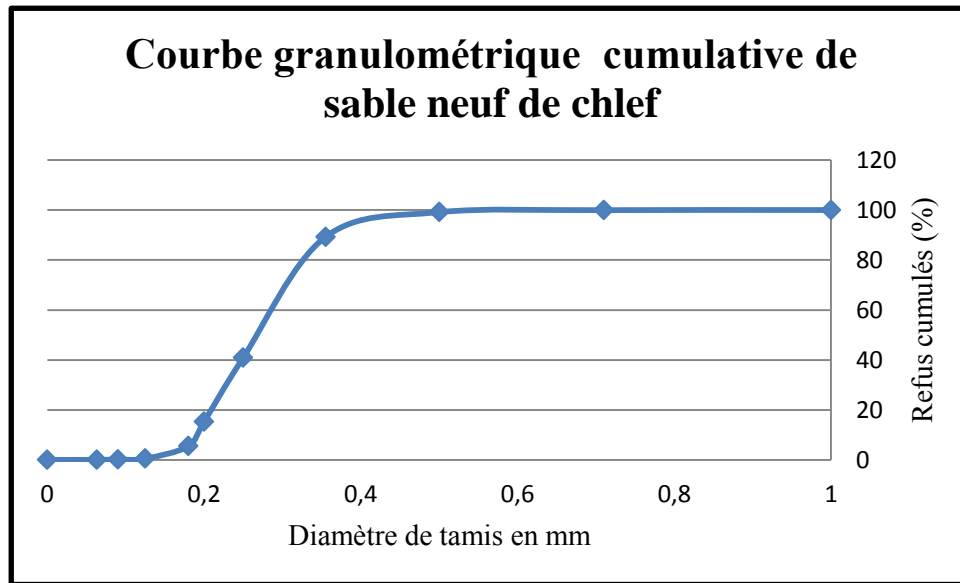
#### III.2.1. Sable neuf (de CHLEF)

Tableau III. 2: Résultats de la granulométrie de sable neuf

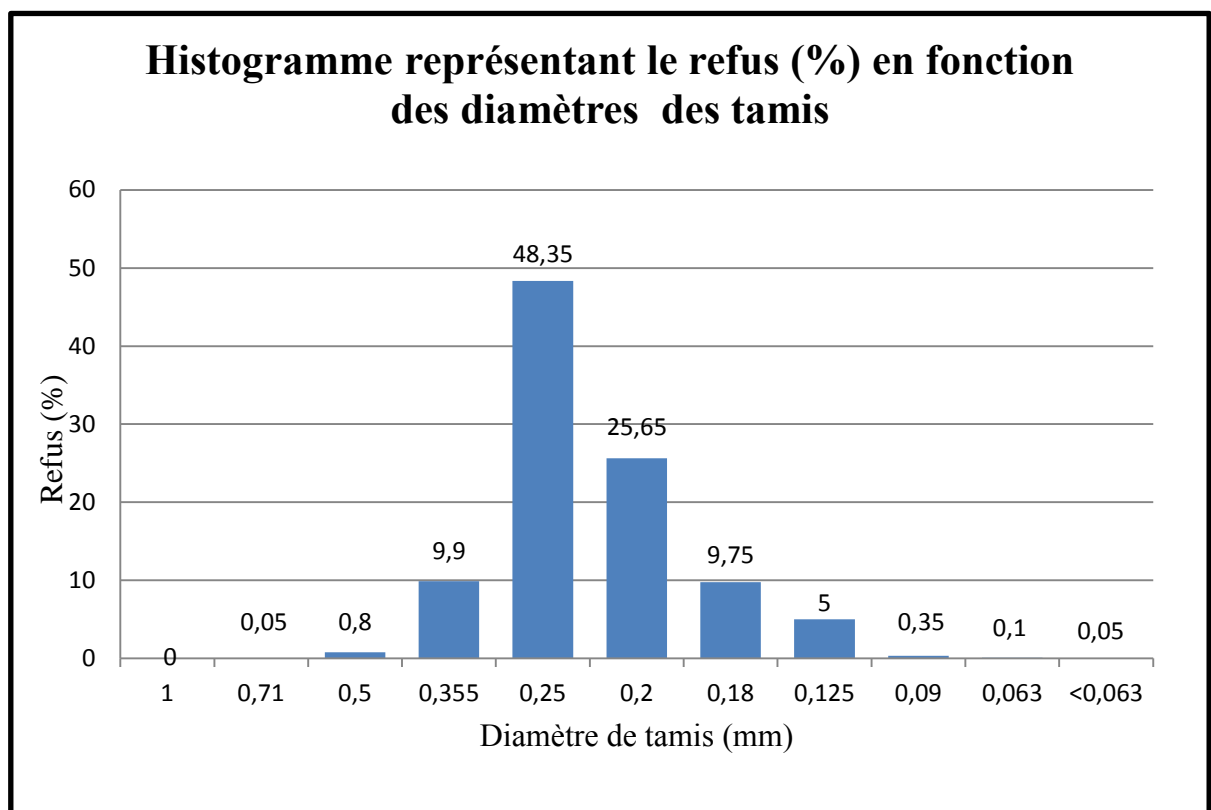
N° tamis en (mm)	Refus en (g)	Refus (%)	Refus cumulés(%)
1,000	0,00	0,00	100
0,710	0,01	0,05	99,95
0,500	0,16	0,80	99,15
0,355	1,98	9,90	89,25
0,250	9,65	48,35	40,90
0,200	5,13	25,65	15,25
0,180	1,95	9,75	5,50
0,125	1,00	5,00	0,50
0,090	0,07	0,35	0,15
0,063	0,02	0,10	0,05
< 0,063	0,01	0,05	00
	$\Sigma = 20g$	$\Sigma = 100\%$	

$$\text{Refus (\%)} = \text{Refus en (g)} \times 5$$

$$\text{Refus cumulé (\%)} = 100 - \text{Refus (\%)}$$



**Figure III. 1:** Courbe granulométrique cumulative de sable neuf de Chlef



**Figure III. 2:** Refus (%) en fonction de diamètre de tamis

**Tableau III. 3:** Résultats après (GM et DR) granulométrie et avant (SP et MS)

Ce tableau présente le diamètre moyen (GM), le degré de régularité (DR), le taux de sable pur (SP) obtenu par siphonage, le taux de matière en suspension (MS).

GM	0.26 mm est acceptable
DR	83% > 65
SP	99.40% > 96
MS	0.37% < 2

Ces résultats montrent que ce sable neuf est bon pour faire le moulage

- **Fraction basique**

**Tableau III. 4:** Refus des trois tamis voisins donnant la somme maximale

Diamètre (mm)	Fraction (%)
0.355	9,9
0.250	48,35
0.200	25,65

La fraction basique est la somme maximale des fractions de trois tamis voisins. D'après le tableau de l'analyse granulométrique, il est clair que les tamis de diamètres successifs 0.355, 0.25 et 0.2 mm portent les fractions de refus les plus élevées (9.9, 48.35 et 25.65%) et leur somme donne par la suite la valeur maximale possible qui va représenter la fraction basique du sable neuf.

$$FB = \sum (9,9 + 48,35 + 25,65) = 83,9 \%$$

- **Groupe de sable**

A partir du numéro du tamis moyen de la fraction basique (0.355, 0.25, 0.2) et selon le tableau II.1 (chapitre II) et l'histogramme il s'agit du sable de groupe grand.

- **Catégorie de sable**

Le sable est de catégorie b, le refus du sable dans le tamis inférieur extrême (0.2 mm, 25.65%) de la fraction basique est plus grand par rapport au résidu du sable dans le tamis supérieur extrême (0.355 mm, 9.9%).

- **Structure granulaire**

La quantité du sable se trouvant dans les 03 tamis voisins :

$$\Sigma (9,9 + 48,35 + 25,65) = 83,9 \% > 70\%$$

D'après la valeur de la quantité du sable se trouvant dans ces trois tamis, on constate que le sable a une structure granulaire concentré (chapitre II page 26).

- **Indice de finesse (AFS)**

**Tableau III. 5:** Détermination de l'indice de finesse

N° de tamis A.F.S	Ouverture des mailles (mm)	Refus (g)	Refus en (%)	Multiplication selon DIN 4188	Produits
6	1	0,01	0,05	15	0,75
12	0.71	0,16	0,80	25	20
20	0.50	1,98	9,90	35	346,5
30	0.355	9,65	48,35	45	2175,75
40	0.25	5,13	25,65	52	1333,8
50	0.200	1,95	9,75	60	585
70	0.19	1,00	5,00	81	405
100	0.125	0,07	0,35	118	41,3
140	0.09	0,02	0,10	164	16,4
200	0.063	0,01	0,05	275	13,75
Total		20	100		4938,25

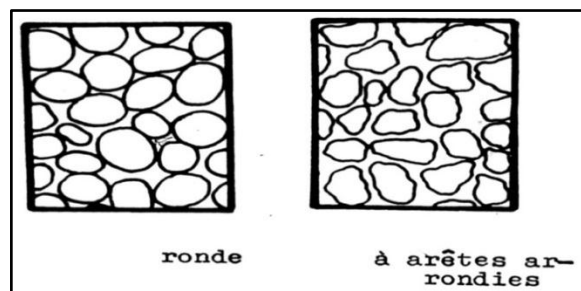
$$IF (A.F.S) = \text{Produits} / 100 = 49.38\%$$

La valeur de l'indice de finesse du sable neuf doit être comprise entre 52 et 60 % d'après les normes mais la valeur calculée pour le sable de chlef est légèrement inférieure à la limite inférieure des normes. Néanmoins, cette valeur reste acceptable et ne nécessite aucune correction.

Dans le cas où la valeur d'IF est inférieure ou supérieure à la norme (52-60), la perméabilité diminue du fait de l'accroissement de la compacité du moule et de l'augmentation de la surface de frottement entre le sable et les gaz.

- **Morphologie des grains**

Les résultats de la morphologie des grains montre que le sable neuf de chlef est composé en grande partie des grains parfaitement sphériques, l'autre partie s'agit des grains de forme ovale à arête arrondies. Cette partie est beaucoup moins présente par rapport à la première (forme sphérique) dans ce sable.



**Figure III. 3:** Formes des grains du sable neuf étudié (CHLEF)

- **Discussion**

- Les grains ronds améliorent la plasticité, la cohésion, et la perméabilité.
- Ces deux formes des grains permettent de faciliter le dégagement des gaz au sein de moulage.

D'après ces résultats et les résultats précédents on remarque que le sable neuf de chlef est conforme et peut être utilisé dans le moulage sans poser de problèmes.

### **III.2.2. Résultats de granulométrie de bentonite**

**Tableau III. 6:** Résultats de tamisage de bentonite

N° de tamis (mm)	Refus (g)	Refus (%)
0.063	2.90	29
< 0.063	7.10	71



D'après les résultats donnés dans le tableau III.6 on constate que cette bentonite est broyée très finement mais cela ne va pas affecter la qualité du sable de moulage et donc cette bentonite est utilisée telle qu'elle est.

### III.3. Résultats d'autres contrôles des matières

#### III.3.1. Sable neuf

Les résultats de la densité apparente et de la densité en vrac du sable neuf sont les suivant :

- **Densité apparente**  
2,65 g/l
- **Densité en vrac**  
1,6 g/l

#### Interprétation

La valeur de la densité en vrac et la densité apparente sont acceptable par rapport la norme (ANNEXE Tableau A.2)

#### III.3.2. Bentonite

- ✓ **Aptitude au gonflement d'une bentonite**

$$V = \frac{V' \times 100}{100 - C}$$

gonflement : 20.23 ml <<< (29-30ml)

Le gonflement peut être dû en grande partie, au changement dans la perméabilité, sachant que l'augmentation du gonflement renforce le pouvoir liant de la bentonite et il est bénéfique à la perméabilité. Tandis qu'un manque de gonflement rend le sable facile à s'effriter (diminue la résistance du sable c'est-à-dire que celui-ci deviendra plus fragile).

#### III.3.3. Noir minéral

- ✓ **Teneur en cendres**

La valeur de la teneur en cendres est trouvée égale à 6.80 %.

- ✓ **Teneur en matières volatiles**

La valeur de la teneur en matières volatiles est calculée comme suit :

$$\text{Matières volatiles \%} = 100 - \frac{(P_3 - P_1)}{P_2} \times 100 = 3.28 \%$$

$$\text{MV} = 34.58\% \gg (28-33\%)$$

### Interprétation

La valeur de la teneur en cendres c'est acceptable selon la norme du noir minéral (valeur maximale égale à 7%).

Par contre, la teneur en matières volatiles est très élevée par rapport à la norme ce qui va diminuer l'efficacité du noir minéral en augmentant la vitesse d'incinération de ce dernier. Ceci va à son tour provoquer des défauts à la surface des pièces.

Ce noir minéral n'est par conséquent pas utilisé tel qu'il est dans le sable de moulage, il est soit remplacé par un autre noir minérale conforme soit corrigé et utilisé.

### III.3.4. Contrôle de sable de moulage (sable noir)

- **Sable pur**  
SP = 83,28% < 85 %
- **Matière en suspension (matière volatile)**  
MS = 13,48 %
- **Pourcentage de bentonite**  
%Bent = 6% <<< (9-12)

### Interprétation

On remarque que le pourcentage du sable pur est un peu faible par rapport à la norme, mais cela ne va pas nuire à la qualité du sable de moulage.

Le pourcentage de bentonite dans ce sable est également très faible par rapport à la norme, une faible teneur en bentonite provoque une augmentation de la plasticité, de la réfractairité et une diminution de la cohésion du sable de moulage. Mais on prend cette valeur telle quelle est sans que cela modifie la qualité du sable de moulage.

Par contre, le pourcentage de la matière en suspension est acceptable par rapport à la norme (12,5-13,5 %).

# **Conclusion**

## **Conclusion**

L'importance des propriétés du sable affecte négativement et positivement le produit. La qualité de sable de sa bonne préparation, de sa régénération correcte et du bon réglage de ses caractéristiques dépendra en final, la qualité des pièces fabriquées, c'est tout l'art du fondeur.

Le respect des règles et les normes est très important dans le contrôle de qualité des matières premières et des matières finales. Après contrôle, si la valeur dépasse ou tombe en dessous de la valeur spécifiée, une erreur se produit et donne un résultat insatisfaisant.

L'étude des caractéristiques de sable de moulage permet la sélection de matériaux de base de haute qualité, et la correction des défauts au sein de moulage pour obtenir un produit satisfaisant et de qualité.

D'après les résultats d'analyse des matières premières entrant dans la composition du sable de moulage on a constaté que certains paramètres étaient conformes aux normes contrairement à d'autres, bien que cela n'affecte pas la qualité du sable de moulage. En revanche, le noir minéral doit être modifié ou remplacé parce qu'il ne présente pas la bonne qualité.

# **Références Bibliographiques**

## Références bibliographiques

- [1] T.BELLILI, Etude et fabrication d'un moule métallique de fonderie d'aluminium, Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique, Université Abderrahmane MIRA. Bejaïa, 2015-2016.
- [2] M. CANONNE, Contribution à l'automatisation de la préparation du sable en Fenderie, thèse doctorat, université des sciences et techniques de LILLE 1, 1975.
- [3] Site de l'entreprise [http : /www.poval.dz](http://www.poval.dz)
- [4] P. CUENIN, techniques de fabrication : généralités, traité Matériaux métalliques, techniques de l'ingénieur (M 3510) 1994.
- [5] [http : www.modelage-industriel-lesage.com](http://www.modelage-industriel-lesage.com), site industriel Modelage Industriel Lesage à Vrigne aux Bois.
- [6] P. CUENIN, moulage-noyautage, traité Matériaux métalliques, techniques de l'ingénieur (M 3512) 1994.
- [7] Sables autodurcissants, récupérations associées au grenailage Fonderie Octobre 1980 ; Fonderie, Fondateur d'aujourd'hui n°11, janvier 1982.
- [8] Centre des industries de la fonderie CTIF. MANUEL DU SABLE Á PRISE CHIMIQUE. Editions techniques des Industries de la fonderie 1994.
- [9] M. GHASSEMI KAKROUDI, Comportement thermomécanique en traction de bétons réfractaires : influence de la nature des agrégats et de l'histoire thermique, thèse doctorat, l'université de LIMOGES, 2007.
- [10] A.RAKOTONIAINA, étude des matériaux réfractaires, conception et réalisations d'un mini-four, Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de : licence ès sciences techniques en génie industriel, université d'ANTANANARIVO, 2007.
- [11] J.LACHNITT, les matériaux réfractaires, Dépôt légal 1 édition : 1983, septembre, Presses Universitaires de France, 1983, 108, boulevard Saint-Germain, 75006 Paris.

- [12] <https://istsurface.com/fr/ressources/sablage-au-jet/finition-de-surface>, site industriel international technologies.
- [13] INTERNATIONAL OENOLOGICAL CODEX ,Bentonites COEI-1-BENTON: 2011,bentonites bentonita N°SIN: 558(Oeno 11/2003, Oeno 441-2011)
- [14] <http://www.plastechplus.ca>, site industriel, fourni et usine des fournitures de forage et des raccords géothermiques de haute qualité depuis sa fondation en Mai 1990.
- [15] Centre technique des industries de la fonderie, Réflexions sur les argiles de moulage et leurs méthodes de contrôle, avenue de la division-Leclerc, 92319 Sèvres, juin 1970 mise à jour aout 1978, Retirage décembre 1989.
- [16] [www.fonderie-ardennes.fr](http://www.fonderie-ardennes.fr) , site industriel de l'industrie Européenne fonderie Rollinger Ardennes.
- [17] S.GARA, procédés de mise en forme par moulage, 2017.
- [18] Classeur de fonderie BERROUGHIA Selon la norme TGL 14317.
- [19] Recommandation technique du B.N.I.F n°423 –détermination de la perte au feu d'un sable silico-argileux - Novembre 1999.
- [20] centre technique des industries de la fonderie contrôles matières premières ‘ les matériaux de moulages ‘A 311 pages 1, 2, 3,4.
- [21] centre technique des industries de la fonderie 1993 contrôles matières premières ‘ les matériaux de moulages ‘A 330-1
- [22] Recommandation technique du B.N.I.F n°401 –confection d'une éprouvette en sable silico-argileux - Novembre 1999.
- [23] Recommandation technique du B.N.I.F n°424 –détermination de la teneur en particules inférieurs à 20 microns d'un sable silico-argileux - Novembre 1999.

# **ANNEXES**



**Tableau A. 1:** La norme de noir minéral selon DIN

Composants volatils (en état anhydre)	28-33%
Teneur en Soufre en état brut	0.8-1.3% Max
Teneur en eau en état brut	3% Max
Teneur en cendres	7%Max
Degré de broyage, Résidu 0.2mm	0.0% Max
Degré de broyage, Résidu 0.09 mm	10.0% Max

**Tableau A. 2:** La norme de bentonite selon TGL

Humidité en état de livraison	6% Max
Perte au feu à 1000°C	10% Max
Matières décantés	37% Min
Volume apparent	10cm <sup>3</sup>
Refus sur tamis 0.063	30% Max
Volume gonflé	95.5 cm <sup>3</sup>
Ph	9
Teneur en montmollinite	70% Min

**Tableau A. 3:** Représenter la norme international pour le sable de moulage et le sable neuf

Caractéristiques	Normes (sable neuf)	Normes (sable à vert)
Humidité en %	<b>3,5--4,5</b>	<b>3,5--4,5</b>
Bentonite en %	/	<b>9 –11</b>
Degré de régularité	<b>&gt;=65</b>	<b>&gt;=65</b>
Diamètre moyen (mm)	<b>0,17--0,25</b>	/
Perte au feu (%)	<b>&lt;=1</b>	<b>5—7</b>
Sable pur (%)	<b>&gt;=96</b>	<b>&gt;=96</b>
Matière en suspension(%)	<b>&lt;=2</b>	<b>12,5--13,5</b>
Indice de finesse (AFS)(%)	<b>52—60</b>	/
Densité apparente (g/l)	<b>2,65</b>	/
Densité en vrac (g/l)	<b>1,6</b>	/

**Tableau A. 4:** Représenter le volume en fonction de % bentonite active dans le sable de moulage acier et fonte établir le 15/05/2014

Bentonite %	2	4	6	8	10	12	14	16
V(ml)	6	9	12	15	18	21	24	27

**Tableau A. 5:** Représenter les séries des tamis utilisables (A.FS,G.F,AFNOR)

Série A.F.S			Série G.F			Série AFNOR		
N° de tamis	Ouverture des mailles en mm	Multipl i-cateur	N° de Tamis	Ouverture des mailles en mm	Multipl icateur	N° de tamis	Ouverture des mailles en mm	Multipli- Cateur
6	3.350	3	2	3	3	36	3.150	3
12	1.700	5	4	1.4	6	33	1.600	5
20	0.850	10	6	1.0	9	30	0.800	11
30	0.600	20	10	0.71	17	29	0.630	18
40	0.425	30	16	0.50	31	27	0.400	31
50	0.300	40	20	0.355	41	26	0.315	38
70	0.212	50	30	0.25	52	24	0.200	52
100	0.150	70	40	0.18	71	23	0.160	66
140	0.106	100	60	0.125	103	21	0.100	102
200	0.075	140	80	0.09	146	20	0.080	130
270	0.053	200	100	0.063	186	18	0.050	210
Fond		300	Fond		281	Fond	0.020 (fictive)	300

**Tableau A. 6:** Représenter Série (G.F + tamiseur PSA)

Série +G.F+ tamiseur PSA	
Ouverture des mailles en mm	Multipl icateur
1.4	6
1.0	9
0.71	15
0.50	25
0.355	35
0.25	45
<b>0.20*</b>	<b>52</b>
0.18	60
0.125	81
0.09	118
0.063	164
Cuvette de fond	275

## Résumé

Dans une fonderie, les pièces moulées sont produites par coulée de métal en fusion dans un moule réfractaire constitué principalement de sable, d'argile et d'eau.

Nous avons fait une étude sur les caractéristiques de sable de moulage de fonderie BERROUAGHIA pour éviter les défauts des pièces parce que le sable est un facteur clé.

Les contrôles des matières nécessaires pour formuler le sable de moulage montre que certains paramètres étaient conformes aux normes par contre d'autres doivent être corrigé ou remplacé par une matière de bonne qualité pour obtenir un produit satisfaisant.

**Mots clés :** fonderie, sable de moulage, caractérisation.

## الملخص

في المسبك ، يتم إنتاج المسبوكات عن طريق صب المعدن المنصهر في قالب مقاوم للصهر يتكون أساساً من الرمل والطين والماء.

لقد قمنا من قبل بإجراء دراسة حول خصائص رمل القوالب بمسبك البرواقية لتجنب عيوب القطع لأن الرمل هو عامل رئيسي في ذلك.

بعد مراقبة المواد اللازمة لصياغة رمل القوالب، تبين أن بعض الخصائص كانت متوافقة مع المعايير، بينما يجب تصحيح أو استبدال أخرى بمواد ذات نوعية جيدة للحصول على منتج مرضي.

**الكلمات المفتاحية :** المسبك ، رمل القوالب ، خصائص.

## Abstract

In a foundry, castings are produced by pouring molten metal into a refractory mold consisting primarily of sand, clay and water.

We before made a study on the characteristics of BERROUGHIA foundry casting sand to avoid parts defects because sand is a key factor for this.

Controls of the materials necessary to formulate the molding sand shows that certain parameters were in conformity with the standards, therefore others must be corrected or replaced by a material of good quality to obtain a satisfactory product.

**Keywords:** foundry, the molding sand, characterization.