République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Dr. YAHIA FARES de Médéa



Faculté de Technologie
Département du Génie de la Matière
Filière Génie Mécanique
Option : Ingénierie des Matériaux et des Surfaces.

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master (LMD)

THEME :

Etude de comparaison entre la nouvelle et l'ancienne sablerie Poval Berrouaghia.

Présenté par :

- **Gasmi karim**
- **Mazouz hocine**

Proposé et Dirigé par :

Mr. El Mohri Abdennour

Année universitaire 2019/2020

Remerciements

Tout d'abord, nous sommes très reconnaissants à notre Dieu
de nous avoir guidés pour une fin réussie de notre travail.
Rien de tout cela n'aurait été possible sans son aide notre Dieu
merci pour l'occasion
Dans le cadre de la réalisation de ce mémoire,
un certain nombre de personnes ont contribué de façon ou d'autre
nous tenons à les reconnaître :
Nous tenons a exprimer nous profonde gratitude
et nos remerciements à notre promoteur Mr .MOHRI ABDENNOUR
prof au département de génie civil pour le sujet qu' il nous a proposé
et nous a dirigé ainsi que pour sa disponibilité
et pour tous les moyens mis a notre disposition pour l'élaboration de ce mémoire.
La plupart de ce projet n'aurait pas été réalisé sans son aide et ses conseils
Nous voudrons adresser nos sincères remerciements
à tous les professeurs du département de génie Mécanique
Nous tenons aussi à remercier
les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce travail.
Enfin, nous tenons a remercier
nos familles et nos amis pour leurs soutiens et leurs encouragements.

.

Dédicaces

À mes très chers parents,

Vos sacrifices, vos intrépides endurances à façonner positivement mon avenir m'ont marqué à jamais, En guise de reconnaissance et de gratitude, je vous offre ce modeste travail en priant Dieu de vous prêtez longue vie et de vous procurez bonne santé.

À mes sœurs et mon frère,

Que ce travail soit pour vous un témoignage de mon attachement et de ma profonde affection.

À toute ma famille,

À mes professeurs et à tous ceux que j'aime et qui m'ont soutenu tout au long de mon cursus

KARIM

Dédicaces

À mes très chers parents,

Vos sacrifices, vos intrépides endurances à façonner positivement mon avenir m'ont marqué à jamais, En guise de reconnaissance et de gratitude, je vous offre ce modeste travail en priant Dieu de vous prêtez longue vie et de vous procurez bonne santé.

À mes sœurs et mes frère,

Que ce travail soit pour vous un témoignage de mon attachement et de ma profonde affection.

À toute ma famille,

À mes professeurs et à tous ceux que j'aime et qui m'ont soutenu tout au long de mon cursus

HOCINE

Résume

L’étude que nous avons réalisée dans ce travail sur sable de moulage dans la fonderie(sablerie) Berrouaghia, les pièces moulées sont produites par coulée de métal en fusion dans un moule réfractaire constitué principalement de sable, d'argile et d'eau. Lorsque le métal est suffisamment refroidi le moule qui l'entoure est détruit et le sable est recyclé envie d'une réutilisation. Cependant, du fait de la température à laquelle il a été porté, il a perdu une partie de ses propriétés agglutinantes, indispensables à la tenue des moules et doit passer dans un poste de préparation pour subir un traitement de régénération. Le traitement consiste en ajouts d'eau et d'argile et noir minéral et en un malaxage destiné à homogénéiser le matériau de moulage ainsi reconstitué.

On constate actuellement l'existence d'un taux de rebuts variant d'une part, dans le temps et d'autre ·part, en fonction de la nature des pièces, qui représenté 5 à 15 % de la production globale pour la nouvelle sablerie et 30 à 50 % pour l'ancienne sablerie.

l'influence du sable sur la qualité des pièces produites, une étude systématique des rebuts montre que le sable est la cause de plus de 50 % de la totalité des rebuts Au cours du stage, nous allons examiner ensemble les éléments constituants le sable en circuit.

ملخص

الدراسة التي أجريناها في هذا العمل على صب الرمل في مسبك البرواقية (أعمال الرمل) ، يتم إنتاج المسبوكات عن طريق صب المعدن المنصهر في قالب حراري يتكون أساسًا من الرمل والطين والماء. عندما يتم تبريد المعدن بشكل كافٍ ، يتم تدمير القالب المحيط به وإعادة تدوير الرمل لإعادة استخدامه. ومع ذلك ، وبسبب درجة الحرارة التي تم إحضارها إليها ، فقد فقدت بعض خصائص التراص ، والتي تعتبر ضرورية لعقد القوالب ويجب أن تمر عبر محطة تحضير للخضوع لمعالجة التجديد. تتكون المعالجة من إضافة الماء والطين والأسود المعدني والخلط الذي يهدف إلى تجانس مادة التشكيل وبالتالي إعادة تشكيلها.

يمكننا حاليًا ملاحظة وجود معدل خردة متفاوت من ناحية ، بمرور الوقت و • من ناحية أخرى ، اعتمادًا على طبيعة الأجزاء ، والتي تمثل 5 إلى 15٪ من إجمالي الإنتاج لمصنع الرمل الجديد. و 30 إلى 50٪ لمصنع الرمل القديم.

تأثير الرمل على جودة الأجزاء المنتجة ، دراسة منهجية للمرفوضات تبين أن الرمال هي سبب أكثر من 50٪ من جميع الرفض خلال الدورة ، سوف نفحص معًا العناصر المكونة للرمل في الدائرة .

abstract

The study we carried out in this work on casting sand in the Berrouaghia foundry (sandworks), the castings are produced by pouring molten metal into a refractory mold consisting mainly of sand, clay and water. When the metal is sufficiently cooled the mold that surrounds it is destroyed and the sand is recycled for reuse. However, because of the temperature to which it has been brought, it has lost some of its agglutinating properties, which are essential for the holding of the molds and must pass through a preparation station to undergo a regeneration treatment. The treatment consists of adding water and clay and mineral black and mixing intended to homogenize the molding material thus reconstituted.

We can currently observe the existence of a scrap rate varying on the one hand, over time and • on the other hand, depending on the nature of the parts, which represents 5 to 15% of the overall production for the new sand plant. and 30 to 50% for the old sand factory.

the influence of sand on the quality of the parts produced, a systematic study of the rejects shows that the sand is the cause of more than 50% of all the rejects During the course, we will examine together the elements constituting the sand in circuit .

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I		
FIGURE	**TITRE**	**PAGE**
Figure I.1	Moulage en sable à vert	**05**
Figure .I.2	Machine Moulage et noyautage	**06**
Figure .I.3	Les résines Alphaset	**10**
Figure .I.4	Les résines alkydes	**12**
Figure .I.5	Le sable au ciment	**14**
Figure .I.6	la réalisation de grosses pièces	**15**
Figure .I.7	Le procédé croning ou sable carapace	**18**
Figure .I.8	Noyau creux	**19**
Figure .I.9	les graphes montrent quelques granulométries en fonderie Française	**25**
figure III.1	Circuit de production de sable moulage	67
figure III.2	processus de moulage en sablerie	68

listes des tableau

Tableau I.1. Séries usuelles de tamis 38

Tableau I.2. Exemple de calcul d'indice de finesse.....39

Tableau I.3. Propriétés des sables de fonderie liés avec différents types d'argiles.....45

Tableau II.1. Composition chimique.....51

Tableau II.2. Analyse granulométrie d'un sable humide.....55

Tableau II.3.tamis 56

Tableau II.4.perte au feu.....57

Tableau II.5.tableau des essai de mélange 1.....58

Tableau II.6. tableau des essai de mélange 2.....59

Tableau III.1 d'analyse du sable journalier du Sablerie de Berrouaghia.....61

Tableau III.2 Norme internationale pour sable de moulage.....62

Tableau III.3 d'analyse du sable journalier du Sablerie de Berrouaghia .Période du 03/02/2020 AU09/02/2020.....63

Tableau III. 4 pièces rebut par défaut.....65

Tableau III. 5 pièces rebut par défaut.....66

sommaire

introduction générale.....11

CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE 15

1.1 **Technique de moulage :** 16

1.1.1 **Les différents procédés de moulage en sable :** 16

1.1.2 **Moulage en sable silico-argileux à vert :** 16

1.1.3 **Un peu d'histoire :** 16

1.1.4 **Les limites du moulage en sable à vert :** 16

1.1.5 **Les techniques de mise en œuvre du moulage en sable à vert :** 17

1.1.6 **Les machines à mouler :** 18

1.1.7 **.Moulage et noyautage à prise chimique à froid :** 18

1.1.8 **Les moules et modèles utilisés :** 19

1.1.9 **Les techniques de moulage en polystyrène expansé :** 20

1.1.10 **Le procédé « boîte froide » (polyuréthanne par gazage) :** 28

1.1.11 **Le procédé phénolate alcalin-ester (Betaset) :** 29

1.1.12 **Le procédé silicate-CO2 :** 29

1.1.13 **Procédés de moulage et de noyautage thermodurcissables :** 30

1.2 **Type de sable de moulage :** 32

1.2.1 **.sable de fonderie utilisés :** 32

1.3 **Les propriétés du sable** 34

1.3.1 **Propriétés chimiques :** 34

1.3.2 **Propriétés physiques :** 35

1.3.3 **Mouillage par le métal liquide :** 36

1.4 **Méthodes de contrôle de sable:** 36

1.4.1 **Analyse granulométrique :** 36

1.4.2 **Contrôles des composites chimiques :** 40

1.4.3 **Propriétés fondamentales :** 42

1.4.4 **Différents types d'argiles :** 43

1.5 **Silice colloïdale et silicates solubles :** 46

1.5.1 **Silice colloïdale :** 46

1.5.2 **Silicates solubles :** 46

Chapitre II : Préparation du sable de moulage 47

2.1 **Introduction :** 48

2.2 **Analyse complète du sable** 48

2.2.1 **.Mode opératoire :** 48

2.2.2 **Analyse chimique :** 49

2.2.3 **Méthode d'analyse de la CASTINE CaCO3** 50

2.3 **Sable moulage utilise:** 51

2.3.1 **sable siliceux :** 51

2.3.2 **Composition chimique & minéralogique :** 51

2.3.3 **Méthodes de contrôle :** 52

2.3.4 **Analyse granulométrique:** 52

A. **Grosseur moyenne de grain :** 52

2.3.5 **Les moulage à vert :** 54

2.4 **Préparation du sable à la fonderie de Berrouaghia :** 54

2.4.1 **Analyse granulométrie :** 54

2.4.2 **Sédimentation :** 57

2.4.3 **Teneur en eau d'un produit pulvérulent :** 59

Chapitre III :comparaison entre la nouvelle et l'anciennesablerie 60

3.1 Suivi de compagne et comparaison entre la nouvelle et l'ancienne sablerie de poval berrouaghia : 61

3.1Suivi de compagne et comparaison entre la nouvelle et l'ancienne sablerie..... 59

3.2Introduction 59

3. 3 Suivi de préparation du sable de moulage..... 59

3.4 Contrôle qualité des compagnes sur l'ancienne et nouvelle sablerie..... 62

3.4.1 Contrôle une compagne sur l'ancienne sablerie..... 63

3.4.2 Contrôle une compagne sur la nouvelle sablerie..... 64

conclusion..... 66

conclusion générale..... 67

Introduction générale

Introduction générale :

Le terme fonderie définit aussi bien les installations métallurgiques dans lesquelles on fond les métaux et où on les coule dans des moules pour leur donner la forme des objets à fabriquer, que l'ensemble des opérations nécessaires à leur production.

C'est, tout à la fois, un art et un métier dont les origines remontent à plusieurs millénaires avant notre ère, utilisant et mettant en œuvre des techniques aussi diverses que variées, comme le moulage, le noyautage, la métallurgie, la fusion et la coulée des métaux et alliages métalliques, les traitements thermiques, la finition, le parachèvement des pièces, etc.

La description du processus technique de fabrication d'un moule de sable présentée ici s'inscrit à l'intérieur d'une méthode d'analyse ayant pour but de cerner la notion même de la technologie. Cette technologie peut être définie comme étant une technique d'exécution d'un travail mise en relation avec le contexte socio-économique dans lequel elle se déroule Comme, on le sait la sablerie est une partie importante de la fonderie là où on manutentionne le plus grand tonnage (5tonnes de sable pour une tonne de pièce). Ainsi, l'utilisation du sable, nécessite une étude très approfondie de sa technologie.

Notre mémoire est reparti en trois chapitres comme suit :

- Etude bibliographique.
- Préparation de sable de moulage en fonderie POVAL berrouaghia.
- Comparaison entre la nouvelle et l'ancienne sablerie.
- conclusion générale.

CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Technique de moulage :

1.1.1 Les différents procédés de moulage en sable :

Il existe différents procédés de moulage en sable des pièces en acier (ou en fonte) : le moulage en sable à vert, le moulage à prise chimique à froid et le moulage à prise chimique à chaud. Ces différents procédés de moulage en sable ont chacun leurs avantages et limitations respectifs.

1.1.2 Moulage en sable silico-argileux à vert :

Le moulage en sable silico-argileux est l'un des procédés les plus courants. Il reste le plus économique du fait de la simplicité de la régénération du sable. De nos jours, l'agglomérant utilisé pour la confection du moule est une argile, de type bentonite le plus souvent.

Cette argile, ajoutée avec de l'eau au sable siliceux, confère au moule une plasticité suffisante pour conserver l'empreinte de la pièce après l'extraction du modèle (opération de démoulage).

La teneur en argile d'un sable silico-argileux pour pièces mécaniques en acier est assez variable et est fonction de leur massivité. On peut toutefois retenir à titre indicatif des taux de l'ordre de 5 à 10 % d'argile active.

Les sables de fonderie sont caractérisés par un indice de finesse AFS (American Foundry Society). Ceux utilisés en fonderie d'acier ont un indice compris entre 40 et 80 AFS environ. [1]

1.1.3 Un peu d'histoire :

L'expression « à vert » vient du fait qu'il y a plusieurs décennies, les moules réalisés avec ce type de sable étaient souvent étuvés pour augmenter leurs caractéristiques de résistance et de rigidité.

On distinguait donc les sables non étuvés (« à vert ») des sables étuvés. Aujourd'hui, l'évolution des produits de moulage et de leurs techniques de serrage a fortement contribué à la quasi disparition des sables étuvés, en tout cas pour les pièces mécaniques. [2]

1.1.4 Les limites du moulage en sable à vert :

Toutefois, le procédé de moulage en sable silico-argileux à vert ne peut pas s'appliquer aux pièces massives et de grandes dimensions.

En effet quelles que soient les pressions de serrage la résistance de ce matériau à la pression ferrostatique et aux efforts dynamiques de l'acier lors de la coulée est limitée.

1.1.5 Les techniques de mise en œuvre du moulage en sable à vert :



Figure I.1 .Moulage en sable à vert

Il existe deux techniques de moulage en sable silico-argileux à vert : le moulage serré manuellement, appelé « moulage main » et le moulage serré mécaniquement, appelé « moulage machine » ou « moulage mécanisé ».

Ce procédé de moulage main, parmi les plus anciens, est destiné à la fabrication de pièces dites « unitaires » ou de quelques pièces répétitives, jusqu'à 2 tonnes environ.

Le serrage du sable pour la confection des différentes parties du moule s'effectue manuellement à l'aide des outils habituels du mouleur main (fouloir, pilette, batte, fouloir pneumatique…).

Pour les pièces de série, quelle que soitt leur importance, on recourt à l'emploi de machines à mouler de conceptions très diverses, qui sont intégrées dans des installations (ou chantiers) semi-automatiques ou le plus souvent automatiques.

1.1.6 Les machines à mouler :

On distingue selon la pression de serrage, les machines à mouler basse pression et celles à moyenne et haute pression. Les machines à mouler basse pression sont basées sur des principes combinés de serrage par secousses-pression ou vibrations-pression.

Elles permettent l'utilisation de modèles en bois fixés sur une plaque-modèle. De par la nature de l'outillage, cette méthode est économique et donc bien adaptée aux petites et moyennes séries. Les machines à mouler à moyenne et haute pressions, avec lesquelles le serrage intense du sable, obtenu par pression hydraulique, soufflage, détente d'air comprimé ou impact par explosion, augmente la rigidité du moule.

On obtient alors une amélioration de la précision dimensionnelle et géométrique des pièces ainsi moulées et de leur compacité.

Cette technologie est en principe réservée à la production de pièces en moyennes et grandes séries. Elle nécessite d'employer des modèles beaucoup plus résistants (en bois stratifiés ou bakélisés, en résines époxydes ou polyuréthanes, en métal…).

1.1.7 .Moulage et noyautage à prise chimique à froid :



Figure .I.2. Machine Moulage et noyautage

Dans ces procédés de moulage et de noyautage par prise chimique à froid, plus récents que le moulage en sable à vert, le moule le plus souvent en sable siliceux est aggloméré par des liants organiques ou minéraux qui durcissent à la température ambiante, en présence d'agents de prise (catalyseur, durcisseur liquide, accélérateur de prise…) préalablement additionnés au sable.

La confection de leurs mélanges s'effectue, selon les quantités de sable nécessaires, dans des malaxeurs continus ou discontinus. Le sable ainsi préparé n'a aucune cohésion au moment de sa mise en œuvre.

Dans certains cas particuliers (aciers au manganèse par exemple) et le plus souvent en application locale seulement (sable au contact du modèle ou des boîtes à noyaux), le sable siliceux est remplacé par un sable présentant des caractéristiques physiques mieux appropriées (réfractait, conductivité thermique…). Parmi les sables de contact les plus employés, on trouve les sables de chromite, de zircon, de chamotte, à l'olivine.

De nombreux procédés autodurcissants existent : les résines phénoliques, les résines polyuréthannes (Pep Set, Pentex, …), les phénolates alcalin-ester (Alphaset, …), les résines furaniques, les résines alkydes ou le silicate de soude-ester.

Procédés autodurcissants	Exemples
Procédés **à liant organique**	Phénoliques, polyuréthannes, alkydes, phénolate alcalin ester (avec une partie minérale), furanniques.
Procédés **à liant minéral**	Silicate-ester, ciment…

Tableau .I.1.procédés autodurcissants de moulage en sable

1.1.8 Les moules et modèles utilisés :

La rigidité des moules obtenue après prise a un effet bénéfique non seulement sur la précision dimensionnelle et géométrique et sur la compacité des pièces coulées, mais encore sur leur aspect de surface.

La possibilité de régler le temps de prise du sable, fonction de sa durée de vie, de quelques minutes à quelques heures suivant les procédés

Offre un très grand intérêt pour la fabrication de moules et de noyaux destinés au moulage de pièces de quelques kilogrammes à plusieurs dizaines, voire centaines de tonnes.

Ceci explique que ces procédés sont très répandus dans toutes les fonderies d'acier produisant des pièces diverses. Ils sont le plus souvent mis en œuvre manuellement ou à partir

d'installations semi-mécanisées (malaxeur asservi à un carrousel par exemple) pour les pièces moins massives.

Les modèles utilisés dans ces procédés sont soit permanents, soit perdus. La construction d'un outillage classique (modèle ou boîtes à noyaux en bois ou en résine − modèle permanent) pour la fabrication de pièces à l'unité ou de quelques pièces répétitives,

On utilise alors des modèles usinés dans des blocs ou des panneaux de polystyrène expansé, assemblés et collés (modèle non permanent ou perdu). C'est une solution économique qui a l'avantage de s'affranchir de la réalisation des noyaux et de leurs boîtes respectives.

En contrepartie, la précision dimensionnelle et l'état de surface sont conditionnés à l'outillage.

1.1.9 Les techniques de moulage en polystyrène expansé :

Trois techniques de moulage sont possibles avec ce genre d'outillage en polystyrène expansé. Tout d'abord, le modèle est conservé dans le moule au moment de la coulée et le métal prend progressivement sa place en sublimant le polystyrène au fur et à mesure. dans certains cas, le modèle est détruit avant coulée.

Enfin, dans une troisième technique, le modèle est démoulé pour une réutilisation ultérieure, lorsque sa forme le permet (il est alors conçu en polystyrène expansé, mais de densité plus élevée ce qui facilite l'opération de démoulage ainsi que les diverses manutentions).

En fonderie d'acier, ce sont ces deux dernières techniques qui, pour des raisons métallurgiques (recarburation superficielle des pièces dans le premier cas), sont le plus

Les résines phénoliques :

Les résines phénoliques sont des résines auto durcissant du type résolu. Elles reçoivent toujours un silane et peuvent être modifiées par de l'urée ou de l'alcool furfurylique. Leur prise est assurée par l'emploi de catalyseurs acides tels que les acides paratoluène-sulfonique, xylène ou benzène sulfonique, parfois « dopés » par l'acide sulfurique ou des acides phénol-sulfoniques. Les propriétés des résines phénoliques donnent au procédé ses caractéristiques spécifiques.

Il a tout d'abord l'inconvénient d'être sensible aux variations de température la température a en effet une incidence aussi importante dans le mécanisme de prise que le catalyseur lui-même. Ensuite, les sables préparés avec ces résines présentent dans l'ensemble des caractéristiques mécaniques, notamment en flexion, plus faibles que celles obtenues par exemple avec des résines furanniques. Comparativement aux résines furanniques)

le décochage des moules et le débourrage des noyaux sont en général plus difficiles. De nos jours, en raison de leur moindre coût, ces résines sont surtout utilisées en petites et moyennes séries pour le moulage des pièces moyennes ou grosses.

1.1.9.1 Les résines polyuréthannes (Pep Set, Pentex) :

Le procédé met en œuvre, en plus d'un sable réfractaire, trois composants : une résine phénolique liquide (de faible viscosité), un durcisseur polyisocyanate à base de MDI (diphényl méthane disocyanate) et enfin un dérivé de la pyridine sous forme liquide, qui agit en tant que catalyseur.

La réaction chimique entre la résine phénolique et l'isocyanate crée une liaison uréthanne sans formation de sous-produits.

Lors de la préparation du mélange, il est possible de jouer sur le rapport résine phénolique/iso cyanate (60/40) de manière à diminuer la teneur finale en azote du sable prêt à l'emploi.

Ce procédé permet, selon la formulation, d'obtenir une large gamme de temps de prise (de 30 s à 3 h). Il est employé pour la réalisation de pièces de taille moyenne à petite.

Il convient tant aux petites qu'aux grandes séries.

C'est encore aujourd'hui un des procédés à prise chimique qui permet d'assurer les cadences de production les plus élevées. Il convient à toutes les nuances d'acier.

Ce procédé est connu commercialement sous différentes dénominations : Pep Set, Pentex, Sigmaset, Novathane…

1.1.9.2 Les résines phénolate alcalin-ester (Alphaset):

Avec le procédé phénolate alcalin-ester, le système liant est ici composé d'une résine phénolique alcaline et d'un ester organique. L'hydrolyse de l'ester génère un acide qui permet la réticulation de la résine.



Figure .I.3. Les résines Alphaset

Les sous-produits formés sont alors un sel d'acide et un alcool. Avec ce procédé la réticulation n'est pas complète et elle se poursuit dans le temps.

Il présente de très bonnes propriétés de démoulage et de déboîtage car le sable ainsi préparé offre une certaine plasticité. Son temps de prise est très variable.

Il peut évoluer de quelques minutes à une heure ou davantage, en fonction des produits utilisés et de leur taux d'incorporation dans le sable.

Les caractéristiques du sable aussitôt après prise sont relativement faibles, surtout en valeur de résistance à la flexion pour les noyaux.

En contrepartie, ce procédé présente une très bonne aptitude au débourrage et au décochage des moules.

De par l'absence de solvant volatil, de soufre et d'azote, et le fait qu'il permet de réaliser des pièces exemptes de criques et de gerces, ce procédé est utilisé pour la fabrication de pièces en acier, notamment à bas carbone, en petites et moyennes séries. Ce procédé est connu commercialement sous le nom d'Alphaset ou de Novaset.

1.1.9.3 Les résines furaniques :

Les résines furaniques se présentent sous différentes formulations, mais toutes sont à base d'un polycondensat d'alcool furfurylique, et la plupart contiennent du phénol, du formol et de l'urée.

Leur prise repose sur la spécificité qu'ont ces résines de durcir assez rapidement à la température ambiante, en présence d'un catalyseur acide (minéral ou organique).

Les résines furaniques ont pour avantages une assez grande souplesse d'emploi et une vaste gamme de compositions, donc de propriétés.

Elles permettent de réaliser, en petites et moyennes séries, des moules et des noyaux adaptés à chaque type de fabrication. on note toutefois une certaine restriction lorsqu'elles contiennent de l'urée.

Ce composant améliore les propriétés de décochage et de débourrage du sable et atténue la sensibilité aux criques des pièces.

Mais comme en contrepartie il se décompose à la coulée en libérant de l'azote, l'utilisation de ce procédé de moulage et de noyautage reste limitée en fonderie d'acier. En effet, l'apport d'azote peut être la source de défauts gazeux pour un grand nombre de nuances d'acier (où la solubilité de l'azote à l'état solide est faible), – de modifications de structure (et donc de propriétés) pour certains aciers fortement alliés où l'azote est hautement soluble.

Dans ce cas, on aura recours à l'emploi de résines furaniques « sans azote »

1.1.9.4 Les résines alkydes

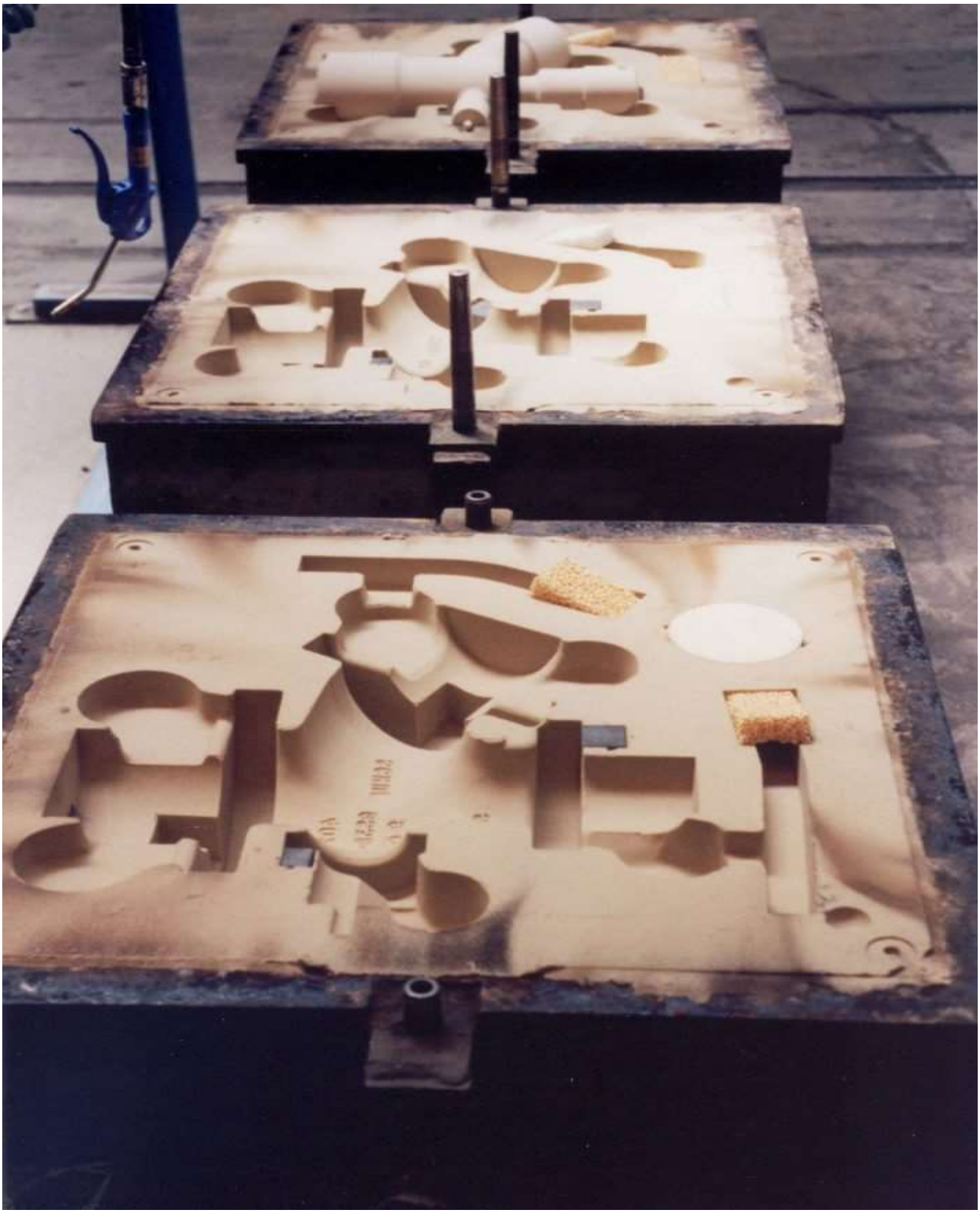


Figure .I.4. Les résines alkydes

Les résines utilisées dans ce procédé forment un système à trois composants : une résine alkyde (polyester d'acides gras), un polyisocyanate (MDI, avec ses oligomères en solution dans des solvants organiques) et enfin un catalyseur (phénylpropylpyridine en solution dans des solvants aromatiques).

Ce procédé est très sensible aux variations de température, notamment à celle du sable. Le temps de prise, selon les réglages, peut osciller de quelques dizaines de minutes à 10-12 heures.

La résistance pyroscopique du sable, par rapport aux autres procédés autodurcissants, est relativement faible.

Elle peut être améliorée par adjonction d'oxyde de fer (2 à 3 %). Ce procédé, caractérisé par une prise en deux étapes, offre des propriétés de démoulage bien supérieures (phase de plasticité) à celles rencontrées avec les autres systèmes liants.

De plus, la prise s'effectue en milieu alcalin, ce qui signifie que l'on peut utiliser des sables moins purs du point de vue alcalinité, tels que le sable de mer, voire le sable d'olivine.

Les résines sont surtout utilisées en fonderie d'acier pour la fabrication, en petites séries ou unitaires, de moules et de noyaux complexes et/ou de grande taille.

Ce procédé offre de bonnes propriétés de débourrage et de peaux de pièces. Il est peu sensible aux défauts de crique et de gerce.

En contrepartie, il présente un coût matières plus élevé par exemple que celui des résines furanniques.

Il est difficilement recyclable et pose des problèmes de mise en décharge du fait que son système liant contient des métaux lourds.

1.1.9.5 Le silicate de soude-ester :

La prise du sable silicate-ester s'effectue en deux étapes. L'hydrolyse de l'ester (les esters habituellement utilisés sont des acétates de polyols) provoque tout d'abord la chute du pH du mélange puis la chute du pH du mélange entraîne une gélification du silicate.

Avec le silicate de soude-ester, la prise du sable est donc progressive les temps de prise varient selon les formules de 30 minutes à 3 heures et demeurent comparables à ceux des autres procédés auto durcissant

. En revanche, les caractéristiques mécaniques obtenues sont plus faibles, en particulier en flexion.

Comme pour la plupart des liants minéraux, l'aptitude au décochage des moules et au débourrage des noyaux n'est pas très bonne. Cette propriété peut cependant être améliorée par ajout de produits d'addition : sucre, brai, mélasse, oxyde de fer…

La sensibilité aux impuretés du sable, aux alcalins en particulier, est faible puisque la prise s'opère en milieu basique.

Ce procédé est donc compatible avec tous les sables : siliceux, de chromite, de zircon et même d'olivine.

Ce procédé est surtout employé en fonderie d'acier pour le moulage et le noyautage de pièces moyennes ou massives, fabriquées en petites et moyennes séries, y compris pour des pièces en nuances inoxydables et au manganèse.

1.1.9.6 Le sable au ciment :

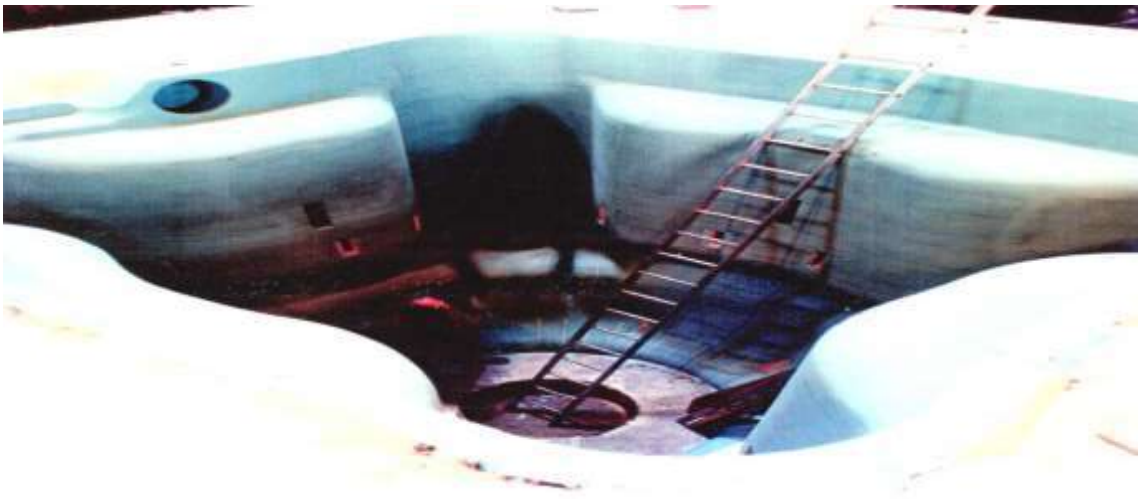


Figure .I.5. Le sable au ciment

Avec le sable au ciment, le mécanisme de prise repose sur deux phénomènes : une hydratation des constituants anhydres instables (chaux, sulfates, alcali) d'un ciment portland artificiel (CPA 325 ou CPA 400) et une cristallisation.

Les principaux avantages de ce procédé sont un liant peu coûteux, une mise en œuvre facile, l'obtention d'un moule rigide et d'une bonne précision dimensionnelle pour les pièces.

On peut faire appel à tous les sables habituellement employés en fonderie ainsi qu'à des accélérateurs de prise, car la lenteur de prise du sable constitue le principal inconvénient de ce procédé.

En effet, la prise nécessite quelques jours et le durcissement peut se prolonger dans le temps sur plusieurs mois.



Figure .I.6.la réalisation de grosses pièces

En pratique les moules présentent des caractéristiques suffisantes au bout de 3 à 4 jours il faut alors parfaire la prise et éliminer l'eau résiduelle par un étuvage, ou un séchage avec circulation d'air chaud au travers de l'empreinte, pour les moules plus massifs.

Les autres inconvénients sont liés aux difficultés de décochage et de débourrage rencontrées.

Ce procédé trouve son application en fonderie d'acier pour la réalisation de grosses pièces, en très petites séries ou en séries unitaires, moulées par exemple au trousseau et/ou en fosse.

1.1.9.7 Les procédés à prise par gazage :

Avec ces procédés (polyurethanne par gazage, Isoset, Betaset, …), le durcissement du sable, qui contient un liant alcalin (silicate de soude par exemple), ou le plus souvent un liant organique (résine), est obtenu presque instantanément par injection dans le mélange, d'un catalyseur et/ou d'un accélérateur sous forme gazeuse.

Les procédés à prise par gazage permettent une rotation très rapide des outillages et de ce fait sont davantage destinés à la production de moules et de noyaux, en moyennes et grandes séries, mais dont l'importance volumique reste limitée.

De par les cadences élevées qu'ils autorisent, ils sont davantage destinés à des productions sur machines (en noyautage par exemple, sur des machines à souffler ou à tirer les noyaux).

Toutefois, ils peuvent être employés en moulage, et pour certains en noyautage main.

1.1.10 Le procédé « boîte froide » (polyuréthanne par gazage) :

Ce procédé à prise par gazage, appelé « procédé Ashland » à l'origine, est très proche du procédé autodurcissant polyuréthanne.

Le mélange préparé se compose de sable (silice, chromite, zircon ou olivine), d'une résine liquide phénolique et d'un polyisocyanate liquide. Une fois mis en place dans l'outillage, il est catalysé par une amine tertiaire sous forme vapeur qui conduit, après réaction, à la formation d'un polyuréthanne.

Le polyuréthanne par gazage permet l'obtention de pièces moulées présentant un excellent état de surface et une bonne précision dimensionnelle.

L'aptitude au débourrage des noyaux est très bonne. En fonderie d'acier, on ajoute souvent au sable de l'oxyde de fer pour réduire les risques de défauts de type gerces et piqûres.

Son domaine d'emploi concerne les moules et les noyaux en toutes séries et pour des pièces pouvant atteindre plus de 100 kg. C'est le procédé le plus utilisé en noyautage dans l'industrie.

On connaît également ce procédé sous différents dénominations comme Isocure, Gashartz ou encore Sigmacure.

1.1.10.1 Le procédé Isoset :

Ce procédé est aussi connu sous les qualificatifs « à résine insaturée » ou « à radicaux libres » (FRC pour Free Radical Curing).

Il s'agit de résines contenant des double-liaisons : résines polyester-acrylique, polyester-uréthanne.

Elles sont utilisées avec un initiateur, un péroxyde organique, et un activateur (catalyseur), l'anhydride sulfureux SO_2, généralement véhiculé par un gaz neutre, CO_2 ou N_2. La prise s'effectue en quelques secondes.

Le procédé Isoset admet des sables légèrement alcalins, voire l'olivine. Le sable préparé présente une bonne aptitude au serrage et au débourrage, ainsi que de bonnes propriétés mécaniques après durcissement.

Il ne contient pas d'azote, donc n'entraîne aucun problème de piqûres sur les pièces. De plus, il est peu ou pas sensible à la crique.

1.1.11 Le procédé phénolate alcalin-ester (Betaset) :

Ce procédé phénolate alcalin-ester est la transposition, à la prise rapide par gazage, du procédé autodurcissant Alphaset décrit précédemment.

La résine est de même nature, phénolique modifiée, mais plus réactive.

Au lieu d'être utilisée sous forme liquide, l'ester est ici mis en œuvre sous forme gazeuse. Son domaine d'emploi est la réalisation de moules et noyaux, en toutes séries, pour pièces en acier de toutes nuances.

Les avantages et les inconvénients de ce procédé sont sensiblement les mêmes que ceux de la version autodurcissante.

Il offre l'avantage d'abaisser les risques d'apparition de gerces et de criques sur les pièces moulées.

Il n'est pas sensible à la reprise d'humidité. Il offre une bonne aptitude au déboîtage des noyaux et au débourrage des pièces.

Parmi les inconvénients, on peut citer les problèmes de déformation de noyaux, l'encrassement des boîtes et l'attaque de certains revêtements sur les outillages, tels que les vinyles et dérivés (vernis).

Il est plus communément connu sous le nom de « Bétaset ».

1.1.12 Le procédé silicate-CO2 :

Dans ce procédé silicate-CO2, c'est le silicate de soude de module (SiO2/Na2O) égal à 2,4 et contenant 44 % de matières sèches qui est le plus généralement employé car il constitue le meilleur compromis avantages/inconvénients.

Le durcissement (par « gélification » du silicate) se produit sous l'insufflation de gaz carbonique. La faible acidité de ce dernier provoque la neutralisation de la soude du silicate et la formation d'un acide polysilicique stable.

Certains adjuvants (farine de bois, sucre, mélasse…) peuvent être introduits au mélange pour améliorer ses propriétés de débourrage. Avec ce procédé silicate-CO2, certaines précautions doivent être prises lors de l'utilisation d'outillages en bois ou en aluminium : ils doivent présenter des surfaces lisses, propres et convenablement protégées (vernis, peinture…).

Il s'adresse à des fabrications de moules et de noyaux d'encombrement limité (pour des raisons de facilité de gazage), pour des petites, moyennes et grandes séries.

Il convient à toutes les métallurgies L'un de ses avantages est son faible coût de revient (matières, préparation, mise en décharge).

Ses principaux inconvénients sont sa mauvaise aptitude au débourrage, et des problèmes liés à la reprise d'humidité et à l'effritement. Parmi les procédés à prise par gazage existant aujourd'hui dans l'industrie, il est sans aucun doute le plus ancien.

La liste des procédés à prise par gazage que nous venons de décrire n'est pas exhaustive. on aurait pu aussi citer des procédés beaucoup plus récents ou moins répandus en fonderie, tels que les procédés phénolate alcalins-CO2 (Ecolotec, Novanol…), Hardox.

1.1.13 Procédés de moulage et de noyautage thermodurcissables :

La prise avec ces procédés qui mettent en œuvre des résines thermodurcissables a lieu : soit par étuvage, soit au contact d'un outillage chauffé (cas le plus fréquent).

Ces procédés (Croning, boîtes chaudes et tièdes…) sont aussi dits « de précision » car ils permettent d'obtenir sur pièce un très bel état de surface et une très bonne précision dimensionnelle.

Cependant, ils nécessitent de recourir à des outillages métalliques coûteux, usinés à partir d'ébauches. Ils sont par conséquent réservés aux productions en grandes séries.

1.1.13.1 Le procédé croning ou sable carapace :



Figure .I.7. Le procédé croning ou sable carapace

Le procédé Croning ou carapace-sable (« shellmoulding » en anglais) est un procédé à prise thermique.

Le principe de ce procédé de moulage et noyautage est le suivant. on met en place tout d'abord, par simple gravité ou par soufflage, un sable pré-enrobé d'une résine phénolique solide thermoplastique (novo laque), additionnée d'un agent de réticulation.

Ensuite, au contact d'un outillage métallique chauffé entre 200 à 300°C, le mélange durcit par polymérisation et permet la formation d'une carapace (on parle aussi de « masque ») ou d'un noyau creux, parfois plein.



Figure .I.8. Noyau creux

Enfin, le sable excédentaire, qui n'a pas été sollicité thermiquement, est récupéré pour réemploi, le plus souvent par retournement de l'outillage. Le temps de « cuisson » − de quelques secondes à 2 minutes − est fonction de l'épaisseur de paroi nécessaire.

En plus du bel aspect et de la très bonne précision dimensionnelle obtenus sur les pièces, ce procédé offre l'avantage d'une excellente aptitude au stockage, au débourrage et au décochage des moules et des noyaux.

Il est plutôt réservé à la fabrication en grandes séries de pièces de petites à moyennes dimensions, liées à la limite d'encombrement des installations.

Citons pour mémoire, parmi les variantes de ce procédé, le « Vacustract », qui consiste à placer les carapaces dans un container et à leur appliquer une légère dépression au moment de la coulée.

1.1.13.2 Le procédé « boite chaude » :

Le procédé « boîte chaude » ne s'applique qu'à la fabrication de noyaux. Ces derniers sont tirés ou soufflés sur des machines à noyauter, dans un outillage métallique chauffé à une température inférieure à celle du procédé

Corning. La prise thermique du sable s'effectue au contact de la boîte, dont la température se situe entre 220 et 280°C.

Il existe de nombreuses combinaisons de résines de base, constituant le liant. Mais seules les résines phénoliques (aciers à bas carbone) et les résines phénol-formol-alcool furfurylique , qui ne contiennent pas d'azote, conviennent aux aciers .La nature du catalyseur utilisé (à base d'acide borique, sulfonique ou sulfurique…) dépend du système liant retenu.

Certains adjuvants, comme l'oxyde de fer (amagnétique rouge « hématite » Fe2O3 ou magnétique noir « magnétite » Fe3O4) peuvent être incorporés au sable pour en améliorer les propriétés, et notamment éviter l'apparition de piqûres et de défauts d'abreuvage sur les pièces.

La nécessité d'utiliser dans ce procédé un outillage métallique implique la fabrication de pièces de série. En conséquence, les noyaux sont le plus souvent remmoulés dans des moules en sable silico-argileux à vert, serrés sur des machines à mouler, et destinés à la production de pièces dont le poids varie de quelques kilogrammes à plus de 100 kg. Globalement c'est un procédé fiable, de mise en œuvre facile, donnant des pièces de haut niveau de qualité. [3]

Il connaît cependant des limites : d'ordre économique (évolution du coût des matières premières et de l'énergie) et d'ordre environnemental et d'hygiène et sécurité (conditions de travail aux postes de noyautage).

Il est destiné à des noyaux de petites et moyennes dimensions.

1.2 Type de sable de moulage :

de nombreux sables de base sort désormais disponibles. Si in silice, de loin la plus utilisée, est d'origine naturelle, d'autres sont des produits plus ou moins artificiels qui, en raison de leur coût, sont réservés à des emplois spéciaux.

1.2.1 .sable de fonderie utilisés :

- **la silice**, de formule SiO_2, et plus spécialement sa variété allotropique, le quartz α, est extrêmement répandue à travers le monde dans les bassins d'origine sédimentaire.

Les principaux gisements Algérie (chalef , Mostaganem , Djelfa)

Utilisés à l'origine à l'état brut, les sables de silice sont désormais la plupart du temps traités par lavage, classification granulométrique, séchage, afin de répondre à des spécifications précises. Dans ces conditions, la pureté des sables peut atteindre 99,8 %.

Cependant la silice, sujette à des transformations allotropiques et à des réactions avec certains alliages, n'est pas d'un emploi général d'autres matériaux lui sont parfois préférés.

- **La chromite** : est le mélange d'oxydes de fer et de chrome FeO, Cr_2O_3 contenant au minimum 50 % de Cr_2O_3. Les gisements principaux sont localisés en Afrique du Sud. Les sables de chromite sont obtenus après des traitements complexes de broyage, de lavage et de classification granulométrique.

- **L'olivine** est le mélange de silicates de fer et de magnésium SiO_4Mg_2 et SiO_4Fe_2. Les principaux gisements sont en Norvège. Ces sables sont également obtenus par des traitements de broyage et de classification.

- **Lezircon** est le silicate de zirconium Zr SiO_4, présent à faible dose (1 à 2 %) dans les sables de plage d'Australie et de Floride. Les besoins mondiaux annuels sont d'environ 600 000 tonnes.

- **Les silico-alumineux**, de formule générale n Al_2O_3, m SiO_2, résultent de la calcination à haute température de produits naturels qui sont des argiles réfractaires et du kaolin, ou sont entièrement synthétisés à partir de silice et d'alumine.

Les produits calcinés sont ultérieurement broyés et classés.

Suivant la nature des produits de base, on distingue :

- **les charmottes**, issues d'argiles réfractaires plus ou moins pures, dont la teneur en alumine est en général supérieure à 40 % ; une qualité obtenue à partir de kaolin très pur est connue sous la dénomination commerciale de Molochite ;

- **les mullites etsillimanites :**

Obtenues par synthèse, qui contiennent respectivement 72 et 63 % d'alumine.

- **Dimension et forme des grains :**

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

- **La répartition granulométrique :**

C'est la répartition massique des grains suivant leur dimension .

Déterminée par les méthodes décrites dans la suite de cet article 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 pour centrage 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, subi angulaires, angulaires ou composées (figure 2), 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 cm/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. [5]

1.3 Les propriétés du sable

1.3.1 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 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 °C.
- au manganèse.
- au carbone des fontes et des aciers provoquant la décarburation superficielle des moulages.

1.3.2 Propriétés physiques :

Les sables de base aptes à la fonderie sont caractérisés par des propriétés physiques à froid et à chaud. [6]

1.3.2.1 Propriétés physiques à froid :

La masse volumique absolue p_a peut varier de 2,5 à 5 g/cm^3 suivant les matériaux disponibles.

Les sables de base ont une masse volumique en vrac p_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 :

$$c = \frac{P_v}{P_a} \times 100$$

- la porosité p, qui est le pourcentage de vide dans la masse compactée, soit :

1.3.2.2 Propriétés physiques à chaud :

- **Réfractarité :**

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 réfractarité (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.

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 αen quartz ß 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

- **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

1.3.3 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.

1.4 Méthodes de contrôle de sable:

1.4.1 Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique d'un sable comporte deux opérations distinctes:

- le dosage des colloïdes, par convention définis comme toutes particules de diamètre inférieur à 20 µm.

- la répartition granulométrique, effectuée par le tamisage de la fraction de particules de diamètre supérieur à 20 µm.

1.4.1.1 Dosage des matière suspension :

il s'effectue par sédimentation et application de la loi de Stokes .d'après cette loi, de diamètre 20 µm et de masse volumique 2650 kg/m^3 présente une vitesse de chute de 2,5 cm/min dans de l'eau à 20 °C.

Les colloïdes, préalablement dispersés par un traitement en présence e les colloïdes, préalablement dispersé par un traitement en présence de pyrophosphate de soude, sont éliminés soit par siphonage, soit par lévigation.

La différence entre la masse initiale du sable de base et sa masse après la séparation représente la masse des grains de diamètre inférieur à 20 µm.

1.4.1.2 .Répartition granulométrique :

elle est effectuée par un tamisage sur une série de tamis de diamètre d'ouverture de mailles décroissant.

La série française (NF X 11-50l) n'est pratiquement pas utilisée en fonderie. Seules, les séries américaines (ASTM E 1170) et, dans une certaine mesure, allemande (DIN 1171) sont d'un usage courant.

Les tamis les plus utilisés pris dans ces séries figurent dans le tableau 2.

L'utilisation de la série ASTM permet, en outre, le calcul de l'indice de finesse. Ce calcul consiste à multiplier le refus sur un tamis par le numéro du tamis précédent, à totaliser les différents produits obtenus et à diviser le total par la masse de l'échantillon tamisé.

Exemple: le tableau 3 donne un exemple de la répartition granulométrique d'un sable de base qui permet le calcul de son indice de finesse F:

$$F = \frac{5.761}{99.7} = 57.8$$

La réparation des grains suivant la loi du hasard, si l'on trace une courbe en portant en abscisses les numéros des tamis et en ordonnées le pourcentage des refus sur chaque tamis, on obtient une courbe de gauss

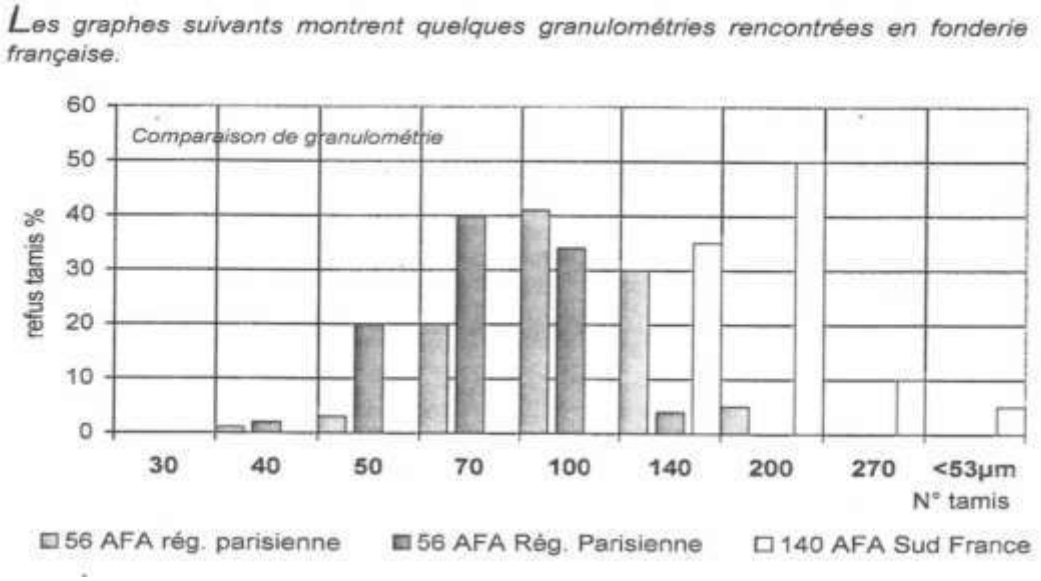


Figure .I.9.les graphes montrent quelques granulométries en fonderie Française

Série ASTM (1)		Série DIN (2)	
Numéro de tamis N	**Diamètre d'ouverture de maille d**	**Numéro de tamis N**	**Diamètre d'ouverture de maille d**
6	3.360	2	3.000
12	1.680	4	1.500
20	0.840	6	1.000
30	0.590	10	0.600
40	0.420	16	0.400
50	0.297	20	0.300
70	0.210	30	0.200
100	0.149	40	0.150
140	0.105	60	0.100
200	0.074	80	0.075
270	0.053	100	0.060

Tableau .I.1. Séries usuelles de tamis

Numéro de tamis N	**Refus %**	**Coefficient multiplicateur**	**Produit**
6	0	3	0
12	0	5	0
20	0.1	10	1
30	0.3	20	6
40	2.9	30	87
50	17.0	40	680
70	39.5	50	1975
100	34.0	70	2380
140	5.4	100	540
200	0.3	140	42
270	0.1	200	20
Fond	0.1	300	30
Total	**99.7**		**5761**

Tableau .I.2. Exemple de calcul d'indice de finesse

Cet indice correspond à un numéro de tamis fictif qui, pris dans la série ASTM, retiendrait 50 % du sable considéré.

En outre, l'indice de finesse est représentatif de la surface spécifique théorique d'un sable si l'on suppose les grains parfaitement sphériques. On démontre, en particulier, que pour les sables siliceux, la surface spécifique théorique exprimée en cm^2/g est égale à deux fois l'indice de finesse.

Cependant, l'indice de finesse ne rend pas compte de la répartition granulométrique

1.4.2 Contrôles des composites chimiques :

- **Teneur en eau :**

le dosage de l'eau est important pour certains procédés d'agglomération qui exigent des sables de siccité complète il s'effectue par séchage à l'étuve à 105 °C jusqu'à une masse constante.

Des méthodes plus rapides, mais moins précises, font appel à des séchages par air chaud, par infrarouge ou par microondes.

Signalons également l'emploi de la bombe Speedy : le sable humide, préalablement pesé, est placé dans une bombe avec un excès de carbure de calcium ; la pression d'acétylène créé est proportionnelle à la quantité d'eau.

- **Masse volumique absolue :**

[6] elle se mesure par la méthode du pycnomètre.

- **Teneur en colloïdes et en matières organiques :**

Un échantillon de sable est dispersé dans une solution de pyrophosphate de soude. Après floculation par un acide, les colloïdes se rassemblent en un gel, dont le volume est apprécié.

Les matières organiques donnent au liquide surnagerait une coloration plus ou moins brune suivant leur teneur.

- **Perméabilité de base:**

Elle consiste à mesurer le débit d'air susceptible de traverser un échantillon de sable de base compacté, sous une pression différentielle donnée.

Elle s'exprime en cm d'air traversant en 1 min, sous une pression différentielle de 1 cm d'eau (soit 100 Pa), un échantillon de sable compacté de 1 cm^3.

Ce coefficient, égal à 1 si le sable est parfaitement sphérique, varie en pratique de 1,10 à 1,60 selon que le sable est arrondi, sub angulaire ou angulaire.

- **Acidité-basicité :**

Cette mesure s'effectue avec un pH-mètre classique. Cependant, pour les sables à réaction basique, il est préférable de déterminer le besoin en acide.

Exprimé en millilitres d'une solution aqueuse de 0,1 mol/L de HCL nécessaires pour ramener 50 g de sable à pH 3, il varie de 0,5 pour le quartz (3 pour la chromite) à 25 pour l'olivine.

1.4.2.1 Analyse chimique complète :

De composants qui per forme , par réaction chimique avec le SIO2 per et le composants du métal coule , de compose fusible aux T : réduits que influent directement sur la réfractarité du moule , particulièrement des compose de métaux (Na, k), des compose de métaux alcaline (Ca ,Mg) de compose du Fe , Mn et de Al.

Le composants qui de dégagent à la T :de coulée de perdure de gazeux sur tout le carbonatas .(Ca , Co3) et(Mg ,Co3)

Réfractarité:

Cette propriété s'apprécie en portant un échantillon de sable de température de plus en plus élevées, jusqu'à constater un début d'agglomération des grains entre eux due à un commencement de fusion superficielle**.**

Perte au feu :

Le perte au feu doit être inferieure à 1%, les perte au feu pleur élèves indiquent la présence des substance , par exemple :substance organique .

A- Liants :

On définit comme liants les produits qui, ajoutés au sable de base, confèrent au matériau de moulage, en premier lieu, une certaines plasticité afin de lui permettre d'épouser la forme du modèle, et, ultérieurement par durcissement, une résistance mécanique assurant la conservation de cette forme jusqu'à l'ultime solidification du métal.

Suivant les procédés utilisés, et aussi bien pour la confection de moules ou de noyaux, les liants modernes peuvent être d'origine minérale ou organique.

Nota: on rappelle ici que, en opposition avec l'élasticité, la plasticité est la propriété d'un corps de se déformer lors de l'application d'une contrainte, et de conserver cette déformation lorsque cette contrainte cesse.

1.4.2.2 Liants minéraux :

1.4.2.3 Argiles et bentonites :

Les argiles sont les liants les plus anciennement utilisés en fonderie. Bien que l'emploi en soit désormais réduit, la fonderie a fait largement usage de sables silico-argileux naturels, mélanges de sables siliceux et d'argiles utilisables à l'état tel quel après humidification.

Ces sables sont désormais remplacés par des sables improprement dénommés sables synthétiques, artificiellement composés d'un sable de base et d'une argile pure.

1.4.2.4 Définition et particularités structurales :

Les argiles sont des silicates d'alumine hydratés qui, contrairement aux minéraux classiques cristallisés en réseau tridimensionnel, ne sont cristallisés que selon deux axes ; il en résulte une structure en feuillets, chaque particule élémentaire étant de dimensions mesurables en angströms (soit10^{-10} m), ce qui est caractéristique de l'état colloïdal [7].

Autre particularité, les liaisons silice-alumine ne sont pas saturées. la saturation se fait par des cations H^+, Ca^{2+} ou Na^+, qui ont la particularité de pouvoir s'échanger entre eux. Cette capacité d'échange de base (CEB) peut, par exemple, s'expliciter par la réaction:

argile Ca + Na_2CO_3 ⇆ argile Na_2 - Ca CO_3

La CEB est exprimée généralement en milliéquivalents (meq) pour 100 g d'argile.

Nota : rappelons que l'équivalent {eq} pour un ion donné est le rapport de la masse molaire de cet ion au nombre de liaisons chimiques qu'il engage avec d'autres atomes ou iotas dans une combinaison.

Par exemple, 1 eq = 1 g de H^+

1 eq = 20 g de Ca^{2+}

1 eq = 23 g de Na^+

La capacité d'échange de base est d'autant plus élevée que l'argile est plus active.

1.4.3 Propriétés fondamentales :

Des particularités structurales des argiles découlent des propriétés soulignant leur aptitude à être utilisées comme liants.

1.4.3.1 Comportement en présence d'eau :

Les argiles sont des matériaux hygroscopiques ; en équilibre avec l'atmosphère, leur teneur en eau varie de 2 à 15 %.

A mesure que l'on ajoute de l'eau, l'argile se transforme en une pâte qui présente des caractéristiques notoires de plasticité et confère au sable sa cohésion à vert (ou à cru).

Avec des additions d'eau supplémentaires, la plasticité diminué jusqu'à la limite de liquidité.

Enfin, en présence de quantités d'eau très importantes, certaines argiles sont susceptibles de gonfler et de former des gels.

1.4.3.2 Comportement à la chaleur :

Si l'on soumet une argile à un chauffage progressif, on constate deux plages de départ d'eau :

- entre la température ambiante et 120 °C, correspondant à l'élimination de l'eau hygroscopie ou d'imbibition ;

- entre 450 et 700 °C, correspondant au départ de l'eau de constitution.

En deçà du palier de départ d'eau de constitution, l'argile conserve ses propriétés essentielles d'hygroscopie et de plasticité. Elle peut se réhydrater de façon réversible, mais toutefois de plus en plus difficilement à mesure que l'on se rapproche du palier.

Au-delà du palier, l'argile perd totalement ses propriétés et devient, par conséquent, inactive ou morte.

Enfin, à plus haute température, vers 900-1000 °C, l'argile subit un réarrangement structural ; elle se cristallise en un réseau tridimensionnel et se transforme en chamotte.

Le départ de l'eau de constitution intervient suivant les argiles à des températures plus ou moins élevées, ce qui a une influence sensible sur la durabilité du matériau.

1.4.4 Différents types d'argiles :

Les argiles utilisées en fonderie appartiennent à deux espèces minéralogiques distinctes [8] : les kaolinites et les montmorillonites.

Les kaolinites correspondent à la catégorie des argiles dites réfractaires.

De formule générale 2 SiO_2, Al_2O_3, 2 H_2O, soit un rapport molaire équivalent :

$$\frac{N_{sio_2}}{N_{Al_2O_3}} = 2$$

Avec : $N_{Al_2O_3}$ nombre de moles d'Al_2O_3

N_{sio_2} nombre de moles de sio_2

Leur particule élémentaire a une structure en feuillet composée d'une couche de silice et d'une couche d'alumine.

Ces argiles ont une capacité d'échange de base faible (10 meq pour 100 g), un gonflement nul et confèrent aux sables une cohésion à vert faible, mais, en revanche, une cohésion à sec (après durcissement) et à chaud élevée. [8]

Leur durabilité est faible.

A ce type d'argiles peuvent se rattacher les illites et les halloysites, très souvent présentes dans les sables silico-argileux naturels.

Les montmorillonites sont généralement dénommées bentonites. De formule générale 4 SiO_2, Al_2O_3, H_2O, mais en réalité ayant un rapport molaire équivalent $\frac{N_{sio_2}}{N_{Al_2O_3}}$ compris entre 3 et 5, leur particule élémentaire est composée d'une couche d'alumine interposée entre deux couches de silice.

Ces argiles ont une capacité d'échange de base élevée (60 à 100 meq pour 100 g) et sont particulièrement actives. Cependant, leurs propriétés de fonderie diffèrent sensiblement suivant la nature du cation absorbé.

En effet on distingue les bentonites sodiques naturelles originaires essentiellement de l'état de (chlef), qui présentent des caractéristiques de plasticité et de gonflement élevées ; si leur cohésion à vert est moyenne, leur cohésion à sec et à chaud est élevée, au prix toutefois d'une réfractarité faible ; leur durabilité est la plus importante de celles des argiles utilisées.

Les bentonites calciques naturelles, très répandues autour du bassin méditerranéen ainsi qu'en Bavière, qui présentent un gonflement moyen ; elles confèrent aux sables une cohésion à vert élevée, mais une cohésion à sec moyenne et une cohésion à chaud faible ; leur réfractarité et leur durabilité sont moyennes.

Une pratique répandue aux États-Unis consiste à utiliser un mélange des deux types de bentonites, afin d'optimiser les caractéristiques à vert et à chaud.

Cependant, en Europe, on préfère généralement utiliser des bentonites sodiques activées artificiellement, résultant d'un traitement de bentonite calcique naturelle par du carbonate de soude. Par Suite de l'échange de base, on réalise ainsi un produit doté des caractéristiques les plus intéressantes des deux types de bentonites, à savoir :

Propriétés	**Kaolinites**	**Illites Halloysites**	**Bentonite sodique naturelle**	**Bentonite calcique**	**Bentonite sodique Activée**
Réfractarité	Elevée	élevée à moyenne	Faible	Moyenne	Faible
Hygroscopie	Faible	Faible	Elevée	Moyenne	élevée à moyenne
Pouvoir gonflant	Faible	Faible	Elevé	Moyen	élevé à moyen
Cohésion à vert	Faible	Faible	moyenne	Elevée	Elevée
Cohésion après séchage à l'air	Elevée	Elevée	Faible	Faible	Faible
Cohésion à sec	Modérée	Modérée	Elevée	Moyenne	Intermédiaire
cohésion à chaud	Elevée	Elevée	très élevée	Faible	Intermédiaire
Aptitude au serrage	Modérée	Modérée	mauvaise	Bonne	Modérée
Aptitude au débourrage(2)	Excellente	Bonne	mauvaise	Bonne	Intermédiaire

Tableau .I.3. Propriétés des sables de fonderie liés avec différents types d'argiles

(1) **Intermédiaire** : entre moyenne et élevée.

(2) **débourrage** : décochage.

- un gonflement et une cohésion à vert élevés,
- des cohésions à sec et à chaud intermédiaires.

Par ailleurs, le carbonate de soude présent confère à la bentonite une résistance à la désactivation, sous l'influence des ions Ca^2 très souvent présents dans l'eau d'imbibition, bien supérieure à celle des bentonites naturelles. le tableau 4 résume les propriétés des différentes catégories d'argile.

1.5 Silice colloïdale et silicates solubles :

1.5.1 Silice colloïdale :

Mise en œuvre sous forme de sols de silice dans l'eau ou dans l'alcool (après hydrolyse acide du silicate d'éthyle), la silice colloïdale est utilisée essentiellement dans des procédés spéciaux et également comme liant pour des enduits réfractaires.

1.5.2 Silicates solubles :

Parmi les silicates solubles, seul le silicate de soude est utilisé en fonderie. De formule générale n SiO_2, *p* Na_2O, *q* H_2O, un silicate de soude se présente sous forme d'un liquide plus ou moins visqueux et se définit complètement par sa teneur en matières solides et son module R :

$$R = \frac{m_{sio_2}}{m_{Na_2O}}$$

Avec : m_{Na_2O} masse de Na_2O,

m_{sio_2} masse de SiO_2.

La teneur en matières solides des silicates usuels varie de 28 à 51 % et leur module de 1,9 à 3,9.

Outre leur puissant pouvoir adhésif, les silicates de soude présentent deux caractéristiques de base; à teneur en matières solides constante, la viscosité augmente avec le module, et à module constant avec la teneur en matières solides.

La réfractarité, qui est faible en raison de la présence de solide, et devient très basse pour les bas modules ; il s'ensuit des difficultés systématiques de débourrage pour les sables liés ni silicate de soude, qui peuvent être en partie surmontées pat addition d'adjuvants. [10]

Chapitre II :
Préparation du sable de moulage en fonderie de POVAL

2.1 Introduction :

L'expression moulage, dans le sens qui lui est attribué en fonderie, désigne la réalisation d'empreintes aux formes de la pièce à obtenir dans un matériau, bois pierre, sable ou métal destinées à recevoir le métal à l'état liquide

La réalisation d'une pièce par moulage exige une étude approfondie qui permettra de déterminer la technique à employer. Les principaux facteurs susceptibles d'avoir une influence sur le choix de la méthode la plus économique à retenir sont :

- la complexité des formes de la pièce
- les dimensions de la pièce et la précision des côtes
- le nombre de pièce à exécuter
- les délais de fabrication
- l'état de surface

2.2 Analyse complète du sable

2.2.1 .Mode opératoire :

Physique : granulométrie

Pesé 20 gr et mettre dans le tamiseur pendant 15 min vibration 02.

Tamis de 1,4 à 0,063

Résultat x 5 après 100 - le résultat

Détermination de la grosseur moyenne des grains (mm) :

Extrapoler 50 ⟶ x en mm

Degré de régularité = le résultat en mm x * 2/3 ensuite par 4/3 ou bien (x *2/3) * 2

Exprimer en %

2.2.2 Analyse chimique :

2.2.2.1 Sable pur :

pesé 20 gr + 5 ml tétra sodiudi phosphate + 100 ml H2O dans un bêcher de 600 ml mettre sur la plaque chauffante pendant 10 min puis ajouter H2O jusqu'à 400 ml puis mettre sur l'agitateur pendant 10 min ensuite ajouter un peu d'eau et laisser reposer pendant 30 min siphonner puis ajouter de l'eau et siphonner.

Puis filtrer et mettre le creuset sur la plaque chauffante et mettre dans le four à 1050 °C pendant 2 heures.

2.2.2.2 Perte au Feu :

peser 10 gr dans un creuset et mettre sur la plaque chauffante puis dans le four à 1050 °C pendant 2 heures.

2.2.2.3 Résultats :

sable pur : 20g = (x/2) * 10 = ? %

Perte au feu : (10g - x) * 10 = ? %

2.2.2.4 Matière en suspension :

MI = 100 - PF (%) - SP (%) = ? %

SiO2: 1) peser 1 gr dans un bécher de 250 ml + 20 ml HcL (1-1) solutionner jusqu'à apparition d'une couleurs rouiller ~ 20 min solutionner de nouveau avec 20 ml HcLconc diluer avec 80 ml H2O , laisser chauffer filtrer

2) laver le filtre avec H2O chaude et HcL (1-3) comme pour le Si après calciner à T° 1050°C

3) Peser le contenu x 100 = % SiO2

CaOMgO : reactif HcL Conc, Ammoniac, Sol Tampon 70gr NH4Cl + 750 ml H2O

NH4OH (0.9) + diluer avec H2O à 1000 ml pH 10

Noir eriochrome = 1gr noirs dans 100gr NaCl

EDTA 18.612 gr complexe sécher à T° 80°C dans une fiole jaugé de 1000 ml compléter avec H2O jusqu'au repère (conserver dans un flacon polyethylene).

2.2.2.5 .Préparation de solution :

solution tampon : 70 g de NH4CL dans 750 ml NH4OH(0.91) ajouter H2O jusqu'à 1000 ml pH(10)

Noir d'eriochrome : 1 g de N.d'Erioc.dans 100 g de Na Cl

Ou NET : 0.5 g N.erioc dissous dans le mélange 75 ml etalolamyne + 25 ml H2O

E.D.T.A : 18.612 g de Ti triplex III sécher à 80°C solutionner dans une fiole jaugée de 1000 ml et compléter avec H2O jusqu'au trait de repère conserver dans un récipient en polyéthylène.

Méthode :

solutionner 1 gr de sable séché avec l'acide HcLconc (10 ml) dans un bécher de 250 ml utiliser le verre à montre laisser chauffer pendant 10 min

Diluer avec 50 ml H2O et filtrer comme le Si laver 3 fois avec l'eau chaude ajouter 1 gr NH4Cl rendre le filtrat ammoniacal avec NH4OH (15 ml) filtrer les hydroxydes recueillez qui se sont former, laver 4-5 fois à l'eau chaude, ajouter au filtrat environ 150 ml H2O et 5 ml de solution tampon.

Ajouter 0.05 gr noir eriochrome (ou 10 gouttes net) et titrer la solution avec EDTA

Calcule Nombre ml **EDTA x 0.2804 = % CaOMgO**

Pour le Fe2O3+Al2O3 : conserver le filtre + hydroxyde sèches et calciner à 800 °C

% Fe2O3+Al2O3 : (reste / pesée) x 100

2.2.3 Méthode d'analyse de la CASTINE CaCO3

On détermine la perte au feu, SiO2 et Fe2O3/Al2O3 C'est le même mode opératoire que le sable, seulement pour le Fe2O3/Al2O3 il faut :

- chauffer le filtrat issu de SiO2
- oxyder avec quelques gouttes de HNO3 concentré
- ajouter NH4OH à la solution jusqu'à précipitation d'hydroxyde la solution doit être alcaline (vérifier avec le papier pH)
- filtrer le dépôt, faire dessécher puis calciner à une température de 1050 °C
- Laisser refroidir et peser.

2.3 **Sable moulage utilise:**

2.3.1 sable siliceux :

Ce sable est le plus utilisé dans des fonderies à cause de son bas prix ; son abondance dans la nature et de ces caractéristiques assez élèves. Selon la constitution minéralogique, le sable siliceux se divise en trois classes

- extra siliceux
- siliceux
- maigre, semi-gros, gras, trop gras

2.3.2 Composition chimique & minéralogique :

Dans le sable siliceux, le constituant de base est le quartz α suivant le tableau ci-dessous la silice **SiO_2** peut être suivant les conditions de température et de pression, cristallisée sous forme de quartz α, β, de tridymite, ou de cristobalite[9]

Température	Cristallographique de SiO_2	D	Dilatation
Ambiante	Quartz Alpha	2,65	= F(°C)
573 °C	Quartz Béta	2,49	1,50%
867 °C	Tridymite		
1470 °C	Cristobalite	2,33	3 à 5 %
1730 °C	Silice amorphe		

Tableau .II.1. Composition chimique

les sables que nous pouvons avoir en l'Algérie, principalement dans la région chlef sont généralement très purs et contiennent plus de 95% de quartz.

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

2.3.3 Méthodes de contrôle :

2.3.3.1 Contrôle réception du sable :

Il ne faut pas oublier que le contrôle réception des sables sera différent selon que le sable est utilisé uniquement en moulage ou également en noyautage.

Etant donne que la plupart du temps il est utilisé pour les deux.les contrôle seront donc orientés vers un sable de noyautage car les caractéristiques demandé sont beaucoup plus sévères.

2.3.4 Analyse granulométrique:

La granulométrie est une qualité du sable de moulage, qui touche directement la forme, les dimensions ainsi que le degré d'uniformité, elle exprime en % la répartition du grain selon des conventionnelles de dimension.

L'analyse est faite sur un échantillon de sable débarrassé de tous les éléments de dimensions de 20um lavé sécher (étuve) à la température 100-105 c jusqu'à la masse constante. L'essai est conduit, sur un échantillon de 50 à 100g de masse, à l'aide d'une installation constitué de 11 tamis emboîtée les uns dans les autres dans l'ordre de maille décroissante, chaque refus recueille est pesé, pour déterminer par suite les caractéristiques granulométries du sable de moulage. [11]

A. Grosseur moyenne de grain :

En fonderie, les sables pour les productions des moules et des noyaux, ont généralement un grain moyen compris entre 0.1à 0.15 mm aux métaux non-ferreux

de 0.2 à 0.40 mm aux fontes grises

plus de 0.4 mm à l'acier coulé

B. Perte au feu

Comprend aussi bien l'eau de constitution de l'argile que toutes les matières combustibles ajoutées volontairement ou issues des noyaux elle doit être inférieure à 1% (pour acier coule à 5%). des pertes au feu plus élevées indiquent la présence des substances nocives, par exemples

- substances organiques
- carbonates

C. Matières volatiles

Le sable contient aussi des composants solides dont les dimensions des particules sont d'ordre semblable de grandeur que l'épaisseur de la couche de liant tels composants peut être d'origines différentes :

B- des composants minéraux des roches mères

C- Des matières étrangères (poussières, boues) ; entraînées par le vent ou par l'eau, au cours aussi de la genèse du gisement.

D- bentonites mortes (surcuit), provenante des vieilles couches du liant.

E- Résidus de combustion (cendre), provenant de la poussière de charbon ou bien de quelques autres additifs organiques.

D. Degré de régularité :

Le degré de régularité se définit par le pourcentage (en poids) qui se trouve entre 2/3 et 4/3 de la grosseur moyenne des grains. le degré de régularité doit s'élever

A 55% au moins : au sable employé pour moulage

A 65% au moins : au sable employé pour noyautage

par des valeurs plus faibles, la perméabilité se réduira fortement, et les gaz de coulée ne peuvent pas s'échapper du moule assez vite

On ne peut pas employer ; dans les fonderies des sables éclatés ; (morphologie qui empêche la densification suffisante du sable)

E. Indice de finesse :

Valeur conventionnelle qui correspond au numéro d'un tamis fictif, qui retiendront les grains de sable analysé, c'est une si, ceux ci sont de même dimensions moyenne.

il est définit par la relation suivante :

If=(R1N1+R2N2+. +RnNn)/(R1+R2+....Rn)

ou : R1 .R2. : refus de chaque tamis en %

N1 . N2 : coefficient multiplicateur de chaque tamis

2.3.5 Les moulage à vert :

Toujours exécutés en sable et non séchés avant la coulée leur emploi donne naissance à la catégorie si importante du moulage à vert. Le sable de moulage
Utilisé pour leur fabrication est désigné sous le nom spécial de (sable vert).

A. **Les moules en sable vert grillé :**

Exécutés en sable vert et séchés superficiellement avent la coulée.

B. **Les moules étuvés :**

Exécutés en sable et séchés a cœur avent la coulée dans des enceintes spéciales appelées :(étuves).le sable de moulage utilisé pour leur fabrication porte le nom de (sable d'étuve).

2.4 Préparation du sable à la fonderie de Berrouaghia :

2.4.1 Analyse granulométrie :

Analyse granulométrie est normalement sur un échantillon débarrassé de toute trace de liant résineux par calcination dans un four à moufle à 900°c, peser l'échantillon (environ 50g) de sable introduire l'échantillon à la partie supérieure de la série du tamis fixer le jeu de tamis sur le secoueur, secouer pendant 10 minutes environ. Peser séparément les refus recueillent sur chaque tamis au centigramme prés. d'après cette analyse nous avons obtenu les résultats suivants[12] :

2.4.1.1 Analyse granulométrie d'un sable humide : Humidité=4.50%

diamètre de tamis	refus en gramme	refus en pourcentage %
1.400	0.04	99.80
1.000	0.02	99.70
0.710	0.04	99.50
0.500	0.26	98.20
0.355	0.93	93.85
0.250	5.00	68.55
0.200	3.93	48.85
0.180	2.33	37.30
0.125	5.20	11.30
0.090	1.74	2.60
0.063	0.45	0.35
<0.063	0.07	0.00

Tableau . II.2. Analyse granulométrie d'un sable humide

Grosseur moyenne en mm	Degré de régularité en %
0.20	58

Humidité=0.12**%**

diamètre de tamis	refus en gramme	refus en pourcentage%
1.400	0.05	99.95
1.000	0.05	99.80
0.710	0.05	98.90
0.500	1.90	95.95
0.355	12.20	77.20
0.250	52.30	60.50
0.200	22.75	42.55
0.180	6.85	19.25
0.125	3.45	5.25
0.090	0.25	0.05
0.063	0.10	0.00
<0.063	0.05	0.00

Grosseur moyenne en mm	Degré de régularité en %
0.18	58

Tableau II.3.tamis

2.4.2 Sédimentation :

2.4.2.1 Elimination de petits corps :

Mettre 20 g du sable dans un bêcher de 800ml formes hautes, ajouter 200ml H2O et 10 ml (Na4P2O7) ; puis laisser bouillir pendant 10min avec les billes en verre et mélanger pendant 10 min avec un mélangeur électrique.

Ajouter de l'eau jusqu'à 125 ml dans le bêcher après 8 min, titrer avec un tuyau spécial le liquide devient clair de telle façon qu'a n'en reste plus que 25ml dans le bêcher, encore une fois le bêcher doit être remplies à 125ml d'eau après ca le liquide clair doit être vidé à 25 ml on répète une troisième fois l'opération

L'eau doit être remplie jusqu'à ce que le sable devienne un mélange intensif, l'opération doit être répétée jusqu'à ce que le liquide de 100 mm d'épaisseur devienne claire, le reste de se sable doit être filtré, puis calciner à 1050°C pendant deux heures après cette opération on passe à la pesée le reste de sédimentation séché.

Le calcul de la sédimentation se fait seulement après l'analyse du sable pur.

2.4.2.2 Analyse de sable pur :

Tout le reste de la sédimentation qui à été pesé doit être mis dans un creuset ce dernier est introduit dans un four pour la calcination pendant 2H à une température de 950°C le refroidissement ce fait dans un des pesée : reste de la sédimentation

Sable pur %= reste de sédimentation*100/pesée initiale

D'Après cette analyse nous avons obtenu les résultats suivants

perte au feu	sable pur	matière en suspension
0.3%	**98.55%**	**1.15%**

Tableau II.4.perte au feu

D'Après les résultats obtenus on peut dire que le sable c'est un :

B- sable extra siliceux.

C- classe R1K .

D- catégorie A.

E- étalée .

2.4.2.3 Préparation des mélanges :

2.4.2.4 Mélange pour la fabrication des noyaux :

- **Les matières utilisées**

- Sable : c'est un sable neuf humide de carrière sécher au laboratoire

Provenance : chlef ; à une température de 16°c, pour l'analyse granulométrie voir tableau n°1

- Résine :

- **Silicate de soude :** verre soluble de couleur blanche

- **Catalyseur** : $100T_3$ (acide)

mélange n°1 : on mélange le sable avec l'acide pendant 1minute puis on mélange le tout pendant 45 s donc le temps de mélange est 1min et 45 s ; nous avons utilisé 100% du sable 2% résine et 1% acide ; les résultats sont illustrés dont le tableau suivant :

N° Essai	1	2	3	4	5
Temps (h)	1	2	4	24	48
Re à la flexion (Kg/cm^2)	6	14.5	23.5	32	28

Tableau II.5.tableau des essai de mélange 1

Le temps de prise T=20 min, donc c'est une prise lente.

B - mélange n°2 : on mélange l'eau avec le sable puis on ajoute 100 gr de silicate de soude et on mélange le tout pendant 3 min le durcissement s'effectue avec le gaz CO_2 le temps de prise est 5 seconde les résultats obtenus sont les suivant :

N° Essai	1	2	3	4	5
Temps (h)	1	2	4	24	48
RE à la flexion (Kg/cm^2)	2.5	2.25	6	8	4

Tableau II.6. tableau des essai de mélange 2

2.4.3 Teneur en eau d'un produit pulvérulent :

- **But :**

Définir le pourcentage en eau d'un produit pulvérulent :

2.4.3.1 Matériel utilisés :

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

2.4.3.2 Mode opératoire :

- Peser le creuset vide P1.
- Y mettre le produit (p2=P1+produit)(mettre environ 3 g pour le noir).
- Placer le creuset dans une étuve régulée à 105 °C pendant 1 h.
- Laisser refroidir en dessiccateur.
- Peser le creuset sec (p3).

- **Expression des résultats :**

$$\textbf{EAU\%} = \frac{(P2-P3)}{P2-P1)} * 100$$

Chapitre III : Comparaison entre la nouvelle et l'ancienne sablerie

3.1 Suivi de compagne et comparaison entre la nouvelle et l'ancienne sablerie de poval berrouaghia :

3.2 **Introduction** :

Dans l'unité de fonderie de Berrouaghia, section sablerie la préparation et le traitement de sable pour moulage.se fait d'une façon classique dont l'intervention humaine est courent.

Pour étudiée les résultats de ce traitement et l'impact de ces traitement sur les pièces moulées et les comparais avec les normes inter nation a les de la qualité de sable de moulage ma prélever des échantillons journaliers du sable recyclé, voir les analyses, comparée avec les normes.

Puis contrôles la correction faites par l'unité fonderie de Berrouaghia et analysé les résultats après comparaison avec les rebuts de pièces moulés l'énumération de ce travail est présenté dans ces tableaux.

3. 3 Suivi de préparation du sable de moulage:

III.1 Tableau d'analyse du sable journalier du Sablerie de Berrouaghia. Période du 09/01/2020 A 30/01/2020. [13]

Date	Arrivée-Départ	Poids objet N°04	Compression Kg F/mm2	Cisaillement Kg F/mm2	Plast	Perm	%C	%Bent	%H2O
09/01/20	08h30-09h15	145.5g	1.60	0.30	0.19	198	3.15	10.00	4.20
14/01/20	9h10-10h10	145 g	1.45	0.30	0.21	200	3.27	10.00	3.90
15/01/20	16h20-17h15	144 g	1.50	0.30	0.20	195	2.98	9.30	4.70
19/01/20	9h50-10h45	144.5 g	1.60	0.41	0.25	200	3.08	10.00	4.60
21/01/20	9h30-10h30	144 g	1.31	0.29	0.22	210	3.24	9.30	3.95
22/01/20	9h07-9h55	144.5g	1.50	0.34	0.23	220	3.13	9.30	3.85
27/01/20	8h25-9h15	146 g	1.05	0.22	0.21	215	3.30	6.00	4.25
30/01/20	13h05-13h55	145.5 g	1.11	0.20	0.18	210	3.40	6.60	4.33

Tableau III.2 Norme internationale pour sable de moulage.

Caractéristiques	Normes
Humidité en %	3.5-4.0
Bentonite en %	9-14
Carbone en%	3.5-4.5
SiO2 en %	≥ 97
Fe2O3/Al2O3 en%	≤ 1
CaO/MgO en%	≦ 2
Resistance a la compressions Kgf/mm2	0.9-1.2
Résistance à la cisaillement Kgf/mm2	0.19-0.26
Perméabilité	100-180
Degré de régularité %	≥65
Diamètre moyen (mm)	0.17-0.25
Perte au feu%	≤1
Sable pur%	≥96
Matière en suspension %POUR sable pur	≤ 2
Matière en suspension % POUR sable retour	≤ 13
Plasticité	02-025

Constatation :

Nous avons remarqué à travers l'analyse que le pourcentage élevé de l'eau selon les normes(3,5 – 4)et Malgré les corrections quotidiennes faites après les résultats des analyses correspondant aux normes , Le pourcentage d'eau restera toujours en dehors du domaine des normes**,** Ce pourcentage produit rebut par défaut (bulle)

*Défaut bulle : humidité élève Hors normes (3.5 - 4)%

Corrections faites :

- Augmentation du temps de malaxage (4+2+1min)
- une analyse de sable journalier avant malaxage
- Ajoute de matière sec (l'interviens se fait par l'agent)

2éme cas

III.3 Tableau d'analyse du sable journalier du Sablerie de Berrouaghia .Période du 03/02/2020 AU09/02/2020

Date	Arrivée-Départ	Poids objet N°04	Compression Kg F/mm2	Cisaillement Kg F/mm2	Plast	Perm	%C	%Bent	%H2O
03/02/20	13h15-14h10	145 g	1.60	0.30	0.19	198	3.15	6.60	4.02
04/02/20	9h05-10h00	144 g	1.45	0.30	0.21	200	3.27	8.00	3.90
05/02/20	09h10-10h05	144 g	1.50	0.30	0.20	195	2.98	8.60	3.55
09/02/20	9h35-10h20	144 g	1.60	0.41	0.25	200	3.08	6.00	4.01

Constatation :

Nous avons remarqué à travers l'analyse que le pourcentage élevé de l'eau à est stabilise selon les normes (3,5 – 4) est le pourcentage de bentonite et noir minéral et hors normes.

Malgré les corrections quotidiennes faites après les résultats des analyses correspondant aux normes, Le pourcentage de bentonite et noir minéral restera toujours en dehors du domaine des normes**,** Ce pourcentage produit rebut par défaut (Gale+ pénétration).

***Défaut Gale** :

- Matière en suspension élevé hors normes 13%

-%Bentonite ↙ hors normes (9 - 14)

- Défaut de fonction extracteurs aux niveaux refroidisseurs

***Défaut pénétration :**

-Matière en suspension élevé hors normes 13%

--%noir minéral (charbon) ↙ hors normes (3.5 - 4.5)

-%H2O ↙ hors normes (3.5 – 4)

Corrections faites

- Une analyse complète du sable recyclé avant malaxage
- Ajout de sable neuf calculé dans le malaxeur (l'interviens faite par l'agent)
- Ajout bentonite calculé dans le malaxeur
- Ajout noir minéral (charbon) calculé dans le malaxeur
- Ajout de H2O dans le malaxeur

3.4 Contrôle qualité des compagnes sur l'ancienne et nouvelle sablerie:

3.4.1 Contrôle une compagne sur l'ancienne sablerie:

Tableau III. 4 pièces rebut par défaut

Désignations	**Quantité**	**Quantité rebut**	**Quantité rebut %**
Contre poids	120	60	**50**
Trappes l3T	150	56	**37**
Cadre 850	90	25	**28**
Boitier de cylindre	60	30	**50**

Rebut par défaut:

Désignations	**Quantité rebut %**	**Défaut**
Contre poids	**50**	la gale +inclusion
Trappes l3T	**37**	Chute de sable
Cadre 850	**28**	Inclusion
Boitier de cylindre	**50**	Chute de sable

Remarque et Discussion :

Nous avons remarqué à travers cette production par l'ancienne sablerie de poval berrouaghia que le taux de rebut est élevée à cause des fausses ingrédients de préparation du sable de moulage et plusieurs autres défaut dont inclusion de sable, les gales et chute de sable .

3.4.2 Contrôle une compagne sur la nouvelle sablerie:

Tableau III.5 pièce rebut par défaut

Désignations	**Quantité**	**Quantité rebut**	**Quantité rebut %**
Contre poids	120	10	**8.33**
Trappes l3T	150	12	**8**
Cadre 850	90	8	**8.88**
Boitier de cylindre	60	5	**8.33**

Rebut par défaut:

Désignations	**Quantité rebut %**	**Défaut**
Contre poids	**8.33**	la gale +inclusion
Trappes l3T	**8**	Chute de sable
Cadre 850	**8.88**	Inclusion
Boitier de cylindre	**8.33**	Chute de sable

Remarque et Discussion :

Nous avons remarqué à travers la production par la nouvelle sablerie de poval berrouaghia que le taux de rebut est plus bas à cause de normalisation des propriétés du sable .

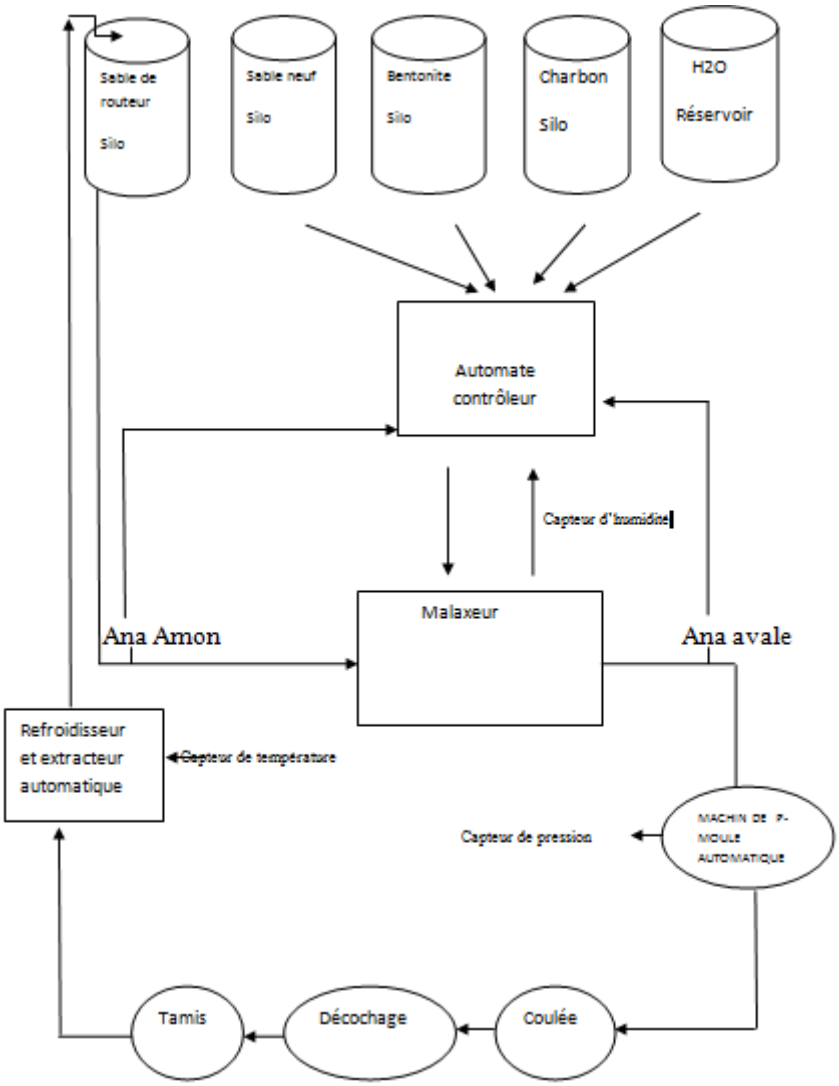


figure III.1 : Circuit de production de sable moulage

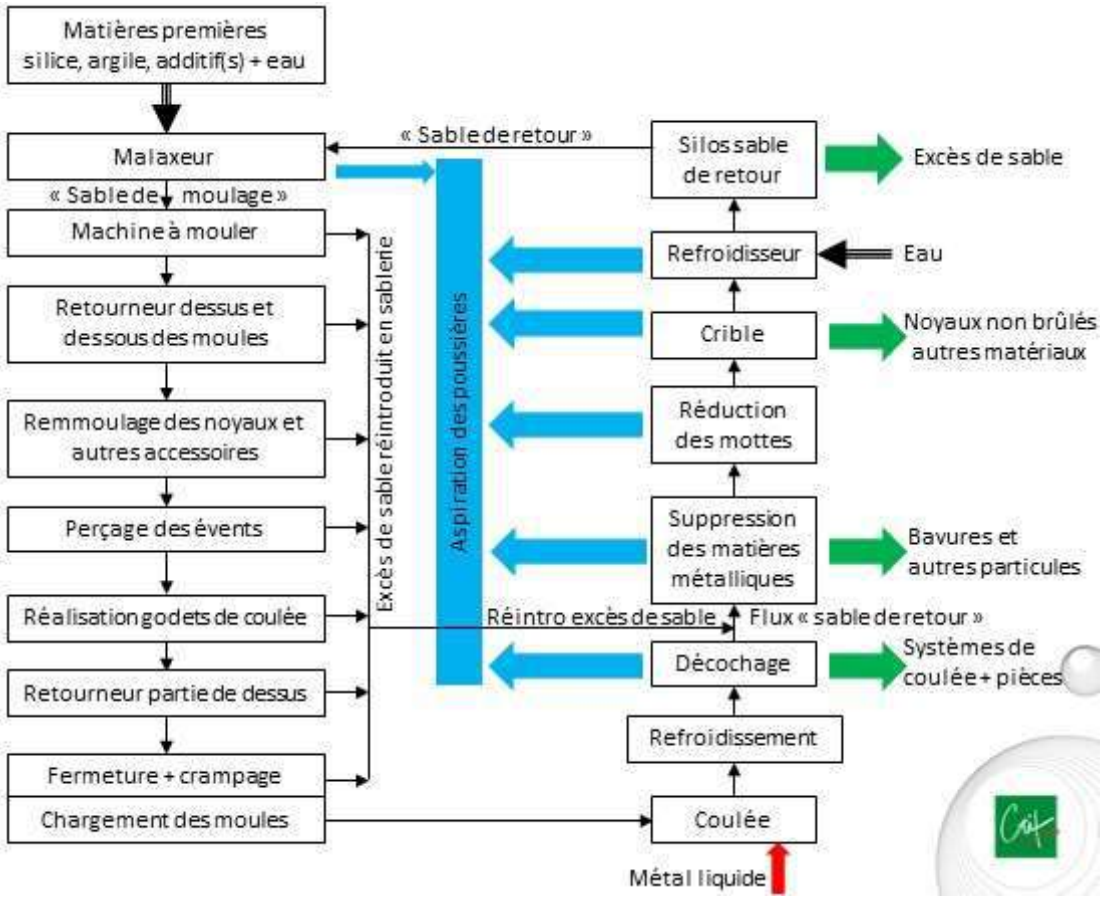


figure III.2:processus de moulage en sablerie

conclusion:

Dans ce chapitre on a constaté que la nouvelle sablerie de poval berrouaghia a une production élevée avec un taux de rebut plus bas au contraire de l'ancienne sablerie qui a une production plus bas par rapport de la nouvelle sablerie avec un taux de rebut plus élevée.

L’étude que nous avons réalisée dans ce travail est la comparaison entre la nouvelle et l'ancienne sablerie de POVAL de berrouaghia qui nous a permis de conclure comme suit:

La bonne préparation du sable de moulage et de noyautage exige donc des dosages bien précis des constituants.

L'Etude des résultats obtenus dans ce travail donner par le bureau de contrôle qualité de la fonderie de POVAL nous permit de connaitre les analyses et le processus de préparation du sable de moulage en respectant les normes internationales de qualité du sable de moulage et de prélèvement quotidien de sable recyclé.

L'ancienne sablerie de POVAL Berrouaghia permet d'obtenir une production moyenne avec un taux de rebut plus élevé. Par contre l'utilisation de la nouvelle sablerie possède un rendement plus élevé puisque elle permet d'obtenir un taux de rebut inférieur.

BIBLIOGRAPHIE

[1]-Techniques de l'ingénieur CUENIN(p) moulage et noyautage M3512

[2]- NOEL (m) –la chimie au service de la .hommes et fonderie n83mars1988

[3]-Recherche de la qualité des pièces de fonderie CIATF 1986

[4]- SANDERS(C.A) -foundry sand p American colloid company

[5] –JASSON(p) –granulométrie et perm lite des sable en fonderie

[6]- Techniques de l'ingénieur LUCAS (L.D) données physico chimiques des principaux métaux et métalloïdes M 65

[7]- HOFMANN(F) –technologie des matériaux de moulage en fonderie Georges Fisher

[8]-Liants argileux pour sable de fonderie SCRATA Technical bulletin n °8

[9]- JEANCOLAS (M)et VIROLLE (X) –guide de l'agglomération des sable siliceux par le procédé de silicate de soude –gaz carbonique CTIF4215

[10]- VIROLLE (X) et CALAIS (A) –sable auto-durcisseurs du silicate de soude et au silicium .fonderie n°234

[11]- https://metalblog.ctif.com/2018/05/21/la-caracterisation-des-sables/

[12]-Poval berrouaghia

[13] -classeur berrouaghia