

Choix durable de matériaux de construction. Cas de la région de Mbuji-Mayi, RD Congo

Raphael Matamba¹, Luc Courard², Eric Pirard³

¹ Centre de recherches géologiques et minières (CRGM), 44, Av. des huileries, Kinshasa – Gombe.
raphael.matamba@gmail.com

² Université de Liège, Département ArGEnCo, mail : luc.courard@ulg.ac.be

³ Université de Liège, Département ArGEnCo, mail : eric.pirard@ulg.ac.be

RÉSUMÉ. La Région de Mbuji-Mayi (RD Congo), dispose d'énormes ressources en calcaires et dolomies localisées dans un ensemble sédimentaire connu sous le nom de « Supergroupe de Mbuji-Mayi ». Cependant, la ville souffre d'un manque criant d'infrastructures durables pour asseoir son développement, et reste dépendante de l'approvisionnement en matériaux de construction en provenance d'autres régions parfois distantes de plus de 1000 km. L'objectif de ce travail est de proposer, sur bases des propriétés technico-économiques et environnementales, l'usage efficace de matériaux rocheux d'origine naturelle (calcaires et dolomies) destinés à la construction dans cette région du Congo. Ainsi, plusieurs échantillons ont été récoltés, préparés, cuits et caractérisés. Les techniques XRF, DRX, TG-DSC et MEB-EDX ont été utilisées pour différentes caractérisations. Les résultats ont montré que les roches dolomitiques impures présentaient des bonnes propriétés pour être utilisées comme moellons, alors que les dolomies pures pouvaient être utilisées comme chaux de construction. Les faciès calcaires, impurs pouvaient être valorisés comme liants hydrauliques et aussi comme éléments de maçonnerie.

ABSTRACT. Mbuji-Mayi Region in the Democratic Republic of Congo has huge limestone and dolomitic deposit; located in the "Mbuji-Mayi Supergroup". Nevertheless, the city suffers from a serious lack of sustainable infrastructure to consolidate its development and remains dependent on the supply of construction and building materials from other regions, located sometimes more than 1000 km from the Mbuji-Mayi city. The aim of this paper is to show an effective use of these rock material (limestone and dolomite) used in construction according to their techniques, economic and environmental properties. So several samples were taken, prepared and characterized. XRF, XRD, TG-DSC and ESEM-EDX have been used for different characterization. Results showed that impure dolomitic rocks were suitable for blocks or rubbles and pure dolomitic rocks could be used as construction lime. Impure Limestone facies should be used to produce hydraulic lime and sometimes as masonry blocks.

MOTS-CLÉS : Matériaux, valorisation, durable, construction.

KEY WORDS : Material, valuation, sustainable, construction

1. Introduction

La région de Mbuji-Mayi a été et demeure le centre de l'exploitation du diamant industriel. Cette ressource a longuement été privilégiée au détriment des autres matières premières de la région. Son exploitation a en réalité anéanti tout esprit d'entreprise important qui aurait pu être développé dans la région. Actuellement, à cause de la rareté des gîtes alluvionnaires du diamant et autres difficultés que rencontrent la MIBA (principale société d'extraction du diamant), la ville de Mbuji-Mayi est frappée de plein fouet par une crise économique sans précédent. Comme conséquence, les matériaux rocheux du « supergroupe » de Mbuji-Mayi sont en proie à une exploitation « anarchique » et artisanale; car les liants hydrauliques, et autres matériaux de construction jadis importés parfois par « avion », coûtent dorénavant très chers et restent inaccessibles pour la grande majorité de la population. A titre d'exemple, un sac de ciment de 50 Kg qui coûte environ 15 USD à Kinshasa (capitale du pays), voit son prix quadruplé dans la région de Mbuji-Mayi. D'où plusieurs projets visant à valoriser à l'échelle industrielle les ressources minérales locales tant en cimenterie que dans d'autres secteurs font l'objet d'études de faisabilité technique. Grâce à leur abondance et disponibilité, les roches calcaires et dolomitiques font partie des ressources les plus valorisées à l'échelle du globe [CHR 2]. Elles sont utilisées depuis l'antiquité pour des applications en maçonnerie ou en construction, que ce soit à l'état cru ou cuit. Cependant, le choix du secteur d'application du matériau nécessite que celui-ci réponde aux exigences technico-économiques et environnementales internationales, nationales ou locales en vigueur. Ainsi, les roches doivent répondre à des propriétés physico-chimiques et mécaniques spécifiques selon le secteur. En effet, même si les processus physiques qui président à l'altération de ces roches au niveau de leur microstructure sont de nature différente, leur comportement macroscopique présente des fortes caractéristiques communes : critère de plasticité sensible à la pression moyenne, taux de dilatance élevé en cisaillement, caractère non associé des déformations plastiques, contrainte de rupture, etc. Par exemple, le volume et la distribution des pores dans une roche affecte le comportement de cette dernière au fil de temps [VAZ 13]. Les pores et fractures sont des chemins à travers lesquels l'eau s'écoule à travers le matériau ; ce qui amplifie l'altération physique, mécanique ou biologique de la roche. Pour cette raison, il est important de connaître la porosité de roches au sens large, en vue de prévenir ou minimiser au moins les dommages que peuvent subir la roche avec le temps [MOL 5]. Ainsi, lorsque nous opérons un choix d'un type de roche pour la construction ou la maçonnerie, nous devrions avant tout considérer la capacité de celle-ci à remplir sa fonction et à résister aux agents d'altération (vent, eau, feu, etc.). Les analyses pétrophysiques, chimiques et mécaniques constituent un excellent moyen de prédire le comportement (durabilité) de la roche à long terme. Ainsi donc dans cette section, nous présentons les propriétés physico-mécaniques, chimiques et minéralogiques des matériaux calcaires et dolomitiques du supergroupe de Mbuji-Mayi (S_{GB}), tout en indiquant les possibilités de valorisation dans le secteur de la construction.

2. Méthodologie et Techniques expérimentales

2.1. Méthodologie

2.1.1. Matière première

Dans la région de Mbuji-Mayi, les matériaux calcaires et dolomitiques se trouvent dans le supergroupe de Mbuji-Mayi (S_{GB}). Les matériaux ayant fait l'objet de cette étude ont été prélevés sur les sondages S13B et S70 conservés au musée de Tervuren (Belgique) et sur les affleurements dans la région géologique de Mbuji-Mayi (RD Congo). Les matériaux provenant des sondages S13B et S70 sont essentiellement dolomitiques ; ceux récoltés dans la région de Mbuji-Mayi entrent dans la catégorie de faciès calcaires. Des prélèvements ont été effectués sur trois sites de la région. Il s'agit des sites pilotes de Bena Kabongo (BK), Tatu Kabunda (TK) et Tshinvuluila (TS). En tout, 100 échantillons ont été prélevés sur les trois sites qui sont en réalité des carrières artisanales d'extraction de matériaux de construction (granulats, pavés, etc.).

2.1.2. Cuisson

Pour connaître le comportement thermique de ces roches, 7 échantillons ont été retenus. Il s'agit de 5 matériaux dolomitiques et deux matériaux à faciès calcaire. Les analyses microstructurales, XRF et DRX ont permis de choisir de manière efficace les 7 échantillons. D'un point de vue chimique, le choix se fait sur base de la teneur en oxydes majeurs $CaO+MgO$ pour la dolomie et CaO pour le calcaire. Les échantillons ont été scindés en deux catégories, chaque catégorie étant soumise à des traitements thermiques sous différentes conditions. La première catégorie (catégorie 1) comprend 3 échantillons (Ka209-3, Ka253-3 et BK4). Ceux-ci ont été soumis aux analyses thermogravimétriques couplées à la calorimétrie différentielle à balayage (TG-DSC). Ceux de la deuxième catégorie (catégorie 2) sont : Ka143-3, Ka200-3, Ka209-3, Ka340-3, TS1 ; ils ont

fait l'objet des essais de cuisson en prenant en compte d'autres paramètres tels que la forme, la taille de l'échantillon ainsi que les conditions spécifiques liées au four de cuisson. L'échantillon Ka209-3 a été cuit dans les deux conditions en vue de comparer les résultats.

2.2 Techniques expérimentales

Les principales techniques de caractérisations utilisées sont : - la spectrométrie par fluorescence X (XRF) pour l'analyse chimique quantitative de matériaux crus et cuits ; - la diffractométrie des rayons X (DRX) pour les analyses minéralogiques de matériaux crus ; - les analyses thermiques (TG-DSC) pour l'analyse du comportement à la cuisson de matériaux ; - la microscopie électronique environnementale à balayage (ESEM) couplée à des facilités d'analyse chimique (EDX) pour des études microstructurales ; - les techniques d'analyse d'images numériques pour des études microporosimétriques ; - la compression uniaxiale pour l'évaluation des résistances en compression des éprouvettes de matériaux crus.

3. Résultats et Interprétation

3.1. Résultats

3.1.1. Caractérisations des matériaux crus

a) Composition chimique

Les échantillons de dolomies (125) ont été analysés par spectrométrie de fluorescence X (XRF) 125 échantillons ont été analysés dans les laboratoires de chimie de l'entreprise LHOIST (Belgique). Les différents éléments chimiques (majeurs) ont été dosés. Les résultats de ces analyses sont repris à la figure 1.

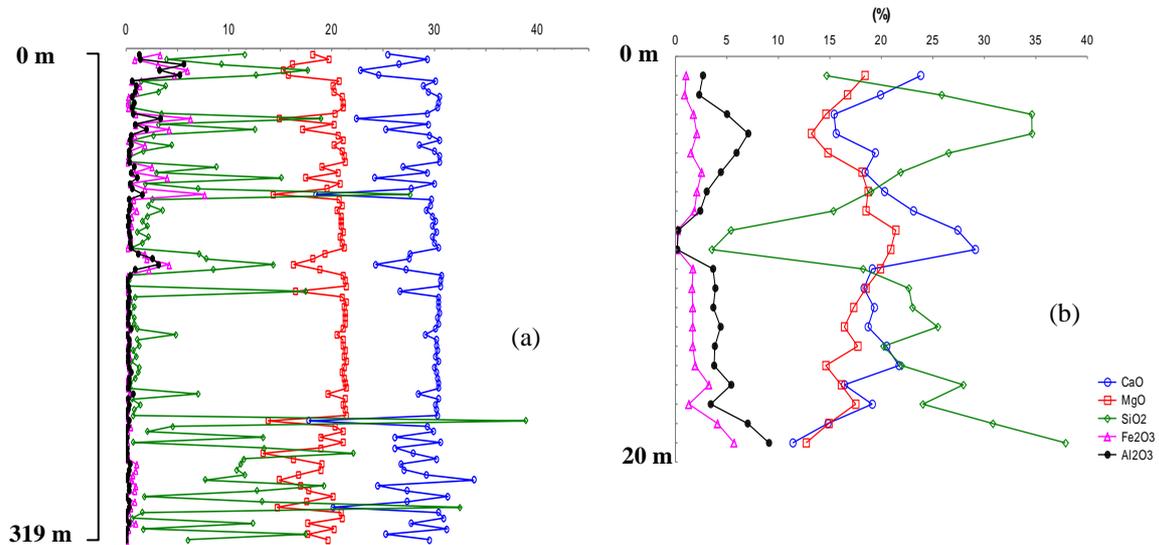


Figure 1. Dolomies : variation des teneurs en oxydes d'éléments majeurs en fonction de la profondeur. Sondages (a) S13B et (b) S70.

Les échantillons de matériaux calcaires ont été analysés au Laboratoire de Pétrologie, géochimie endogène et Pétrophysique du département de Géologie à L'Université de Liège. Comme pour les dolomies, la technique a permis de doser les éléments majeurs exprimés sous forme d'oxydes. Les résultats des analyses sont présentés sous forme de « Box plots. » à la Figure 2.

a) Composition minéralogique

La composition minéralogique du sédiment total et la composition de la fraction argileuse (inférieure à 2 microns) ont été analysées par diffraction des rayons X, avec un diffractomètre de type D8-Advance Bruker équipé d'un tube à rayons X avec anticathode de Cu. Les principaux minéraux trouvés sont : la calcite, dolomite, quartz, ankérite ainsi que les minéraux argileux pour les échantillons de calcaire.

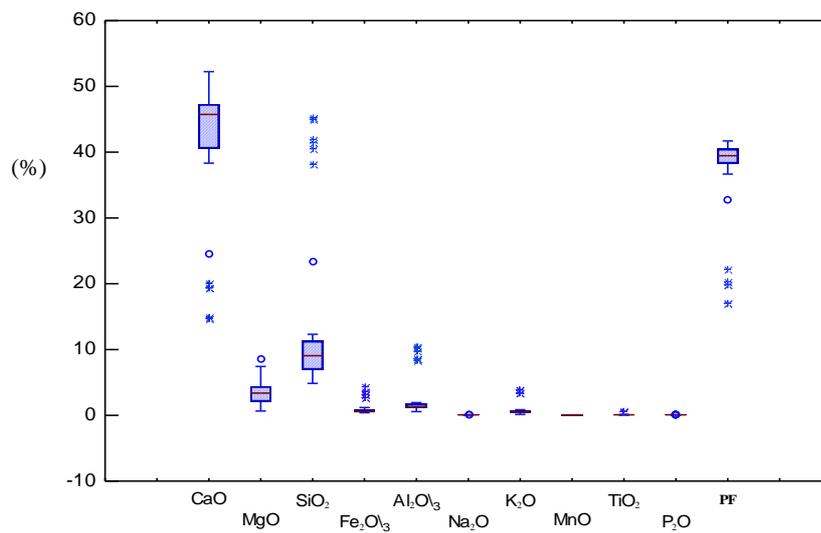


Figure 2. Box plots ($N=37$). Analyses chimiques XRF des échantillons calcaires

b) Caractérisation mécanique (R_c)

Huit échantillons issus du sondage S13B, six issus de S70 et deux matériaux à faciès calcaire ont fait l'objet des essais de résistance en compression simple. Les éprouvettes cylindriques ont subi une rectification afin de rendre leurs faces suffisamment planes. Elles sont ensuite été séchées et placées au centre du plateau de la presse d'essai. Une charge uniformément répartie est appliquée perpendiculairement à la stratification et augmentée de façon continue jusqu'au point de rupture. La figure 3 présente les différentes valeurs de résistance en compression des échantillons de S13B, S70 et de deux faciès calcaires.

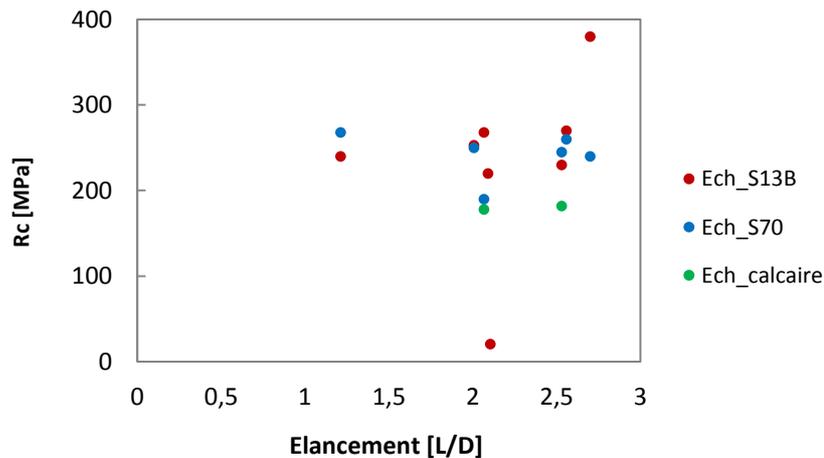


Figure 3. Valeurs de résistance en compression simple des échantillons dolomitiques et calcaire.

c) Caractérisation physique (porosité)

Une observation microscopique a été effectuée en vue de déterminer la porosité totale des matériaux. Nous avons recouru à la technique de microscopie optique en lumière réfléchiée: 3 sections polies ont été réalisées pour les échantillons Ka209-3, Ka253-3 et BK4 au Laboratoire GeMMe, Université de Liège. Nous présentons à titre d'illustration les résultats des observations effectuées sur Ka253-3 (Figure 4.) L'aire totale de pores plus celle de la phase particulaire donne 100%. Pour l'échantillon Ka253-3, nous obtenons 188.526 pixels correspondant aux pores contre 11.424.783 pixels pour la phase particulaire: la porosité est ainsi évaluée à 1,6 %.

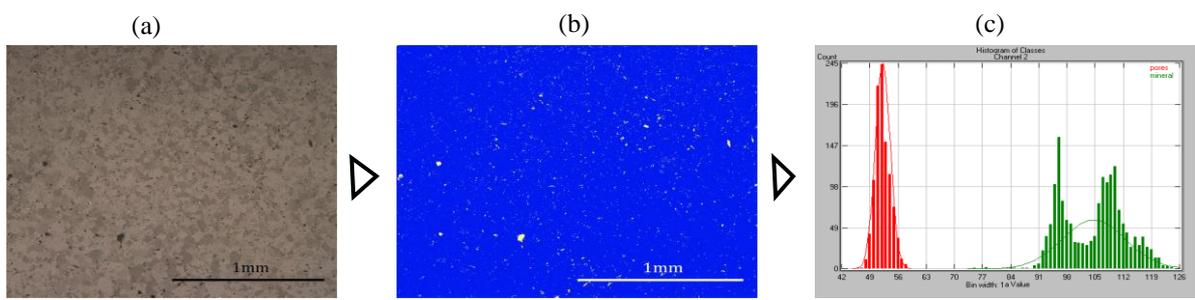


Figure 4. Calcul de la porosité par analyse d'image échantillon Ka253-3 et BK4. (a) : image brute acquise au microscope BX60 (reflectance). (b) : image segmentée en deux phases pore (jaune) et phase particulaire (bleue). (c) : histogramme de niveaux de gris pour les deux zones ; pores (rouge) et particules (vert).

3.1.2. Caractérisations des matériaux cuits

a) Analyses thermiques

Pour les échantillons de la catégorie 1, les analyses thermiques ont été réalisées au Laboratoire GreenMat de l'Université de Liège. D'une façon générale, les analyses thermiques permettent d'étudier le comportement de matériaux lorsque ces derniers sont soumis à des variations de température [BOY 1]. Le couplage TG-DSC permet de mesurer simultanément les pertes massiques et les flux thermiques correspondants. Il permet donc de relier chaque variation de masse Δm à la variation de la chaleur de la réaction correspondante [SAM 10]. L'appareil utilisé est le NETZSCH STA 449C. Nous présentons à la figure 5, les courbes TG-DSC de l'échantillon K253-1. Les échantillons de la catégorie 2 ont été cuits sous forme de blocs compacts (figure 6) dans un four à résistance électrique sous une atmosphère d'air avec extraction continue de gaz CO_2 . Les analyses ont été effectuées dans le laboratoire R&D de l'entreprise CARMEUSE SPRL à Seilles en Belgique.

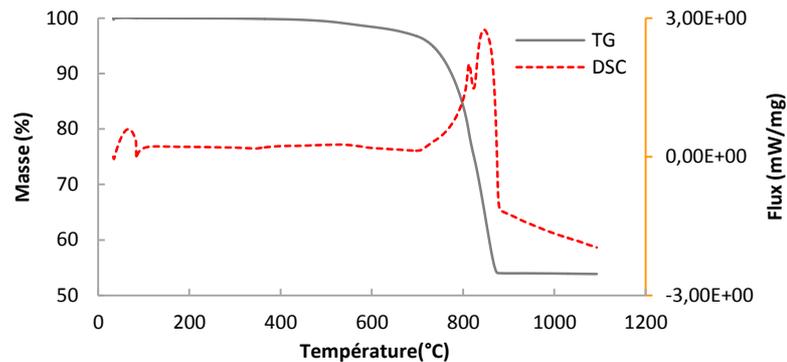


Figure 5. Courbe TG-DSC de l'échantillon de dolomie Ka253-3

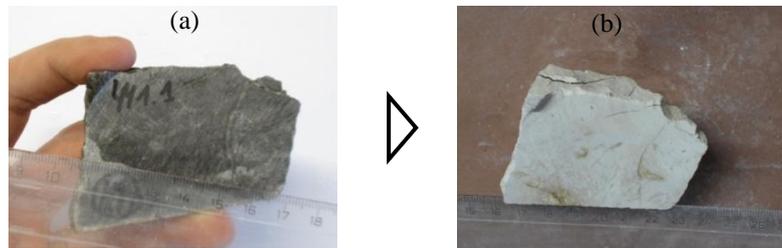


Figure 6. Echantillon de la catégorie 2 : (a) avant cuisson (matériau cru), (b) après cuisson (chaux dolomitique).

3.2. Interprétation des résultats

3.2.1. Matériaux crus

Les résultats XRF de dolomies (Figure 1) montrent la variation des principaux éléments chimiques majeurs en fonction de la profondeur des sondages. Il s'agit notamment du Ca, Mg, Si, Fe et Al. Ceci est particulièrement intéressant du fait que nous pouvons sur base de teneurs de ces oxydes, apprécier la qualité du **matériau cru** et déterminer de ce fait, des éventuels champs d'utilisation. L'analyse exploratoire des résultats XRF du sondage S13B (319 m échantillonnés) montre que ce dernier peut être découpé en trois parties nettement distinctes : deux parties (partie inférieure *S13B_inf* et la partie supérieure *S13B_Sup*) à forte variabilité des concentrations en Ca, Mg, Si, Al et Fe et une partie médiane (*S13B_Moy*) dont les teneurs de ces mêmes éléments varient de façon négligeable (faible dispersion de valeurs autour de la valeur médiane). Ainsi, les matériaux de parties supérieures et inférieures de ce sondage, peuvent, si elles présentent des bonnes propriétés microstructurales et mécaniques, être valorisés dans le domaine de la construction comme moellons, revêtements, etc. Les matériaux recoupés par le sondage S70 (20 m échantillonnés) sont plus ou moins dolomitiques. Les analyses chimiques effectuées sur les carottes de soixante premiers mètres du sondage, montrent une forte variabilité de teneurs en oxydes de Ca, Mg, Si, Al, Fe ; ce qui nous permet de classer ces matériaux dans la catégorie de matériaux dolomitiques « impurs. ». D'où, les données chimiques XRF peuvent servir à catégoriser les matériaux pour des applications comme chaux de construction. A ce sujet, les normes européennes [NBN 6 – NBN 8] ou américaines délimitent les concentrations minimales des oxydes de Mg et Ca et celles des impuretés, notamment la silice pour différents types de chaux à utiliser en maçonnerie ou construction. D'après la norme EN459-1[NBN 6], une chaux dolomitique DL85 devrait contenir au minimum 85% de CaO+MgO et une teneur en MgO minimale de 30%. Le produit DL80 contient 80% de CaO+MgO et une concentration en MgO supérieure ou égale à 5% (figure 7a et b). Les normes Américaines ASTM C207 définissent deux types de chaux dolomitiques. Les chaux dolomitiques hydratées Type N et Type S. Les exigences chimiques pour ces produits sont données en fonction de la concentration en oxydes de Mg et CaO donc (CaO+MgO) et aussi en fonction des impuretés telles que le dioxyde de soufre. Donc les matériaux de S13B peuvent être valorisés comme chaux de construction (S13B - Moy), alors que ceux de S13B-sup, S13B-inf et les matériaux de S70 peuvent être utilisés comme blocs de construction, concassés, etc. Les pierres naturelles telles que les dolomies ou les calcaires ont généralement de bonnes résistances en compression simple. Ces résistances peuvent varier entre 100 et 250 MPa [SER 11]. Mais ces valeurs sont relatives, car dépendant fortement de la microstructure ou des propriétés pétrographiques du matériau.

Les valeurs de Rc de nos échantillons analysés varient de 20,65 à 380 MPa (figure 3) ; les vitesses ultrasoniques correspondant à ces valeurs, varient également de 3833 à 6990 m/s respectivement. La densité moyenne (apparente) de ces roches (dolomies et calcaire) est d'environ 2,7. Quant à la porosité, les échantillons dolomitiques présentent des valeurs autour de 1,6 % (figure 4), alors que les matériaux calcaires ont montré des valeurs autour de 10 %. Bien que les valeurs de porosité obtenues par analyse d'images ne constituent pas un moyen absolu de quantification tridimensionnelle de la porosité totale d'un échantillon de roche [PIR 9], les valeurs obtenues montrent que nos matériaux sont compacts et moins poreux. Ces observations ont été confirmées par analyses microstructurales au MEB.

Pour les matériaux calcaires, les résultats de l'analyse chimique présentés à la figure 2 sous forme de box plots montrent que pour les trois sites d'investigation (BK, TS et TK), les matériaux ont un caractère calcaireux. La valeur moyenne de CaO est de 47 %. Nous avons en plus procédé au calcul de l'indice d'hydraulicité des matériaux de ces sites. Pour prendre en compte les valeurs en MgO et Fe₂O₃ nous avons utilisé le paramètre d'hydraulicité CI (Cementation Index) donné par la formule d'Eckel [ELS 3]. Les résultats (figure 7) ont montré que ces matériaux sont moyennement hydraulique à modérément hydraulique (CI : 0,3 à 0,7). En plus, même pour la production de la chaux hydraulique en se référant aux normes EN459, nous trouvons que c'est le type HL plutôt que NHL qui peut être envisagé, car les teneurs en oxydes de Si, Fe et Al ne sont pas en proportions convenables pour cuire le matériau seul sans apport. D'autre part, la valorisation de ces mêmes matériaux en cimenterie reste envisageable. Cependant, il se posera sans doute le problème du MgO car les séquences calcaires sont beaucoup plus dolomitiques.

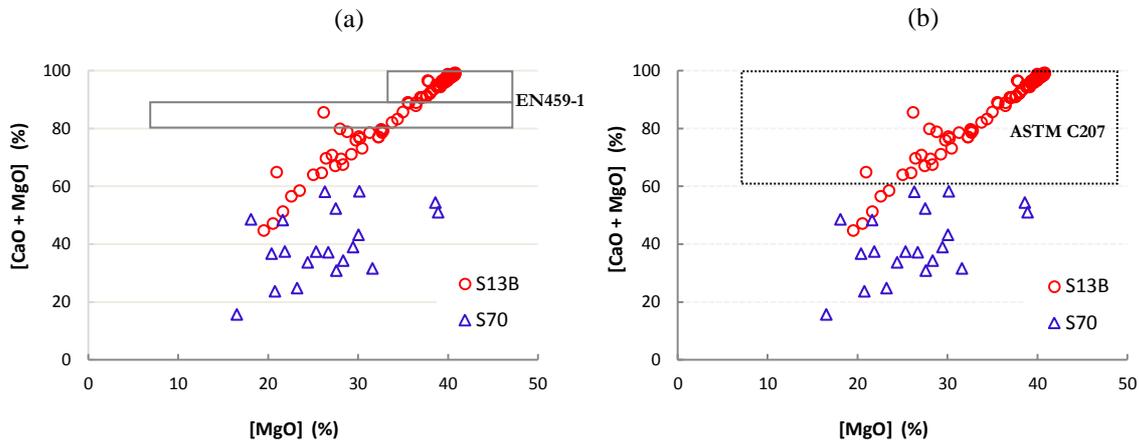


Figure 7. Plages des spécifications chimiques pour les chaux DL85 et DL80 pour la norme EN459-1 (a) et les chaux dolomitiques hydratées Type N et Type S pour la norme ASTM C207 (b).

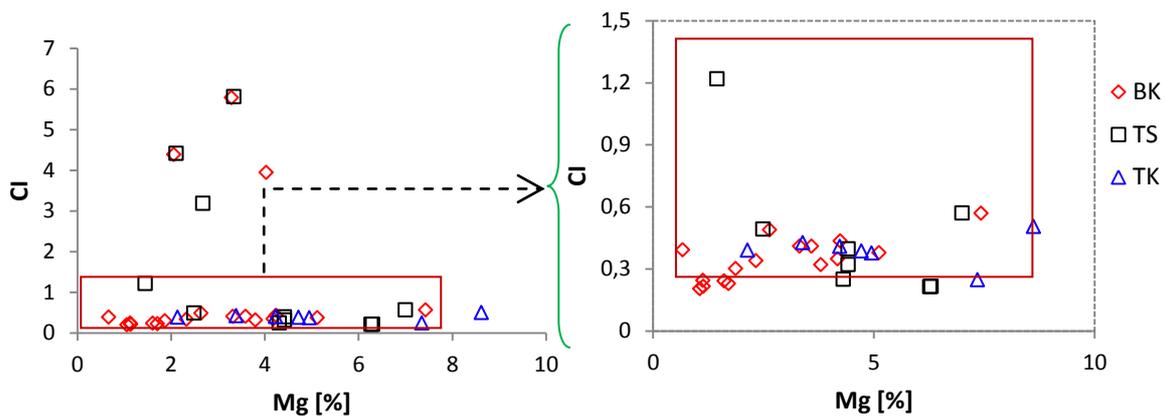


Figure 8. Indice CI des matériaux des sites BK, TS et TK avec les plages délimitant l'hydraulicité des matériaux.

3.2.2. Matériaux cuits

Les résultats obtenus à l'issue de la caractérisation thermique des matériaux calcaire - dolomitiques montrent que ces derniers présentent des propriétés microstructurales avantageuses qui peuvent être exploitées lorsque les matériaux requièrent un traitement thermique dans des applications comme matériaux cuits. Les températures de dissociation obtenues sont proches de celles des matériaux présentant un bon comportement thermique [SLA 12]. L'énergie d'activation obtenue lors de la décarbonatation de l'échantillon Ka253-3 est de 179,3 kJ/mole (figure 5). Elle reflète celle qu'on obtiendrait si l'on cuit les autres faciès dolomitiques purs de S13B.

En ce qui concerne les faciès calcaire, l'énergie d'activation obtenue est d'environ 172,4 J/mole entre dans l'intervalle des valeurs courantes associées à la décarbonatation des roches calcaire. La chaleur d'activation des faciès dolomitiques est supérieure à celle des faciès calcaires ; mais l'écart n'est pas très élevé.

En définitive, les faciès calcaire et dolomitiques présentent un comportement thermique favorable à une éventuelle utilisation pour la production de chaux (calcaire ou dolomitique).

4. Conclusion

Au regard de la caractérisation de matériaux calcaire - dolomitiques crus de la région de Mbuji-mayi, nous pouvons retenir ceci : - Les dolomies de cette région montrent des textures assez compactes et moins poreuses ;

les résistances en compression uniaxiale sont très élevées pour les faciès purs (S13B_Moy) et impurs (S13B_Sup, S13B_Inf) du sondage S13B et aussi pour ceux du sondage S70. Elles sont comprises entre 150 et 250 MPa. Ces résultats sont satisfaisants et confèrent à ces matériaux, des potentialités de valorisation en maçonnerie et en construction. Cependant, en croisant ces résultats avec ceux des analyses chimiques et minéralogiques réalisées, il s'est avéré utile d'optimiser l'utilisation des matériaux dolomitiques dans l'optique d'une gestion durable de ressources minérales ; ainsi, les matériaux dolomitiques purs (chimiquement) peuvent trouver des applications à plus grande valeur ajoutée dans la production de réfractaires ou de chaux dolomitiques conformément aux normes EN 459-1 et ASTM C 207.

D'autre part, la majorité de calcaires de la même région sont impurs ; c'est à dire que la teneur moyenne en calcite de ces roches n'excède pas 85 %. Le CI (Cementation Index) calculé pour vérifier le caractère hydraulique ou non de ces matériaux a permis de les classer dans la catégorie des matériaux moyennement hydraulique à modérément hydraulique. Au vu de ces résultats les matériaux calcaires se prêteraient à la production d'un liant hydraulique. Cependant, ces roches étant magnésiennes à dolomitiques, et si on se conforme aux exigences imposées par les normes en vigueur, seules les couches affichant des teneurs minimales en MgO se prêteraient à une éventuelle production. Néanmoins, cette question de liant riche en MgO a été abordé par le présent l'auteur dans ce même recueil.

D'où, en procédant par une valorisation sélective des matériaux en fonction de leurs propriétés technico-économiques et environnementales, on s'inscrit dans la politique d'une utilisation durable de ceux-ci.

5. Bibliographie

- [BOY 1] Boynton, R.S., *Chemistry and technology of lime and limestone*. New York, J.Wiley and Sons, 1980.
- [CHR 2] Christidis, G E., « Industrial minerals: significance and important characteristics », *The European Mineralogical Union Notes in Mineralogy*, vol.9, 2011, p.1-12.
- [ELS 3] Elsen, J., Mertens, G., Snellings, R., « Portland cement and other calcareous hydraulic binders: history, production and mineralogy ». *The European Mineralogical Union Notes in Mineralogy*, vol. 9, 2011, p.441-479.
- [MAC 4] Mackenzie, R C., Mitchell., B.D., «Techniques in Differential Thermal Analysis ». R.C Mackenzie, 1970. Vol 1: p.101-120.
- [MOL 5] Molina, E., Cultrone, G., Sebastián, E., Alonso, F.J, Carrizo, L., Gisbert, J., Buj, O., «The pore system of sedimentary rocks as a key factor in the durability of building materials », *Engineering Geology*, vol 118, 2011, p.110 - 121.
- [NBN 6] NBN EN 459-1., *Chaux de construction - Partie 1: Composition, spécifications et critères de conformité* ., 1^e éd, 2002.
- [NBN 7] NBN EN 459-1., *Chaux de construction - Partie 2: Méthode d'essai*., 2^e éd, 2010.
- [NBN 8] NBN EN 459-1., *Chaux de construction - Partie 3: Evaluation de la conformité* ., 2^e éd, 2011.
- [PIR 9] Pirard, E., Sardini, P., « Image analysis for advanced characterization of industrial minerals and geomaterials », *The European Mineralogical Union Notes in Mineralogy*, vol.9, 2011, p.287-340.
- [SAM 10] Samtani, M., Dollimore, D., Alexander, K.S., « Comparison of dolomite decomposition kinetics with related carbonates and the effect of procedural variables on its kinetic parameters », *Thermochica Acta*, vol. 392-393, 2002, p. 135 -145.
- [SER 11] Serratrice, J F., Durville, J L., « Description des roches et massifs rocheux. Exploitation de deux bases de données », *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées*, vol. 211, 1997, p.73-87.
- [SLA 12] Slaoui, S., Bounahmidi, T., « Etude expérimentale et modélisation de la cinétique de décomposition de la pierre à chaux ». *C. R Chimie*, vol.7, 2004, p.559-568.
- [VAZ 13] Vazquez, P., Alonso, F.J, Carrizo, L., Molina, E., Cultrone, G., Blanco, M., Zamora, I., « Evaluation of the petrophysical properties of sedimentary building stones in order to establish quality criteria ». *Construction and Building Materials*, vol 41, 2013, p.868–878.