

---

# Utilisation de granulats de laitier cristallisé comme matériau de construction en technique routière

H. Cherfa<sup>1</sup> & K. Ait Mokhtar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculté de génie civil/ Université des sciences et de la technologie  
Houari Boumediene, Algérie

[ha\\_cherfa@yahoo.fr](mailto:ha_cherfa@yahoo.fr)

---

*RÉSUMÉ. Les laitiers de haut fourneau sont des déchets industriels puisque qu'ils sont des coproduits de la fabrication de la fonte qui se présentent sous deux formes : granulé et cristallisé*

*L'objectif de ce travail est d'étudier le comportement mécanique d'une grave laitier tout laitier formulée, en laboratoire, à base de laitier cristallisé comme granulats et laitier granulé, activé par la chaux, qui joue le rôle d'un liant hydraulique. On s'intéressera à l'étude de la résistance au poinçonnement et de la portance de cette grave par le biais des essais Proctor et CBR, et on déterminera les deux indices CBR (indice CBR après immersion "CBR<sub>imm</sub>" et indice CBR immédiat), en vue de son utilisation dans les couches de chaussées (couche de fondation et couche de base).*

*ABSTRACT. The blast furnace slags are industrial waste since they are byproducts of iron making, which come in two forms: granular and crystallized.*

*The objective of this work is to study the mechanical behavior of a gravel slag all slag made in the laboratory-based crystallized slag as aggregates and granulated slag, activated with lime, which acts as a hydraulic binder. We will focus on the study of punching strength and the bearing of this gravel through Proctor and CBR tests, and determine the two indices CBR (CBR after immersion "CBR<sub>imm</sub>" and CBR immediate) for use in pavement layers (subbase and base layer).*

*MOTS CLES : laitier cristallisé, CBR, chaussée, comportement mécanique*

*KEY WORDS : crystallized slag, CBR, pavement, mechanical behavior*

---

## 1. Introduction

Des sollicitations d'ordre économique et surtout écologique de ces dernières années ont rendu nécessaire la valorisation des déchets industriels. Les laitiers de haut fourneau constitue un exemple de ces déchets puisque qu'ils sont des coproduits de la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux. Ces produits existent en quantité importante sous forme de terrils qui sont venus modifier les paysages et déranger l'environnement.

Le laitier granulé est utilisé comme liant grâce à son hydraulicité (Zeghichi, 1998), dans la fabrication de matériaux pour assises routières (graves laitiers). Le laitier cristallisé étant utilisé après concassages et criblages comme granulats dans la fabrication de matériaux d'assises de chaussées (grave laitier tout laitier).

Les objectifs principaux de cette étude sont: la caractérisation des matériaux utilisés dans la fabrication de la grave laitier tout laitier et l'étude du comportement mécanique du mélange par le biais des essais Proctor et CBR.

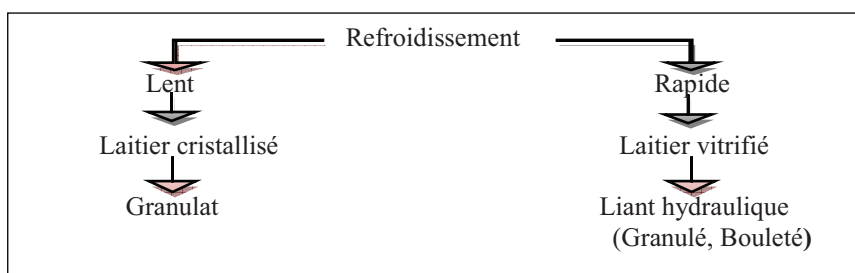
Une grave laitier tout laitier **GLTL** est le mélange, effectué en centrale, d'une grave 0/D (à base des granulats de laitier cristallisé), d'un certain pourcentage du laitier vitrifié réactif (granulé) et d'un activant basique au dosage de 1% (en général) (Alexandre et Sebileau, 1988)..

## 2. le laitier de haut fourneau

Le laitier de haut fourneau est un produit issu de la fabrication de la fonte dans un haut fourneau, isolé et rejeté de la fonte liquide par flottation. Etant donné la différence de densité entre la fonte (7) et le laitier(3), ils sont donc séparés par decantation (Behim , 2005)

Le laitier de haut fourneau, essentiellement composé de silico-aluminate de calcium, a pour rôle de rassembler les éléments non volatiles apportés par la gangue des minerais, les cendres de combustible et les fondants rajoutés à la charge.

L'histoire du laitier montre que ce matériau, considéré à l'origine comme un sous-produit fatal, est devenu aujourd'hui très recherché du fait de la diversification de son utilisation (Alexandre et Sebileau, 1988) . Les procédés de refroidissement (lent ou rapide) du laitier fondu diffèrent selon le produit et la structure que l'ont désire obtenir (figure 1). Le laitier de haut fourneau se présente donc sous plusieurs formes principales : le laitier granulé, bouleté ou cristallisé.



**Figure 1.** Processus d'élaboration des différents types de laitiers

### 3. Programme expérimental

Dans ce travail expérimental, nous allons comparer une grave laitier tout laitier GLTL formulée à base des granulats de laitier cristallisé à une grave non traitée GNT, à base des granulats concassés naturels, qui est un mélange de référence. Nous allons tester les caractéristiques mécaniques des mélanges obtenus par le biais des essais CBR (évolution de la déformation et de portance immédiate et à 4 jours d'imbibition dans l'eau).

### 4. Caractérisation des matériaux

#### 4.1. Les granulats et sables

Pour effectuer ce travail de recherche, on va caractériser deux types de granulats. Les granulats de laitier cristallisé (LC) de granulométrie 6/20mm (figure 2) provenant du complexe sidérurgique d'El Hadjar, Wilaya de Annaba, et les granulats naturels de granulométrie 6/20mm provenant d'El Hachimia Wilaya de Bouira. Les sables utilisés sont : un sable concassé de granulométrie 0/6mm issu de laitier cristallisé et un sable de carrière de granulométrie 0/6mm.



Figure 2. Granulats de laitier cristallisé

#### 4.1.1. Granulométrie des granulats

Les courbes granulométriques des deux fractions de granulats de laitier cristallisé ainsi que les granulats naturels sont représentées dans la figure 3.

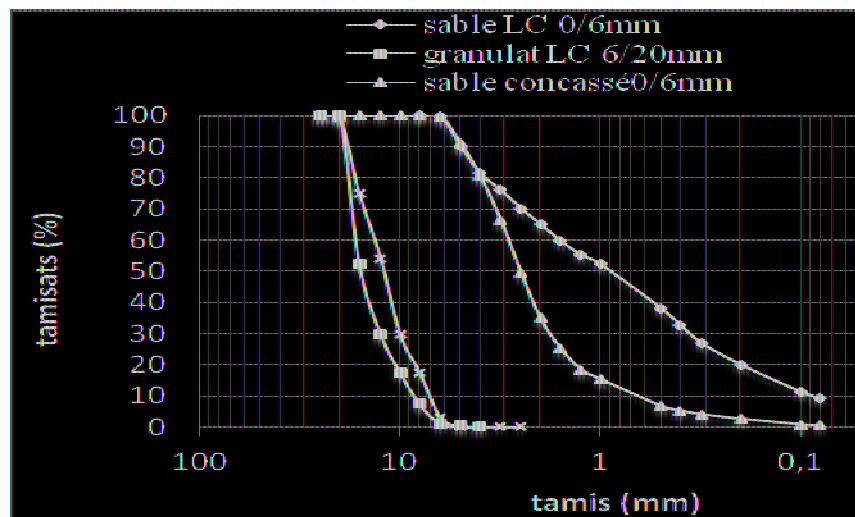


Figure 3. Les courbes granulométriques des granulats et sables

#### 4.1.2. Les caractéristiques intrinsèques des granulats utilisés (coefficients d'aplatissement A, Los Angeles LA et Micro Deval en présence d'eau MDE)

L'essai d'aplatissement est effectué sur l'échantillon de laitier cristallisé 6/20mm et celui de granulat naturel, pour voir le pourcentage des éléments plats. L'essai Micro Deval permet de mesurer la résistance à l'usure par frottements et l'essai Los Angeles permet de mesurer les résistances à la fragmentation par chocs. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant:

**Tableau 1.** Les valeurs de MDE, LA et A des granulats

Matériau	Gravier naturel 6/20	Laitier cristallisé 6/20
Porosité (%)	6	50
Micro Deval Humide MDE(%)	18	16
Los Angeles LA(%)	21	26
Coefficient d'aplatissement (%)	15	18

D'après les valeurs de porosité on peut constater que les granulats naturels d'El Hachimia sont compacts et les granulats artificiels provenant du laitier cristallisé d'El Hadjar sont poreux et on constate que les deux types de granulats sont utilisables en technique routière.

#### 4.1.3. Composition chimique du laitier cristallisé

La composition chimique du laitier cristallisé est présentée dans le tableau 2.

**Tableau 2.** La composition chimique du laitier granulé d'EL HADJAR(Cherfa,2010)

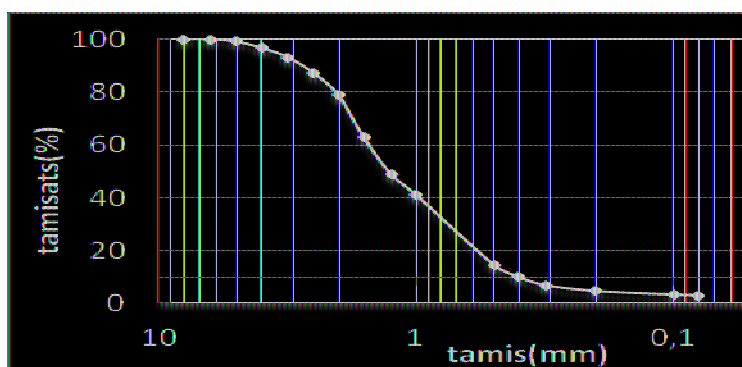
Composition chimique en (%)										
CaO	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	P.A.F.
45.78	0.38	34.99	9.79	3.92	0.67	2.47	0.86	0.01	0.34	0.50

#### 4.2. Le liant

Le liant utilisé est composé de laitier granulé et d'un activant basique qui est la chaux éteinte.

##### 4.2.1. Laitier granulé :

C'est le laitier granulé d'El Hadjar de granularité 0/5mm (Figure 4) avec une teneur en inertes égale à 0,29 %, de fraîche production, d'une couleur grise verdoyante (Cherfa,2010 )



**Figure 4.** Courbe granulométrique du laitier granulé

Les analyses effectuées sur le laitier granulé et qui sont représentées dans le tableau 3 montrent que, d'après le catalogue algérien de dimensionnement des chaussées neuves, ce matériau peut être utilisé comme liant vu la valeur de son coefficient de réactivité  $\alpha$  qui est de 39 supérieure à la valeur minimale de 20 spécifiée par ce même catalogue. L'indice de basicité de 1.3 montre le caractère basique de notre laitier, caractère favorable pour une utilisation en technique de grave laitier (Cherfa, Ait Mokhtar, 2009).

**Tableau 3.** Caractéristiques physico-chimiques du laitier.

La masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.2
La masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.8
Friabilité (%)	19
Surface spécifique Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	2057
Coefficient de réactivité $\alpha$	39
Module de basicité	1.3
Le produit A.C	448.19

On note que le produit A.C représente une réactivité potentielle du laitier dans lequel C représente la teneur en CaO et A la teneur en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### 4.2.2. La chaux :

On a utilisé une chaux éteinte provenant de Ghardaia qui joue le rôle d'activation du laitier granulé qui possède les caractéristiques suivantes :

- Teneur en chaux libre > 50%.
- Refus sur le tamis de 80 $\mu$  < 10%.
- Finesse Blaine sur le tamisât à 80 $\mu$  > 7000 cm<sup>2</sup>/g.

## 5. Étude du mélange de grave laitier tout laitier

La grave laitier tout laitier a été reconstituée en laboratoire à partir de deux fractions à savoir un sable concassé de LC 0/6mm et des granulats de laitier cristallisé 6/20mm, à un pourcentage de 15% de laitier granulé de façon à avoir la meilleure courbe s'insérant convenablement dans le fuseau de spécification de la Grave Traitée. La formule de mélange de la GNT retenue est constituée de 42% de granulats naturels 6/20mm, 42% de sable de carrière 0/6mm et 16% de sable de dune. Les courbes granulométriques s'insèrent parfaitement dans les fuseaux de référence comme le montre la figure 5 ci-dessous:

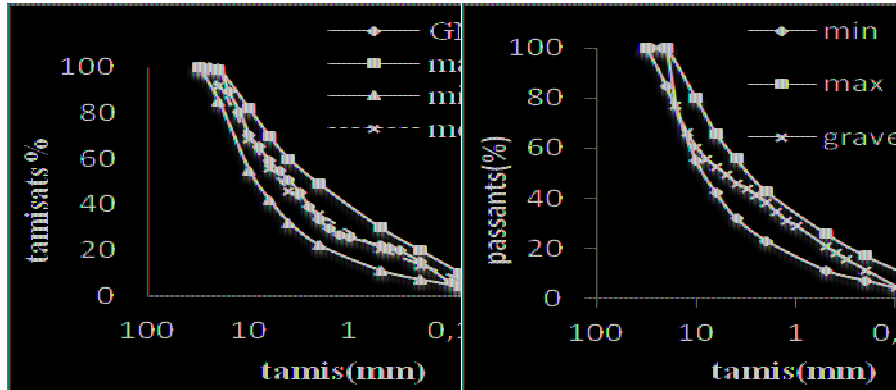


Figure 5. Les courbes granulométriques de la GNT et de la GLTL

### 5.1. Caractéristiques Proctor de la GLTL

Deux séries de deux éprouvettes de mélange grave laitier tout laitier GLTL et de GNT sont compactées selon le mode Proctor modifié pour déterminer les caractéristiques Proctor. Les courbes Proctor de la GLTL et le GNT sont représentées dans la figure 6.

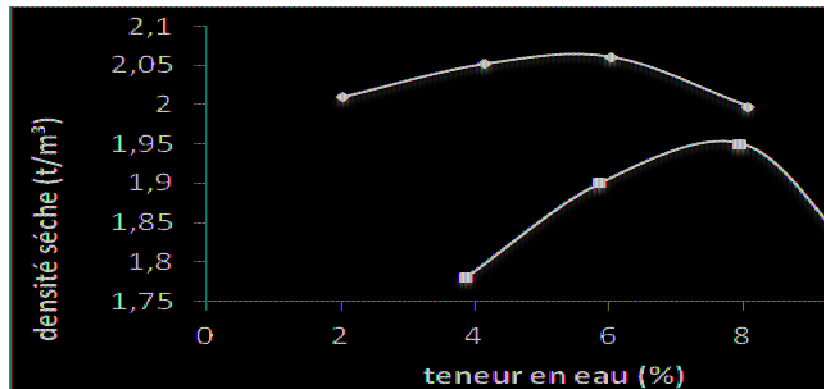


Figure 6. Comparaison des courbes Proctor de la GLTL et la GNT

Les caractéristiques Proctor tirées des courbes Proctor de la GNT et de la GLTL sont données dans le tableau 4.

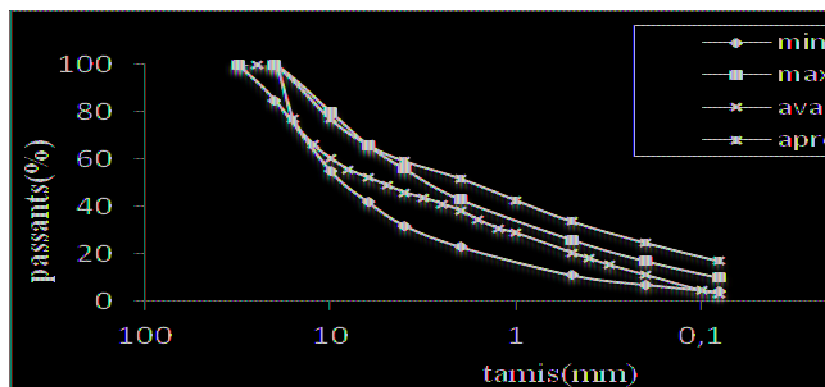
**Tableau 4.** Les caractéristiques Proctor de GNT et de GLTL

Mélange	GNT	GLTL
Teneur en eau optimale (Wopm) %	7.65	5.54
Densité sèche optimale ( $\gamma_d$ ) t/m <sup>3</sup>	1.95	2.06

On remarque que la densité sèche de la GLTL est plus importante que celle de la GNT.

#### 5.1.1. Evolution des fines après le compactage de la GLTL

Pour voir la résistance des granulats de laitier cristallisé à l'écrasement provoqué par le compactage, on a tracé la courbe granulométrique de la GLTL après compactage et on l'a comparé avec sa courbe granulométrique avant compactage (figure 7)



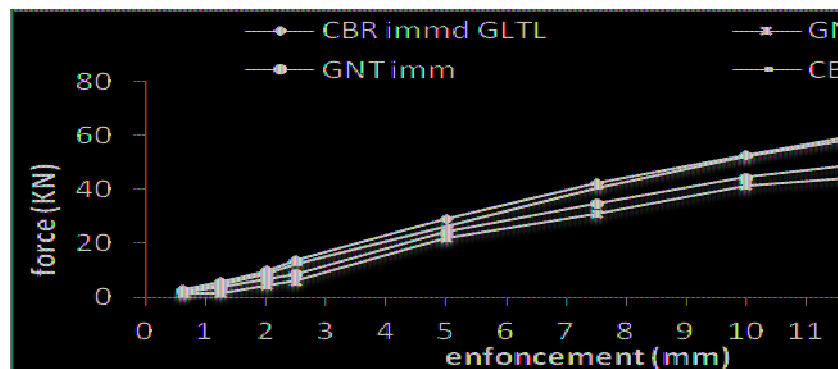
**Figure 7.** La courbe granulométrique après compactage relative à la grave laitier tout laitier à 15% laitier

D'après cette courbe, on remarque un écrasement très important des grains à cause de la porosité importante des granulats de laitier cristallisé.

#### 5.2. Détermination de la portance de la GLTL

Les essais de poinçonnement CBR immédiat et imbibé à 4 jours effectués sur des éprouvettes de grave laitier tout laitier et GNT ont donné les courbes représentées sur la figure 8.





**Figure 8.** Les courbes force – enfoncement des deux graves GL et GLTL à 15 % de LG (CBR immédiat et CBR imbibé)

On remarque que les deux courbes de la GLTL se rapproche l’une de l’autre et les deux indices sont de même ordre de grandeur ce qui explique la résistance des granulats de laitier cristallisé à l’eau.

Pour pouvoir étudier le comportement des granulats naturels et les granulats artificiels (laitier cristallisé) dans une grave laitier, on va comparer les indices CBR de la GLTL à ceux de la grave non traitée GNT. Le tableau 5 donne la comparaison des valeurs des indices CBR imbibé et immédiat des deux graves.

**Tableau 5.** Tableau comparatif des portances pour la GNT, GLTL et la GL

	GNT	GLTL
I CBR immédiat	120	145
I CBR imbibé	110	132

Les deux indices CBR (immédiat et imbibé) obtenus pour la GNT sont faibles par rapport aux indices CBR de la GLTL. Ces résultats traduisent ainsi, un comportement positif de mélange de la GLTL au moment de leur mise en œuvre sous la circulation des engins et après leur mise en service face aux agents climatiques agressifs (eau). Ce résultat confirme le rôle physique du laitier granulé qui consiste à remplir les vides entre les granulats de la grave et les vides intra-granulaires du laitier cristallisé poreux. Ce remplissage fait augmenter la compacité du mélange et par conséquent sa résistance ce qui demande une force d’enfoncement plus importante.

## 6. Conclusion

La présente étude avait pour objectif la valorisation des granulats et les sable issus du laitier d’El Hadjar (le laitier granulé et laitier cristallisé) dans une formulation de GLTL. Cette valorisation présente en plus un aspect économique important quand on connaît la pénurie de granulats naturels et de sable routiers dont

souffre notre pays. Ce sont là des paramètres qui vont servir de fil directeur dans la recherche d'une formulation de grave optimale.

On peut dire que l'utilisation des granulats de laitier cristallisé, qui présentent une faible dureté (LA et MDE) comparativement aux granulats concassés naturels, avec du laitier granulé, permet l'utilisation des laitiers de haut fourneau (granulé et cristallisé) dans les chaussées d'où la valorisation de ces laitiers qui sont des déchets industriels.

D'après les résultats obtenus, le laitier cristallisé d'El Hadjar ne peut être considéré comme un déchet industriel, mais comme un résidu industriel valorisable dans les techniques routières. Comparativement avec la grave non traitée, la GLTL représente des caractéristiques mécaniques satisfaisantes.

## 7. Bibliographie

- Alexandre J. et Sebileau J.L. « *le laitier de haut fourneau (élaborations, traitements, propriétés et emplois)* ». (1988).
- Behim M., Réactivité, rôle et durabilité des laitiers d'El Hadjar dans les matériaux à matrice cimentaire, Thèse de Doctorat, Université BADJI MOKHTAR – ANNABA. 2005.
- Cherfa H. stabilisation des sols et des couches de chaussée par des résidus industriels – application au laitier de haut fourneau, Thèse de Magister. Université des Sciences et de technologie Houari Boumediene. Alger. 2010
- Cherfa H., Ait Mokhtar K. « *Valorisation des déchets industriels pour la stabilisation des couches de chaussées : cas des laitiers des hauts fourneaux* » Séminaire International « Innovation et Valorisation dans le Génie Civil ». Les 5 – 7 février 2009 à Hammamet, Tunisie. Communication pages 79 -89.
- NF P98-116, Norme française. Assises de chaussées « Graves traitées aux liants hydrauliques - Définition- Composition – Classification, AFNOR, Février 2000 »
- Zeghichi L. Etude des liants et bétons à base des alcalis et ciments au laitier. Thèse de magister, Université de Biskra, Biskra, Algérie, 1998. 120 p