

Valorisation des déchets de construction dans la fabrication du ciment

H. Debouba*, R. Laabidi, R. Reyahi

Institut Supérieur Des Etudes Technologiques De Zaghouan.
Labotatoire De Génie des Procédés, Département de Génie des procédés.

*Corresponding author: hassen112002@yahoo.fr ; Tel.: +216 55 47 28 57; Fax: +216 72 66 04 00

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 15/01/2019

Accepted : 14/06/2019

Key Words:

Adsorption;
Cement;
clinker;
finesse;
Construction waste;
Mechanical resistance;
Specific surface;

Mots Clés

Adsorption;
Ciment;
Clinker;
Finesse;
Déchets de
constructions;
Résistance mécaniques;
Surface spécifique;

ABSTRACT/RESUME

Abstract: This work is part of a research cooperation between the Jbel OUST cemetery (CJO) and the Higher Institute of Technological Studies of Zaghouan. The objective of this work is the study of the valorization of construction waste in the manufacture of cement in order to reduce the consumption of clinker and the raw material of mine, contributing in a simple and economic way to solve the problems related to the environment. This work investigates the possibility of partially replacing clinker or limestone with this waste in cement at various percentages. The waste was treated in order to have fine particles. The characterization of the materials used was ensured by the X-ray fluorescence. It emerges from this study that the construction waste contains a large quantity of oxides: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO . The introduction of construction waste in cement has increased on the one hand the content of insoluble cement residue. On the other hand, they influenced the setting time, the mechanical strength, the Blaine specific surface area and the variation of the absolute and apparent densities. The best results are obtained for a substitution up to 10% of construction waste. By respecting the Tunisian standard, these mixtures are classified in CEM I 42.5 and CEM II AL / 32.5 type cement.

Résumé: Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une coopération de recherche entre la cimenterie de Jbel OUST (CJO) et l'Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Zaghouan. L'objectif de ce travail est l'étude de la valorisation de déchets de construction dans la fabrication de ciment afin de réduire la consommation de clinker et de la matière première de carrière, en contribuant de manière simple et économique à résoudre les problèmes liés à l'environnement. Ce travail étudie la possibilité de substituer partiellement le clinker ou le calcaire par ces déchets dans le ciment à divers pourcentages. Les déchets ont été traités afin d'avoir des fines particules. La caractérisation des matériaux utilisés a été assurée par la fluorescence X. Il ressort de cette étude que les déchets de construction contiennent une quantité importante d'oxydes : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO . L'introduction de déchets de construction dans le ciment a augmenté d'une part la teneur de résidu insoluble de ciment. D'autre part, ils ont influencé sur le temps de prise, les résistances mécaniques, la Surface Spécifique de Blaine et la variation des densités absolu et apparente, Les meilleurs résultats sont obtenus pour une substitution jusqu'à 10 % de déchets de construction. En respectant la norme tunisienne ces mélanges sont classés en ciment type CEM I 42,5 et CEM II AL/ 32,5.

I. Introduction

Le ciment est le deuxième matériau le plus consommé dans le monde après l'eau. Devant les besoins croissant des ressources en matériaux et aux exigences de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, les professionnels de la construction, de plus en plus sensibles aux questions liées à la préservation de l'environnement, s'interrogent sur le devenir du béton lors de la fin de vie des constructions. Les contraintes d'ordre économique et écologique de ces dernières années ont rendu nécessaire la valorisation et le recyclage des déchets. La réutilisation des matériaux issus de la déconstruction ouvre aujourd'hui de nouvelles perspectives. Et c'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude. Elle vise à élaborer une nouvelle formulation de ciment composé à base de déchets de construction. Le but principal de cette étude est de mettre en évidence la possibilité de substituer le clinker par les déchets de construction.

Le clinker est une roche artificielle utilisée dans la fabrication des ciments portlands. Un mélange de roches calcaires dures ou tendres et d'autres silico-alumineuses sont introduites sous forme de poudre dans une installation de cuisson. Le mélange progressivement déshydraté, décarbonaté et calciné, entre enfin en fusion partielle au voisinage d'une température de 1200 à 1500°C : cette phase s'appelle clinkérisation. La matière produite, le clinker Portland doit être refroidie rapidement. [1] Après son refroidissement, le clinker se présente sous forme de nodules d'une dizaine de millimètres de diamètre. Ces modules comportent quatre phases cristallines synthétisées lors de la cuisson, ce sont les minéraux du clinker : [2]

- ✓ Silicate tricalcique $3CaO, SiO_2$ ou C_3S
- ✓ Silicate bicalcique $2CaO, SiO_2$ ou C_2S
- ✓ Aluminate tricalcique $3CaO, Al_2O_3$ ou C_3A
- ✓ Aluminoferrite tétracalcique $4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$ ou C_4AF

Le clinker est fabriqué par voie sèche, [3] une méthode qui nécessite un chauffage de poudre crue jusqu'à 800 °C environ permettant ainsi la perte de son gaz carbonique (CO_2) et son eau

Pour la fabrication du nouveau liant, la démarche adoptée consiste dans un premier temps à caractériser les matières premières utilisées et dans une seconde étape, on a préparé une série de huit essais, puis on cherchera à évaluer, à partir d'un protocole expérimental détaillé et conforme aux normes Tunisienne, les différentes performances chimiques, physiques et mécaniques du nouveau liant.

II. Matériels and méthodes

II.1 Caractérisation des matières premières

Les compositions chimiques des matières premières utilisées sont déterminées par un spectrométrie de fluorescence des rayons X. (Réf PW 4400-S644)

.Dans ces analyses, on utilise soit les perles, soit les pastilles.

- Principe de préparation d'une perle : La fusion d'un mélange de matière pulvérulente et de fondant tel que le tétra-borate de lithium.
On mélange $25 \pm 0,01$ g d'échantillon avec $5 \pm 0,01$ g de fondant (66.5% de $Li_2B_4O_7$ + 33.5% de $LiBO_2$) et on le met dans la perleuse porté à 1050 °C.
- Principe de préparation d'une pastille: Le broyage puis la soumission à une pression convenable, du mélange de matière pulvérulente et de liant tel que la cellulose se présente sous forme d'une pastille.
On broie $15 \pm 0,01$ g d'échantillon avec $1 \pm 0,01$ g de cellulose et on le met dans la pastilleuse

L'essai consiste à introduire soit la perle soit la pastille dans l'analyseur où est soumis au bombardement des rayons X générés par le tube (typePW1792/35) d'un spectromètre à fluorescence X préalablement calibré.

II.2. Préparation des échantillons ciments

Après un broyage séparé du clinker, des déchets de construction et du gypse., nous avons préparer dix échantillons de ciments composés en faisant varier la proportion des déchets de construction de 0 à 35 %, toute en conservant parallèlement la dosage en gypse à 5%. Dans le tableau 1, est présentée la teneur de composition de différents mélanges

Tableau 1. Constitutions des échantillons de ciments

N°d'échantillon	1	2
% massique du déchet de construction	0	2
% massique du clinker + gypse	100	98

3	4	5	6	7	8	9	10
5	7	10	15	20	25	30	35
95	93	90	85	80	75	70	65

III. Résultats and discussion.

III.1. Caractérisation chimique de clinker

Les compositions minéralogiques, déterminées par fluorescence X de clinker et de déchets sont présentées respectivement dans les tableaux 2 et 4.

Tableau 2. Composition chimique de clinker

Oxydes	PF 500	PF 950	CaO _{Libre}	SiO ₂	Al ₂ O ₃
%	5,8	0,18	1,26	20,93	5,27

Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃
3,09	66,69	1,24	0,94	1,61

Le clinker utilisé, présente un pourcentage en chaux supérieur à 50% et une chaux libre inférieure à 1,8% ce qui est conforme à la norme.

La composition minéralogique potentielle de clinker est calculée en utilisant les formules de BOGUE [4]. Sa composition en oxydes est donnée dans le tableau 3.

Tableau 3. Composition minéralogique du clinker

C 3S	C2S	C3A	C4AF
62,27	13,13	8,75	9,4

93,55% de la masse du clinker est représentée par les quatre phases minérales à savoir les silicates tricalciques C3S, les silicates bicalciques C2S, les aluminates tricalciques C3A et les aluminoferrites tétracalciques C4AF. Les propriétés liantes du ciment sont assurées par les deux phases silicatées (C3S et C2S), qui représentent 75,4% de la masse totale du clinker.[1]

III.2. Caractérisation chimique de déchets

Les déchets de construction sont des déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique, chimique ou biologique de nature à nuire à l'environnement (pavés, sables, gravats, tuiles, béton, ciment, carrelage...).

Les compositions chimiques de déchets sont données dans le tableau 4.

Tableau 4. Composition chimique de déchets

PF(500)	PF(950)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
5,8	5,8	52,26	17,14	1,88

CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	Dabs	RI
29,45	2,58	0,49	1,19	3237	29,97

III.3. Caractérisation chimique des ciments élaborés

Les résultats des analyses chimiques des différents échantillons préparés sont reportés dans le tableau suivant.

Tableau 5. Compositions chimiques élémentaires des échantillons des ciments élaborés

% de déchets	PF (500°C)	PF (950°C)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
0	1,45	1,92	20,11	5,09	30,4
2	1,42	1,95	20,84	5,13	3,06
5	1,37	2,32	21,84	5,16	3,1
7,5	1,34	2,25	22,33	5,17	3,09
10	1,3	3,53	22,73	5,09	3,1
15	1,23	3,79	23,98	5,18	3,13
20	1,16	4,35	25,2	5,13	3,16
25	1,08	5,09	26,51	5,16	3,19
30	1,01	5,69	27,13	5,1	3,12
35	0,94	6,02	29,13	5,2	3,26

CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	CaO _{Li} bre	CaO/SiO ₂
63,27	1,19	0,93	3,26	1,7	3,201
64,03	1,27	0,92	3,31	1,88	3,072
63,27	1,19	0,91	3,15	1,62	2,89
62,07	1,25	0,9	3,04	1,69	2,78
61,66	1,21	0,89	3,01	1,51	2,713
60,1	1,17	0,88	2,87	1,74	2,506
58,67	1,21	0,87	2,77	1,57	2,329
57,13	1,14	0,86	2,64	1,51	2,155
53,23	1,18	0,85	2,42	1,84	1,962
54,62	1,21	0,85	2,41	1,89	1,875

On constate que la perte au feu du ciment est faible pour toutes les proportions de déchets de construction et ceci est expliqué par la cuisson avancée de déchets de construction. L'augmentation du pourcentage de déchet de construction provoque la croissance du teneur en silice et une décroissance d'oxyde de calcium ainsi la norme impose un rapport de CaO/SiO₂ supérieur à 2 ce qui est vérifié jusqu'à un pourcentage de déchet égale à 25%. [5]

Il est important d'étudier l'influence de la variation de la teneur en déchets de construction sur le résidu insoluble du ciment élaboré, les résultats sont reportés dans le tableau 6.

Tableau 6. Influence de la variation du teneur en déchet de construction sur le résidu insoluble

% Déchet	0	2	5	7,5	10
% RI	0,66	1,25	2,13	2,86	3,59

15	20	25	30	35
5,06	6,52	7,99	9,45	10,92

L'augmentation du pourcentage de déchets de construction provoque l'élévation de la teneur de résidu insoluble de ciment. La norme confirme que le RI ne dépasse pas 5%, d'où à partir d'un ajout de déchets de construction supérieur ou égale à 15% massique de RI devient hors norme. [6]

III.2. Caractérisations physiques

• **Prise**

Le temps de prise correspond à peu près au moment où la pâte cesse d'être mouillable et commence à se comporter comme un solide mécaniquement résistant. La fin de prise correspond à la transformation régulière et progressive de la pâte de ciment en un bloc rigide. Les résultats de début de prise (DP) et de fin de prise (FP) de cette série d'essais sont illustrés dans la figure 1.

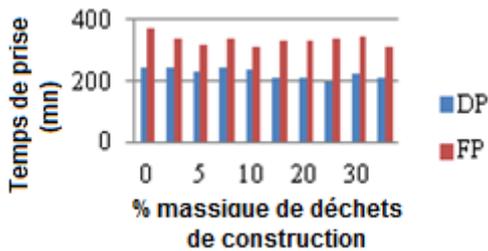


Figure 1. La prise de ciment en fonction du teneur de déchet de construction

Les temps de début de prise des 10 échantillons de ciment élaborés sont supérieur à 75min ce qui est conforme à la norme tunisienne NT47.30-3(2009). Enfin, le temps de fin de prise varie entre 4 et 5 heures. Nous avons également constaté que l'addition progressive de déchets de construction retarde la prise

• **Expansion des ciments**

L'expansion d'un ciment doit être attribuée à la présence de trop grandes quantités de chaux libre, de magnésie ou de plâtre.

Les essais d'expansion à chaud ont pour but de déterminer la stabilité aux expansifs des liants hydrauliques, ils sont effectués sur mortier normal. La mesure de la valeur de la stabilité aux expansifs du ciment à tester à chaud sur pâte normale se fait en prenant la moyenne des trois valeurs pour chaque série. Les analyses chimiques de différents mélanges sont présentées dans le tableau 7.

Tableau 7. l'expansion des ciments en fonction du teneur en déchet

% massique d'ajout	0	2	5	7,5
Expansion (mm)	0	1	0	1

10	15	20	25	30	35
0	1	0	0	0	0

Selon La norme tunisienne NT47-30-3(2009) l'expansion des ciments doit être inférieure à 10mm ce qui vérifie la conformité de notre ciment (ne dépasse pas 2mm). Les éléments qui influent l'expansion du ciment sont le monoxyde de calcium libre CaO_{Libre}, le monoxyde de magnésium MgO et le trioxyde de soufre SO₃. L'analyse précédente du ciment élaboré a montré que ces éléments sont présents, mais à faible quantité, et à la norme ce qui explique la faible expansion.[6]

• **Densité apparente et absolue des ciments élaborés**

La figure 2 illustre la variation de la densité apparente (Dapp) et la densité absolue (Dabs) des ciments élaborés.

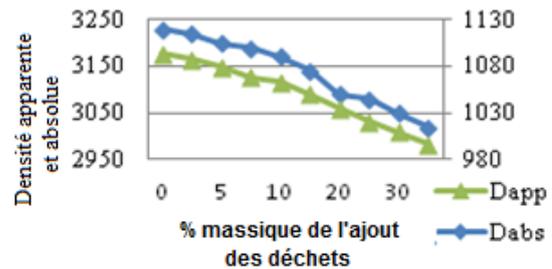


Figure 2. Variation des densités absolu et apparente en fonction

D'après la figure 2, nous avons remarqué une diminution des masses volumiques des ciments avec l'augmentation de pourcentage d'ajout de déchets de construction. Les baisses constatées s'expliquent aisément par le fait que la masse volumique de l'ajout, à savoir les déchets de constructions, est nettement plus faible que celle du clinker.

• **Surface spécifique Blaine et Refus 45µm :**

La finesse de broyage d'un ciment est exprimée par sa surface spécifique. Plus le broyage est fin, plus la surface spécifique est importante. Egalement, la finesse du ciment est mesurée par tamisage sur des tamis normalisés. Le refus est alors déterminé par le pourcentage du ciment dont les dimensions des grains sont supérieures aux dimensions de la maille spécifiée. Les résultats obtenus sont portés sur la figure 3.

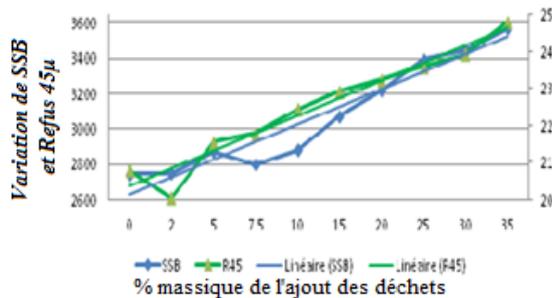


Figure 3. Variation de SSB et Refus 45µ en fonction de pourcentage de déchet

Nous avons constaté que l'augmentation de la surface spécifique Blaine et de refus suit l'augmentation du pourcentage de déchet de construction. L'augmentation de refus est expliquée par la composition de mélange de déchet en silice difficile à broyé et qui a une taille supérieure à celle de tamis. La surface spécifique trouvée dans notre étude est conforme à la norme ($> 2600 \text{ cm}^2/\text{g}$) quelque soit le pourcentage d'ajout de construction. [6]

III.3. Résistance mécanique à la compression

La caractérisation mécanique permet de déterminer la classe de résistance des ciments élaborés. Les résistances à la compression sont été déterminées sur des corps d'épreuves de forme prismatiques confectionnées sur mortier normal et conservées dans une atmosphère saturée pendant respectivement 2, 7 et 28 jours. [6]

Les ciments portlands sont classés selon leurs résistances à la compression. Les résultats sont présentés dans la figure 4.

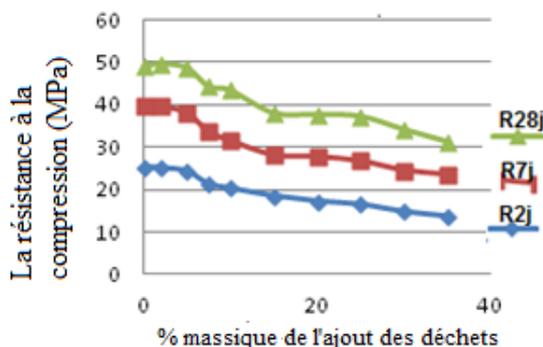


Figure 4. La résistance à la compression en fonction du pourcentage en déchet de construction

La Figure 4, montre que la résistance en compression baisse d'une manière générale avec l'accroissement de la teneur en déchets de construction. Ceci est expliqué par la diminution de silicate tricalcique ou Alite (C3S) qui est responsable de la résistance à court terme. A titre d'exemple à 28 jours, les échantillons de 1 à 4 sont classés selon la résistance 42,5MPa, les échantillons de 5 à 9 sont classés à la résistance 32,5MPa et l'échantillon 10 classé à la résistance 10MPa.[2]

VI. Conclusion

Nous avons essayé de démontrer, dans cette étude, la faisabilité de fabriquer un ciment composé à base de déchets de construction finement broyés. Au terme de cette étude expérimentale, nous pouvons conclure que la substitution d'une partie du clinker par des déchets de fabrication permet d'obtenir un ciment composé répondant aux différentes exigences normatives nationales notamment en termes de :

1. spécifications chimiques (teneur en oxyde de magnésium, perte au feu, etc.),
2. spécifications physiques (temps de prise, stabilité, retrait, gonflement, masses volumiques)
3. spécifications mécaniques, notamment les résistances atteintes à 2, 7 et 28 jours.

Les meilleures valeurs des caractéristiques et des propriétés physico mécaniques ont été obtenues pour un ciment contenant les proportions en masses suivantes :

- 85% de clinker,
- 10% de déchets de construction,
- 5% de gypse

V. Références

1. Sheng, P.X.; Ting, Y.P.; Chen, J.P.; Hong, L. Sorption of lead copper cadmium zinc and nickel by marine algal biomass characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms. *Journal of Colloid and Interface Science* 275 (2004) 131-141.
2. Chérait, Y.; Nafa, Z. Elément de matériaux de construction et essai *Direction de la publication universitaire de GUELMA* 2007.
3. Clavaud, B.; Saucier, F.; Barcelo, L. Le béton matériau moderne *Pour la science* Février (1998)-244.
4. Baron, J.; Olivier, J.P. Les Betons, Bases et données pour leur formulation. *Editions Eyrolles* (1996).
5. Seidel, G.; Huckauf, H.; Stark, J. Technologies des ciments, plâtres et chaux *Septima Paris* (1980) 230.
6. Gineys, N. Influence de la teneur en éléments métalliques sur les propriétés techniques et environnementales du ciment portland *Thèse de doctorat des Mines Douai et Université Lille 1*(2011).

Please cite this Article as:

Debouba H., Laabidi R., Reyahi R., Valorisation des déchets de construction dans la fabrication du ciment, *Algerian J. Env. Sc. Technology*, 5:4 (2019) 1149-1154