

CARACTÉRISATION GÉOTECHNIQUE DES CALCAIRES DE TABLIGBO : BASSIN SÉDIMENTAIRE CÔTIER DU TOGO

Irina PACHOUKOVA^{1*}, Yawovi Mawuénya Xolali Dany AYITE¹
et Ampah Kodjo Christophe JOHNSON²

¹*Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs, ENSI, Université de Lomé, Togo*

²*Département de Géologie de la Faculté de Science de l'Université de Lomé, Togo*

* Correspondance, e-mail : pachoukova@Yahoo.com.

RÉSUMÉ

Cet article est consacré à l'étude des caractéristiques intrinsèques et mécaniques des calcaires de Tabligbo situé dans le bassin côtier du Togo. En vue de diminuer le nombre d'essais nécessaires pour la caractérisation des calcaires, on propose, d'une part, de scinder leurs propriétés en deux groupes comportant les propriétés intrinsèques (groupe I) et les propriétés mécaniques (groupe II) et d'étudier les corrélations existantes entre ces caractéristiques à l'intérieur des groupes et entre les deux groupes et d'autre part, proposer un essai de forabilité, simple et rapide pour estimer l'ensemble des caractéristiques de ces calcaires.

Mots-clés : *calcaire, caractéristiques, essai de forabilité, bassin côtier, Togo.*

ABSTRACT

Geotechnical characterisation of tabligbo limestone : Togo costal sedimentary basin

This article is concern the study of the intrinsic and mechanical characteristics of Tabligbo Limestone located in the coastal sedimentary basin of Togo. In order to decrease the number of necessary tests for the characterization of limestone, it proposed in this article, in one hand, to divide properties in two groups (intrinsic properties and mechanics) and to study the correlations between these characteristics inside the groups and in the two groups of parameters and in the other hand, to propose a simple and rapid test of determination of drill ability in order to estimate the real characteristics of Tabligbo Limestone.

Keywords : *limestone, characteristics, test of drill ability, coastal basin, Togo.*

I - INTRODUCTION

Les Calcaires de Tabligbo ont une importance considérable du fait de leur utilisation dans la production du clinker dans les deux usines CIMTOGO et WACEM, un entrant capital dans la fabrication du ciment qui joue un rôle primordial dans l'économie togolaise et dans la sous-région.

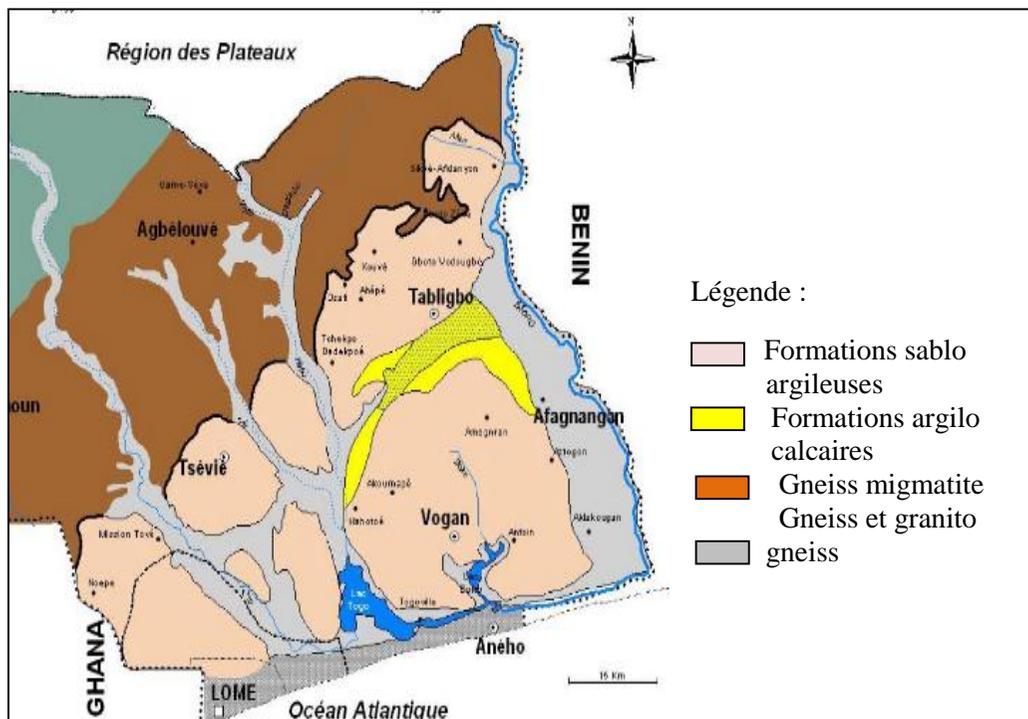


Figure 1 : localisation du site des calcaires de Tabligbo

Dans le bassin sédimentaire côtier du Togo (**Figure 1**), les formations calcaires connues sont essentiellement localisées dans deux niveaux stratigraphiques au sein du Paléocène supérieure et de l'Yprésien [1] :

- Les calcaires paléocènes du gisement du Tabligbo affleurent près de Tokpli dans le fleuve Mono et sont exploités dans la carrière de Tabligbo; les réserves sont estimées à plus de 175 Mt ;
- les niveaux calcaires de l'Yprésien sont souvent plus ou moins phosphatés. On les retrouve dans les dépressions à Avéta, Kpogamé, Animabio, Akoumapé et Gbadjoé. Les travaux de prospection effectués sur l'indice d'Avéta ont mis en évidence un gisement dont les réserves probables ont été estimées à 200Mt ; toutefois la qualité de ce calcaire semble pénalisée par la présence de phosphates.

Le but de cette étude est de proposer un essai de forabilité permettant d'estimer l'ensemble des caractéristiques intrinsèques et mécaniques des calcaires de Tabligbo.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cet article est consacré à l'étude de la formation des Calcaires de Tabligbo appartenant au Groupe de Tabligbo d'âge Maastrichtien à Eocène comprenant une formation sableuse à la base, suivie des calcaires qui surmontent une formation d'argilite feuilletée à palygorskite. Ces Calcaires sont visibles à la carrière de Tabligbo où ils sont exploités pour la fabrication du clinker par les sociétés privées WACEM et CIMTOGO. En général, leur épaisseur ne dépasse guère 6m et ils se présentent sous la forme d'un banc, à première vue, homogène et qui en réalité se subdivise en trois faciès principaux (**Figure 2**).

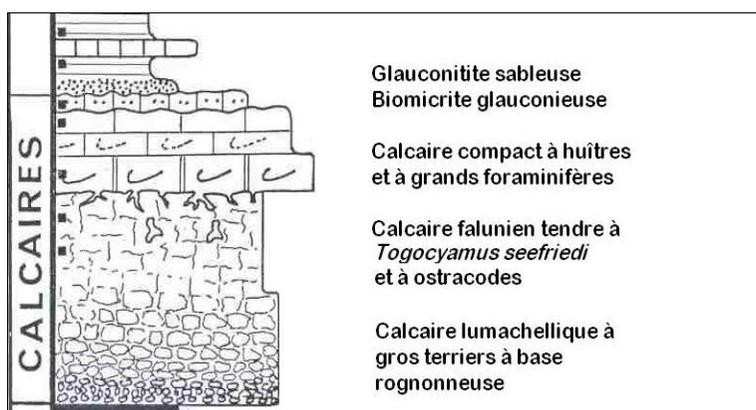


Figure 2 : coupe synthétique du groupe de Tabligbo

De bas en haut on observe [2,3] :

- un calcaire lumachellique basal, de couleur beige, gréseux avec présence de terriers à la base ; d'épaisseur variant de 1,5 à 2 m lamellibranches, gastéropodes et échinodermes en constituant l'essentiel de la phase fossilifères. Le contenu de CaCO_3 varie de 90 à 96% ;
- un calcaire fallunien intermédiaire de couleur beige à blanche, d'aspect crayeux, riches en petits échinodermes (*Togocyamus seefriedi* OPPENHEIM). Les éléments figurés de taille hétérométrique sont associés à de nombreux moules internes et à des cavités remplies

d'argiles ; épaisseur, 1m à 1,5 m. Le contenu de CaCO_3 varie de 88 à 92 % ;

- une dalle compacte (2 m d'épaisseur) de couleur beige caractérisée par une accumulation d'huîtres de grande taille, de fragments algaïques, de grands foraminifères qui se termine par une surface d'arrêt de sédimentation sur laquelle repose une couche décimétrique de biomicrite glauconieuse tendre. Le contenu de CaCO_3 est de 98 %.

Sur la bordure nord du bassin ces calcaires affleurent, à Tokpli dans le fleuve Mono. En forage, ils présentent un seul niveau décimétrique plus au Sud et atteignent 17 m à l'Est, à Akoumapé, et 30 m à Atchatchimé, alternant avec des passées argileuses ou marneuses. Les échantillons ont été prélevés dans les trois niveaux cités et notés respectivement, calcaire basal, calcaire intermédiaire et dalle compacte. Les travaux ont porté sur les propriétés intrinsèques (la composition minéralogique, la composition chimique (Ep), la structure, la densité (D), la porosité (P) et le coefficient d'absorption d'eau (Ab)) d'une part, et les propriétés mécaniques (la résistance à la compression (Rc), la résistance à la traction par flexion (Rt), la résistance à attrition (MDE), la dureté et la forabilité (Fo)) d'autre part [4]. Pour la détermination de la dureté des calcaires il a été utilisé l'essai de forabilité. Il a consisté à déterminer la profondeur d'enfoncement d'un foret de 6mm de diamètre en un temps fixé à 15 secondes.

Les essais [5,6] de résistance à la compression, à la traction, à l'attrition (Micro-Deval en présence d'eau, MDE), la détermination de la densité, de la porosité [7], du coefficient d'absorption d'eau et de la forabilité des calcaires ont été réalisés à l'Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de l'Université de Lomé. Les analyses pétrographiques ont été effectuées au Département de Géologie de la Faculté des Sciences de l'université de Lomé et les analyses chimiques, détermination du contenu de la calcite (CaCO_3), au laboratoire de l'usine CIMTOGO. Les résultats des essais ont été traités par logiciel MATLAB. Il s'est, donc, agit essentiellement de savoir quels sont les éléments importants (dureté, porosité, densité etc.) [4,8] qu'il faut déterminer dans une roche pour situer au mieux ses propriétés en vue de son utilisation pour le traitement de la roche. Ainsi donc, les corrélations établies dans cette étude, nous permettront, d'une part, à connaître rapidement certaines propriétés difficiles à mesurer ou longues à obtenir par l'essai de forabilité ou, d'autre part, à les déterminer à partir d'une caractéristique obtenue par un autre essai.

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Caractéristiques des calcaires

III-1-1. Caractéristiques intrinsèques

Les caractéristiques intrinsèques essentielles des roches calcaires c'est-à-dire, la minéralogie, la structure et la porosité, ainsi que, les propriétés telles que la composition chimique, le coefficient d'absorption d'eau et la densité de la roche ont été étudiées. Les résultats des analyses et des essais pour des différents types de calcaire sont regroupés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : *Caractéristiques intrinsèques des calcaires*

Type de calcaire	Porosité P, %	Coefficient d'Absorption Ab, %	Contenu de calcite Ep, %	Densité D
Dalle compacte	1.38	0.5	82.42	2.77
Couche intermédiaire	3.60	1.3	87.79	2.44
Couche basale	10.92	4.3	84.37	2.38

La minéralogie des roches analysée varie peu. La roche se présente comme un calcaire ayant souvent plus de 90% de calcite. Le quartz et l'argile (kaolinite et smectites) sont présents dans les échantillons en très faible quantité. La présence du quartz modifie le comportement des calcaires par ses propriétés mécaniques beaucoup plus élevées que celles des carbonates. Les dolomites interviennent par leur dureté et densité plus élevées que celles de la calcite. La présence des argiles agit sur l'absorption d'eau par le calcaire. Etant donné que les roches calcaires étudiées contiennent essentiellement de la calcite, le rôle de la composition minéralogique dans le comportement de la roche est très restreint [8,9].

Les roches comportent, dans une proportion plus ou moins importante, des vides ou des fissures dont le volume est estimé par la porosité interne. La porosité est définie par le rapport du volume des vides renfermés dans les grains accessibles à l'eau au volume réel de l'échantillon. Il a été également déterminé le coefficient d'absorption d'eau, défini comme le rapport d'augmentation de masse de l'échantillon due à un mouillage partiel en eau à la masse sèche de l'échantillon.

La porosité interne et le coefficient d'absorption d'eau augmentent considérablement de 1.38 et 0.5 respectivement dans la dalle compacte jusqu'à 10.92 et 4.3 dans la couche basale. La composition chimique du calcaire est un paramètre très important lors de son utilisation en tant que matière première pour la production du ciment. Ainsi, les essais de pureté pour la détermination de degré de pureté de la roche calcaire ont été effectués. Le calcaire de Tabligbo est de bonne qualité, vu que le contenu de CaCO_3 dans le calcaire de toutes les couches est supérieur à 80%.

III-1-2. Caractéristiques mécaniques

Les résultats des essais mécaniques sont regroupés dans le tableau 2.

Tableau 2 : *Caractéristiques mécaniques des calcaires*

Type de calcaire	Résistance à la compression P_c , MPa	Résistance à la traction par flexion P_t , MPa	Forabilité F_o , mm	Micro-Deval MDE
Dalle compacte	339.0	381.0	2.9	22.40
Couche intermédiaire	159.0	143.0	9.0	75.87
Couche basale	75.0	100.0	16.8	98.10

On note que les résistances à la compression (R_c) et à la flexion (R_t) présentent une même tendance : la diminution de la résistance dans la suite : le calcaire de la dalle compacte, de la couche intermédiaire et de la couche basale. La variation de la résistance à attrition, obtenue par l'essai Micro-Deval en présence d'eau et la durété par l'essai de forabilité manifestent les mêmes tendances constatées dans le cas de résistance à la compression et à la flexion.

III-2. Etude des corrélations

L'étude des corrélations entre les propriétés intrinsèques (groupe I) et mécaniques (groupe II) a été effectuée à l'aide du programme « corrcoef » du logiciel MATLAB [10] et a donné les résultats présentés dans le **Tableau 3**. Le programme indique également la probabilité de ces corrélations.

Tableau 3 : Coefficients de corrélation et de probabilité entre les caractéristiques des calcaires

Matrice de coefficients de corrélation, R								
	Caractéristiques mécaniques (groupe II)				Caractéristiques intrinsèques (groupe I)			
	MDE	Pt	Pc	Fo	P	Ab	Ep	D
MDE	1	-0.9886	-0.9997	0.9553	0.8633	0.8514	0.5617	-0.9887
Pt	-0.9886	1	0.9849	-0.8998	-0.7772	-0.7625	-0.6801	1
Pc	-0.9997	0.9849	1	-0.9618	-0.8745	-0.8630	-0.5428	0.9850
Fo	0.9553	-0.8998	-0.9618	1	0.9739	0.9684	0.2920	-0.9001
P	0.8633	-0.7772	-0.8745	0.9739	1	0.9997	0.0674	-0.7778
Ab	0.8514	-0.7625	-0.8630	0.9684	0.9997	1	0.0443	-0.7630
Ep	0.5617	-0.6801	-0.5428	0.2920	0.0574	0.0443	1	-0.6795
D	-0.9887	1	0.9850	-0.9001	-0.7778	-0.7630	-0.6795	1
Matrice de coefficients de probabilité, P								
MDE	1	0.0964	0.0144	0.1910	0.3368	0.3515	0.6203	0.0959
Pt	0.0964	1	0.1109	0.2875	0.4332	0.4480	0.5239	0.0005
Pc	0.0144	0.1109	1	0.1766	0.3224	0.3371	0.6347	0.1103
Fo	0.1910	0.2875	0.1766	1	0.1458	0.1605	0.8113	0.2870
P	0.3368	0.4332	0.3224	0.1458	1	0.0147	0.9571	0.4327
Ab	0.3515	0.4480	0.3371	0.1605	0.0147	1	0.9718	0.4474
Ep	0.6203	0.5239	0.6347	0.8113	0.9571	0.9718	1	0.5244
D	0.0959	0.0005	0.1103	0.2870	0.4327	0.4474	0.5244	1

La valeur inscrite à l'intersection d'une ligne et d'une colonne mesure la corrélation entre deux variables. Il ressort de ce **Tableau** que :

- pour les caractéristiques du calcaire du 1^{er} groupe ; il existe une corrélation élevée entre le coefficient d'absorption et la porosité ($R=0.9997$) et une forte probabilité que cette corrélation soit significative ($P=0.0147$) ; les corrélations entre d'autres paramètres sont plus faibles, par exemple entre la densité, la porosité et le coefficient d'absorption, les coefficients de corrélation sont de -0.7778 et -0.7630 respectivement ; le degré de pureté est corrélé

uniquement avec la densité ($R=-0.6795$), mais la probabilité pour que cette corrélation soit significative est faible ($P=0.5244$) ;

- pour les caractéristiques du calcaire du II^{ème} groupe ; on constate que les coefficients de corrélation entre les paramètres (résistance à compression, résistance à flexion, résistance à attrition MDE et forabilité) varient de -0.8998 à 0.9618 ; et donc, la connaissance d'un des paramètres permettra l'estimation de toutes les caractéristiques du groupe ;
- pour les caractéristiques du calcaire du I^{er} et du II^{ème} groupe, les corrélations entre la forabilité et les paramètres intrinsèques (sauf le degré de pureté) sont significatives, néanmoins d'autres caractéristiques mécaniques telles que la résistance à compression et à traction etc. peuvent être également utilisées.

En définitif, la connaissance d'une caractéristique appartenant au I^{er} ou au II^{ème} groupe permet d'apprécier la qualité du calcaire.

IV - CONCLUSION

Deux groupes de propriétés ont été identifiés : propriétés intrinsèques des calcaires (groupe I) et propriétés mécaniques des calcaires (groupe II). L'étude des Calcaires de Tabligbo a permis d'établir des corrélations entre les caractéristiques de ces roches. La détermination d'une seule caractéristique au sein d'un groupe (P, d, Rc, Rt, MDE ou Fo, par exemple) permet d'arriver à une définition complète des Calcaires de Tabligbo. Il ressort de notre étude que la forabilité (un essai simple et rapide) est d'une grande importance pour la caractérisation de ces calcaires (le coefficient de corrélation avec d'autres paramètres de calcaire est > 0.9). La minéralogie qui est une caractéristique importante dans certains domaines d'utilisation telle que l'industrie des pierres ornementales, n'a pas joué un rôle déterminant dans l'estimation des propriétés de ces calcaires.

RÉFÉRENCES

- [1] - J. P. SYLVAIN, A. AREGBA, J. COLLART, K. S. GODONOU, Carte géologique du Togo à 1/500000, *Direction générale des Mines, de la Géologie et du Bureau Nationale de Recherches Minières, Mémoire N°6 (1986), Lomé, Togo.*
- [2] - A. K. C. JOHNSON, Inventory and mining of local mineral resources in West Africa. In: *Henny GERNER and Uzo MOKWUNYE (eds), Use of Phosphate Rock for Sustainable Agriculture in West Africa. Miscellaneous Fertilizer Studies N° 11 (1995), IFDC publications.*

- [3] - A. K. C. JOHNSON, Le bassin sédimentaire à phosphates du Togo (Maastrichtien-Eocène) : Stratigraphie, environnements et évolution. *Journal of African Earth Science*, Vol. 30, N° 1 (2000) 183-200.
- [4] - C. TOURENQ, C. ARCHIMBAUD, *Propriétés des calcaires*, 2^{ème} Congrès International de Géologie de l'ingénieur São Paulo, Bull. liaison Labo. P. et Ch., N° 73 (1974) 171-178.
- [5] - R. DUPAIN, R. LANCHON, J.-C. SAINT-ARROMAN, Granulats, Sols, Ciments et Béton, CASTELLA, Paris, (2004) 236.
- [6] - J. CLEASSON, B. BOHLOLI, Brazilian test : stress field and tensile strenght of anisotropic rocks using an analytical solution, *Int J Rock Mech Min Sci* N°39,(2002) 991-1004.
- [7] - Md Aminul Islam, Paal Skalle, An experimental investigation of shale mechanical properties through drained and undrained testmechanisms, *Rock Mech Rock Eng*, Vol.46 N°6, (2013) 603-613.
- [8] - H. ARMAN, W. HASHEM, Petrographical and geomechanical propretis of the Lower Oligocene limistones from Al Ain City, UnitedArab Emirates, *Arabian Journal for Science an Engineering*, (AJSE), Vol. 39,(2014) 261-271.
- [9] - M. A. EL HEFNAWI, A.O. MASHALY, Petrography and geochemistry of Eocene limistone from Khashm Al – Raqaba area, El – Galola El – Qibliya, Egypt, *Carbonates and Evaporites*, Vol.25 (2010) 193-202.
- [10] - M. MOCTHARI, A. MESBAH, Apprendre et maîtriser MATLAB, *Springer-Verlag Berlin Heidelber*, (1997) 37-83, 696