

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار عنابة

**Faculté : Sciences de l'ingénieur.**  
**Département : Métallurgie et génie des matériaux.**  
**Domaine : sciences et techniques.**  
**Filière : Métallurgie.**  
**Spécialité : Technologie de fonderie.**

## Mémoire

**Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**  
**Thème:**

**Étude de l'effet de charbon sur les caractéristiques de sable à vert et sur la surface de la pièce a l'entreprise ETRAG**

**Présenté par :** *Hadj Abderrahmene Younes*

**Encadrant :** *Dr Hcini Mohamed – Univ.Badji Mokhtar.Annaba*

### Jury de Soutenance :

Pr. Hadji Ali	Pr	<i>Univ.Badji Mokhtar.Annaba</i>	Président
Hacini Mohamed	Dr	<i>Univ.Badji Mokhtar.Annaba</i>	Encadrant
Hamani Med Seghir	Dr	<i>Univ.Badji Mokhtar.Annaba</i>	Examineur
Lemoui Abdenaser	Pr	<i>Univ.Badji Mokhtar.Annaba</i>	Examineur

**Année Universitaire : 2019/2020**



# Remerciements

Tout d'abord je remercie ALLAH le tout puissant pour ses faveurs ses bontés, de m'avoir donné le courage, la volonte et la patience pour terminer ce modeste travail.

Nous remercions également tous les enseignants de département de Métallurgie et tous les gens qui nous ont aidés à élaborer ce modeste travail

À tous mes enseignants qui m'ont initié à la technologie de fonderie.

Je tiens à remercier tout d'abord mon directeur de recherche M. Hacini Mohamed pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa Bienveillance.

Je voudrais également remercier les membres du jury d' 'avoir accepté d' 'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.

Je remercie également tout le personnel de l'entreprise ETRAG Constantine pour m'avoir introduit au monde de l'entreprise.

Je les remercie pour tous les efforts qu'ils ont fournis durant notre cursus afin de nous amener jusqu'au bout de la formation de master.

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer...

# *Dédicaces*

Je dédie ce mémoire à :

**Ma mère** qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour,  
son

Soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

**Mon père** qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie, merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

**Mes frères** Wahide, Bakare et mestres chères sœurs Khadîdja et Nawel qui n'ont jamais cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

# Sommaire Des Figure

Figure 1: sable siliceux .....	3
Figure 2: Grains de chromite .....	3
Figure 3: Sable d'olivine (x75) .....	4
Figure 4: Sable de zircon .....	4
Figure 5: sable fin de zircon .....	5
Figure 6 : circuit sable de moulage .....	10
Figure 7: principe de grille vibrante.....	12
Figure 8 : deux séparateurs magnétiques.....	14
Figure 9: Diviseur à turbine.....	16
Figure 10 : Tamis Vibrant .....	16
Figure 11 : Schéma d'un trommel.....	18
Figure 12: schéma du principe de refroidisseur .....	19
Figure 13 : Schéma de principe de malaxeur .....	23
Figure 14 : Extraction du sable .....	39
Figure 15: cycle complet de la préparation des sables de moulage .....	49
Figure 16 : Damoir .....	57
Figure 17 : Appareillage de la détermination des résistances mécaniques.....	58
Figure 18 : Perméamètre.....	59
Figure 19 : Courbe de la résistance à la compression et au cisaillement en fonction du charbon.....	64
.....64	
Figure 20 : courbe de la perméabilité en fonction du l'addition de charbon.....	64
Figure 21 : le moule préparé.....	65
Figure 22 : Etapes de réalisation d'une pièce coulée.....	70
Figure 23 : Retrait du métal.....	71
Figure 24 : Four à induction .....	72
Figure 24 : Schéma général de fabrication d'une pièce coulée.....	73
Figure 25: Tambour de frein.....	74

Figure 26 : Principe du frein à tambour intérieur .....	75
Figure 27 : Dessin technique de la pièce en étude .....	76
Figure 28 : Tambour de frein en 3D simulé par SOLIDWORKS. ....	77
Figure 29 : l'opposition de plan de joint.....	78
Figure 30 : élimination de Surépaisseur d'usinage.....	79
Figure 31: Plaque modèle supérieure de la pièce coulée.....	80
Figure 32: Plaque modèle ;a :coupe A-B ; b : vue de dessus .....	81
Figure 33: : Sable à vert .....	82
Figure 34: Noyau utilisé pour la pièce étudiée.....	82
Figure 35: Châssis en fonte. ....	83
Figure 36: Système de coulée.....	84
Figure 37: Bassin de coulée (Entonnoir).....	84
Figure 38: Section de la descente.....	84
Figure 39: Section du chenal.....	85
Figure 40: Section des attaques.....	85
Figure 41: Différentes hauteurs de la pièce coulée et du système de coulé.....	86

# Sommaire Des Tableaux

Tableau1 : Dilatation thermique de quelques types de sable .....	6
Tableau 2 : Caractéristiques des sables de fonderie (silice, chromite, olivine...) .....	7
Tableau 3: la composition de sable à vert.....	41
Tableau 4: la production du 03 pièces de la petite station.....	51
Tableau 5: la production du 03 pièces de la moyenne station.....	52
Tableau 6 : la production du 03 pièces de la grande station. ....	53
Tableau 7 : Analyse granulométrique.....	55
Tableau 8 : la composition chimique de sable.....	56
Tableau 9: les caractéristiques des éprouvettes.....	60
Tableau 10: les différents mélanges préparés.....	61
Tableau 11: Les résultats de mélange 1 pour 1% de charbon.....	62
Tableau 12: Les résultats de mélange 2 pour 2% de charbon.....	62
Tableau 13: Les résultats de mélange 3 pour 3% de charbon.....	62
Tableau 14: Les résultats de mélange 4 pour 4% de charbon.....	62
Tableau 15: Les résultats de mélange 5 pour 5% de charbon.....	63
Tableau 16: Les résultats de mélange 6 pour 6% de charbon.....	63
Tableau 17: Les résultats de mélange 7 pour 8% de charbon.....	63
Tableau 18: Les résultats de mélange 8 pour 10% de charbon.....	63
Tableau 19: la composition chimique de la fonte. ....	65
Tableau 20: les résultats des pièces obtenues. ....	66
Tableau 21: Composition chimique du lit de fusion.....	72
Tableau 22: Composition chimique de la fonte en étude .....	74
Tableau 23: Dimensions du châssis et de plaque modèle .....	80
Tableau 24: Composition et caractéristiques du sable de moulage utilisé.....	81
Tableau 25: Composition optimale du sable .....	82

Tableau 26: Coefficients dépend au l'épaisseur de la pièce.....	87
Tableau 27: Coefficients K dépend au l'épaisseur de la pièce.....	89

# Sommaire

Introduction générale : .....	
Chapitre I revue bibliographique sur les sables de moulage.....	1
1. Introduction : .....	2
1.1. Principaux sables de base disponibles :.....	2
1.1.1. Le sable siliceux : Silice, origine, et caractéristiques :.....	2
1.1.2. La chromite : .....	3
1.1.3. L’olivine : .....	4
1.1.4. Le zircon :.....	4
1.1.5. Les silico-alumineux :.....	5
1.1.6. Sable de bauxite : .....	6
1.2. Les critères pour le choix d’un sable de fonderie :.....	6
1.3. Propriétés de sable de moulage : .....	7
1.3.1.Dimension et forme des grains :.....	7
1.3.2.Propriétés chimiques : .....	8
1.3.3.Propriétés physiques :.....	8
1.3.3.1. Propriétés physiques à froid .....	8
1.3.3.2. Propriétés physiques à chaud .....	9
1.4. Sablerie et ses équipements :.....	9
Introduction : .....	9
1.4.1. Remise en condition du sable de retour :.....	10
1.4.1.1.Le décochage :.....	11
1.4.1.2.Le déferrage : .....	13
1.4.1.3.La réduction des mottes :.....	15
1.4.1.4.Le criblage du sable : .....	16
1.4.1.5.Le refroidissement.....	17
1.4.2. Préparation du sable.....	19
1.4.3. Le transport du sable.....	24
1.4.4. Le stockage du sable et des produits d’additions .....	29
1.4.5. Le dépoussiérage .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



1.5. Contrôle en fonderie:.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5.1.Contrôles de réception :.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5.2.Contrôles en cours de processus : .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5.3.Contrôle des outillages et des matériels .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5.4.Laboratoire : .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Chapitre II sable utilisé à la fonderie« ETRAG ».....	36
. Introduction :.....	37
2.1. Qualités exigées d'un sable de fonderie :.....	37
2.2. Carrière de sable utilisé : .....	37
2.3. Extraction et traitement avant sa commercialisation : .....	38
2.4. Analyse du Sable utilisé à ETRAG : .....	39
2.5. Composition du sable utilisé à ETRAG : .....	40
2.6. Caractéristiques mécaniques du sable à vert : .....	40
2.6.1.Résistance à la compression :.....	41
2.6.2.Résistance au cisaillement :.....	41
2.6.3.Perméabilité au gaz : .....	41
2.6.4.Humidité des sables de moulage : .....	42
2.6.5.La liaison gaz-charbon : .....	42
2.6.6.Analyse granulométrique : .....	43
2.7.Les éléments d'additions :.....	43
2.7.1.Les adjuvants :.....	43
2.7.1.1.Adjuvants générateurs d'atmosphère réductrice : .....	43
2.7.1.2.Agent de débouillage .....	43
2.7.1.Agents anti-pénétration .....	44
2.7.2.Les liants : .....	44
2.7.3Produits annexes :.....	44
2.7.3.1.Enduit : .....	44
2.7.3.2.Colle : .....	44
2.7.3.3.Mastics : .....	44
Chapitre III Partie expérimentale.....	45
Introduction .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1. Préparation du sable de moulage :.....	46
3.2. Les problèmes rencontrés et leur répercussion sur la qualité des mélanges : .....	48

3.3. Groupes technologiques des pièces produites : .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.1. Petite station : .....	50
3.3.2. Moyenne station : .....	51
3.3.3. Grande station : .....	52
3.4. L'analyse granulométrique.....	53
3.5. Préparations des échantillons de sable lié à l'argile pour la confection d'éprouvette à de taux croissante de charbon.....	56
3.5.1. Préparation du sable .....	56
3.5.2. Préparation d'éprouvette.....	57
3.5.3. Détermination de la compression et cisaillement.....	58
3.5.4. Détermination de la perméabilité.....	59
3.6. Coulée des pièces avec chaque composent de sable de défirent quantité de charbon.....	65
3.6.1. Préparation des moules.....	65
3.6.2. Préparation de métal liquide.....	65
3.7. Interprétation des résultats : .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.8. Conclusion .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Chapitre IV partie technologique.....	69
4.1. Introduction : .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2. Elaboration de la pièce.....	71
4.3. Schéma générale de fabrication d'une pièce coulée.....	73
4.4. Présentation de la pièce.....	74
4.5. Procédé technologique de la fabrication de la pièce.....	78
4.6. Eléments et calcul de système de coulée.....	83
4.7. Calcul du système de coulée.....	85
4.7.1. Section d'attaque.....	85
4.7.2. Charge motrice $H_m$ .....	86
4.7.3. Calcul de la hauteur d'attaque $H_0$ .....	87
4.7.5. Calcul de la section du chenal Sch.....	88
4.7.6. Calcul de la section de la descente $S_{dc}$ .....	89

4.7.9. Calcul du temps de remplissage du moule $\tau$ .....	89
Conclusion Générale : .....	90
Références bibliographique :.....	91



## Introduction générale :

La fonderie est un ensemble de procédés technologique de pièces coulée, qui permet de réaliser une large gamme de pièces coulées, en alliages ferreux et non ferreux.

Les pièces consistent à élaborer des alliages liquides, et à les couler dans des moules préalablement préparées. Après refroidissement de l'alliage, il conserve la forme des pièces à obtenir.

Donc les pièces doivent être saines, parce que la tâche principale du fondeur consiste à assurer la qualité des pièces coulées. Ayant la composition chimique optimale, la structure désirable, le bon aspect de surface et d'éviter la formation des défauts internes ou externes dans ces pièces.

Ce projet se compose essentiellement de trois parties : une partie bibliographique, une partie générale sur le sable de moulage utilisé à la fonderie « ETRAG » et une partie expérimental dont le but est la caractérisation du sable à vert et suivre les défauts dues au sable dans le moulage mécanique.

Les sables de fonderie doivent avoir une haute réfractairité, une granulométrie bien déterminée, une haute inertie chimique et un prix relativement bas. Dans la fonderie on utilise des sables siliceux et des sables spéciaux. [01].

Dans la fonderie « ETRAG » de Constantine on utilise le moulage en sable à vert qui est l'un des procédés les plus anciens depuis la naissance des fonderies, et il est utilisé aussi par les fonderies au cours de développement principale pour des raisons économiques et environnementales.

Au complexe moteur tracteur « ETRAG » le taux de rebut des pièces moulées dépassent parfois la moitié du nombre des pièces coulées, les causes sont généralement dues aux sables de moulage. Pour cela, on doit suivre la récupération et la préparation du sable au niveau du complexe d'un part, et d'autre part, la production des pièces dans les chantiers de moulage mécanique pour savoir toutes les anomalies qui concernes le sable.

En effectue par la suite les essais mécaniques (résistance à la compression et le cisaillement), aussi bien que la perméabilité

Sous le nom de fonderie, on englobe généralement l'ensemble des techniques mis en œuvre pour obtenir un objet métallique de forme et de dimension définies par la coulée d'un alliage préalablement porté à l'état liquide dans un four de fusion et coulée dans une empreinte dite moule.

**Chapitre I Revue bibliographique sur les sables  
de moulage**

## °Introduction :

La fonderie est un procédé d'exécution de pièces métalliques qui consiste à fondre un métal pour le couler ensuite dans des moules préalablement préparés où il se solidifie en reproduisant fidèlement le contour et les dimensions des futures pièces.

Cela veut dire que la technique renferme deux aspects :

- D'une part, le métal qui doit être fondu et coulé
- D'autre part, l'empreinte qui représente l'image en négatif de l'objet à obtenir, formé par des matériaux dont la nature et les caractéristiques ont une incidence directe sur l'aspect, la forme, les dimensions et la santé de la pièce coulée.

Parmi ces matériaux, un élément considéré comme essentiel émerge du lot. Il s'agit bien sûr du sable de dont le rôle est de former l'ossature du moule et du noyau ; une sorte de squelette sur lequel vont se déposer les autres matières pour donner un mélange homogène capable de s'adapter et de supporter les diverses sollicitations auxquelles il est soumis au cours des opérations de fabrication des pièces moulées.

### 1.1. Principaux sables de base disponibles :

Dés nombreux sable disponible, la silice est de loin la plus utilisée. Elle est d'origine naturelle. D'autre part contre, sont des produits plus ou moins artificiels qui en raison de leur coût, sont réservés à des emplois spéciaux et spécifiques.

#### 1.1.1. Le sable siliceux : Silice, origine, et caractéristiques :

Le sable peut avoir deux origines :

##### a- L'origine naturelle

Le quartz apparaît dans la croûte terrestre comme un des minéraux constitutifs des roches granitiques. Ce sont de petits grains, généralement informes, grisâtres, translucides et d'un éclat vitreux.

A la température ordinaire le quartz est insoluble. Le granit, qui semble être une roche très résistante est facilement détruit par les agents de l'érosion. En hiver, l'humidité s'insère entre les grains, gèle et provoque la désagrégation de la roche. Les feldspaths et les micas sont petits à petit dissous par les eaux de pluie, laissant sur place les grains de quartz. Ainsi libérés par les agents de l'érosion, ces grains constitueront les sables de rivières, des lacs et des océans.

##### b- L'origine artificielle :

Artificiellement, il est obtenu par broyage des roches massives après des opérations de concassage et de criblage appelé dans ce cas sable de carrière. Il est caractérisé par des grains aux aspérités marquées.

### Caractéristiques

- Formule chimique :  $\text{SiO}_2$
- Réfractairité (température de fusion) :  $1723\text{ }^\circ\text{C}$
- Température d'ébullition :  $2230\text{ }^\circ\text{C}$
- Densité :  $2,2\text{ gr/cm}^3$  ; dureté : 7
- Coefficient de dilatation thermique très faible
- pH : neutre
- Inertie chimique vis-à-vis de la plupart des acides
- Pouvoir isolant élevé
- Propriétés piézoélectrique et optique pour les quartzes ultras-purs.



Figure 1: sable siliceux

La silice de formule ( $\text{SiO}_2$ ) résulte la combinaison du silicium et de l'oxygène. C'est une substance très répandue dans la nature. Le quartz est forme de silice a peu près pure. Les pierres rares comme l'agate, l'améthyste, sont des quartz colorés par des oxydes métalliques. Les meilleurs silex, grès, cailloux, sont des mélanges de silice et d'autres produits : alumine calcaire, etc...

La silice est à la base de tous les sables de moulage. Elle se présente sous l'aspect de grains plus au moins gros et arrondis qui donnent aux sables des degrés de finesse très variables. Il est curieux de noter que ces grains de grosseurs différentes, se rencontrent souvent dans la nature, triés par la seule action des eaux ou des vents.

La silice pure, corps très réfractaire, ne font qu'à la flamme du chalumeau. Très dure, elle raie le verre. La silice est largement répandue sur terre. Extrait de carrières, le sable brut est traité par lavage, classé en fonction de sa granulométrie, puis séché.

La pureté des sables ainsi traités avoisine 99.5%. Le choix de sable dépend de sa granulométrie c'est-à-dire de la taille des grains qui le constitue. Elle est définie par l'indice de finesse du sable.  
[2]

#### 1.1.2. La chromite :

Le Sable de chromite est un sable spécial avec de très bonnes propriétés à des températures élevées. Il permet une haute résistance à la pénétration du métal liquide, et en comparaison avec d'autres sables, il produit un refroidissement plus rapide de la pièce coulée.

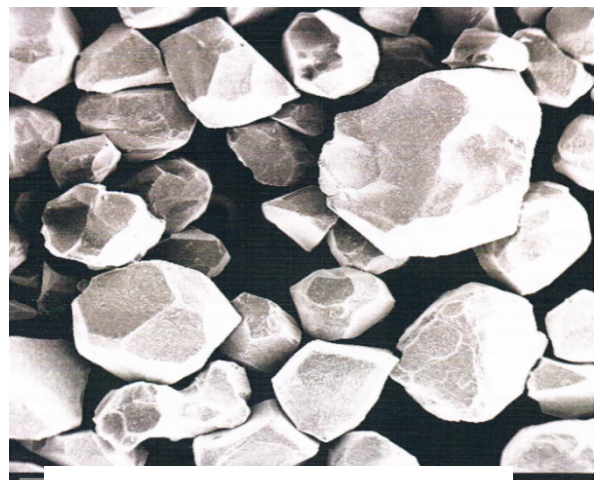


Figure 2: Grains de chromite



La dilatation thermique est beaucoup plus faible qu'avec le sable de silice, ce qui réduit les problèmes résultant de la dilatation du sable.

Livré avec un grain 46-55 AFA et le contenu typique de ses principaux oxydes est  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ : 46%,  $\text{FeO}$ : 27%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 15% et  $\text{MgO}$ : 10%. Le sable de chromite est compatible avec tous les procédés chimiques d'agglomération des moules et des noyaux. Actuellement, il est utilisé de grandes quantités de sable de chromite dans l'industrie de la fonderie pour la fabrication de moules et de noyaux. Le sable de chromite est applicable à tous les types d'aciers et très approprié pour les pièces en chrome, en acier au chrome-nickel-manganèse. Il a l'avantage sur le sable de silice qu'il est moins réactif avec l'oxyde de manganèse, réduisant ainsi les problèmes de calcination et les réactions métal-moule. [3]

### 1.1.3. L'olivine :

L'olivine est un silicate naturel de magnésium et de fer de formule générale  $(\text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+})_2 \text{SiO}_2$ .

Les deux composants de l'olivine : la fostérite ( $\text{Mg}_2, \text{SiO}_2$ ) et la fayalite ( $\text{Fe}_2, \text{SiO}_2$ ) sont en solution solide stable.

La proportion de la fostérite qui a un point de fusion supérieur de la fayalite, conditionne les propriétés réfractaires de l'olivine.



Figure 3: Sable d'olivine (x75)

Sa densité est de 3.2 à 3.6 est légèrement supérieur à celle de la silice.

La température de l'olivine utilisée en tant que sable de fonderie est d'environ 1890°C.

Le sable d'olivine se présente sous forme de grains anguleux plus ou moins sphériques et les principaux gisements se situent dans les pays nordiques (en particulier la Norvège) et en Autriche. [4]

### 1.1.4. Le zircon :

Le zircon est un silicate de zirconium de formule  $\text{ZrSiO}_4$ . Les principaux gisements sont situés en Australie, Afrique du sud, et Etat unis (Floride).

Sa densité très élevée de 4,75 en fait le sable réfractaire utilisé en moulage/noyautage le plus lourd.

La température de fusion du produit pure de 2250°C en fait également le sable le plus réfractaire.

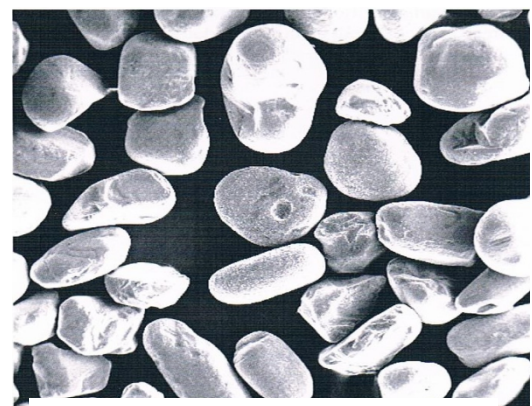


Figure 4: Sable de zircon

Il ne présente pas de transformation allotropique par élévation de température (contrairement à la silice) et son faible coefficient de dilatation permet une meilleure précision dimensionnelle des pièces.

Sa conductivité élevée permet de l'utiliser dans les endroits d'un moule où la pièce présente de fortes épaisseurs pour en accélérer le refroidissement et homogénéiser la structure.

En raison de sa finesse et sa résistance aux chocs thermiques, le sable au zircon donne aux pièces un excellent aspect superficielle, sans rugosité ni pénétration du métal liquide dans le sable, permettant d'obtenir des détails d'une grande finesse. L'utilisation de ce sable est intéressante pour l'obtention des pièces de quelques kilogrammes à 100 tonnes et plus en fonte en aciers ou fortement alliés .[4]

Le zircon est un minéral accessoire présent dans la plupart des roches ignées et métamorphiques.

Le zircon est un minéral lourd qui se concentre dans le sable des rivières à cause de sa grande dureté (7,5) et de sa ténacité.

Confusion possible : le zircon ressemble au quartz s'en distingue par son indice de réfraction plus élevé et sa plus grande dureté et densité.

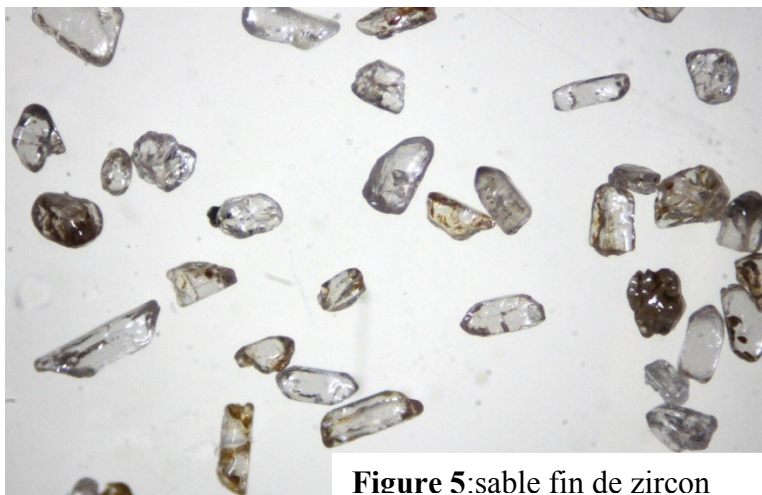


Figure 5:sable fin de zircon

Sable fin de zircon extrait de la roche par broyage et concentré par séparation magnétique. Les cristaux les plus grands mesurent moins de 0,45 mm. [5]

### 1.1.5. Les silico-alumineux :

La formule générale de cette matière est  $n Al_2O_3, m SiO_2$  . Sa formation résulte de la calcination à haute à haute température de produits tel que des argiles réfractaires type kaolin,

ou synthétisée entièrement à partir de silice et d'alumine. Les produits calcinés sont alors ultérieurement broyés et classés.

Ils présentent d'excellentes propriétés réfractaires et une dilatation thermique proche de celle du sable de zircon. Les particules ont une granulométrie proche de 65 AFS et la densité apparente voisine de  $1,7 \text{ gr/cm}^3$ . La forme des grains est arrondie, ce qui leur confère une grande fluidité et une perméabilité élevée.

Suivant la nature des produits de base, on distingue :

- Les chamottes issues de l'argile réfractaires plus ou moins pures, dont la teneur en alumine est en générale supérieur à 40% ; une qualité obtenue à partir de kaolin très pur est connue sous la dénomination commerciale de Molochite ;
- Les mullites et les silimanites, obtenue par synthèse, qui contiennent respectivement 72 et 63% d'alumine

Ces types de sable sont compatibles avec tous les procédés chimiques de fabrication et est particulièrement adapté à des pièces en acier allié ou à des noyaux soumis à de fortes contraintes thermiques. [2]

### **1.1.6. Sable de bauxite :**

Le sable de bauxite est un produit obtenue par fusion et contenant jusqu'à 75% d'  $Al_2O_3$ . Il s'agit au fait d'un sable synthétique de densité apparente est de  $2 \text{ gr/cm}^3$  qui offre d'excellentes propriétés réfractaires, une perméabilité élevé et une dilatation thermique proche de celle du sable de chromite. Il se présente sous différentes granulométries, la plus courante étant de 65 AFS. Le sable de bauxite peut être utilisé au lieu et place du sable de zircon. Grâce à ces propriétés magnétiques, il peut être séparé du sable de silice. Une autre caractéristique importante de ce type de sable c'est qu'il permet d'obtenir des résistances mécaniques élevées à l'intérieur du moules. C'est ce qui a constaté lors de l'utilisation des procédés auto durcissant à froid et à chaud. Le tableau résume les valeurs de dilatation thermique linéaire de quelque type de sable utilisés en fonderie soumis à différentes températures. [2]

**Tableau1** : Dilatation thermique de quelques types de sable.

Type de sable	Dilatation thermique linéaires ( $10^{-6} \cdot k^{-1}$ )		
	20-300°C	20-600°C	20-800°C
Silice	14.0	23.0	17.0
Chromite	7.1	7.5	7.5
Zircon	3.4	4.1	4.5
Alumino-silicate	3.5	4.0	4.3
Bauxite	7.1	7.3	7.2


## **1.2. Les critères pour le choix d'un sable de fonderie :**

Les critères sont :

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

Technique. Les caractéristiques physiques et en particulier la température de fusion et la dilatation thermique qui vont impacté la tenue à chaud et la résistance à l'agression du métal liquide lors de la coulée. La silice à, de ce point de vue, les moins bonne propriétés intrinsèques alors que la chromite et le zircon présentent, quant à eux, les meilleurs caractéristiques, ce qui réservent leur utilisation aux métaux ferreux à haut point de fusion. D'autres critères de choix peuvent intervenir comme la compatibilité avec les résines utilisée, la facilité de mise en décharge de recyclage (compressibilité avec d'autre type de sables). [6]

**Tableau 2** : caractéristiques des sables de fonderie (silice, chromite, olivine...)

	Chromite	Kerphalite	Olivine	Silice	Zircon
Disponibilité	Faible	Grande	Moyenne	Grande	Faible
Prix	Elevé	Elevé	Moyen	Faible	Elevé
Formulation	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>	(Mg, Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	ZrSiO <sub>4</sub>
Densité	4.3-4.6	3.1	3.2-3.5	2.6	4.4-4.6
Réaction Moule/Métal	Réduite	Réduite	Réduite	Elevée	Réduite
Grains	Anguleux	Anguleux	Anguleux	Ronds	Ronds
Compatibilité avec résine	++	++	+	+++	+++
T fusion	2100°C	1850°C	1850°C	1725°C	2300°C
Dilatation thermique	Faible	Moyenne	Moyenne	Importante	Faible

### 1.3. Propriétés de sable de moulage :

Les qualités demandées dans un sable de moulage, sont très variées, et le choix de ce dernier et des agglomérants dépend des pièces à couler et du matériel et de la technologie dont dispose l'atelier de fonderie. Autrement dit, les conditions de travail, exigent des propriétés de sable strictement respectées pour qu'ils soient aptes au moulage. C'est pourquoi, le choix et le contrôle de ce matériau touchant l'ensemble de ces aspects est d'une importance de premier ordre. [2]

#### 1.3.1. Dimension et forme des grains :

Ces deux caractéristiques constituent les données principales d'un sable de base.

■ **La répartition granulométrique** : est la répartition massique des grains suivant leur dimension. Elle peut être représentée sous la forme de courbes dans un repère où figurent :

- en abscisse, la dimension décroissante des grains suivant une échelle logarithmique ;
- en ordonnée, deux possibilités :
  - Pour la représentation cumulative, le pourcentage massique de grains de dimension plus grande que celle considérée ;
  - Pour la représentation distributive, le pourcentage massique de grains de la dimension considérée.

■ **La forme des grains** : en raison de l'origine naturelle ou de l'obtention par broyage des sables, les grains ne sont jamais parfaitement sphériques. On distingue par examen microscopique des formes arrondies, sub-angulaires, angulaires ou composées, correspondant à des coefficients d'angularité croissants.

■ **La surface spécifique**: la répartition granulométrique et la forme des grains définissent pour un sable donné sa surface spécifique. Exprimée en  $\text{cm}^2/\text{g}$ , elle représente la surface totale développée par un gramme de matériau. Cette donnée est importante, car elle détermine aussi bien la perméabilité du sable de base à l'état serré que le processus d'enrobage par les liants.

### 1.3.2. Propriétés chimiques :

Les propriétés chimiques des sables de base ont une influence, tant vis-à-vis des liants que vis-à-vis des métaux liquides.

Vis-à-vis des liants, certains sables de base sont à réaction basique et, par conséquent, incompatibles avec l'emploi de liants acides ; d'autres présentent en surface des matières organiques perturbant l'enrobage. Les sables de base, calcinés à haute température, sont difficilement mouillés par les liants (absence d'ions  $\text{OH}^-$  en surface).

Vis-à-vis des métaux liquides, à haute température, certains sables de base deviennent réactifs. La silice, en particulier, peut se combiner :

- au fer, sous forme d'oxyde pour aboutir à la formation de la fayalite qui fond à  $1\ 220\ ^\circ\text{C}$  ;
- au manganèse ;
- au carbone des fontes et des aciers provoquant la décarburation superficielle des moulages.

### 1.3.3. Propriétés physiques :

Les sables de base aptes à la fonderie sont caractérisés par des propriétés physiques à froid et à chaud.

#### 1.3.3.1. Propriétés physiques à froid

La masse volumique absolue  $\rho_a$  peut varier de 2,5 à 5  $\text{g}/\text{cm}^3$  suivant les matériaux disponibles.

Les sables de base ont une masse volumique en vrac  $\rho_v$  très inférieure à la masse volumique absolue, du fait que subsistent des espaces vides entre les grains.

On en déduit les deux notions suivantes :

- la compacité  $c$ , qui est le pourcentage en volume des matières solides dans la masse compactée, exprimée par la formule :
- la porosité  $p$ , qui est le pourcentage de vide dans la masse compactée, soit  $p = 100 - c$

La compacité et la porosité sont largement sous la dépendance de la répartition granulométrique et de la forme des grains.

La perméabilité est l'aptitude d'un sable de base à se laisser traverser par les gaz. Un minimum de perméabilité est indispensable, car il est nécessaire, lors de la coulée, de pouvoir évacuer les gaz contenus dans l'empreinte du moule ainsi que ceux générés par les liants.

### 1.3.3.2. Propriétés physiques à chaud

■ **Réfractairité**: la température de fusion, de ramollissement ou de décomposition du sable doit obligatoirement être supérieure à la température de coulée du métal.

Certaines impuretés ont une influence très néfaste sur la réfractairité (par exemple, les oxydes de fer, les oxydes alcalins ou les alcalino-terreux).

■ **Dilatation**: les différents matériaux disponibles ont des comportements très différents au chauffage, ainsi qu'il apparaît sur les courbes de la figure

Si le zircon, la chromite, l'olivine et les silico-alumineux ont des courbes de dilatation sensiblement linéaires, le quartz présente un pic de dilatation très important, lié à la transformation allotropique du quartz a en quartz b à 573 °C.

Cette anomalie entraîne des ruptures de moules, ayant pour conséquence de provoquer sur les moulages des défauts du type galle, queue-de-rat, gerce, etc.

De plus, sous l'influence de minéralisateurs (sels de sodium en particulier), le quartz est susceptible de se transformer en cristobalite qui présente une anomalie de dilatation encore plus considérable vers 220 °C.

Une sélection judicieuse des liants et l'apport de divers additifs permettent en partie de pallier cet inconvénient.

■ **Capacité thermique et conductivité thermique** : ces propriétés ont une influence directe sur le pouvoir refroidisseur des sables et, par conséquent, sur la structure des moulages.

En règle générale, les sables les plus denses ont le pouvoir refroidisseur le plus élevé.

Le zircon et la chromite sont les plus conducteurs. En revanche, les chamottes et la silice sont peu conductrices.

■ **Mouillage par le métal liquide**: le zircon, la chromite et les silico-alumineux sont faiblement mouillés par les métaux liquides, à l'inverse de la silice. Un mouillage aisé entraîne des risques de réactions entre le moule et le métal. [7]

## 1.4. Sablerie et ses équipements :

### Introduction:

A la coulée et pendant le refroidissement des pièces dans le moule, le sable de moulage se trouve modifié d'abord par l'effet thermique du métal, puis lors de la phase de décochage par l'apport de matériaux tels que des sables à noyau.

Ce sable ne présente donc plus les caractéristiques physico-chimiques correctes. La sablerie est un ensemble d'équipement destinés à redonner au sable de retour les caractéristiques souhaitées pour sa réutilisation.

Une sablerie est un ensemble de matériels remplissant des fonctions complémentaires.

Le choix des caractéristiques des matériels et leur implantation doivent être étudiés et adaptés à l'objectif poursuivi : obtenir un sable de moulage de qualité homogène.

Le circuit classique d'une sablerie se présente de manière suivante :

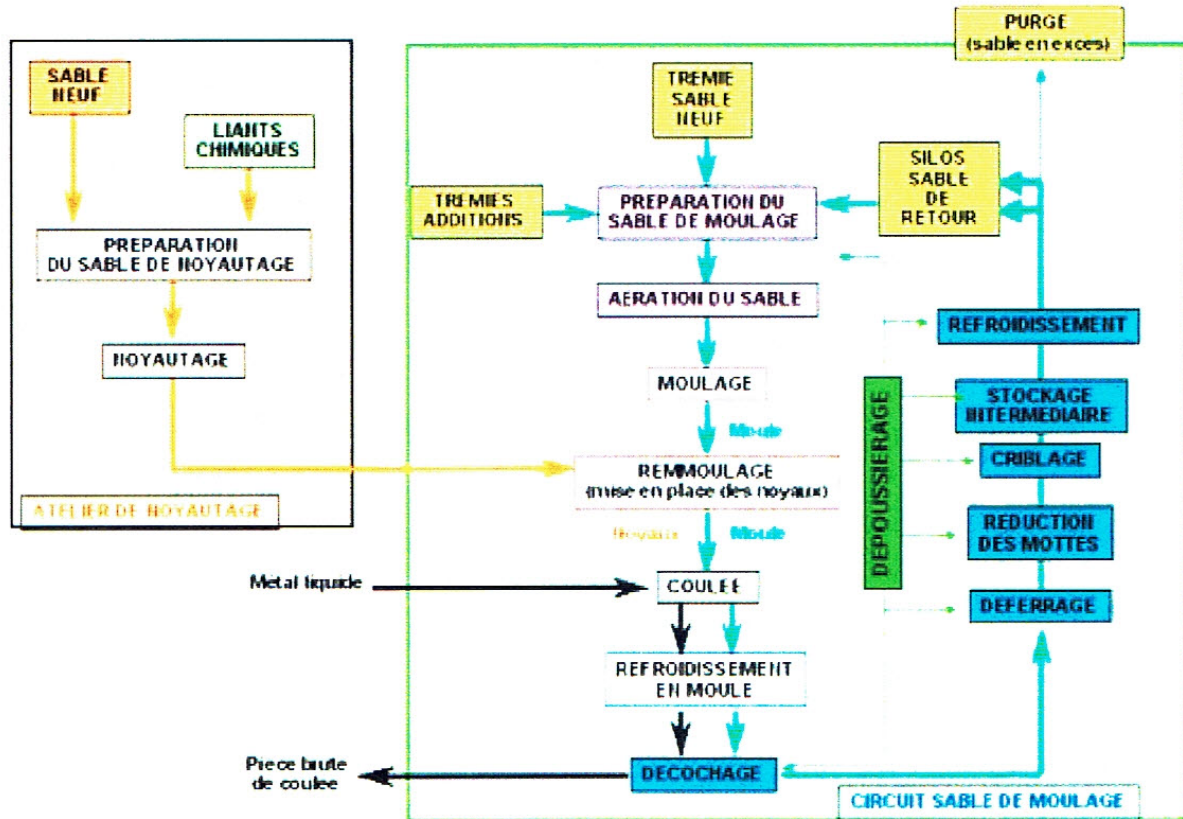


Figure 6 : circuit sable de moulage

Les équipements de la sablerie sont intégrés dans deux groupes fonctionnels :

- Remise en condition du sable de retour.
- Préparation du sable.

Auxquels on peut adjoindre quatre autres groupes fonctionnels qui sont :

- La manutention
- Le stockage
- Le dépoussiérage
- L'automatisation : le pilotage automatique et l'automatisme de commande.

#### 1.4.1. Remise en condition du sable de retour :

En sortie de décochage, on dispose d'un sable plus ou moins sec, empoussiéré et chaud, contenant souvent des mottes et un certain nombre de corps étrangers tel que des bavures de métal, des parties de noyaux et des déchets divers.

La remise en condition du sable de retour est la première étape de régénération du sable ayant subi la coulée. Elle comporte plusieurs opérations auxquelles correspondent différents équipements :

Le décochage :

- Les grilles de décochage.
- Les tambours de décochage.

Le déferrage :

- Les « over bands ».
- Les poulies magnétiques.
- Les tambours magnétiques.

La réduction des mottes :

- Les diviseurs à turbines
- Les brises mottes à battoirs

Le criblage du sable :

- Les cribles vibrants.
- Les trommels.

Le refroidissement de sable :

- Les refroidisseurs à lit fluidisé
- Les mélangeurs refroidisseurs
- Les coolevayors

### **1.4.1.1. Le décochage :**

L'opération de décochage consiste à détruire le moule puis à séparer la grappe des pièces du sable de moulage.

L'équipement de décochage est souvent considéré comme un élément faisant partie de l'installation de moulage.

L'installation de décochage remplit une fonction complexe car elle doit satisfaire à plusieurs critères, parfois contradictoires, qui sont :

- De débarrasser le plus complètement possible la grappe de pièces du sable de moulage.
- D'éviter d'abîmer ou déformer les pièces encore chaudes.
- De limiter autant que possible l'intégration d'éléments indésirables dans le sable de retour



- D'occuper un minimum d'espace dans la fonderie.
- De limiter les nuisances relatives à l'hygiène et à la sécurité. (fumées, bruit...).

En fonction du mode et des moyens de moulage utilisés, on rencontre différents équipements pour remplir la fonction de décochage et répondre aux critères définis ci-avants.

### Les grilles de décochages :

- **Grille pour décochage manuel par vibration :**

Ce moyen de décochage concerne le moulage unitaire et/ou de très faible série pour des grosses pièces en moulage main ou des petits 'chantiers' non mécanisés.

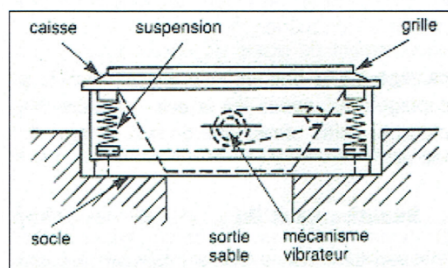


Figure 7: principe de grille vibrante

Pour ces applications, les grilles utilisées sont généralement planes. Le mouvement de secousse unidirectionnel vertical est obtenu au moyen d'un arbre à balourds réglable entraîné par un ensemble moteur et courroies.

Ce type de grille a des dimensions allant de 1 à 12 m<sup>2</sup> pour des capacités de 0.5 à 40 tonnes. Les grilles 'standards' peuvent être assemblées afin d'accepter des moules de dimension ou poids supérieurs.

Ce type de grille se présente sous forme d'un ensemble complet pré-assemblé qui comprend :

- Un châssis support de fixation de la grille de décochage ;
- Un ensemble de ressort hélicoïdaux ou d'amortisseurs, montés entre les châssis et le crible, qui sert à supprimer la transmission des vibrations aux structures avoisinantes.
- Une grille de décochage constitué par des barouds parallèles ou par une tôle forte perforée.
- Une trémie de récupération de sable décoché secondaire du châssis de la grille de décochage.
- Un mécanisme donnant l'impulsion de vibration à la caisse.

La grille, la trémie et l'arbre à balourds constituent un ensemble rigide qui vient reposer sur les ressorts d'isolation montée sur le châssis support.

Pour assurer le mécanisme, on utilise le système de vibration par arbre à balourd ou de plus en plus par moteur vibrant.

On distingue deux types de vibration par arbre à balourd :

**A. A simple balourd :**

Engendrant des vibrations verticales et circulaires. Le mécanisme vibreur est monté sur une caisse flottante, il est composé de :

- Deux paliers, logés dans les flancs de la caisse vibrante,
- Un arbre tournant dans les paliers qui comportent des masses de balourds. Ces masses provoquent, par l'effet de la force centrifuge, une vibration circulaire de la caisse.

Les principaux avantages de ce système sont :

- Une diminution importante dans les transmissions des vibrations aux appuis,
- Un réglage précis de l'intensité de vibration, en modifiant les masses additionnelles des balourds.

On peut ainsi adapter la vibration au traitement de tous les moules.

Les moteurs à balourds sont assimilables à ce système, avec les deux masses de balourds calés directement sur l'arbre du moteur.

**B. A double balourds :**

Engendrant des vibrations rectilignes. Le mécanisme, dérivés de précédent, est monté également sur une caisse flottante. Il comporte deux arbres parallèles reliés par 2 engrenages d'un même nombre de dents. Ces deux arbres tournent donc à la même vitesse et en sens inverse.

Les balourds montés sur chacun des arbres sont calés en départ, de façon à donner des efforts s'additionnant dans une direction et s'annulant dans la direction perpendiculaires.

L'ensemble des deux arbres à balourds est monté dans un boîtier qui est calé, selon un certain angle, sur la caisse vibrante qui, elle, est pratiquement toujours horizontale.

Le résultat de ce montage est que la caisse vibrante est animée d'un mouvement rectiligne alternatif dirigé à la fois vers le haut vers l'avant, avec pour conséquence, de faire avancer la pièce posée sur la grille pendant que le sable traverse la dite grille, l'utilisation de telle machine devient très simple dans le cas de décochage automatique.

### 1.4.1.2. Le déferrage :

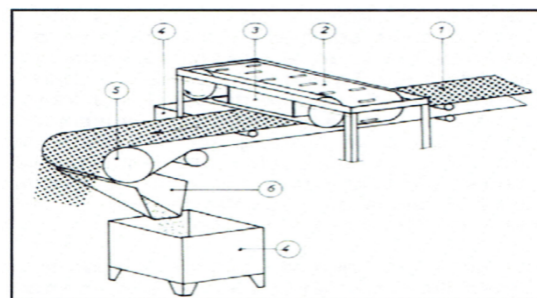
Certains déchets métalliques contenus dans le sable de retour n'ont pas été retenues par le système de décochage. Il est indispensable d'éliminer ces impuretés pour des raisons de sécurité à la fois au niveau du personnel et des équipements de manutention ou de préparation, et par souci de la qualité de sable régénéré.

#### Principe des appareils :

Le sable provenant du décochage, circule le plus souvent sur du transporteur à courroie et traverse un champ magnétique. Les corps magnétisables subissent alors une force qui tend à les dévier de leur trajectoire. L'intensité de cette force dépend de la valeur du champ magnétique, du volume du corps à extraire, de sa forme, de sa nature et de la variation du champ par unité de longueur. A l'action de cette force, s'oppose principalement l'énergie acquise par l'élément en mouvement avec la veine de sable et la résistance occasionnée par la couche du sable qui l'entoure.

Il faut aussi signaler qu'une température élevée du corps métallique modifie et atténue sensiblement les caractéristiques d'attraction.

En pratique, il est souhaitable que l'épaisseur de la veine de sable sur laquelle s'effectue le déferrage n'excède guère une dizaine de centimètre ; ceci dans les conditions normales des transporteurs dont la vitesse ne dépasse pas le 1 m/s, par ce qu'il est difficile de capter une particule métallique sous une veine importante de sable.



1. Sable décoché.
2. Courroie de l'« overband »
3. Masses magnétiques
4. Caisse d'évacuation des déchets
5. Poulie magnétique
6. Goulotte d'évacuation des déchets

Figure 8 : deux séparateurs magnétiques

#### Solutions mise en œuvre :

Trois types d'appareils sont principalement utilisés pour le déferrage :

- Les « over bands ».
- Les poulies magnétiques.
- Les tambours magnétiques.

Pour ces différents matériels, le champ magnétique réalisant la séparation peut être généré :

- Soit par des courants électriques circulants dans des bobines (électro-aimants).
- Soit par des aimants permanents.

Les aimants permanents offrent une grande sécurité de fonctionnement pour un coût sensiblement identique aux électro-aimants, sauf dans le cas d'installation de grand débit ou lorsque des puissances élevées sont requises. Ils perdent de leur efficacité lorsque le sable est chaud.

Les systèmes électromagnétiques peuvent être équipés d'un dispositif de ventilation qui permet d'augmenter leur puissance à encombrement équivalent, permettant d'améliorer considérablement le déferrage.

Ce système est de plus en plus utilisé lorsqu'on cherche une efficacité accrue.

Dans la plupart des cas, il est souhaitable d'installer une poulie magnétique ou un tambour, afin de capter les particules qui se trouvent dans la partie inférieure de la veine de sables.

#### **Position des séparateurs magnétiques :**

D'une manière générale il est souhaitable de procéder au déferrage du sable très tôt après décochage pour protéger les installations qui font suite.

L'opération de déferrage doit être soignée, et on est parfois amené à prévoir plusieurs équipements. Ceci est particulièrement souhaité pour les installations de moulages haute pression pour lesquelles l'efficacité du déferrage contribue à la qualité des moulages mais aussi à la protection des outillages.

#### **1.4.1.3. La réduction des mottes :**

La réduction des mottes est pratiquée généralement dans le cas de moulage à haute pression dont le sable présente une forte cohésion à vert.

Elle vient de terminer le pré-cassage du moule qui a été effectué par la grille de décochage.

Certaines grilles de décochage, étudiées pour assurer un concassage poussé de sable, permettent de ne pas mettre en place de brise-motte.

Le modèle le plus fréquent est un matériel à palettes, placé sur un transporteur à courroie : le sable traité est propulsé par les palettes et projeté violemment le long des parois de l'appareil ; il retombe ensuite sur la même courroie.

Lors de l'implantation des équipements de sablerie, il est souhaitable d'installer l'appareil après le séparateur magnétique, afin d'éviter les risques de détérioration due à la présence de déchet métallique.

On trouve également un matériel comportant un rotor muni des battoirs, qui tourne à vitesse élevée dans un plan horizontal. Le sable à traiter est déversée sur le rotor à battoirs. Le choc sur les battoirs éclate les mottes qui sont projetées contre un rideau composée de ‘ barres libres ‘ suspendus qui assurent l’émiettement final du sable.

Cet ensemble de cassage des mottes est placé dans un caisson support fermé qui comporte une trémie pour le chargement du sable traité et une haute d’aspiration.

Cet ensemble se place sur un transporteur à courroie qui assure l’évacuation du sable. Une étanchéité soignée est réalisée entre la brise mottes et le transporteur à courroie.

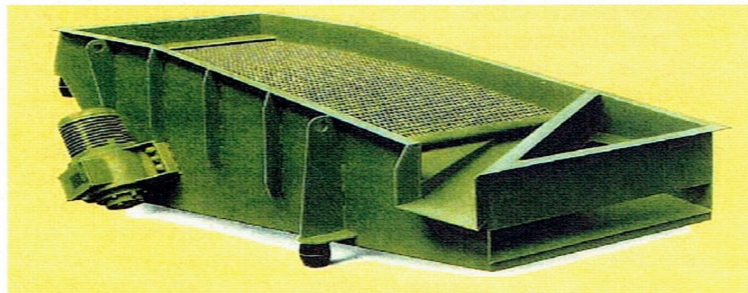


Figure 9: Diviseur à turbine

Le travail effectuée par cet équipement facilite l’opération suivante de criblage de sable.

Le brise mottes travail dans une zone non régulée du circuit de retour de sable ; de ce fait son débit nominal doit être supérieur d’au moins de 50% au débit théorique moyen de la sablerie.

Dans le cas de travail avec une machine à mouler haute pression, il est conseillé d’utilisé ce type d’appareil.

#### 1.4.1.4. Le criblage du sable :

Le sable de retour provenant de la grille de décochage ou du brise mottes contient encore quelque ‘ boulettes de sable’ ainsi que des corps étrangères non magnétiques (portée de noyau non brulée, résidu des manchons exothermique, etc.). Il peut également contenir des corps étrangers divers introduits par mégarde dans le système de transport du sable.

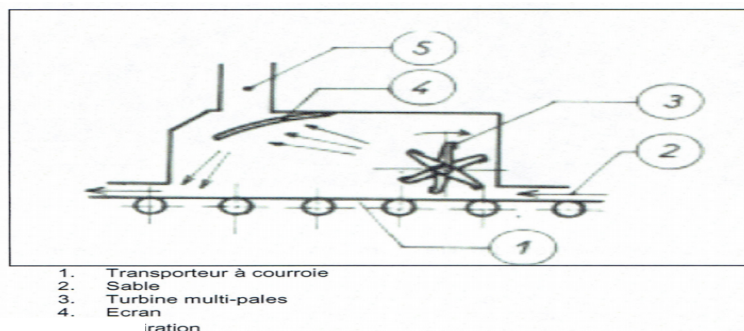


Figure 10 : Tamis Vibrant

10 : Tamis Vibrant

Ces éléments indésirables doivent être séparés du sable avant son refroidissement. La séparation de ces éléments est réalisée au moyen des cribles équipés de toiles métalliques dans l'ouverture des mailles se situe généralement entre 10 et 25 mm en fonction du type de sable à criblé.

Cet équipement, comme le brise mottes, est situé dans une zone non régulée de circuit de retour du sable est son débit nominal doit être supérieur de 50 à 100% au débit théorique moyen de la sablerie.

On rencontre deux types principaux d'équipements de criblage du sable de retour :

- Les cribles vibrants.
  - Les appareils rotatifs appelés 'trommels'
- a- Les cribles vibrants :**  
Ces appareils sont simple est robustes, ils comprennent :
- Un châssis support de fixation du crible.
  - Un ensemble de ressort hélicoïdaux ou d'amortisseurs, montée entre le châssis et le crible, qui sert à supprimer les transmissions des vibrations aux structures avoisinantes.
  - Une auge vibrante de récupération du sable criblé qui sert de support à la toile (ou aux toiles) de tamisage du sable. Cette auge comporte également, en sortie de la toile de tamisage, une goulotte de récupération et d'évacuation des refus de tamisage.
  - Une (ou plusieurs) toile métallique de tamisage ; en générale en fonderie le crible ne comporte que qu'un niveau de tamisage ; cependant pour résoudre des problèmes particulières (manque de place ou difficulté de tamisage) on a recours à des cribles comportant plusieurs étages de criblage (chacun de toiles ayant généralement une taille de maille différente des autres), certains fournisseur utilise des tôles perforées à la place des toiles.
  - Un mécanisme de secousse composé de deux moteurs vibrants à balourds fixés sur le châssis de la grille, l'entraînement de l'arbre est réalisé par un ensemble moteur poulie et courroies ; l'amplitude de la vibration est réglée par modification de la masse des contrepoids. Cette technique est généralement employée pour des cribles de très fort débits et très sollicité ; actuellement, pour les applications en fonderie, on utilise plus facilement des ensembles de vibration composée d'une paire moto-vibrateurs.

### **b- Les trommels**

Le tamis rotatifs a pour avantage d'avoir une action mécanique importante sur les mottes restantes et il les réduit à l'extrême, en fonction de la maille retenue :

- Il permet une aération et par conséquence il autorise une action de dépoussiérage
- Il permet l'élimination de toutes sortes de déchets.

Le trommel et l'appareil le plus utilisé actuellement pour la réalisation du criblage du sable.

### 1.4.1.5. Le refroidissement

Le sable chaud peut présenter différents inconvénients, aussi bien au niveau de la sablerie (augmentation de risque de colmatage en trémie, difficulté de maintenir l'humidité) que de moulage.

Le refroidissement de sable peut donc s'avérer utile, ou même indispensable. C'est en effet une condition essentielle pour recycler le sable dans des bonnes conditions, pour réaliser un fonctionnement sur de la sablerie et pour récupérer un sable homogène parfaitement apte à la réutilisation.

Il même indispensable de refroidir uniformément, sûrement et en un temps convenable le sable provenant de chantiers de moulage mécanisés ou automatisés, ou le débit de sable est continue et élevée.

Les principaux équipements utilisés sont :

- Les appareils à lit fluidisés
- Les mélangeurs-refroidisseurs
- Le coolvayeur ou le mixcoolaire
- Le refroidissement sous vide.

#### A. Les appareils à lit fluidisée

Ils sont constitués d'un transporteur vibrant comportant des perforations à travers lesquelles a lieu l'insufflation d'air, via un ventilateur.

Une hotte largement dimensionnée, reliée à un dépoussiéreur, est disposée au-dessus de l'appareil. Un pré-mélangeur ou tambour homogénéiseur peut être installé en amont du refroidisseur, assurant une pré-humidification efficace évitant la présence d'eau « libre » dans le sable.

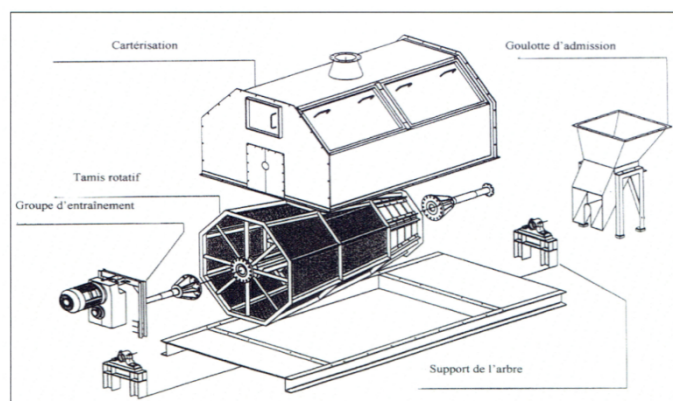


Figure 11 : Schéma d'un trommel

Le sable entrant dans l'appareil est entièrement mélangé et pré-humidifié. La quantité d'eau ajoutée est réglée en fonction de deux critères :

- La mesure de température du sable, prélevée en amont de l'appareil.
- La teneur en humidité de sable se mesure, soit par une sonde d'humidité installé en amont de tambour, soit par la mesure de la puissance absorbée, prise au moteur du tambour. Dans ce dernier cas, il est facile de connaître les variations de puissance absorbée au moteur d'entraînement. Le volume de sable est toujours constant, par contre la densité de celui-ci est variable, selon sa teneur en eau. L'eau est pulvérisée en fines gouttelettes provenant des différentes buses répartie dans le tambour.

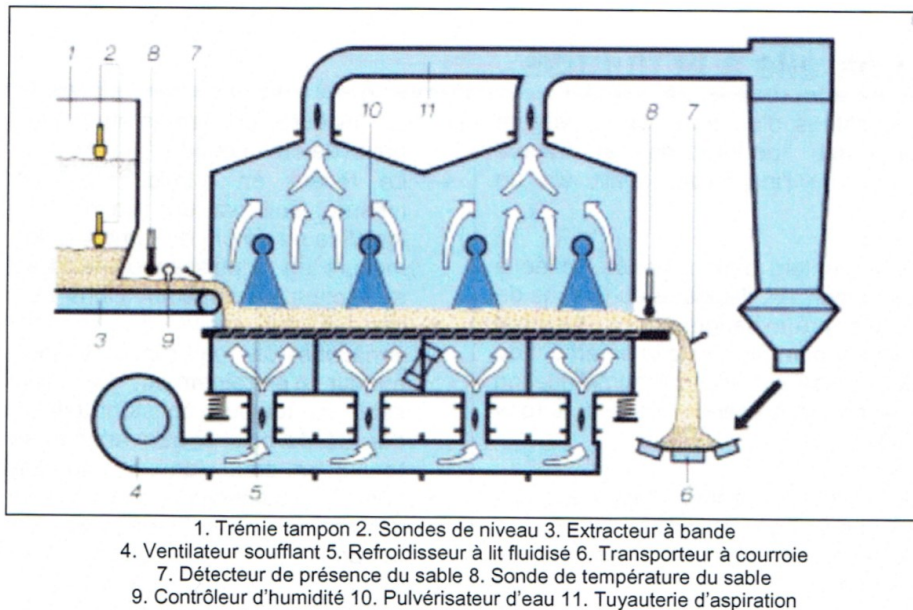


Figure 12: schéma du principe de refroidisseur

### B. Les mélangeurs refroidisseurs

Ce sont des appareils à cuve et à bras mélangeurs qui permettent en une seule opération de refroidir, d'homogénéiser et de pré-mélanger le sable avec un suivi d'humidité.

Il se situe en amont de silo de stockage.

Cet appareil est aussi capable de mélanger la bentonite dans le même temps, ce qui permet au sable de développer ses caractéristiques dans les silos de stockage.

L'air, insufflé à la base de l'appareil, est évacué à la partie supérieure, à travers une hotte équipée d'une vanne automatique de réglage. L'eau est ajoutée à l'intérieur de l'appareil, via des buses répartie dans la cuve. La ventilation est assurée par un groupe mot-ventilateur, en liaison avec un cyclone de séparation de poussières.

La mesure de température est réalisée par une sonde de température implantée sur le transporteur à bandes qui alimente le refroidisseur.

La régulation de l'addition d'eau se fait par un système automatique en fonction de deux signaux d'entrée, température et puissance absorbée (teneur en eau résiduelle).



### 1.4.2. Préparation du sable

Le sable refroidit, pré-humidifié est stockée en silos. Il est alors prêt à être réutilisé.

La préparation du sable de moulage conforme aux besoins de la production est effectuée avec les différents constituants :

- Sable de retour
- Sable neuf
- Bentonite, noir minéral et autres additifs
- Eau

Après dosage ils sont mélangés afin d'obtenir un produit final devant présenter les qualités nécessaire pour être apte au moulage, d'où la nécessiter de contrôler le processus de fabrication.

Une fois préparé, le sable va être stocké temporairement près de la machine moulage. Il est alors préconisé d'aérer le sable avant son entrée dans la machine.

La préparation du sable à vert comprend ainsi plusieurs impératifs :

- Le dosage des constituants.
- Le malaxage du sable.
- L'aération du sable.

#### A- Le dosage des constituants :

Le sable préparé qu'il soit naturel ou synthétique, qu'il soit sable unique, de contact ou de remplissage est presque toujours un mélange de plusieurs constituants.

Après la coulée, il est nécessaire de remplacer les quantités d'ingrédients dégradés, perdues, brulés.

Ces constituent sont incorporés avec une précision plus ou moins grande, selon le type de sable et selon la quantité finale recherchée en tenant compte des variations de composition du sable de retour. Pour ce faire deux types de dosage sont pratiqués :

#### Dosage volumétrique : volume constant/unité de temps

Le produit à délivrer est directement placé sur la bande ou autre équipement immédiatement avant le mélangeur. L'appareil de dosage distribue un volume constant de matériau dans un temps donné. Un contrôle de passage de matériau peut être installé afin d'assurer une alimentation correcte du produit (détection de présence) Ce type de dosage manque de précision

#### Dosage pondéral : pesée des produits

Pour obtenir un résultat plus précis, il suffit d'intégrer un équipement de pesée : on procède alors à un dosage pondéral.

**B- Le mélangeage ou le malaxage du sable :**

Le mélangeur utilisé à la préparation de sable neufs ou la régénération des sables de circuit a pour fonction essentielle d'assurer, d'une façon aussi homogène que possible, la répartition des différents constituants granuleux, pulvérulents et liquides min en présence.

Cette répartition s'effectue sous l'effet de l'action de la dispersion plus ou moins intenses, de frottage, de malaxage.

En règle générale, les différents constituants sont introduits dans le même appareil.

Les produits sont stockés dans des silos de petites contenances regroupées autour de l'équipement principal de malaxage.

Il arrive dans certaines installations que l'on procède en deux étapes. On effectue alors un pré-mélange dans un appareil distinct, (par exemple eau, argile) avant de l'envoyer dans l'appareil de malaxage. Le malaxeur est situé après les silos de stockage. Cette solution est peu répondeue.

Suivant les conceptions des appareils, les malaxeurs peuvent assurer in débit continue de sable préparé ou un débit discontinu, constitué par des quantités déterminées réalisées en opérations successives.

**Choix d'un type d'appareil :**

Il est nécessaire de prendre en compte différents éléments :

- Type de production à réaliser : doit-on assurer la préparation d'un ou plusieurs types de sable ?
- Qualité du sable à régénéré. Le sable présente-t-il une certaine régularité ?
- Nombre de produits à mélangé
- Débit à assurer
- Lieu d'implantation. Existe-t-il des contraintes d'installation ?

La réponse à ces principales questions n'est pas toujours suffisantes pour arrêter un choix qui portera sur le style de l'appareil : continu ou discontinue.

**Comparaison des différents types de malaxeur :**

**Le malaxeur type continue :**

- Il est plus facile à implantera, car il ne demande pas d'aménagements importants au niveau de l'alimentation et l'évacuation du sable.
- Il assure un débit régulier, et permet un débit très important.
- Il très difficile de modifié le temps de préparation, cet inconvénient est particulièrement important lorsque la composition du vieux sable présente des fluctuations et lorsque le même appareil doit préparer des qualités de sable différentes. De plus le temps de préparation est généralement faible.

- Il est nécessaire d'ajouter l'eau en continu, ainsi que les produits d'addition.

**Le malaxeur type discontinu :**

- Le sable traité ç chaque opération peut être constant, lorsqu'on effectuée une pesée.
- Le dosage des constituants (en poids) est facile à réaliser ou modifier.
- Le temps de malaxage est facilement réglable.
- Des petites quantités de sable de qualité précise peuvent être fabriquées et il est plus facile de faire des mises au point de mélanges.
- La trémie tampons, placée à la sortie, doit avoir une capacité suffisante pour établir un écoulement continue pour l'alimentation de l'équipement de moulage (au minimum, elle doit accueillir deux broyées).
- L'automatisation est plus complexe que le mélangeur de type continu.
- La puissance de fonctionnement est plus élevée, à production égale.

On distingue différents types de malaxeur, à meules et à tourbillons :

- Malaxeur à cuve tournante.
- Malaxeur à cuve fixe, et à fond tournant.
- Malaxeur à double ou triple cuve.
- Malaxeur à meules verticales.
- Malaxeur à meules horizontales.

Les équipements comprennent principalement un ou plusieurs systèmes de brassage et un ou plusieurs tourbillons plongeons à l'intérieur d'une cuve fixe ou entraînée en rotation.

Les dispositifs de brassages homogénéisent le sable t le conduisent dans la zone d'action des tourbillons qui lui font subir un effet intensif de malaxage.

**Malaxeur à cuve tournante :** Il possède une cuve de mélange tournante dans les sens d'aiguilles d'une montre et un système d'outils tournant en sens opposé ou en courant croisés.

Les outils sont prédisposés excentriquement par rapport à l'axe de la cuve.

Grace aux vitesses et au sens de rotation différents de la cuve de mélange et du support rotatif, les matériaux versés dans le malaxeur sont soumis à des modifications constante de position et de vitesse horizontalement et verticalement. Le tourbillon intensifie le mouvement du mélange. Cet outil à haute vitesse engendre des forces de frottement et de cisaillement intensif facilitant l'intégration des constituants en rendant rapidement homogènes le sable.

**Mélangeur à cuve fixe :**

Le corps du malaxeur sert de support. La paroi et le fond du malaxeur forment une cuve. Celle-ci est recouverte de plaques anti-abrasives. Le joug rotatif d'engrenage supporte la turbine, dotée de coteaux résistant à l'usure et de l'autre côté le racleur de paroi. Cet ensemble tourne dans la cuve fixe.

Lors du malaxage, le mouvement du racleur de paroi et du socle maintien le sable dans la zone de travail de la turbine.

Une ouverture d'admission pour le sable et les additifs, une soupape de surpression et une porte de vidange avec registre sont installées.

L'eau est pulvérisée dans le malaxeur d'une manière uniforme.

**Malaxeur à double cuve (ou à triple cuve) :**

Ce type de malaxeur convient bien pour la production de sable en continu. Chacune des cuves est munie de son dispositif de travail de sable.

Suivant le débit, les appareils comprennent deux ou trois cuves fixes, communiquent entre elles, et un ensemble de deux meules et socs tournant à l'intérieur de chaque cuve.



**Figure 13** : Schéma de principe de malaxeur

Le sens de rotation des outils sont inversés d'une cuve à l'autre pour permettre l'écoulement du sable en cours de préparation. Le vieux sable est admis en continu à l'entrée de la première cuve, et passe progressivement dans la seconde, avant d'être évacué vers l'utilisation.

**Malaxeur à meules verticales :**

Ces appareils comprennent :

- Deux meules de grandes diamètre et de faible largeur reliées à un pivot centrale par des bras articulés. L'ensemble est entraîné en rotation. Ces meules peuvent être entièrement métalliques, revêtues avec un bandage caoutchouc ou même se présenter sous la forme des roues munies de pneus.
- Deux grand socs ramenant continuellement le sable du centre vers la périphérie et de la périphérie vers le centre, en obligeant à passer sous les meules. Pendant la rotation, le glissement radial occasionne le dérapage des meules sur le sable et produit un frottage énergétique qui vient compléter l'action de roulement et d'écrasement.

L'équipement travaille par cycle successifs assurant un débit discontinu. Le sable est alors évacué en fin d'opération par des trappes placées en fond de cuve ou en paroi.

**Malaxeur à meules horizontales :**

Ces appareils sont constitués de :

- D'une cuve très haute, fermée et revêtue de caoutchouc.
- D'un ensemble de deux meules étroites à axe vertical, monté sur un pivot central entraîné en rotation. Les meules sont garnies de caoutchouc.

Sous l'effet de la force centrifuge, les meules viennent en contact avec les parois. Un ventilateur situé en bas de la cuve envoie un très fort courant d'air, qui, arrivant par le fond de la cuve, soulève le sable, obligeant à passer entre les meules et la paroi de la cuve. Toutes les matières introduites sont énergiquement mélangées.

**C- L'aération du sable :**

En vue d'obtenir un sable parfaitement approprié au moulage, il est souvent nécessaire de le diviser en fin de cycle de préparation.

Cette opération consiste à détruire les mottes de sable qui peuvent s'être formées à la sortie du malaxeur ou par l'agglomération du sable en cours du transport (jetée des transporteurs à bande, par exemple).

Cette aération est préconisée afin d'obtenir une mise en place du sable autour de modèle plus homogène et ainsi réaliser des empreintes sans défauts de surface.

On retrouve les appareils suivants :

- L'aérateur-diviseur.
- Le tambour de tamisage.

**L'aérateur diviseur :**

L'aérateur diviseur a pour but l'aération par division du sable à vert préparé, en sortie de malaxeur ou avant l'entrée en stockage d'alimentation des machines.

Il réduit les boulettes formées au malaxage et rend le sable flou, par projection du sable sur les parois. Il s'apparente à la brise mottes.

Il est installé sur une courroie plate et est réglé en fonction de la veine de sable qui l'alimente.

- Un caisson de projection avec revêtement anti-adhérent.
- Deux turbines à palettes à axe horizontal ou vertical.
- Un groupe d'entraînement des turbines.

### **Le tambour de tamisage :**

Le tambour de tamisage est intégré directement à la machine à mouler. Celui-ci permet de tamiser une quantité sa sable sélectionnée et de l'aérer afin d'utiliser ce sable en sable de contact.

Il est constitué d'une turbine tournant à grande vitesse à l'intérieur d'un capot. La turbine, généralement à axe horizontal. Est constitué, soit d'un arbre, soit de deux flasques formant un tambour. Des brosses sont fixées sur les palettes.

Le volume de sable nécessaire au remplissage du châssis et de la rehausse entre dans le tambour par une trappe. La cage du tambour, formée d'une tôle grillagée, reste fixe pendant l'opération de tamisage. Les flasques du tambour supportant les brosses tournent à l'intérieur. Les brosses forcent alors le sable à tomber sur la plaque modèle.

Lorsque le sable (de contact) est alors bien réparti sur la plaque modèle, la cage du tambour pivote de 180°. Le sable de remplissage tombe dans le châssis.

### **1.4.3. Le transport du sable**

Le transport du sable dans les sableries fait intervenir plusieurs équipements, ce sont :

- Les transporteurs à courroie
- Les transporteurs vibrants
- Les élévateurs
- Le transporteur pneumatique

En utilise également d'autres équipements à des fins extractions ou de transport tels que :

- Les soles doseuses
- Les extracteurs vibrants
- Les extracteurs à bandes.

#### **1- Les transporteurs à courroie :**

Ils sont composés généralement de :

- Une courroie
- Deux tambours : tambour de tête et tambour d'extrémité.
- Des rouleaux supports.
- Des galets latéraux, qui assurent dans certains cas le guidage de la courroie.
- Un système de tension.
- Une charpente métallique.
- Des équipements complémentaires de protection.

Ils peuvent être installés soit horizontalement ou inclinés.

#### **2- Les transporteurs vibrant :**

Ce sont des transporteurs métalliques, animés d'un mouvement oscillant.

On rencontre deux types de transporteurs :

- Les transporteurs vibrants.
- Les transporteurs par inertie.

Ces transporteurs comportent l'un et l'autre une gouttière qui reçoit la matière à transporter.

#### **Le transporteur vibrant :**

La gouttière du transporteur vibrant est animée d'un mouvement vibratoire qui fait déplacer la matière par bonds successifs donnant l'impression d'un écoulement continu. La gouttière de section rectangulaire ou trapézoïdale est réalisée par une tôle pliée dans le cas de petits matériels, ou par assemblage de tôles pour des équipements plus importants. Cette gouttière peut être ouverte ou bien capotée, pour faciliter la captation de poussières.

Le mouvement est caractérisé par son amplitude, sa fréquence, sa direction par rapport à l'axe longitudinal de la gouttière. Ce mouvement est commandé par différents dispositifs :

- Vibreur électromagnétique.
- Moteur à arbre balourdé
- Bielle excentrique.

Lorsque le circuit comporte plusieurs appareils, les transporteurs peuvent être disposés avec une légère inclinaison (moins de 5%). Ces transporteurs sont conçus pour la manutention de matériaux à haute température.

Les transporteurs vibrant se rencontrent presque exclusivement sur les circuits de sable décoché. Dans ce cas ils sont installés sur les grilles de décochage, et ils jouent un rôle d'extracteur et de régulateur de débit.

L'avancement de la matière en vrac véhiculée se fait de la manière suivante :

Le couloir de transporteur vibrant est accéléré et ralentit périodiquement. A l'accélération, la matière est mise en mouvement dans la direction du transport, elle suit ce mouvement en projection libre pendant que le transporteur ralentit et elle retombe sur le fond du couloir pendant qu'il reprend sa position du départ pour recommencer le mouvement d'accélération.

Cette méthode de transport ne provoque qu'une très faible usure du fond de couloir. Les dépôts ou incrustation de matière n'exerce guère d'influence sur l'amplitude de la vibration.

#### **Le transporteur par inertie**

Le couloir de ces appareils est animé d'un mouvement rectiligne et horizontal. La différence des accélérations entre les déplacements vers l'avant et vers l'arrière provoque un glissement de la matière au fond de l'auge. Le mouvement est transmis par un mécanisme du type bielle-manivelle. La gouttière est supportée par des galets solidaires d'un châssis.

Ce type de transporteur peut être réalisé en longueur importante et il nécessite un encombrement en hauteur moins élevé que les appareils vibrants.

La nature du mouvement d'entraînement permet un fonctionnement plus silencieux.

Par contre le débit est moindre et l'auge s'use plus rapidement en raison du frottement.

Ce transporteur par inertie se trouve à certain poste de décochage pour assurer un transport simultanée de sable et de pièces vers une grille de séparation.

### **3- Les élévateurs :**

Les élévateurs sont des équipements conçus pour établir une liaison continue entre deux niveaux d'une installation.

Ils doivent, dès la conception de la sablerie, être bien dimensionnés : l'élévateur doit pouvoir absorber un débit instantané supérieur à la normale (jusqu'à 200% de la capacité normale).

Un entretien préventif doit être effectué régulièrement. Pour faciliter les inspections journalières. Il faut installer des portes de visite de taille plus au moins grande, dans différentes zones sur la hauteur totale de l'élévateur.

Au pied de l'élévateur, il est important d'avoir une, ou deux, porte de visite pour pouvoir en cas de besoin, procéder au nettoyage du sable, amassé sur le sol. Ce sable provient de l'opération de déchargement, lorsque la vitesse de la courroie n'est pas la bonne. Cette porte est également lors du remplacement de la bande. Lorsque cela est possible, il suffit de placer l'élévateur de façon à pouvoir récupérer et évacuer le sable stagnant au fond.

Il faut généralement protéger l'appareil contre l'entrée intempestive d'objets métalliques introduits par accident ou par mégarde dans le circuit.

A la tête, la porte sert au remplacement des godets, lorsque cela est nécessaire.

On retrouve trois conceptions différentes :

- Les élévateurs à godet.
- Les élévateurs à tasseaux.
- Les élévateurs à poches.

Ici ne sont présent que ceux à godet

#### **Les élévateurs à godets :**



Les plus fréquemment utilisées, ils sont composés généralement de :

- Une bande sans fin (courroie) tendue entre deux tambours, supportant les godets.
- Un tambour supérieur moteur, ou tambour de tête, qui assure l'entraînement grâce à un motoréducteur.
- Un tambour inférieur de tension, ou tambour de pied, réglable en position.
- Une carcasse de protection métallique, munie de goulotte d'admission et d'évacuation du matériau, des équipements complémentaires de protection.

**La courroie :**

Les courroies utilisées dans les élévateurs sont identiques à celles utilisées pour les transporteurs à courroies.

La courroie, de type sans fin, est obtenue par agrafage ou par vulcanisation. L'agrafage des deux extrémités ne peut être réalisé comme pour un transporteur, en raison des très fortes sollicitations qui provoquerait des déchirures. Il faut procéder à une jonction, soit par recouvrement des deux extrémités, sur une longueur minimum de 1 mètre, soit en réalisant l'agrafage et en rapportant sur la face externe un morceau de courroie dont la longueur permette la fixation de plusieurs godet de parts et d'autre de l'agrafage. Quand cela est possible il est préférable d'avoir recours à la vulcanisation.

Ma courroie d'un élévateur doit présenter un faible allongement, une grande souplesse et une parfaite adhérence des couches constitutives.

**Les godets :**

Ils sont les plus souvent en tôle ordinaire, mais, pour limiter, le colmatage, on trouve d'autre type : godet en acier émaillé, en acier inoxydable, polypropylène ou simplement revêtus d'un produit antiadhésif.

Les godets sont fixés sur la courroie par rivetage ou par boulons pour être remplacés facilement si nécessaire.

Ils sont régulièrement repartis à raison de 3 ou 4 par mètre. Ils sont caractérisés par leur dimension et leur capacité en eau.

En sablerie on tient compte d'un coefficient de remplissage de l'ordre de 0,5 et 0,6 suivant les caractéristiques du sable.

Les godets peuvent travailler en draguant la matière, ce qui conduit à faire une alimentation dans le bas d'un élévateur. Cette solution n'est pas conseillée, car elle comporte beaucoup de risques : détérioration de la bande et des godets. Sinon le chargement s'effectue à la volée. Cette dernière solution est la plus couramment utilisée. Une goulotte de réception est installée au-dessus du pied de l'appareil. Il faut alors prévoir 4 godets en-dessous du point d'alimentation le plus bas pour limiter les chutes dans le pied de l'élévateur.

#### 4- Le transporteur pneumatique :

Les applications les plus fréquentes dans une sablerie concernant :

- L'approvisionnement en sable siliceux des trémies, réalisé à partir soit d'un déchargement en vrac dans une fosse, soit d'un véhicule spécialisé à vidange pulsé.
- Le transport du sable neuf, des trémies de stockage aux trémies tampons, situées dans la sablerie.
- L'approvisionnement des silos de stockage des produits pulvérulents.

Ce système de transport est à proscrire pour le transport du sable vert préparé.

Il existe deux familles de transport pneumatique :

- basse pression.
- Haute pression.

##### **Le système « basse pression »**

Le système « basse pression » est dit en phase diluée et utilise l'air à une pression inférieure à 1 bar. Il fonctionne en pression positive pour « pousser » les produits à transporter ou en pression négative pour aspirer à travers une conduite de transport à des vitesses relativement élevées.

Dans ce type de fonctionnement, le produit est introduit au fur et à mesure dans la canalisation et entraîné par le flux d'air ainsi créé.

Avec ce procédé on déplace peu de produit à la fois, mais on a besoin d'une grande quantité d'air pour déplacer le produit.

Généralement, la vitesse est élevée (10 m/s) au début et va augmenter jusqu'à 25 m/s en bout de circuit et parfois jusqu'à 25 m/s en bout de circuit et parfois même jusqu'à 30 m/s pour des longues distances.

Cette vitesse va avoir un effet néfaste sur les produits fragiles ou abrasifs, mais aussi sur les installations.

##### **Le système « haute pression »**

Le système « haute pression » est plus connu sous le nom de phase dense.

On utilise souvent de l'air comprimé à une pression supérieure à 1 bar.

Le produit est introduit par gravité dans une trémie d'expédition puis, après détection du niveau haut dans celle-ci. Les vannes d'alimentations se ferment. De l'air comprimé est

alors injecté dans la trémie jusqu'à tout la quantité de produit soit expédié et la canalisation purgée. Cette trémie est alors remise à la pression atmosphérique.

Avec ce procédé, une petite quantité d'air permet le déplacement d'une grande quantité de produit, à basse vitesse (0,5 à 10 m/s).

#### **1.4.4. Le stockage du sable et des produits d'additions**

Le stockage intervient dans différents secteurs dans un circuit de sablerie. On va effectivement stocker :

- Sable neuf
- Les produits d'addition
- Le sable de retour
- Le sable préparé

Il faut, à chaque étape de stockage, avoir une réserve suffisante afin de ne pas entraîner un arrêt de fabrication. Le stockage est réalisé le plus souvent dans des silos ou trémies de forme et de capacité variées.

On retrouve deux types de stockage, pour ces produits : le stockage principal sur parc et le stockage journalier au niveau de la sablerie.

##### **Stockage principale sur parc**

On utilise le plus souvent des silos remplis pneumatiquement.

Cette solution est bien adaptée pour le sable siliceux et pour la bentonite. Dans certains cas, et plus particulièrement dans certains pays l'absence de camions, équipée de plusieurs fait que le transport du sable neuf est réalisée par camions benne nécessitant le déchargement en vrac du produit, par train ou par camion chargé de « big-bague » (gros sacs en toiles).

Le sable siliceux est vidé dans une fausse, que l'on équipe alors avec un transporteur pneumatique, pour le remplissage des silos de stockage.

En trouve également du stockage en sacs ou conteneurs pour faciliter les reprises et les dosages ultérieurs.

##### **Stockage journalier**

Pour le stockage journalier, on utilise des trémies de plus faible capacités, alimentées par transport pneumatique, ou par transporteurs à courroies.

Pour les produits d'addition, les sacs dans lesquels se trouvent le produit, chargée sur une table de travail, ou ils sont ouverts et expédié à l'aide d'un transporteur pneumatique dans des silos intermédiaires.

**Stockage du noir minéral :**

Dans le cas particulier du noir minéral, il est nécessaire de prendre certaines précautions au niveau du silo. Celui-ci ne doit pas avoir un volume trop important pour des problèmes de sécurité.

Le transporteur pneumatique associé doit être réaliser antidéflagrant. Dans certains cas, afin de minimiser les risques, le stockage du noir minéral se fait dans le même silo que les argiles.

**Stockage du sable de retour :**

On utilise des trémies de différentes formes :

- Trémies à section carrée, avec extraction à courroies ou vibrants, construits en mécano-soudée, et assemblées par boulonnerie.
- Trémies à section circulaire, avec extraction par sol doseuse, ou par dispositif à bol vibrant (moins coûteuses).

Suivant les applications, le stockage est réalisé dans une ou plusieurs trémies. Il est important de définir, au préalable, la capacité totale de stockage. Celle-ci est définie en fonction des débits instantanés du décochage et du moulage.

Il faut avoir une capacité suffisante si l'on veut stocker l'ensemble du sable contenu dans les moules des chantiers automatiques, de même il est préférable d'augmenter le stockage théorique pour prolonger le temps de séjours en trémies, ce qui facilite l'homogénéisation du sable au point de vue de la température et de l'humidité.

Lors du stockage du sable de retour, le principal inconvénient rencontré est le problème liée au colmatage du sable dans les trémies. Il y a alors formation de cheminées ou de voûtes perturbant ainsi le bon écoulement du sable.

**Le colmatage**

Le colmatage va s'amorcer en tout point d'une paroi où une réaction d'appuie présente une composante oblique, dont les effets cumulés de poches en poche tendent à la formation d'une voûte. Il est fortement influencé par les propriétés d'adhérence respective du produit et de la paroi. Il se propage de bas en haut et augmente avec les hauteurs des trémies. Il est conditionné par la teneur en humidité du matériau et par sa température. La température extérieure du silo influe également sur le phénomène.

Pour y remédier il existe différentes solutions :

- Avoir un bon refroidissement du sable avant stockage : dans ce cas, le risque de colmatage est réduit.

- Travailler sur la forme et le matériau constituant les trémies
- Avoir des trémies à parois verticales, afin d'éviter les réactions d'appui, mais souvent incompatibles avec les systèmes d'extraction, et avec le volume de stockage.
- Revêtir les parois avec : des peintures spéciales des tôles inoxydables, des tôles émaillées.
- Avoir des doubles parois avec revêtement téflon.
- Utiliser des appareils décolmatage.
- Vibrateurs placés sur les parois
- Système d'injection d'air comprimé

### **Stockage du sable préparé**

Ce stockage est effectué directement aux postes d'utilisation. Il se fait généralement en trémie au-dessus des machines de moulage, et avec une capacité minimale.

Il est possible de trouver deux trémies au-dessus de la ligne de moulage : une trémie de faible capacité, pour le stockage d'un sable de contact et une autre trémie, de plus grosse capacité, pour le sable de remplissage.

Les extractions sont souvent réalisées par des transporteurs à courroie avec une largeur de bande importante et des puissances de moteurs élevées. (Le débit instantané est très élevé).

Le volume des trémies doit être suffisant pour éviter les ruptures de stock sur la machine à mouler.

### **1.4.5. Le dépoussiérage**

Le dépoussiérage d'un sable est une opération complexe.

Il est nécessaire de procéder au captage des poussières pour deux raisons :

- Assurer une qualité régulière au matériau de moulage en maîtrisant le taux des fines
- Eviter la pollution des ambiances de travail

Sur le plan technique, on considère comme neutres ou même nuisibles les matières calcinées par coulée (liants, adjuvants, enduit...) et les fines qui résultent de la fragmentation des grains de sable portés à très hautes températures.

Du point de vue hygiène, la poussière rend le travail désagréable et pénible. La présence des particules fines (inférieures à 5µm) de silice libre constitue par ailleurs un risque.

L'émission de poussières est augmentée par le brassage du matériau et la température élevée. Elle est atténuée par l'humidité, mais la combinaison eau-chaleur donne lieu à des dégagements de vapeur dont la condensation provoque de la corrosion et la formation de boues qui encrassent les systèmes d'aspiration.

Dans les sableries, les dispositifs de captage de poussières sont placés principalement sur le circuit de sable décoché. Après régénération, il y a moins lieu d'aspirer.

Les principaux points de captage sont :

- L'équipement de décochage
- Le brise-mottes (quand il existe)
- Le trommel ou le crible vibrant
- Le refroidisseur
- Les jetées d'élévateurs et de transporteurs
- Les jetées en trémie
- Les transporteurs a bandes, lorsqu'ils sont capotés

Les dépoussiéreurs se répartissent en différents types en fonction des forces appliquées aux particules solides en suspension :

### **Les dépoussiéreurs mécaniques**

Plusieurs types de dépoussiéreurs mécaniques existent :

#### **Dépoussiéreurs a gravité :**

Ce sont des chambres dans lesquelles la vitesse horizontale du courant de gaz poussiéreux est suffisamment réduite pour que les particules en suspension aient le temps de descendre sur les surfaces de dépôt.

#### **Dépoussiéreurs à inertie :**

Ce sont des chambres dans lesquelles le courant de gaz poussiéreux est soumis à des changements de direction multiples. Les Particules suivant des trajectoires moins incurvées que les lignes de courant de dirigent vers les surfaces de dépôt sèches ou humides le long desquelles elles descendent Par, gravité vers des collecteurs d'évacuation.

#### **Dépoussiéreurs à force centrifuge (ou appelés cyclones) :**

Les cyclones ce sont des appareils où la force centrifuge intervient de façon prédominante. Un cyclone se compose principalement d'un tube cylindro-conique dans lequel les gaz entrent par une ouïe latérale en forme de volute. Sous l'action de force centrifuge, les particules en suspension dans le courant gazeux sont projetées sur les parois au bout d'un certain nombre de révolutions, puis elles retombent sur le cône inférieur et Peuvent être ainsi éliminées ou récupérées Le gaz épuré s'échappe par un tube cylindrique intérieur, appelé cheminé coaxial au corps du cyclone et placer. [8]

## 1.5. Contrôle en fonderie:

Dans la production en série on utilisera le contrôle statistique qui permet la réduction de la fréquence des opérations de contrôle, la mesure de la dispersion du système, le suivi en continu de paramètres critiques et des réglages à bon escient en diminuant les tris et retouches.

### 1.5.1. Contrôles de réception :

Une fonderie approvisionne environ 30 % de son chiffre d'affaires en produits extérieurs (hors énergie), ratio qui sera un peu plus important pour une fonderie de non-ferreux, lié au coût plus élevé des matières métalliques. Ce ratio souligne l'importance de ce poste en coût et son influence sur la qualité des produits fabriqués.

C'est pourquoi il importe de mettre en place l'organisation nécessaire pour que toutes les commandes de matières premières, ferrailles, aluminium, sable, résines, produits spéciaux, etc., soient assorties d'un cahier des charges précisant exactement les spécifications du produit à approvisionner.

À la réception, des contrôles doivent être pratiqués : par exemple granulométrie des sables, conformité des analyses des métaux neufs, caractéristiques des argiles, des résines, des liants, etc. ; la livraison de produits défectueux pouvant entraîner de graves désordres en fabrication. D'où l'importance de ces contrôles et l'instauration, avec les fournisseurs d'une politique d'assurance qualité s'inspirant de celle mise en œuvre entre le fondeur et ses donneurs d'ordres.

### 1.5.2. Contrôles en cours de processus :

Ils permettent de vérifier, à chaque stade du processus de fabrication, la conformité des variables de la production avec les réglages prévus par les fiches d'instruction. Nous en citerons quelques exemples.

#### **Fusion :**

- Température de coulée.
- Analyse rapide de l'alliage fondu (analyse thermique, éprouvette de trempe, etc., pour la fonte).
- Analyse chimique rapide par spectrographie.
- Poids des charges métalliques, des additions, etc.

#### **Moulage :**

Analyses et contrôles périodiques :

- des sables de moulage, par exemple toutes les demi-heures dans les installations de grande production, analyses faites généralement au laboratoire des sables ;

- de la dureté des moules ;
- de la température de coulée dans les moules ;
- des dimensions des pièces ;
- du bon fonctionnement des machines et des outillages ;
- en fonderie en coquille : suivi du poteyage, de la température des outillages, etc.

**Noyautage :**

Contrôle des résines, des liants, caractéristiques des éprouvettes, vérification des formules de sables, des temps de gazage, des températures des outillages (boîtes chaudes) des températures de réglage des étuves de séchage des enduits, etc.

**Coulée :**

Suivi des paramètres de coulée, température, temps de coulée, produits inoculant, propreté du métal liquide.

**Parachèvement, finition :**

Contrôle des gammes, qualité des outillages de finition (matrice de découpe par exemple), etc.

L'énumération que nous venons de faire ne donne qu'une idée de tous les contrôles envisageables. Grâce aux progrès dans tous les domaines : électronique, informatique, appareils de mesure, de régulation, etc., on a pu améliorer et multiplier les prises d'informations plus fiables, permettant ainsi de mieux régler et réguler des paramètres de plus en plus nombreux. C'est une évolution importante dans la démarche de la fonderie vers la qualité.

**1.5.3.      Contrôle des outillages et des matériels**

Les outillages et les matériels sont soumis, en fonderie, à des conditions d'emploi très sévères (chaleur, abrasion par le sable, par le métal liquide, contraintes mécaniques : secousses, chocs, pressions, etc.) qui imposent de les contrôler régulièrement pour vérifier leurs caractéristiques, leurs performances et la sécurité de leur emploi.

**Pour les outillages**

- Contrôle des châssis (bagues, goujons, planéité).
- Contrôle des modèles, plaques modèles, qui s'usent par le frottement du sable et dont il faudra surveiller le degré d'usure pour que les cotes des pièces restent dans les tolérances prévues.
- Contrôle des boîtes à noyaux.



— Contrôle de l'épaisseur de poteyage (en coquille, gravité, basse pression).

— Contrôle des moules à couler sous pression, et notamment des empreintes (usure, érosion par le métal liquide, etc.) qu'il faudra remplacer périodiquement en fonction des quantités de pièces produites.

— Contrôle des outillages de finition.

— Contrôle des montages et des appareillages de contrôle eux-mêmes pour en vérifier périodiquement la fiabilité (pyromètres, couples thermoélectriques...).

### **Pour les matériels**

Il conviendra également de contrôler systématiquement le bon fonctionnement et les performances des différents matériels et installations employés en production (appareils de fusion, chantiers de moulage, sableries, etc.) pour en suivre l'évolution et programmer en temps utile les opérations préventives de maintenance.

Tous ces contrôles, nombreux, onéreux, sont indispensables pour obtenir un excellent niveau de qualité de l'outil de production, la moindre défaillance de l'un quelconque de ces éléments pouvant entraîner des rebuts très coûteux en fabrication.

#### **1.5.4. 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

Le laboratoire comprend plusieurs sections.

#### **La section des essais des sables :**

Elle rassemble tous les appareils d'essai et de mesure des sables neufs à la livraison, des sables de moulage et des sables à noyaux.

Pour les sables de moulage, les mesures généralement faites sont, pour les plus importantes, la granulométrie, l'humidité, la teneur en argile ou en liant, la cohésion, la résistance au cisaillement, l'indice de coulabilité, l'aptitude au serrage, etc.

Les essais des sables à prise chimique sur barreaux-éprouvettes normalisés y sont également effectués ainsi que tous les contrôles des liants et des résines employés dans les formules de sable à noyaux. [7]

**Chapitre II**  
**Sable Utilisé à La Fonderie**  
**« ETRAG »**

## Introduction :

Les sables sont les principaux matériaux de moulage et de noyautage, pour cela ils ont une importance particulière dans la fonderie.

Ils doivent avoir certaines propriétés pour répondre aux exigences de moulage et assurer la qualité demandés des pièces coulées à obtenir telle que :

- Une bonne résistance mécanique pour supporter les actions thermiques, statique et dynamique du métal liquide
- Une bonne perméabilité, pour obtenir des pièces coulées saines sans défaut.

Les sables de moulage viennent des carrières, chaque carrière à une composition de sable différentes d'autres carrières à cause de la situation géographique et la température e et les phénomènes géologiques.

### 2.1. Qualités exigées d'un sable de fonderie :

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

— la mise en forme au contact d'un modèle mère en épousant tous les détails ; cela signifie que son état initial doit être soit pulvérulent, soit liquide ou liquide-plastique, soit plastique ; suivant cet état, le compactage est effectué soit par simple gravité, soit par un effort mécanique de serrage (pression, secousse, vibration, projection mécanique ou pneumatique) ;

— la conservation de cette forme jusqu'à la solidification complète du métal ; cela sous-entend l'acquisition d'une résistance mécanique importante pour résister à la pression statique du métal liquide ainsi qu'à la pression dynamique (afin d'éviter les phénomènes d'érosion) sans pour autant faire obstacle au retrait du métal en cours de solidification.

D'autres propriétés sont également nécessaires :

— La réfractarité, car le sable doit présenter une température de ramollissement supérieure à la température de fusion de l'alliage considéré ;

— la perméabilité, qui permet l'évacuation des gaz contenus dans l'empreinte du moule ou générés à la coulée ;

— l'absence des réactions moule-métal susceptibles de créer des défauts d'inclusions solides ou gazeuses dans le métal ;

— la facilité de décochage, afin de pouvoir séparer facilement le métal de son moule ; tout en prenant en compte les considérations de coût et de disponibilité. [4]

### 2.2. Carrière de sable utilisé :

Le site d'Oued Zhour est situé à l'extrême Est de la Wilaya de Jijel, à la limite avec la wilaya de Skikda, sur le plan géologique la région est constituée par des formations géologiques appartenant à l'unité de

Beni Ferguène qui est dominée par des formations métamorphiques du socle cristallophyllien de la petite

Kabylie. A partir du contexte géologique, il apparaît nettement que la source principale du matériel détritique constitutif de ces sables est représentée par les différentes formations

géologiques constituant l'édifice de Beni Ferguène, l'unité du cap Bougaroun, les roches Magmatiques (Beni Touffout, El Milia) et autres roches sédimentaires. [9]

Les gisements de sable de silice sont normalement exploités en carrière et matériau extrait subi parfois un important traitement avant sa commercialisation. L'objectif étant de réduire les impuretés, d'augmenter la teneur en silice et par conséquent l'obtention de la granulométrie optimal requise pour l'utilisation finale. Après traitement, le sable peut être vendu à l'état humide ou après séchage.

### 2.3. Extraction et traitement avant sa commercialisation :

#### 2.1.1. Extraction :

L'extraction de cette matière se pratique par son prélèvement à ciel ouvert (sable siliceux ou calcaire) dans les carrières, des dunes, plages ou par dragage dans le lit des rivières ou des océans.

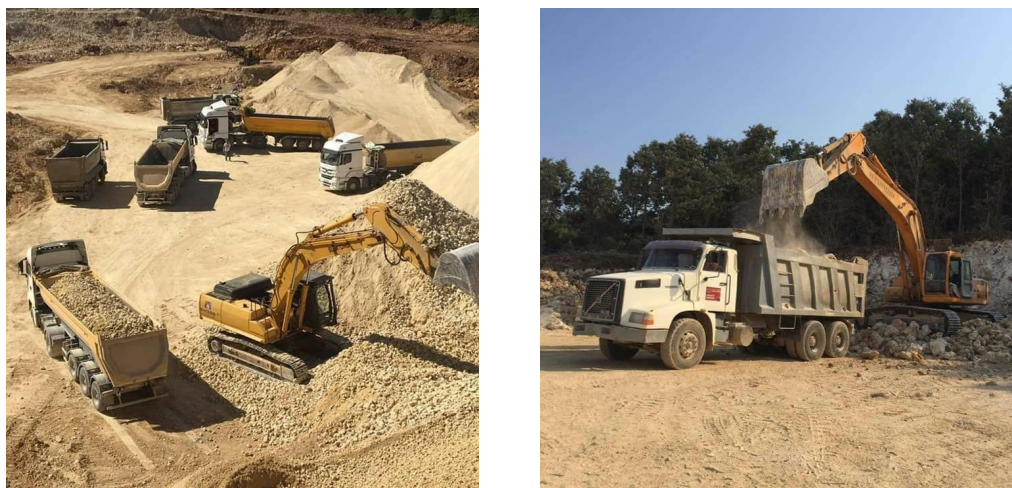


Figure 14 : Extraction du sable

#### 2.1.2. Traitement avant sa commercialisation :

Suivant les applications et les exigences des utilisateurs, il est fait appel à différents moyens de traitement. Ces traitements dépendent de la nature des produits bruts et de la qualité du produit recherché. Pour sa valorisation et après homogénéisation, le sable siliceux extrait de la carrière subira un important traitement qui comprendra un ou plusieurs procédés entre autre :

- 1- Prétraitement (débouage et lavage primaire) pour éliminer les fractions argileuses ;
- 2- Criblage : triage mécanique par grosseurs des grains
- 3- Attrition (usure par frottement) : par voie humide pour séparer toutes les incrustations ferreuses ou argileuses des grains ;
- 4- Lavage secondaire suivi de classification granulométrique : élimination de toutes les impuretés restantes de la phase précédente ;
- 5- Flottation : par voie humide dans des cellules de flottation, pour séparer et éliminer tous les oxydes de fer libérés restants ;

- 6- Essorage et séchage : par voie thermique pour éliminer l'eau ;
- 7- Traitements supplémentaires : par voie sèche pour éliminer certains minéraux lourds contenant le fer. [2]

## **2.4. Analyse du Sable utilisé à ETRAG :**

La fonderie d'ETRAG utilise le moulage au sable à vert pour réaliser les pièces coulées en fonte du moteur (blocs moteur, carter, boîte vitesse)

Le sable est un mélange de silice dont les grains ont une dimension calibrée, de bentonite humidifiée par la cohésion du moule et de charbon pour améliorer la porosité à chaud et éviter l'oxydation du métal.

Cette analyse porte sur les trois constituants suivants :

- Le sable siliceux
- La bentonite
- Le charbon

Deux méthodes expérimentales d'analyse ont été utilisées, l'analyse minéralogique par diffraction de rayon X, et l'analyse thermogravimétrique.

### **2.4.1. Le sable jaune :**

Il est constitué de grains de silice sous la forme cristallisée quartz. Quelques raies de diffraction appartenant à un minérale de la famille feldspaths sont également apparus. La composition serait donc la suivante :

-Quartz 90%

-Feldspath 05%

-Fraction argileuse 05%

Le taux de l'humidité à la température ordinaire est de 02%.

### **2.4.2. La Bentonite :**

La bentonite utilisée au niveau de l'ETRAG est une bentonite calcique car elle contient 10 à 20% de  $\text{CaCO}_3$ .

La diffraction des rayons x a mis en évidence la présence d'argile gonflantes (aux taux de 5% environ la qualité  $\text{CaCO}_3$  20%)

Environ 15% du poids de la bentonite est perdus lors de la cuisson à 1000°C par évacuation de l'eau de la structure et du dioxyde de carbone.

Cette bentonite se particule par un gonflement moyen et elle confère au sable une cohésion à vert élevée. Par contre, celle à sec est moyenne et la résistance à chaud est faible. La réfractairité et la durabilité sont moyennes. Les mélanges préparés avec ce type d'argile,

présentent une bonne aptitude au décochage mais une grande sensibilité aux défauts appelés gales.

### 2.4.3. Le charbon :

L'analyse aux rayons x a révélé une structure amorphe avec une très grande finesse, seule l'analyse thermogravimétrique peut relever la structure de ce carbone qui est une substance hydrocarbonée renfermant aux taux de carbone libre très faibles 10%

Sa composition est donc :

- Matière minérale argileuse scorfiable 30%
- Matière hydrocarbonée solide 40%
- Gaz volatils à haute température 20%

Il possède des propriétés colloïdales importantes dues à la présence d'une argile très dispersée dont l'eau de structure constitue 7% du poids total du charbon, la vitrification est complète à la température 1350°C

Enfin l'humidité à la température ordinaire est de 5%. [9]

## 2.5. Composition du sable utilisé à ETRAG :

Les diverses opérations de fonderie ont pour but d'obtenir des pièces métalliques à partir d'un moule constitué d'un sable de moulage, à l'intérieur duquel est coulé un alliage en sable vert, l'empreinte du moule est obtenue soit avec un sable silico-argileux naturel soit avec un sable de moulage synthétique, préparé et dosé à partir des constituants : silice, sable spécial, argile, eau.

Dans la fonderie ETRAG l'atelier de moulage mécanique comporte une sablerie et trois chantiers de moulage et travaille avec un sable unique pour les trois stations petites, moyennes et grosses pièces, ce sable c'est un sable à vert qui a la composition suivante :

**Tableau 03:** la composition de sable à vert.

Sable neuf	Sable usée	Bentonite	Eau	Charbon
5%	80%	7%	3,5-4%	4%

Donc, on ajoute que 5% de sable neuf et le reste c'est le sable usée qui a subi une remise en conditions comme l'on a vu dans les chapitres précédents.

## 2.6. Caractéristiques mécaniques du sable à vert :

Le moule doit être assez solide capable de bien résister aux secousses lors du transport pour le moulage des moules (remmoulage), ainsi de supporter bien l'action du métal liquide, pendant la coulée, la surface de travail du moule et de noyaux subit des charges importantes, mécanique, thermique et chimique, c'est pour cela que le moule doit être exécuté à partir de sables de moulage possédant des propriétés mécaniques bien déterminées.

Souvent dans la fonderie d'ETRAG en contrôle :

- La résistance à la compression à vert
- La résistance au cisaillement à vert
- La perméabilité et d'autres essais

### 2.6.1. Résistance à la compression :

Cette propriété revêt une particularité, importante, cette dernière est influencée par nombreux facteur de la teneur en eau.

La résistance à la compression d'un sable comportant un liant et la charge rapportée à l'unité de section, sous laquelle se base une éprouvette cylindrique standardisée soumise à un effort compression.

Elle s'exprime en N/cm, sont principe est l'application d'une charge croissante passant par l'axe de l'éprouvette jusqu'à la rupture.

La vitesse de mise en charge n'est malheureusement pas uniforme, elle varie selon le type d'appareils, dans notre essai on utilise la machine hydraulique à piston horizontal G.F (GEOGE FICHER)

Les mesures appareils sont utilisées par la détermination de la résistance au cisaillement.

### 2.6.2. Résistance au cisaillement :

La résistance au cisaillement ou la cohésion a vert est une propriété très importante qu'il faut contrôler dans la fonderie, elle est influence par des nombreux facteurs dont la teneur en argile et la teneur en eau sont les plus importantes.

La résistance au cisaillement d'un sable comportant .....et la charge rapportée à l'unité de section, sous laquelle se casse une éprouvette cylindrique standardisé à un effort de cisaillement, elle a le même principe de la résistance à la compression.

### 2.6.3. Perméabilité au gaz :

Les moules et les noyaux doivent être capable de bien évacuer en atmosphère tout le gaz et vapeur sous l'action de la chaleur du métal liquide, ils doivent être perméable pour prévenir l'échappement du gaz fournit à l'intérieur du moule.

La perméabilité est assurée grâce aux interstices entre les grains sable, la perméabilité dépend des facteurs suivants :

- De la grosseur et la régularité des grains du sable
- De la quantité de l'humidité de l'argile
- De l'intensité de serrage des sables de moulage

La meilleure perméabilité est obtenue avec des sables à gros grains uniforme. Dans la pratique la fonderie exprime la perméabilité aux gaz des sables de moulage par la valeur de la perméabilité nécessaire des sables de moulage ( a vert ou à sec), de la nature des alliages et

des métaux, la masse des pièces coulées, la destination du sable de moulage ou de du sable de noyau.

Une mauvaise perméabilité entraîne des défauts à savoir les soufflures, est une mauvaise surface de la pièce.

#### 2.6.4. Humidité des sables de moulage :

La teneur en eau, c'est-à-dire, l'humidité de sable de moulage est une propriété très importante. Les propriétés essentielles des sables de moulage telle que la plasticité, la perméabilité, la résistance mécanique, l'adhérence dépend de l'humidité des sables de moulage.

L'humidité insuffisante n'assure pas le gonflement complet de l'argile et sa provoque :

- Une basse plasticité des sables de moulage parce que l'argile devient fluide et cohésion entre les grains de silice réduit.
- Le dégagement gazeux s'accroît considérablement pendant l'augmentation de la teneur en eau ( $H_2O$ ).

En générale il existe l'humidité optimale des sables de moulage sa valeur dépend des pièces coulées à obtenir du genre de métal et du moulage et de la distinction des sables de moulages et varie de 3 à 7 %.

Voilà pourquoi en contrôle bien dans les fonderies l'humidité du sable de moulage au niveau de l'ETRAG, on contrôle l'humidité par la méthode ordinaire : selon cette méthode on sèche la charge du sable de moulage dans une étuve à la température de 100 à 105 °c jusqu'à la masse constante et puis on calcule l'humidité à l'aide de la formule suivante

$$w = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1 \cdot 100}$$

$m_1$  et  $m_2$  : La masse de la charge avant et après le séchage ...

#### 2.6.5. La liaison gaz-charbon :

Le charbon présente une structure et une distribution des pores très complexe comprenant les nano pores ( $\approx 2$  nm), les mésopores (de 2 à 50 nm), les macropores (de 50 à 100nm) et les « cleats » (de 100 nm à quelques mm). La surface totale de ces pores est très importante : l'ordre de grandeur de la surface interne des grains est de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de  $m^2$  par gramme de charbon.

Dans la forme adsorbée, largement prépondérante, les molécules de gaz adhèrent intimement, par une liaison physique sur la surface des grains élémentaires constituant la structure de charbon.

La quantité de charbon adsorbée étant proportionnelle à la surface adsorbante accessible au gaz, le charbon est donc un très bon adsorbant de gaz. De ce fait dans les conditions habituelles pour les gisements peu à moyennement profonds (pression de gaz  $\approx 5$  MPa).



La forme ‘ adsorbée’ est largement prépondérante. Elle peut présenter jusqu’à 90% du gaz total contenue dans le charbon, voire plus. Par l’effet d’adsorption, les gisements de charbon peuvent contenir, sous des conditions normale de pression, jusqu’à 6 à 10 fois plus de méthane qu’un réservoir conventionnel de taille identique. L’ensemble « charbon et gaz » est, dans un gisement donné, en état d’équilibre de sorption correspondant à une certaine pression de gaz. Les conditions de cet équilibre sont définies par une loi physique, dont la préparation graphique

### **2.6.6. Analyse granulométrique :**

L’analyse granulométrique d’un sable exprime en pour cent la répartition des grains, selon des châssis conventionnels de dimensions.

L’indice de finesse est un chiffre conventionnel correspondant à un numéro d’un tamis fictif qui retiendrait tous les grains du sable analysé si ceux-ci étaient de même dimension moyenne, il est calculé à partir des valeurs de refus sur chaque tamis. [10]

### **2.7. Les éléments d’additions :**

Suivant les procédé de moulage et de noyautage utilisée, il y a des éléments qui sont ajoutée pour conférer au sable de moulage ou de noyautage des propriétés qui améliore la qualité de ces derniers, parmi ces éléments on peut citer quelques :

- Adjuvant.
- Liants.
- Produit annexes.

#### **2.7.1. Les adjuvants :**

Ce sont des produits qui sont ajoutées aux sables, de moulage et de noyautage afin de leur conférer des propriétés spécifiques autres que celles recherchées telles que la résistance. Ils sont considérés comme des produits indispensables du fait qu’ils influent positivement sur la réussite des moulages. On en distingue :

##### **2.7.1.1. Adjuvants générateurs d’atmosphère réductrice :**

Ces produits sont destinés, particulièrement dans le cas de la coulé des métaux ferreux, à prévenir la formation des oxydes susceptibles de réagir avec les composants de base des sables. Le décapage des pièces se trouve ainsi grandement facilité.

##### **2.7.1.2. Agents de débouillage**

Leur addition est souvent nécessaire pour faciliter la destruction des moules et des noyaux après la coulée

##### **2.7.1.3. Agents anti-pénétration**

L’incorporation d’un faible pourcentage de particules fines (silice, zircon, chamotte, talc) permet de limiter le phénomène de pénétration du métal liquide dans les pores du sable formant des composées fusibles et visqueux obturant les pores.

**2.7.2. Les liants :**

Les liants sont des produits ajoutée aux sable de base pour lui donner des propriété tel que la plasticité en premier lieu qui permet au sable de base d'épouser la forme du modèle et la résistance mécanique qui assure la conservation de la forme jusqu'à l'ultime solidification du métal.

Parmi ces liant on peut citer quelque variété de résines tel que :

- a) Résines thermodurcissables
- b) Résines furaniques

**2.7.3. Produits annexes :**

Il y a aussi quelque produit annexes appart les liant et les adjuvants comme :

**2.7.3.1. Enduit :**

Les enduits ont pour rôle de modifier l'interface sable-métal. Ils sont déposés à la surface des moules et des noyaux, par plusieurs techniques afin de limiter les réactions moule-métal et de prévenir l'apparition des défauts dus à la pénétration de métal.

**2.7.3.2. Colle :**

Les colles sont destinées à l'assemblage des moules et des noyaux.

**2.7.3.3. Mastics :**

Ce sont des pâtes à base de produits réfractaires (silice, talc, etc.). Ils servent surtout à reboucher certains défauts accidentels des noyaux. [2]

# **Chapitre III**

## **Partie**

### **expérimental**

**Introduction :**

Au complexe moteurs tracteur « ETRAG » le taux de rebut des pièces moulées dépassent parfois la moitié du nombre de pièces coulées, les causes sont généralement du sable de moulages.

Le sable de fonderie, correctement choisi pour un type de fabrication donné doit répondre à certaines conditions.

Il devra notamment être susceptible de :

- Prendre l’empreinte de modèle dans ses moindres détails
- Conserver au cours des manutentions la forme de cette empreinte
- Résister à toute action dégradante du métal fondu
- Permettre l’évacuation des gaz formés au cours de la coulée

L’absence d’une seule de ces qualités peut être la cause de l’apparition de nombreux défauts sur les pièces. [11]

Après le suivi du cycle de régénération du sable et sa préparation, et la production du moulage mécanique en étudiant l’influence de additions du noir minérale sur les propriétés mécaniques du sable et leur liaisons avec les défauts, on s’est basé plus particulièrement sur la qualité du sable de moulage.

### 3.1. Préparation du sable de moulage :

Le sable provenant de la région de ‘Oued Zhou’ sous forme de mottes n’est pas lavé, mais séché à 105°C dans un tambour rotatif. Ensuite, il est refroidi et envoyé dans les silos aux divers secteurs d’utilisation.

La préparation du sable de moulage se fait à l’aide d’une installation automatique d’une capacité de 25 T/h avec deux malaxeurs.

Le but de cette préparation est d’enrober parfaitement chaque grain de sable avec les différents agglomérants (bentonite + charbon) et de répartir l’humidité (H<sub>2</sub>O) de façon parfaite afin d’obtenir un mélange très homogène et présentant toutes les caractéristiques de moulage voulues.

Les moyennes nécessaires à cette préparation est :

- **Les bandes de transports** : équipement de transport et de manutention de sable.
- **Les silos** : pour le stockage de sable préparé.
- **Les tamis** : destiné pour éliminer les dernières mottes, déchets, tirage granulométrique
- **Des malaxeurs** : pour le mélangeage du sable et les autres additions.
- **Des bandes de refroidissement du sable** : pour abaisser la température de sable afin de lui bien préparé dans le malaxeur.
- **Elévateurs à godet** : équipement de transport et de manutention de sable.
- **Séparateurs magnétiques** : sont des installations chargées pour éliminer les déchets métalliques et les ferrailles.
- **Broyeurs, frotteurs, diviseurs** : ce sont des appareils de traitement de sable.
- **Briseur des mottes** : pour concasser les mottes de sable.

Etape de préparation :

*1<sup>er</sup> étape* : Après décochage, le sable décoché est transporté avec des transporteurs à bande sous sole, d'abord, il passe par deux séparateurs, le premier est un séparateur magnétique pour la séparation des déchets métalliques et le deuxième est un vibreur séparateur pour séparer les mottes de sables ce dernier la contient un tamis pour la séparation des mottes.

Pour assurer la séparation des mottes le sable est transporté par la suite à l'aide des élévateurs à godets dans un tambour polygonale, qui à son niveau, en élimine toutes les particules ou déchets de tailles fines pour avoir un sable homogène. Ce dispositif alimente quatre silos dont trois sont préservé pour le sable vieux.

Enfin, le sable est transporté avec des transporteurs à godets pour alimenter les malaxeurs.

*2<sup>eme</sup> étape* : C'est dans cette étape commence la préparation du sable où le malaxeur est alimenté par les silos de sable vieux et un silo de sable jaune, il y a aussi l'addition de charbon, d'argile et de l'eau (les dose sont précisent et calculé selon la quantité qu'on a besoin).

Après certains temps de malaxage le sable est transporté vers les briseurs mottes, pour éliminer toute les mottes formés lors du malaxage du sable. Le sable sera airé par la suite et transporté dans les silos de stockage pour alimenter les chantiers de moulage par la suite.

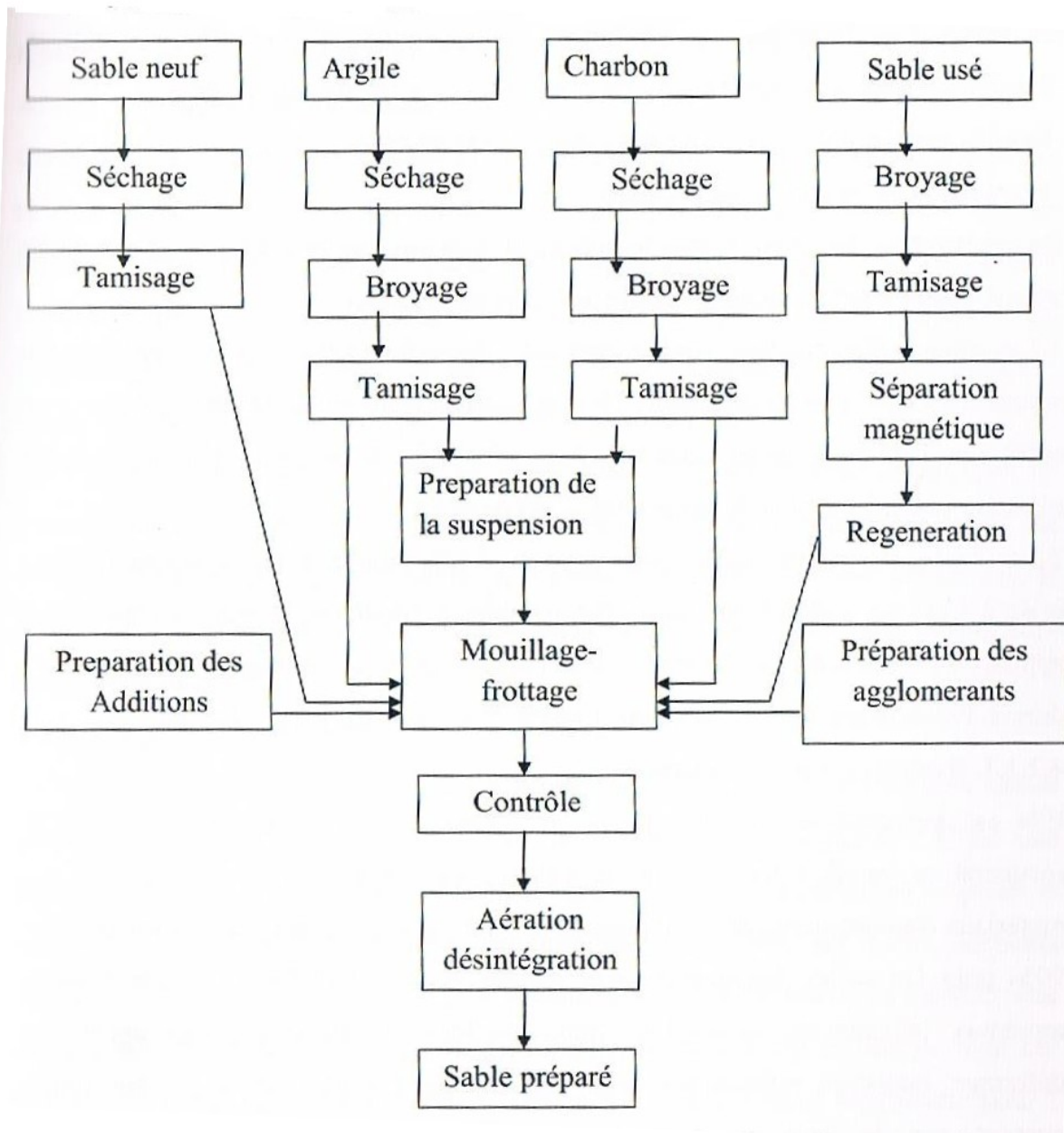


Figure 15: cycle complet de la préparation des sables de moulage

### 3.2. Les problèmes rencontrés et leur répercussion sur la qualité des mélanges :

Lors de la préparation de sable de moulage plusieurs problèmes sont rencontrés qui influent sur la qualité des mélanges et fait entrée des anomalies qui affectent par la suite la qualité des pièces produites.

Parmi ces problèmes rencontrés on peut citer ce qui suit :

- Le sable préparé contient encore quelque 'boulettes de sable' ainsi que des corps étrangères non magnétiques (portée de noyau non brûlée, résidu des manchons exothermique, etc.).
- Il peut également contenir des corps étrangers divers introduits par mégarde dans le système de transport du sable.

- Certains déchets métalliques contenus dans le sable de retour n'ont pas été retenues par le système de décochage
- Le sable chaud peut présenter différents inconvénients, aussi bien au niveau de la sablerie (augmentation de risque de colmatage en trémie, difficulté de maintenir l'humidité) que de moulage.
- Le dépoussiérage insuffisant du sable de moulage.

Tous ces problèmes diminuent la qualité de sable comme la perméabilité et la cohésion du sable, aussi bien que la compressibilité et la finesse de sable cela répercutera sur la santé de la pièce et entraîne des défauts qui augmentent par la suite le taux de rebut.

### 3.3. Groupes technologiques des pièces produites :

Dans le moulage mécanique l'emploi des machines pour la fabrication des moules permet :

- D'augmenter le rendement.
- D'enlever la précision des pièces.
- D'améliorer la qualité.
- Réduire le prix de revient.
- Gagner du temps.

Les machines à mouler effectue les deux opérations fondamentales pour la confection d'une empreinte le serrage du sable et le démoulage d'un modèle.

Le processus du sable et le démoulage consiste au rapprochement des grains sous l'action des forces extérieurs. Les grains du sable sont liées par l'argile ou par un agglomérant donnant au sable serré la cohésion suffisante.

L'atelier de moulage mécanique comporte une sablerie et trois stations de moulage la première pour la petite pièce, la deuxième pour la moyen pièce et la troisième pour la grosse pièce. Dans cette partie on va suivre la production dans chaque station, et pour cela on va choisir trois pièces par chaque station.

- 1- Pièces pour la petite station :
  - Tendeur fileté
  - Pédale à pied
  - La chape
- 2- Pièces pour la moyenne station :
  - Cuve d'huile
  - Berceau
  - Pédale de frein
- 3- Pièces pour la grande station :
  - Trempette
  - Relevage
  - Contrepoids (la masse)

#### 3.3.1. Petite station :

**Tableau 04** : la production du 03 pièces de la petite station.

01	Nom de la pièce	Tendeur fileté	Pédale à pied	La chape
02	Nuance	G.S 40	GGG 40	GGG 40
03	Poids de la pièce brute en (Kg)	1,3	4,3	4,5
04	Poids de la pièce finie en (Kg)	0,9	1,4	3,65
05	surépaisseur d'usinage (mm)	3	3	3
06	Dimensions de châssis (mm)	600 x 500 x 200 / 200		
07	Nombre de noyau par pièce	Sans noyau	1 noyau	1 noyau
08	Machine à mouler	Secousse et pression		
09	Procédé de moulage	Moulage à vert		
10	Température de coulée (°c)	1440°C	1420-1450 °C	1380-1400°C
11	Procédé de noyautage	Croning		
12	Plan de joint	Horizontal		

Les défauts rencontrés dans cette pièce : tendeur fileté

- Moule détérioré
- Soufflures
- Deport du moule

Les défauts rencontrés dans cette pièce : pédale à pied

- Moule détérioré
- Soufflures (pré de l'attaque de coulé)
- Deport du moule

Les défauts rencontrés dans cette pièce : la chape

- Dureté élevé
- Deport du moule

### 3.3.2. Moyenne station :

**Tableau 05:** la production du 03 pièces de la moyenne station.



01	Nom de la pièce	Pédale de frein	Berceau	Cuve d'huile
02	Nuance	GGG 40	GG 20	F.T 20
03	Poids de la pièce brute en (Kg)	7,95	103,7	35,2
04	Poids de la pièce finie en (Kg)	4	86,5	32
05	surépaisseur d'usinage (mm)	3	3	3
06	Dimensions de châssis (mm)	800 x 600 x 300 / 225.		
11	Nombre de noyau par pièce	3 noyaux	2 noyaux	1 noyau
12	Machine à mouler	Secousse et pression		
13	Procédé de moulage	Moulage à vert		
14	Température de coulée (°c)	1450-1490 °C	1400 -1420 °C	1400-1450 °C
15	Procédé de noyautage	Croning		
16	Plan de joint	Horizontal		

Les défauts rencontrés dans cette pièce : pédale de frein

- Dureté non conforme
- Inclusion du sable
- Les défauts rencontrés dans cette pièce :berceau
- Pièces gonflé
- soufflures

Les défauts rencontrés dans cette pièce : cuve d'huile

- Gonflement
- Déport du moule
- Reprise (beaucoup de reprise)
- Mauvaise planéité
- Fissure
- Soufflure

### 3.3.3. Grande station :

**Tableau 06:** la production du 03 pièces de la grande station.

01	Nom de la pièce	Carter de relevage	Contrepoids (la masse)	Trempe droite
----	-----------------	--------------------	------------------------	---------------

		hydraulique		
02	Nuance	GG 25	GG 15	GG 25
03	Poids de la pièce brute en (Kg)	85,5	64,5	65,3
04	Poids de la pièce finie en (Kg)	74	53	53
05	surépaisseur d'usinage (mm)	3	3	3
06	Dimensions de châssis (mm)	1200 x 800 x 350 / 350.		
11	Nombre de noyau par pièce	8 noyaux	Sans noyau	3 noyaux
12	Machine à mouler	Secousse et pression		
13	Procédé de moulage	Moulage à vert		
14	Température de coulée (°c)	1400-1450 °C	1340-1350 °C	1370-1390 °C
15	Procédé de noyautage	Croning		
16	Plan de joint	Horizontal		

Les défauts rencontrés dans cette pièce carter de relevage hydraulique

- Deport du moule
- Deport du noyau
- soufflure

Les défauts rencontrés dans cette pièce :Contrepoids (la masse)

- Gonflement

Les défauts rencontrés dans cette pièce : trempette droite

- Soufflure
- Manque de matière
- Vitifications

Après le suivi de la production dans les différentes stations du moulage mécanique, on trouve qu'il existe plusieurs variétés de défauts, qui sont dus soit aux sables, métal ou outillage de fonderie.

Il y a quelques défauts dominant tel que le déport du moule, déport du noyau, la soufflure, l'inclusion du sable, ....etc.

Parmi ces pièces suivies on trouve que la cuve d'huile possède plus de défauts par rapport aux autres pièces, c'est pour cette raison on va étudier cette pièce par la suite.

Selon les statistiques effectués en fonderie la plus part des défauts sont dus au sable de moulage ; soit par une mauvaise qualité du sable, soit l'ajout d'un élément avec une grande quantité, soit dus à une mauvaise granulométrie du sable.

Pour toutes ces raisons on va contrôler la granulométrie de notre sables, et aussi les caractéristiques mécaniques du sable tel que la résistance à la compression et la résistance au cisaillement et enfin la perméabilité.

### 3.4. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est normalement faite sur un échantillon débarrassé de ces éléments de moins de 20 microns et séché à 105°C jusqu'à masse constante.

S'assurer que la série de tamis est complète, que les toiles sont parfaitement propres et en bon état.

Emboîter les tamis les uns dans les autres, dans l'ordre croissant des ouvertures des 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 (10mn étant considéré comme un minimum), une minuterie peut utilement être adjointe au secoueur.

L'opération terminée recueillir séparément les refus en retournant l'un après l'autre chacun des tamis au-dessus du plateau d'un trébuchet, posé sur une feuille de papier glacé noir ; broser la toile avec précaution au moyen de la brosse appropriée appliquée normalement à sa surface, afin de récupérer les grains retenus dans les mailles. Effectuer cette opération sur les deux faces de la toile.

Rassembler soigneusement dans le plateau les particules tombées sur la feuille de papier. Peser au cg près chaque refus. En noter la masse en regard du numéro du tamis correspondant [10] (voir tableau 6)

**Tableau 07:** Analyse granulométrique.

Pesée (g)	50	o/tamis(m m)	Quantité( g)	facte ur	refus %	produit
-----------	----	-----------------	-----------------	-------------	---------	---------

Matière volatiles (g)	1,03	1,40	0,06	6	0,122524	0,735144
substance argileuse	2,06	1,00	0,03	9	0,061262	0,551358
		0,71	1,70	15	3,4715132	52,072698
		0,50	3,65	25	7,453543	186,33857
Perte au feu %		0,355	7,00	35	14,294466	500,30631
		0,25	13,50	45	27,567899	1240,5554
		0,18	19,00	60	38,799265	2327,9559
		0,125	3,00	81	6,1261997	496,22218
Humidité		0,09	0,90	118	1,8378599	216,86747
		0,063	0,090	164	0,183786	30,140903
Indice de finesse, AFS	50,742	fond	0,040	275	0,0816827	22,462732
Grain moyen	0,2617		48,97		100	5074,2087

La somme des refus doit correspondre à la masse de sable initiale avec une tolérance de  $\pm 0,3\%$ . L'écart conforme à cette tolérance est reporté sur le tamis le plus chargé (ou par moitié sur chacun des deux tamis les plus chargés si ceux-ci accusent des refus égaux à 10% près).

On calcule chaque refus en pourcentage de la masse de sable utilisé avant élimination des éléments de moins de 20 microns (chaque refus est automatiquement exprimé en pourcent si l'échantillon est de 100g).

$$\text{Refus \%} = \frac{\text{Quantité du sable de chaque tamis} \times 100}{48,97}$$

### 1- Détermination des substances argileuses :

On détermine la teneur en substance argileuse  $S_{arg} \%$

D'après la formule  $S_{arg} \% = 2 \cdot (m_1 - m_2)$

$m_1$  : La masse initiale de la charge en gramme

$m_2$  : La masse de résidu en gramme.

Donc :  $S_{arg} \% = 2 \cdot (m_1 - m_2) = 2 \cdot (50 - 48,97) = 2,06$

### 2- Calcule de l'indice de finesse :

$$I_f = \sum (a_i \cdot r_i) / \sum r_i$$

$I_f$ : L'indice de finesse

$a_i$  : Le coefficient correspondant à chaque tamis

$r_i$  : Refus de chaque tamis en %

$I_f =$

$$[(0,122524 \cdot 6) + (0,061262 \cdot 9) + (3,4715132 \cdot 15) + (7,453543 \cdot 25) + (14,294466 \cdot 35) + (27,567899 \cdot 45) + (38,7992 \cdot 55)]$$

$$I_f = 50,742, \text{ AFS}$$

### 3.5. Préparations des échantillons de sable lié à l'argile pour la confection d'éprouvette à de taux croissante de charbon:

Le but de cette étude est l'optimisation de le charbon dans le sable à vert à travers les résultats par des essais mécaniques 'résistance à la compression, cisaillement et la perméabilité sur des échantillons préparés ; on varié le charbon et en fixe l'eau (H<sub>2</sub>O) et la bentonite.

Le sable utilisé pour la préparation des échantillons provient de la carrière de "Oued Zhour" à une composition chimique

**Tableau 08:** la composition chimique de sable.

Sio <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> o <sub>3</sub>	Cao	MgO	Al <sub>2</sub> o <sub>3</sub>
95,85%	1,4%	0,36%	0,3%	1,5%

Après trois chocs, la hauteur de l'éprouvette doit étre 50±0,8 mm, on contrôle à l'aide des trois stries sur le bâti et d'une strie sur la tige. La coïncidence de la strie de la tige avec la strie moyenne de bâti correspondant à hauteur de l'éprouvette 50mm, les stries extrêmes indiquant les tolérances admissibles, après la vérification de la hauteur on soulève la tige et on fait sortir l'éprouvette à partir du manchon à l'aide du poussoir.

#### Remarque :

Les dimensions des éprouvette influent sensiblement sur les valeurs de la résistance à la compression, au cisaillement et la perméabilité d'où la nécessité de garder toujours les mêmes dimensions et aussi les mêmes conditions de préparation des éprouvette pour avoir une comparaison des résultats plus exactes des essais.

**3.5.1 Préparation du sable :** L'étude comporte l'analyse de huit mélange pour la détermination des caractéristique mécaniques cités ci-dessus ( trois analyse à chaque essai), on a huit mélange de sable dont l'eau et la bentonite sont fixé et on varie le charbon. Après, procédons à la confection de l'éprouvette cylindrique standardisée pour la détermination de la résistance à la compression et au cisaillement et aussi la perméabilité.

**3.5.2. Préparation d'éprouvette:** Cette éprouvette standardisée AFS (American Foundrymen society) est exécuté dans le manchon cylindrique dont le diamètre intérieur est de 50mm et la hauteur est égale à 120 mm que l'on installe sur le plateau.

Les éprouvettes standardisées sont serrés à l'aide du damoir par trois chocs.

Méthode de l'exécution des éprouvettes cylindriques standardisées :

On nettoie le manchon, le plateau et puis on les ensemble, on verse 155g de sable sans mottes dans le dispositif, la surface supérieur du sable dans ce dernier doit être bien horizontale puis on pivotant la came grand du damoir.

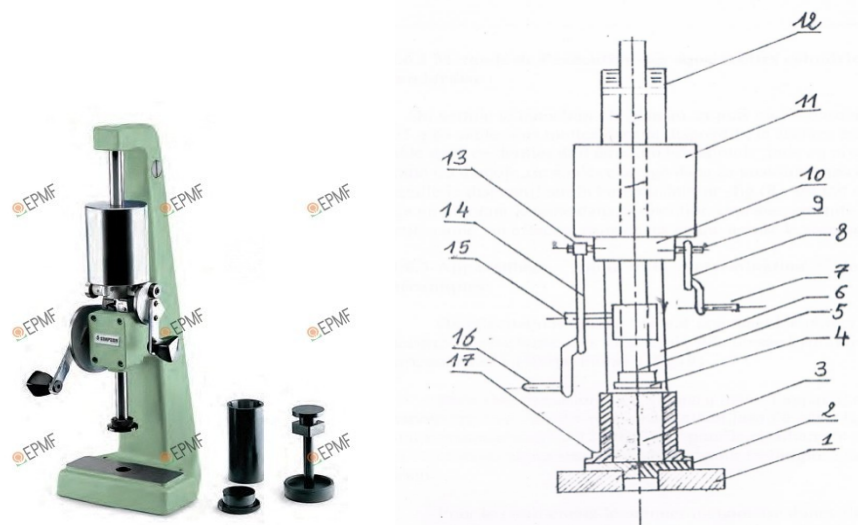
On soulève la tige dans sa position supérieur et on installe le dispositif sur la base du damoir, on fait descendre la tige en pivotant le cône grande dans la direction exposée. Ensuite on tourne la petite came, on effectue trois chocs ce qui assure le serrage.

Les éléments de damoir :

- 1- Une base
- 2- Un plateau
- 3- Un manchon
- 4- Une dame
- 5- Une tige
- 6- Un poteau
- 7- Une poignée
- 8- Une came petite
- 9- Un axe
- 10- Une traverse
- 11- Un manchon
- 12- Une tige

**Figure 02 :** Damoir

- 14- Une came grande
- 15- Un axe
- 16- Une poignée
- 17- Un sable de moulage



**Figure 16:** Damoir.

On effectue nos essais à l'aide d'une machine universelle de mesure de résistance des sables, qui est la presse hydraulique à piston horizontale GF (Gorge Fischer)

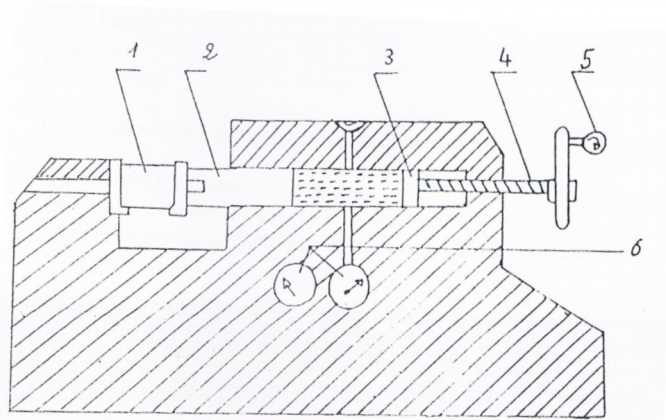
Dans cette rotation d'un volant à main, l'appareil comporte deux manomètres l'un pour les résistances allant jusqu'à 1600 kg/cm<sup>2</sup> pour la compression et jusqu'à 1200kg/cm<sup>2</sup> pour le cisaillement et l'autre pour les résistances allant de daN/cm<sup>2</sup> pour la compression et jusqu'à 10 daN/cm<sup>2</sup>.

**3.5.3. Détermination de la compression et cisaillement:** Pour le cisaillement le premier manomètre donne directement la valeur. Mais dans le deuxième cas la valeur donnée par manomètre doit être multiplié par 100 pour exprimer le résultat en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

Le lecteur de la résistance à la compression est fait sur la graduation extérieure, et la résistance au cisaillement elle est faite sur la graduation intermédiaire.

Pour la détermination de la résistance à la compression on place deux disques plats dites disque de la compression.

Alors que pour la détermination de la détermination de cisaillement on place deux mors de cisaillement formé de demi disque décollés dont la disposition de ces disques est contrôlés, sur la machine c'est-à-dire n'est quelconque le mode opératoire consiste à tourner le manivelle de face on a placer le piston à sa position de départ et disposer l'éprouvette entre les deux disques (de la compression ou bien de cisaillement).



**Figure 17 :** Appareillage de la détermination des résistances mécaniques

Les éléments de l'appareillage de la détermination des résistances mécanique :

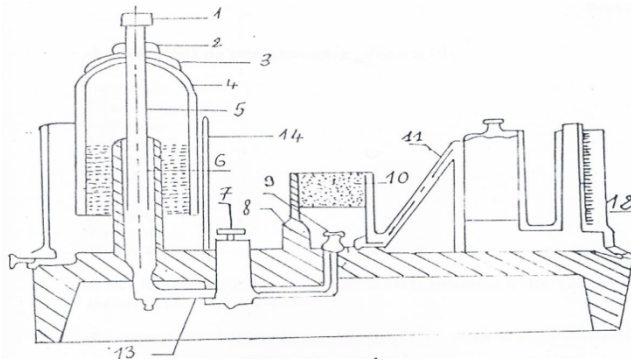
- 1- Epreuve
- 2- Piston
- 3- Piston
- 4- tige fileté
- 5- manivelle
- 6- manomètre

Puis on inverse le mouvement de la machine ce qui applique sur l'éprouvette une charge croissante de la rupture l'aiguille principale du manomètre approprié reprend sa position initiale et la charge limite superposée par l'éprouvette et indiquées par une aiguille témoin.

### 3.5.4. Détermination de la perméabilité :

Pour déterminer la perméabilité on confectionne une éprouvette de 50 mm de diamètre et de 50 mm de hauteur dont le serrage est réalisé par le damoir, la quantité de sable utilisé pour la confection de cette éprouvette est 155 grammes

La perméabilité est ensuite mesurée par perméamètre.



**Figure18** : Perméamètre.

Les éléments de Perméamètre:

- 1- poignée
- 2- petite charge
- 3- charges
- 4- cloches
- 5- tige de guidage
- 6- tube
- 7- robinet à 3 voies
- 8- vanne
- 9- raccord
- 10- éprouvette
- 11- conduite d'air
- 12- manomètre à eau
- 13- tube
- 14- réservoir

### Méthodes d'essais :

D'abord on installe la perméabilité horizontale à l'aide des vis d'ajustage et de l'indicateur à niveau puis on vérifie le manomètre à eau, en établissant le repère 'c' de son échelle contre le niveau d'eau dans le réservoir à cet effet, on met le robinet à trois voies dans la position 'ouverte' on fait sortir la cloche du réservoir.



On met le robinet dans la position ‘fermé’ et on baisse la cloche avec précaution dans le réservoir dans ce cas le repère ‘x’ de la cloche doit être contre le bout supérieur de réservoir, sinon on charge la quantité d’eau dans le réservoir et enfin on contrôle le poids total de la charge et de la cloche de la façon suivante :

On élimine le raccord de la vanne, on installe dans cette dernière le manchon sans éprouvette et on ferme bien ce manchon à l’aide du bouchon en caoutchouc puis on place la charge sur la cloche et on met le robinet dans le caoutchouc, puis on place la charge sur la cloche et on met le robinet dans la position ‘essai’ la pression de l’air dans le manchon doit être de 10cm colonne d’eau, sinon on ajoute des petites charges sur la cloche après on passe aux essais.

Voici ici un tableau qui représente les caractéristiques des éprouvettes

**Tableau 09:** les caractéristiques des éprouvettes.

<b>Caractéristique</b>	<b>Standard européen</b>	<b>standard américaine</b>
Diamètre l’éprouvette en mm	50.0	50.8
hauteur l’éprouvette en mm	50.0	50.8
tolérance sur hauteur de l’éprouvette en mm	0.3	0.3
Hauteur du pour éprouvette en mm	100	120.8
Tolérance sur le diamètre en mm	0.1	0.1
Masse mobile fouloir en g	6666	6350
Hauteur de chute en mm	50.0	50.8
Energie de serrage pour 3 coups de fouloir	9.81J	9.49J
Ou charge de serrage au fouloir pneumatique	1960N	1960N

Les différents mélanges préparés sont représentés dans ce tableau :

**Tableau 10:** les différents mélanges préparés.

Composants	Bentonite (%)	Eau(H <sub>2</sub> O) (%)	Sable neuf (%)	Noir minéral (%)
Mélanges				
Mélange 1	7%	4%	88%	1%
Mélange 2	7%	4%	87%	2%
Mélange 3	7%	4%	86%	3%
Mélange 4	7%	4%	85%	4%
Mélange 5	7%	4%	84%	5%
Mélange 6	7%	4%	83%	6%
Mélange 7	7%	4%	81%	8%
Mélange 8	7%	4%	79%	10%

Les résultats des essais sont représentés dans les tableaux suivants :

**Tableau 11:** Les résultats de mélange 1 pour 1% de charbon.

Essais Caractéristique	1	2	3	Moyenne
Compression Kg/cm <sup>2</sup>	250	300	280	276,66
Cisaillement Kg/cm <sup>2</sup>	62,5	75	70	69,16
Perméabilité	132	133	131	132

**Tableau 12:** Les résultats de mélange 2 pour 2% de charbon.

Essais Caractéristique	1	2	3	Moyenne
Compression Kg/cm <sup>2</sup>	240	270	220	243,33
Cisaillement Kg/cm <sup>2</sup>	60	67,5	55	60,83
Perméabilité	120	117	115	117,33

**Tableau 13:** Les résultats de mélange 3 pour 3% de charbon.

Essais Caractéristique	1	2	3	Moyenne
Compression Kg/cm <sup>2</sup>	390	360	430	393,33
Cisaillement Kg/cm <sup>2</sup>	97,5	90	107,5	98,33
Perméabilité	94	97	93	94,66

**Tableau 14:** Les résultats de mélange 4 pour 4% de charbon.

Essais Caractéristique	1	2	3	Moyenne
Compression Kg/cm <sup>2</sup>	390	400	410	400
Cisaillement Kg/cm <sup>2</sup>	97,5	100	102,5	100
Perméabilité	81	80	80	80,5

**Tableau 15:** Les résultats de mélange 5 pour 5% de charbon.

Essais caractéristique	1	2	3	Moyenne
Compression Kg/cm <sup>2</sup>	430	490	390	436
Cisaillement Kg/cm <sup>2</sup>	107,5	122,5	97,5	109,16
Perméabilité	83	82	83	82,66

**Tableau 16:** Les résultats de mélange 6 pour 6% de charbon.

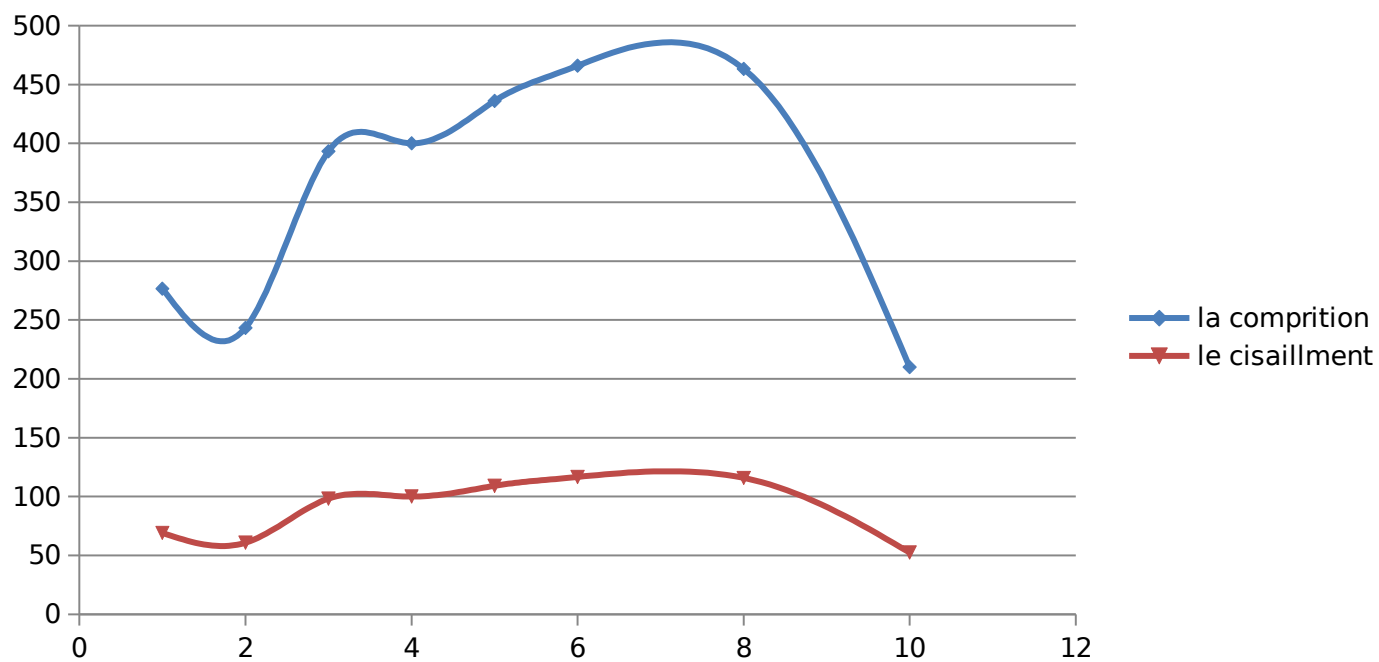
Essais Caractéristique	1	2	3	Moyenne
Compression Kg/cm <sup>2</sup>	490	450	460	466
Cisaillement Kg/cm <sup>2</sup>	122,5	112,5	115	116,66
Perméabilité	73	75	77	75

**Tableau 17:** Les résultats de mélange 7 pour 8% de charbon.

Essais Caractéristique	1	2	3	Moyenne
Compression Kg/cm <sup>2</sup>	450	470	470	463,33
Cisaillement Kg/cm <sup>2</sup>	112,5	117,5	117,5	115,83
Perméabilité	77	75	75	75,66

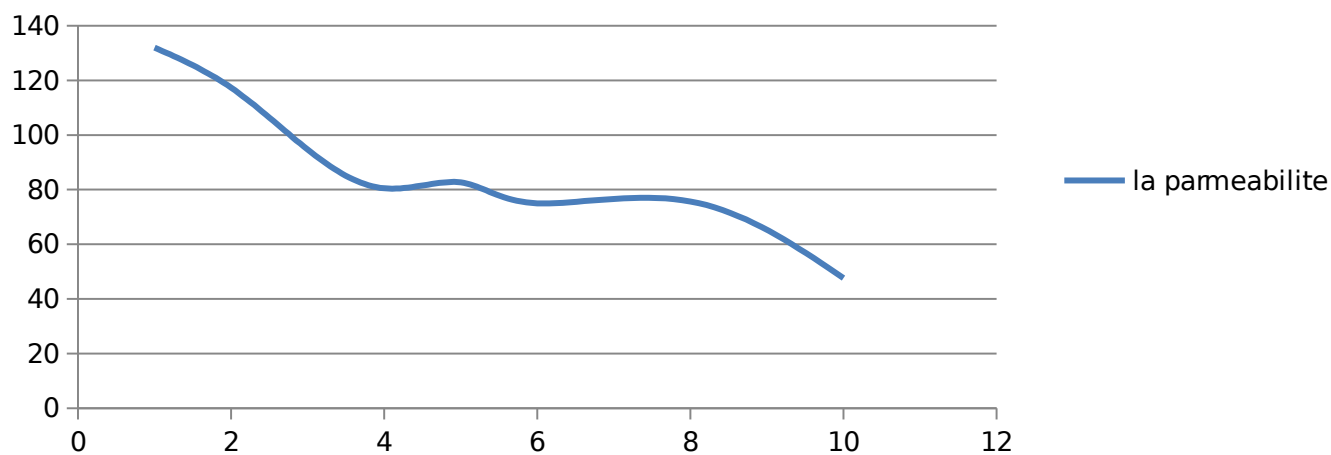
**Tableau 18:** Les résultats de mélange 8 pour 10% de charbon.

Essais Caractéristique	1	2	3	Moyenne
Compression Kg/cm <sup>2</sup>	210	220	200	210
Cisaillement Kg/cm <sup>2</sup>	52,5	55	50	52,5
Perméabilité	49	44	50	47,66



**Figure 19:** Courbe de la résistance à la compression et au cisaillement en fonction du charbon.

## la permeabilite



**Figure 20:** courbe de la perméabilité en fonction du l'addition de charbon.

### 3.6. Coulée des pièces avec chaque composent de sable de défirrent quantité de charbon.

**3.6.1. Préparation des moules:** les moules sont préparés avec du sable de moulage à vert. À chaque fois, on change le pourcentage de charbon dans le sable de moulage. Le serrage se fait à la main.



**Figure 21:** le moule préparé.





**3.6.2. Préparation de métal liquide:** le métal est fondu dans un four à induction, c'est une fonte à graphite lamellaire de composition chimique suivante:





**Tableau 19:** la composition chimique de la fonte. [12] .

L'élément	C	Si	Mn	P	S
La quantité	3,02%	1,83%	0,51%	0,128%	0,043%

On coule les pièces avec tous les huit mélanges pour l'obtention de l'influence du charbon sur l'état de surface et les défauts liés avec le changement de quantité de noir minéral dans le sable de moulage.

**Tableau 20:** les résultats des pièces obtenues.

Nombre de la pièce	L'observation	La photo de la pièce
01	<p>La pièce se coule dans un sable de moulage de 01% de noir minéral Le sable se colle à la pièce et la surface est recouverte.</p>	
02	<p>La pièce se coule dans un sable de moulage de 02% de noir minéral il y a un défaut de pénétration de métal liquide dans le plan de joint.</p>	
03	<p>La pièce se coule dans un sable de moulage de 03% de noir minéral Le sable se colle à la pièce et la surface est recouverte.</p>	
04	<p>La pièce se coule dans un sable de moulage de 04% de noir minéral La surface de la pièce est acceptable et il n'y a pas de défaut sur la surface de la pièce.</p>	

05	<p>La pièce ce couler dans un sable de moulage de 05% de noir minéral</p> <p>La surface de la pièce il est acceptable et il ni a pas aucun défaut sur la surface de la pièce.</p>	
06	<p>La pièce ce couler dans un sable de moulage de 06% de noir minéral</p> <p>La surface de la pièce il est acceptable et il ni a pas aucun défaut sur la surface de la pièce.</p>	
07	<p>La pièce ce couler dans un sable de moulage de 08% de noir minéral</p> <p>Ilya des défauts d'érosion de sable de moulage.</p>	
08	<p>La pièce ce couler dans un sable de moulage de 10% de noir minéral</p> <p>Le sable a fable résistance et la pièce plaine des défauts.</p>	



### 3.7. Interprétation des résultats :

D'après les courbes tracées, la résistance à la compression, au cisaillement et à la perméabilité en fonction de pourcentage de noir minérale à des teneurs de bentonite et l'eau H<sub>2</sub>O fixe (4% de l'eau et 7% de bentonite).

On remarque que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation du taux de noir minérale jusqu'à 6% de charbon puis ils diminuent, pour la perméabilité on trouve une grande perméabilité à 1% de charbon ils diminuent avec l'addition du noir minérale sachant que la perméabilité dépend aussi de la forme et de grosseur des grains du sable.

D'après le tableau on a bon état de surface avec la ajoute de charbon de 01% a 06% mais sur 06% le charbon va démunie la résistance de sable et on obtienne des pièces plane des défauts

### 3.8. Conclusion :

D'après les résultats et les courbes tracés nous remarquons que pour une composition de

7% de bentonite

4% d'humidité

6% de noir minérale

On a une bonne pièce coulée et bons résultats pour les propriétés mécaniques (résistance à la compression et au cisaillement) et aussi pour la perméabilité.

On trouve aussi que pour la composition utilisé au niveau du complexe ETRAG que le % de le charbon est de 6%, c'est pour cela nous recommandons au responsable d'utiliser cette composition avec un pourcentage de 7% de bentonite et 4% d'humidité pour assurer une très grande cohésion du sable.

# **Chapitre IV: Partie technologique**

#### 4.1 Introduction

La technologie de fonderie consiste à élaborer une carte technologique de fabrication. Elle consiste à optimiser les différentes opérations de fusion, moulage, noyautage, modelage, coulée, décochage, parachèvement et éventuellement traitement thermique dans le but d'obtenir une pièce saine avec des propriétés souhaitées et un prix de revient le plus bas possible.

La production économique des pièces saines dépend des facteurs suivants :

- Procédé de moulage et de noyautage ;
- Nuance de l'alliage ;
- Type de four de fusion ;
- Type de sable;

La réalisation d'une pièce coulée (figure 22) à partir d'un alliage liquide versé dans un moule préalablement préparé permet d'obtenir après refroidissement et solidification une pièce de forme souhaitée.

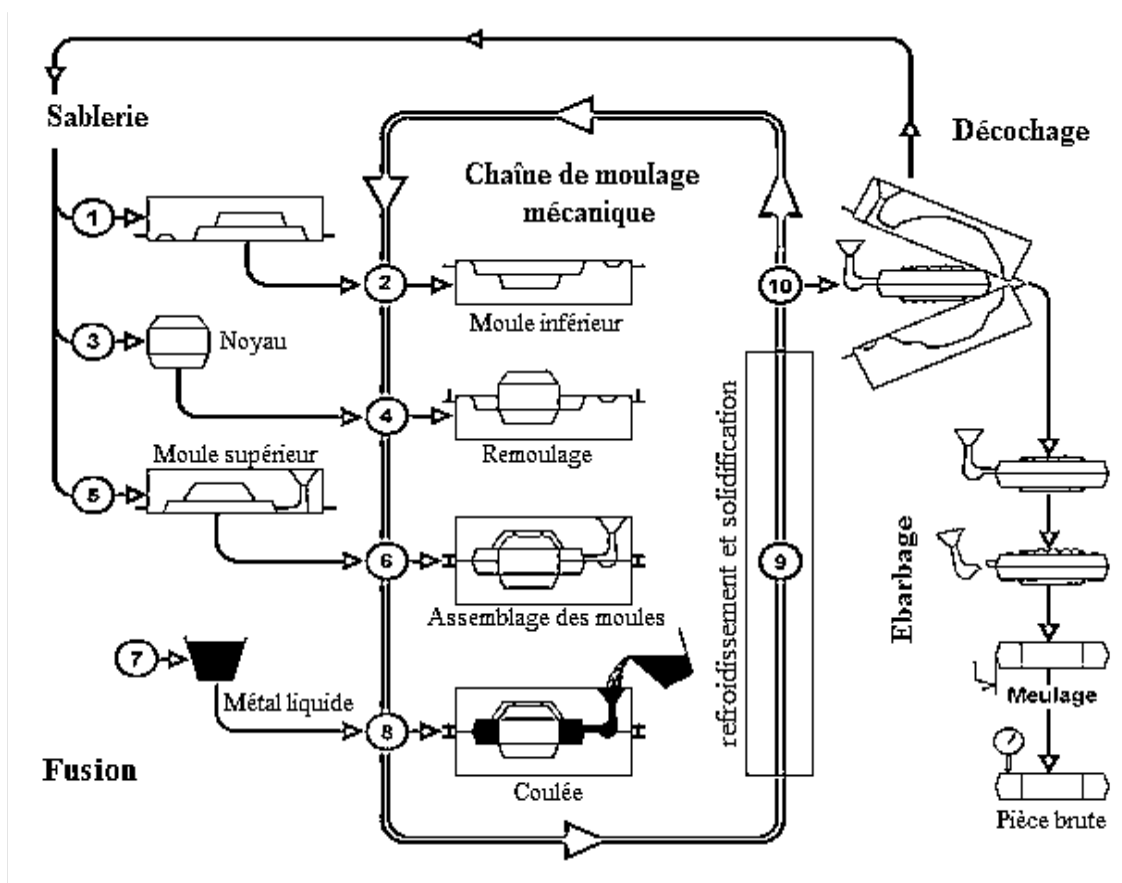


Figure 22 : Etapes de réalisation d'une pièce coulée

## 4.2. Elaboration de la pièce

### 4.2.1. Choix de l'alliage

Les alliages de fonderie permettent d'obtenir par moulage des pièces métalliques faciles à couler saines et présentant des caractéristiques (résistance à la rupture, dureté, limite élastique en particulier) beaucoup plus intéressantes que celles qu'auraient les mêmes pièces exécutées par moulage de métaux purs.

Il est facile de faire varier, dans le sens désiré, leurs caractéristiques en modifiant leurs compositions chimiques.

La fonte est la plus utilisée parmi les autres alliages de fonderie à cause de son bas prix de revient, de sa facilité d'obtention (propriétés technologiques) et de travail à l'outil de coupe.

La pièce finale doit répondre à certaines propriétés :

- Caractéristiques mécaniques ;
- Propriétés thermiques ;
- Résistance au frottement ;
- Bonne propriété de fonderie ;

Le retrait des pièces coulées en alliage de fonderie est en fonction des facteurs suivants :

- Nature de l'alliage ;
- Intervalle de solidification ;
- Forme et complexité de la pièce. ;

Pour la fonte grise, le retrait (figure 23) varie de 0.5 à 1.2%.

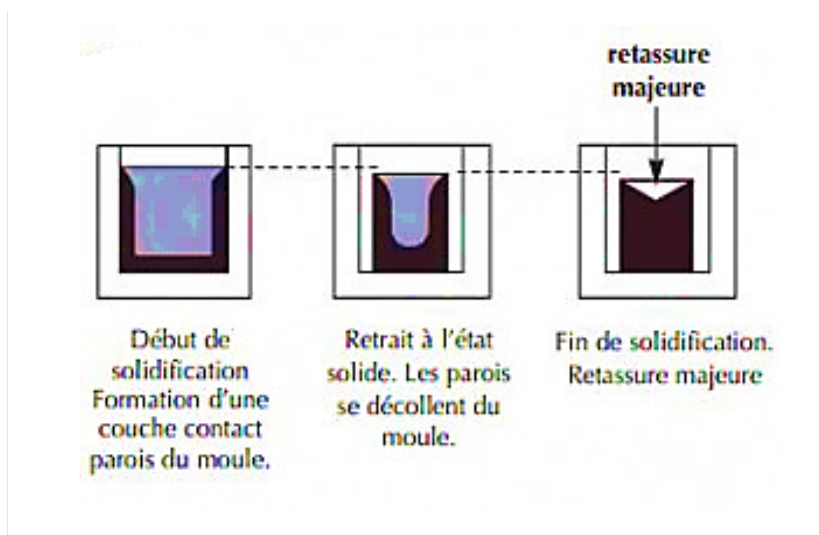


Figure 23 : Retrait du métal.

## 4.2.2. Four de fusion

La fusion de la fonte produite est réalisée dans deux fours à induction (figure V.3) de différentes capacités :

- Four électrique de capacité de 3 Tonnes, de puissance 1100KW et la température maximale du bain peut atteindre 1600°C ;
- Un second four de même nature de capacité de 5 Tonnes et de puissance 1300KW.

Un four de capacité de 20 Tonnes, et de puissance de 500 KW est réservé pour le maintien du métal liquide.

La nature du revêtement des deux fours de fusion est acide ( $\text{SiO}_2$ ).

La préparation des nuances réalisées se fait à partir d'une charge métallique composée de :

- ✓ Fonte hématite : 75% ;
- ✓ Fonte de première fusion : 10% ;
- ✓ Retours : 5% ;
- ✓ Ferraille d'acier : 10%.

La composition chimique des composée de la charge métallique est présentée par le tableau N°01

**Tableau 21:**Composition chimique du lit de fusion.

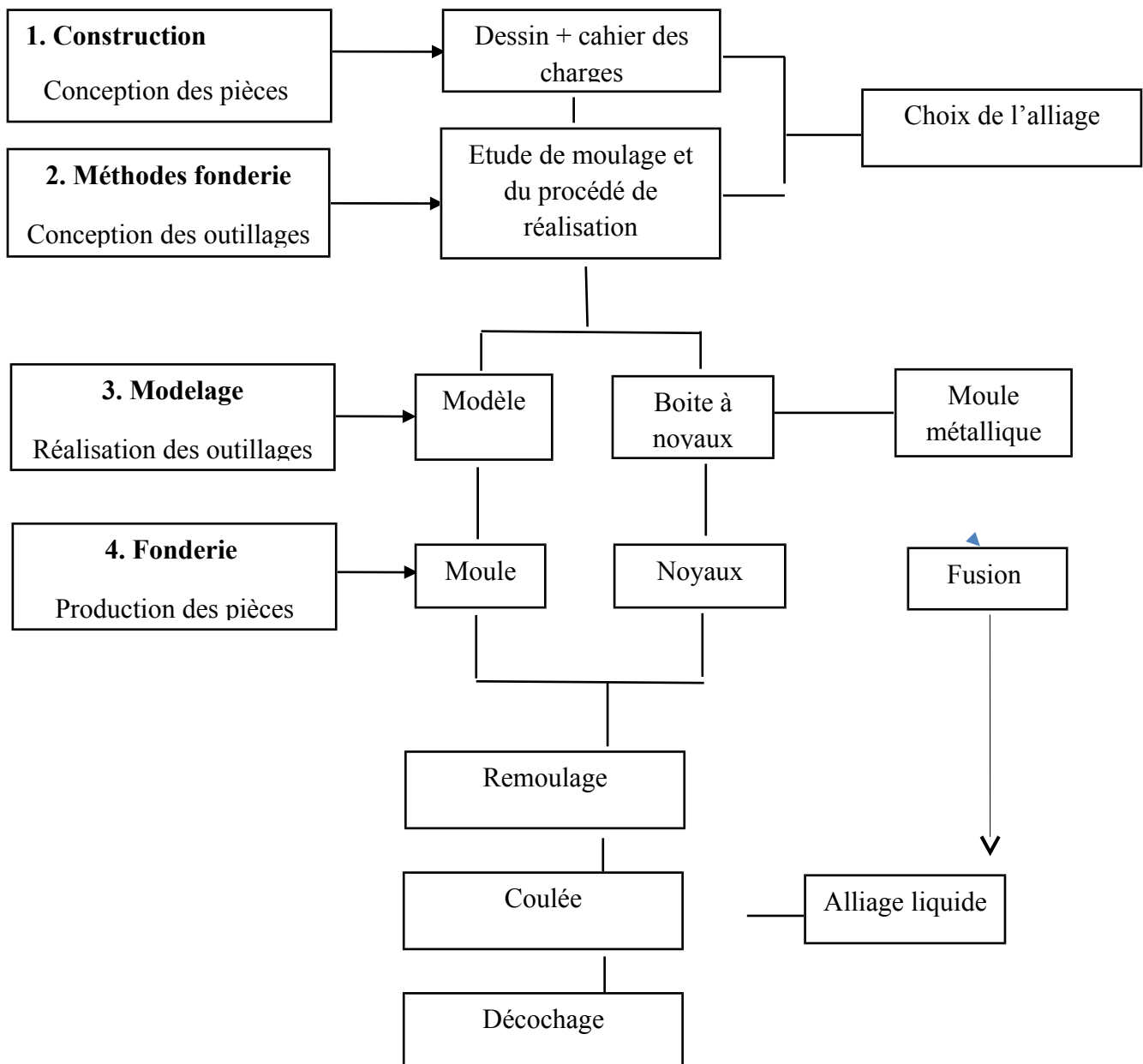
Composition Elément chimique	C%	Si%	Mn%	S%	P%
Fonte hématite	3.8 : 4.0	1.7 : 2.2	0.25 : 0.5	< 0.1	< 0.12
Fonte de première fusion	3.4	1.6	2 à 2.5	< 0.1	< 0.1
Retours	3.14 : 3.5	2 : 2.2	0.5 : 0.65	< 0.1	< 0.1
Ferraille (acier)	0.11	-	0.3	< 0.05	< 0.05

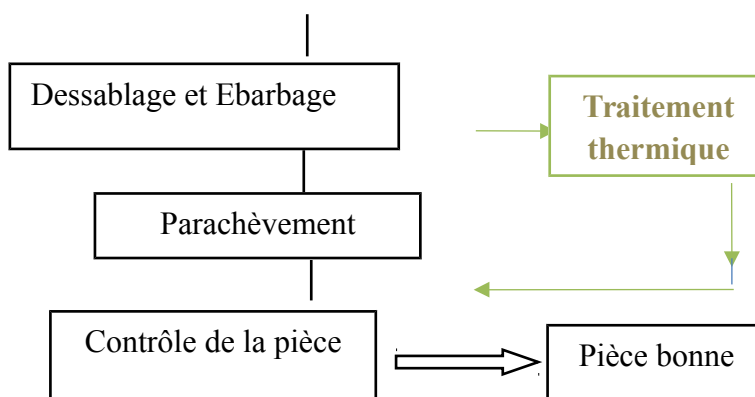


Figure 24 : Four à induction

### 4.3. Schéma générale de fabrication d'une pièce coulée

Quel que soit le procédé de moulage utilisé, le processus général de fabrication est schématisé par la figure 24





**Figure 24.** Schéma général de fabrication d'une pièce coulée

A partir du dessin d'une pièce, tracé correctement par le bureau d'étude du mécanicien-constructeur, un outillage de fonderie est établi par le modelleur. Cet outillage utilisé par le fondeur pour fabriquer un moule, par ailleurs l'empreinte de la pièce est obtenue à partir de l'intermédiaire d'un modèle, soit directement grâce aux éléments constitutifs d'un moule métallique reproduisant la configuration de la pièce, tandis que les formes intérieures de la pièce sont évidemment obtenues au moyen d'un noyau.

Ces noyaux sont fabriqués le plus souvent dans des boîtes à noyaux qui sont en quelque sorte des moules à noyaux.

Le fondeur met place les noyaux dans l'empreinte du moule, puis le moule est rempli avec l'alliage liquide (coulée).

La pièce coulée refroidie est extraite du moule (décochage) puis nettoyée et ébarbée (dessablage, ébarbage).

Parfois la pièce subit un traitement thermique, un écrouissage ou un pré-usinage et un parachèvement. Puis avant d'être livrée, un contrôle d'une façon définitive est réalisé.

#### 4.4. Présentation de la pièce

La pièce est appelée tambour de frein (figure 25). Elle est produite en fonte grise (Ft25 ou GG25). Sa composition chimique est présentée par le tableau 22 :

**Tableau 22 :** Composition chimique de la fonte en étude

Eléments	C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %
Fonte	3.10	1.80	0.69	0.20	0.10

Les spécificités de la pièce sont :

- ❖ Poids de la pièce : 28 Kg ;
- ❖ Epaisseur dominante : 15 mm ;
- ❖ Résistance minimale à la traction : 250 MPa ;
- ❖ Travaillant au frottement.



**Figure 25:** Tambour de frein.

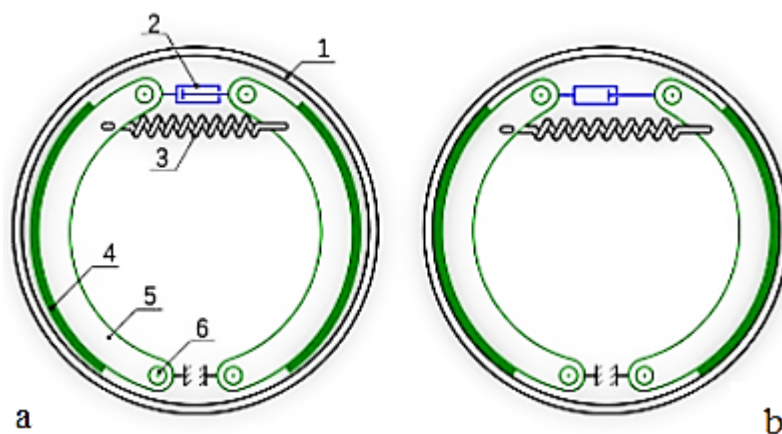
Un tambour de frein (figure 25) ou bien un frein à tambour est un système de freinage constitué d'une cloche (le tambour) à l'intérieur de laquelle se trouvent au moins deux mâchoires munies de garnitures.

Leur fonction est de s'écarter grâce à des cames ou des pistons qui provoquent le frottement de la garniture sur le tambour (figure 27 et figure 28).

Ces cames sont actionnées par une commande mécanique (câble, tirant) et les pistons sont actionnés par une commande hydraulique.

Le frein à tambour comporte :

- Un moyeu ;
- Deux mâchoires de frein venant s'écarter et frotter sur l'intérieur du tambour ;
- Un actionneur : une ou deux cames pour pousser les mâchoires sur le tambour ou par des pistons pour les freins à commande hydraulique ;
- Des ressorts sont chargés de ramener les mâchoires à leur position de repos.

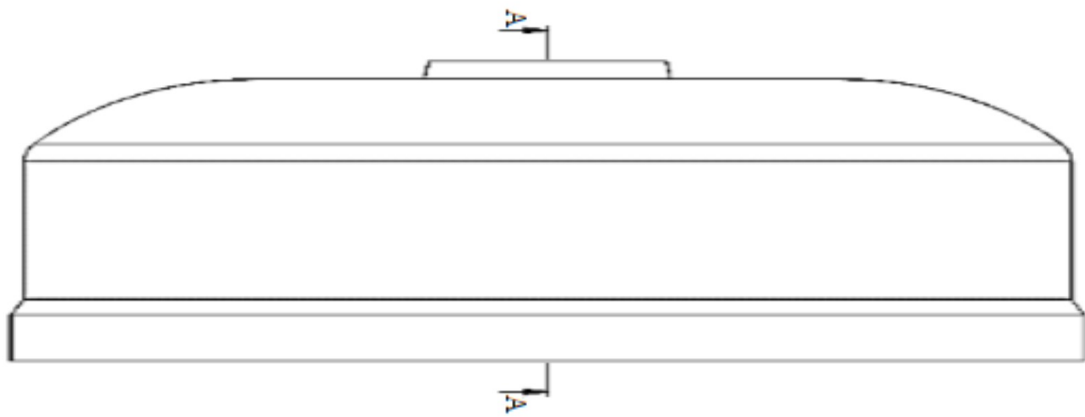


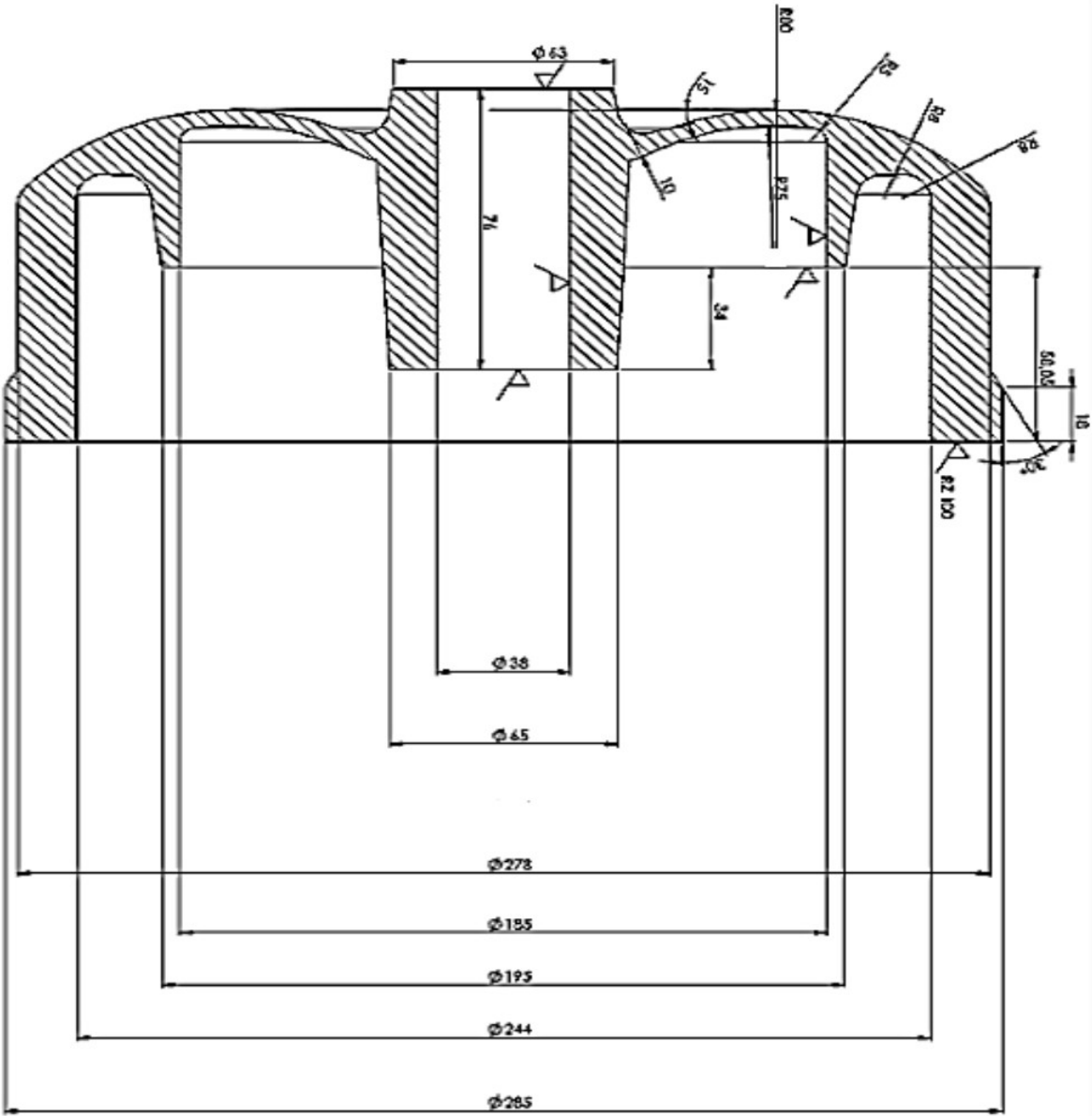
**Figure26:** Principe du frein à tambour intérieur ; a : desserré ; b : serré

1. Tambour ;
2. Piston ;



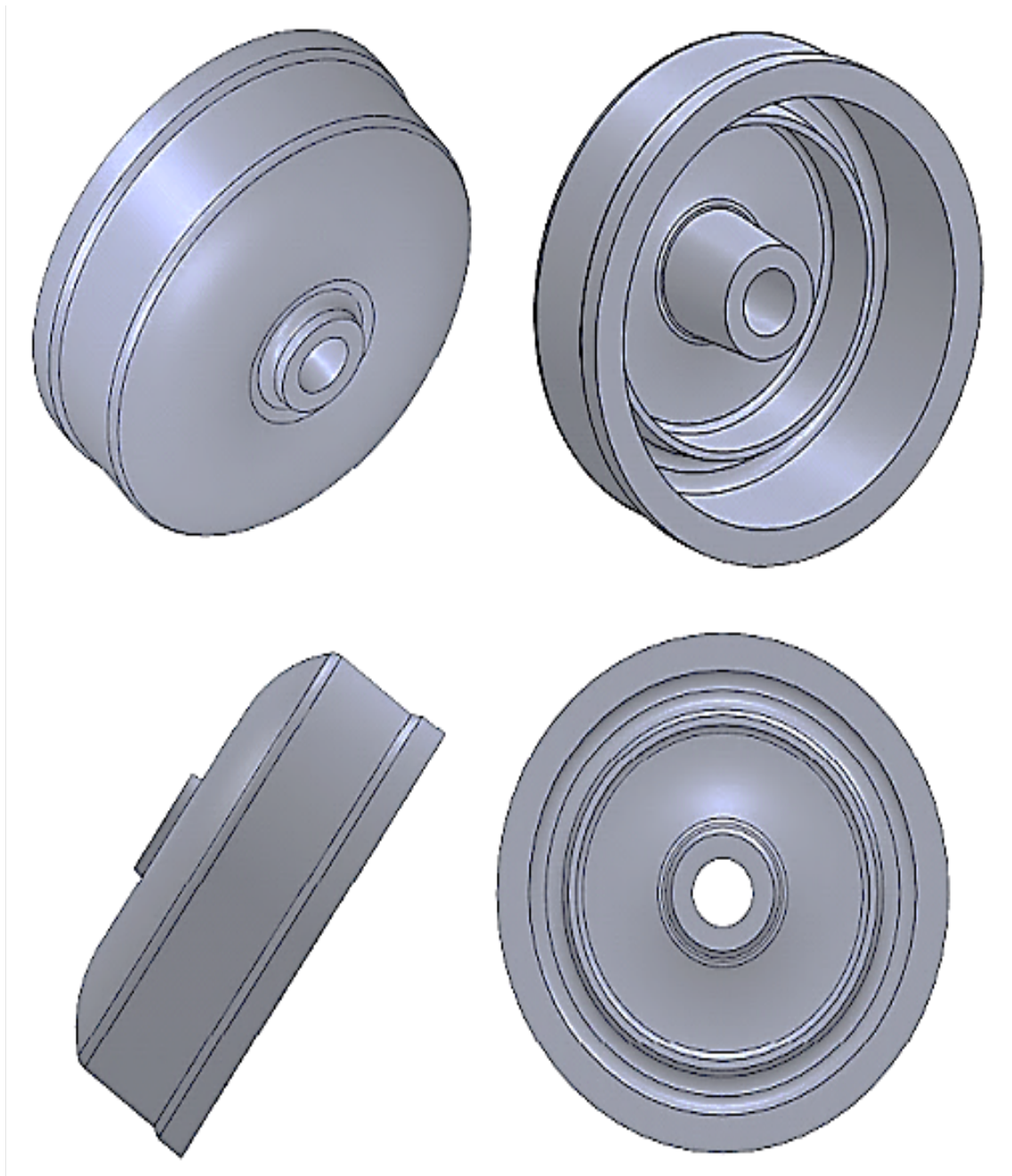
3. Ressort de rappel ;
4. Garniture ;
5. Mâchoire ;
6. Pivot.





Coupe A-A

Figure 27: Dessin technique de la pièce en étude.



**Figure 28:** Tambour de frein en 3D simulé par SOLIDWORKS.

#### **4.5. Procédé technologique de la fabrication de la pièce**

##### 4.5.1. Disposition de la pièce dans le moule

Pendant l'élaboration technologique, il est possible d'avoir plusieurs variantes de disposition de la pièce dans le moule. Pour choisir une meilleure variante, il faut respecter les règles suivantes :

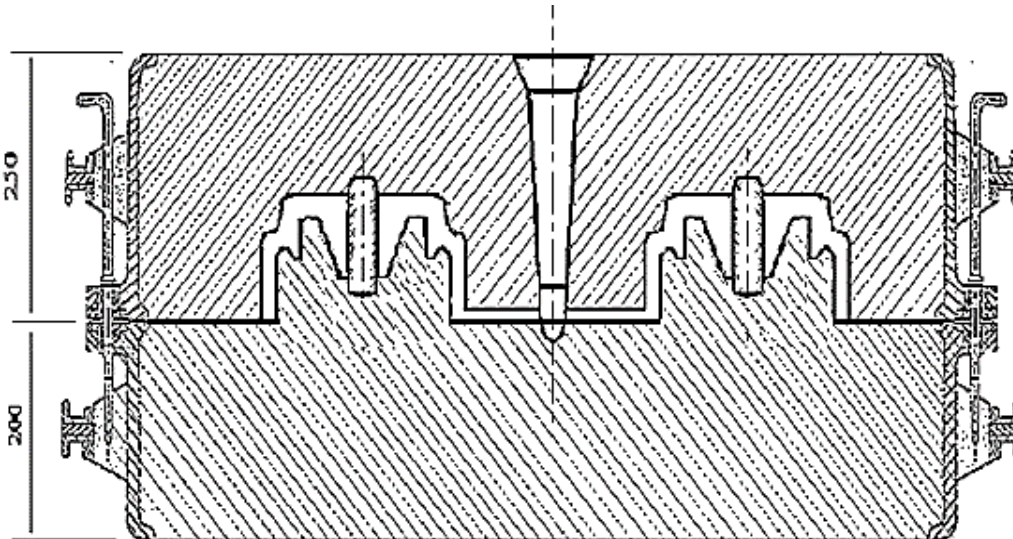
- ❖ Disposer les parties importantes de la pièce dans le châssis inférieur, Les parties usinées de la pièce doivent être disposées en bas du moule, verticalement ou obliquement, pour avoir un bel état de surface ;
- ❖ Il est préférable de couler les pièces très longues à état incliné.

La position horizontale est la plus convenable pour la pièce en étude. Toute la pièce se trouve dans le châssis supérieur à cause des avantages requis (bonne remplissage, bonne tolérance dimensionnelle).

#### 4.5.2. Plan de joint

Pendant le choix du plan de joint de la pièce (figure 29), il est nécessaire de tenir compte des facteurs suivants :

- ✓ Minimum possible de plan de joint doit être;
- ✓ Le plan de joint de préférence doit être horizontal ;
- ✓ Le plan de joint doit assurer un emplacement facile des noyaux et de contrôle de leur position.



**Figure 29:** l'opposition de plan de joint.

#### 4.5.3. Surépaisseur d'usinage

Les surépaisseurs d'usinage (figure 30) sont utilisées pour un usinage ultérieur afin d'assurer la cotation demandée et la qualité de la surface fonctionnelle de la pièce.

Les valeurs des surépaisseurs d'usinage sont déterminées en fonction de :

- Procédé de moulage ;

- Nature de l'alliage à couler ;
- Classe de précision ;
- Dimension de la pièce coulée ;
- Position de la surface usinée.

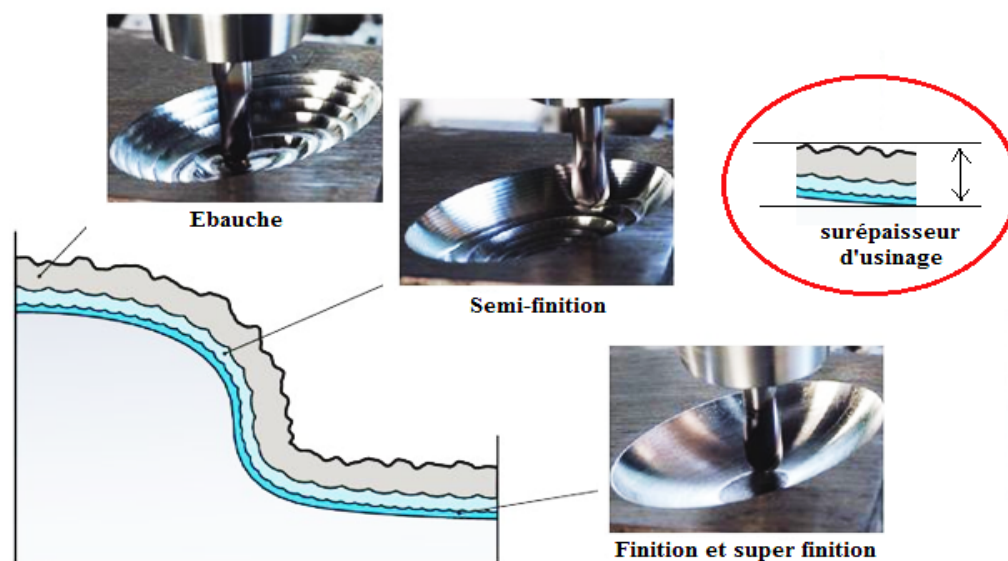
L'usinage est une solution pour obtenir une pièce avec une grande précision dimensionnelle et un bel état de surface. Pour réaliser cette opération, il faut tenir compte d'un excès de matière appelé surépaisseur d'usinage. La surépaisseur d'usinage peut déterminée par :

Surépasseurs = Poids x 10% ;

Pour le tambour de frein, la surépaisseur est :

Surépasseurs = 28 x 10% = 2.8 Kg ;

Donc le poids de la pièce coulée brute est : 28 + 2.8 = 30.8 Kg.



**Figure 30:** élimination de Surépaisseur d'usinage.

#### 4.5.4. Dépouille

La dépouille est l'inclinaison qui est donnée aux parois verticales d'un moulage. Ces parois étant présent dans la position de moulage pour faciliter l'extraction du modèle sans détérioration de l'empreinte. La dépouille permet de diminuer l'importance de l'ébranlage.

#### 4.5.5. Détermination du procédé de moulage

Le procédé de moulage adopté doit assurer :

- Obtention des pièces coulées saines et sans défauts ;
- Obtention d'un indice techno-économique le plus élevé possible.

Pour notre cas, le procédé adopté est le moulage à vert avec une machine à mouler à secousses et pression.

#### 4.5.6. Modelage

Le modelage est l'ensemble des procédés et moyens mis en œuvre pour la réalisation des modèles et des boîtes à noyaux. On désigne sous le nom de modelage, l'atelier où sont exécutés les modèles ou les outillages.

La nature du matériau du modèle et de la plaque modèle sont déterminés en fonction de la série de production. La pièce en étude (tambour de frein) est produite en série, ainsi le modèle et de la plaque modèle (figure 31 et 32) sont fabriqués en alliage d'aluminium. L'alliage d'aluminium choisi (Al-Si), présente les avantages suivants :

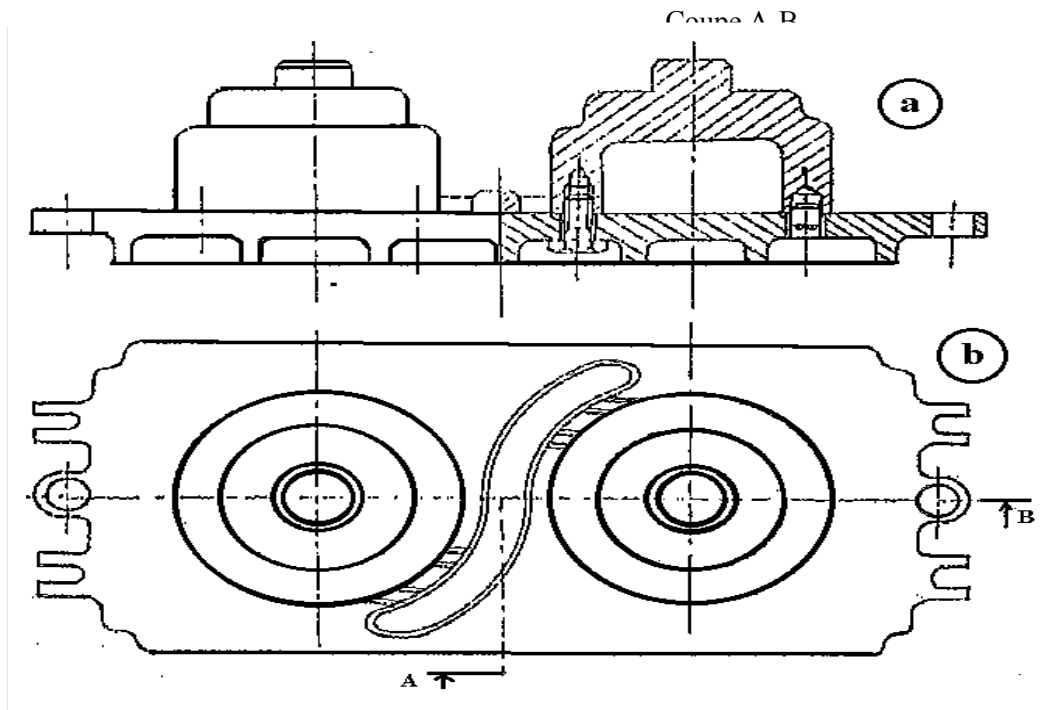
- Légèreté ;
- Résistance mécanique et à la corrosion ;
- Bel état de surface.



**Figure 31:** Plaque modèle supérieure de la pièce coulée.

**Tableau 23 :** Dimensions du châssis et de plaque modèle.

Procédé de moulage adopté	Dimension des châssis	Dimension de la plaque modèle, mm		
		Largeur, La	Longueur, L	Hauteur, H
Moulage à vert	800 x 600	650	830	210



**Figure 32** : Plaque modèle ; a : coupe A-B ; b : vue de dessus

#### 4.5.7. Sable de moulage

Les diverses opérations de fonderie ont pour but d'obtenir des pièces métalliques à partir d'un moule constitué d'un sable de moulage, à l'intérieur duquel est coulé un alliage liquide.

Pour le moulage en sable vert (figure 33), l'empreinte du moule est obtenue soit avec un sable silico-argileux naturel soit avec un sable de moulage synthétique, préparé et dosé à partir des constituants : silice, argile, eau et additions.

Le choix de notre moulage exige l'utilisation du sable unique comme matériaux de moulage dont la composition est présentée par le tableau 24 ainsi que les caractéristiques d'utilisation.

**Tableau 24** : Composition et caractéristiques du sable de moulage utilisé.

Sables	Composition %	Caractéristiques		
		Humidité	Perméabilité	Réfractairité
Moulage à vert	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sable neuf 5%</li> <li>• Sable usé 80%</li> <li>• Bentonite 7%</li> <li>• Charbon 4%</li> <li>• H<sub>2</sub>O 3.5 : 4%</li> </ul>	4.25 : 4.75	170 : 180	1713°C
Croning	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sable neuf 96.60%</li> <li>➤ Résine 1.09%</li> <li>➤ Hexaméthylène 2.25%</li> <li>➤ Calcium 0.03%</li> </ul>	-	-	-



**Figure 33 :** Sable à vert.

La composition du sable de moulage utilisée à ETRAG pour couler cette pièce est relativement insuffisante, ainsi la composition optimale doit être (tableau 25).

**Tableau 25 :** Composition optimale du sable

Sable neuf	Sable usé	Bentonite	Noir minéral	H <sub>2</sub> O
5 : 7 %	75 %	6 : 8 %	3%	5 : 10 %

#### 4.5.8. Noyaux

En fonderie, un noyau est un composant du moule, réalisé en [sable](#) (Figure 34), et permettant de réaliser les évidements intérieurs de la pièce ou des zones en contre-dépouille. Ils doivent être réfractaires, résistants, compressibles et perméables. L'emplacement est assuré par des portées.

Pour notre cas, le noyau utilisé est obtenue à partir du mélange présenté sur le tableau 24.



**Figure 34 :** Noyau utilisé pour la pièce étudiée.

#### 4.5.9. Détermination des châssis



Un châssis (figure 35) est un cadre rigide ou mobile réalisé à partir d'une matière résistante, destiné à réaliser l'empreinte du moule.

Dans notre cas, les châssis utilisés sont en fonte, car ils possèdent la plupart des qualités requises de bonne châssis mais ils sont lourds et assez fragiles. Ils présentent les avantages suivants :

- ✓ Facile à couler ;
- ✓ De fabrication simple et rapide.



**Figure 35 :** Châssis en fonte.

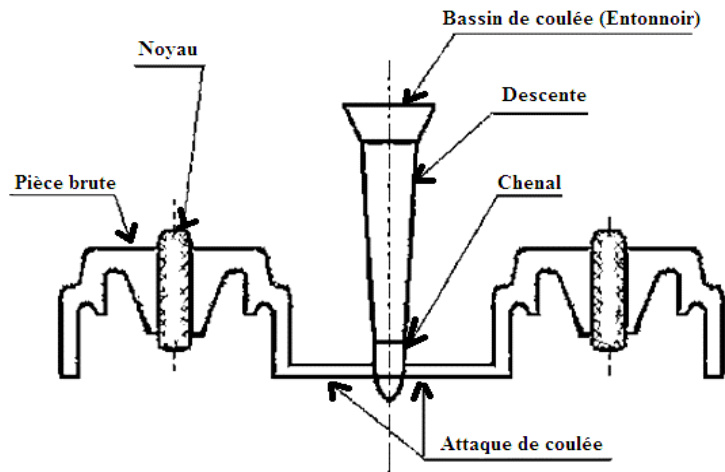
#### 4.6. Eléments et calcul de système de coulée

L'étude de système de coulée (figure 36) fait l'objet de tous les soins voulus dans les ateliers. En effet, de nombreux défauts sont dus à une mauvaise technique de remplissage. D'autre part, la conception et le tracé d'un système de coulée joue un rôle direct sur la masse du retour ainsi que sur les frais de fusion, de moulage et d'ébarbage et par conséquent sur le prix de revient de la pièce coulée. Le système de coulée a pour tâche :

- ❖ Assurer une amenée régulière, continue et calme du métal liquide dans l'empreinte du moule ;
- ❖ Prévoir l'alimentation de la pièce en métal liquide pendant sa solidification et son retrait ;
- ❖ Empêcher la pénétration des scories, du sable et d'autres inclusions non métalliques dans la moule par l'action du jet de métal liquide.

Suivant l'endroit de l'amenée du métal liquide dans la cavité du moule et la construction du système de coulée et d'alimentation, on distingue :

- Coulée horizontale, lorsque le métal provient de l'empreinte suivant un plan horizontal le plus souvent par la surface du joint du moule.
- Coulée verticale, lorsque le métal provient de l'empreinte suivant un plan verticale.

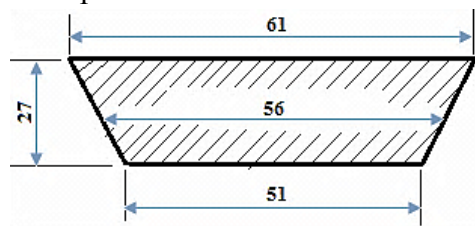


**Figure 36 :** Système de coulée.

Le système de coulée se compose d'un entonnoir de coulée ou bassin de coulée, des attaques, d'une descente et d'un chenal.

#### 4.6.1. Bassin de coulée ou entonnoir

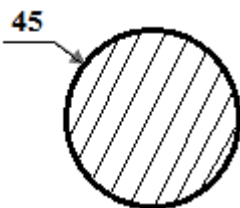
Les bassins de coulée ou entonnoir (figure 37) sont utilisés pour les moules remplis par le bec de la poche lors de la production de moyennes et grosses pièces coulées en fonte et en acier pour réduire le choc à l'entrée du métal dans le moule.



**Figure 37 :** Bassin de coulée (Entonnoir).

#### 4.6.2. Descente

C'est un canal de coulée qui relie le bassin de coulée avec le chenal, (figure 38). Ce dernier donne un remplissage correct de l'empreinte, ce canal peut avoir une forme conique dont le diamètre diminue vers le bas.

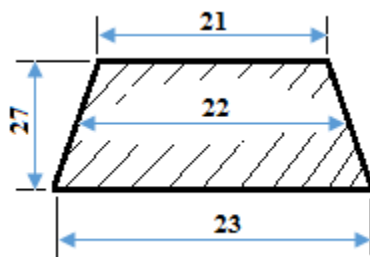


**Figure 38 :** Section de la descente.

## 4.6.3. Chenal

C'est un canal de coulée reliant le jet du métal avec les attaques de coulée (figure 39). Son rôle primordial est de retenir les scories et les autres inclusions non métalliques. De plus le chenal doit :

- Refroidir le moins possible le métal coulé ;
- Résister à la température de l'alliage et à l'érosion du courant liquide ;
- Créer le minimum de perte des charges ;
- Alimenter également toutes les attaques réparties autour de la pièce ;
- Gêner le moins possible le retrait de la pièce.

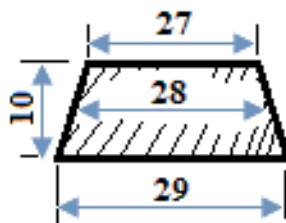


**Figure 39** : Section du chenal.

## 4.6.4. Attaque de coulée

San rôle est d'amener le métal dans l'empreinte du moule (figure 40), et doit satisfaire à un certains nombres de conditions qui sont les suivants :

- Assurer un remplissage complet et correct de l'empreinte ;
- Métal liquide amené dans le moule ne doit pas déplacer les noyaux et détruire les parois du moule ;
- Attaques de coulée doivent permettre un ébarbage facile sans risque de détérioration de la pièce.



**Figure 40** : Section des attaques.

## 4.7. Calcul du système de coulée

La section globale des attaques pour notre pièce est calculée par la formule « dittert »  $< 45$  Kg.

## IV.7.1. Section d'attaque

$$Sa = X \frac{\sqrt{G_{pc}}}{\sqrt{H_m}} \quad 1$$

- Sa : Section d'attaque ;
- Hm : Charge motrice ;
- Gpc : Masse de la pièce coulée (brute) en Kg ;

On a aussi :  $G_{pc} = G_p + G_s$

- X : Coefficient dépend au l'épaisseur de la pièce ;
- Gp : Poids de la pièce usinée (Nette) ;
- Gs : Poids des surépaisseurs d'usinage.

Où :

$$G_s = 2.8$$

$$G_{pc} = G_p + G_s$$

$$G_{pc} = 28 + 2.8 = \mathbf{30.8 \text{ Kg}}$$

#### 4.7.2. Charge motrice Hm

Pour calculer la charge motrice il faut tenir compte les hauteurs de la pièce coulée.

La charge motrice est déterminée par la relation :

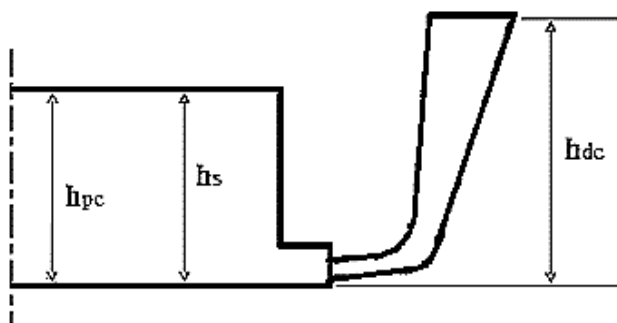
$$H_m = h_{dc} - \frac{h^2 s}{2 h_{pc}}$$

hdc : Hauteur de la descente, hdc = 250 mm ;

hpc : Hauteur de la pièce coulée, hpc = 141 mm ;

hs : Hauteur de demi-pièce exécutée ou demi-moule supérieur, hs = 141 mm.

$$H_m = 250 - \frac{(141)^2}{2 \times 141} = \mathbf{179.5 \text{ mm}}$$



**Figure 41** : Différentes hauteurs de la pièce coulée et du système de coulé

Le tableau 26 permet de déterminer la valeur du coefficient X qui est utilisé pour calculer la section des attaques.

**Tableau 26 :** Coefficients dépendent au l'épaisseur de la pièce.

Epaisseur moyen des parois (mm) Coefficient	2.5 à 3.5	3.5 à 8.0	8.0 à 15
X	5.8	4.9	4.3

On a :  $X = 4.3$  (coefficient dépend au l'épaisseur de la pièce).

la section des attaques est déterminée par la relation :

$$Sa = x \frac{\sqrt{G P c}}{\sqrt{H m}} = 4.3 \frac{\sqrt{30.8}}{\sqrt{17.95}} = 5.6 \text{ cm}^2$$

Considération :

$$Sa' = Sa / n \quad 6$$

$$Sa' = 5.6 / 2 = 2.8 \text{ cm}^2 = 280 \text{ mm}^2$$

Où :

- $Sa'$  : Section d'une seule attaque ;
- $n$  : Nombre des attaques.

Dans chaque moule il y a deux pièces, et pour chaque pièce il faut faire deux attaques, donc il y a quatre attaques dans chaque moule. La section totale des attaques calculée par la formule suivante :

$$\sum_{n=1}^{\infty} Sa = Sa \times np \quad 7$$

$np$  : Nombre des pièces par un moule.

$$\sum_{n=1}^{\infty} Sa = 5.6 \times 2 = 11.2 \text{ cm}^2$$

#### 4.7.3. Calcul de la hauteur d'attaque $H_0$

la hauteur d'attaque est déterminée par la relation :

$$H_0 \leq 2/3 \times \delta \quad 8$$

$\delta$  : Epaisseur dominant.

$$H_0 \leq 2/3 \times 15 = \mathbf{10 \text{ mm}}$$

#### 4.7.4. Calcul de la largeur d'attaque ba

La largeur d'attaque est déterminée par la relation :

$$ba = Sa' / H_0 \cdot 9$$

$$ba = 280 / 10 = \mathbf{28 \text{ mm}}$$

#### 4.7.5. Calcul de la section du chenal Sch

La section du chenal est déterminée par la relation :

$$Sch = i \sum_{n=1}^{\infty} Sa \times 1.06 \quad 10$$

$$Sch = i \cdot 11.2 \times 1.06 = i \sum_{n=1}^{\infty} i \quad \mathbf{12 \text{ cm}^2}$$

$$Sch = 12 / 2 = \mathbf{6 \text{ cm}^2}$$

La largeur du chenal est déterminée par la relation :

$$bch = \sqrt{\frac{Sch}{1.2}} \quad 11$$

$$bch = \sqrt{\frac{6}{1.2}} = 2.23 \text{ cm} = \mathbf{22 \text{ mm}}$$

$$hch = 1.2 \times 2.23 = 2.67 = \mathbf{27 \text{ mm}}$$

bch : Largeur du chenal ;

hch : Hauteur du chenal.

Sch : Section d'une branche du chenal

#### 4.7.6. Calcul de la section de la descente Sdc

La section de la descente est déterminée par la relation :

$$Sdc = \sum_{n=1}^{\infty} Sa \times 1.11 \quad 12$$

$$Sdc = 11.2 \times 1.11 = 12 \text{ cm}^2$$

#### 4.7.7. Diamètres de descente Ddc

Le diamètre de la descente est déterminée par la relation :

$$Ddc_{\text{inf}} = \sqrt{\frac{4 \times Sdc}{\pi}} \quad 13$$

$$Ddc_{\text{inf}} = \sqrt{\frac{4 \times 12}{3.14}} = 3.9 \text{ cm} = 39 \text{ mm}$$

$$Ddc_{\text{sup}} = 39 + 0.05 \times 250 = 51 \text{ mm}$$

#### 4.7.8. Calcul de la section de l'entonnoir

$$D_{\text{inf de l'entonnoir}} = D_{\text{sup de la descente}} = 51 \text{ mm}$$

$$D_{\text{sup de l'entonnoir}} = 1.2 \times D_{\text{inf de l'entonnoir}}$$

$$D_{\text{sup de l'entonnoir}} = 1.2 \times 51 = 61 \text{ mm}$$

#### 4.7.9. Calcul du temps de remplissage du moule $\tau$

On a deux pièces dans chaque moule, donc le temps de remplissage d'un moule est le même que le temps de remplissage de deux pièces.

Pour le calcul du temps de remplissage, il faut déterminer le coefficient K à partir du tableau 27.

**Tableau 27** : Coefficients K dépend au l'épaisseur de la pièce.

Epaisseur moyen des parois (mm) Coefficient	2.3 à 3.5	3.5 à 8.0	8.0 à 15
	K	1.68	1.85

$$G'_{pc} = 2 \times G_{pc}$$

$$G'_{pc} = 2 \times 30.8 = 61.6 \text{ Kg}$$

$G'_{pc}$  : Masse des deux pièces coulée (brute) dans le même moule en Kg.

$$\tau = K \sqrt{G_{pc}}$$

$$\tau = 2.2 \times \sqrt{61.6} = \mathbf{17.26sec}$$



## Conclusion générale

---

### **Conclusion Générale**

Le charbon c'est un adjuvant qui sont ajouté aux sables, de moulage et de afin de leur conférer des propriétés spécifiques autres que celles recherchées telles que la perméabilité et la résistance. Il ce considéré comme des produit indispensable du fait qu'il influe positivement sur la réussite des moulages.

On a une bonne pièce coulée et bons résultats pour les propriétés mécaniques (résistance à la compression et au cisaillement) et aussi pour la perméabilité.

On trouve aussi que pour la composition utilisé au niveau du complexe ETRAG que le % de le charbon est de 6%, c'est pour cela nous recommandons au responsable d'utiliser cette composition avec un pourcentage de 7% de bentonite et 4% d'humidité pour assurer une très grande cohésion du sable.

L'utilisation de une grande quantité de charbon il influé sur la résistance de sable qui en résulte des moules cassés, empreinte de forme change et dans le cas ou le métal est coulé, nous obtenons une pièce avec une forme indésirable et il n'est pas conforme au cahier de charge de la pièce.

## Référence bibliographique

---

### Références bibliographique :

- [1] . Documentation sur l'historique d'ETRAG
- [2] . Introduction sur les matériaux pour moules non permanents. Mohammed Hacini.2016
- [3]. <http://www.euskatfund.com/fr/sable-de-chromite-24-3.html>
- [4]. Les sables à prise chimique – Matières premières et contrôles .Tome Patrick  
BEAUVAIS. 2011
- [5] . <http://www.groupe.polymtl.ca/g1q1100/Sables/zircon/zircon.html>
- [6]. <http://souspression.canalblog.com/archives/2011/09/07/21929497.html>
- [7]. Mise en forme des métaux et fonderie – Techniques de moulage des métaux –  
[www.techniques-ingenieur.fr](http://www.techniques-ingenieur.fr)
- [8]. Manuel des sables à vert, de la mise au vert au recyclage. Patrick Beauvais, Patrick  
Bouvet, Alain Colbaut, Christian Gabon et BNIF.ETIF 2006
- [9]. Documentation sur la sablerie d'ETRAG.
- [10]. Travaux de laboratoire de fonderie « ETRAG » Constantine.
- [11]. Cours élémentaire de fonderie TOME 8 – H.COSTE
- [12] . Analyse de charge de l'atelier de fusion « ETRAG » Constantine 03/02/2020.

