

Caractérisation physico-chimique des sables usés de la fonderie de Tiaret (Algérie), en vue de leur valorisation

Sahraoui AISSAT* et Amine KACIMI

Laboratoire de Recherche des Technologies Industrielles, Département de Génie Mécanique, Université Ibn Khaldoun – TIARET, B.P. 78 – 14000 TIARET, Algérie

* Correspondance, courriel : sh_aissat@yahoo.fr

Résumé

Liés avec des argiles ou des résines, les sables de fonderie sont utilisés pour confectionner des moules et des noyaux dans lesquels sont coulés les métaux en fusion.

Après 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 résiduaux (nommés également « sables rejetés », « vieux sables » ou « sables brûlés ») doivent être éliminés. Ces déchets peuvent en effet présenter un risque pour l'homme et l'environnement.

Ce travail se propose de caractériser les sables usés de la fonderie de Tiaret (Algérie), en vue de leur valorisation.

Les sables étudiés et qui ne peuvent être réaffectés à l'activité de fonderie sont constitués de sable d'origine naturelle mélangé à des liants comme : l'argile, le silicate de soude, et la résine furanique.

Mots-clés : *sables usés de fonderie, déchets, environnement, développement durable, valorisation.*

Abstract

Physicochemical Characterization of worn sands of the foundry of Tiaret (Algeria), with a view of their valorisation

Linked with clays or resins, the sands of foundry are used to make moulds and cores in which are cast the molten metals.

After the operation of stripping of the metal parts, most of sands is re-used on the spot by regeneration, while the remaining worn sands of foundry (also named “rejected sands”, “old sands” or “burned sands”) must be eliminated. These wastes can indeed present a risk for the man and the environment.

This work proposes to characterize worn sands of the foundry of Tiaret (Algeria), with a view of their valorisation.

The studied sands and which cannot be reallocated to the activity of foundry are constituted of sand of natural origin mixed with agglutinants like: the clay, the sodium silicate, and the furan resin.

Keywords : *worn sands of foundry, wastes, environment, durable development, valorisation.*

1. Introduction

La conjugaison des coûts d'achats des sables neufs, de leur transport et du tonnage considérable de sable nécessaire à la confection des moules et des noyaux (estimé globalement de 5 à 10 fois le volume des pièces produites) a incité l'industrie de la fonderie à recycler préférentiellement les sables usés dans leur procédé de moulage des pièces métalliques. 90 % du sable brûlé est recyclé à la confection de nouveaux moules par ajout de sable neuf et moyennant une préparation spécifique (régénération). Le sable restant (10 %) est rejeté du procédé de fabrication. A ce stade, le « sable usé » est considéré comme un déchet de fonderie et peut éventuellement suivre une autre voie de recyclage.

Ces matériaux sont principalement constitués de sable d'origine naturelle mélangé à des liants de nature très variée (argile, silicate de soude, résine furanique) et à des résidus de métaux fondus.

Le premier type de procédé à base de liants minéraux d'origine naturelle (argile) (de la bentonite pour les sables à vert) génère des sables dont l'élimination n'implique pas de risque de pollution de l'environnement.

Les procédés à base de liants organiques d'origine synthétique utilisent dans la grande majorité des cas, des résines phénoliques ou furaniques qui sont présentes dans les sables en quantités diverses. Ces sables peuvent être, soit stockés dans des installations dûment autorisées à cet effet, soit valorisés en les introduisant dans des procédés aptes à détruire ces liants.

Les sables usés peuvent être utilisés en agriculture, en construction routière, dans le domaine du bâtiment, pour la fabrication de tuiles, de briques et de ciment.

2. Particularités des sables usés

Les sables usés sont des résidus de calcination qui résultent du traitement thermique des sables de moulage à haute température (parfois plus de 1000°C) lors de la coulée du métal en fusion. On peut détecter des traces d'adjuvant tels que le noir minéral qui facilite le démoulage des pièces ou des produits organiques de toutes natures (paraffines, graisses aux silicones-esters, sulfonates, ...).

Il est important de signaler que les sables usés peuvent également contenir un certain nombre de corps étrangers (billes de métal, bavures, supports de noyaux, ...), si les déchets issus du traitement de régénération des sables de moulage (déchets métalliques, refus de criblage, dépoussiérage) ne sont pas convenablement gérés.

Ils peuvent contenir des quantités importantes de métaux lourds, comme le nickel et le chrome, deux éléments d'alliage fréquemment rencontrés dans les aciers.

Certains sables usés, issus des sables de moulage à la résine, peuvent contenir des matières organiques plus ou moins dégradées par la coulée.

3. Références législatives et réglementaires

3-1. Loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets

Au niveau Algérien la loi n°01-19 du 12 décembre 2001 a pour objet de fixer les modalités de la gestion, de contrôle et de traitement des déchets.

Au sens de la présente loi on entend par déchets (article 3) : tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout objet, bien meuble dont le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer.

Les déchets au sens de la présente loi (article 5) sont classifiés comme suit:

- les déchets spéciaux (S) y compris les déchets spéciaux dangereux (DS);
- les déchets ménagers et assimilés (MA);
- les déchets inertes (I).

Selon cette classification Algérienne des déchets, les sables usés de fonderie sont inscrits dans la troisième classe, celle des déchets inertes. Ces déchets, ne sont susceptibles d'aucune évolution physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et /ou à l'environnement.

Au sens de cette loi (article 7), tout générateur et/ou détenteur de déchets est tenu d'assurer ou de faire assurer la valorisation des déchets engendrés par les matières qu'il importe ou écoule et les produits qu'il fabrique.

La valorisation des déchets concerne toutes les opérations de réutilisation, de recyclage ou de compostage des déchets.

La gestion, le contrôle et la valorisation des sables usés de fonderie ne sont pas spécifiquement pris en compte dans les textes de la loi n° 01-19 du 12 décembre 2001.

3-2. Loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable

La loi n°03-10 du 19 juillet 2003 a pour objet de définir les règles de protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

La présente loi (Article 39) institue les prescriptions de protection : de la diversité biologique, de l'air et de l'atmosphère, de l'eau et des milieux aquatiques, de la terre et du sous-sol, des milieux désertiques, et du cadre de vie.

Des dispositions pénales sont prévues au titre VI de la présente loi pour lutter contre toutes les infractions aux dispositions relatives à la protection de la diversité biologique, de l'air et de l'atmosphère, de l'eau et des milieux aquatiques, de la terre et du sous-sol, des milieux désertiques, et du cadre de vie.

La norme algérienne de spécifications des sables et des granulats en général n'a pas encore été élaborée.

4 - Les sables usés étudiés

L'Algérienne des fonderies de Tiaret (ALFET) (*Figure 1*) utilise de nombreux types de sables qui servent à confectionner des moules et des noyaux pour le moulage de ces pièces métalliques. Le plus souvent en sable siliceux (sable d'origine) complété par des liants selon les applications envisagées et le type d'alliage. Les principaux sables de moulage étudiés et utilisés par ALFET sont répertoriés comme suite :

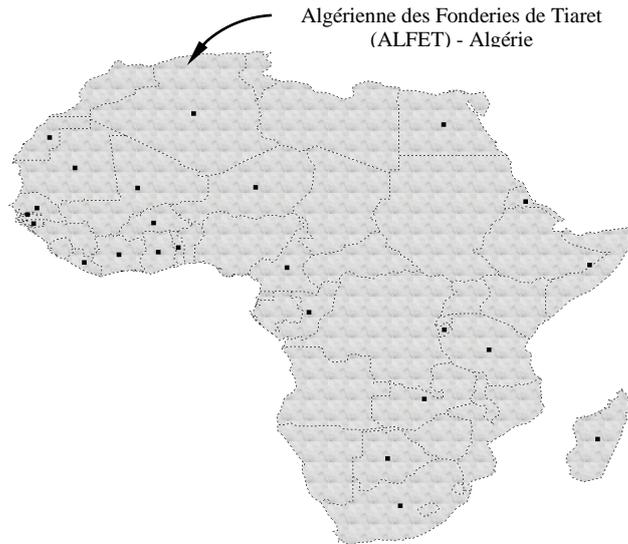


Figure 1 : Localisation de l'Algérienne des Fonderies de Tiaret (ALFET) - Algérie

4-1. Sable à vert ou à l'argile (désigné S1 par la suite)

Le sable de base est constitué principalement de grains de silice pure (quartz), mélangés avec de la bentonite (5 % à 10 %), avec du noir minéral et de l'eau.

Le sable à vert est très utilisé pour la confection des moules, appelé « moulage à vert ». Ce procédé est employé pour la fabrication des pièces en fonte.

4-2. Sable au silicate de soude (désigné S2)

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

4-3. Sable au silicate de soude avec bentonite (désigné S3)

Appelé aussi sable de contact. Sa composition est la même que celle du sable au silicate de soude (S2) mais on ajoute de la bentonite (4 % à 4.5 %) pour améliorer l'état de surface des pièces.

4-4. Sable à la résine furanique (désigné S4)

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

La résine furanique employée par ALFET est un mélange d'alcool furfurylique et d'alcool formaldéhyde. Cette résine thermodurcissable durcie en présence d'un catalyseur acide composé de l'acide xylènesulfonique, de l'acide benzène-sulfonique et de l'acide sulfurique.

Le sable à la résine furanique sert à la fabrication de pièces massives en fonte.

5. Étude statistique des sables usés

Cette étude est basée sur les données procurées d'ALFE Tiaret pendant l'année 2007. Les résultats représentés par la suite donnent la consommation totale de sable en tonne pendant toute l'année 2007 et la quantité de sables usés pendant cette même année pour les quatre types de sables étudiés (S1, S2, S3 et S4).

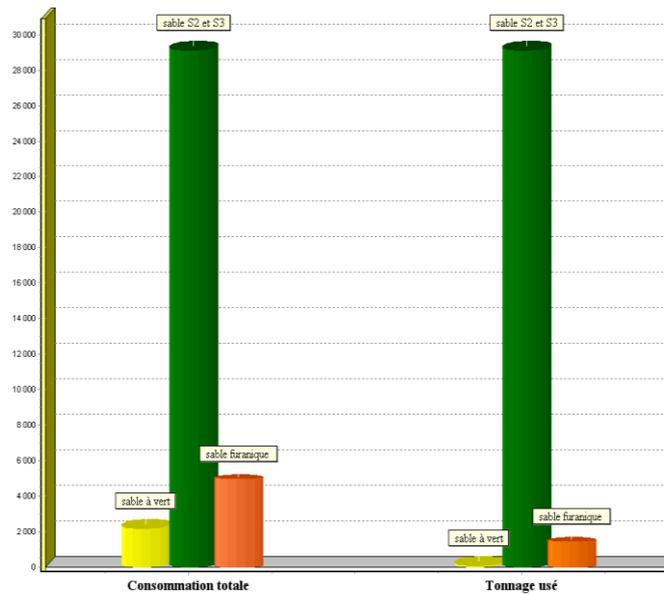


Figure 2 : Comparaison des tonnages consommés et usés des sables étudiés

Cette étude met en évidence les quantités colossales des sables utilisés par ce type d'industrie. Ainsi, cette quantité peut atteindre les 30000 tonnes par an pour les sables S2 et S3. Elle est moindre pour les sables S1 et S4.

La totalité du tonnage consommé des sables S2 et S3 est rejeté, mais seulement 2 % du tonnage consommé du sable à vert (S1) est rejeté et 30 % du sable S4 est considéré comme sable usé (**Figure 2**).

6. Caractérisation physico-chimique des sables usés d'ALFET

Les essais ont été réalisés au Laboratoire des Travaux Publics de l'Ouest (LTPO) de Tiaret (Algérie), au Département de Génie Civil de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret (Algérie) et au Laboratoire des analyses de sol de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sébaine de Tiaret (Algérie).

6-1. Analyses physiques

6-1-1. Analyses granulométriques

Les distributions granulométriques des sables usés S1, S2, S3 et S4 sont représentées par les courbes en S ci-après. Ces courbes expriment le tamisât (ou le passant) cumulé en % en fonction de l'ouverture des tamis en mm.

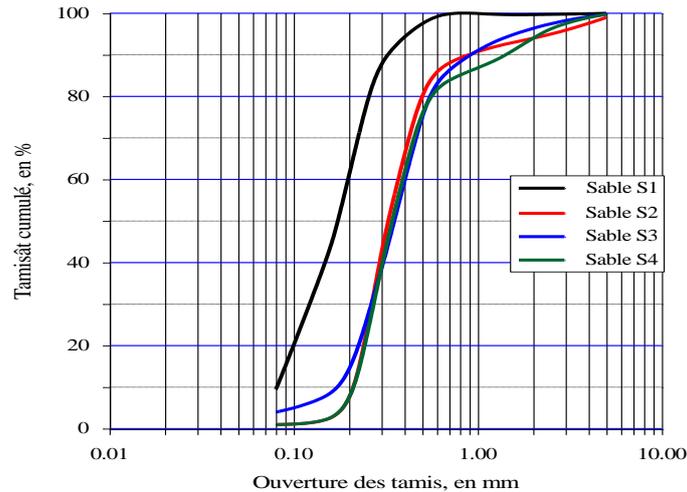


Figure 3 : Distributions granulométriques des sables usés étudiés

Ces courbes granulométriques sont régulières et ne présentant ni bosse ni creux. Nous remarquons une continuité de ces courbes (**Figure 3**), avec des éléments plus fins et une teneur de 8 % en moyenne pour les sables S1 et S3, suite à la présence de bentonite dans ces sables. Cette teneur est aux environs de 4 % pour les sables S2 et S4.

On remarque aussi, en tête de ces courbes, la présence d'environ 10 % à 15 % d'éléments plus grossiers pour les sables S2, S3, et S4, qui sont des sables agglomérés avec des résines et qui rend la séparation de leurs grains très difficile. Le pourcentage des éléments grossiers du sable S1 et aux environs de 5 %.

6-1-2. Masse volumique apparente

La masse volumique apparente exprimée en g/cm^3 des sables usés étudiés est donnée par le graphique de la **Figure 4**.

Les sables étudiés sont peu denses et présentent presque la même valeur de la masse volumique apparente mesurée.

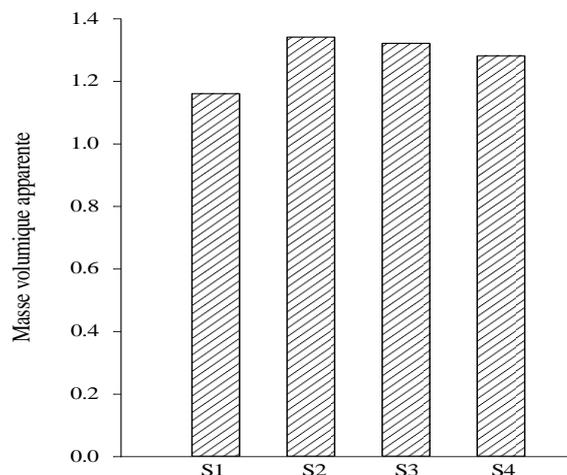


Figure 4 : Masse volumique apparente

6-1-3. Équivalent de sable (ES)

L'équivalent de sable (ES) exprimé en %, permettant de mesurer la propreté d'un sable est illustré par la **Figure 5** des sables étudiés.

Le sable à vert S1 présente un équivalent de sable très faible par rapport à celui des sables S2, S3 et S4 qui présentent des valeurs très importantes.

Ces valeurs favorisent l'utilisation des sables S2, S3 et S4 dans plusieurs domaines du bâtiment et du génie civil, le sable à vert S1 est à l'écart de ces domaines d'applications.

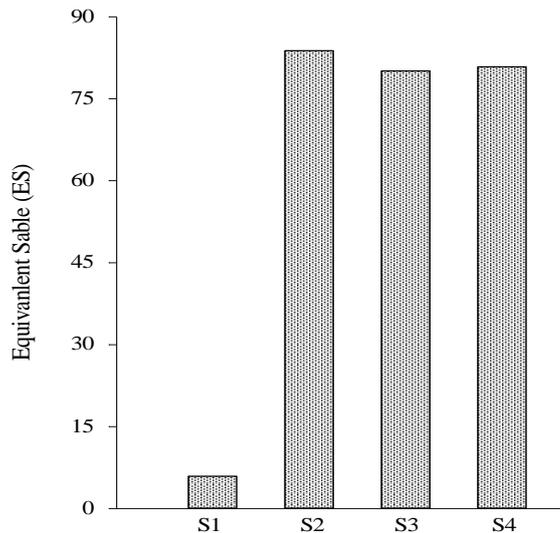


Figure 5 : Équivalent de sable (ES)

6-1-4. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'un sable exprime le taux des sels dans ce sable et tout sable est considéré comme salé si sa conductivité électrique (CE) est supérieure à 2 mmhos/cm. Ainsi, et d'après la **Figure 6**, les sables S1 et S2 sont salés, les sables S3 et S4 ne le sont pas.

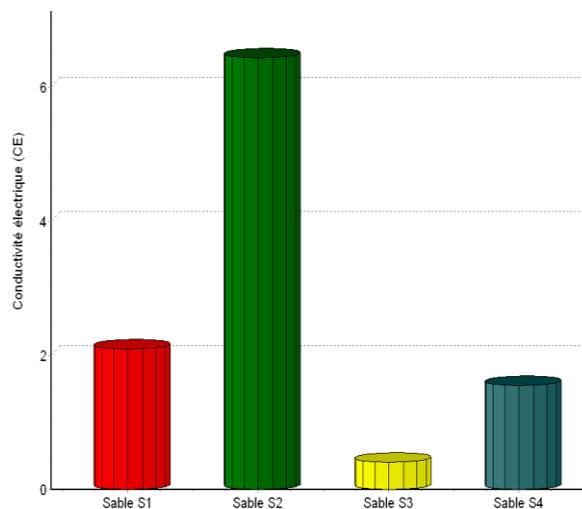


Figure 6 : Conductivité électrique des sables S1, S2, S3 et S4

6-2. Analyses chimiques

6-2-1. Valeur au bleu de méthylène (VB)

Cette caractéristique permet de mesurer la capacité des éléments fins tels que : les argiles, les matières organiques et les hydroxydes de fer à adsorber du bleu de méthylène. Cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments. La **Figure 7** exprime cette valeur pour les sables S1, S2, S3 et S4.

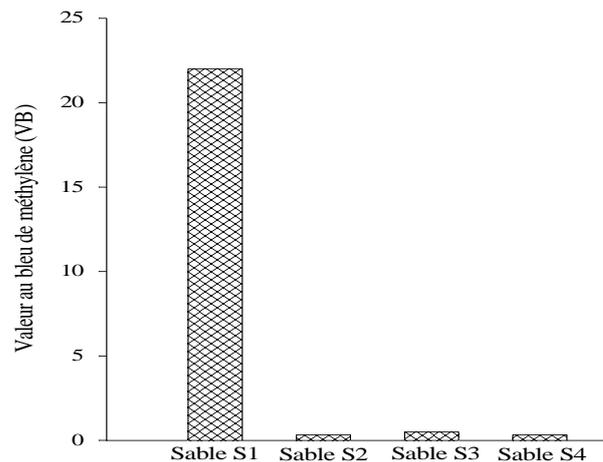


Figure 7 : Valeur au bleu de méthylène (VB) des sables S1, S2, S3 et S4

La quantité d'argiles et plus particulièrement la bentonite du sable S1 reste nettement supérieure à celle des autres sables (S2, S3, S4), ce qui permet de dire que le sable S1 est très sensible à l'eau.

6-2-2. Détermination du PH

La valeur du PH des sables S1, S2, S3 et S4 est donnée par la **Figure 8**.

L'échelle de pH s'étend de 0 à 14; elle sert à définir le degré d'acidité ou d'alcalinité du sable. Un pH de 7,0 indique un sable neutre; un pH inférieur à 7,0 indique l'acidité, alors qu'un pH supérieur à 7,0 signifie que le sable est alcalin.

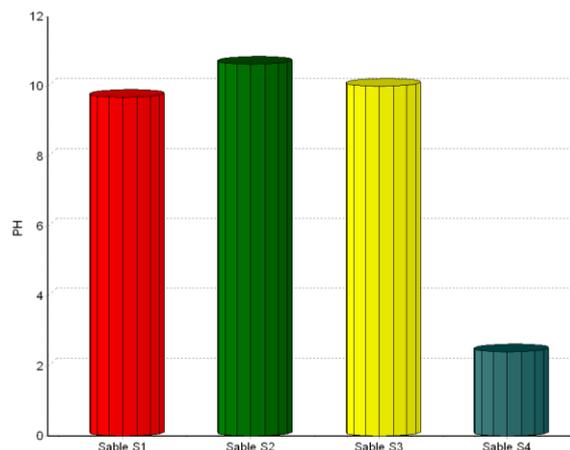


Figure 8 : Valeur du PH des sables S1, S2, S3 et S4

6-2-3. Matière organique

Un sable est qualifié de non organique, si sa teneur en matière organique est \leq à 3 %, il est dit très organique si sa teneur en matière organique est $>$ à 30 %.

La **Figure 9** exprime la teneur en matière organique des sables usés étudiés. Ces sables sont tous non organiques et présentent de faibles teneurs en matière organique.

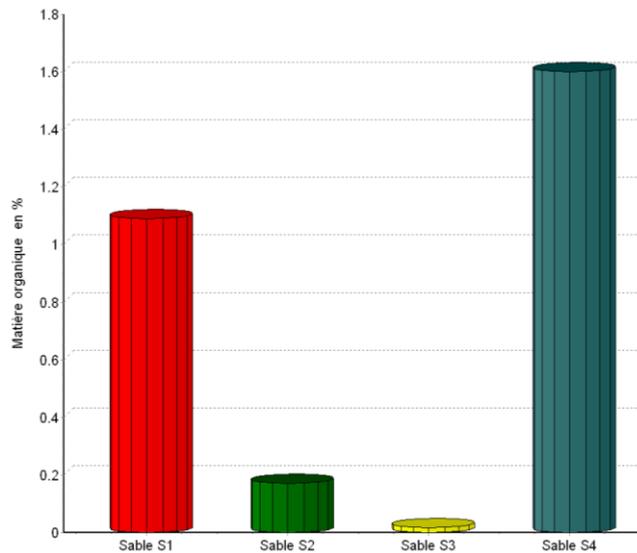


Figure 9 : Matière organique en % présente dans les sables usés

6-2-4. Azote total

Les sables étudiés détiennent des valeurs très faibles en azote total et des pourcentages nuls en calcaire. Ces sables sont tous pauvres en azote total (**Figure 10**).

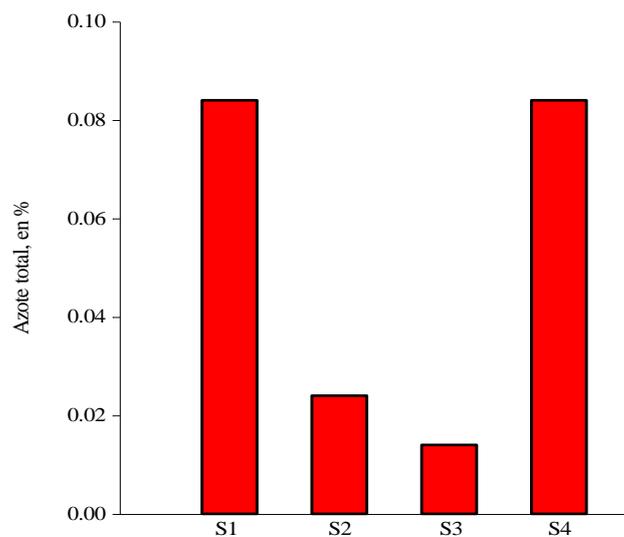


Figure 10 : Azote total en % des sables usés

6-3. Autres caractéristiques et domaines d'application des sables étudiés

La suite des caractéristiques physico-chimiques et les domaines probables d'utilisation des sables étudiés sont indiqués sur le **Tableau 1**.

Tableau 1 : *Autres caractéristiques et domaines d'application des sables usés étudiés*

	Sable S1	Sable S2	Sable S3	Sable S4
Analyses physiques				
Texture	limono sableuse	sableuse	sableuse	sableuse
Analyses chimiques				
Carbone organique en %	0.63	0.09	0.009	0.93
Capacité d'échange cationique en meq par 100 g de sable	11.35	3.38	3.24	2.64
Calcaire CaCO ₃ en %	00	00	00	00
Rapport carbone azote (C/N)	7.50	3.75	0.64	11.07
Phosphore assimilable en ppm	4.74	8.45	1.06	5.79
Humidité en %	2.25	2.74	0.70	00
Domaines d'application				
Remblai	Ne convient pas	Convient	Convient	Convient
Chaussées	Ne convient pas	Convient	Convient	Convient
Couche de forme	Ne convient pas	Convient	Convient	Convient
Assise et enrobage des canalisations en PVC	Ne convient pas	Convient	Convient	Convient
Béton	Ne convient pas	Convient	Convient	Ne convient
Entretien et réparation des ouvrages de génie civil	Ne convient pas	Convient	Convient	Ne convient pas
Gazon synthétique	Convient	Ne convient pas	Ne convient	Convient
D'autres applications dans le domaine de l'agriculture	Convient	Ne convient pas	Ne convient pas	Convient

Les sables étudiés ont une texture limono sableuse à sableuse, ils sont non calcaire, ils sont faiblement à moyennement pourvu en phosphore assimilable et ils ont une faible capacité d'échange à cause du faible pourcentage de bentonite surtout pour les sables S2, S3, et S4.

Ils sont à faible pourcentage d'eau et ils présentent un rapport carbone/azote (C/N) très faible pour les sables S2 et S3 que pour les sables S1 et S4.

Conclusion

Une analyse des paramètres physico-chimiques mesurés indique que les sables trop argileux, qui contiennent des matières organiques et dont l'équivalent sable est trop faible, sont systématiquement écartés des applications dans les domaines du bâtiment, des travaux publics et du génie civil.

Les sables pauvres en matières organiques (MO) et trop acides sont écartés des applications dans le domaine de l'agriculture.

La variété des domaines d'utilisation des sables usés de fonderie, nous offre un large éventail de valorisation de ces sables, ainsi nous pouvons déduire les conclusions suivantes :

- Les sables S2 et S3 peuvent être utilisés dans des applications routières (remblai, chaussées, couche de forme, assise et enrobage des canalisations en PVC), dans le bâtiment (béton) et dans l'entretien et la réparation des ouvrages de génie civil, vu l'homogénéité de leurs courbes granulométriques, vu leur équivalent sable très élevé, leur VB très faible et vu leur pourcentage très faible en matière organique.
- Ces sables sont à écartés des applications dans le domaine de l'agriculture parce qu'ils sont pauvres en matière organique, pauvres en carbone organique, ils contiennent de faibles pourcentages en éléments nutritifs tel que : l'azote, ils possèdent de faibles rapport C/N et de mauvaises capacité d'échange cationique. En plus le taux de salinité du sable S2 est très élevé.
- Le sable S1 ne convient pas pour des applications dans le domaine du bâtiment et du génie civil, vu sa texture limono sableuse, vu sa valeur en bleu de méthylène (VB) très élevé, son ES très faible et vu sa relative richesse en matière organique.
- Il convient pour diverses applications dans le domaine de l'agriculture, par suite de la présence d'un pourcentage assez élevé en MO, en CO et vu son rapport C/N et sa CEC élevée.
- Le sable S4 peut être utilisé dans des applications routières (remblai, chaussées, couche de forme, assise et enrobage des canalisations en PVC), vu les bonnes caractéristiques de ce sable pour ces applications.
- Les conditions d'utilisation des sables dans le domaine du bâtiment et pour l'entretien et la réparation des ouvrages de génie civil sont très sévères, par conséquent le sable S4 ne convient pas pour ces applications, vu son pourcentage élevé en matière organique.
- Il peut être utilisé dans ces domaines, en éliminant par calcination la matière organique présente dans ce sable.
- Ce même sable peut être utilisé dans le domaine de l'agriculture, à condition d'apporter des corrections sur le taux d'humidité et de diminuer son acidité. L'utilisation de la chaux peut neutraliser l'acidité de ce sable et augmenter son PH.

Pour l'Algérie, il reste beaucoup de chemin à parcourir pour établir les lois particulières et nécessaires pour gérer et valoriser ce type de déchets.

Références

- [1] - L. RIMOUX, "Les déchets dangereux en quantités dispersées en fonderie", Fonderie Fondateur d'aujourd'hui, CTIF, N°228 (2003) 47-49.
- [2] - J. ORKAS, "Remploi avantageux des sables excédentaires de fonderie dans le compostage", Fonderie Fondateur d'aujourd'hui, CTIF, N°215 (2002) 34-40.
- [3] - L. RIMOUX, "Valorisation des déchets de fonderie. Aspects techniques au niveau international 2^{ème} partie", Fonderie Fondateur d'aujourd'hui, CTIF, N°260 (2006) 37-49.
- [4] - B. DUQUET, "Gestion des déchets de sables à vert et en mélange", Fonderie Fondateur d'aujourd'hui, CTIF, N°232 (2004) 23-28.
- [5] - B. DUQUET, "Gestion des déchets de sables à vert et en mélange : valorisation", Fonderie Fondateur d'aujourd'hui, CTIF, N°235 (2004) 32-40.