

Géologie

CONTRIBUTION À LA CONNAISSANCE GÉOLOGIQUE DE LA CARBONATITE DE LUESHE EN RDC : ÉTUDE MINÉRALOGIQUE ET GÉOCHIMIQUE

KAMBALE MALIVA Thierry*, KAMBALE VINUMA Justin**
KWIRATUWE MUSANDE Benjamin***

Résumé

Afin de mener des recherches des certains métaux associés comme le Pb, Cd, Ni, Cr, Cu, Co et Zn, une étude géochimique et minéralogique de la carbonatite de lueshe a été réalisée. Ainsi, 13 échantillons ont fait l'objet d'une analyse chimique par la méthode XRF et 3 pour la microscopie. Ces analyses révèlent après normalisation par rapport au Clarke une anomalie en Pb dans presque tous les échantillons particulièrement dans la latérite (EC7) avec la teneur la plus élevée de 299 ppm. Le reste des roches sont appauvries en ces éléments. Les trois lames minces présentent les minéraux comme le carbonate, phyllithe, oxyde et hydroxyde de fer. Une étude minutieuse devra être focalisée sur la latérite

Mots-clés : Carbonatite , Lueshe, Minéralogie, Géochimie.

CONTRIBUTION TO THE GEOLOGICAL KNOWLEDGE OF LUESHE'S CARBONATITE IN THE DRC: MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL STUDY

Abstract

In order to conduct some research on some associated metals like Pb, Cd, Ni, Cr, Cu, Co and Zn, a geochemical and mineralogical study of the Lueshe carbonatite has been achieved. Thus, 13 samples have been analyzed by the XRF method chemical analysis and 3 for microscopy. After normalization with the Clarke, the analysis reveals an anomaly in Pb in almost all samples especially in laterite (EC7) with 299 ppm as the highest grade. Remaining rocks are very low grade. The three thin sections present minerals as carbonate, phyllite.

* Assistant 2 à l'Institut Supérieur de Chimie Appliquée (ISCA Butembo), Section Génie minier, Expert Géologue au sein du Cabinet National du Graben Mining Consulting "GMC", Tel : +243994380215, +243821860451. E-mail : thmaliva@gmail.com

** Géologue d'exploration au sein de la Société Barrick Gold Corporation, Expert Géologue au sein du cabinet National du Graben Mining Consulting "GMC", Tel : +243814395582. E mail: kvmjustin@mail.com

*** Assistant 2 à l'Institut de Bâtiment et Travaux Publics (IBTP/Butembo), Tel:+243990900419,+243825007017.E-mail : musandebenjamin@gmail.com

A careful study shall focus on laterite to highlight this anomaly

Keywords: Carbonatite, Lueshe, Mineralogy, Geochemistry.

I. INTRODUCTION

La demande incessante et accrue des ressources minérales se justifiant par la croissance de la technologie incite l'humanité à la recherche minière afin de satisfaire le développement industriel. L'exploitation minière joue un rôle très important dans plusieurs pays émergents et certains pays en voie de développement. L'exploitation sert de pivot au développement économique et elle contribue significativement au PIB et aux bénéfices du marché des devises. Actuellement, c'est en Afrique que les secteurs d'explorations minérales se développent le plus vite (Deirdre, 2000).

Il est certain que l'utilisation des métaux remonte de la plus haute antiquité dont le cuivre, le fer, le zinc, l'Étain,... qui, avec les moyens de l'homme de l'époque, étaient faciles à travailler mais aussi à acquérir. C'est ainsi que la recherche de ces métaux, et plus précisément leurs sources (dépôts au gîte, ou gisement) a été poussée pendant une période historiquement longue.

Le secteur d'étude est constitué d'un complexe carbonatitique, ce dernier est une roche magmatique grenue à aspect de calcaire cristallin, car constituée à 80% de grands cristaux de carbonate, soit calcite (sövite), soit calcite et dolomite (béforsite) avec parfois ankérite ou sidérose. Elle se forme à partir de magma enrichi en CO₂ et Ca, selon des modalités mal connues : concentration locale de CO₂ et Ca donnant un magma spécial non miscible avec le magma environnant, ou dans certains cas assimilation possible de calcaires préexistants. Certains minéraux sont très variés feldspath, feldspathoïde, biotite, pyroxène, péridot, grenat, apatite et minéraux spéciaux riches en Nb, Ta, Ti, Th, U et terres rares (roches ayant donc souvent un intérêt minier). (Foucault et Raoult, 2000).

La RDC est qualifiée par les scientifiques de scandale géologique à cause de l'abondance de ses ressources minières, pétrolières, énergétiques. Malheureusement, ce scandale géologique est contrasté par un véritable scandale social, autrement dit, l'exploitation de ces potentialités naturelles ne parvient pas à catalyser le développement du pays et à réduire la pauvreté de ses citoyens (Mutabazi et Al., 2008).

En effet, ce contraste peut aussi se justifier par le manque de connaissance sur certaines substances associées retrouvées dans les gisements au Congo. Généralement, les métaux sont liés chimiquement à d'autres éléments et doivent en être séparés chimiquement comme l'or associé aux sulfures de fer, le cuivre associé à la chalcopyrite (Anonyme 2012). Lueshe étant riche en niobum présente encore des potentiels élevés. Il

présenterait les ressources d'ordre de 400000t@ 1.34% Nb avec d'autres éléments comme le phosphore (P), le tantalium (Ta) et thorium (Th) et d'autres métaux (Milesi et al., 2006) . Ainsi, avons-nous mené cette étude afin de connaître d'autres métaux associés pouvant faire l'objet d'une exploitation dans ce complexe carbonatitique.

II.2. LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE ET CONTEXTE GEOLOGIQUE

II.1. Localisation du secteur d'étude

La zone d'étude constitue une ancienne exploitation minière en Nb et Ta depuis les années 1990 à 2004 et est située en RDC, province du Nord-Kivu, territoire de Rutshuru , chefferie de Bwito aux coordonnées géographiques 29.13° longitude Est et 1.02° latitude Sud.

Le secteur de Lueshe est dominé par les reliefs élevés et le plus haut point se trouve au-delà de 1628 mètres d'altitude. La principale rivière qui traverse la zone est la rivière Lueshe qui confère son nom au secteur. Elle collecte les eaux de deux petites rivières dont Kataonga et Ibule et constitue l'un des affluents de la Rwindi vers le Nord.

La pluviométrie est bonne, elle s'établit en moyenne à 1400 millimètres par année atteignant même 2200 millimètres (Anonyme ,1986). Le sol de Lueshe est particulièrement issu de la décomposition des formations géologiques du secteur, il est ainsi dominé par les argiles latéritiques.

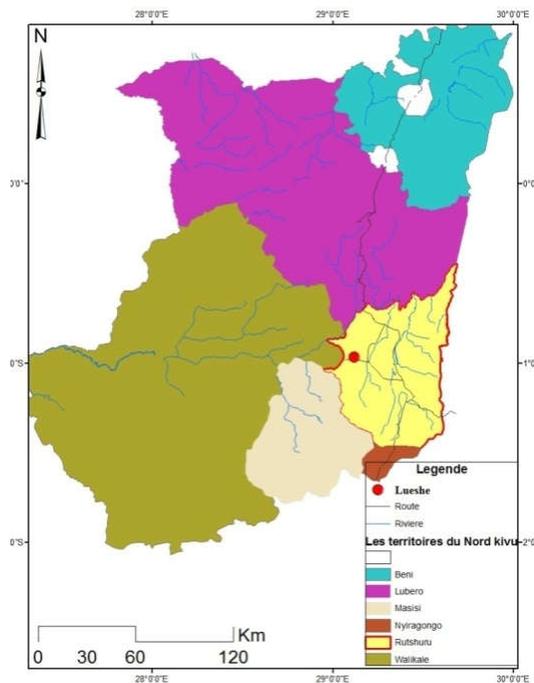


Figure 1: Carte administrative du Nord-Kivu localisant Lueshe

II.2. Cadre géologique du secteur d'étude

Les formations de Lueshe ont été mises en place dans le socle précambrien pendant le tertiaire. Elles font partie des montagnes de la Rwindi. Ces montagnes de la Rwindi sont formées des roches orientées NNE-SSW. Elles ont été divisées en deux unités pétrographiques :

1- L'unité du Nord constituée des schistes traversés par le grenat, des gneiss ocellés avec des quartzites et des amphibolites à épidote. Des petites intrusions granitiques et tonalitiques sont aussi observables dans cette unité ;

2- L'unité du Sud constituée principalement des séricitoschistes orientés NW-SE. Parmi ces roches, il y a celles qui montrent une grande schistosité et celles qui montrent une faible schistosité. C'est dans cette unité du Sud que se trouvent les complexes intrusifs des carbonatites de Lueshe. (Bethune, 1952).

D'après Cahen et Snelling (1966), « les syénites et les syénites néphéliniques du massif de Kirumba montrent un rapport d'âge de 555 ± 17 Ma. et 635 ± 33 Ma. Ces deux complexes basiques étaient mis en place après le Katanguien métamorphisé dont l'âge du métamorphisme est d'environ 630 Ma ». La moitié du complexe de Lueshe comprend des syénites à cancrinite et le reste consiste en la carbonatite soit à calcite, soit à dolomite. Dans la moitié de la partie Sud du complexe, la carbonatite à calcite (sövite) est couverte par des sols latéritiques (Maravic et Morteani, 1980). La sövite, qui est un type principal des roches du complexe carbonatitique de Lueshe se répartit sur trois monts dont Mutoro, Butora et Busoro.

III. MÉTHODOLOGIE DU TRAVAIL

III.1. Sur terrain

Pour mener à bien nos recherches, nous avons scrupuleusement respecté les étapes énumérées ci-dessous :

1- La délimitation des stations d'études selon les collines du secteur. Cette délimitation des stations d'études tient compte de l'accessibilité des affleurements ;

2- L'observation des affleurements, la description et l'échantillonnage des formations saines et des altérites ont comme finalité la détermination provisoire de la nature minérale de la roche qui sera précisée par les analyses microscopiques.

L'affleurement est étudié sur le plan de l'altération, des minéraux caractéristiques et des structures. La recherche des minéralisations sur l'affleurement se fait à l'œil nu ou moyennant la loupe. Au cours de la description, on a mis l'accent sur le degré d'altération, la minéralisation et les produits oxydés, susceptibles de piéger les métaux.

À la fin de la description, un ou plusieurs échantillons ont été prélevés. Chaque point d'échantillonnage a été localisé par les coordonnées géographiques en UTM moyennant le GPS Garmin. Nous avons aussi prélevé les positions des routes et des rivières. Pendant cette étape, les contacts des différentes formations géologiques ont été mentionnés. Les affleurements ont été photographiés et la vérification du magnétisme et les testes à l'acide chlorhydrique ont été appliqués à tous les échantillons.

Après l'étude macroscopique des échantillons, ceux-ci ont été envoyés au laboratoire pour l'analyse géochimique et pétrographique.

3- La détermination des itinéraires : Les itinéraires suivis sur le terrain sont déterminés par la présence des affleurements et leur accessibilité.

En bref, sur terrain, nous nous sommes servis des méthodes suivantes :

- Lever géologique au marteau avec description des faciès pétrographique et prélèvement d'échantillons ;
- Teste magnétique avec tige magnétique pour la susceptibilité magnétique ;
- Détection des roches carbonatées par le test à l'acide chlorhydrique diluée à 10%.

III.2. Au laboratoire

Des échantillons prélevés, un nombre a été sélectionné pour des études microscopiques en lumière transmise. Cette observation nous a permis de connaître la composition minéralogique et pétrographique de la roche. Après une première sélection sur base des faciès pétrographiques et des données minéralogiques, treize échantillons représentatifs ont été retenus pour une analyse chimique des quelques éléments majeurs et en trace. Les méthodes géochimiques s'intéressent au comportement des éléments majeurs et traces. Les analyses chimiques se préoccupent ainsi de la quantification en teneur des différents éléments susmentionnés.

Pour toute analyse, la préparation des échantillons est parmi les étapes primordiales. Pour les analyses chimiques, la première phase était le pesage des échantillons (250 grammes chacun), sécher à une température de 105° C, broyer à 2mm et pulvériser à 75 micromètres.

L'analyse a été faite par la méthode XRF afin de déterminer les éléments majeurs et en traces dans les échantillons pulvérisés par l'appareil BRUKER XRF. De 250 g, 10 ont été pris pour l'analyse et le résultat des traces et des majeur a été exprimé en pourcent puis converti en ppm en multipliant par 10⁴.

La préparation des échantillons pour l'étude minéralogique a consistait à couper, sécher et polir la roche. Trois lames minces KM1, KM2 et KM3 ont fait l'objet de cette étude.

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

V.1. *Minéralogie*

Trois roches ont été sélectionnées pour leur particularité : une carbonatite saine, un shale et une carbonatite altérée.

➤ **KM1**

Obtenu à partir d'un échantillon de carbonatite saine, la lame mince montre beaucoup de carbonates en voie d'altération qui présentent des clivages losangiques; les cristaux sont quasi équigranulaires. Par endroits, et suite à l'altération des carbonates, on observe quelques paillettes de phyllithes.

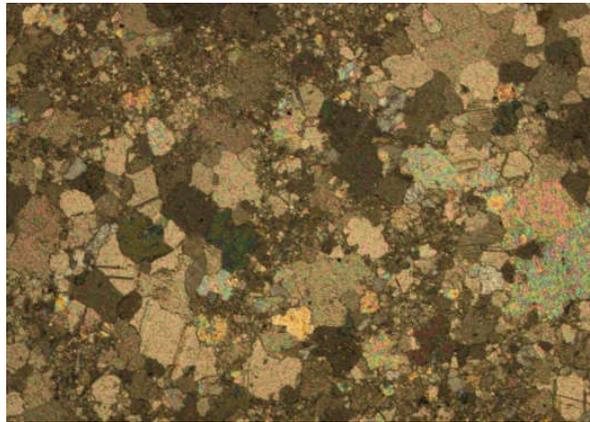


Figure 2: Photographie de la lame mince KM1.

➤ **Lame KM2**

Cette lame a été fabriquée à partir d'un échantillon de shale ; l'analyse microscopique de la préparation nous donne la présence de quelques minéraux opaques, probablement argileux caractérisé par un clivage 001, c'est-à-dire parallèle aux axes X et Y du solide primitif; ces minéraux se présentent dans des cassures. Il y a présence des paillettes des micas qui présentent une orientation, c'est bien un shale.



Figure 3 : Photographie de la lame mince KM2

➤ **Lame KM3**

Cette lame est façonnée à partir d'un échantillon de carbonatite altérée. On y voit des vestiges de calcite rhomboédrique (polyèdre à facies losangiques). Par endroits, et suite à une dissolution chimique poussée, il se forme des cavités et des minéraux phylliteux identifiables avec amples précisions en diffraction des rayons X. On observe aussi une dissémination des cristaux noirs qui correspondent probablement à des oxydes ou hydroxydes de fer enrobés dans une matrice fine grisâtre.

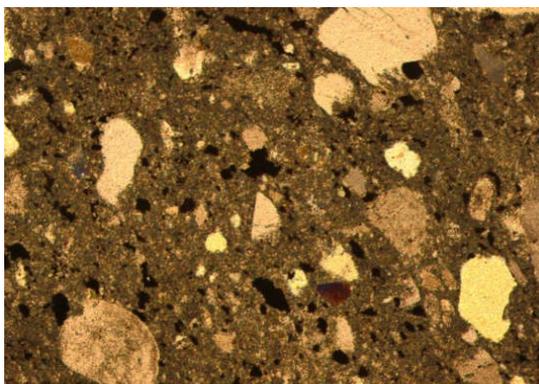


Figure 4. Photographie de la lame mince KM3

Des échantillons récoltés à Lueshe, certains ont été sélectionnés pour faire l'objet des études de laboratoire pour une étude minéralogique.

Au terme de cette étude minéralogique, on peut relever les observations frappantes suivantes :

Les faciès pétrographiques essentiels sont la carbonatite à minéraux phylliteux et des oxydes ou hydroxydes de fer. Dans certains échantillons de la carbonatite de Bingo, la présence de la Néphéline, Aégirine-Augite, Eudialyte, Sphène, Orthoclase confondu au quartz et grain ovoïde de Sodalite (1,64mm de long) avec d'autres fins

grains du même minéral a été signalé (Kibwana, 2010). Le shale est composé essentiellement des micas blancs et noirs.

IV.2. Géochimie

Lueshe étant réputé pour sa concentration en Niobium et les terres rares, cette étude s'est focalisé à d'autres métaux surtout les métaux de base comme le Chrome, le Plomb, le Cadmium, le Zinc, le Nickel, le Cobalt et le cuivre. Les résultats obtenus exprimés en ppm sont présentés dans les tableaux 1 et 2 ci-dessous respectivement pour les données brutes et les données normalisées.

Tenant compte de l'objectif, seuls les éléments en traces ont fait l'objet de la normalisation par rapport au Clarke. Nous nous en sommes servis pour trouver leurs distributions, la matrice de corrélation ainsi que la production de la carte géochimique.

Les 7 éléments en traces et les 6 majeurs sont respectivement le cobalt, cuivre, zinc, nickel, plomb, cadmium, chrome, fer, aluminium, manganèse, sodium, magnésium et calcium. Le traitement des données a été facilité par les logiciels PAST pour les diagrammes et ArcGIS pour les cartes géochimiques.

Tableau 1 : Données géochimiques brutes en ppm

N° Ech	NOM DE LA ROCHE	Fe Ppm	Mn ppm	Ca ppm	Mg ppm	Al ppm	Na ppm	Cr ppm	Co ppm	Cu ppm	Zn Ppm	Ni ppm	Pb ppm	Cd ppm
ECH 1	Carbonatite	4657,14	487,25	8817,19	2872,63	2483,71	1355,97	18,42	0,00	0,00	84,69	1,92	298,55	0,55
ECH 2	Carbonatite	161,29	15,34	9254,45	2207,25	70,83	435,53	0,00	0,00	0,00	79,17	4,51	12,94	0,52
ECH 3	Carbonatite	1316,95	619,45	9357,87	2372,38	56,60	414,09	0,00	0,00	0,00	78,63	0,87	89,23	0,64
ECH 4	Carbonatite	2265,00	509,17	9328,70	2276,39	285,23	537,39	12,47	0,00	3,62	81,30	1,26	155,66	0,87
ECH 5	Carbonatite	1162,62	244,55	7793,40	2619,40	3965,37	3677,17	7,25	0,00	0,00	84,77	0,00	76,28	0,17
ECH 6	Carbonatite	755,00	139,04	7314,53	2273,22	276,05	528,29	0,00	0,00	2,02	77,72	2,60	50,32	0,70
ECH 7	Latérite	95605,30	10610,9	7160,65	2394,97	2662,72	478,53	0,00	8,18	0,00	96,72	4,44	4799,45	4,90
ECH 8	roche argileuse	8190,49	31,84	4949,92	2097,42	5903,00	527,32	0,00	0,00	1,35	74,37	1,24	525,65	0,72
ECH 9	Syénite	3704,70	361,98	7150,75	2788,47	9026,59	8197,93	0,00	0,00	0,00	92,63	0,00	231,48	0,85
ECH 10	Syénite	1568,57	95,63	6910,00	2530,79	9325,40	8374,53	0,00	0,00	0,00	86,24	0,60	104,78	0,27
ECH 11	Schiste	337,27	22,62	5449,09	3176,38	886,02	460,12	0,00	0,00	2,55	79,70	0,00	24,64	0,74
ECH 12	Schiste	5314,40	58,18	4229,25	3315,60	3006,02	717,19	0,79	0,00	0,00	84,26	1,50	336,63	0,55
ECH 13	Quartzite	666,90	16,81	3338,60	2185,5	660,91	618,29	0,00	0,00	1,73	79,02	1,89	47,47	0,74

Source : nos données.

Légende : N° : Numéro, Ech : Echantillon, Fe: fer Mn: Manganèse ,Ca: calcium, ,Mg: Magnésium, Al : aluminium , Na: sodium, Cr: Chrome ,Co: Cobalt ,Cu: Cuivre ,Zn: Zinc ,Ni : Nickel ,Pb : Plomb ,Cd : Cadmium ,ppm : partie par million

NOM DE LA ROCHE	NUM ECH	Cr	Co	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd
Carbonatite	1	0.122	0	0	0.84	0.02	18.65	3.66
Carbonatite	2	0	0	0	0.79	0.05	0.8	3.46
Carbonatite	3	0	0	0	0.78	0.11	5.57	4.26
Carbonatite	4	0.083	0	0	0.81	0.01	9.72	5.8
Carbonatite	5	0	0	0	0.84	0	4.76	1.13
Carbonatite	6	0	0	0	0.77	0.03	3.14	4.66
Latérite	7	0	0.34	0	0.96	0.056	299.96	32.66
Roche argileuse	8	0	0	0	0.74	0.01	32.85	4.8
Syénite	9	0	0	0	0.92	0	14.46	5.66
Syénite	10	0	0	0	0.86	0.007	6.54	1.8
Schiste	11	0	0	0	0.79	0	1.35	4.93
Schiste	12	0.005	0	0	0.84	0.02	21.03	3.66
Quartzite	13	0	0	0	0.79	0.024	2.96	4.93

Tableau 2 : Valeurs normalisées des éléments en trace par rapport aux Clarke en ppm.

Source : nos données.

Légende : Ech : échantillon, Cr : Chrome, Co : Cobalt, Cu : Cuivre, Zn : Zinc, Ni : Nickel, Pb : Plomb, Cd : Cadmium.

Ces valeurs normalisées vont permettre de tracer les histogrammes, les droites de corrélation et les cartes géochimiques.

IV.2.1. Interprétation graphique

Cette section traite les différents graphiques issus du tableau des valeurs normalisées

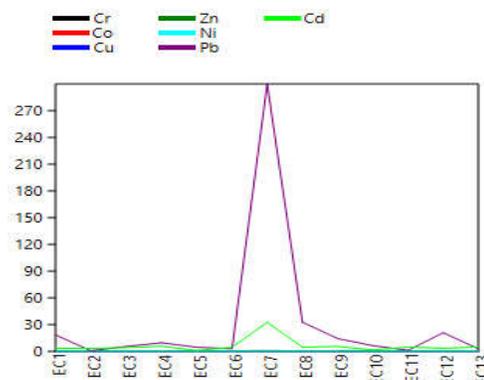


Figure 5: histogramme de distribution des Cr, Co, Cu, Zn, Ni, Pb, Cd dans les 13 échantillons

Après normalisation, seul le plomb présente des teneurs intéressantes allant jusqu'à plus 290 ppm. Les teneurs intéressantes sont plus dans l'échantillon 7 qui est une latérite. A Bingo, un enrichissement en certains minerais de Plomb s'est observé

comme la Lanarkite ($Pb_2(SO_4)O$) à 3.1%, la Damaraitite ($Pb_3Cl(OH)O_2$) à 2.7 5%, Proudite ($CuPb_{7.5}Bi_{9.33}(S,Se)_{22}$) à 1.3% , Fornacite ($Pb_2Cu(CrO_4)(AsO_4)(OH)$) à 6 2 % (Muhindo 2018),

La concentration des éléments dans les échantillons selon les teneurs est présentée sur la figure ci-dessous.

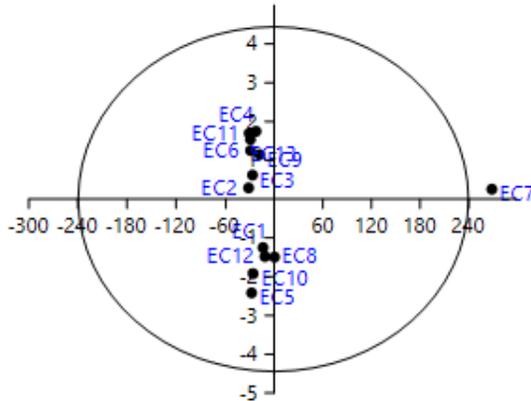


Figure 6 : rapprochement des échantillons selon les différentes teneurs

Il ressort de cette figure que la quasi- totalité des échantillons présente des teneurs rapprochées sauf dans la latérite (EC 7).

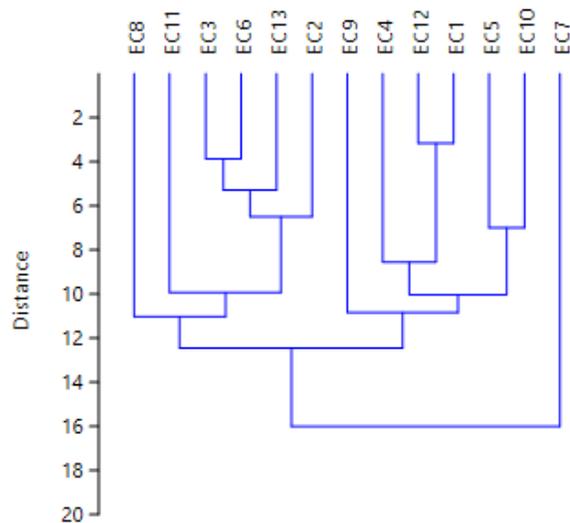


Figure 7 : Classification des échantillons suivant le rapprochement des teneurs

Il se dégage de cette figure deux familles de concentration minérale, un extrême de l'échantillon 7 et le reste des échantillons avec des teneurs insignifiantes.

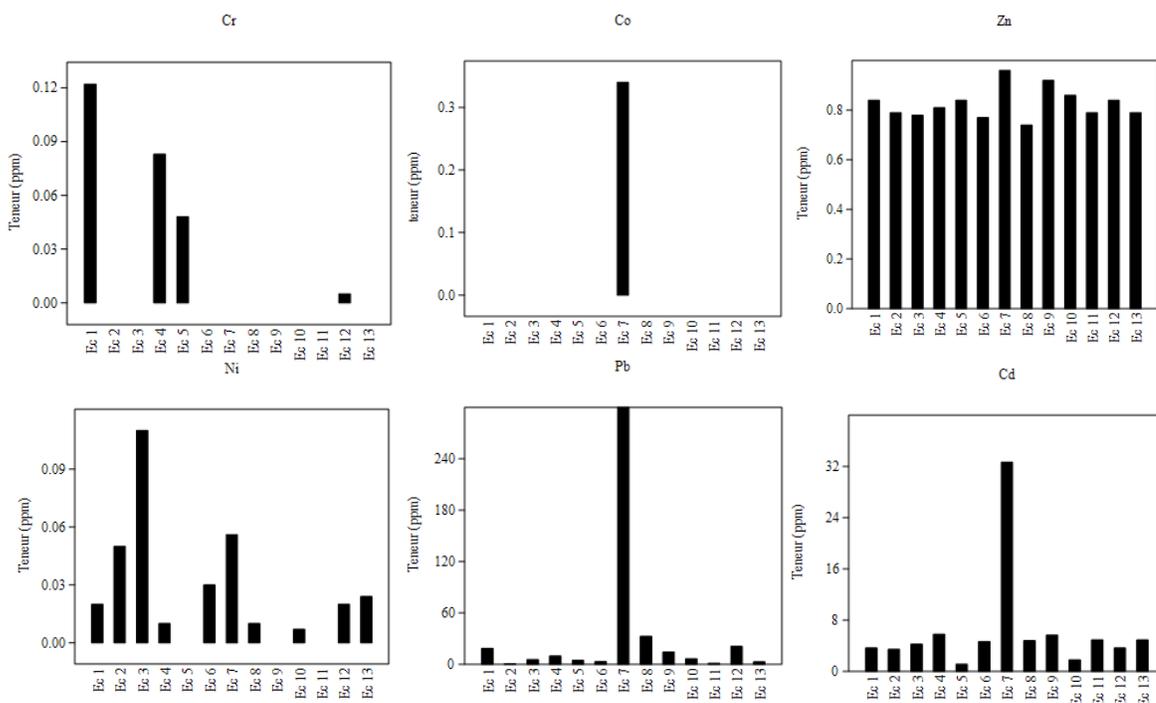


Figure 8: Histogrammes de distribution des éléments chimiques.

Il ressort de ces histogrammes que les constatations relatives à la distribution de chaque élément sont les suivantes :

✓ **Le Cobalt (Co).**

La distribution des teneurs de cet élément est la suivante : la valeur de la moyenne arithmétique est 0,63 ppm, le mode correspond à 8,18 ppm et la valeur minimale est de 0,00 ppm, d'où difficulté d'estimer la moyenne géométrique à cause de la valeur nulle minimale. Les teneurs sont beaucoup plus distribuées autour de la moyenne arithmétique qu'autour de la valeur maximale. La normalisation de cet élément par rapport au Clarke 24 ppm indique un appauvrissement dans les échantillons.

✓ **Le Cuivre (Cu).**

Le cuivre présente des valeurs nulles dans tous les échantillons. La valeur nulle de la teneur minimum ne permet pas d'estimer la moyenne géométrique de la distribution. Le cuivre est appauvri dans tous les échantillons. Ainsi, les valeurs nulles ne permettent pas d'élaborer une carte géochimique.

✓ **Le Zinc (Zn).**

Cet élément métallique présente des valeurs comprises entre 0,74 ppm et 0,96 ppm avec des moyennes très rapprochées qui sont respectivement 0,83 ppm et 0,82 ppm pour la moyenne arithmétique et la moyenne géométrique. Les teneurs sont beaucoup plus rapprochées aux valeurs moyennes, d'où les valeurs centrales faiblement dispersées traduisant une population homogène. Il est appauvri dans tous les échantillons comme les deux précédents.

✓ **Le Nickel (Ni).**

La distribution du nickel s'établit entre la valeur minimale 0,00 ppm et la valeur maximale 0,11 ppm. Cette teneur minimale ne permet pas d'estimer la moyenne géométrique. L'histogramme de cet élément traduit une distribution plurimodale. Les valeurs normalisées par rapport au Clarke indiquent un appauvrissement dans ces roches.

✓ **Le Plomb (Pb).**

Les valeurs de cet élément sont distribuées entre 0,8 ppm et 299,96 ppm. Cet écart entre le mode et le minimum montre que la taille de la dispersion du plomb est largement supérieure à celle du Zn. L'estimation des valeurs par rapport au Clarke de 15 ppm montre un large enrichissement dans les échantillons analysés. La grande valeur normalisée et la faible teneur normalisée de la série sont respectivement représentées par une latérite et une carbonatite. Les moyennes sont largement supérieures au Clarke, d'où une accumulation du plomb dans ces échantillons.

✓ **Le Cadmium (Cd).**

Comme le zinc, les valeurs centrales de cet élément sont proches. Sa valeur minimale 1,3 ppm et sa valeur maximale 32 ppm traduisent une grande taille de la dispersion par rapport à celle du zinc. La grande variation positive des teneurs du cadmium est représentée dans la latérite.

La normalisation des valeurs par rapport à la teneur crustale moyenne de 0,15 ppm indique une concentration du cadmium dans les échantillons analysés. Le plus grand enrichissement 32,66 ppm est reconnu dans la latérite et la plus faible valeur normalisée 1,3 ppm est représentée par une carbonatite. Les valeurs moyennes sont largement supérieures au Clarke et pourraient indiquer un indice minéralisé.

✓ **Le Chrome (Cr).**

La distribution de cet élément se présente de la manière suivante : La valeur minimale est 0,00 et la teneur maximale est 0,12 ppm. L'histogramme traduit une distribution asymétrique négative. Les valeurs normalisées par rapport au Clarke de 150 ppm montrent un appauvrissement sensible dans les échantillons analysés.

De ce qui précède, il se dégage un grand enrichissement en Plomb essentiellement dans la latérite. Les minéraux de cette roche constituent donc des pièges importants pour les métaux et constitue un paramètre qui a conduit à sa concentration.

Cela a déjà été observé dans les carbonatites de Lueshe où le Nb (Phosphate, Ta, Th) ont été rattachés à la latéritisation des carbonatites.

IV.2.2 Coefficient de corrélation inter-éléments

Une matrice de corrélation inter-éléments a été dressée (tableau 3) en vue de voir les liens existant entre eux à partir des coefficients de corrélation établis (r). Pour leur signification on se réfère aux coefficients de corrélation théorique alignés dans les livres, pour une probabilité et un degré de liberté (nombre d'échantillons - 2). Dans le cas présent, pour une probabilité de 95% et un degré de liberté de 11 (13 échantillons analysés -2), seuls les coefficients de corrélation calculés, dont la valeur absolue est ≥ 0.538 seront significatifs (Rollinson, 1993). Dans le tableau 3, les « r » significatifs sont en gras. Leur équation de la droite, leurs covariances sont présentées par la figure 9.

Cr	1						
Co	-0.150	1					
Cu	0.128	0.208	1				
Zn	0.052	0.662	-0.470	1			
Ni	-0.093	0.568	-0.148	0.113	1		
Pb	-0.128	0.993	-0.223	0.658	0.634	1	
Cd	-0.160	0.985	-0.104	0.626	0.550	0.982	1
Cr	Co	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	

Tableau 3: Matrice de corrélation inter éléments

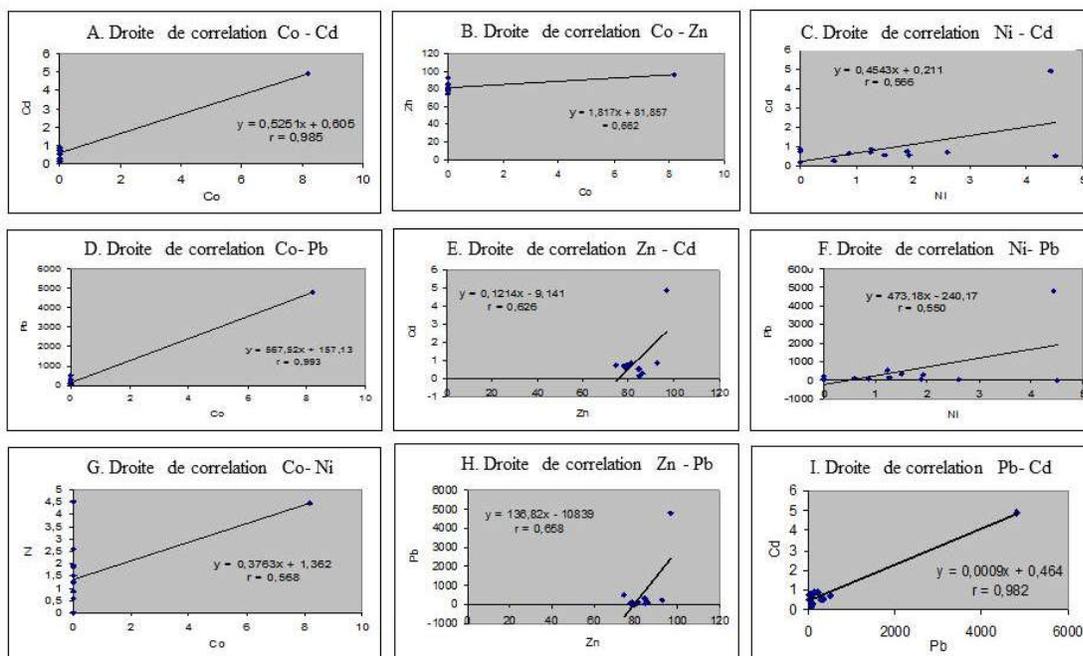


Figure 10 : les droites de corrélation inter-éléments

À la lecture de ce tableau, il existe seulement 9 coefficients significatifs.

Toutes ces corrélations sont positives. On peut y lire des liaisons traditionnelles entre des éléments souvent associés sur le plan minéralogique, métallogénique et chimique.

Co -Zn

Ces deux éléments ont un coefficient de corrélation significatif également influencé par un échantillon très anomal en Co et leur covariance vaut 0,662. Cette liaison s'illustre parfaitement sur la figure 9B. Cette situation peut être justifiée par le fait que, en plus de leur charge ionique + 2, le rapport des rayons ioniques de ces deux métaux reflète une substitution partielle. Mais également, ces deux métaux se classent parmi les éléments de transition, d'où ils sont du même groupe et sont réfractaires.

Co- Ni

Ces deux éléments montrent un coefficient de corrélation significatif dont l'influence par un échantillon à très fortes teneurs est bien nette. La covariance est 0,568. Cette corrélation s'illustre parfaitement par la figure 9G. La droite présente une corrélation positive avec une certaine dispersion. Cela pourrait être dû au fait que ces métaux ont même charge ionique et des rayons ioniques très rapprochés, ce qui traduit une substitution totale. En plus, le cobalt est souvent extrait des minerais de cuivre et de nickel.

Co- Pb

Ces deux éléments montrent un coefficient de corrélation significatif porté par un échantillon très anomal. La covariance vaut 0,993. Cette liaison se montre clairement sur la figure 9D. Cette corrélation n'étant pas justifiable par la substitution compte tenu de la valeur du rapport des rayons ioniques de ces deux éléments, seuls leurs potentiels ioniques identiques peuvent justifier cette liaison à ce sens qu'ils induisent au même degré de mobilité.

Co- Cd

Ces deux éléments montrent un coefficient de corrélation significatif influencé par un seul échantillon et la covariance vaut 0,985. Cette liaison est montrée à la figure 9A. Cette corrélation s'explique par le fait que ces deux éléments sont souvent associés géo chimiquement et possèdent le même degré de mobilité.

Zn- Pb

Illustrée par la figure 9H, cette corrélation est justifiée par une substitution totale de ces deux éléments. Sur la figure, on constate en effet une belle distribution des valeurs sur toute la droite porteuse ; il n'y a pas d'échantillon plus anomal pour influencer la dispersion des valeurs. La valeur de la covariance est de 0,658. Comme dans Kipushi, la minéralisation est formée de Blende et de galène dans la dolomie (Walter et al.1974).

Zn- Cd

Illustrée par la figure 9E, cette corrélation est justifiée par le fait que le cadmium est souvent associé au Zn et extrait avec lui. En plus ces deux éléments sont

tous moins solubles et sur le plan métallogénique, le Cd est accessoirement rencontré dans les gisements de Zn. La valeur de la covariance est de 0,626.

Ni- Pb

Illustrée par la figure 9F, cette corrélation serait due à la substitution partielle qui existe entre ces deux éléments. La valeur de la covariance est de 0,634.

Ni- Cd

Illustrée par la figure 9C, cette corrélation serait due au degré de mobilité moins différencié entre ces deux éléments. La valeur de la covariance est de 0,550.

Pb- Cd

Illustrée par la figure 9I, cette corrélation serait due à une substitution partielle entre ces deux éléments compte tenu du rapport de leurs tailles ioniques. La valeur de la covariance est de 0,982.

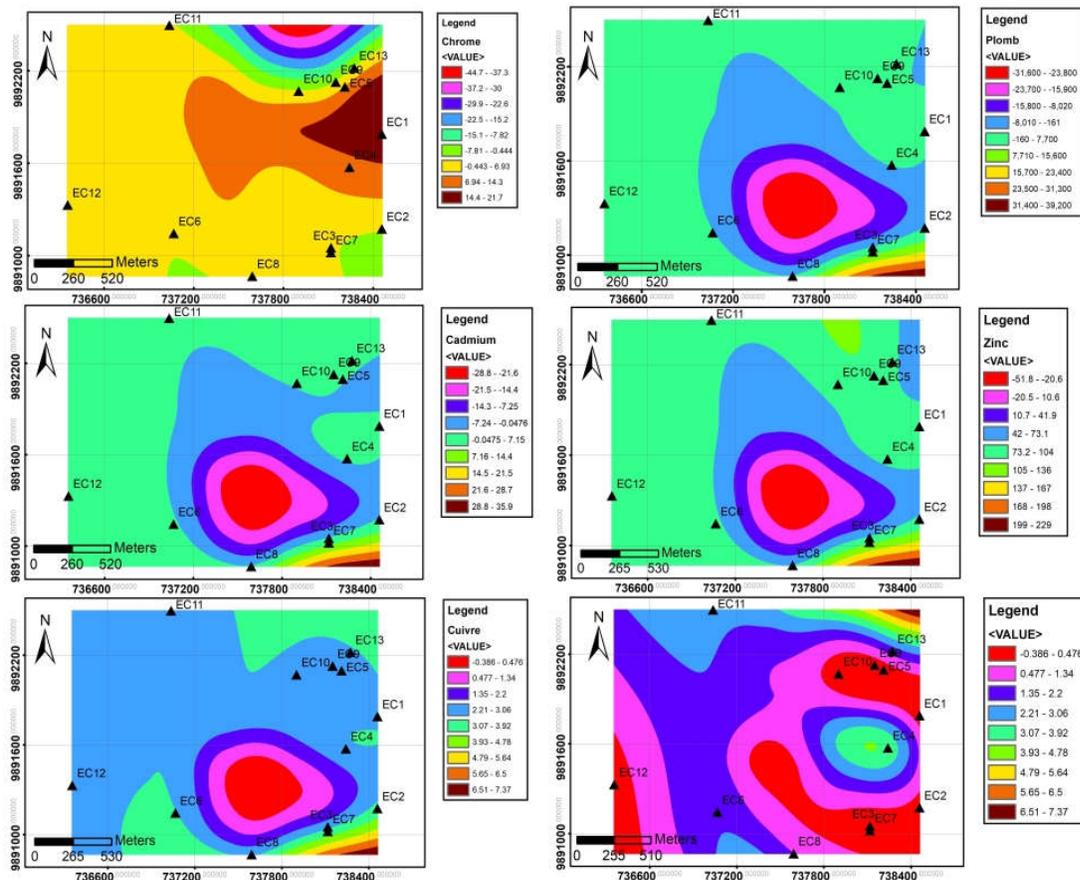


Figure 10 : cartes géochimiques des éléments en traces.

Cette figure présente respectivement les cartes géochimiques du Chrome, Plomb, Cadmium, Zinc, Cuivre et Nickel. Suite aux teneurs nulles du cobalt dans tous les échantillons, la carte géochimique n'a pas été produite.

Il ressort de ces différentes cartes géochimiques que les teneurs intéressantes sont plus vers les Sud – Est de la zone d'investigation qui est latéritique.

V. CONCLUSION

Au terme de cette étude minéralogique et géochimique de la carbonatite de Lueshe, on retient que les différents faciès pétrographiques essentiels sont la carbonatite, les shales confirmés par la microscopie, les latérites, micaschistes, quartzite et syénite confirmés macroscopiquement. La carbonatite altérée a parfois l'aspect d'une brèche alvéolaire, son altération se matérialise par l'apparition d'oxy-hydroxydes de fer, notamment l'hématite et la goethite ; le shale est composé essentiellement des minéraux phylliteux.

L'investigation géochimique du plomb, cadmium, Zinc, Chrome, Nickel, cuivre Cobalt dans les 13 échantillons montre une certaine concentration dans la latérite. Seul le plomb paraît être intéressant contrairement au reste des éléments qui présentent des teneurs très faibles.

Les histogrammes de fréquence des éléments chimiques analysés dans les roches sont plurimodaux et dénotent d'une hétérogénéité des faciès lithologiques, des supports minéraux et des conditions supergènes d'altération ;

Des corrélations positives inter éléments ont été interprétées étant contrôlées par les paramètres des liaisons traditionnelles souvent associés sur le plan minéralogique, métallogénique et chimique dans les processus pétrographiques.

Sur le plan du potentiel minier, on note que les éléments analysés sont appauvris sur le site de Lueshe à exception près du Plomb enrichi dans la latérite. Cette anomalie devra faire l'objet d'une étude afin de confirmer dans toutes les latérites de la zone. Le Plomb étant parmi les métaux cette signature géochimique ne permet en rien d'envisager une quelconque occurrence minière.

VI. REFERENCES

1. Anonyme (2012), *introduction à la prospection*. Ed. Nunavut.
2. Anonyme (1986), *Aménagement du Nord-Sud Kivu et Maniema*, ministère des affaires intérieures du Zaïre.
3. Bethune, De.(1952), *Etude pétrographique dans les monts Ruindi*. Mem. Inst. Géol. Univ. Louvain 16, 223- 299.
4. Cahen, Lucien et Snelling N.J.(1966), *The geochronology of equatorial Africa, north Holland publ. Co, Amsterdam*.
5. Deirdre L. (2000) : *Guide de l'exploration minière, séries technologiques N°15*. Ed.ACP-UE
6. Foucault,A. et Raoult J.F. (2000), *Dictionnaire de géologie*.5^e Edition Dunod, 324 p.

7. Kibwana, D., (2010), *Etude cartographique, pétrographique et géochimique de la carbonatite de Bingo*. Université da la Conservation de la Nature et de Développement de Kasugho, inédit.
8. Maravic, H.V. et Morteani G (1980), Petrology and geochemistry of the carbonatite and syenite complex of Lueshe (N.E. Zaire). *Lithos* 13, 159-170. Oslo. ISSN 0024-4937.
9. Melesi, J.P. et al. (2006), *Major magmatic-related Neoproterozoic mining fields of Central Africa*. *Journal of African Earth Sciences* 44 (2006) 571–595
10. Muhindo, G (2018), Geology, geochemistry and economic potential of the Bingo carbonatite and its associated laterites in Beni territory, North Kivu, Democratic of Congo. *Memoire*. Université de Nairobi.
11. Mutabazi N et Nyassa S., (2008) : *L'exploitation du Coltan en République Démocratique du Congo: Trafic et Guerre*. Ed. SARW.
12. Rollinson, H., R., (1993), *Using geochemical data: Evaluation, Presentation, and Interpretation*. Pearson Education Limited, Edinburgh, 380p.
13. Walter D et al. (1974), *Minéralogie du gisement de Kipushi shaba, Zaïre*. Article. Researchgate