

VALORISATION DES SABLES USÉS DE FONDERIE DANS LE DOMAINE DE GÉNIE CIVIL

VALORIZATION OF FOUNDRY SAND IN CIVIL ENGINEERING FIELD

Hadj BEKKI¹, Aouali HEMMAM², Mohamed AIT AMEUR MEZIANE¹

¹ Maitre de conférences au département de génie civil, Université Ibn Khaldoun, Tiaret, Algérie

² Master, département de génie civil, Université Ibn Khaldoun, Tiaret, Algérie

RÉSUMÉ – Le présent travail consiste à valoriser les sables de fonderie dans le domaine de génie civil. Il a été trouvé que les sables à minéraux naturels, tel que le sable à vert, donnent, après traitement aux liants hydrauliques, des performances mécaniques intéressantes pour être utilisés en construction routière. Le traitement hydraulique du sable au silicate de soude réduit son pH et contribue à la protection de l'environnement.

ABSTRACT – The present work is an experimental study aimed to valorize foundry sand in the area of construction. It has been found that the sand with natural minerals, such as green sand, give after treatment with hydraulic binders, an interesting mechanical performance for its use in road construction. The hydraulic treatment of sodium silicate sand has reduced its pH which will help to protect the environment.

1. Introduction

Les fonderies fondent des métaux et des alliages ferreux et non ferreux et les refaçonnent en produit fini ou presque par la coulée et la solidification du métal ou de l'alliage en fusion dans des moules et des noyaux en sables.

Les sables de fonderie sont habituellement un mélange de silice et d'argile qui, à l'état humide, doivent prendre exactement les formes que le mouleur leur donne. Toujours est-il que l'argile joue le rôle de liant, la silice étant l'élément réfractaire. Le moule une fois formé, doit présenter une résistance mécanique suffisante pour supporter les manipulations et résister aux chocs thermiques comme à l'érosion résultante de la coulée du métal en fusion. Après coulée, le sable doit pouvoir se détacher facilement de la pièce refroidie, tout en lui laissant un aspect aussi dépourvu de défaut que possible.

L'Algérienne des Fonderies de Tiaret (ALFET) utilise quatre types de sables (Kacimi, 2007):

S1 : sable à vert.

S2: Sable au Silicate de soude (pH 12)

S3: Sable au silicate de soude avec bentonite

S4: Sable furanique (pH 1 ou 2).

Les composants principaux des sables de moulage (sable à vert) sont : Le sable siliceux, la bentonite (liant) et le noir minéral (adjuvant) (Abichou, 2000).

Les silicates de sodium, communément appelés «silicate de soude», sont de sels résultant de l'action de la soude (base forte) sur l'acide silicique (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.

Le sable à la résine furanique sert à la fabrication des pièces massives en fonte. Le procédé consiste à mélanger le sable avec un catalyseur acide et une résine furanique, la prise s'effectuant à température ambiante. Le phénomène de prise des sables autodurcissants aux résines furaniques repose sur la propriété de ces résines

thermodurcissables de durcir assez rapidement à la température ambiante, en présence d'un catalyseur acide.

La majeure partie des sables de fonderie à liants minéraux (sable à vert) est recyclée in situ, directement sur le lieu de production des sables usés (Rimoux, 2006).

Les sables usés à liants organiques (S2, S3 et S4) peuvent suivre trois types de régénération :

- La régénération mécanique réalisée par frottement des grains les uns contre les autres ou par projection contre une surface dure. Les opérations de dégagement et de désenrobage permettent de séparer les sables et les résines enrobant les grains. Les sables ainsi récupérés sont recyclés et les déchets à base de résines sont éliminés de la même façon que les sables non brûlés.

- La régénération thermique qui permet de détruire la résine qui s'enflamme à 800 °C par passage sur un lit fluidisé. La température du sable est ensuite abaissée à 35 °C par passage dans un refroidisseur.

- La régénération par voie bactériologique qui permet de réduire le taux de phénols des sables (BRGM, 2004).

Dans la fonderie de Tiaret, uniquement le sable à vert est régénéré à plus de 90%, alors que les autres types de sables usés (S2, S3 et S4) sont stockés sur le site de l'usine, ce qui pose un problème énorme pour l'entreprise dans la gestion de ces déchets, d'une part et constitue un danger pour l'environnement (contamination de l'air et de la nappe phréatique) en plus des risques écologiques qui peuvent avoir lieu, d'autre part. C'est pour cette raison qu'il est intéressant de valoriser ces sables usés dans d'autres domaines.

Dans le présent travail, on s'intéressera à la valorisation du sable à vert (S1) et du sable au silicate de soude (S2 et S3). Le sable S4 (sable à la résine furanique) n'a pas été abordé dans la présente étude car, il présente une forte toxicité, ce qui pose des problèmes pour sa manipulation et son traitement.

On présentera, tout d'abord, les procédés industriels d'utilisation des sables pour la fabrication des pièces mécaniques, puis l'étude expérimentale menée pour la valorisation des sables usés dans le domaine de génie civil.

2. Utilisation des sables (S1, S2 et S3) dans la fonderie

2.1. Sable à vert

Le sable de base est constitué principalement de grains de silice pure (quartz), mélangés avec de la bentonite calcique (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 (Aissat et Kacimi, 2011).

La préparation est réalisée dans la sablerie qui sert également au recyclage du sable à vert (Duquet, 2004). La tableau 1 représente les différents constituants du sable à vert.

Le sable naturel utilisé dans l'ALFET provient de la wilaya de CHLEF (Algérie) ou de l'entreprise ADWAN CHEMICALS COMPANY (Mostaganem-Algérie).

L'argile utilisée par ALFET pour le moulage avec du sable à vert (S1) ou même le sable (S3) est une bentonite en montmorillonite qui provient du gisement de Hamam Boughrara (Maghnia - Algérie). C'est une bentonite sodique, de couleur blanche.

Le noir minéral est un additif carboné (charbon pulvérisé) dont la taille des particules est de 80 µm. Son rôle, dans le sable de moulage, est d'éviter l'abreuvement, la pénétration de l'alliage entre les grains de sable.

Tableau 1. Composition du sable à vert (Kacimi, 2007)

Constituant	Pourcentage (%)	Constituant (additif)	Pourcentage (%)
Sable usé	94 à 96	Bentonite (additif)	5 à 10

Sable neuf	4.5 à 5	Noir minéral (additif)	0.3 à 0.5
		Eau (additif)	2.5 à 5

2.2. Sable au silicate de soude

Les sables au silicate de soude (3 à 4% de silicate de soude), dénommés de remplissage, sont utilisés pour la confection de grandes séries de moules et de noyaux. Ces mélanges sont durcis, par injections de gaz carboniques. Ce type de sable est utilisé pour le moulage de pièces en acier.

Le Silicate de soude est une substance chimique de formule Na_2SiO_3 , très soluble dans l'eau. C'est une base forte formant des solutions très alcalines, corrosive pour la peau et les muqueuses (pH 13 en solution à 1%). Le silicate de soude est fourni par ADWAN Chemicals Company (Mostaganem - Algérie).

3. Essais d'identification des sables usés

3.1. Sable à vert

Les résultats des essais d'identification réalisés sur des échantillons de sable à vert sont récapitulés dans le tableau 2.

Tableau 2. Résultats des essais d'identification du sable à vert usé

Identification	Sable à vert	Identification	Sable à vert
Dmax (mm)	5	CaCO ₃ (%)	0
Passant au 80 µm (%)	21,58	ES (%)	15
IP	Non mesurable	Poids spécifique (g/cm ³)	2,57
VBS (ml/g)	1,64	Poids volumique (g/cm ³)	1,26

D'après les résultats trouvés et selon le guide de Terrassements Routiers GTR (AFNOR, 1992), notre matériau est un sable de classe B, soit un matériau sableux et graveleux avec fines et d'une sous- classe B₆, ce qui signifie que c'est un sable argileux à très argileux.

3.2. Sable au silicate de soude

Le tableau 3 récapitule les principales caractéristiques du sable au silicate de soude ainsi que le sable brut (avant ajout de silicate).

D'après les résultats trouvées et en se basant sur le Guide GTR (AFNOR, 1992), les matériaux étudiés peuvent être classés comme suit :

- Le sable brut peut être classé comme étant un sol sableux et graveleux avec des fines (classe B), et sous-classe (B₂).

- Le sable au silicate de soude peut être classé comme étant un sol sableux avec des fines (classe B), et grave siliceuse sous-classe (B₃).

Tableau 3: Résultats d'identification du sable brut et du sable au silicate de soude

Identification	Sable brut	Sable au silicate de soude
D max (mm)	5	5
Passant au 80µm (%)	1	1

IP	Non mesurable	Non measurable
VBS	0.75	0.125
CaCO ₃ (%)	2	2
Sulfate (%)	00	2.3
ES	90 (ES visuel)	94 (ES visuel)
Poids spécifique (g/cm ³)	2.55	2.53
Masse volumique (g/cm ³)	1.36	1.29

4. Valorisation du sable à vert dans la construction routière

Vu l'argilosité du sable à vert, il est intéressant d'utiliser des liants hydrauliques (ciment et chaux) comme agents de traitement permettant de stabiliser le sable usé par enrobage des grains (Bekki et al., 2015 ; Zirschky et Piznar, 1988).

Les résultats de l'essai CBR immersion, à différentes énergies de compactage, réalisé sur les échantillons de sable à vert traité avec la chaux ou le ciment ainsi que non traité sont représentés sur la figure 1.

On remarque que l'indice CBR Immersion augmente en continu en augmentant le dosage en ciment, alors que pour le traitement avec la chaux, cet indice augmente considérablement pour un dosage de 2% puis diminue pour un dosage de 4% de chaux, et cela pour les différentes énergies de compactage.

On peut conclure que le dosage économique à prendre pour le matériau étudié est de 2% de chaux, ensuite on peut varier l'intensité de compactage pour obtenir l'indice CBR désiré. Cela est dû au fait que le sable à vert usé est argileux ce qui nécessite l'ajout d'un agent diminuant son argilosité (la chaux).

5. Valorisation du sable au silicate de soude dans les mortiers de ciment

Vu la basicité du sable au silicate de soude, on a pensé à un traitement hydraulique au laboratoire en développant un dispositif expérimental permettant de laver le sable afin de réduire son pH.

Pour cela, nous avons utilisé un perméamétrie à paroi rigide dépourvu de son moule métallique, le réservoir doit être rempli d'eau distillée. L'appareillage est connecté à un Büchner de taille moyenne siphonné jointé et connecté au tuyau qui est relié à sa base (figure 2). Le Büchner siphonné est bien jointé pour éviter toute perte d'eau durant le traitement hydraulique. Le bout du siphon en PVC est relié à une fiole de 5 litres pour récupérer l'eau qui servait à laver l'échantillon de sable. Cette eau retenue dans le lavage doit être conservée dans un bac dont on devait mesurer son pH à chaque fois avant de la jeter ensuite. Le débit utilisé dans le lavage est un débit moyen ou faible pour donner le temps à l'eau distillée de bien s'infiltrer dans les grains de sable et dissoudre le silicate de soude d'une manière lente et efficace et la récupérer par la suite dans la fiole.

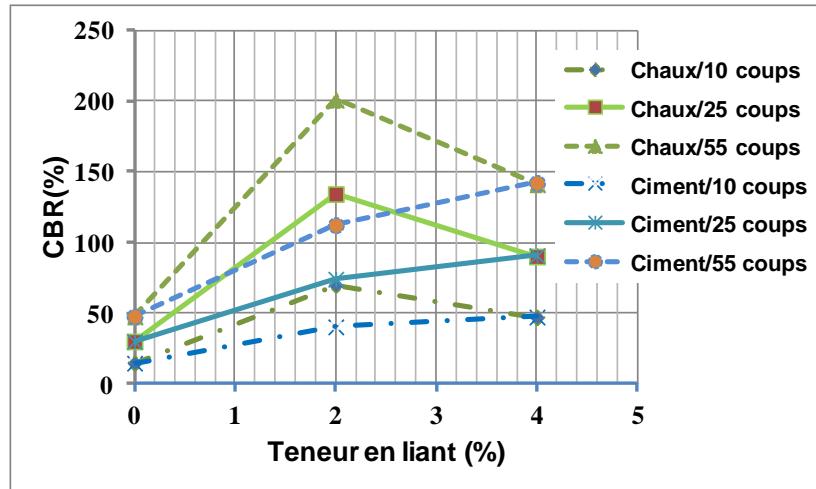


Figure 1: Résultats de l'essai CBR Immersion à différentes énergies de compactage



Figure 2: Dispositif expérimental pour le traitement hydraulique du sable au silicate de soude

Le pH doit être vérifié à chaque fois durant le lavage, chaque prise de pH est prise en compte. Après 15 litres consommé durant le lavage, l'échantillon du sable au silicate traité (premier traitement) doit être récupéré pour être étuvé à une température de 105°C. Après séchage, on récupère l'échantillon du sable et on vérifie son pH qui remonte à 8. L'opération est recommandée avec un lavage complémentaire. Le volume consommé d'eau est à peu près 15 litres d'eau distillée pour un kilo de sable usé.

Après le deuxième lavage, on laisse le sable se sécher à l'air libre puis on vérifie son pH, après 24 heures, pour s'en assurer de la neutralité du pH.

L'analyse spectroscopique par l'appareil RAMAN a montré que la structure minéralogique du sable au silicate de soude traité est très proche de celle du sable brut, ce qui confirme l'efficacité du traitement hydraulique.

Etant donné que les quantités de sable au silicate de soude traité sont insuffisantes pour réaliser des essais Proctor et CBR, on a étudié la valorisation du sable au silicate de soude dans la fabrication des mortiers en faisant une comparaison avec le sable de Guelta, qui est un sable d'oued, très utilisé dans la région de Tiaret (Algérie) pour la fabrication du béton.

Il a été réalisé des essais de flexion sur des éprouvettes prismatiques de mortier (4X4X16 cm³) préparées avec du ciment de LAFARGE (Matine) et les différents sables étudiés.

La figure 3 présente l'évolution de la résistance à la flexion en fonction de l'âge de mortier pour les différentes éprouvettes préparées.

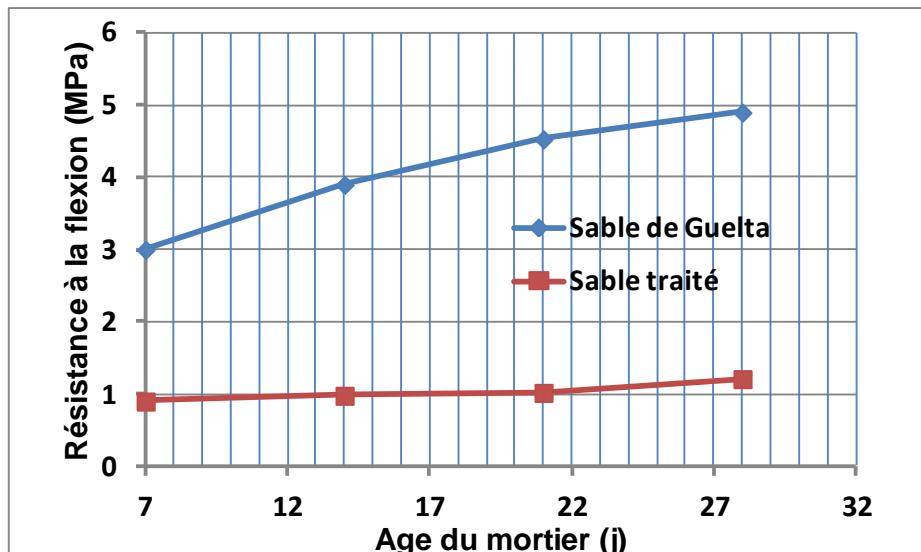


Figure 3 : Evolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour les différents mortiers préparés à la base des sables étudiés

On remarque que les résistances à la flexion augmentent en fonction de l'âge pour le mortier à base de sable de Guelta et celui fabriqué à base du sable traité.

Pour ce qui est du sable de Guelta, ce dernier donne des résultats très élevés, cela est dû au fait que le sable alluvionnaire favorise et accélère le processus d'hydratation du ciment.

Pour le sable traité, malgré qu'il donne des résultats relativement faibles, la résistance à la flexion augmente en fonction du temps, ce qui permet le développement des réactions chimiques d'hydratation mais d'une façon un peu lente.

6. Conclusions

L'objectif de notre travail consistait à trouver une solution technique au problème des sables usés de fonderie qui présentent un problème pour l'entreprise ALFET de Tiaret, tant sur le plan de recyclage que sur le plan de stockage sur site.

Il a été trouvé que le traitement du sable à vert avec un dosage de 2% de chaux donne un traitement optimal permettant d'atteindre un indice CBR de l'ordre de 140 pour une énergie moyenne de compactage et 200 pour une énergie intense de compactage.

Il a été trouvé, également, que le procédé de traitement permet de réduire le pH du matériau de 12 à 7 à peu près et de rendre son réutilisation possible dans le domaine du Génie Civil.

Les essais de flexion simple, réalisés sur les éprouvettes de mortier, ont mis en évidence l'intérêt du traitement du sable au silicate de soude, puisque ce dernier permet une hydratation continue du ciment malgré qu'elle est très lente par rapport au sable de Guelta.

Le travail devra être poursuivi pour analyser, par exemple, les performances mécaniques des mortiers préparés à base de mélanges de sable de Guelta et sable au silicate de soude, et étudier les possibilités d'utiliser le sable au silicate de soude dans la fabrication des enrobés bitumineux et dans les couches de forme ou en remblais.

7. Références bibliographiques

- Abichou, T., and Tuncer, B. (2000). Foundry green sands as hydraulic barriers: Laboratory study. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, vol. 126, pp. 1174-1183.
- Aissat, S. & Kacimi, A.(2011). Caractérisation physico-chimique des sables usés de la fonderie de Tiaret (Algérie), en vue de leur valorisation. *Afrique Science*, Vol. 7, N° 03, 2011, pp. 97–107.
- AFNOR (1992). Classification des sols - Guide des Terrassement Routiers-GTR NF P 11 300.
- Bekki, H., Djilaili, Z., Tlidji, Y. and H. Daouadji, T. (2015) "Durability of treated silty soil using lime and cement in road construction - a comparative study," *The Online Journal of Science and Technology*, vol.05, pp. 23-31.
- BRGM(2004). Dépollution des sables de fonderies, bactéries contre phénols. *Revue Géorama*, Le journal d'information du BRGM, décembre 2004- N° 14.
- Duquet, B. (2004). Gestion des déchets de sables à vert et en mélange.Fonderie Fondateur d'aujourd'hui, CTIF, N°232, 2004, pp. 23-28.
- Kacimi, A. (2007). Caractérisation Physico-chimique des sables usés de la fonderie de Tiaret (Algérie) en vue de leur valorisation. Projet de fin d'études, Département de Génie Mécanique, Université Ibn Khaldoun – TIARET.
- Rimoux, L. (2006). Valorisation des déchets de fonderie. Aspects techniques au niveau international-2ème partie. Fonderie Fondateur d'aujourd'hui, CTIF, N°260, 2006, pp. 37-49.
- Zirschky, J. & Piznar, M. (1988). Cement stabilzation of foundry sands. *J. Environ. Eng.*, N° 114, 1988, pp. 715-718.