République Algérienne Démocratique et populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Yahia Farés Médéa

Faculté de technologie

Département: Génie des procèdes

Mémoire de fin d'étude présenté Pour l'obtention

Du diplôme de Master en Génie des procède

***Option* : *Science* des Matériaux**

Thème

Amélioration de l'aptitude au débourrage pour le procédé de noyautage silicate de soude – CO_2.

Présenté par :

M^{ell} **:** Boukhalfa Naima

M^{me} : Kourdali Meriem

proposé et dirigé par :

Mr: Hebireche Mohamed

Promotion : 2018/2019

Remerciement

Nous saisissons cette opportunité pour adresser nos profondes gratitudes et nos sincères prières à notre dieu, le tous puisant.

Nous n'omettrons pas d'exprimer nos vifs remerciements à tous ceux qui ont contribués de pris ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, avec une attention particulière à notre promoteur Mr Hebireche, qui n'a jamais cessé de prodiguer conseils, orientation et encouragements.

Nous n'oublierons pas la participation active de société POVAL Berrouaghia sur tout Mm Fouzia et M Moustapha.

Et nos professeurs qui nous ont suivis tout au long de notre parcours universitaire au sein du département de génie mécanique.

Merci à vous tous pour votre soutien, votre aide, et votre compréhension.

Naima Meriem

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail tous d'abord à :

Mon Islam,

Mon prophète Mohamed «صلى الله عليه وسلم »,

Et ma très chère Algérie.

A mes très chers parents et mon mari et mon petite fille qui m'ont soutenu et encouragé durant toute la période de mes études et à qui je souhaite une longue et heureuse vie, que dieu les protège et me donne la force pour que je puisse leurs rendre un petit peu de leurs bien faits malgré que je ne peux jamais arriver à faire ça.

A ma très chère sœur Asma et ma belle sœur Asma et Somia.

A mes très chers frères Amine, Abdraouf, Oussama, Walid, Abdeslam.

A mes très chères des ami Naima, houda.

Une spéciale dédicace à Ma belle mère Salima Boudjamaa Et Mahraz.

A toutes les familles KOURDALI et BENLAKEHAL.

Meriem

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail tous d'abord à :
Mon Islam,
Mon prophète Mohamed «صلى الله عليه وسلم »,
Et ma très chère Algérie.
A mes très chers parents qui m'ont soutenu et encouragé durant toute la période de mes études et à qui je souhaite une longue et heureuse vie, que dieu les protège et me donne la force pour que je puisse leurs rendre un petit peu de leurs bien faits malgré que je ne peux jamais arriver à faire ça.
A ma très chère sœur Nabila.
A mes très chers frères Samir, Abdenour et SIDA Ahmed.
A mes très chères des ami Meriem, Ikrem, Houria, fatma, Khadidja, Nadia.

Une spéciale dédicace à Hamza.
A toutes les familles BOUKHALFA et BOUAZZA.

Naima

ملخص

الغرض من هذه الدراسة هو دراسة إمكانية استخدام السكر الصناعي أو الأسود المعدني كمادة مساعدة لتسوية عملية صب السيليكات الصوديوم ثاني أكسيد الكربون في وحدة الصهر البرواقية من اجل تقليل الأحد الأقصى تجاهل معدل في ورشة إزالة الأزيز عن طريق تطوير عدة خلطات على مستوى المختبر وأخيرا اختيار أفضل مزيج ذي معنى ينطبق بنجاح على مستوى الإنتاج

Résumé

Le but de cette étude est d'étudier la possibilité d'utiliser le sucre industriel ou le noir minéral comme adjuvant de débourrage pour le procédé de noyautage silicate de soude CO_2 au niveau de l'unité fonderie de BERROUAGHIA ,a fin de minimiser le maximum le taux de rebut au niveau de l'atelier de l'ébarbage (débourrage) ,et ce par élaboration de plusieurs mélange au niveau de laboratoire , et enfin choisir le meilleur mélange qui sens applique par succès au niveau de la production.

Abstract

The purpose of this study is to study the possibility of using industrial sugar or mineral balk as a settling aid for the CO_2 sodium silicate casting process at the Berrouaghia smelter unit in order to minimize the maximum discard rate in the debarring workshop by developing several mixes at the laboratory level, and finally choosing the best mix that makes sense plies successflly to the level of production.

Liste de tableaux

Tableaux	Titre	Page
I-1	classement des procédés de moulage et noyautage selon le mode de prise	2
I-2	le module de silicate de soude	11
I-3	la concentration en fonction du facteur influant	13
II-1	transformation de la silice en différents forme selon la température	23
II-2	Propriétés des sables de base disponibles	29
II-3	Relation entre indice de finesse et dimensions moyennes des grains en mm	32
II-4	les groupes du sable	33
II-5	le module de silicate de soude.	37
III-1	la répartition granulométrique de sable	50
III-2	les groupes de sable.	52
III-3	le module de silicate de soude.	62
III-4	les résultats de la résistance à la flexion en fonction de temps de stockage	67
III-5	les résultats de la résistance à la flexion en fonction de temps de stockage	69
III-6	les résultats de la résistance à la flexion en fonction de temps de stockage	71
III-7	les résultats de la résistance à la flexion en fonction de temps de stockage	72
III-8	les résultats de la résistance à la flexion en fonction de temps de stockage	74
III-9	Les observations des mélanges.	75

Listes des figures

Figure	Titre	Page
I-1	détermination de la concentration.	12
I-2	Résistance des noyaux en fonction du temps d'insufflation pour des silicates de modules différents.	20
II-1	Transformation de quartz suivant les gradients de température du moule**.**	23
II-2	Formes de grains.	26
II-3	Courbes de dilatation de différents sables.	27
II-4	Courbes de refroidissement du centre d'une sphère d'acier de 15 cm de diamètre, coulée dans différents sables.	28
II-5	Comparaison des granulométries d'un sable de fonderie	31
II-6	Viscosité du silicate de soude en fonction du module et de la teneur en matières solides [mm].	35
II-7	Réseau de la montmorillonite.	39
II-8	Structure en feuillets de la bentonite.	40
II-9	Structure de la bentonite.	40
II-10	Comment agit le noir	41
III-1	Lixiviation	46
III-2	Séparation des éléments inférieurs à 0.02 mm et de l'élément supérieur à 0.02mm par décantation**.**	47
III-3	Photographie du tamiseur utilisé au cours de notre étude	48
III-4	Histogramme de la répartition granulométrique	51
III-5	Histogramme représente la variation du diamètre relatif aux groupes de sable.	53
III-6	Courbe granulométrique cumulative de refus	54
III-7	Photographie d'un microscope optique utilisé au cours de la présente étude	56
III-8	forme des grains (sable de la fonderie de la BERROUAGHIA)	57
III-9	Photographie d'un densimètre utilisé au cours de la présente étude	58
III-10	photographie d'un malaxeur utilisé au cours de la présente étude	65
III-11	Machine universelle pour détermination de la résistance à la compression / cisaillement.	66
III-12	graphe résistance au cisaillement en fonction du temps du stockage	68
III-13	graphe résistance au cisaillement en fonction du temps du stockage	70
III-14	graphe résistance au cisaillement en fonction du temps du stockage	71

III-15	graphe résistance au cisaillement en fonction du temps du stockage	73
III-16	graphe résistance au cisaillement en fonction du temps du stockage	75
III-17	graphe résistance au cisaillement en fonction du temps du stockage	76
III-18	Les boites de noyaux.	77
III-19	Les modules des noyaux.	77
III-20	photographie des pièces fabriquant	78

SOMMAIRE

Introduction générale……..1

I-1-Les différentes procédés de moulage et noyautage……2

I-1-1- procédés à prise à froid……..3

I-1-1-1- Procédé à prise des sables autodurcissants aux résines furanniques ……3

I-1-1-2- sable au ciment avec silicate de soude ……4

I-1-1-3- durcissement des sables au silicate de soude ……5

I-1-1-3-1-Durcissement des sables par le gaz CO_2 ……5

I-1-1-3-2-Durcissement des sables par le silicium ……6

I-1-1-3-3-Durcissement des sables par le laitier du haut fourneau ……6

I-1-1-4-Procédé Roth-Peugeot ……7

I-1-1-5-Procédé Silicate-Ester ……8

I-1-1-6-Procédé Foscolo ……..8

I-1-1-8-Procédé Alpha-Sept……9

I-1-2- procédé ″boite chaude ″, procédé ″Corning″……9

I-2-Procédé silicate de soude-CO_2 ……..9

I-2 -1-Chimie du procédé…….....10

I-2-1-1-le silicate de soude……10

II-3-1-2-Mécanisme de prise……10

I-2-1-3- Module du silicate de soude……..…11

I-2-1-4-Principe de base……11

I-2-1-5- Produits utilisés……..…11

I-3- Caractéristique et propriétés des matières premières du moule et des noyaux……..17

I-4- Mise en œuvre……..19

I-4 -1- Préparation des mélanges……19

I-4-2-Modelé et boites à noyaux……19

I-4-3-serrage du sable……19

I-4-4-gazage……20

I-4-5-Déboitage……21

I-4-6-Enduisage……21

I-4-7-stockage des moules ou noyaux ……21

II -Généralité sur le sable.....22

II- 1-Origine des sables……22

II-1-1-Sable à base de silice (sable neuf) ……..…22

II-1-2- Sable à base de chromite ……..……24

II-1-3- Sable à base de L'olivine ……..……24

II-1-4- Sable à base de zircon.....….....24

II-1-5- Sable à base des silice-alumineux ……24

II-2- Sables de fonderie……24

II-5-2-Propriétés chimiques……25

II-5-3-Propriétés physiques…….....25

II-6-Méthodes de contrôle de sable……...30

II-6-1- Déterminer de la teneur en eau d'un sable neuf……...30

II-6-2-Détermination de la perte de feu……30

II-6-3- Détermination de la teneur en particules inférieures à 20µm (matière de suspension MS%) ……...30
II-6-4- Détermination de la granulométrie et forme des grains……..……30
II-6-5- Détermination de la morphologie des grains……..34
II -7- Méthode de Contrôle de silicate de soude……..34
II-7-1- Densité et degré Baumé……..35
II-7-2-Viscosité…….36
II-7-2-Dosage de la silice et de la soude des silicates ……..……36
II-7-5- Module……...37
II-7-6-Taux d'incorporation……...37
II-8-Choix des adjuvants……...38
II-8-1-L'argile ……..…….38
II-8-2- Noir minérale…….41
II-8-3- Sucre……..42
III- ANALYSE DU SABLE NEUF……..43
III-1 – Déterminer de la teneur en eau d'un sable neuf……43
III-2-Détermination de la perte de feu ……44
III-3- Détermination de la teneur en particules inférieures à 20µm…….45
III-3-1-Lixiviation ……45
III-3-2– décantations et siphonages ……46
III-4-Détermination de la réparation granulométrique de sable neuf ……...48
III-4-1 -détermination de la fraction basique……51
III- 4-2-détermination de la catégorie……...51
III-4-3- détermination du groupe de sable……...52
III-4-4-détermination de la structure granulaire ……..53
III-4-5- détermination de l'indice de finesse (AFS)……..54

III-4-6- Calcul du diamètre moyen des grains et le degré d`uniformité……...55

III-5-Détermination de la morphologie des grains……..56

III-2- Contrôle de silicate de soude……..58

III-2-1- détermination la densité et degré Baumé…….58

III-2-2-Détermination de la concentration en matières sèches d'un silicate de soude……..59

III-2-3- Dosage rapide de la silice dans un silicate de sodium par voie chimique……..60

III-2-4- Détermination du module d'un silicate de sodium.....…...62

III-3-préparation de mélange de base utilise dans la fonderie…….…….64

III-4-Détermination de résistance au cisaillement……65

III-5-Interprétation des résultats ……..66

III-6-Préparation des mélanges plus des adjuvants débourrage….....69

III-7-Préparation le mélange pour produit les noyaux……..76

Conclusion……78

L'unité fonderie de Berrouaghia (complexe POVAL) est une unité qui fabrique des pièces moulées de fonte et d'acier destinées aux secteurs industriel. Le moulage est un procédé d'obtention des pièces brutes. Après avoir coulé le métal à l'état liquide dans le moule, ce dernier se solidifie par refroidissement et prend la forme de l'empreinte qui existe à l'intérieur du moule. Le noyau à sable est un composant très délicat, puisque' il une fois il est dans le moule, il est entouré du métal coulé. Les sables à noyaux doivent donc posséder **une plus grande réfractairité,** ne doivent **pas dégager beaucoup de gaz,** ils doivent avoir un **décochage facile.** Dans les sables à noyaux **on n'ajoute pas d'argile** parce qu'il diminue la réfractairité et la perméabilité, on ajoute souvent des **agglomératt** (résines, silicates, huiles etc….).

Le produit (noyau au silicate de soude) qui m'a été confié d'étudier connait des grands problèmes de fabrication et dont une bonne proportion des pièces est rebutée à cause de son **débourrage très difficile** selon les statistiques données par le service contrôle.

Le mélange est constitué d'un sable réfractaire granuleux (silice) et d'un liant (silicate de soude) prise à la température ambiante par action du gaz carbonique (CO_2). Le silicate de soude se trouve sous la forme d'un liquide incolore, plus au moins visqueux.

Nous signalons que le silicate de soude d'habitude importé d'Allemagne sous le nom commercial **CARSIL4** est constitué d'un adjuvant inconnu qui facilite le débourrage, qui n'est pas le cas pour notre silicate de soude local qui est dépourvu de ce dernier.

Afin de résoudre ce problème l'unité fonderie de Berrouaghia nous a proposée durant la période de stage de faire une étude complète du sable de noyautage, ainsi que la possibilité d'incorporer dans le mélange divers adjuvants tel que (le sucre industriel, le noir minéral,…), à des taux optimisés.

Donc on s'est concentré sur **l'adjuvant de débourrage** qui a un rapport direct sur le taux de rebut (la casse des pièces à moyenne et faible épaisseur), puisque on utilise souvent le marteau piqueur pour la casse du noyau (mélange sans utilisation d'un adjuvant) lors de débourrage.

I-1-Les déférentes procédés de moulage et noyautage :

Les mouleurs de pièces métalliques disposent de nombreux procédés de fabrication des moules et des noyaux; le choix de l'un ou l'autre est lié entre autres à la forme et la grosseur de la pièce.

Essentiellement il s'agit de placer sable et liant dans un modèle, de faire durcir le tout et D'enlever le modèle. Il est utile de structurer ces types de procédés de façon à mettre en évidence ceux pouvant entraîner des expositions au formaldéhyde. Il y a plusieurs façons de classer les procédés de moulage et de noyautage : apparence physique des sables, état physique des liants, vitesse de prise ou mode prise. Le tableau suivant présente le classement des procédés de moulage et noyautage au sable le plus utilisé dans la fonderie, celui basé sur le mode de prise [1].

Sables Sans prise	**Sables Durcissement thermique**	**Sables –durcissement chimique**		**Sables –prise Physique (sans liant)**
		Autodurcissants	**Prise par gazage (cold box)**	
Liants minéraux seulement Silico-argileux Sable à vert	Liants organique Corning (PF*) Boite chaude (UF*, PF*) Boite tiède (UF*)	Liants organique Alphaste (PF*) Furanniques (PF*, UF*, RF*) Phénolique (PF*) Pepset (PF*) Alkydes Liants minéraux Ciment Silicates de soude Sables liquide Plâtre	Liants organiques Betaset (PF*) Ashland (PF*) Hardox (PF*) Isocet (polyester) Isocure (PU) Rutapox (époxy) Synchro (PS) Polydox-CO_2 (Acrylique) Liants minéraux Silicate de soude-CO_2	Aucun liant Moulage magnétique Congélation Polystyrène

Tableau I-1 : classement des procédés de moulage et noyautage selon le mode de prise [1].

I-1-1- procédés à prise à froid :

Il est noté qu'à l'heure actuelle les procédés aux sables à prise chimique sont en plein développement, particulièrement ceux qui mettent en œuvre des sables autodurcissants.

On rappelle que les sables autodurcissants, sont des mélanges constitués d'un matériau réfractif granuleux et d'un liant faisant prise à la température ambiante à l'aide d'un réfractaire ou d'un catalyseur approprié ; généralement liquide, introduit au moment du malaxage.

Les sables à prise à froid sont des sables traités chimiquement à la température ambiante.

I-1-1-1-Procédé à prise des sables autodurcissants aux résines furanniques :

Le phénomène de prise des sables autodurcissants aux résines furanniques repose à la propriété qu'ont ces résines thermodurcissables de durcir assez rapidement repose température ambiante, en présence d'un catalyseur acide.

La transformation peut être représentée par le schéma ci-après :

Résine liquide —(Milieu acide)→ résine solide + chaleur + eau.

Il s'agit d'une polycondensation à caractère très exothermique libérant de l'eau.

La chaleur produite par la transformation accéléré celle-ci ; avec certaines résines sa vitesse double pour un accroissement de température. Les considérations précédentes permettent de préciser que les facteurs fondamentaux influençant le durcissement de ces résines sont :

- La nature et les propriétés de la résine utilisée ;
- L'acidité du milieu (PH) ;
- Sa température ;
- Sa teneur en eau ;

Ces sont résines synthétiques dans la fabrication desquelles entrent de l'alcool furfurylique et le plus souvent une ou plusieurs autres substances telles que :

- Le formol ;
- Les résines urée – formol ;
- Les résines phénol – formol ;

La proportion d'alcool furfurylique dans ces résines est variable et le plus souvent supérieure à 50٪ afin d'obtenir, à la température ambiante, des vitesses de prises suffisantes.

Les principales raisons de l'emploi de l'alcool furfurylique dans les résines sont les suivantes :

- Sa réactivité est très grand ce qui permet de grandes vitesses de prise.
- C'est un excellent solvant de nombreuses résines (urée -formol, phénol-formol, etc.).
- Il a de bonnes propriétés mouillantes.

Il n'est pas toxique pendant les manipulations ;

- Condensé avec une urée-formol il donne une résine qui, par rapport à cette dernière :
- Est plus résistante à chaud ;
- Dégage moins de gaz ;
- Est plus stable dans le temps ;
- Permet des durées de vie plus longues du sable ;

Ces résines s'emploient à un taux de 1 à1.2 ٪.

I-1-1-2- sable au ciment avec silicate de soude :

Il est utilisé avec succès dans quelques fonderies pour la production des noyaux, ou l'on recherchait à améliorer le débourrage dans tel procédé, on utilise la réaction à froid entre le silicate de soude et le silicate dicalcique d'un ciment artificiel portland cette réaction est compliquée ; pour la résumer, on peut dire que le ciment absorbe en partie l'eau du silicate de soude pour faire prise, laquelle est accélérée par la présence dans ce ciment de silicate di calcique alors qu'il se forme un gel de silice liant les grains du sable entre eux.

D'un ciment artificiel portland de concentration faible en silicate tricalcique mais élevée en silicate dicalcique, le reste étant constitué par du sable siliceux pouvant comporter jusqu'à 1٪ d'agrile.

Si le ٪ de silicate de soude est plus élevé, la réaction précédant est trop vive et peut démarrer durant le malaxage, ce qui donne un mélange précocement durci. Si la quantité de ciment est trop forte, la prise du mélange est plus rapide, mais sa résistance est plus faible.

Additions possibles : brai, alumine, kaolin, sucre, mélasse, etc…..

La durée du malaxage est au maximum 1 min.

Les avantages d'un tel procédé découlent de la méthodeutilisée :

- Matières employées d'un prix peu élevée ;
- Pas de dégagement de gaz lors de la coulée ;

- Pas d'azote dans le mélange (intéressant pour les aciers) ;
- Bonne précision dimensionnelle des pièces ;

Mais on doit noter les inconvénients suivantes ;

- Faible durée d'emploi du mélange après préparation ;
- Malaxage à surveiller = durée et température ;
- Procédé ne convenant pas pour les gros noyaux en raison de faible résistance intérieure de ces noyaux, d'où leur manutention délicate.

Cependant les pièces présentent un bon aspect superficiel.

I-1-1-3- durcissement des sables au silicate de soude :

Les silicates sont solubles dans l'eau ; leur solution constitue un excellent agglomérant pour les sables. Les proportions de silice et de soude sont variables et une solution de silicate de soude se caractérise par le rapport **SiO_2 / Na_2O**

Appelé module et par sa concentration.

Le durcissement est dû à une augmentation considérable de la viscosité de la solution de silicate de soude qui peut se produire, soit :

- Par évaporation d'une partie d'eau ;
- Par augmentation du module, en faisant réagir un produit acide, car à concentration égale, la viscosité est d'autant plus élevée.
- Par absorption d'eau par certaines substances. Les solutions de silicate de soude utilisées ont une densité comprise entre 35° et 58° Baumé (1.320 D^{15}_{15}1.672) leurs modules sont compris entre 2.0 et 3.5.

La simple évaporation de l'eau peut se faire à l'étuve.

I-1-1-3-1-Durcissement des sables par le gaz CO_2 :

On obtient le durcissement des noyaux en quelque secondes en insufflant du gaz carbonique à traverse le sable.

- Le silicate doit avoir un module compris entre 2.2 et 2.7 et une densité comprise entre 43° et 50° Baumé (1.424 D^{15}_{15} 1.530).
- Le pourcentage de silicate incorporé doit être compris entre 2.5 et 3.5% et la quantité d'anhydride carbonique nécessaire peut être comprise entre 1 et 1.5% de la masse du sable.

- La résistance du sable est très grande après la coulée, il en résulte que le débourrage et les décochages sont souvent difficiles ; il faut incorporer au sable des matières organiques qui réduisent cette résistance, telles que des sucres, des mélasses, des huiles, de pétrole etc.....

Ce procédé est très employé car il est très économique et il permet par sa rapidité de la fabrication à grande série.

I-1-1-3-2-Durcissement des sables par le silicium :

Le silicium est apparu comme l'élément donnant les meilleurs résultats en remplacement du CO_2.

Un mélange de sable, de silicate de soude et de poudre de silicium (Ferro silicium à, teneur en silicium supérieur à 90٪en masse) est préparé dans des conditions déterminées (3٪ du silicate, 0.5à0.7٪de silicium) pour confectionner les moules et les noyaux.

Une réaction lente s'opère entre le silicate de soude et le silicium, se traduisant par une augmentation du module du silicate (2.4٪ au départ), ainsi que de sa concentration d'où une augmentation de la viscosité du silicate, la réaction est exothermique d'où une élévation de température et d'une perte d'humidité par évaporation.

Par ailleurs, les dimensions des particules de silicium ajouté sont à surveiller, la vitesse de réaction étant d'autant plus élevée que ces particules sont plus fines.

Comme on vient de le souligner, la réaction est très exothermique et la durée de vie des sables, c'est-à-dire le temps pendant lequel on peut les travailler pour les serrer, est assez bref et, par suite, l'utilisation de ce procédé est limitée.

I-1-1-3-3-Durcissement des sables par le laitier du haut fourneau :

On utilise un laitier de haut fourneau, d'indice de basicité compris entre 1 et 1.5 au sable siliceux on ajoute un silicate de soude (4٪en masse) de module 2, un laitier du haut fourneau (2 à 4 ٪en masse). On observe ainsi un mélange auto durcissant à froid.

On a pu fabriquer des pièces en fonte Ft25 ou Ft30, sont des pièces d'outillage dont la masse s'est échelonnée entre 25 kg et 6.5tonnes, ont été résultats en fonderie à partir de modèles en polystyrène expansé. Dans l'ensemble les ont été très satisfaisants :

- Absence de défauts ;
- Diminution du temps d'ébarbage ;
- Bel aspect de pièces ;
- Absence d'odeur désagréable au moulage et des enduits ;

Un minimum de soin et que le temps d'attente avant coulée doit être suffisamment long.

I-1-1-4-Procédé Roth-Peugeot :

C'est un procédé relativement récent utilisé surtout en noyautage bien que l'on puisse l'appliquer à la fabrication de moules-carapaces pour la coulée de pièces en acier.il se situe entre les procédés de prise à froid et de prise à chaude. La matière de base est un sable de siliceux exempt d'impuretés (argile, matière organique), son originalité réside dans l'utilisation d'une résine synthétique spécialement préparée, permettant un durcissement du noyau dans sa boite avant démoulage et à température ambiante par simple réaction avec du gaz carbonique insufflé.

La résine utilisée est une résine phénoplaste, formophénolique du type novolaque. Comme cette résine est visqueuse, une addition d'eau (20 à 30٪ de la masse de résine) permet d'augmenter sa fluidité pour mieux enrober les grains du sable siliceux. Le durcissement étant instantané, la durée d'insufflation du gaz carbonique est très courte (quelques secondes) et la consommation du gaz est très faible (0.3 à0.6 ٪ de la masse de sable à traiter), après déboitage facile des noyaux ainsi durcis, ces derniers sont d'abord enduits (par pulvérisation ou par trempage) d'une couche habituellement utilisée à la quelle est ajoutée un peu de résine, puis une étuve vers 230 à240°C pendant une demi-heure à une heure pour polymériser la résine. Le procédé Roth-Peugeot présente en effet les principaux avantages suivants :

- Utilisation des matériels et outillages usuels (malaxeurs, machines de noyautage, boite à noyaux etc…) ;
- Facilité de préparation des sables à la résine, leurs caractéristiques se conservant dans un large intervalle d'utilisation, d'où grande souplesse de procédé ;
- Résistance à sec élevée ;
- Durée de cuisson très courte ;
- Pas de reprise d'humidité et conservation parfaite ;
- Facilité de débourrage des noyaux ;
- Bonne précision dimensionnelle ;

Cette technique est adoptée aussi bien pour le noyautage à la main, la noyautage à la machine, l'obtention de noyaux pour grosses pièces.

I-1-1-5-Procédé Silicate-Ester :

La prise est obtenue par action d'un ester de polyalcool sur la soude du silicate .elle s'opère en deux temps :

Hydrolise de l'ester (grâce à la soude) qui se scinde en 2 composant initiaux =acide acétique et glycérol.

L'acide acétique agit sur le silicate pour le gélifier.

Obtient un sous produit = la glycérine qui, étant hygroscopique, peut provoquer une reprise d'humidité au stockage.

Son temps de prise est comparable à celui des résines furanniques, surtout employé en aciéries, parfois en fonderie de fonte, rien ne s'oppose à son utilisation pour le moulage en alliages cuivreux [2].

I-1-1-6-Procédé Fascold :

Les procédés en boite froide à prise rapide sont limités par la faible durée de vie des mélanges, et le risque de prise au cours de l'échauffement est produit au début de la réaction dans le malaxeur. Ce procédé, d'origine anglaise, évite ce risque en mélangeant séparément, dans des mélangeurs continus, d'une part le sable et le catalyseur, d'autre part le sable et la résine, le mélange final se faisant dans la trémie, au dessus de la boite à noyaux.

I-1-1-7- le procédé Ashland :

Est un processus de fabrication de noyau (fonderie) par adjonction à du sable siliceux de deux résines différentes et d'un gaz catalyseur qui durcit rapidement l'ensemble à l'intérieur du modèle [3].

- Inconvénients :
  - Odeurs dues aux amines.
  - Port de gants et lunettes obligations.
  - Aération du chantier et aspiration des gaz.
  - Outillage parfaitement étanche.
- Les avantages :
  - Précision dimensionnelle
  - Rapidité d'exécution
  - Solidité du noyau
  - Bon tenue à la coulée
  - Bon débourrage au parachèvement

- Recyclage du sable après décochage

I-1-2- procédé ‘’boite chaude ‘’, procédé ‘’Corning’’ :

Du nom de son inventeur, ce procédé est apparu en Allemagne dans les années 40, c’est cependant au USA qu’il a eu ses premiers développement avant de revenir en EUROPE. Utilisé à l’origine pour confectionner des carapaces profilées, d’ourson nom américain ″Shell mol ding ″, ce procédé met en œuvre une caractéristique essentielle des résines phénoliques du type novo laqué associées à un durcisseur qui est de fondre rapidement avant polymérisation. A l’état fondu, la résine a une viscosité suffisante pour coller les grains de sable entre eux et former au contact du modèle chauffé une couche régulière. L’excédent de sable, dont la température est inférieure au point de fusion de la résine, peut être utilisé pour le noyau suivant.

Il est unanimement reconnu que le procédé Corning confère aux pièces coulées une qualité et une précision dimensionnelle exceptionnelles. L’absence quasi –totale de défauts sur pièce ainsi que le très bas niveau des rebuts en dont un procédé de choix pour les cas délicats [2].

I-2-Procédé silicate de soude-CO_2 :

Le procédé silicate de soude- CO_2 a pris son essor dans l’industrie de la fonderie au début des années 50.

Les principaux avantages de ce procédé sont :

- Un faible cout de revient, une facilité d’emploi, un liant inorganique réduisant les problèmes de mise en décharge, et un gaz (le dioxyde de carbone) peu coûteux et non-toxique dans les conditions normales d’utilisation.
- Le procédé silicate de soude -CO_2peut être utilisé avec toutes les métallurgies.
- Le mécanisme de prise repose sur la formation d’un gel de silice.

I-2 -1-Chimie du procédé :

Le sable est mélangé à un silicate de soude. Des adjuvants éventuels peuvent être introduits lors du malaxage.

Le sable au silicate est ensuite introduit dans un moule ou une boit à noyau puis serré (à la main ou par soufflage machine).

La prise est assurée par l’insufflation du dioxyde de carboneCO_2 au travers du moule ou du noyau.

I-2-1-1-le silicate de soude :

Les silicates de sodium, Communément appelés ‘’silicate de soude ‘’, sont des sels résultant de l’action de la soude NaOH (base fort) sur l’acide silicique $Si(OH)_4$ (acide faible), ils peuvent être obtenus sous forme de verre,de poudre soluble ou de solution. C’est sous cette dernière qu’ils sont utilisés en tant que liants en fonderie.

En solution, les silicates de sodium de formule générale ($x\ Na_2O$, $y\ SiO_2$, zH_2O) possèdent un pH basique.

Les équations ci-après sont une représentation de l’équilibre existant dans une solution de silicate de sodium :

$$Na_mH_{(4-m)}SiO_4 \longrightarrow m\ Na^+ + [H_{(4-m)}SiO_4]^{m-}$$

$$[H_{(4-m)}SiO_4]^{m-} + m\ H_2O \longrightarrow Si(OH)_4 + m\ OH^-$$

Où m dépend du module du silicate.

II-3-1-2 -Mécanisme de prise :

La prise d’un sable au silicate de soude passe par un processus de gélification du silicate. Deux types de mécanismes peuvent intervenir indépendamment ou simultanément dans cette gélification :

- diminution du pH,
- dessiccation.

Dans le procédé silicate de soude-CO_2l’insufflation du dioxyde de Carbone (CO_2) au travers du moule ou noyau provoque un abaissement du pH. Ceci est dû au caractère acide de ce gaz.

La diminution de pH entraîne la transformation des ions silicates en acides poly siliciquesqui, du fait de leur instabilité, se poly condensent.

Macroscopiquement, la prise se traduit par un fort accroissement de la viscosité dû à la formation d’un gel de silice selon la réaction :

$$Na_2O_2, n\ SiO_2 + 2n\ H_2O + CO_2 \longrightarrow n\ Si(OH)_4 + Na_2CO_3$$

I-2-1-3- Module du silicate de soude:

Le comportement des moules ou noyaux au silicate est en majeure partie fonction du module de ce dernier. Le module est calculé par le rapport moléculaire SiO_2/Na_2O.Les silicates employés en fonderie ont un module compris entre 2.0 et 2.8.

I-2-1-4-Principe de base :

Le procède met en œuvre les constituant suivants :

- du sable
- un silicate de soude.
- du dioxyde de carbone (CO_2).
- des adjuvants éventuels.

Le sable est préalablement mélange au silicate de soude et, le cas échéant, à divers adjuvants. Le mélange est ensuite serré dans un moule ou une boîte à noyau puis gazé au CO_2. La prise débute dès la mise en contact du sable au silicate avec le dioxyde de Carbone.

Il convient de remarquer que le mélange sable-silicate peut prendre après une exposition à l'air ambiant. Ceci est dû non seulement à la présence deCO_2 dans l'atmosphère, mais aussi à une simple déshydratation du silicate.

I-2-1-5- Produits utilisés :

❖ **sable :**

En peut faire appel à différents types de sable habituellement utilisés en fonderie (silice, chromite, zircon), la silice étant le matériau le plus employé.

Il est indispensable que le sable soit employé sec et froid au moment de lapréparation des mélanges. Eneffet, unehumidité trop importante du sable entrave la prise et entraine une baisse des caractéristiques mécanique du moule ou du noyau.De plus, un sable trop chaud favorise la dessiccation du silicate et donc accélérer la prise.

La granulométrie est à adapter aux fabrications selon les règles de moulage/noyage classiques.

Il convient d'apporter une attention toute particulière au taux des particules inferieures à 20µm présents dans le sable. En effet, lorsque cette teneur est très basse, les durées d'insufflation sont relativement longues et la consommation en CO_2 est accrue. A l'inverse, une présence de fines en quantité trop importante diminue les résistances mécaniques et rend le noyau sensible à l'effritement (pour pallier cet inconvénient, on peut augmenter la teneur en silicate mais le débourrage devient alors moins facile).Pratiquement, les sables qui donnent généralement satisfaction ont une teneur en fines comprise entre 0.3 et 0.8٪.

❖ **choix du silicate :**

Le comportement des sables au silicate est en majeure partie fonction du module de dernier. Sur un plan qualitatif, on peut donner les appréciations résumées dans le tableau I-2.

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

Module	Prise	Consommation de CO_2	Résistance	Stockage	Débourrage

Elevé (2.8)	Rapide	Faible	Faible	Difficile	Aisé
Moyen (2.4)	Assez rapide	Assez faible	Moyenne	Moyen	Moyen
Bas (2.0)	Lente	Forte	Élevée	Possible	Difficile

Tableau I – 2 : le module de silicate de soude [3].

Si l'on souhaite stocker longtemps les noyaux ou si l'on veut des noyaux très solides. Dans ce cas, il faut s'attendre à des consommations de dioxyde de carbone plus grandes et à des difficultés de débourrage. Unmodule faible convient par ailleurs bien pour les sables très fins (indice de finesse A.F.S.de l'ordre de 140), car la grande surface spécifique de ces sables favorise la réaction silicate de soude-CO_2 et maintient la consommation de gaz à un niveau normal.

On peut avoir recours à des silicates de module élevé (2.6à2.8) dans le cas de fabrication de noyaux simples en grand série, exigeant une pris rapide, une faible consommation deCO_2 et un débourrageaisé. Dans ce cas, les noyaux restent fragiles et doivent êtreutilisés immédiatement. Dans la majeure partie des cas, lessilicates module moyen (2.4)représentent un compromis satisfaisant à toutes les conditions de fabrication. De ce fait,ces silicates sont les plus utilisées en fonderie.

Le taux d'incorporation se situe généralement entre 2 et 4%. Plus ce taux augmente, plus les noyaux développent des caractéristiques mécaniques importantes et plus le débourrage devient difficile.

La concentration en matières sèches du silicate à une influence primordiale sur la qualité des noyaux obtenus. Le choix de la concentration optimale doit être fait en fonction de nombreux facteurs, dont :

- le module du silicate R.
- le taux d'incorporation du silicate T.
- l'indice de finesse A.F.S. du sable I. La teneur en éléments fins du sable A (argile, noire…).
- la nature et la quantité des adjuvants incorporés.

La figure I-1et le tableau I-3 permettant de fixer a priori et avec une approximation suffisante, la concentration à adopter en fonction des cinq premiers facteurs.

- Exemple de calcule de la concentration optimale en matières sèches (MS%) d'un silicate :

Supposons la composition de sable suivante :

- sable : 80A.F.S. %argile=0.6%
- silicate : R=2.4 : T=3.5%
- sucre : 0.5%
- noir minérale : 0.5%

La teneur en matières sèches est directement donnée par la courbe de la figure I-1, d'après cette courbe, à un module de 2.4 correspond une concentration en matièressèches de 44%.

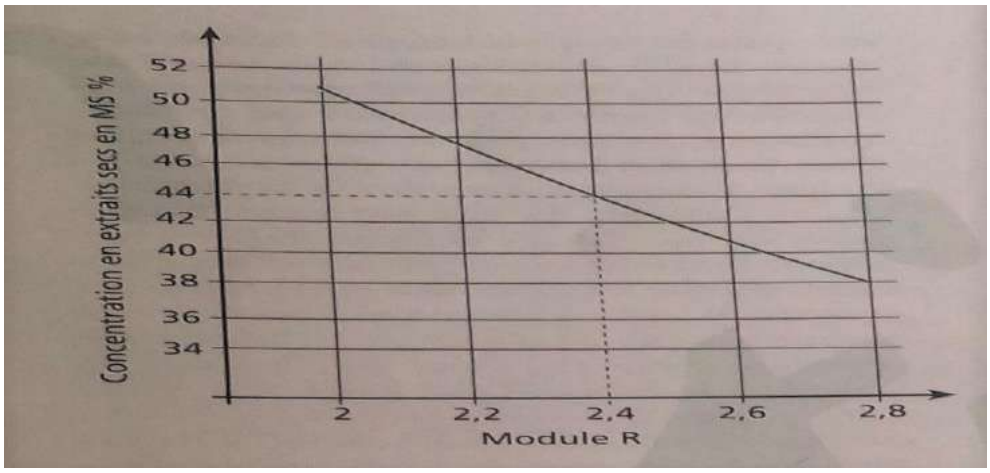


Figure I -1: Détermination de la Concentration [3].

A cette concentration il convient d'apporter des corrections en fonction des facteurs considérés plus haut (voir tableau I-3) :

- -2 pour l'indice de finesse (80 A.F.S.).
- -2pour les éléments fins insolubles (0.5+0.6=1.1 -noire minérale +argile).
- +1 pour le taux d'incorporation (3.5%).

La concentration optimale en matières sèches est finalement de :

MS=44 - 2 – 2 + 1= 41 %

Une autre méthode, sensiblementéquivalente, consiste à employer la formule algébrique suivant :

$$MS\ (\%)=80-16.25\ .R-i/16-4.A+4.S+2.5.T$$

Facteur	A.F.S.	A (%)	S(%)	T(%)

influant	140	60	50	1.2	0.7	0.2	0	0.5	1	3	5
Correction à apporter	-5	0	+2	-2	0	+2	-2	0	+2	0	+5

Tableau I-3 : la concentration en fonction du facteur influant.

A= teneur en éléments fins insolubles (argiles, noir,…)
S= teneur en sucre
T= taux d'incorporation du silicate.

Le réglage définitif de la concentration fait ensuite à l'atelier en fonction de deux critères pratiques :

1. le collage aux outillages après insufflation, qui est l'indice d'une concentration trop faible.
2. les fausses serres en noyautage mécanique, qui sont le signe d'une concentration trop forte.

Pour diminuer la concentration d'un silicate, il suffit de le diluer avec un peu d'eau.

Pour contre lorsque la concentration est jugée trop faible, on peut, sans modifier cette dernière changer le sable (adopter un sable plus fin) ou avoir recours à l'un des artifices suivants :

Ajouter soit un peu d'argile (0.2 à0.5%), soit un peu de noir minéral, soit un peu de farine de silice, mais ces additions doivent être limitées au strict nécessaire car en trop fortes proportions ces produits entrainent une chute sensible des propriétés mécaniques des noyaux après gazage (effritement).

- **Gaz CO_2 :**

Le dioxyde de Carbone, communément appelé ″gaz carbonique ″ est inoffensif dans les conditions d'emploi du procédé, avec une mise en œuvre connectée procède silicate de soude-CO_2, ne doit pas en moyenne accuser des consommations de CO_2 supérieures à 1%en masse de noyaux préparés. Le dioxyde de carbone est le plus souvent livré en bouteilles à l'état liquide. Devant être utilisé à la fonderie à l'état de gaz. La CO_2doit subir une évaporation avant emploi. Cette opération demande l'apport d'une certaine quantité de chaleur.

La détente du gaz s'accompagnant d'un refroidissement d'autant plus intense que cette détente est grande, il peut arriver que le gaz givre à l'intérieur des détendeurs, colmatant ceux-ci de neige carbonique.il faut donc prévoir dans une installation de distribution, des moyens de réchauffage directs de certains de ses éléments.

Ci-après sont présentées plusieurs techniques classiques de mise en œuvre du gaz carbonique :

- réchauffage direct des détendeurs :

La méthode consiste généralement à appliquer une résistance électrique contre les détendeurs. Cedispositif manque toutefois d'efficacité et ne peut convenir que pour des faibles débits (postes de fabrication de petits noyaux par exemple).

- réchauffage indirect :

Cette méthode consiste à faire circuler le gaz dans un récipient chauffé par une résistance électrique située immédiatement avant le détendeur peut être maintenu en fonctionnementpermanent, quel que soit le débit demandé. Cette méthode permet un meilleur réchauffage du gaz que la précédente. Elle autorise donc des débits plus importants.

- vaporisation à l'extérieur des bouteilles :

Avec ce dispositif, le CO_2 sort liquide de la bouteille par l'intermédiaire d'un tube plongeur effectuant les prélèvements par le fond de la bouteille. Le CO_2 liquide est alors envoyé dans un récipient baignant dans un bain-marie chauffé électriquement et régulé par thermostat.il n'y a ainsi pratiquement aucune évaporation dans les bouteilles qui ne se refroidissent que très peu (le givrage extérieur d'une bouteille dans ce type d'installation est le signe d'une anomalie telle que la détérioration ou l'absence du tube plongeur).ce dispositif de vaporisation et réchauffage est nettement préférable aux autres , et doit être utilisé des que les débit sont quelque peu importants ,il suffit à alimenter simultanément plusieurs postes de noyautage ; l'installation complété comprend alors une batterie de bouteilles ,le dispositif de vaporisation , le détendeur haute pression /moyenne pression ,des conduits de dérivation vers les différents détendeur moyenne pression/bassepression, alimentant chacun un poste de noyautage.

- distribution du CO_2 liquide sous pression réduite :

Le conditionnement du dioxyde de carbone en bouteilles conduit à des manipulations multiples et à un transport de matériel de poids mort important par rapport à la charge utile, aussi est-il intéressant pour les grosses installations d'approvisionner le CO_2 liquide en citernes. Cesdernières n'étant pas conçues pour supporter des pressions importantes, le CO_2 y est maintenu liquide sous une pression dequelque bar en stabilisant sa température à une valeur suffisamment basse à l'aide d'un groupe réfrigérateur.

La vaporisation et la détente s'effectuent à l'extérieur comme décrit au paragraphe précédent.

Toute citerne de ce genre doit être installée dans un local spécialement aménagé.

❖ **Adjuvants :**

Divers produits être ajoutés à la composition des sables au silicate. D'une manière générale, ils ont pour but d'améliorer la conservation, les caractéristiques mécaniques.et l'aspect de surface du noyau, ainsi que le débourrage qui est un des points faibles du procédé silicate de soude-CO_2.

- **Noir minéral :**

Employé à des taux compris entre 0.5 et 2%. La noire minérale constitue l'adjuvant de débourrage le plus classique.

- **Farine de bois :**

C'est un adjuvant de débourrage assez efficace pour les alliages à bas point de fusion (cuivreux et légers) ; il a mallersèment l'inconvénient d'abaisser les propriétés mécaniques des noyaux qui sont alors très sensibles à l'effritement.

- **Sucre :**

Le sucre est employé à des taux d'incorporation compris entre 0.3 et 1%. C'est un adjuvant améliorant la résistance des noyaux, leur conservation au cours du stockage, ainsi que leur débourrage. Le sucre améliore également l'aptitude au soufflage de certains sables.

- **Mélasse :**

La mélasse a une action analogue à celle du sucre, mais est moins efficace à taux d'incorporation égal. Son inconvénient majeur est de contenir une quantitéd'eau, variable et généralement inconnue. Qui modifie la contraction dans l'utilisation de sable humide.

- **Glucose de maïs :**

Le glucose de mais a également une action analogue à celle du sucre mais moins efficace, il est au moins aussi couteux que le sucre et présente l'inconvénient de contenir une certaine quantité d'eau nécessitant des corrections très importantes sur la concentration des silicates.

- **Dextrine :**

La dextrine améliore la conservation des noyaux au stockage mais en contrepartie, diminue les propriétésmécaniques. C'est de plus un adjuvant de débourrage médiocre.

- **L'oxyde de fer :**

L'oxyde de fer est employé pour réduire l'abreuvage [3].

I-3- Caractéristique et propriétés des matières premières du moule et des noyaux :

L'évolution des technique ;la concurrence d'autre matériaux ou modes de formage des métaux ;les impératifs économique modernes issus de la concurrence internationale ;les particularités liées aux modes de fabrication :séries, alliage coulés, masse de pièces…; les contraintes engendrées par le souci de maintenir des conditions d'environnement acceptable voire améliorées, etc…,conduisent à un ensemble d'exigences non toujours compatibles, tant sur le plan des matières premières que sur celui des moules et des noyaux finis. On peut encore ajouter, par les facteurs exerçant une inférence sur les caractéristique souhaitées ou nécessaire : la situation géographique de la fonderie ; son environnement ; ses types de fabrication ; son équipement ; sa maîtrise de gammes de procédés détermines ; la qualification de sa maind'œuvre, etc....

- **Facilité et sûreté de l'approvisionnement :**

C'est-à-dire risque minime de non renouvellement des produit pour causes de défaillance d'un fournisseur (donc, si possible, pluralité de fournisseur), de mode de transport spécifique ; pas de produit sensible, soit de par son origine ;pays politiquement instable, soit de par ses autres utilisations : produit stratégique.

- **Faible sensibilité aux impuretés :**

Présentes dans les sables : matières acides ou alcalines, fines.

- **Pas-ou peu- de dégagement de vapeurs toxiques et malodorantes :**

Lors de la préparation ; mais des captages efficaces permettent de combattre ces inconvénients. Non agressivité des produits employés pour la peau, pour les outillage.pas de gaz incommodant(les captages sont, là aussi, possibles) ni de dégagement de chaleur au poste de confection.

- **Facilité de préparation et de mise en œuvre :**

Liant de préférence sous fourme liquide, permettant des dosages précis ; de viscosité modérée pour faciliter l'enrobage des grains de sable ; constituant aussi peu nombreux que possibles, facilement identifiables et à taux d'addition suffisants, quitte à les diluer, pour permettre la précision des dosages et une répartition homogène et aisée dans la masse de sable. Le sable préparé doit être flou, facile à répartir dans le châssis ou la boîte à noyaux.

- **Longue durée de vie :**

Du sable préparé permettant d'assurer une qualité constante des noyaux fabriqués.

- **Vitesse de pris élevée :**

Permettant une rotation rapide des outillages et/ou une réduction des surfaces de stockage pendant la prise.

- **Bonne aptitude au stockage des noyaux :**

Sans reprise d'humidité ni perte de cohésion.

- **Perméabilité :**

Assurant une évacuation facile et rapide des gaz provenant de l'empreinte, du métal, des liants et des additifs éventuels, caractéristique particulièrement importante pour les noyaux.

- **Réfractairité :**

Ou, plus exactement-car la Réfractairité proprement dite est surtout l'œuvre du sable de base-bonne tenue à la chaleur ; par exemple : pas de chute de sable provenant de la dégradation du liant sous l'effet du rayonnement pendant le remplissage.

- **Bonnes caractéristiques mécaniquesà froid ; particulièrement :**

Résistance à la compression suffisante pour les moules. Pour les noyaux on s'attache souvent à l'obtention d'une bonne résistance à la flexion (noyaux entre appuis).Dans le même ordre d'idée ; absence de variation dimensionnelles pendant la prise (retrait ou gonflement).Enfin, et particulièrement avec les fontes à graphite sphéroïdal, les fontes grises : obtention de moule rigides, s'opposant à l'expansion graphitique.

- **Absence de déformationPlus spécialement pour les noyaux** :

Fluage, expansion ou retrait pendant la coulée et la solidification.

- **Pas de réaction du matériau du moule ou des noyaux avec le métal liquide :**

Ni gerce, ni abreuvage, ni piqûre (azote, hydrogène), ni soufflure par dégagement gazeux ou de vapeur d'eau ; pas de racarburation ou décarburation superficielle ; pas de dégénérescence du graphite des fontes sous l'effet de certains composants des liants : soufre dans les catalyseurs des résines, par exemple.

- **Facilité de décochage ou débourrage :**

Particulièrement pour les noyaux très enfermés ou oblongs.

Pas de dégagement de vapeur nocives ; production modérée de poussières**.**

Récupération (sable chimique) ou régénération (sable argileux) facile**.**

- **Compatibilité entre eux des systèmes liants employés :**

Pas de forte accélération ou d'inhibition de la prise par mélange de sable de valeurs PH trop différentes.

Mise en décharge non susceptible de pollution des nappes phréatiques.

On pourrait en citer d'autres, comme l'aptitude au stockage des liants, les modalités de conservation liées aux risques d'incendie, d'explosion…, la protection des procédés par des prises de brevet limitant ou supprimant toute concurrence, etc. Mais l'énumération ci-dessus est déjà bien assez longue sans l'étendre davantage [3].

I-4- Mise en œuvre :

I-4 -1- Préparation des mélanges :

Le procédé silicate de soude CO_2 nécessite l'emploi d'un sable sec et froid.Les silicates de soude étant relativement visqueux (surtout ceux de haut module).Il est nécessaire de disposer d'un malaxage efficace. Cette nécessité renforcée lorsque l'emploi d'adjuvants pulvérulents est requis. D'une manière générale, plus il doit être malaxé efficacement.

Il faut prendre garde à ce que le mélange sable+silicate ne s'échauffe pas au cours du malaxage car il prendrait alors trop de corps par suite d'évaporation d'eau. En saison chaude il peut être utile d'ajouter un peut d'eau au mélange (0.2%par exemple), oumieux, utiliser un silicate moins concentré.

Dans les installations importantes, la meilleure solution consiste à doser le silicate à l'aide d'une pompe volumétrique régulièrementcontrôlée. Dans le cas ou le dosage des produits sont effectué par opérateur, ce dosage peut poser quelques problèmes. En effet, le silicate adhéré facilement aux récipients à l'air et entraîne ainsi une diminution de leur volume utile. Cet inconvénient est supprimé si le récipient est taré systématiquement avant un dosage, ou encore si on le plonge dans un bac à eau entre chaque dosage, pour cette dernière solution, il faut évidemment prendre la précaution d'égoutter soigneusement le récipient au moment de l'emploi.

I-4-2-Modelé et boites à noyaux :

On ce qui concerne les modelés et les boites à noyaux.il est nécessaire d'utiliser des outillages assez soignés. Eneffet, le sable durci n'ayant pratiquement aucune élasticité, le moindre contre empêche le démoulage de la partie de noyau correspondante.

Les modèles en bois doivent présenter des surfaces lisses, propres et convenablement vernies.

I-4-3-serrage du sable :

Un serrage insuffisant donne des noyaux fragiles et sensibles à l'effritement. En noyautage machine .la pression de tir se situe généralement entre 6 et 7 bar, et la ventilation des boites doit être correctement assurée.Si l'on souhaite obtenir un sable très dense, il est recommandé de fixer sur la boite noyaux un petit vibrateur pneumatique que l'on fait fonctionner pendant le tir. Cette méthode permet souvent de gagner 10%environ sur la densité des noyaux.

I-4-4-gazage :

La prise du sable au silicate s'effectue grâce à une neutralisation partielle de la soude par le gaz carbonique(CO_2).Cette réaction demande un certain temps, fonction surtout de la

température, de la composition du silicate, et de la surface d'échange entre ce dernier et le (CO_2 (c'est-à-dire la surface spécifique des grains de sables). Ce temps de réaction, peu sensible à la vitesse du courant de gaz carbonique, varie très peu avec la pression d'insufflation, pour autant que celle-ci atteigne une valeur minérale telle que l'air du noyau soit chassé dans un temps court par rapport au temps de prise.La pression d'inflation, mesurée à l'arrivée du gaz sur lenoyau, doit être plus forte pour les sables fins que les sables grossiers avec un sable de finesse moyenne, une pression convenable de l'ordre de 2 à3 mbar par centimètre d'épaisseur de noyau à traverser.

Un excès de pression se traduit par une perte de gaz, aggravée par d'éventuelles fuites.

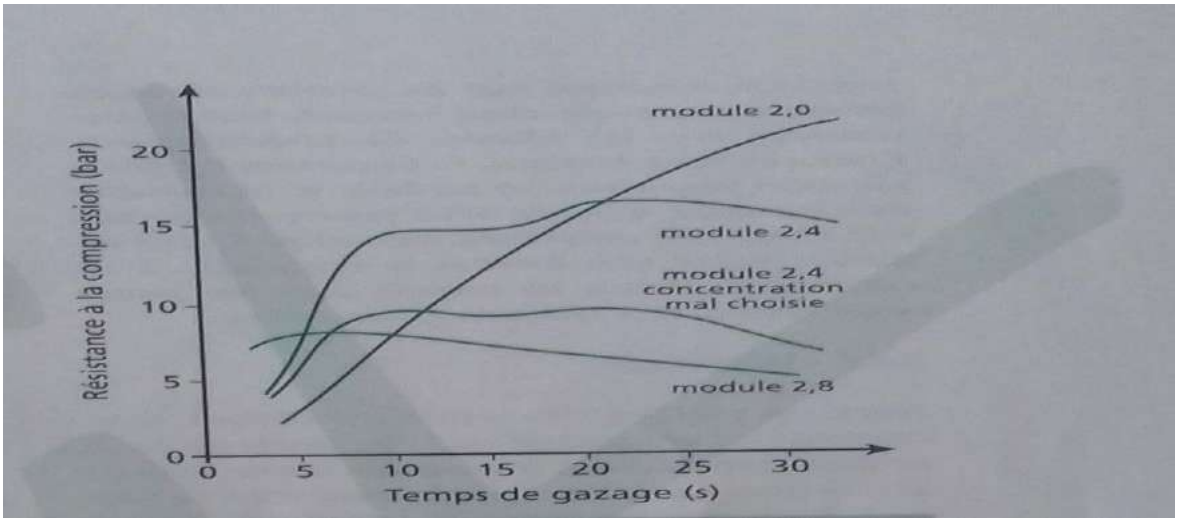


Figure I- 2 : Résistance des noyaux en fonction du temps d'insufflation pour des silicates de modules différents [3].

La figure I-2 représente l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps de gazage, pour des silicates de modules différents. On remarque que les courbes obtenues présentent souvent deux maximums, notamment avec les silicates de module moyen entre ces deux maximums, la dispersion est généralement importante d'autre part pour des durés d'insufflation comme produit à des points situésau -delà,de ces maximums, préciser que le phénomène de sur gazage apparait avec pour conséquence une chute des propriétés mécaniques (effritement).Aussi, afin d'éviter le surgazage, il est essentiel de durcir les noyaux dans des temps assez courts, de l'ordre de 10 secondes.

I-4-5-Déboitage :

Avec un mélange de sable au silicate bien composé et un gazage au CO_2 convenable, il ne doit normalement se produire aucune collage aux boite , en effet , si ce phénomène se produit , bien que les noyaux soient totalement durcis, c'est que le silicate employé est trop dilué ou

de module trop élève .Parcontre, si au débourrage un noyau présente une zone incomplètement durcie, le collage à cet endroit est simplement le signe d'un sous gazage local,

En noyautage mécanique, on constate parfois un collage en regard des buses de tir quand le sable est projeté trop directement sur les parois. Ce défaut peut êtreélimine en révisant, quand cela est possible, la conception de la boite.

Lorsque le collage ne peut être évité par les moyens décrits plus haut, le recours à des agents de débourrage est la seule solution.

I-4-6-Enduisage :

Les moule ou noyaux en silicate peuvent être enduits par des couches à l'alcool, ace sujet, il faut cependant noter que ce type d'enduits pourrait à l'avenir être abandonné pour des questions d'ambiance aux postes de travail.

Pour des raisons évidentes de reprise d'humidité, les couches à l'eau sont à proscrire

I-4-7-stockage des moules ou noyaux :

Le stockage des moule ou noyaux en sable au silicate est délicate en raison d'une tendance à la reprise d'humidité qui engendre une fragilisation du sable aggloméré. Plus particulièrement, les noyaux ou moules confectionnés à partir de silicate de bas module (R=2, par exemple) perdent rapidement de leur cohésion en atmosphère humide.

Pour les mêmes raisons de reprise d'humidité, le séjour prolongé de noyaux en silicate dans un moule en sable à vert après remmoulage est à éviter [3].

II -Généralité sur le sable :

II- 1-Origine des sables :

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

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

Un utilisateur a toujours avantages à bien connaitre la carrière d'où provient le sable qu'il utilise. Il devra non seulement s'assurer des qualités du sable, mais aussi vérifier que le gisement est capable de fournir régulièrement cette qualité. C'est pourquoi il est préférable de ne retenir que des couches très épaisses [4].

II-1-1- Sable à base de silice (sable neuf) :

La base des sables siliceux est la silice SiO_2 (quartz)

Le sable neuf quartzeux doit correspondre aux exigences suivantes:

- % SiO_2 % mini98;
- % CaO+% MgO 0.5 à-1% au maxi;
- % K_2O+%Na_2O 0.1-0.5 au maxi;
- %Fe_2O_3+%Al_2O_3 0.5% au maxi;

Ces impuretés abaissent la réfractairité du sable.

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

Suivant le (tableau II-1) la silice Sio2 peut être suivant les conditions de température et de pression, cristallisée sous forme de quartz α, β, de tridymite, ou cristobalite [6].

Température	Cristallographie de SiO_2	Dilatation
Ambiante	quartz α	-
173°C	quartz β	1.5%
867°C	tridymite	-
1470°C	cristobalite	3- 5%
1730°C	Silice amorphe	-

Tableau II-1:transformation de la silice en différents forme selon la température.

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

En fonction de la température, le quartz α se transforme en quartz β à partir de 573°C (anomalie bien connue de la dilatation de la silice). Cette transformation et réversible.

Dilatation de 1.5%

Le quartz β se transforme en suite en tridymite aux environ de 867°C.

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

Dilatation de 3 à 5 %

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

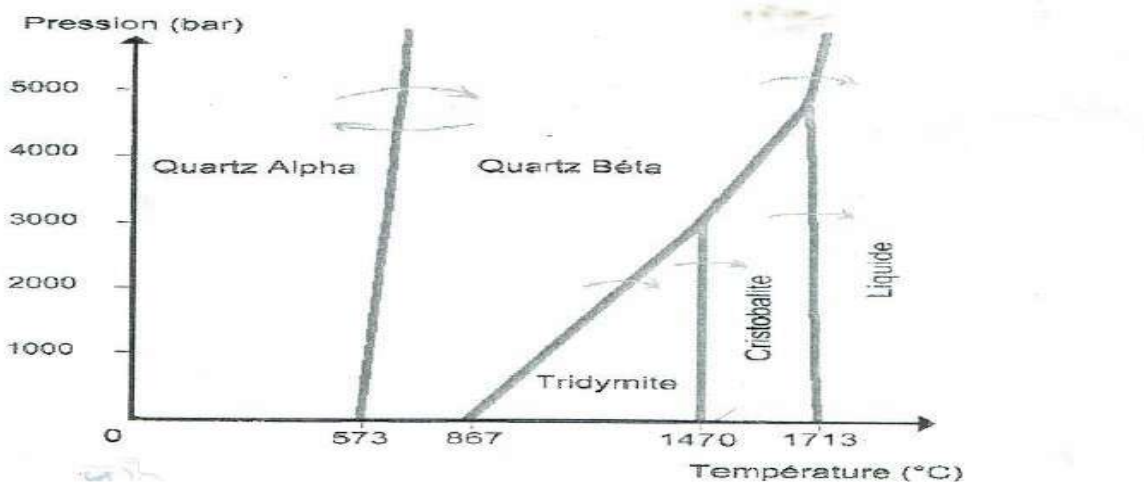


Figure II-1: Transformation de quartz suivant les gradients de température du moule [5].

II-1-2- Sable à base de chromite :

Est le mélange d'oxydes de fer et de chromeFeO_3, 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.

II-1-3- Sable à base de L'olivine :

Est le mélange de silicates de fer et de magnésium SiO_4M$g_2$et SiO_4Fe_2. Les principaux gisements sont en Norvège. Ces sables sont également obtenus par des traitements de broyage et de classification.

II-1-4- Sable à base de zircon :

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

II-1-5- Sable à base des silice-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 mellites et sillimanites,** obtenues par synthèse, qui contiennent respectivement 72 et 63 % d'alumine [6].

II-2- Sables de fonderie :

Pour la totalité des productions de fonderie de fonte et d'acier. Apres l'opération de démoulage des pièces métalliques, une grande partie des sables est réutilisée sur place par régénération, tandis que les sables usés de fonderie résiduaires nommés également sables rejetés ou vieux sable doivent être éliminés.

Le sable de fonderie est un sable propre, de granulométrie uniforme, ayant une haute qualité qui est lié par un liants pour former des moules des pièces en métal ferreux ou non ferreux.

II-3-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 1220°C ;
- au manganèse ;
- au carbone des fontes et des aciers provoquant la décarburation superficielle des moulages.

II-3-1-Propriétés physiques:

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

a. Propriétés physiques à froid:

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

La masse volumique absolue pa peut varier de 2,5 à 5 g/cm3 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.

Exemple:

Un sable de quartz de masse volumique absolue 2,65g/cm^3et présentant une masse volumique en vrac de1, 6 g/cm3 une capacité de 60,4% et une porosité de 39,6%.

La compacité et la porosité sont largement sous la dépendance de la répartition granulométrique et de la forme des grains [7].

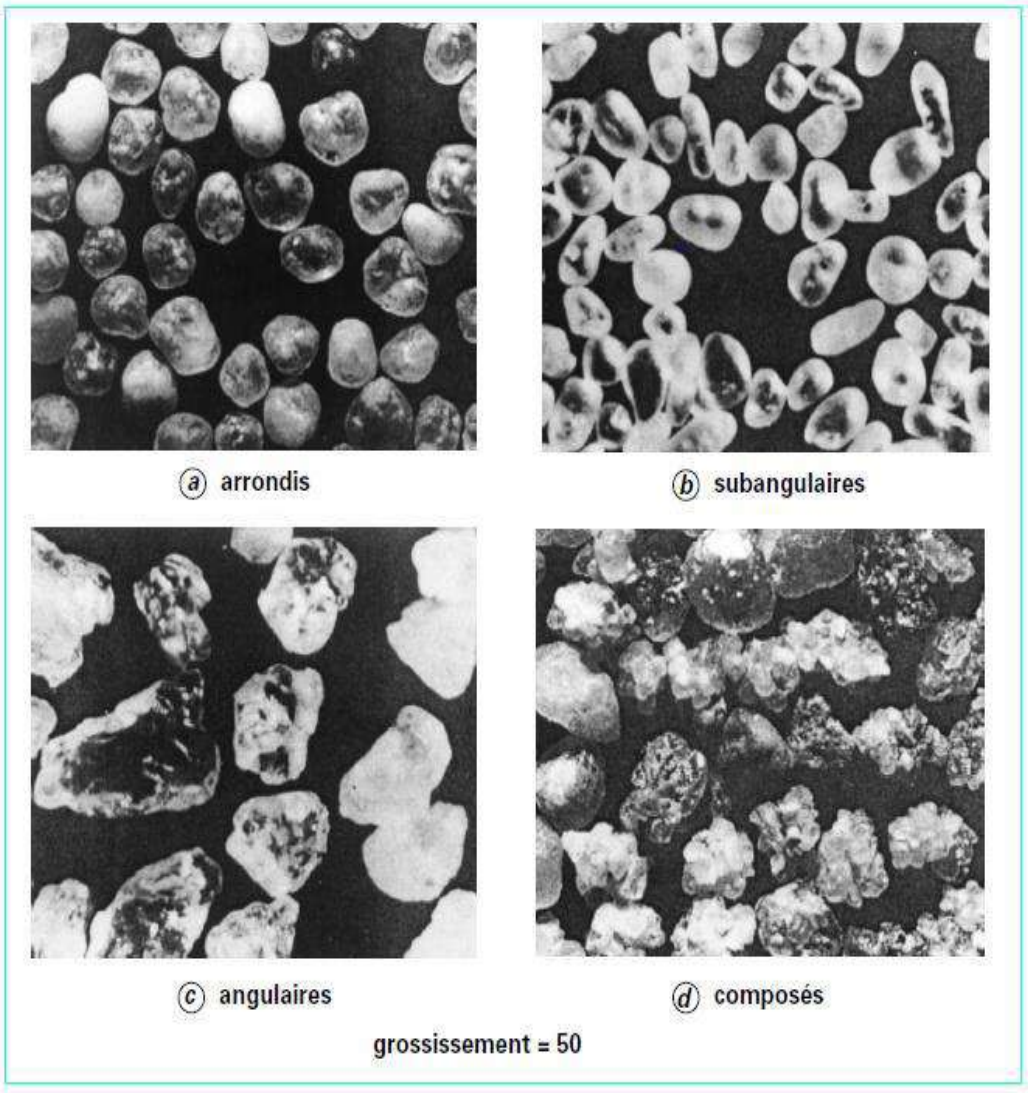


Figure II - 2 : Formes de grains [1]

b. 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 II-3. 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 α en quartz β à573 °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. [8].

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.

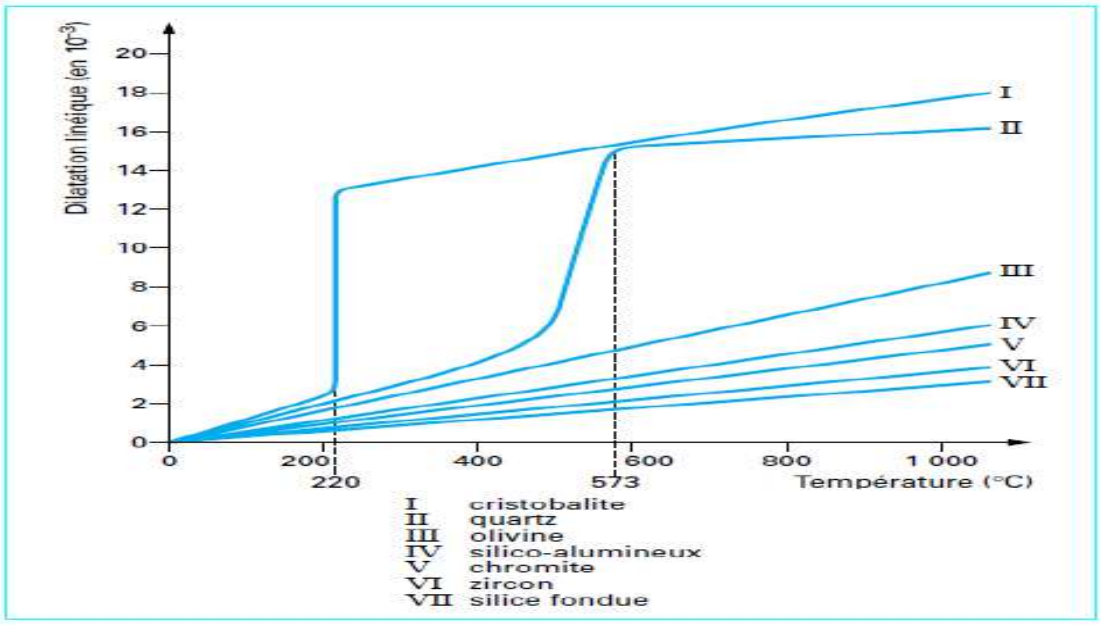


Figure II - 3 : Courbes de dilatation de différents sables [9]

❖ **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 (figure II- **4**).

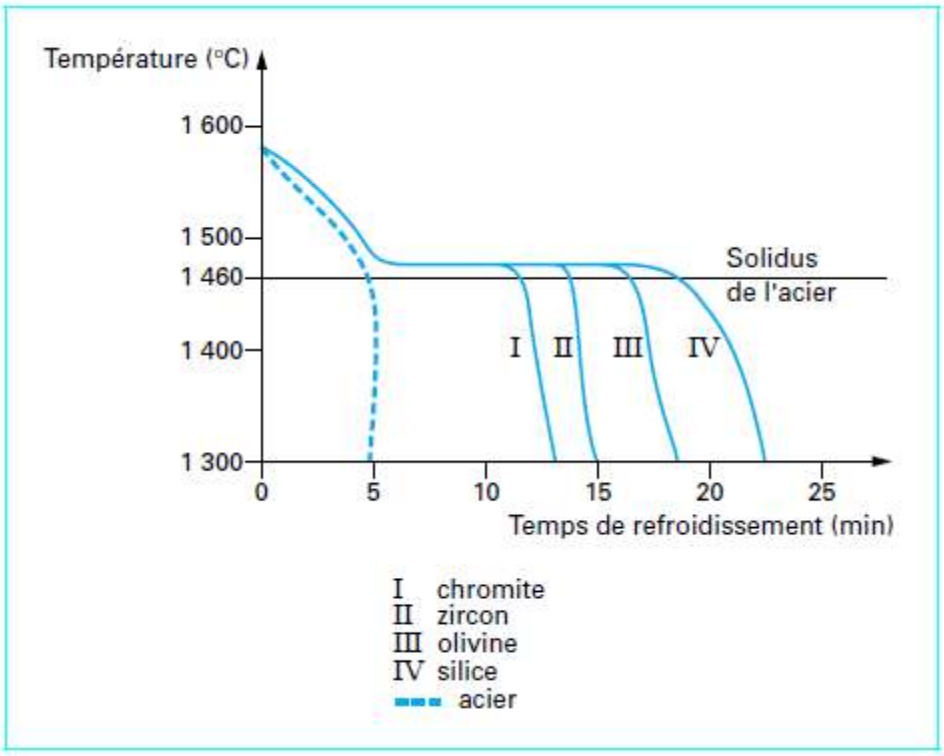


Figure II 4 : Courbes de refroidissement du centre d'une sphère d'acier de 15 cm de diamètre, coulée dans différents sables [10].

❖ **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.

Les principales propriétés des matériaux disponibles sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau –II- 2- Propriétés des sables de base disponible

Propriété	Silice	Chromite(1)	Olivine(1)	Zircon	Chamottes et mellites(2)
Disponibilités	Très abondante	limitée	Limitée	limitée	limitée
Cout	Très bon marché	élevé	moyen	élevé	Moyen à très élevé
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.65	4.3 à 4.5	3.2 à 3.6	4.4 à 4.7	2.5 à 2.7
Température de fusion (°C)	1730	1760 à 1980	1540 à 1760	2000 à 2200	1300 à 1800
Stabilité	Bonne	Bonne	Bonne	excellente	Moyenne à bonne
Dilatation linéique à 1000°C. (en10^{-3})	16	**4**	**8**	**3**	**5**
Conductivité thermique	Faible	Très faible	moyenne	Très élevée	Faible
Mouillage par le métal liquide	Aisé	difficile	possible	difficile	difficile
Acidité-basicité	Acide	Neutre-basique	basique	Acide-neutre	neutre
Masse volumique en vrac (g/cm3)	1.55à1.60	2.7	1.9	2.8	1.45à1.55

II-4-Méthodes de contrôle de sable:

II-4-1- Déterminer de la teneur en eau d'un sable neuf :

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 [11].

II-4-2-Détermination de la perte de feu :

La perte au feu doit être inferieur à 1%, des pertes au feu plus élevées indiquent la présence des substances nocives, par exemple: des substances organiques [12].

II-4-3- Détermination de la teneur en particules inférieures à 20µm (matière de suspension MS%) :

On peut déterminer d'abord la teneur en éléments inferieurs à 20 µm.
Par définition, on parle d'argile pour cette fraction. En fait, la présence d'argile est peu importante et il s'agit généralement de poussières de silice ou d'oxydes métalliques (dans le cas de sables lavés et séchés).

II-4-4- Détermination de la granulométrie et forme des grains:

Il ne faut pas oublier le contrôle réception de sable serra différents selon que le sable est utilisé uniquement en moulage ou également en noyautage.

Etant donné que la plupart du temps il est utilisé pour les deux, les contrôles seront donc orientés vers un sable de noyautage car les caractéristiques demandées sont beaucoup plus sévères.

Nous examinons donc les contrôles par ordre d'importance.

- **Examen visuel:**

A la réception du sable, la première chose à faire est de vérifier si le sable est humide ceci peut se produire lors du transport du sable.

La présence d'eau n'est pas gênante si le sable est uniquement utilisé pour le sable de moulage à vert .On peut également vérifier visuellement la présence d'impuretés.

En dernier point, la température doit être vérifiée. Un sable trop chaud peut avoir des conséquences sur la prise des résines de noyautages s'il est rapidement.

- **Granulométrie:**

La méthode généralement employée en fonderie est la méthode AFS (Américain Foundrymen's Society). Cette méthode consiste à faire passer 100g de sable séché préalablement lavé afin d'éliminer les grains dont le diamètre est inferieur à 0,020mm ou < 20 µm, par vibration dans une série de 11 tamis superposé d'ouverture de mailles définies dont les dimensions des ouvertures de mailles sone décroissantes.

Après le tamisage, on obtient le résidu du sable dans chaque tamis et dans la cuve, on pèse ces résidus et puis on détermine les caractéristiques granulométriques du sable.

Les graphes suivants montrent quelques granulométries rencontrées en fonderie française.

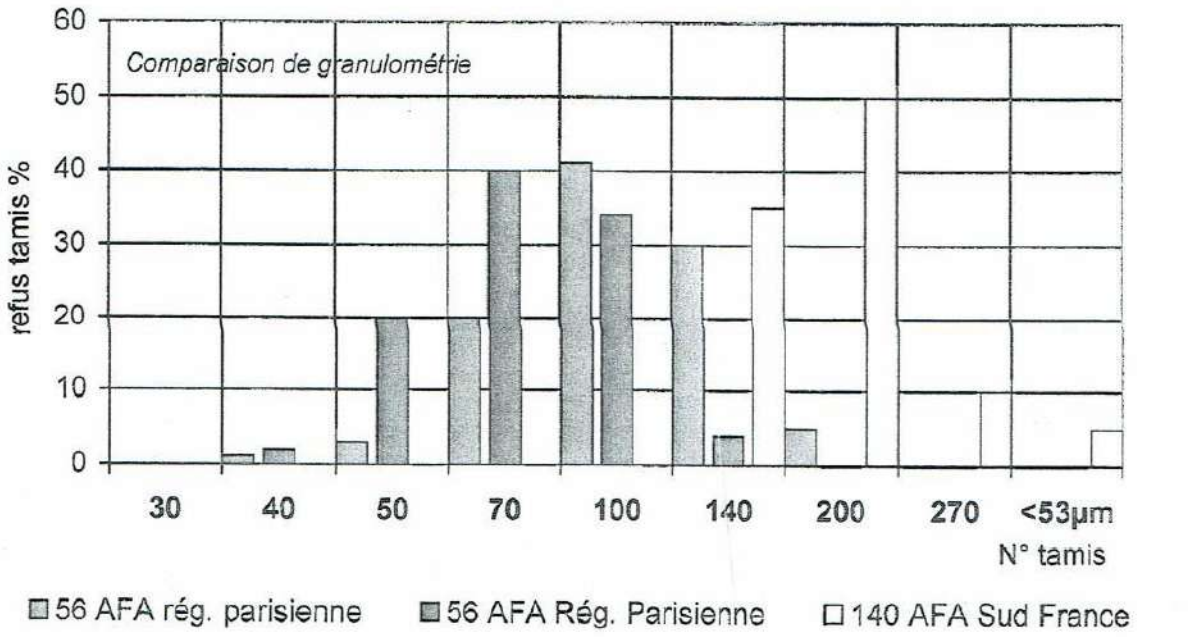


Figure II-5: comparaison des granulométries d'un sable de fonderie [13].

On constate que les sables siliceux les plus utilisés en fonderie d'indice de finesse autour de 55AFS, n'ont pratiquement pas de fraction intérieure à 80µ.

Par contre, dans certaines applications, on utilise des sables très fin d'indice de finesse de l'ordre de 140 AFS.

Dans ces sables, les fractions de finesse sont plus importance.

- **Détermination de l'indice de finesse (AFS) :**

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

L'indice de finesse est calculé selon la formule suivante:

$$\mathbf{AFS} = \Sigma \boldsymbol{ai} \times \mathbf{ri} / \Sigma \boldsymbol{r}$$

Tableau II-3 : Relation entre indice de finesse et dimensions moyennes des grains en mm.

Métal coulé	**Type de pièce**	**Caractéristiques du sable**	
		AFS	Dimension moyenne des grains en mm
Acier	Grosses et moyennes pièces petites pièces	<50 50 à 70	0,225 min 0,255 à 0,180
Fonte grise	Grosses pièces moyennes pièces petites pièces	40 à 70 70 à 100 100 à 200	0,360 à 0,180 0,180 à 0,125 0,125 à 0,060
Alliage cuivreux	Grosses pièces moyennes pièces petites pièces	100 à 140 140 à 200 100 à 200	0,125 à 0,085 0,085 à 0,060 0,085 à 0,060
Alliage légers	Grosses pièces moyennes pièces petites pièces	140 à 200 140 à 200	0,085 à 0,060 0,085 à 0,060

- **Détermination de la fraction basique :**

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

- **Détermination de la catégorie :**

Le sable de la catégorie b, le résidu du sable dans le tamis inferieur extrême de la fraction basique est plus grand par rapport au résidu du sable dans le tamis supérieur extrême.

- **Détermination du groupe de sable :**

Le groupe du sable est déterminé d'après le numéro du tamis moyen de la fraction basique. En fonction de la grosseur des grains de la fraction basique, les sables sont divisés en 08groupe universels représentés dans (le tableau II - 3).

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

Tableau II-4: les groupes du sable.

❖ **Détermination du diamètre moyen des grains et le degré d'uniformité :**

Sont déterminés à l'aide de la courbe des valeurs cumulées de la composition granulométrique du sable. Cette courbe est construite d'après les coordonnées suivantes:

- l'axe des abscisses le logarithme décimale de la grandeur des mailles des tamis.
- l'axe d'ordonnés la quantité du sable en (%) qui pénètre à travers le tamis envisagé (qui se trouve dans des tamis inferieurs par rapport au tamis envisager) [5].

Nous traçons une horizontale du point 50% jusqu'à la courbe S, ensuite nous abaissons une perpendiculaire sur l'axe des abscisses, ainsi nous déterminons le diamètre moyen.

Pour la détermination du degré d'uniforme C on calcule d'abord 2/3 dm et 4/3 dm. Puis On détermine Log 2/3 dm et Log 4/3 et on établit ces points sur l'axe des abscisses, on rétablit deux perpendiculaires jusqu'à la courbe et puis en trace deux ligne horizontales jusqu'à l'axe d'ordonnés, on obtient 2 points A et B, et on calcule le degré d'uniformité.

II-4-5- Détermination de la morphologie des grains :

La forme des grains rencontrée dans les carrières est généralement entre ronde et angulaire.

La forme des grains a une grande importance sur le comportement du sable lors de la coulée (dilatation plus importante des grains angulaires).

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

La forme des grains a une grande importance sur le comportement du sable lors de la coulée (dilatation plus importante des grains angulaires).

L'angulosité est estimée grâce au rapport de la surface spécifique réelle et de la surface spécifique théorique.

II -5- Méthode de Contrôle de silicate de soude :

Le silicate de soude est une substance minérale amorphe constituée des proportions variables de silice, de soude et d'eau, on le trouve dans le commerce sous la forme d'un liquide incolore plus ou moins visqueux selon sa composition il est habituellement défini par son module ou rapport pondéral $Si0_2/Na_20$ et sa concentration ou teneur en extraits secs : $SiO_2 + Na_20$ %, ainsi le silicate ayant la composition suivante :

- $Si0_2$ ..... 30 %
- Na_20 ..... 10 %
- H_2O 60%

Est un silicate de module 3, contenant 40 % d'extraits secs.

L'agglomération du sable par le silicate se fait de la manière suivante : on incorpore quelques pourcents de silicate au sable de façon à bien enrober les grains; le mélange obtenu est ensuite serré dans le moule où la boite à noyaux et en provoque une très forte augmentation de viscosité du silicate qui, passant à l'état solide, durcit le mélange.

Le silicate a en effet la propriété de présenter une viscosité d'autant plus grande qu'il est plus concentré et que son module est plus élevé.

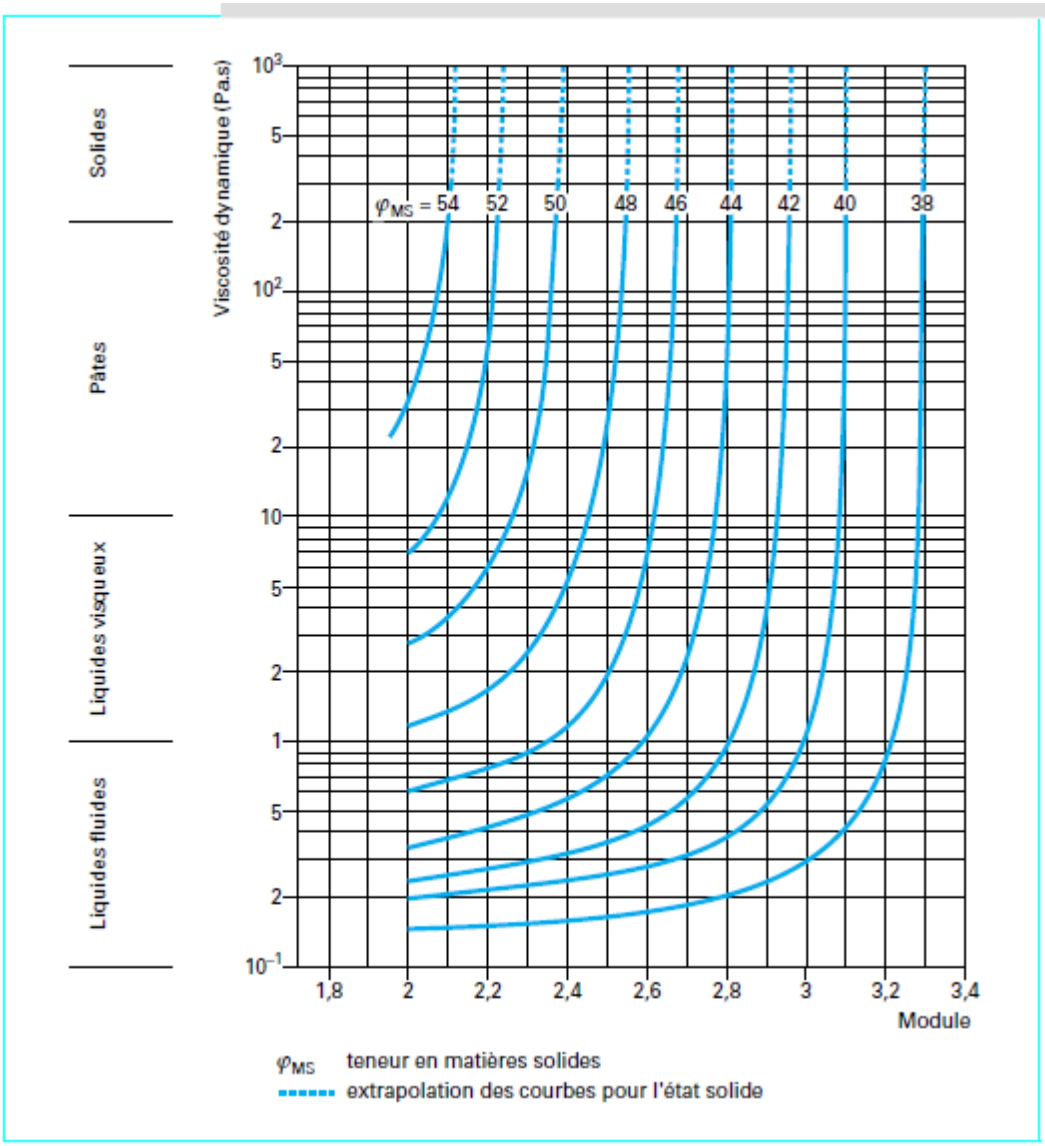


Figure II-6 : Viscosité du silicate de soude en fonction du module et de la teneur en matières solides [9].

II-5-1- Densité et degré Baumé :

Rappelons tout d'abord qu'indiquer le degré Baumé d'un liquide n'est qu'une façon particulière d'exprimer sa densité, degré Baumé et densité sont d'ailleurs reliés par la relation :

degré Baumé = 144,32 (densité-1 / densité)

Plusieurs fabricants définissant de façon courante leurs différentes qualités de silicate par le degré de Baumé, il est utile de contrôler ce dernier par une simple mesure de la densité, ce qui est très facile à réaliser : emploi d'un densimètre ou pesée d'un flacon de volume parfaitement connu.

La densité est particulièrement sensible à la concentration ou teneur en extraits secs du silicate; sa mesure est donc intéressante pour déterminer la concentration. Il faut toutefois veiller à bien opérer sur des produits (notamment les silicates concentrés très visqueux) ne contenant aucune bulle d'air [2].

Notons par contre que la densité varie très peu avec le module.

II-5-2-Viscosité :

Qui dépend à la fois de la teneur en matières solides et du module ; à teneur en matières solides constante, la viscosité augmente avec le module, et à module constant avec la teneur en matières solides (voir la figure II-6) [10].

II-5-3-Dosage de la silice et de la soude des silicates par voie chimique :

Il est souvent nécessaire de déterminer rapidement et avec une précision suffisante (+0,1) le module d'un silicate de soude et, en particulier, le dosage quantitatif des éléments alcalins n'est généralement pas réalisable par des moyens simples. C'est pourquoi les auteurs ont établi un procédé qui peut être employé à tout moment, à peu de frais, dans le laboratoire d'exploitation le dosage de Si02 et de Na20 s'effectue ainsi par voie titrimétrique en 30 min.

❖ Dosage de Na_2O :

Ce dosage s'effectue par titrage direct avec de l'acide chlorhydrique 0,1 N.

Le titrage ne présente pas de difficulté. La méthode est valable pour le dosage de la teneur en Na_2O dans le silicate de soude pour le contrôle courant dans les laboratoires de fonderie et quelle que soit l'importance de cette teneur.

L'éprouvette prélevée pour le dosage doit correspondre à un échantillon moyen, l'alcali de silicate est neutralisé par titrage avec de l'acide. Les réactifs nécessaires sont l'acide chlorhydrique 0,1N et l'indicateur au rouge de méthyle (dissoudre 0,1 g du rouge de méthyle dans 60 cm3 d'alcool éthylique à 95% et étendre avec 40 cm3 d'eau).

La teneur en Na2O, exprimée en % en poids, est obtenue selon la formule

Suivante :

$$\% Na_2O = b \times F \times 100/a.$$

- a = poids de l'échantillon (mg).
- b = Consommation de Hcl 0,1N.
- F = Facteur de conversion de Hcl en Na_2O = 0,031.

❖ Dosage de la teneur en SiO_2 :

Le dosage de la teneur en $Si0_2$ s'effectue dans une solution neutralisée de silicate de soude, à laquelle il faut ajouter une quantité donnée de fluorure de sodium, cette addition provoquant la formation de fluosilicate de sodium, la soude libérée, selon la réaction :

$Na_20SiO_2 + 6\ NaF + 3H_2O$ —» $Na_2SiF_6 + 6\ NaOH$

La teneur en SiO_2 se calcule selon la formule :

$$\% SiO_2 = b \times f \times 100/a$$

- a = échantillon
- b = consommation d'acide chlorhydrique en cm3
- f = facteur de conversion de Hcl en $Si0_2$ = 0,01502.

II-5-5- Module :

Le comportement des noyaux au silicate est en majeure partie fonction du module de ce dernier, sur un plan qualitatif, on peut donner les appréciations suivantes résumées dans ce tableau.

Tableau II-5 : le module de silicate de soude

Module	Prise	Cons.de CO_2	Résistance	Stockage	débourrage
Elevé (2.8)	Rapide	Faible	Faible	Impossible	Facile
Bas(2)	Lente	Forte	Elevée	Possible	Difficile
Moyen (2.4)	Assez rapide	Assez rapide	Moyenne	Moyen	Moyen

.

II-5-6-Taux d'incorporation :

Le taux d'incorporation se situe généralement entre 3 et 5%. La solidité des noyaux Croît avec ce taux, mais il en est malheureusement de même des difficultés de débourrage. C'est pourquoi le recours à des taux élevés ne peut être envisagé que lorsque le dé- bourrage ne pose aucun problème, dans le cas contraire limiter le taux à 3% et incorporer un adjuvant de débourrage organique tel que le sucre qui améliore les caractéristiques mécaniques des noyaux.

II-8-Choix des adjuvants :

Le silicate de soude, contrairement aux liants organiques, est un liant gardant ses propriétés de cohésion après chauffage à des températures élevées. Employé seul, même à des pourcentages de l'ordre de 2,5 %. Il confère au sable une résistance résiduelle après chauffage et refroidissement incompatible avec les conditions de débourrage exigées pour les noyaux. Il est donc nécessaire d'avoir recours à des adjuvants destinés à faciliter les opérations de décochage.

Rappelons, d'autre part, qu'avec le silicate de soude employé seul on obtient des noyaux insuffisamment solides et sensibles à l'effritement; il est donc presque toujours indispensable d'incorporer un adjuvant destiné à supprimer ces inconvénients.

- ✓ **Adjuvants de débourrage:**

Leur addition est souvent nécessaire pour faciliter la destruction des moules et des noyaux après la coulée, certains liants minéraux, tels les silicates alcalins et les ciments, conservant une résistance résiduelle importante.

II-8-L'argile :

➢ Qu'est-ce que l'argile? :

Il s'agit d'une argile dont le constituant principal est la montmorillonite. La montmorillonite : constituant principale : silicate d'alumine hydratée ou de magnésie hydratée. La formule chimique des argiles ordinaires : Al_2O_3. $2Si o_2$. NH_2O.L'alumine hydratée combinée à la silice donne de l'argile de couleur blanche, douce ou toucher, très réfractaire. Suffisamment mouillée, elle forme une pate liante facile à façonner **[15].**

L'eau contenue dans l'argile se présente sous deus formes :

a-Eau de constitution :

Donne la vie à l'argile et ne disparait qu'a plus de 300°C au de-de là de cette température, elle perd toutes ses qualités utiles de moulage, devient morte, le sable est dit brulé .Il conviendra de ne pas dépasser la température critique au cours de l'étuvage des moules.

Au cours de la coulée, l'argile qui est au contact du métal se déshydrate et perde son pouvoir liant .C'est cette partie inutile qu'il faut éliminer par dépoussiérage et remplacer par une addition de bentonite.

b- Eau d'addition ou d'imbibition :

Qui conditionne l'humidité. Une plus au moins grande humidité donnera une moins à la plus grande plasticité au sable.

En augmentant l'humidité, l'argile se dilue, et le sable devient boue et perd ses qualités.

Les sables de moulage seront donc préparés avec le minimum d'humidité compatible avec une plasticité convenable.

A l'humidification les bentonites se gonflent, à l'étuvage les bentonites se contractent. C'est pourquoi les bentonites sont utilisées que pour les moules à vert .On n'utilise jamais la bentonite pour les moules étuvée.

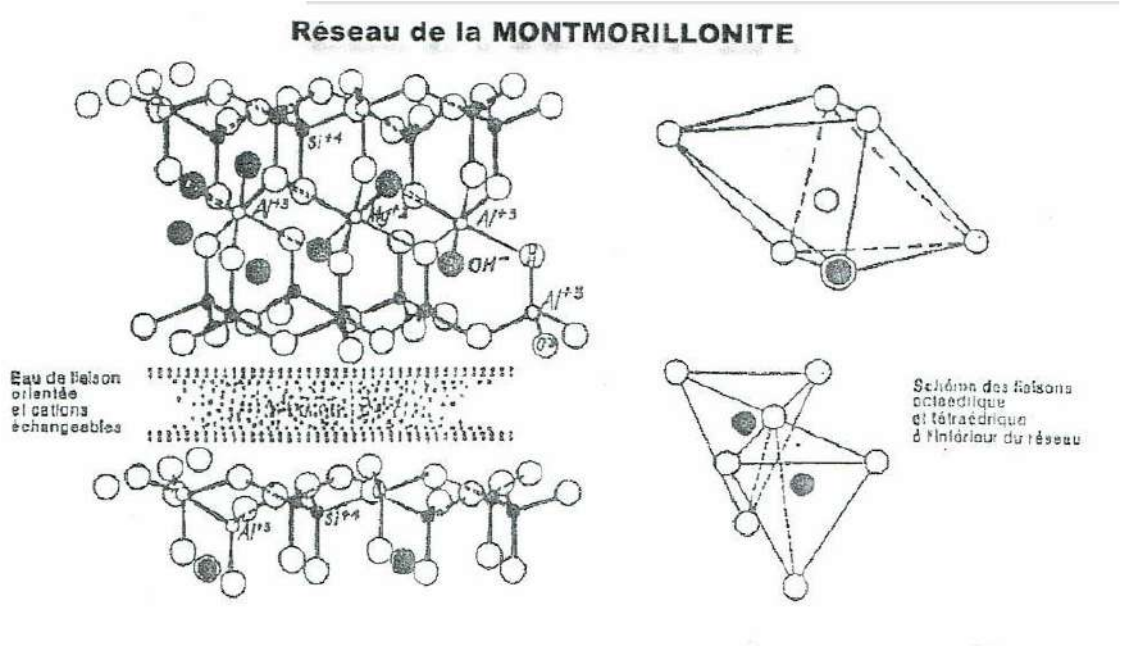


Figure II-7 : Réseau de la montmorillonite.

c-Structure de la bentonite en feuillets:

Le feuillet élémentaire est composé de deux couches tétraédriques de SiO_2 au milieu desquelles existe une couche octaédrique constitué d'Al_2O_3.Et présence d'eau de constitution entre chaque feuillet élémentaire.

Cette structure en feuillets confère à la montmorillonite un pouvoir d'adsorption d'eau et de gonflement très importants.

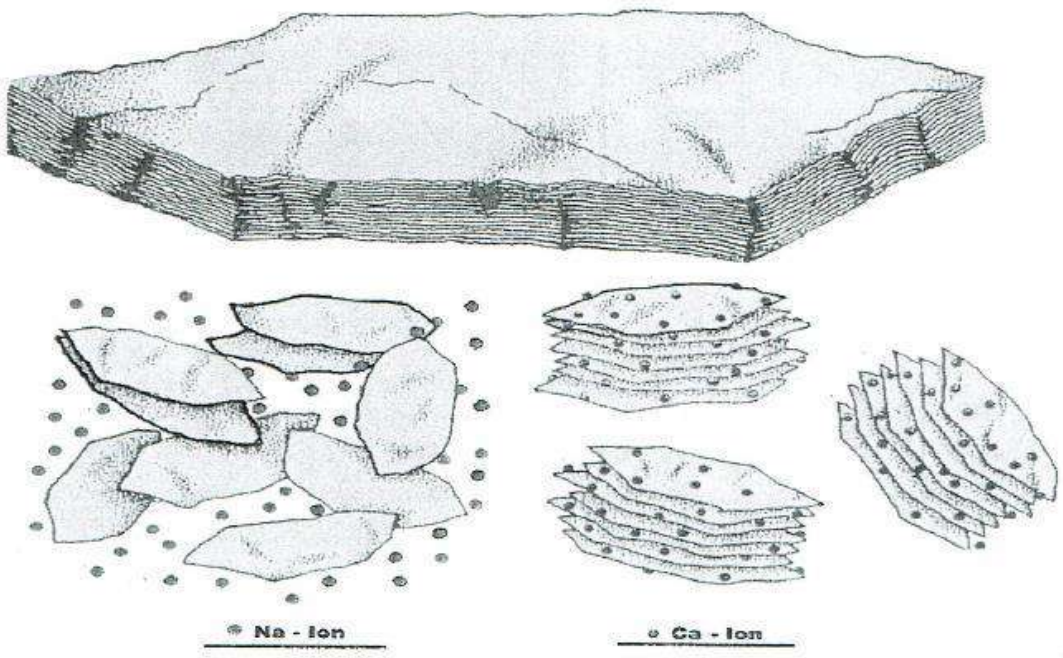


Figure II-8 : structure en feuillets de la bentonite.

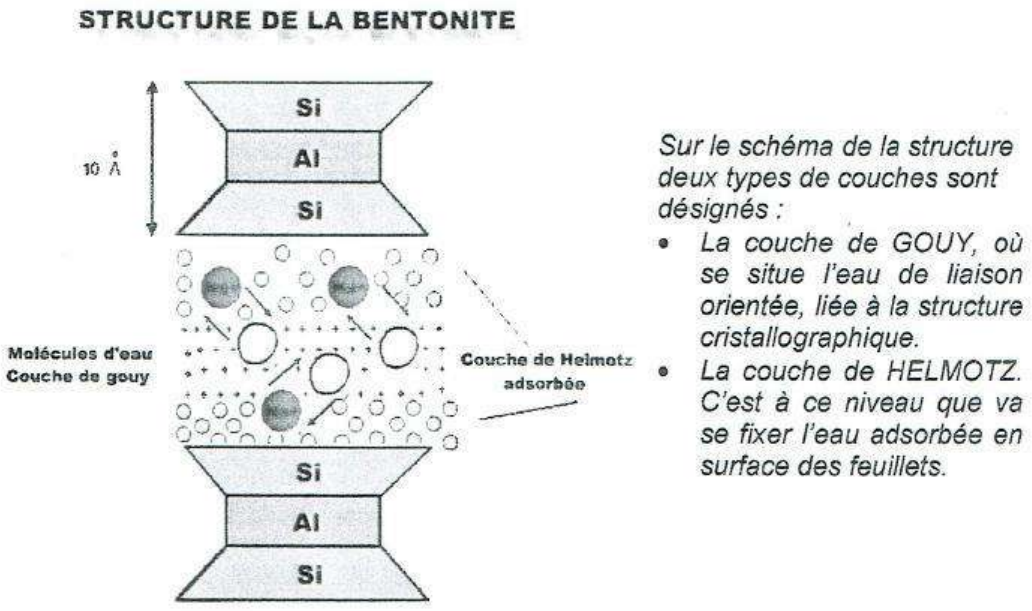


Figure II-9 : structure de la bentonite.

Classification des argiles et position de la montmorillonite :

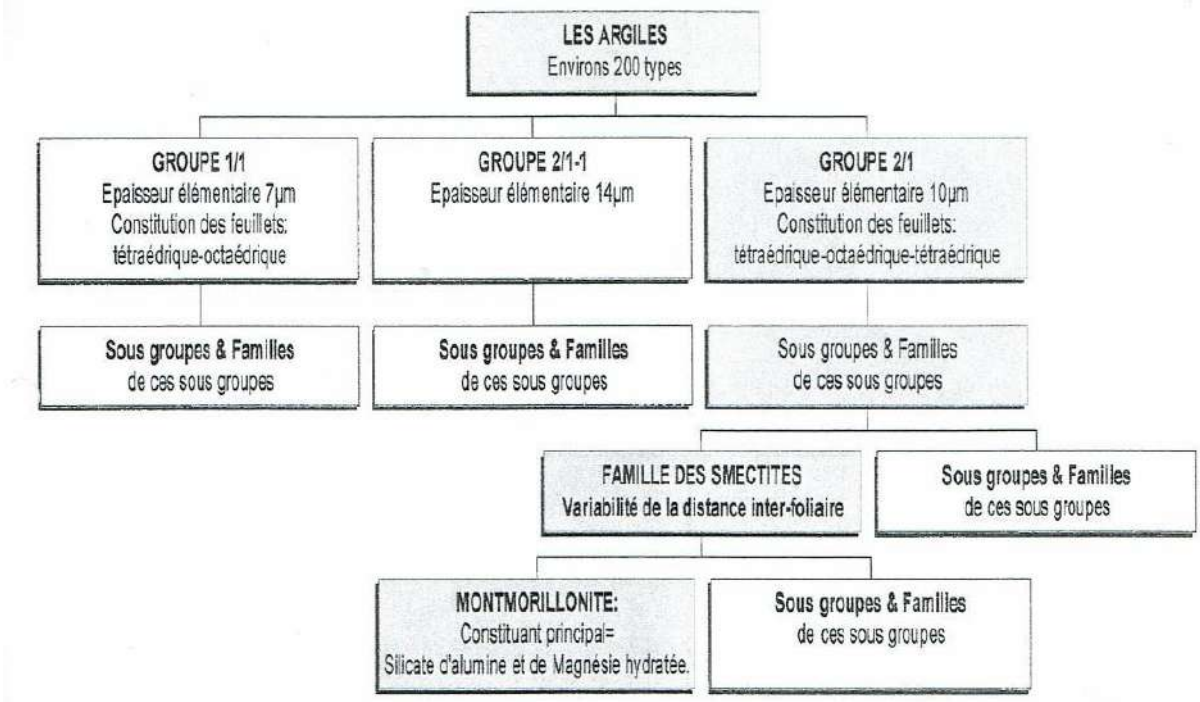


Figure II-10 : constituants principales de la bentonite [16].

II-9- Noir minérale:

- **Définition :**

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

- **Comment agit le noir? :**

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

- la finesse du noir contribue à l'étalement granulométrique du sable et donc s'oppose mécaniquement à la pénétration du métal entre les grains du sable compacté.
- a la coulée, l'atmosphère du moule est très chargée en vapeur d'eau et pourrait oxyder le métal. Les oxydes formés peuvent des défauts, mais aussi réagir avec la silice accentuant l'altération de l'état de surface de la pièce.

  Le noir ajouté, se combinant à l'oxygène, permet un dégagement gazeux sous forme de CO-CO_2, créant un milieu réducteur dans le moule.
- le dégagement des matières volatiles créent une protection à l'interface MOULE/METAL.

Analyse typique de noir minérale

Produit	Etat physique	Carbone brillant	Matière volatiles	Cokes résiduels	Cendres	Soufre	Azote	Eau
Noir minérale	Pulvérulent	10	36	64	5.5	1	0.8	2

MV = 100-cokes résiduels.

Cokes = résidu de calcination oxydante à 900°C.

Cendres = résidu de calcination oxydante.

CB = résidu de calcination dans un appareillage particulier.

II-10- Sucre :

Le sucre est à employer à taux d'incorporation compris entre 0.3 et 1 ٪ c'est un adjuvant particulièrement intéressant améliorant la résistance des noyaux, leur conservation au cours du stockage et leur débourrage, ainsi que l'aptitude au soufflage de certains sables. C'est l'adjuvant de choix pour les noyaux, agglomérés à partir de silicate de module élevé qui, se décochant par eux-mêmes assez bien, ne nécessitant aucun autre adjuvant complémentaire pour le débourrage.

Etant relativement coûteux, le sucre est, pour cette raison, à supprimer dans les formules de noyaux extérieurs ou parties de moule dont les caractéristiques mécaniques souhaitables peuvent départ un taux de silicate plus élevé ; l'incorporation d'un peu de brai ou de noir minéral peut cependant être faite afin d'améliorer l'aspect des pièces.

CONTRÔLE DES MATIERES PREMIERES DU SABLE DE NOYAUTAGE

PROCEDES SILICATE DE SOUDE- CO_2

III- ANALYSE DU SABLE NEUF :

III-1 – Déterminer de la teneur en eau d'un sable neuf :

- **Principe** :

Cette méthode consiste à sécher l'échantillon à l'aide d'un dessiccateur utilisant des lompes infrarouge dont l'intensité est régulée afin d'obtenir une température de 105°C minimum.

Ces dessiccateur disposent d'une balance incorporée qui permet de suivre la perte de masse au cours du temps et sont généralement équipés une fonction '' auto- stop '' qui coupe de chauffage et affiche le résultat lorsque la masse est stable (0.001 g prés) pendant 30 secondes.

- **Matériels :**

- Un dessiccateur à infrarouge équipé d'une balancecapable d'effectuer des pesées au centigramme prés. Le dessiccateur sera vérifié par comparaison avec la méthode A (étuvage) sur au moins 5 points de mesure répartis entre 1 et 5**%**de teneur en eau.
- Coupelles en alliages d'aluminium

- **Mode opératoire :**

- Disposer une coupelle vide et propre sur la balance du dessiccateur infrarouge.
- Faire la tare.
- Régler la température du dessiccateur au minimum à 105°Cet au maximum à 120°C.
- Choisir la fonction d'arrêt automatique.
- Disposer dans la coupelle entre 10 et 15g de sable.
- Déclencher la mesure.
- Noter la valeur de la perte de masse H(**%**) (teneur en eau) affichée en pour-cent par le dessiccateur.

- **Expression de calcul**

$H_2O\% = [(M_0 - M_1) / E]*100$

M_0 : masse en gramme du vase de prise d'essai avant séchage.

M_1 : masse en gramme du vase et de prise d'essai après séchage.

E : masse en gramme de la prise d'essai

- **Application numérique** :

Après séchage on trouve M_1= 9.9937 g

$H_2O\%$= [(10-9.9937) /10]*100

H_2O= 0.063%

III-2-Détermination de la perte de feu :

- **Principe :**

Déterminerla perte de masse après calcination à une température de 105°C

- **Mode opératoire :**

Pesé 20 g+5 ml tetrasoduim di phosphate + 100 ml H_2O dans un bécher de 600ml mettre sur la plaque chauffante pendante 10min puis ajoute H_2O jusqu' à 400ml mettre sur l'agitateur pendant 10min ensuite ajoute un peu et lasser reposer pendante 30min siphonner puis ajoute de l'eau et siphonner puis filtrer et mettre le creuset sur la plaque chauffante et mettre dans le four à 1050°C pendant 2heures

- **Matériel :**

- Balance au dixième de mg.
- Four à moufle.
- Capsules en porcelaine d'une capacité.
- D'environ 50 cm^3.
- Dessiccateur.

- **Expression de calcul :**

La perte au feu à1050°C du sable se calcule de la manière suivante

$\%\ PF = [(M_1 - M_2) / E]*100$

✓ ***Résultat :***

Pert au feu PF=0.18%

III-3- Détermination de la teneur en particules inférieures à 20µm :

➢ **Principe :**

Le principe est fondé sur la application de la loi de stokes, formule selon laquelle la vitesse de chute les particules de densité 2.65 et de dimension inférieures à 20 µm en suspension dans l'eau à une température de 15°C, est de l'ordre de 2cm par minute.

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

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

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

III-3-1-Lixiviation :

a. Appareillage :

Il se compose :

- D'une lixiviation. On peut employer le modèle schématisé (fig .III 1).

Il est constitué d'un arbre entrainé par un moteur. Tournant à une vitesse d'un moins 3000 tr/min et dont l'extrémité porte une hélice à quatre pales inclinées (fig .III 1) de manière à provoquer la mise en suspension de la totalité de l'échantillon. La longueur de l'arbre est telle que le plan inférieur de l'hélice est situé à 30mm environ du fond du récipient. L'appareil comporte en outre des tiges (En acier inoxydable par exemple) destinées à s'opposer au mouvement giratoire du liquide. (Il existe dans le commerce des appareils dont le principe de fonctionnement est très voisin.) ;

D'un bécher forme haute de 600 cm^3 de capacité.

b. Mode opératoire :

Peser au cg près 100 g de sable préalablement séché à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante et conserver de préférence dans un dessiccateur. Verser dans le bécher 150 cm³ d'une solution tampon composée de 450g de phosphate di sodique et de 50g de phosphate mono sodique pour 10l d'eau distillée ou permutée, puis y introduire la prise d'essai .

Disposer le bécher sous le lixiviateur. Mettre le lixiviateur en marche et le laisser tourner pendant 10min. Après retrait du bécher laver, à l'aide d'Un pissette, l'hélice, les parties inférieures de l'arbre et des tiges qui étaient immergées dans l'échantillon en recueillant l'eau de lavage dans le bécher.

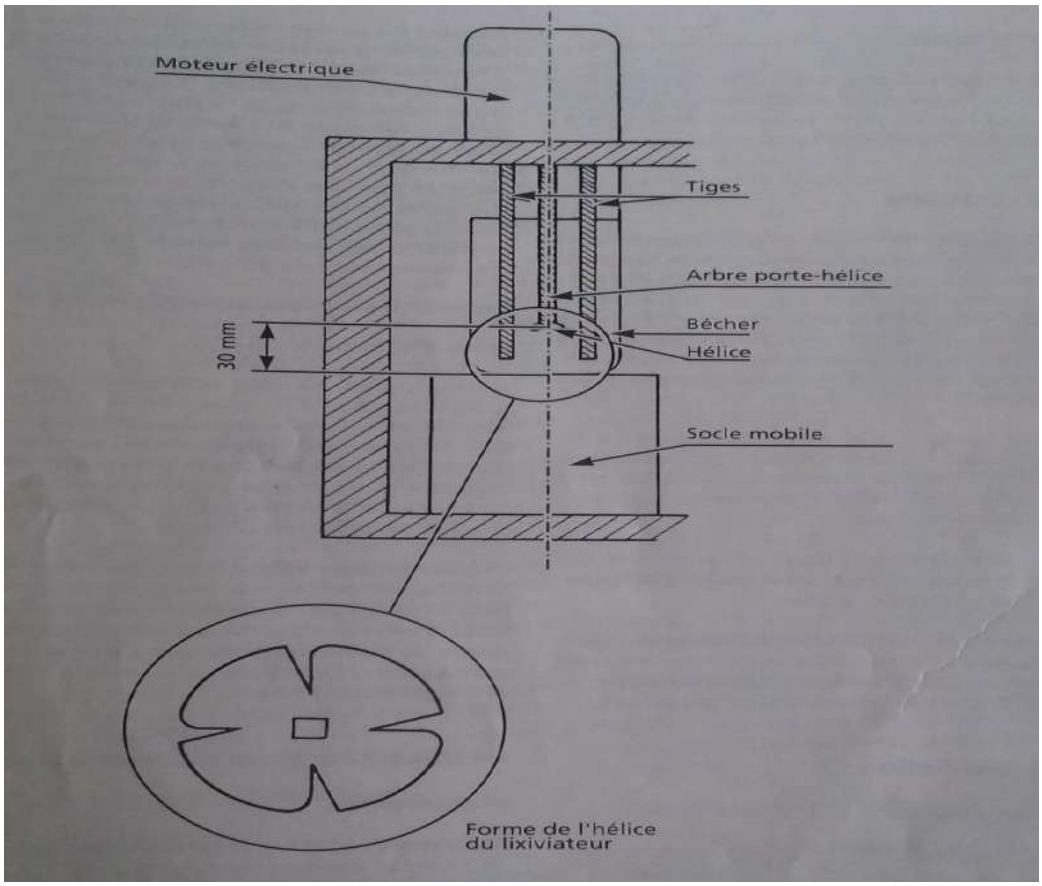


Figure -III -1 : lixiviation

III-3-2– décantations et siphonages :

a) Appareillage

Il comprend un bécher de 600 cm³ et un siphon de 5mm de diamètre intérieur (fig .III 2). Ce siphon comporte, à sa partie inférieur, une tige prenant appui sur le fond du vase et disposée de manière à ce que la distance du fond à la partie inferieure de l'orifice du

siphon soit de 20 mm .Ce dernier a une hauteur telle que sa parie supérieur ne repose pas sur le bord du récipient.

b) Mode opératoire

Remplir d'eau le bécher contenant le mélange qui a été lixivié, jusqu'à une hauteur de 14.5 cm. Lorsque la suspension est revenue au repos, laisser décanter 10minutes puis siphonner.

Remplir de nouveau à mi-hauteur, agiter à l'ai de d'un agitateur à main (environ 30 s). Compléter à la hauteur de 14.5 cm. Une fois que le liquide est au repos, laisser décanter de nouveau pendant 8 minutes. Siphonner comme précédemment.

Recommence cette opération en siphonnant après une décantation de 5 minutes exactement, jusqu'à ce que le liquide surnageant ne contienne plus d'argile en suspension, c'est-à-dire apparaisse absolument limpide.

Au moyen d'un jet de pissette, transvaser le sable dans une coupelle tarée .laisser reposer au moins 5 minutes. Décanter la majeure partie de l'eau en prenant bien soin de n'entrainer aucune particule de sable. Sécher à l'étuve à 105°C jusqu' à masse constante. Après essais, conserver l'échantillon dans un dessiccateur si une analyse granulométrique doit être effectuée.

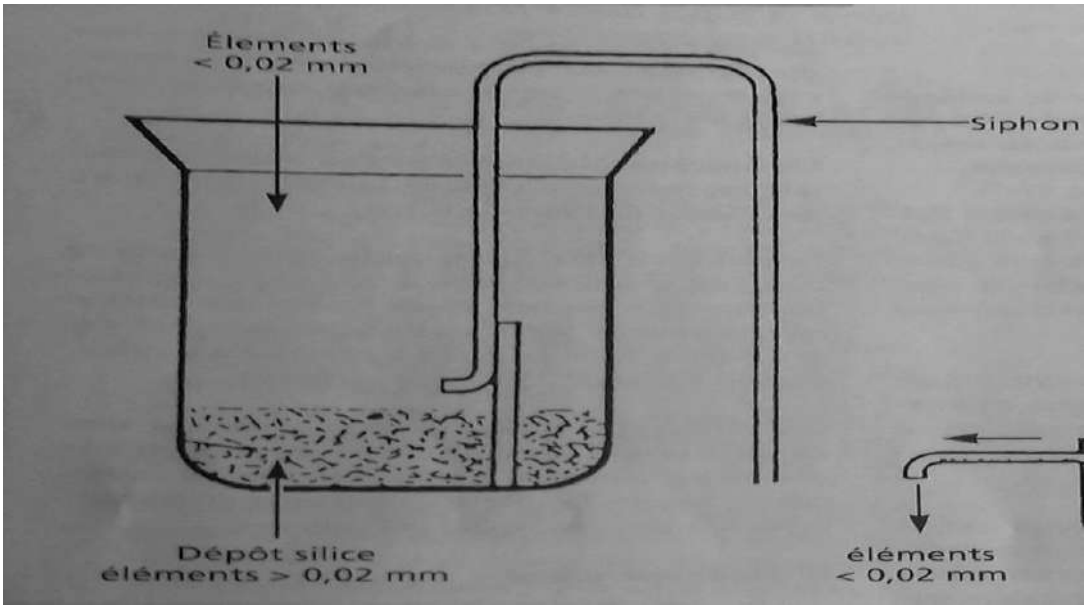


Figure III -2 **:**séparation des éléments inférieurs à 0.02 mm et de l'élément supérieur à 0.02mm par décantation.

❖ **Le résultat dans le tableau suivant :**

Sable pur	Matière en suspension
99.34%	**0.48%**

III-4-Détermination de la réparation granulométrique de sable neuf :

➢ **Principe :**

Séparer la déférente tranche granulométrique d'un échantillon sable.

➢ **Domaine d'application :**

Cette méthode prescrit une technique de séparation des tranches granulométrie d'un vibreur magnétique.

➢ **Appareillage :**

- Blanc de précision a (1/10) mg
- Série de tamis DIN 4188(tamis GF) (figure 1)
- Vibreur magnétique.



Figure III- 3 : Photographie du tamiseur utilisé au cours de notre étude

➢ **Mode opératoire :**

- L'analyse granulométrique est normalement fait sur un échantillon débarrassé de ses élément de moins de 20 micromètres et séché à 105°C jusqu'à masse constante.
- S'assurer que la série de tamis soit complète que les toiles soient parfaitement propres et en bon étant.
- Emboiter les tamis les uns dans les autres dans l'ordre croissant des ouvertures de mailles, verser l'échantillon sur le tamis supérieur.
- Fixer la série de tamis sur le secoueur.
- Secouer pendant une tempe constante, choisi en fonction du type de secoueur (10min .étant considéré comme un minimum). Une minuterie peut utilement être adjointe au secoueur.
- L'opération terminée, recueillir séparément les refus; brosse la toile avec précaution au moyen de la brosse appropriée appliquée normalement à sa surface, afin de récupérer le grain retenus dans les mailles .Effectuer cette opération sur les deux faces de la toile.
- Peser au cg prés chaque refus. En noter la masse en regard du numéro du tamis correspondant
- La somme des refus doit correspondre à la masse de sable initiale, avec une tolérance de ±0.2%. L'écart conforme à cette tolérance est report sur tamis le plus chargé (ou par moitié sur chacun des tamis les plus charges si ceux-ci accusent des refus égaux à 10 % prés).

Calcule chaque refus en pourcentage de la masse utilisée avant élimination des éléments de moins de 20 micromètres (chaque refus est automatiquement exprime en pourcent si l'échantillon était de 100g).

Tableau III - 1 : la répartition granulométrique de sable.

N°de tamis A.F.S	Ouverture des mailles mm	Refus (g)	Refus en٪	Multiplication selon DIN 4188	Produit (g)
6	1	0 .01	0.05	9	0.45
12	0.71	0.01	0.05	15	0.75
20	0.50	0.16	0 .64	25	16
30	0 .355	1.62	8.1	35	283.5
40	0.25	10.17	50.85	45	2288.25
50	0.200	5.16	25.8	52	1341.6
70	0.19	1.8	9	60	540
50	0.125	0.97	4.85	81	392.85
140	0.09	0.08	0.40	118	47.2
200	0.063	0.05	0.25	164	41
Total	*	20	100	*	4951 .6

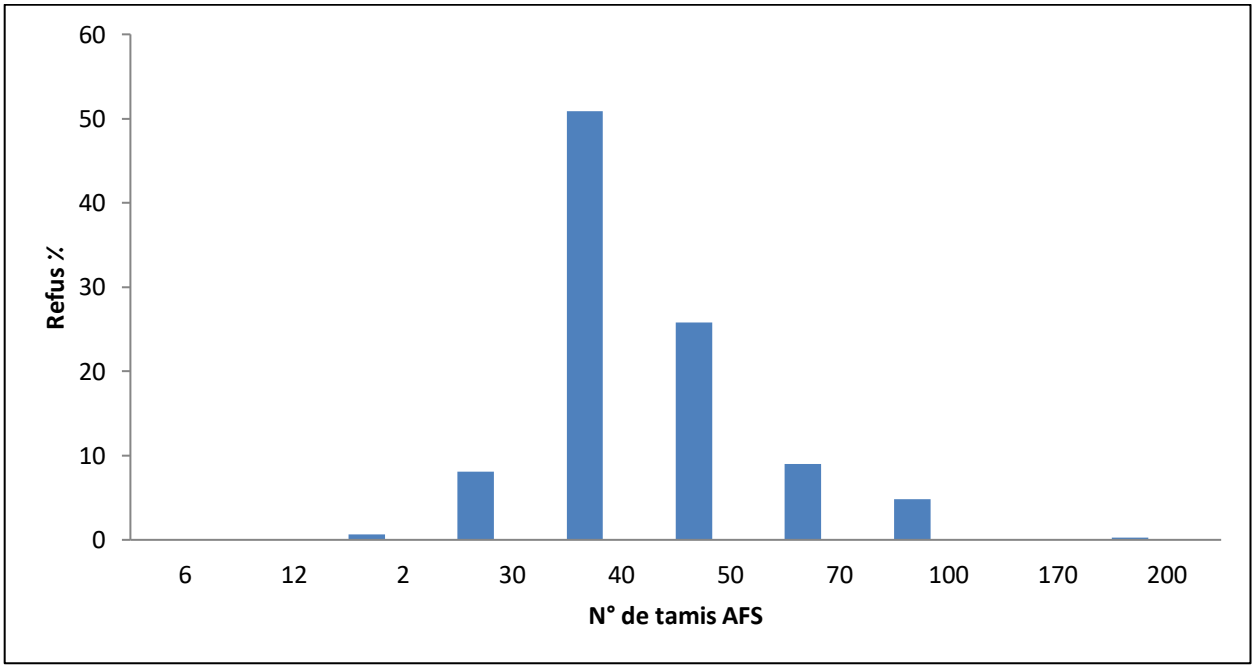


Figure III-4 : Histogramme de la répartition granulométrique.

III-4-1 -détermination de la fraction basique :

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

50.85

25.8

09

FB = 85.65٪

III-4-2-détermination de la catégorie :

Le sable est de la **catégorie b**, le résidu du sable dans le tamis inferieur extrême de la fraction basique est plus grand par rapport au résidu du sable dans le tamis supérieur extrême.

III-4-3- détermination du groupe de sable :

Le groupe du sable est déterminé d'après le numéro du tamis moyen de la fraction basique. En fonction de la grosseur des grains de la fraction basique, les sables sont divisés en 08 groupes universels représentés dans le tableau N°2.

Tableau III-2 : les groupes de sable.

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

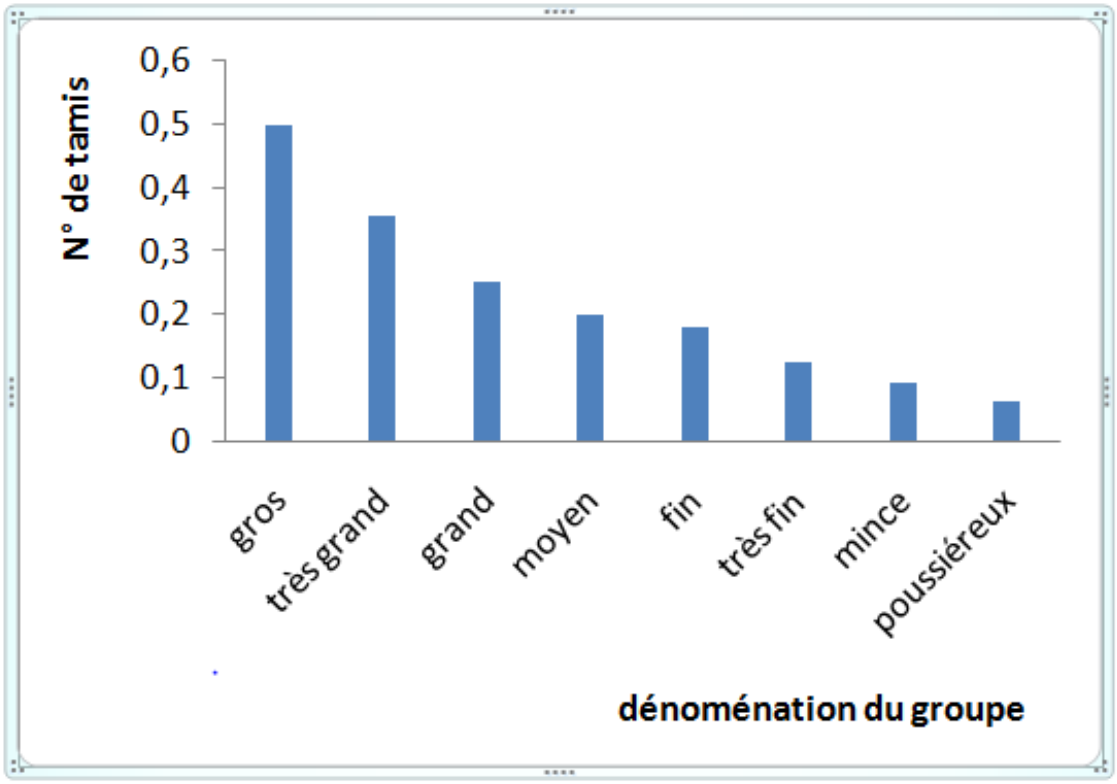


Figure III- 5 : Histogramme représente la variation du diamètre relatif aux groupes de sable.

- D'après le tableau et l'histogramme, on s'agit du sable de groupe **grand.**

III-4-4-détermination de la structure granulaire :

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

La quantité du sable dans les 03 tamis voisins :

$$\Sigma\ (50.85 + 25.8 + 9) = 85.65\% > 70\%$$

D'après la quantité du sable se trouvant dans les 03 tamis voisins, il dit que le sable à une structure **granulaire concentrée**.

III-4-5- détermination de l'indice de finesse (AFS) :

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

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

$AFS = \Sigma a_i + r_i / \Sigma r_i$

r_i : le résidu du sable dans chaque tamis (voir le tableauIII-1).

a_i : le coefficient multiplicateur pour chaque tamis (voire tableau III-1).

Donc **AFS = 451.6 / 100 = 49 .52**

AFS = 50

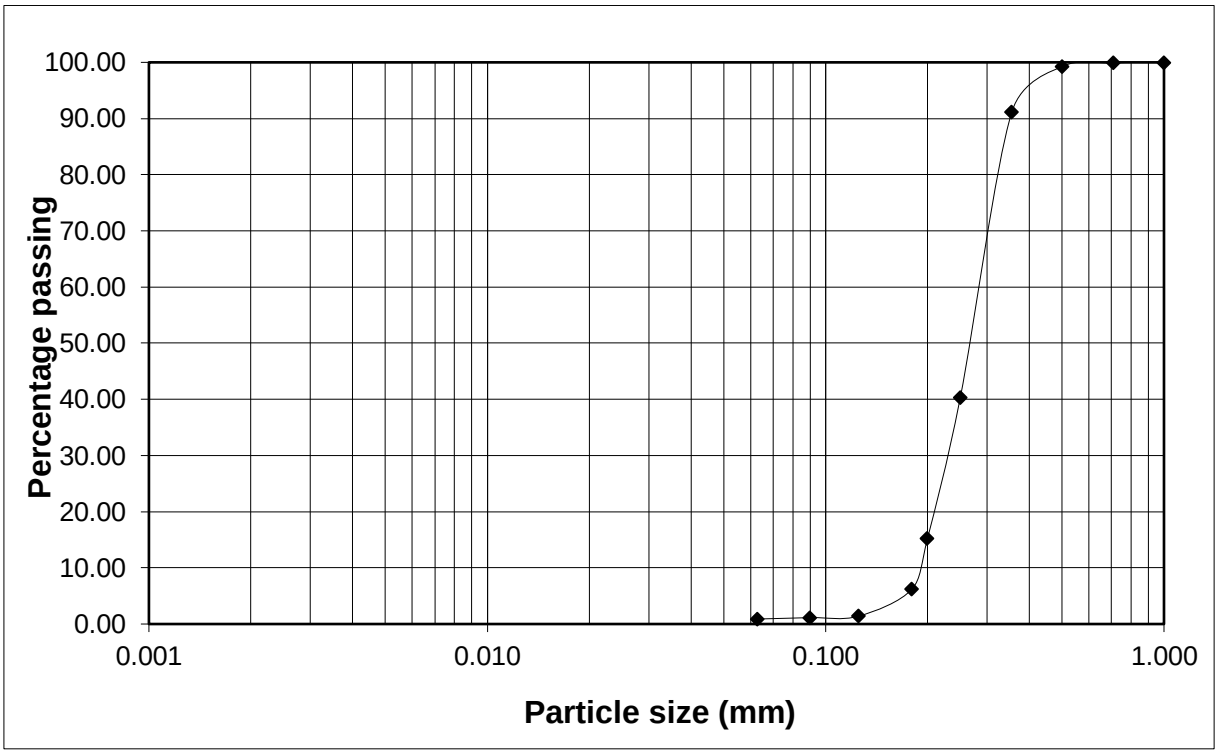


Figure III 6 : Courbe granulométrique cumulative de refus.

III-4-6- Calcul du diamètre moyen des grains et le degré d`uniformité :

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

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

➢ **Déterminé le diamètre moyen :**

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

On trace la ligne horizontale du pourcentage 50% sur l`axe d`ordonnées jusqu`à intersection avec la courbe (figure III-6), on baisse une ligne perpendiculaire jusqu'à l`axe des abscisses et on note le point dm correspondant au diamètre moyen.

Résultat :

Diamètre moyen égale a **DM=0.26mm**

➢ **Degré d'uniformité :**

Pour la détermination du degré de régularité on calcule d'abord 2/3dm et 4/3dm. Puis on détermine log 2/3dm et log 3/4dm on établi ces point sure l'axe des abscisses, on rétablit deux perpendiculaires jusqu'à la courbe et puis on trace 2 lignes horizontale jusqu'a l'axe d'ordonnées, on obtient 2 points A et B et on calcule le degré de régularité DR٪ .

DR%=A%-B%

A%=4/3×0.26 = 0.17 ⟹ 4% (dans la courbe)

B%=2/3×0.26 = 034 ⟹ 79% (dans la courbe)

79% - 4% =75%

Donc **degré d'uniformité** : ***Du=75%***

III-5-Détermination de la morphologie des grains :

Cette fiche a pour objet de définie la d'examen de sable au microscope optique.

- **Principe :**

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

- **Matériel :**

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



Figure III-7 : Photographie d'un microscope optique utilisé au cours de la présente étude

- **Méthode d'examen :**

1) Etaler quelques centaines de grains de sable sur le support de façon à former une couche de sable très étalée. Dans l'oculaire il faut voir entre 50 et 300 grains de sable.
2) Eclairer le support et régler le microscope optique pour avoir une image nette et contrastée.
3) Contrôler et relever les éléments suivants :
   - Forme des grains de sable (grain fracturés, grains allongés ou sphériques, arêtes vives ou érodées….) ;

- L'étalement granulométrique et la qualité des fines de sable ;
- La couleur des grains et les gangues éventuelles ;
- La présence d'agrégats et d'impuretés notamment les grains de carbonate (on peut déplacer le support sous l'objectif pour faciliter la recherche).

4) Eventuellement classer la forme des grains suivant la figure III-8.

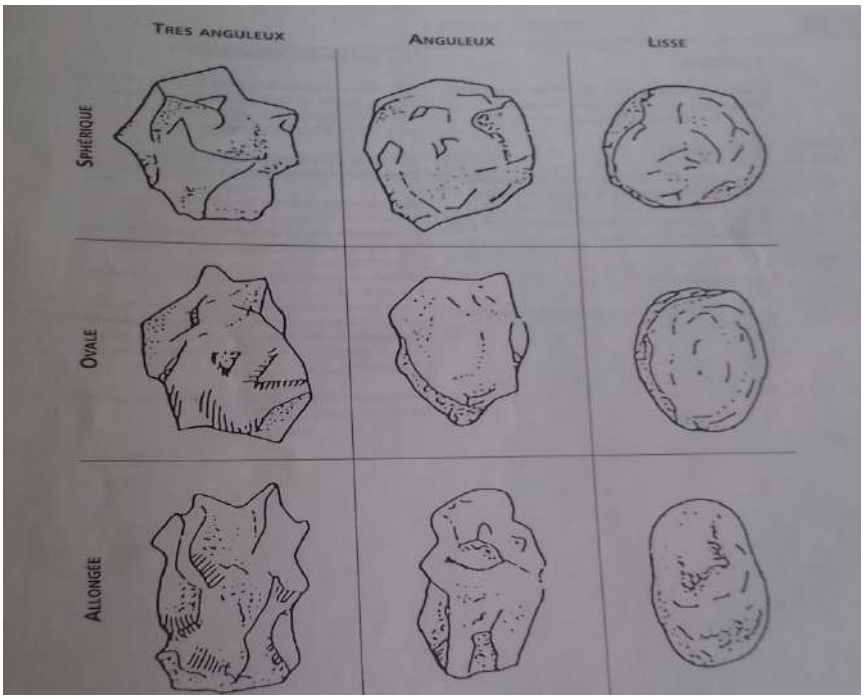


Figure N° : III-8 : forme des grains (sable de la fonderie de la BERROUAGHIA).

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

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

III-2- Contrôle de silicate de soude :

III-2-1-détermination la densité et degré Baumé :

Rappelons tout d'abord qu'indiquer le degré Baumé d'un liquide n'est qu'une façon particulière d'exprimer sa densité. Degré Baumé et densité sont d'ailleurs reliés par la relation : **Degré de Baumé = 144.32 (densité -1)/ densité**

Plusieurs fabricants définissant de façon courant leurs différentes qualités de silicate par le degré de Baumé, il est utile de contrôle ce dernier par une simple mesure de la densité, ce qui est très facile à réaliser : emploi d'un densimètre (figure III-9) ou pesée d'un flacon de volume parfaitement connu.



Figure III-9 : Photographie d'un densimètre utilisé au cours de la présente étude.

La densité de silicate de soude est = **1.52 g / cm^3**

Alor **le degré de Baumé = 144.32 *(1.52 - 1/1.52)**

Le degré de Baumé = 49.37

La densité est particulièrement sensible à la concentration ou teneur en extraits secs du silicate ; sa mesure est donc intéressant pour déterminer la concentration. Il faut toutefois veiller à bien opérer sur des produits (notamment les concentrés très visqueux) ne contenant aucune bulle d'air.

Notons par contre que la densité varie très peu avec le module.

II-2-2- Détermination de la concentration en matières sèches d'un silicate de soude :

➢ **Principe :**

Dessiccation de l'échantillon suivie d'une calcination a une température bien définie.

➢ **Appareillage :**

- Creuset en porcelaine.
- Bain de sable.
- Dessiccateur.
- Balance de précision 0.1mg.

➢ **Mode opératoire :**

- **Prise d'essai :**

Peser, a 1mg prés, dans le creuset portée préalablement à 600°C et tarée, 2 à 3g de l'échantillon.

- **Détermination :**

Chauffer d'abord doucement la prise d'essai au bain de sable pour éliminer la majeur partie de l'eau, tout en évitant les projections.

Désagréger au moyen d'une baguette de platine pour briser le verre qui a tendance se prendre en masse.

Calciner progressivement jusqu'à une température comprise entre 600 et 650°C jusqu' masse constante.

Refroidir dans le dessiccateur et peser exactement.

La teneur en matière sèche, exprimée en pourcentage en masse, est donnée par la formule suivante :

$MS = m_1 * (100/m_0)$

$\mathbf{m_1}$:masse en grammes, du résidu sec pesé.

$\mathbf{m_0}$: masse en grammes, de la prise d'essai.

Résultat :

Matières sèches **MS = 43.25%**

III-2-3- Dosage rapide de la silice dans un silicate de sodium par voie chimique :

- **Principe :**

Neutralisation de l'alcalinité d'une prise d'essai préalablement mise en solution, avec du rouge de méthyle comme indicateur.

Addition de fluorure de sodium, qui réagit avec l'acide silicique en formant une quantité équivalente d'hydroxyde de sodium.

Addition d'un volume déterminé de solution titrée d'acide chlorhydrique en excès, puis d'éthanol.

Filtration du composé silicique obtenu, insoluble dans ces conditions.

Titrage de l'excès d'acide dans le filtrat à l'aide de solution titrée d'hydroxyde de sodium avec du rouge de méthyle comme indicateur.

- **Réactions :**

$$H_2SIO_3 + 6\ Na\ F + H_2O \longrightarrow Na_2\ SiF_6 + 4\ Na\ OH$$

$$Na\ OH + H\ Cl \longrightarrow Na\ Cl + H_2O$$

- **Réactifs :**

  - Fluorure de sodium anhydre.
  - Ethanol à 95 **%** (environ (éventuellement dénaturé à l'éther).
  - Ethanol à 50**%** environ (éventuellement dénaturé à l'éther).
  - Acide chlorhydrique, solution titrée N.
  - Acide chlorhydrique, solution 0.1 N, environ.
  - Hydroxyde de sodium, solution titrée N.
  - Rouge de méthyle, solution à 1 g/l dans l'éthanol à 95**%.**

- **Mode opératoire :**

Peser à 0.1 mg près, une masse l'échantillon correspondant à 0.2 g ± 0.3 g de SiO_2.

❖ **Essai à blanc :**

Introduire dans une fiole conique de 250 ml, 70 ml d'eau, 5ml de la solution d'hydroxyde de sodium et 0.30 ml de la solution de rouge de méthyle. Ajouter au moyen d'une pipette graduée, 4.5 ml environ de la solution d'acide chlorhydrique N et poursuivre la neutralisation à l'aide de la solution d'acide chlorhydrique 0.1N jusqu'à virage de

l'indicateur du jaune au rouge. Introduire alors 5g ± 0.1 g de fluorure de sodium dans la solution ainsi neutralisée. Agiter pour favoriser la dissolution de ce produit, puis ajouter un volume, mesuré exactement (V_3) de la solution d'acide chlorhydrique N correspondant à un excès de 5 ml environ après au rouge.

Ajouter encore 50 ml d'éthanol à 95**%**, agiter pendant 1 minute environ, transvaser quantitativement dans une fiole jauge au moyen de l'éthanol à 50 **%**et homogénéiser. Filtre un peu plus de 100 ml sur un filtre plissé, sec, de texture serrée, en rejetant les premiers millilitres. Prélever 100 ml du filtrat, les introduire dans une fiole conique de 250 ml ; ajouter 0.30 ml de la solution de rouge de méthyle et titrer l'excès d'acide à l'aide de la solution d'hydroxyde de sodium N contenue dans la burette jusqu'à virage du rouge au jaune.

❖ **Dosage :**

Introduire la prise d'essai dans une fiole jaugée de 250 ml, dissoudre éventuellement dans l'eau, diluer jusqu'au trait de jaune et homogénéiser.

Prélever immédiatement 50 ml de cette solution diluée et les introduire dans une fiole conique de 250 ml. Ajouter 0.30 ml de la solution de rouge de méthyle. Neutraliser, au moyen de la solution d'acide chlorhydrique N, la totalité de l'alcalinité moins 1 équivalent-mg environ (au besoin effectuer un titrage préalable de 50 ml), et poursuivre la neutralisation à l'aide de la solution d'acide chlorhydrique 0.1 N jusqu'à virage du jaune au rouge. Introduire alors dans la préparation ainsi neutralisée, 5 g ±0.1 g du fluorure de sodium.

Agiter pour favoriser la dissolution de ce produit puis ajouter un volume mesuré exactement (V_1) de la solution d'acide chlorhydrique N correspondant à un excès de 5 ml environ après le virage au rouge. Ajouter encore 50 ml d'éthanol à 95**%**, agiter pendant 1 minute environ transverse dans une fiole jaugée de 200 ml, diluer jusqu'au trait de jauge au moyen de l'éthanol à 50 **%** et homogénéiser.

Filtrer un peu plus de 100 ml sur un filtre plissé, sec, de texture serrée, en rejetant les premiers millilitres. Prélever 100 ml du filtrat, les introduire dans fiole conique de 250 ml ; ajouter 0.30 ml de la solution de rouge de méthyle et titrer l'excès d'acide à l'aide de la solution d'hydroxyde de sodium N contenue dans la burette jusqu'à virage du rouge au jaune.

Les résultats :

Le dosage de SIO_2	**Le dosage de NA_2O**

28.99%	**14.26%**

III-2-4- Détermination du module d'un silicate de sodium :

- **Définition :**

Le module d'un silicate de sodium_ est défini par le rapport moléculaire silice/oxyde de sodium :

$$R = \frac{SiO_2}{Na_2O}$$

Le comportement des noyaux au silicate est en majeure partie fonction du module de ce dernier, sur un plan qualitatif, on peut donner les appréciations suivantes résumées dans cette table.

Module	Prise	Cons.de CO_2	Résistance	Stockage	débourrage
Elevé (2.8)	Rapide	Faible	Faible	Impossible	Facile
Bas(2)	Lente	Forte	Elevée	Possible	Difficile
Moyen (2.4)	Assez rapide	Assez rapide	Moyenne	Moyen	Moyen

Tableau III-3 : le module de silicate de soude.

On note d'après cette indication que les silicates de module moyen (2.4) donnent dans l'ensemble satisfaction et nous en recommandant l'emploi pour la plupart des cas.

Exceptionnellement on pourra toutefois utiliser des silicates de module faible (2 à 2.2) si l'on doit alors s'attendre à des consommations de gaz carbonique plus grand et à des difficultés de débourrage. Un module faible convient par ailleurs bien pour les sables très fins (indice de finesse de l'ordre 140), car la grande surface spécifique de ces sables favorise la réaction silicate- soude-CO_2 et maintient la consommation de gaz à un niveau normal.

Par contre, on peut avoir recours à des silicates de module élevé (2.6 à 2.8) dans le cas de fabrication de noyaux simples en grande série exigeant une prise rapide, une faible

consommation et un bon débourrage ; les noyaux restent toutefois fragiles et doivent être utilisés immédiatement.

On a Na_2O = 14.26٪

SiO_2 = 28.99 ٪

Résultat :

Le module : 28.99/14.26 = **2.03**

Le module de silicate de soude est **bas**, donc le débourrage est difficile alors on utilisant les adjuvants de débourrage.

Adjuvants :

Divers produits peuvent être ajoutés à la composition des sable au silicate. D'une manière générale, ils ont pour but d'améliorer la conservation, les caractéristiques mécaniques et l'aspect de surface du noyau, ainsi que le débourrage duis est un des points faible du procédé silicate de soudeCO_2.

- **Noir minéral** :

Employé à des taux compris entre 0.5 et 2٪, le noir minéral constituel'adjuvant de débourrage le plus classique.

- **Sucre :**

Le sucre est à employer à des taux d'incorporation compris entre 0.3 et 1٪.c'est en adjuvant améliorant la résistance des noyaux, leur conservation au cours du stockage, ainsi que leur débourrage. Le sucre améliore également l'aptitude au soufflage de certain sable.

- **Argile :**

Les argiles sont des liants les plus anciennement utilisés en fonderie. Bien que l'emploi en soit désormais réduit, la fonderie a fait largement usage de sable Silico-argileux naturels, et employé à des taux compris entre 0.1٪et 0.5٪.

III-3-préparation de mélange de base utilise dans la fonderie :

Cette procédure décrit une méthode pour la préparation des mélanges avec un malaxeur de laboratoire à pales, utilisable pour les procédés autodurcissants ou à prise par gazage.

- **Matériel :**
  - Balance au centigramme d'une portée supérieure à 4 kg.
  - 4 béchers ou pots en verre adéquats.
  - Agitateur.
  - Malaxeur de laboratoire à pales de capacité 5kg (figure III-10).
- **Conditions opératoires :**
  - Matériel propre et sec sans acidité résiduelle.
  - Température du matériel et des constituants du mélange 23±1°C.
- **Mode opératoire :**
  - Vérifier que le matériel est propre et sec.
  - Peser la charge de sable au gramme prés et l'introduire dans le malaxeur.
  - Peser au centigramme la quantité de catalyseur à introduire.
  - Mettre en marche le malaxeur.
  - Malaxer pendant 5 minutes.
  - Noter le temps total d'introduction du silicate de soude.
  - Nettoyer les récipients à l'eau et la verrerie à l'acétone.

    Essuyer et sécher Nettoyer le malaxeur et faire une malaxée de sable neuf pour le neutraliser.



Figure III-10: photographie d'un malaxeur utilisé au cours de la présente étude.

Méthode de l'exécution de l'éprouvette de flexion

III-4-Détermination de résistance au cisaillement :

- **But de travail *:***

Cette recommandation technique a pour objet de définir le mode opératoire de détermination de résistance au cisaillement d'un sable Silico-argileux ou d'un sable autodurcissants.

Le domaine d'application est limité au sable Silico-argileux utilisées en fonderie comme sable de moulage, ainsi que comme sable de noyautage.

La mesure de résistance au cisaillement permet d'apprécier la résistance des moules et noyaux vis-à-vis des efforts tranchant .Elle est généralement comprise entre le tiers et le quart de la résistance à la compression.

- **Principe :**

Une charge constante est appliquer sur ½ face planes diamétralement opposés d'une éprouvette en sable serré, la résistance au cisaillement est le rapport entre la charge et la section de rupture (hauteur × diamètre) de l'éprouvette.

- **Appareillage :**

- machine d'essais mécanique.
- mors de cisaillement.
- tube de l'éprouvette.

- **Mode opération** :

- Réaliser une éprouvette en sable selon les prescriptions de la recommande.
- Placer cette éprouvette entre les mors de cisaillement.
- Mètre en route la machine d'essais.
- Après rupture, noter la valeur obtenue.



Figure III-11 : Machine universelle pour détermination de la résistance à la compression / cisaillement.

III -5 -Interprétation des résultats :

Nous avons procédé à plusieurs expériences et cela afin de montrer la variation des caractéristiques mécaniques du noyaupour différents adjuvant de débourrage (voir tableau et graphe).A cet effet, on a conçu plusieurs éprouvettes de flexion.

La résistance au cisaillement correspond à la moyenne de 3 essais réalisés.

Mélange 1 : Mélange de base sans adjuvant de débourrage.

Matière	Pesé (g)	Pourcentage ٪	Temps demalaxage (min)	Temps de gazage (min)
Sable	1900	95	3min	5min
Silicate de soude	100	5		

Mode opératoire :

- peser 1900g (95٪) de sable neuf.
- peser 100g (5٪)de silicate de soude.
- Introduire ensuite dans un malaxeur.
- Malaxer pendant 5 minutes.

N° Essai	1	2	3	4	5	6
Temps stockage (h)	½	1	2	3	4	24
La résistance a la flexion Kg f /cm^2	3-3-4	6-5-6	6-7-7	8-8-9	9-10-9	21-25-22

Tableau III-4 : Résultats de la résistance à la flexion en fonction de temps de stockage.

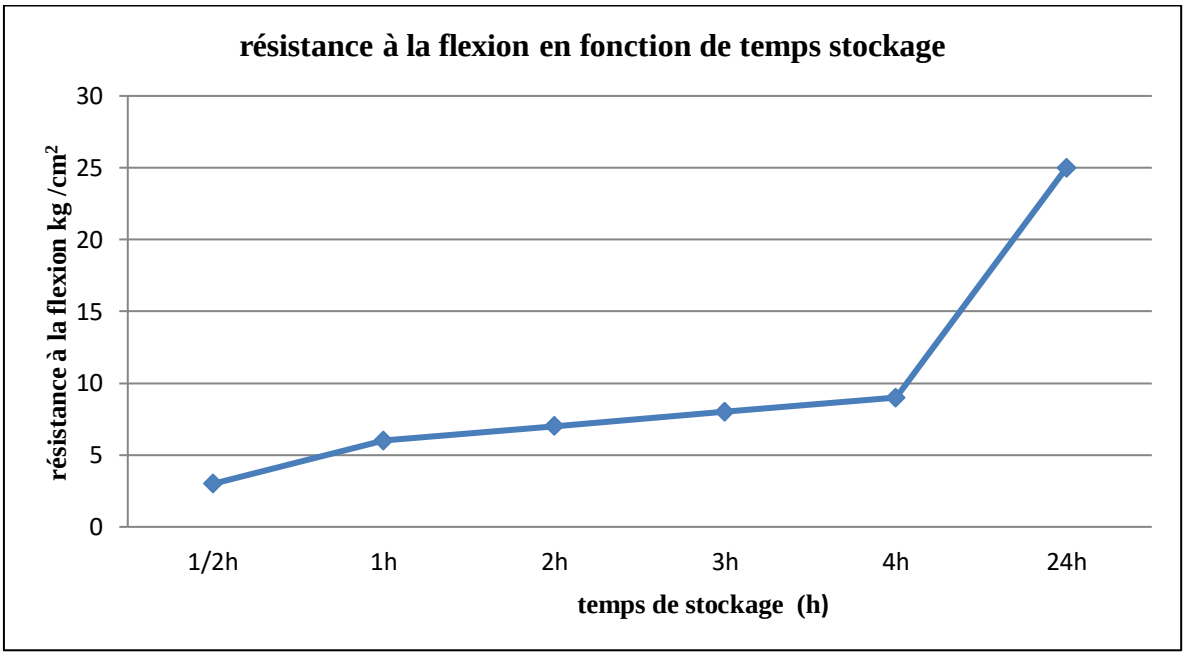


Figure III- 12 : Résistance au cisaillement en fonction du temps du stockage.

Interprétation de la figure III-12 : Mélange de Base (sans adjuvant).

Nous remarquons d'après la figure III-12 que la résistance à la flexion varie nettement avec le temps de stockage, jusqu' à une valeur de d'ordre de 25 Kg f/ cm^2.

Nous vous signalons qu'on aessayé ce mélange à l'atelier de noyautage, et on a constaté qu'après la coulée des pièces, la difficulté au débourrage, avec recours au marteau piqueur.

III-5- Préparation des mélanges avec des adjuvants débourrage :

Mélange -2- : Noir minéral comme adjuvant de débourrage.

Matière	Pesé (g)	Pourcentage ٪	Temps de malaxage (min)	Temps de gazage (min)
Sable	1900	95	5min	5min
Silicate de soude	90	4.5		
Noir minérale	10	0.5		

Mode opératoire :

- peser 1900g (95٪) de sable neuf.
- peser 90g (4.5٪) de silicate de soude.
- peser10 g (0.5٪) de noir minéral.
- Introduire ensuite dans un malaxeur.
- Malaxer pendant 5 minutes.

N° Essai	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Temps stockage (h)	½	**1**	**2**	**3**	**24**
La résistanceà la flexion Kg f /cm^2	**3-3-4**	**4-4-5**	**5-5-5**	**5-5-5**	**26-27-28**

Tableau III-5 : Résultats de la résistance à la flexion en fonction de temps de stockage

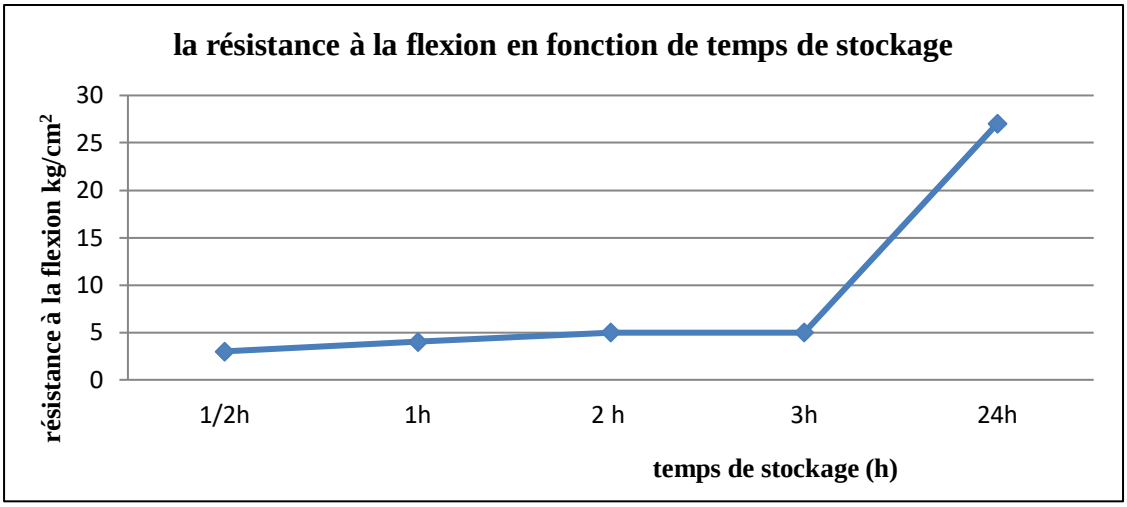


Figure III- 13 : Résistance au Cisaillement en fonction du temps du stockage.

Interprétation de la figure III-13 : mélange avec noir minérale.

Nous remarquons d'après la figure III-13 que la résistance à la flexion varie nettement avec le temps de stockage, jusqu' à une valeur de d'ordre de 30 Kg f/ cm^2.

Nous vous signalons qu'on aessayé ce mélange à l'atelier de noyautage et on a constaté toujours aprèsla coulée des pièces la difficulté au débourrage, avec recours au marteau piqueur.

Mélange -3- : Argile comme adjuvants de débourrage.

Matière	Pesé (g)	Pourcentage ٪	Temps de malaxage (min)	Temps de gazage (min)
Sable	1900	95	5min	5min
Silicate de soude	90	45		
Argile	10	0.5		

Mode opératoire :

- peser 1900g (95٪) de sable neuf.
- peser 90g (4.5٪) de silicate de soude.
- peser10 g (0.5٪) de l'argile.
- Introduire ensuite dans un malaxeur.
- Malaxer pendant 5 minutes.

N° Essai	1	2	3	4	5
Temps stockage (h)	1/2	1	2	3	24
Résistance a la flexion Kg f /cm^2	4-4-4	4-5-5	5-5-5	6-7-7	30-31-33

Tableau III-6 : Résultats de la résistance à la flexion en fonction de temps de stockage.

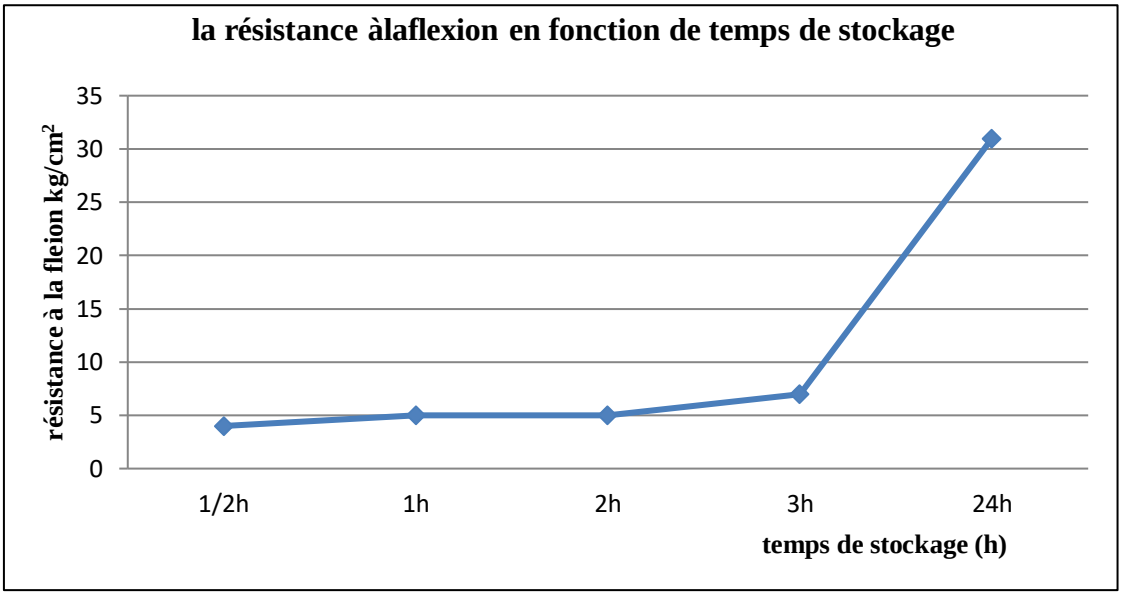


Figure III-14: Résistance au cisaillement en fonction du temps du stockage

Interprétation de la figure III-14 : Argile comme adjuvants de débourrage.

Nous constatons, d'après la figure la résistance à la flexion croit nettement à partir d'une tempe de stockage de 3 h peut atteindre la valeur 52 kgf/cm^2.

Même que la résistance à la flexion apparait élevée on trouve une difficulté de débourrage au niveau de l'atelier de débourrage.

Mélange -4- : Sucre industrielle comme adjuvant de débourrage.

Matière	Pesé (g)	Pourcentage ٪	Temps de malaxage (min)	Temps de gazage (min)
Sable	**1870**	**93.5**	**5min**	**5min**
Silicate de soude	**120**	**6**		
Sucre	**10**	**0.5**		

Mode opératoire :

- Peser 1870 g (93.5٪) de sable.
- Peser 120 g (6٪) de silicate de soude.
- Peser 10g (0.5٪) de sucre.
- Introduire ensuite dans un malaxeur.
- Malaxer pendant 5 minutes.

N° Essai	1	2	3	4	5
Temps stockage (h)	1/2	1	2	3	24
R_t a la flexion Kg f /cm^2	3-3-3	3-4-4	4-4-4	4-4-4	32-30-31

Tableau III-7 : Résultats de la résistance à la flexion en fonction de temps de stockage.

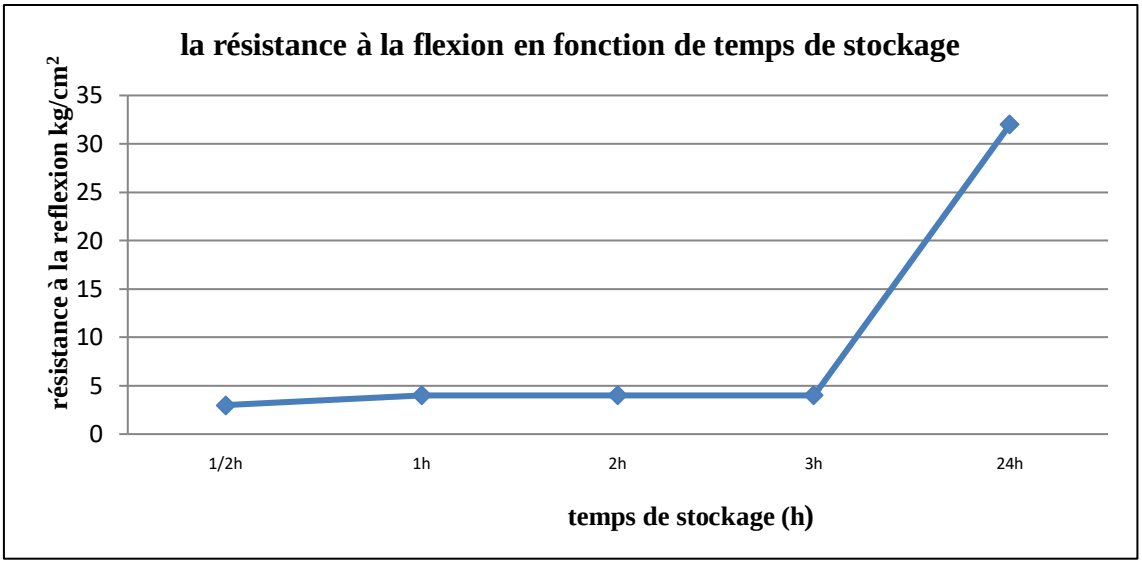


Figure III- 15 : Résistance au cisaillement en fonction du temps du stockage

Interprétation de la figure III-15 : mélange avec sucre industrielle comme adjuvant de débourrage.

De même pour la résistance à la flexion la figure montre très clairement la résistance à la flexion croit rapidement à partir de 3h temps de stockage, jusqu'à une valeur de 31 kgf/cm^2.

Nous vous signalons qu'après avoir coulée des pièces pour ce mélange, on à constante une facilite au débourrage sans recours au marteau piqueur.

Mélange -5- : Sucre mélangé dans le silicate de soude.

Matière	Pesé (g)	Pourcentage ٪	Temps de malaxage (min)	Temps de gazage (min)
Sable	1870	93.5	5min	15min
Silicate de soude	120	6		
Sucre mélangée	10	0.5		

Mode opératoire :

- Peser 1870 g (93.5٪) de sable.
- Peser 120 g (5٪) de silicate de soude.

- Peser 10 g (0.5٪) de sucre mélangée dans le silicate de soude.
- Introduire ensuite dans un malaxeur.
- Malaxer pendant 5 minutes.

N° Essai	1	2	3	4	5
Temps stockage (h)	½	1	2	3	24
Résistance a la flexion Kg f /cm²	3-3-3	5-6-6	6-6-7	7-7-8	50-51-52

Tableau III-8 : Résultats de la résistance à la flexion en fonction de temps de stockage.

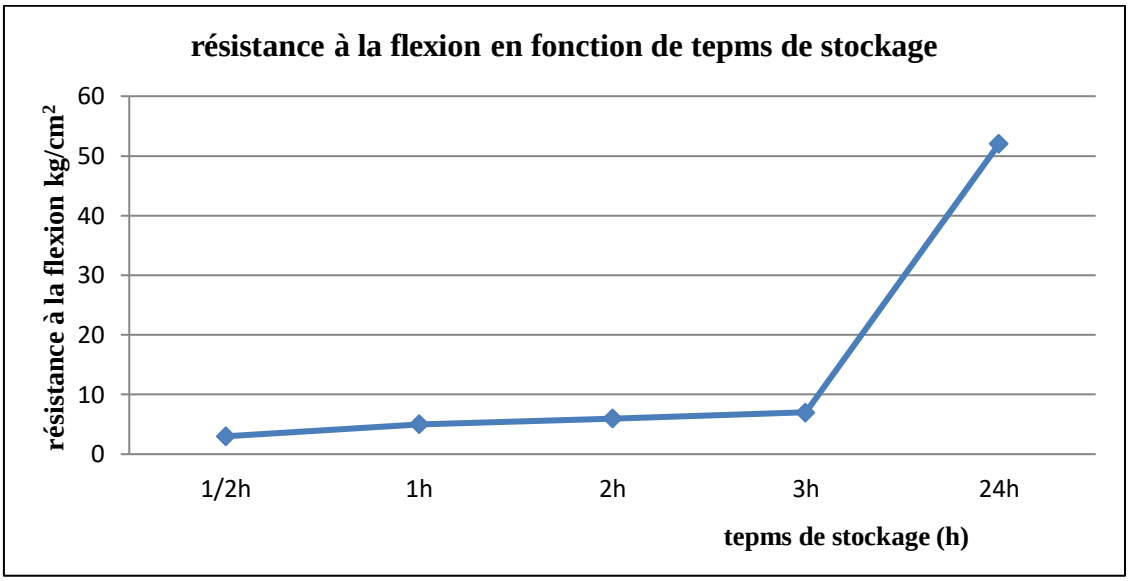


Figure III- 16 : Résistance au cisaillement en fonction du temps du stockage.

Interprétation de la figure III-16 : mélange avec sucre industrielle Sucre mélangé dans le silicate de soude.

Nous constatons, d'après la figure III-15 que la résistanceà la flexion croit nettement à partir d'une tempe de stockage de 3h pour atteindre la valeur de 52 kgf/cm^2.Même que la résistance à la flexion apparait élevée, on n'a pas trouvé une difficulté au débourrage au niveau de l'atelier de l'ébarbage, avec une durée de vie meilleure pour les noyaux en stockage en comparaison avec d'autres mélanges.

Mélange -5- Avec variation du pourcentage du sucre :

- **Pourcentage du sucre = 0.3٪**

N° Essai	1	2	3	4	5	6	7	8
Temps stockage (h)	1/2	1	2	3	4	24	48	72
Résistance a la flexion Kg f /cm^2	6-6	9-9	9-9	12-12	10-10	36-35	37-37	37-37

- **Pourcentage du sucre = 0.4٪**

N° Essai	1	2	3	4	5	6	7	8
Temps stockage (h)	1/2	1	2	3	4	24	48	72
La résistance a la flexion Kg f/cm^2	7-7	6-6	11-11	14-14	16-17	43-43	45-45	42-42

- **Pourcentage du sucre = 0.2٪**

N° Essai	1	2	3	4	5	6	7	8
Temps stockage (h)	1/2	1	2	3	4	24	48	72
Résistance a la flexion Kg f /cm^2	8-8	8-8	9-9	10-11	14-14	36-35	34-34	34-34

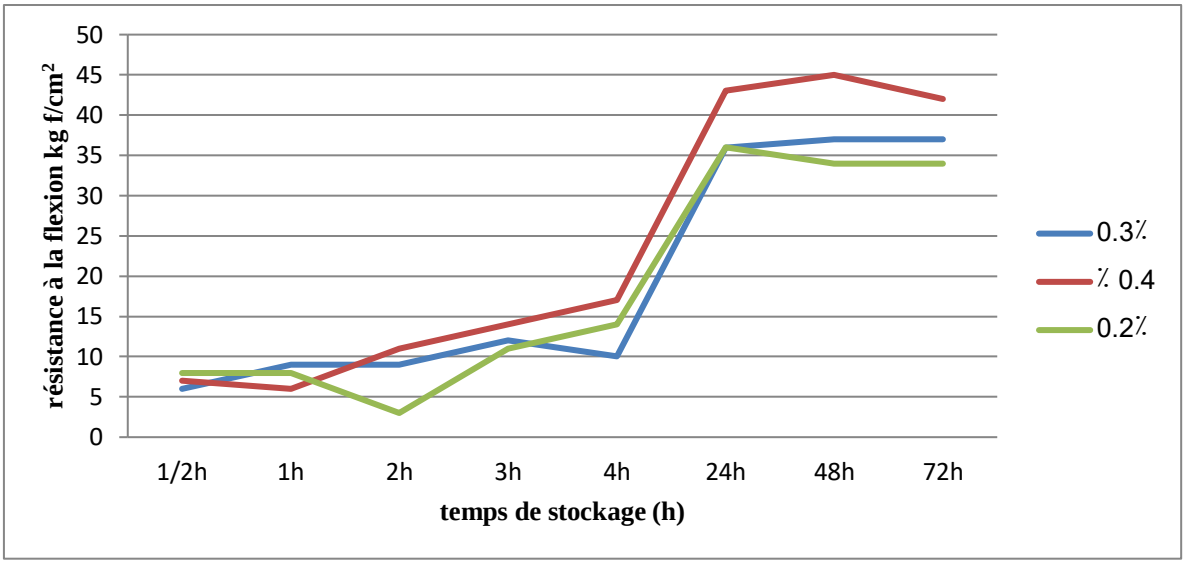


Figure III-17 : Résistance au cisaillement en fonction du temps du stockage

Interprétation de la figure III-17 :

Pour ce dernier 3 mélanges on a visé a diminuer le taux de consommation du sucre, et ce par comparaison entre 3teneur différents (0.2٪ ,0.3٪ ,0.4٪) et d'après les résultats obtenus dans la figure III-17, on a remarqué que les meilleur résultats est donnés par le mélange à 0.2٪sucre, soit en terme de résistance, soit en terme de l'aptitude au débourrage, soit en terme de durée de stockage.

- **Préparation d'un mélange similaire au niveau de l'atelier de noyautage pour produire les noyaux :**

Le sable et de composition suivante :

- Sable neuf 94.8%.
- Silicate de soude 5%.
- Sucre 0.2%

On ajoute le sucre dans le silicate de soude et on mélange pour dissoudre le sucre dans le silicate de soude afin de prendre la teinte marron.

On mélange les compostions de mélange pendant 5 min, après on vidange le malaxeur on prenant de soin de le nettoyer**.**

- **Modelé et boites à noyaux :**

Après on a utilisé les boites (figure III-18) comme essais pratiques pour fabriquer les noyaux



Figure III-18 : Boites de noyaux

- **Déboitage(confection des noyaux) :**

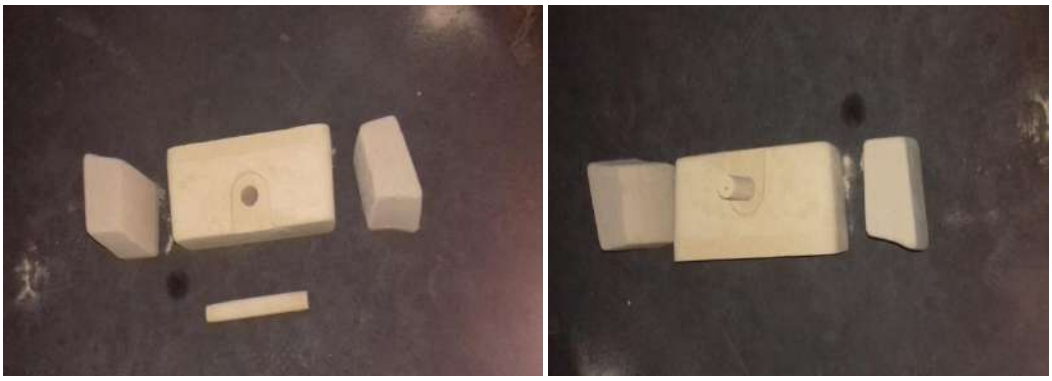


Figure III-19 : Noyaux en procédé silicate de soude.

- **Moulage, coulage, ébarbage :**

Après moulage et coulée on n'observe que l'opération de débourrage est devenue plus aisée et rapide, sans recours au marteau recours, donc l'augmentation de la cadence de production.
Et en fin obtenir une pièce bien finie et lisse à la surface intérieure qu'à l'extérieur.



Figure III-20 : Photos des pièces fabriquées

Conclusion Générale

L'étude que nous avons menée sur la possibilité de l'incorporation d'un adjuvant de débourrage pour le silicate de soude seul ou pour le mélange sable –silicate de soude nous a permis de conclure les points suivants :

- aisément la substitution du silicate de soude d'importation par le silicate de soude local, donc un gain en devise, et l'immédiate disponibilité du produit.
- le module de silicate de soude de valeur 2.03, donc c'est un module apprécie **bas,** a cet effet l'utilisation d'un adjuvant de débourrage est obligatoire.
- aisément l'utilisation de ce produit pour la confection des noyaux destinés pour les pièces à faible épaisseur sans craindre la casse de la paroi.
- pas de surcout sur le prix de revient global da les pièces, puisque l'adjuvant est incorporé à des taux minimes pas plus de 1% dans le mélange.
- le mélange adjuvant sucre industriel incorporé avec le silicate de soude, puis mélangé avec le sable à donner des résultats satisfaisantes :
- soit au niveau du laboratoire, où la résistance à la flexion est moindre par rapport au mélange de base (mélange sans utilisation d'un adjuvant), où la résistance à la flexion est accrue.
- soit au niveau de la production, où le débourrage est devenue facile, sans recours au marteau piqueur pour la casse des noyaux, donc un travail moins pénible pour l'opérateur, et un cadence élevé en terme expédition des pièces.
- l'utilisation du sucre industriel comme adjuvant de débourrage en comparaison avec d'autres produits tel que le noir minéral par exemple, à donner des résultats concluants

BIBLIOGRAPHIE

[1] : Technique d'ingénieur M3512- Moulage-Noyautage.

[2] : Projet de reconstruction (100٪) de la fonte de la sonacome BERRROUAGIA.

[3] : Manuel des sables a prise chimique de la mise en œuvre.

[4] : Sables autodurcissants, récupération associée au grenaillage Fonderie, Octobre 1980;Fonderie. Fondeur d'aujourd'hui n°11, janvier 1982.

[5] : Les cours de Mr Hebireche.

[6] : Article sable en matériaux de moulage en fonderie [M3 575].

[7] : Technique de l'ingénieur CUENIN(p) sable et matériaux de moulage de fonderie.

[8] : Recherche de la qualité des pièces de fonderie CIATF 1986.

[9] : Noel (m)-la chimie au service de la. Hommes et fonderie n83 mars1988.

[10] : SANDERS (C.A)-foundry Sand p American colloïde company.

[11] : Recommandation technique du B.N.I.F.n°422 –novembre 1999.

[12] : Analyse complète du sable selon la norme NFA 01-209.

[13] : Classeur de fonderie Berrouaghia.

[14] : JEANCOLAS(M) et VIROLLE(x)-guide de l'agglomération des sables siliceux par le procédé de silicate de soude-gaz carbonique CTIF4215

[15] : Mémoire (nouveau processus d'élaboration du sable de moulage en fonderie de Berrouaghia) Ladjal, Missoum.

[16] : Société française des bentonites.