



STUDY THE ROASTING OF THE ORGANIC MATTER OF PHOSPHATE CLEAR OF YOUSOUFIA (MOROCCO)

ÉTUDE DU GRILLAGE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DU PHOSPHATE CLAIR DU GISEMENT YOUSOUFIA (MAROC)

M. El Ouardi^{1*}, I. Mrani¹, M. Anoua¹, H. Chehouani²

¹ Laboratoire de Mécanique et Energétique, Département de Physique, Faculté des Sciences,
Université Chouaib Doukkali B.P 20, El Jadida, Maroc

² LIMP, Laboratoire de l'Instrumentation, Métrologie & Procédés, BP 549 Faculté des Sciences et Techniques,
Université Cadi Ayyad, Gueliz, Marrakech, Maroc

* Corresponding author. E-mail: elouardimokhtar@yahoo.fr

Received: 07 February 2007; revised version accepted: 22 October 2008

Abstract

In this work, we study the profile of the organic matter of a new site of Yousoufia's sedimentary of phosphate. Of which the goal determine parameters of calcination such as the temperature and residence times of calcination and therefore, to optimize the expenditure related to energy destined to burn the organic matter. The calcination was carried out in an adjustable furnace in temperature, followed by extinction and a sifting. Through this work, we were able to increase the content of Bone Phosphate of Lime (BPL) from 68% to 74.8% and decrease the organic carbon (C_{org}) and the carbon dioxide (CO_2) respectively of 1.8 % to 0.15% and 6.8% to 1.8%.

Keywords: Natural phosphate; Yousoufia/ Organic matter; Granulometry; Calcination; Parameters of calcination.

Résumé

Dans ce travail, nous avons étudié le profil de la matière organique d'un nouveau site de phosphate clair de Yousoufia, dans le but de déterminer les paramètres de calcination tels que la température de calcination et le temps de séjour, et par conséquent, d'optimiser les dépenses liées à l'énergie destinée à brûler les matières organiques. La calcination a été effectuée dans un four réglable en température, puis suivi d'une extinction et d'un tamisage. Grâce à ce travail, nous avons pu augmenter la teneur en phosphates de chaux des os (BPL) de 68% à 74.8% et diminuer le carbone organique (C_{org}) et le dioxyde de carbone (CO_2) respectivement de 1.8 % à 0.15% et de 6.8% à 1.8%.

Mots Clés: Phosphate Naturel; Yousoufia; Matière organique; Granulométrie; Calcination; paramètres de calcination.

1. Introduction

La plupart des gisements sédimentaires des phosphates naturels (PN) sont composés principalement d'apatites. Les francolites sont les plus fortement réactives [1]. Les mêmes gisements sédimentaires peuvent contenir des apatites ayant une gamme très large en propriétés physiques, en caractéristiques chimiques et cristallographiques en raison des conditions géologiques et des altérations après dépôt [2]. Les gisements de PN contiennent également des minéraux accessoires ou des impuretés de gangue qui se différencient selon les conditions de sédimentations. Ces impuretés incluent la silice, les minéraux argileux, la calcite, la dolomie et les oxydes hydratés de fer et d'aluminium. Ces impuretés se trouvent sous diverses combinaisons et concentrations dont certaines peuvent avoir une influence marquée sur l'efficacité d'un PN utilisé en application directe [3]. Bien que des quantités considérables de minéraux accessoires et d'impuretés soient

enlevées pendant l'enrichissement, le minerai enrichi contiendra toujours une certaine quantité d'impuretés d'origine qui sont parfois géologiquement bien isolées, sous forme des couches bien séparées, ou intimement mélangées aux minéraux de phosphates.

La connaissance au préalable de la nature des stériles contenues dans le minerai phosphaté est très importante parce qu'elle permet de déterminer exactement le type de traitement approprié à ce minerai. Les différents aspects du traitement thermique des phosphates sédimentaires ont été étudiés par de nombreux auteurs [4-6]. La calcination parmi les techniques spéciales de séparation physique qui peuvent être appliquées dont l'un des effets essentiels est le grillage d'une partie de la matière organique sous forme gazeuse (CO_2 , H_2O ...) [7], elle agit également sur les propriétés d'usage du minerai. Elle demande une quantité de combustible élevée, ce qui augmente le coût de traitement et pollue l'environnement [8].

Cependant plusieurs difficultés liées fortement à la présence du composant organique surviennent lorsqu'on étudie les phosphates.

L'utilisation industrielle du phosphate ne peut se faire qu'après grillage de la matière organique. En effet, lors de la fabrication de l'acide phosphorique, les composés organiques entraînent une intense corrosion des réacteurs et conduit à la formation des phosphogypses hemihydrate et anhydride. Ce qui occasionne une mauvaise filtration et une diminution du rendement industriel [4, 9].

2. Le minerai de phosphate de Yousseoufia

Les gisements qui représentent la majeure partie de la production mondiale de PN sont localisés au Maroc, dans d'autres pays africains, aux Etats-Unis, au Proche Orient et en Chine. Les séries sédimentaires phosphatées marocaines recèlent des quantités relativement importantes de minéraux associés. Ses propriétés générales ont été décrites par L. Bilali et al. [10]. Les principaux faciès impliqués dans cette série sont: phosphates

sableux granulaires, calcaires et dolomies, marnes, argiles et silicifications-diagenétique-intercalées. En terme de microfaciès, les phosphorites sont toujours des composites, d'origine diversifiée (autochtone et/ou allochtone) [11].

Les phosphates étudiés ont été prélevés du site de Bouchane, située à 40km de Yousseoufia où l'extraction est effectuée en ciel ouvert. Les tableaux I et II indiquent respectivement la distribution granulométrique et les compositions chimiques d'un échantillon représentatif. L'analyse minéralogique a été effectuée à l'aide d'un diffractomètre XPRT MPD Panalytical – Philips, à anticathode de cuivre ($\lambda K\alpha = 1,5405\text{\AA}$). Le diffractogramme révèle la présence des phases suivantes: le fluoroapatite $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ (2θ : 32,173 ; 33,280 ; 49,786 ; 64,179 ; 40,227 ; 34,331 ; 25,879), le quartz SiO_2 (2θ : 26,587 ; 67,861 ; 50,079 ; 20,885) et les carbonates sous forme de la dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (2θ : 30,917 ; 50,674 ; 41,187) et de la calcite CaCO_3 . (2θ : 45,790 ; 26,189 ; 48,376 ; 33,153 ; 38,101 ; 36,041 ; 27,081 ; 52,553) (Figure 1).

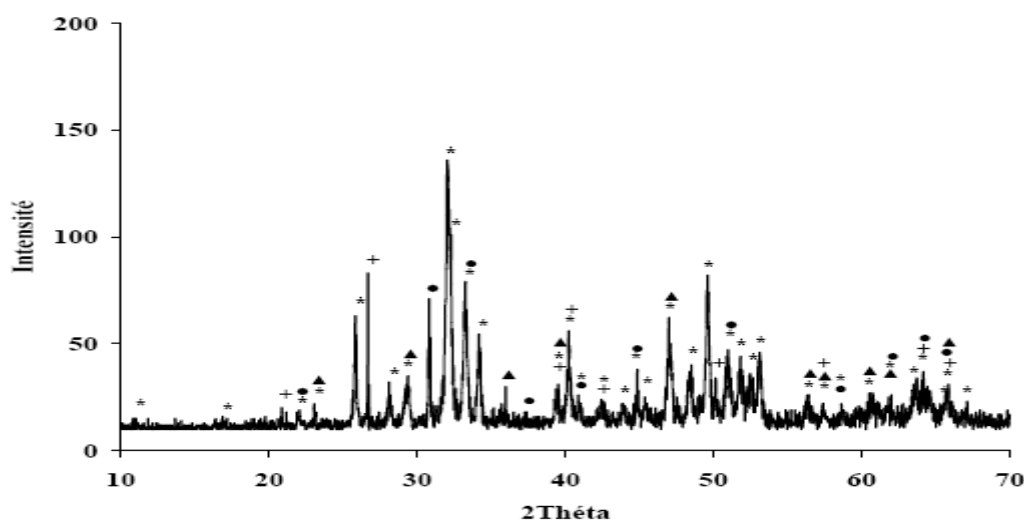


Figure.1: Diffractogramme de RX d'un échantillon brut (* : Fluoroapatite, + : Quartz, ▲ : Calcite et ● : Dolomite).

$M_i(\mu\text{m})$	M_{2000}	M_{1250}	M_{1000}	M_{800}	M_{500}	M_{315}	M_{250}	M_{200}	M_{160}
Refus (%)	3.32	2.68	1.61	7.18	26.83	15.94	10.66	10.83	7.88

M_{125}	M_{80}	M_{40}	$M_{40<}$
7.75	2.27	1.9	1.12

Tableau 1 : Distribution granulométrique avant la classification.

Compositions chimiques (%)	BPL	H ₂ O	C _{org}	CO ₂	Autres
Pourcentage (%)	68	14	1.8	6.8	9.4

Tableau 2: Compositions chimiques moyenne des éléments principaux du minerai de phosphate du Youssoufia avant la calcination.

3. Procédure expérimentale

Les essais de grillage sont effectués au laboratoire dans un four réglable en température de granulométrie comprise entre 40 µm et 500 µm. La classification se fait en réduisant les gros grains, grâce à un broyeur à marteau par des opérations successives portant sur les refus à la maille de 500 µm et un tamisage des fines inférieures à 40 µm. Les résultats de la classification sont présentés dans le tableau III.

L'étude de la température optimale de la calcination est déterminée par l'étude de la variation de la composition chimique des différentes espèces principales de contrôle lors de la calcination (C_{org}, CO₂, BPL, CaO) en fonction de la température (600°C < T < 900°C).

En plaçant sept échantillons dans un four à la température 600°C, à chaque augmentation de la température de 50°C, un échantillon est prélevé pour l'analyse chimique de C_{org}, CO₂, BPL et CaO.

La vitesse de chauffe est de 10°C/min. Lors de cette étude, on vérifie qu'il n'y a pas de perte en masse de l'apatite riche en phosphore en aérant les autres échantillons par injection de l'air d'une façon nominale. Pour déterminer le temps nécessaire à la calcination, des échantillons de phosphate sont introduits dans le four à 800°C. A chaque cinq minute, un échantillon est prélevé pour analyser les compositions chimiques de l'apatite (C_{org}, CO₂, P₂O₅ et CaO). Le produit calciné est refroidit sous les conditions de la température ambiante et la pression atmosphérique.

On procède par la suite à l'extinction et au tamisage pour éliminer la matière volatile adsorbée et la fraction granulométrique inférieure à 40 µm pauvre en phosphore. L'analyse chimique de C_{org}, CO₂, BPL et CaO se fait par la méthode volumétrique.

Maille (µm)	M _{500<}	M ₃₁₅	M ₂₅₀	M ₂₀₀	M ₁₆₀	M ₁₂₅	M ₈₀	M ₄₀	M _{40<}
Refus (%)	0	46.06	18.25	12.5	9.25	7.64	3.3	3.0	0

Tableau 3: Distribution granulométrique après la classification.

4. Exploitation des résultats expérimentaux

Cette étude nous a permis d'étudier la variation de la composition en C_{org}, CO₂, BPL et CaO en fonction de la température.

Les résultats sont illustrés dans les figures 2a, 2b, 2c et 2d:

- La figure 2a montre que la teneur en carbone organique reste pratiquement inchangé et égale à sa concentration initiale (1.8%) pour

600°C < T < 700°C. De 700°C à 800°C, la teneur en carbone diminue nettement jusqu'à 0,15%.

- Le dioxyde de carbone de teneur 6.6% se dégage à partir de 600°C jusqu'à 1.8% (Figure 2b).
- La teneur en BPL titrant de 68% augmente entre 600°C et 800°C jusqu'à 74.8% (Figure 2c).
- De façon analogue comme l'indique la figure 2d, la teneur en CaO varie de la même manière que celle de la BPL.

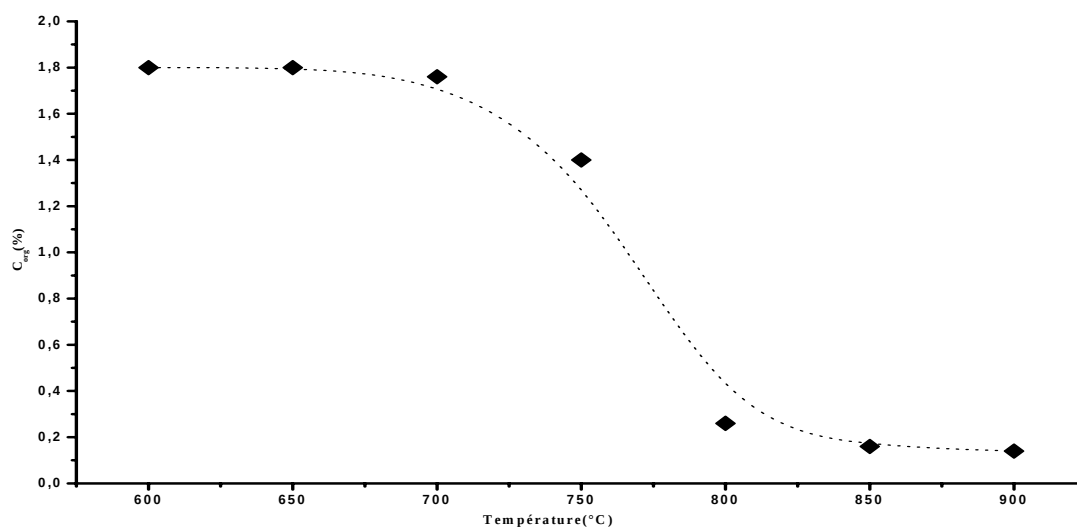


Figure 2a. Courbe de variation de la teneur en C_{org} en fonction de la température

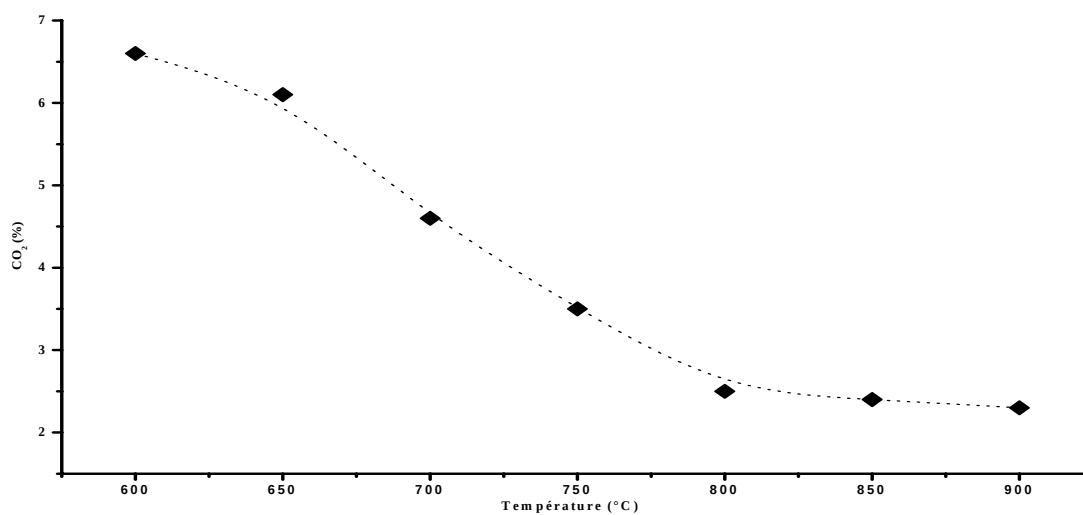


Figure 2b. Courbe de la variation en CO₂ en fonction de la température

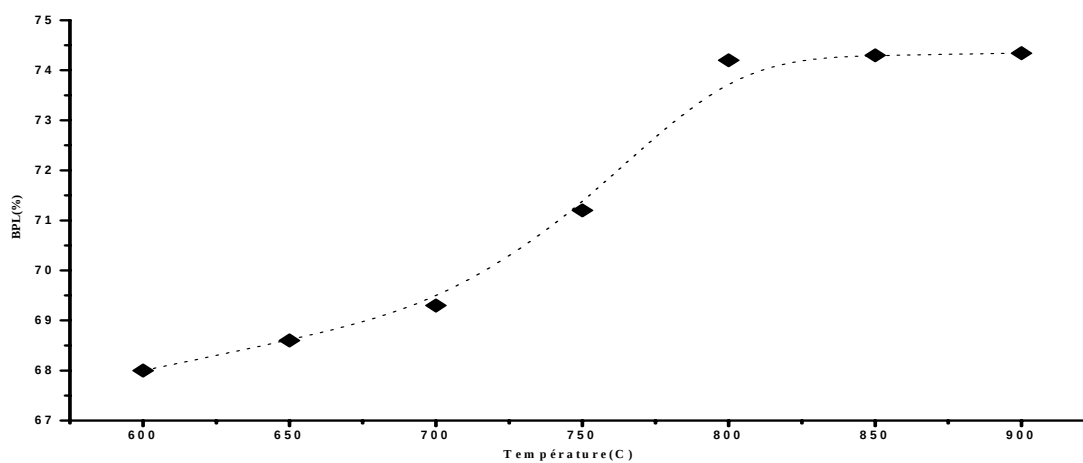


Figure 2c. Courbe de variation de la teneur en BPL en fonction de la température

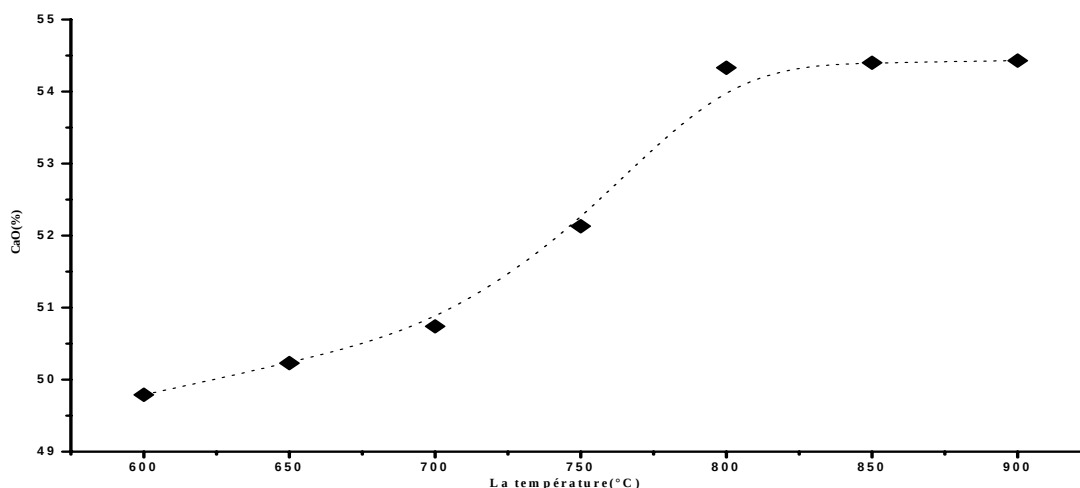


Figure 2d. Courbe de la variation de la teneur en CaO en fonction de la température.

A partir de 800°C, les teneurs en C_{org} , CO_2 , BPL et en CaO restent pratiquement quasi-identiques. Ceci nous a conduit à adopter cette température pour évaluer le temps de séjour correspondant.

Pour déterminer le temps de séjour de calcination, nous avons étudié les profils des compositions principales de contrôle (C_{org} , CO_2 , BPL, CaO) en fonction du temps à 800°C.

Les résultats sont illustrés sur les figures 3a, 3b,

3c et 3d:

En effet, pour une température de 800°C les teneurs en carbone C_{org} et CO_2 diminuent en fonction du temps jusqu'à un temps estimé de 30 minutes (Figures 3a et 3b), à partir duquel la vitesse de décarbonation décroît d'une façon remarquable. Quant aux teneurs en BPL et CaO nous avons enregistré une augmentation en fonction du temps jusqu'à 30 minutes (Figures 3c et 3d).

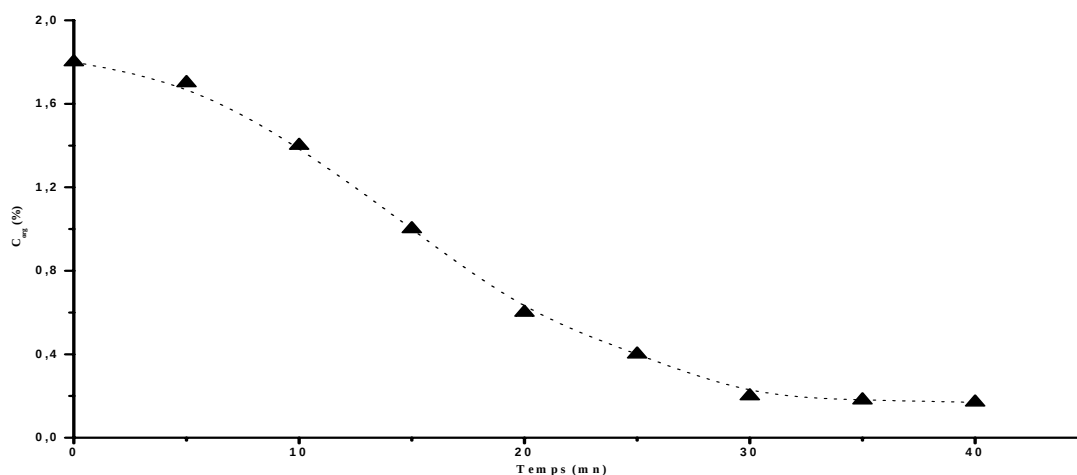


Figure 3a. Courbe de variation de la teneur de C_{org} en fonction du temps

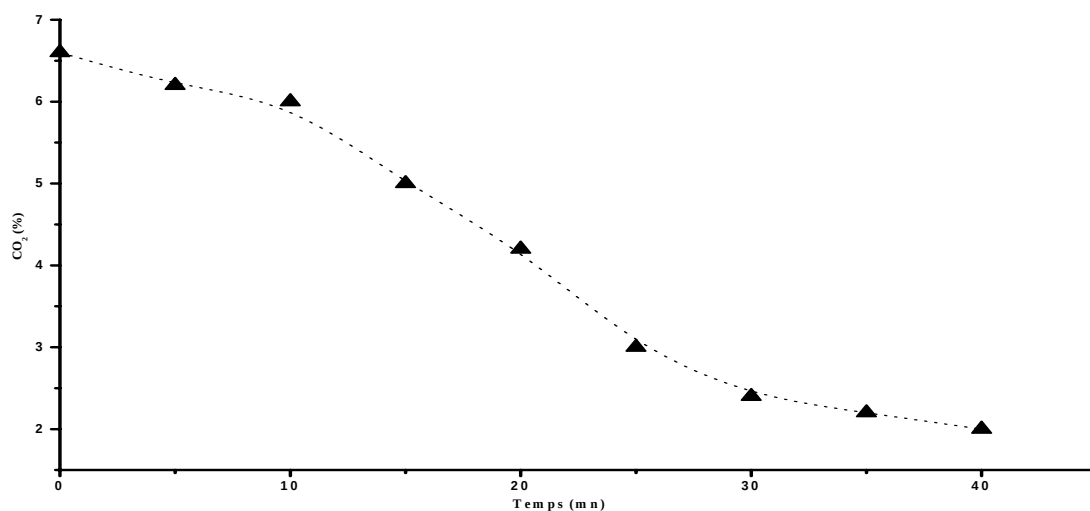


Figure 3b. Courbe de variation de la teneur de CO₂ en fonction du temps à 800°C

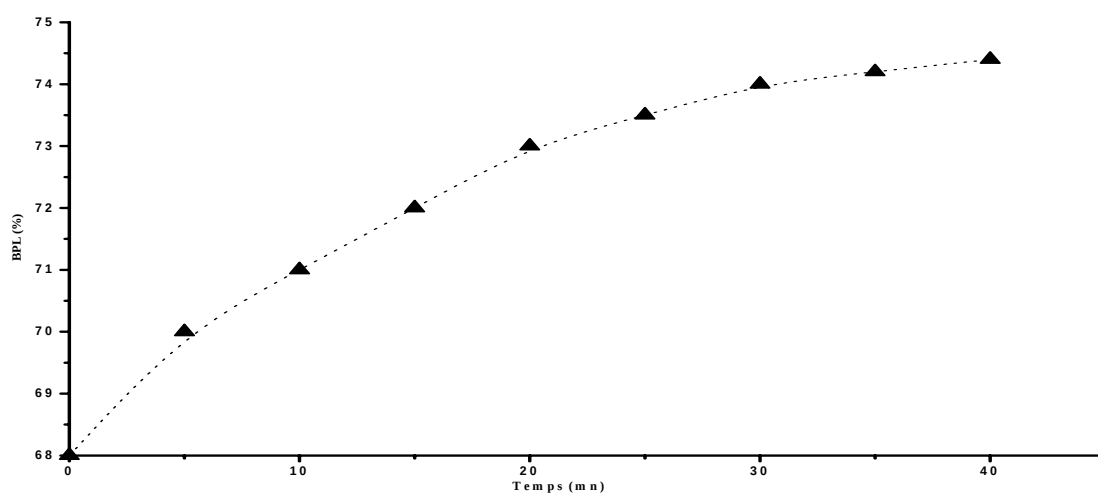


Figure 3c. Courbe de variation de la teneur BPL en fonction du temps à 800°C

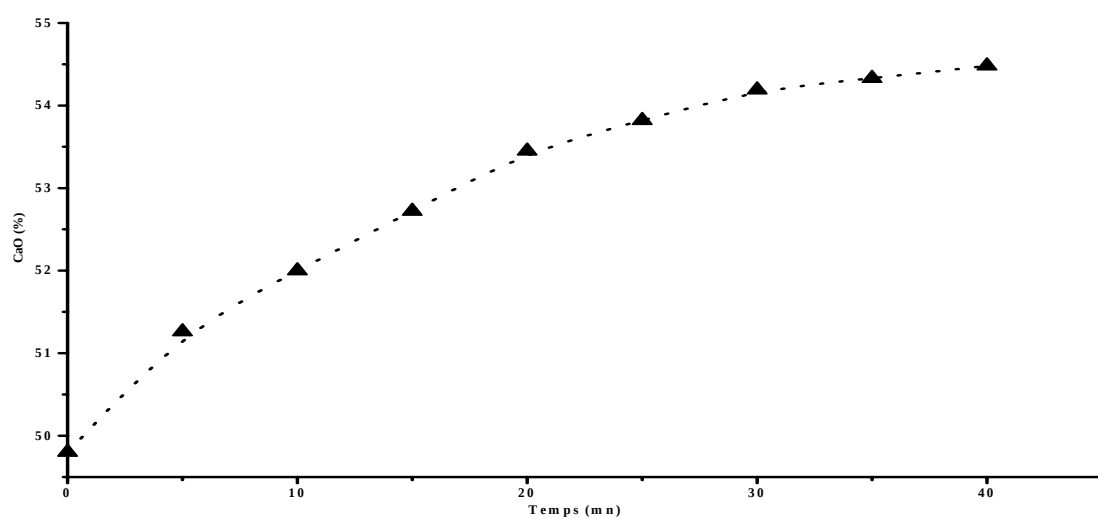


Figure 3d. Courbe de variation de la teneur de CaO en fonction du temps à 800°C

5. Discussion

Les facteurs qui ont été considérés pour l'enrichissement par la calcination sont: le temps de séjour, la température de calcination et les propriétés granulochimiques du phosphate [8]. Nous constatons que entre 600°C et 700°C il y a une faible augmentation de la vitesse de calcination à cause du déclenchement des réactions chimiques endothermiques dues à la décomposition des carbonates et à la déshydratation du phosphate d'une part, et des réactions exothermiques dont l'origine est le départ de la matière organique, les sulfures minéraux et la formation des silicates de calcine, d'autre part. Ces réactions chimiques créent des pores dans les grains, ce qui facilite le dégagement de la matière volatile.

Notons qu'à partir de 700°C, la vitesse de calcination augmente encore plus, ce qui s'explique par le début de départ du carbone organique associé à un fort dégagement de dioxyde de carbone. Ceci améliore les propriétés physiques surtout la surface spécifique et la porosité. Ce qui est en accord avec les travaux de L. Bilali, K. Mohamed et P. Blazy [10, 12, 13].

Entre 800°C et 900°C, la vitesse d'enrichissement se ralentit, ceci est justifié par la diminution de la vitesse de variation des teneurs en BPL, CaO, C_{org} et CO₂. En outre, dans cet intervalle de température la perte de poids est très faible et le phénomène de décarbonatation est presque achevé à 800°C avec un palier de 30 min. Ainsi, le comportement du minerai à une température d'environ 900°C a un impact direct en termes de formation d'agglomérats, d'aggrégation et de l'augmentation du coût de l'énergie.

Les résultats obtenus par les analyses chimiques et par tamisage montrent qu'il y'a des phénomènes importants dus au couplage entre les propriétés physico-chimiques et les paramètres de traitement thermique. Ce couplage est lié au grillage des matières organiques et des carbonates qui peuvent interagir sur la formation du produit fini. De ce faite, les mécanismes relatifs au traitement sont multiples.

6. Conclusion

Malgré que le phosphate clair de ce nouveau gisement soit moins riche en matière organique et en carbonates, le grillage de ces impuretés exige

une température de 800°C et un temps de séjour de 30 min. Ces conditions permettent d'obtenir un phosphate riche en BPL avec un enrichissement de 10% et des teneurs de C_{org} et de CO₂ qui ont diminué respectivement de 91,67 %, et 73,50 %.

Cette étude a permis d'étudier l'interaction de la distribution granulométrie-matière organique et autres impuretés dans le but est, d'une part, de contribuer au développement de la problématique de l'optimisation énergétique des procédés industriels et à l'étude de la dépendance entre les aspects physicochimiques du phosphate calciné à 800°C, d'autre part, de développer une techniques de réutilisation d'énergie associée à la température de calcination.

Références

- [1] D. McConnell (1938), *Am. Min.* 54 1379-1391.
- [2] G.H. McClellan, S.J. J. Van Kauwenbergh, *Geol. Soc.* 148 (1991) 809-812.
- [3] A. Bouda et M. Salvan, *Mines, Géologie et Energie* (1971), 126p.
- [4] A. Arafan, M. Benchanaa, A. Chik et Jamal Maghnoij, *COVAPHOS II* (ed) Proceedings of the second international conference on the valorization of phosphates and phosphorus compounds, Marrakech, Morocco (2006) pp 10-13.
- [5] A. K. Ozer, *Fuel* 81 (2002) 41-49.
- [6] S. Cooper, C.J. Coronella, *Powder Technology* Vol.151 (2005) No.1-3, 27 – 36.
- [7] L. Bilali, M. Benchanaa, K.El harfi, A. Mokhlisse, A. Outzourhit, *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 73 (2005) 1–15.
- [8] L. Bilali, M. Benchanaa, A. Mokhlisse, *COVAPHOS I* (ed) Proceedings of the first international conference on the valorization of phosphates and phosphorus compounds (2004) pp 34-37.
- [9] Zafar I.Z, *Int. J. Miner. Process.* 43 (1995) 123-131.
- [10] L. Bilali, M. Benchanaa et A. Mokhlisse, *Ann. Chim. Sci. Mat.* 25 (2000) 663-678.
- [11] K. Mohamed, Z. Mahfoud, H. Mohamed, J. Janie, A. Andre, *Fuel* 76 (1997) 14 – 15.
- [12] N. Bezzi, D. Merabet, N. Benabdeslem et H. Arkoub, *Ann. Chim. Sci. Mat.* 26 (6) (2001) 5-23.
- [13] P Blazy, A. Jdid, C. Acad Sci. Paris (325) (1997) 761-764.