

GSJ: Volume 10, Issue 9, September 2022, Online: ISSN 2320-9186 www.globalscientificjournal.com

# GEOCHIMIE DU SECTEUR DE VWANDANZE ET SES ENVIRONS (NORD-KIVU, R.D.CONGO)

Kawa.G.N, Kabyemere.K.D, Kasekete.K.D, Kayembe.M.G & Odhipio A.D

Author Details (optional)

Nzanzu Kawa Grâce, Enseignant à l'Université Officielle de Ruwenzori, RDC. E-mail: kawagrace@gmail.com

# **KeyWords**

Geochimie, Indices de mineralistion, aurifère, reserve, kalikuku, vwandande et envirions.

### **ABSTRACT**

La république démocratique du Congo, pays réputé de scandale géologique reste néanmoins quasiment non exploré sauf la chaine panafricaine affleurant vers l'ancienne province du Katanga. Pour contribuer à la connaissance géologique et la découverte des indices de minéralisation dans la partie Est de notre pays, nous avons effectué une campagne de lever géologique durant une semaine dans le secteur de Vwandanze et environs. A l'occasion, 26 échantillons des roches ont été prélevés sur le terrain. Ceux-ci ont été minutieusement étudiés et décrits in situ. Parmi eux, huit ont été sélectionnés sur base de caractéristiques pétrographiques et ont été envoyés au laboratoire de Lubumbashi pour les examens lithogéochimiques. Les résultats de l'analyse spectrométrique à fluorescence X des échantillons ont dévoilé que la potentialité géologique minérale de Vwandanze et environs est caractéristique de l'or (Au) associé à l'argent (Ag). Les indices de minéralisation sont syngénétiques et associés aux orthogneiss et aux diorites, mais aussi épigénétiques et liés aux filons de quartz et de pegmatites. La présence de l'étain à une teneur remarquable dans les échantillons atteste que le secteur de Vwandanze et environs est dans le contexte du Mésoprotérozoïque où affleurent les formations Kibariennes dont la minéralisation caractéristique est l'étain. La plupart des roches hôtes de la mineralisation du secteur de vwandanze sont de nature métamorphique exceptée les pegmatites, les diorites intrudées dans ces mêmes formations.

# 1. Introduction

La République Démocratique du Congo, de par ses réserves géologiques du sous-sol, est toujours considérée comme l'un des pays potentiellement riches au monde. Dans ce très vaste sous-continent, les ressources sont immenses bien qu'encore mal connues vue l'étendue du territoire national, faute de prise en charge par l'Etat du secteur de la recherche scientifique et parfois très peu exploitées, voire même, non encore exploitées (Ongendangenda, 2007). Dans cette optique, FRANTZ FANON affirme, il y a quelques années que l'Afrique a la forme d'un revolver dont la gâchette est située en République Démocratique du Congo. Cette réflexion trouve sa justification non seulement dans la position géostratégique que la RDC occupe au cœur du continent africain mais aussi et surtout par les innombrables richesses naturelles que regorge son sous-sol. Cette richesse se reflète nettement dans la structure de production et d'exportation du pays.

La RDC est aujourd'hui sous-exploitée. Du fait, avant la guerre (deuxième crise du Congo au début des années 1990) mais également lors de la période coloniale, relativement peu d'investissements ont été effectués dans la prospection des matières premières. De même, les méthodes modernes de prospection ont rarement fait l'objet jusqu'à présent d'une mise en œuvre systématique. La carte géologique générale de la RDC la plus récente a été publiée en 2005 par le Musée Royal de l'Afrique Centrale (MRAC) à l'échelle 1/2 500 000 (Lepersonne ,1974). Les méthodes modernes de télédétection et de géophysique n'ont pas été jusqu'ici appliquées de manière généralisée. Compte tenu de l'énorme potentiel géologique, on peut supposer que les réserves réelles sont nettement supérieures aux réserves aujourd'hui connues. Cela est particulièrement vrai pour la région de la Ceinture du cuivre africaine au Katanga et dans les provinces orientales riches en or, étain, tantale et tungstène. A l'heure actuelle, il est clair que ces réserves ont un

immense potentiel, mais il est difficile d'en faire une évaluation fiable (Entwicklungsb et al, 2007).

En ce qui concerne la province du Nord-Kivu, les résultats palpables restent encore bien moins sûrs, pour certaines raisons inexpliquées, puis que les ressources du sous-sol ainsi que les sites énergétiques, spécialement celles et ceux de Walikale, Masisi, Beni et Lubero, recensés depuis le début de l'époque coloniale, n'ont pratiquement pas incité les grandes Compagnies minières à procéder assez rapidement à leur exploitation. Les seules exceptions concernaient la MGL (Compagnie Minière des Grands Lacs) qui s'est installée assez tôt dans le périmètre de Kabunga (Walikale) et de Lutungulu (Lubero) ainsi que la CNKI sur les rives de Mumba et à Ngungu dans la partie sud du Territoire de Masisi. Il est donc vrai que les produits précieux pris de nos jours, n'avaient pas de débouchés à l'époque. Vers la fin de l'époque coloniale, la découverte d'un produit précieux, le Niobium, extrait du Pyrochlore, a fait la fierté du Nord-Kivu (Murairi, 2012).

Les découvertes en métaux précieux Au, Sn Nb...dans quelques secteurs restent non plus suffisantes pour autant parler de la minéralisation du grand Nord-Kivu. C'est ainsi que l'absence d'études complémentaires, des travaux systématiques de prospection sur la région, fait à ce qu'on ignore l'économie souterraine s'étendant dans d'autres provinces du pays. La nécessité est donc, de contourner ces problèmes et relever les opportunités, en vue de faire l'étude dans des zones méconnues et moins connues de la région (Steven, 2010). Mais en territoires de Beni et Lubero, les prospections minières ont débuté très tôt avant leur soumission totale au pouvoir colonial et leurs organisations territoriales sont intervenues en 1922. Déjà en 1914, Srutton effectue la première mission de prospection sur la haute Lubero. Il fallut, cependant attendre la fin des travaux de construction de tronçons routiers Beni-Alimbongo (en 1925) et Alimbongo-Rwindi (en 1932) pour assister à l'intensification des recherches minières dans ces territoires avec des géologues tels que Lhoes, et Passau, œuvrant pour le compte de la compagnie Minière des Grands Lacs. Les gisements par ordre d'importance, Il s'agit de Manguredjipa-Etaetu, Lutungulu- Bilati, Bilolo- Mibisio, Mununze-Lubena et Kimbulu-Mutusi. Cette concentration des activités minières dans la région a fait, en 1929, un choix en faveur de Butembo, le siège sud de la MGL. En effet, partout dans cette région, ce sont les gisements d'or (Au), de Cassitérite (SnO<sub>2</sub>) et de Wolfram qui sont exploités.

Cependant, ils ont comme caractéristique structurale majeure la dispersion et la discontinuité dans l'espace. Toutefois, la cassitérite (SnO<sub>2</sub>) et le wolfram peuvent former des gîtes filoniens ; ce qui n'est pas le cas pour l'or (Au) qui s'incorpore dans les formations alluvionnaires. La priorité a été accordée aux gisements aurifères, qui n'exigeaient pas de technologie d'exploitation complexe et dont le produit n'impliquait pas d'importants frais de transport (Kasay, 1988). Les bassins de la rivière Lubero et Biena regorgent d'importants dépôts alluvionnaires qui auraient été drainés par ces rivières à l'époque (plusieurs millions d'années).

Ces dépôts minéralisés en pépites d'or (Au) et platine (Pt) constituent de grands gisements alluvionnaires dans ces bassins partant de l'amont jusqu'à leur confluence respectivement dans la Lindi et l'Ituri. L'épaisseur du gravier minéralisé varie de 30 cm à 70 cm dans le bassin de la Lubero tandis que le niveau atteint rarement 50 cm dans la Biena. Dans l'extrême sud — Est de Katanga, les alluvions minéralisées en diamant font l'objet de l'exploitation artisanale à Kilau. Le faible rendement de la production démotive les prospecteurs artisanaux. Il existe également dans ce secteur quelques gisements primaires d'or (Au) et de platine (Pt) mal connus ; ils pourraient être confirmés par les travaux exploratoires détaillés (GADHOP, 2012). C'est ainsi que ce travail est traité dans l'esprit de faire une étude géochimique des formations géologiques du secteur de Vwandanze et environs situé dans le territoire de Lubero au Nord-Kivu en vue de mettre en exergue le potentiel minéralogique de la région puis répondre aux multiples préoccupations de recherche de nouveaux gisements encore dissimulés aux vues des prospecteurs.

# 2. Milieu d'etude

Le secteur de Vwandanze est situé au sud de l'équateur, en chefferie de Baswagha, territoire de Lubero. La région est limitée à l'Est par la route nationale numéro 2 sur l'axe Butembo-Lubero cité, au Nord par le sentier KIMBULU-KOLUMA, au Sud par la route PHARMAKINA Kasyano et à l'Ouest par les rivières KIRIVUNZA et NGURAMO. Le secteur se trouve à 11185 m soit à 11,185 km au Sud de l'équateur, et à 26,185 km au sud de la ville de Butembo. Il est géologiquement constitué du socle Mésoprotérozoïque recouvert des terrains récents (Klerkx et al, 1984).

La roche du soubassement est l'Orthogneiss sur lequel repose les schistes. Les pegmatites riches en tourmalines noires et les diorites s'y rencontrent sous forme d'intrusions magmatiques. Les grès et les quartzites résultent de l'altération des roches préexistantes. Le relief est dominé par les collines et les montagnes nées probablement lors de la formation de la chaîne de Kibara. La montagne Ihonero (Kagheri) est la plus élevée de la région et culmine à 2045 m d'altitude. En outre, la région est caractérisée par une panoplie des cours d'eau coulant dans les vallées entre les collines et les montagnes.

La grande rivière de la région est la rivière Lubero où plusieurs activités d'orpaillages ont été visibles. A la lumière de l'architecture lithologique de la région, il était constaté que la nature du sol variait en fonction de l'altitude. Dans les zones en basse altitude, il y a présence d'un sol argileux, vers les zones en moyenne altitude nous notons l'existence d'un sol argilo-sableux, en zones de haute altitude on trouve un sol sableux. La carte ci-dessus illustre la zone d'étude explorée.

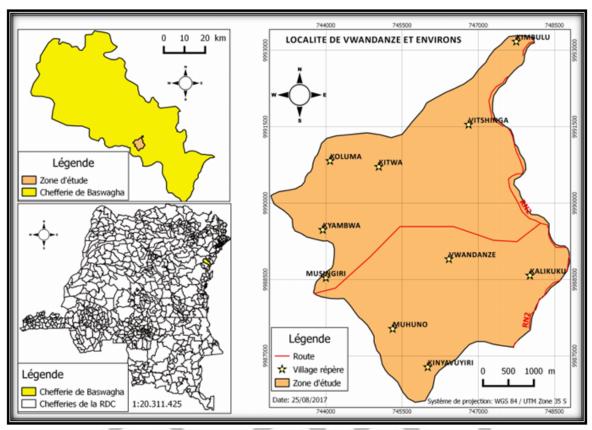


Figure 1: carte de localisation du secteur de Vwandanze et environs, réalisée par l'équipe de géologues auteur de ce travail.

### 3. Materiels et methods

Les roches étudiées et échantillonnées lors de notre campagne de terrain affleuraient en majorité dans les lits des rivières et sur les talus des routes. L'accès aux affleurements a été difficile parce que d'une part la moitié du terrain est recouverte d'une forêt quoi que dégradée, cas de la réserve de KALIKUKU; d'autre part l'absence des affleurements sur les flancs des collines et des montagnes. Cette campagne de recherche nous a permis non seulement d'observer directement les affleurements et, de prélever les échantillons, mais aussi de décrire, de manière macroscopique, ces affleurements et échantillons. Cette tactique permet aux géologues de lire les informations des roches (Baudin, et al 2007).

L'échantillonnage s'est fait sur des roches en place à l'aide du marteau de géologue (marque Estwing USA). Nous avons cassé les échantillons pour lesquels le poids a été évalué entre 1 à 1,5 kg suivant la variation des caractéristiques lithologiques du terrain (*Brace et al,* 2012; Foucault, 2014). Nous avons géoréférencé les affleurements, les stations de prélèvement des échantillons, les interceptes de nos itinéraires avec les cours d'eau, etc.; à l'aide du GPS (marque eTrex-10). Les coordonnées géographiques ont été prises en UTM. Certaines images des échantillons, structures et formations géologiques ont été prises à l'aide des appareils photographiques numériques (marques NIKON et SONY). La description macroscopique des échantillons a été faite au moyen d'une loupe suivant la procédure (Ministère des ressources naturelles, 2014):

- 1) Mouillage de l'échantillon dans l'eau contenu dans un seau avant toute opération ;
- 2) Tenir la loupe (agrandissement X 10) à la main droite ;
- 3) Prendre la roche / l'échantillon à la main gauche ;
- 4) Rapprocher la loupe et la roche de l'œil, puis discriminer les minéraux dans la roche.

Les échantillons ont été étiquetés et emballés dans des sachets en plastique puis transportés dans le sac à raphia pour l'expédition au laboratoire d'analyses (Brace *et al, 2012*). Huit échantillons, choisis sur base des variations de caractéristiques lithologiques et minéralogiques nous ont été nécessaires pour les analyses géochimiques au laboratoire suivant ce mode opératoire :

# La spectrométrie de fluorescence des rayons X

La spectrométrie de fluorescence des rayons X (SFX ou FX, ou en anglais XRF pour X-ray fluorescence) est une technique d'analyse chimique utilisant une propriété physique de la matière, la fluorescence de rayions x. Lorsque l'on bombarde de la matière avec des rayons X, la matière réémet de l'énergie sous la forme, entre autres, de rayons X ; c'est la fluorescence X, ou émission secondaire de rayons X. Le spectre des rayons X émis par la matière est caractéristique de la composition de l'échantillon. En analysant ce spectre, on peut en déduire la composition élémentaire, c'est-à-dire les concentrations massiques en éléments. L'analyse du spectre peut se

### faire de deux manières:

- √ par analyse dispersive en longueur d'onde (WD-XRF, wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry);
- ✓ par analyse dispersive en énergie (ED-XRF, energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry).

# Traitement et analyse des données

Les données géochimiques ont été traitées à l'aide des logiciels Excel, Past et R, conformément aux procédures contenues dans les tutoriels y afférents (Moreau, 2013 ; Hammer, 2017). Ainsi, nous avons élaboré la matrice de corrélation inter-éléments, construit les courbes d'évolution de teneurs, les droites de régression, le cluster et le diagramme d'analyse en composantes principales (Scatter plot). Pour le traitement de ces données, nous avons procédé à la normalisation des teneurs des éléments en ppm sur base du clarke en vue de déduire de l'enrichissement et/ou de l'appauvrissement des échantillons du secteur Vwandanze et environs. La normalisation est le rapport entre les valeurs brutes et le clarke des éléments analysés. Ces clarkes sont présentés dans le tableau1.

Tableau 1: Clarke des éléments traces analysés d'après Foucault et al (2014) en ppm

Elément	Au	Ag	Cu	W	Sn	Мо	Nb	Bi	Ta	As
Clarke	0,05	0,1	55	1,5	2	1,5	20	0,2	2	5

Les études statistiques ont été utiles lors de la précision sur l'enrichissement ou l'appauvrissement inter-éléments dans nos échantillons. La table de Rollinson (1993) a permis de mettre en évidence les corrélations significatives grâce à l'interprétation de la matrice de corrélation à 95% de confiance. La corrélation significative correspond à tous les coefficients calculés dont la valeur absolue est supérieure ou égale à la valeur théorique. Le degré de liberté : Df = N - 2 (où N est le nombre d'échantillons analysés = 8). Les corrélations significatives ont minutieusement été interprétées (table de Rollinson (1993), pour expliquer la corrélation inter-éléments.

# 4. Résultats

# 4.1. Résultats bruts des analyses géochimiques

Le tableau 2 ci-dessus reprend les teneurs brutes des traces métalliques analysés dans les 8 échantillons.

Tableau 2 : Résultats bruts (en ppm) de l'analyse des échantillons de roches

N° Echantillon	Au	Ag	Cu	W	Sn	Мо	Nb	Bi	Та	As
VK-KK 01	3,110	2,010	1,030	0,010	2,070	0,050	0,100	0,060	0,000	0,100
VK-KK 02	1,040	1,010	3,130	0,040	1,720	0,040	0,080	0,050	0,030	0,090
VK-KK 03	0,700	0,450	1,070	0,010	1,280	0,030	0,030	0,010	0,010	0,110
VK-KK 04	0,090	0,250	2,010	0,010	1,870	0,040	0,040	0,050	0,010	0,130
VK-KK 05	3,050	2,250	3,010	0,050	2,120	0,050	0,290	0,030	0,080	7,750
VK-KK 06	2,030	1,450	2,010	0,040	1,320	0,040	0,070	0,040	0,010	0,100
VK-KK 07	0,330	0,200	2,010	0,040	1,290	0,020	0,060	0,030	0,030	0,090
VK-KK 08	0,750	0,340	2,050	0,030	1,300	0,030	0,040	0,020	0,000	3,280

# 4.2. Analyse statistique des données géochimiques

Distribution de la teneur des éléments dans les échantillons

La distribution de la teneur des éléments dans nos échantillons est irrégulière. A la lumière du graphique de variation des teneurs (fig.2), il ressort que l'arsenic (As) est en abondance dans les échantillons 5 et 8, ensuite le cuivre (Cu) est à profusion dans les échantillons 2, 5, 6, 7,8; l'or (Au) est présent dans les échantillons 1, 5, 6. L'étain (Sn) et l'argent (Ag) sont répartis presque uniformément dans tous les échantillons. Les métaux tels que le Nb, Ta, W, Bi, Mo se présentent dans nos échantillons en faibles teneurs.

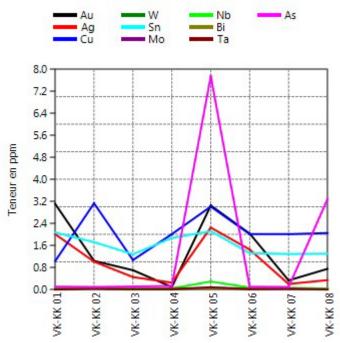


Figure 2 : diagramme de répartition des éléments dans les échantillons

A l'instar de ce diagramme en teneurs brutes, l'Arsenic est beaucoup plus représenté suivi du cuivre, or, étain et argent, et d'autres éléments sont repartis en faible teneurs dans les échantillons. Pour mettre en relief l'enrichissement ou l'appauvrissement effectif, en tel ou tel autre élément et repérer l'élément précieux pouvant amener à découvrir un probable gisement dans la zone explorée, nous allons procéder à la normalisation ces teneurs d'éléments par rapport à leurs clarkes.

# Normalisation des teneurs par rapport aux Clarkes

Le tableau 3 suivant aligne les valeurs normalisées des traces-métalliques analysés dans les 8 échantillons : Tableau3: Valeurs normalisées des teneurs des éléments

N° Echantillon	Au	Ag	Cu	W	Sn	Мо	Nb	Bi	Та	As
VK-KK 01	62,20	20,10	0,02	0,01	1,04	0,03	0,01	0,30	0,00	0,02
VK-KK 02	20,80	10,10	0,06	0,03	0,86	0,03	0,00	0,25	0,02	0,02
VK-KK 03	14,00	4,50	0,02	0,01	0,64	0,02	0,00	0,05	0,01	0,02
VK-KK 04	1,80	2,50	0,04	0,01	0,94	0,03	0,00	0,25	0,01	0,03
VK-KK 05	61,00	22,50	0,05	0,03	1,06	0,03	0,01	0,15	0,04	1,55
VK-KK 06	40,60	14,50	0,04	0,03	0,66	0,03	0,00	0,20	0,01	0,02
VK-KK 07	6,60	2,00	0,04	0,03	0,65	0,01	0,00	0,15	0,02	0,02
VK-KK 08	15,00	3,40	0,04	0,02	0,65	0,02	0,00	0,10	0,00	0,66

Comme on peut le lire dans ce tableau, la paire Au-Ag est fortement enrichi dans les échantillons 1 (diorite), 5 (orthogneiss), 6 (filon de quartz), 2 (micaschiste), 8 (filon de quartz) et présente une teneur très intéressante pouvant faire l'objet d'une étude géologique poussée. Par ailleurs, ajoutons aussi la présence de l'étain qui est assez enrichi dans l'échantillon 1et 5. La proportion des autres métaux dans nos échantillons étant très faible, ils sont jugés appauvris et ne peuvent pas faire l'objet d'une éventuelle recherche minière. Le cas de cuivre, molybdène, wolfram, niobium, Tantale et bismuth.

# Analyse en composantes principales (ACP)

Cette analyse consiste à cerner la distribution des éléments dans les échantillons suivant leur influence à la construction des axes. L'examen des plans factoriels permet de visualiser les corrélations entre éléments et d'identifier les groupes d'échantillons ayant des compositions chimiques presque identiques.

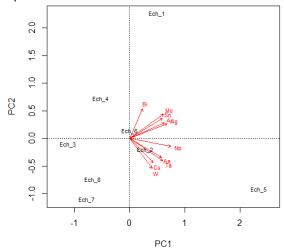


Figure 3: Diagramme d'analyse en composantes principales

Il ressort du graphique d'analyse en composantes principales que les concentrations en Nb, Ag, Au, Sn Mo, Ta et As contribuent plus à la formation de l'axe factoriel 1 qui explique 53,07 % de la répartition de ces traces métalliques dans les échantillons, alors que le Bi, Cu et W sont plus liés à l'axe 2 qui explique 25,69 % de cette répartition des éléments dans les échantillons (cf. annexe 1). Quant aux échantillons, ceux qui se rapprochent et contribuent plus à la construction de l'axe 1 sont les échantillons 2, 3, 6 et 5, alors que les échantillons restant (1, 4,7et 8) semblent plus se rapprocher et contribuer à la construction de l'axe 2 (cf. figure 3).

On peut bien voir que l'axe 1 partage les éléments en deux groupes selon leur comportement géochimique (affinité) alors que l'axe 2 divise les échantillons en deux groupes selon qu'ils sont enrichis (échantillons à droite) ou appauvris (échantillons à gauche) en Au et en Ag. Ces deux axes expliquent au total 78,77 % de la répartition des éléments dans les échantillons analysés; le reste d'inertie soit 21,23 % se trouve influencé par d'autres facteurs géologiques et géochimiques.

En fait, l'analyse en composantes principales permet d'appréhender les valeurs réelles de coexistence des éléments (variables) à travers les corrélations observées lors de construction d'axe et le rapport existant entre ces variables et les individus (échantillons) dans l'explication du phénomène. Cela revient à dire qu'elle permet de résumer les comportements initiaux des éléments par rapport à certaines liaisons d'appartenance.

## Matrice de corrélation inter-éléments

La corrélation entre les paramètres géochimiques dans les échantillons aide à comprendre certains phénomènes dégagés interéléments et inter-échantillons. Elle permet de donner une approche sur l'origine commune des certains éléments. Ainsi, on admet qu'une corrélation est significative, si la valeur absolue du coefficient de corrélation calculé « r » est supérieure ou égale au coefficient théorique. La matrice (tableau 4 présente les valeurs calculées des coefficients de corrélation entre les différents éléments :

T 11 4		// /	/// .
Tanieau 4	· Matrice de	r correlation	inter-éléments

Au	1,000									
Ag	0,980	1,000								
Cu	0,032	0,174	1,000							
W	0,225	0,290	0,795	1,000						
Sn	0,602	0,673	0,243	-0,059	1,000					
Мо	0,790	0,850	0,177	-0,021	0,855	1,000				
Nb	0,723	0,778	0,516	0,554	0,660	0,616	1,000			
Bi	0,322	0,391	0,110	-0,123	0,634	0,594	0,066	1,000		
Та	0,351	0,452	0,701	0,696	0,427	0,274	0,876	-0,116	1,000	
As	0,460	0,470	0,500	0,519	0,393	0,358	0,841	-0,304	0,743	1,000
	Au	Ag	Cu	W	Sn	Мо	Nb	Bi	Ta	As

Le coefficient de corrélation théorique pour un degré de liberté 8-2=6 est  $\pm 0,707$  au seuil de confiance 95 % (table de Rollinson, 1993). Du tableau N° 4 de matrice de corrélation, dix corrélations positives significatives ont été totalisées : Ag - Au; Mo - Au; Nb - Au

Au; Mo – Ag; Nb – Ag; W – Cu; MO – Sn; Ta – Nb; As – Nb et As – Ta. Et leurs droites de régression linéaire sont illustrées par la figure 4 ci-ri------

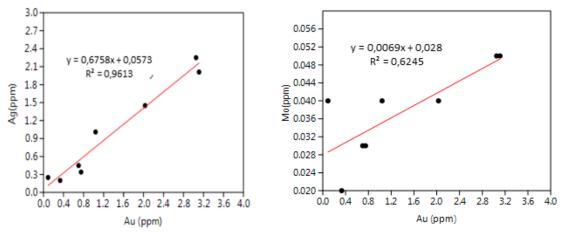


Figure 4 : Corrélations Ag - Au & Mo - Au

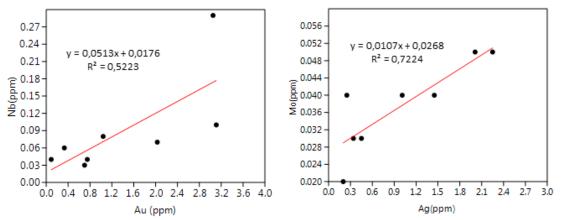


Figure 5: Corrélations Nb - Au & Mo - Ag

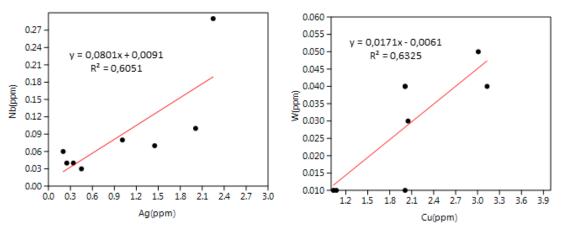


Figure 6: Corrélations Nb - Ag & W - Cu

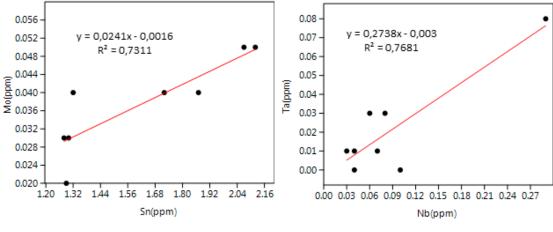


Figure 7: Corrélations Mo - Sn & Ta - Nb

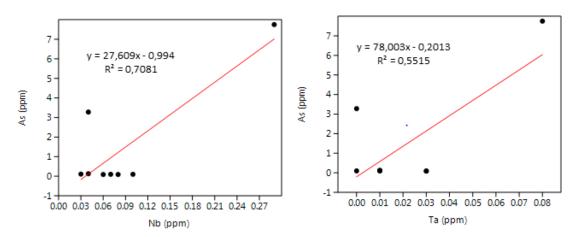


Figure 8: Corrélations As - Nb & As - Ta

De par les graphiques de corrélations significatives inter-éléments (fig.4), nous repérons une forte liaison entre Au - Ag ( $R^2 = 0.9613I$ ); Ta - Nb ( $R^2 = 0.7681$ ); Mo - Sn ( $R^2 = 0.7311$ ); Mo - Ag ( $R^2 = 0.7224$ ); As - Nb ( $R^2 = 0.7081$ ) tandis que les autres éléments se lient à des degrés de corrélation inférieure à 70 %. Il s'agit de W - Cu ( $R^2 = 0.6325$ ); Mo - Au ( $R^2 = 0.6245$ ); Nb - Ag ( $R^2 = 0.6051$ ); As - Ta ( $R^2 = 0.5515$ ); Nb - Au ( $R^2 = 0.5223$ ). Pour arriver à mieux comprendre ces fortes liaisons entre les éléments, nous tacherons d'y porter une attention globale dans la discussion, particulièrement celles ayant fasciné notre attention dans la région.

# 4.3. Cartographie géologique du milieu

Le secteur d'étude est constitué du socle Mésoprotérozoïque recouvert des terrains récents. La roche du soubassement est l'Orthogneiss sur lequel repose les schistes. Les pegmatites riches en tourmalines noires et les diorites s'y rencontrent sous forme d'intrusions magmatiques. Les grès et les quartzites résultent de l'altération des roches préexistantes. Ces détails sont présentés sur la carte géologique (fig.5):

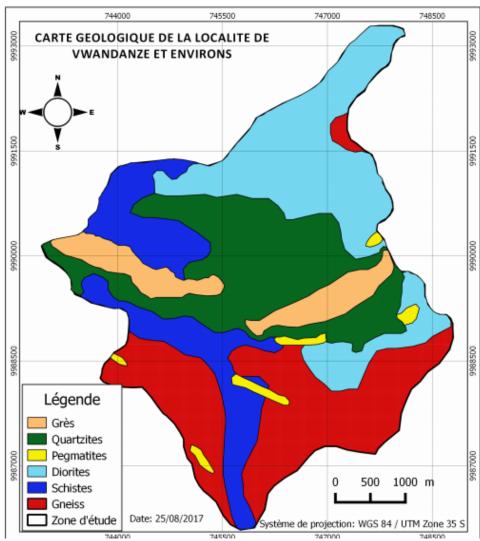


Figure 9: Carte géologique du secteur d'étude

# 5. Discussion

Dans le secteur de Vwandanze et environs, vingt-six échantillons ont été récoltés et parmi lesquels huit ont servi pour les analyses géochimiques. Ces analyses ont porté sur dix éléments (Au, Ag, Cu, W, Sn, Mo, Nb, Bi, Ta, As) distribués de façon non régulière dans les différents échantillons selon leur comportement géochimique. Les résultats ont permis de déterminer les corrélations inter-éléments et l'appauvrissement ou/et l'enrichissement d'éléments par rapport à leurs Clarkes. En effet, la normalisation de la concentration des éléments dans les échantillons par apport aux clarkes a permis de comprendre le comportement de ces éléments les uns vis-à-vis des autres en éliminant les hétérogénéités de concentration dues à l'abondance naturelle des éléments (Bougault, 1980). Ainsi, après interprétation et normalisation, il a été constaté un fort enrichissement en or (Au). C

e métal précieux se trouve fortement concentré dans les formations étudiées, du socle métamorphique d'âge Kibarien. Sa présence est signalée dans les huit échantillons à diverses proportions et principalement dans les échantillons de diorite (3,110 ppm), orthogneiss (3,05 ppm) et le filon de quartz de Musingiri (2,03 ppm) intrudé dans les schistes assis sur les orthogneiss. En tenant compte du contexte géologique, ce type de minéralisation peut être classé d'une part parmi les gisements d'or (Au) orogéniques hypozonaux se formant dans les conditions métamorphiques élevées (T > 475°C), qui sont très souvent en équilibre avec les conditions métamorphiques de la roche encaissante ou qui sont légèrement rétrogrades.

Ces gisements sont caractérisés par des minéraux d'altération de haute température (biotite-grenat-pyroxène), un assemblage de minéraux métalliques à pyrrhotite – arsénopyrite – loellingite – chalcopyrite, un contrôle structural ductile et des roches encaissantes qui sont en majorité limitées aux lithologies riches en fer (Fe); cas des amphibolites, BIF, roches ultramafiques, diorites (Sylvain, 2007). Ce phénomène explicite de façon non négligeable la concentration de l'or (Au) dans la diorite (échantillon numéro 1) et les exemples les plus importants à travers le monde se trouvent illustrés en Australie, en Inde, au Groenland, au Zimbabwe, en Afrique du sud, etc. (Sylvain, 2007).

D'autre part, cette minéralisation peut être élucidée parmi les gisements d'or (Au) orogéniques mésozonaux qui sont souvent rétrogradés par rapport à leurs roches encaissantes très métamorphisées. Il s'agit des gisements caractérisés par des altérations compatibles avec le faciès schistes verts (séricite- ankérite-chlorite-albite). La nature des roches encaissantes est très variée (orthogneiss, paragneiss, granites). Pour ces gisements, les minéraux métalliques associés à l'or (Au) sont principalement la pyrite, l'arsénopyrite et la chalcopyrite. Ils se forment typiquement durant les phases tardives des épisodes orogéniques, caractérisées par une tectonique d'extension et d'exhumation des roches profondes. Pour notre cas, ceci est expliqué tout simplement par l'enrichissement en or (Au) dans l'orthogneiss jusqu'à un facteur de concentration de 61. C'est le cas par exemple des gisements orogéniques mésozonaux de l'Abitibi (Sylvain, 2007).

En plus de la concentration en or (Au), il a été constaté l'abondance de l'argent (Ag) à une teneur élevée dans les échantillons par rapport à d'autres éléments analysés. C'est un fait à contourner, du point de vue géochimique où Goldschmidt (1970) classe l'or (Au) et l'argent (Ag) respectivement parmi les éléments sidérophiles et chalcophiles, leur coexistence s'explique souvent du fait que leurs rayons ioniques sont voisins. Pour ce qui est du Bismuth (Bi), il est moins corrélé aux autres éléments dans les échantillons analysés, alors qu'il est connu comme étant un accompagnateur de l'étain (Sn), du wolfram (W) et des autres métaux dans des filons liés à des roches magmatiques acides et de leurs auréoles métamorphiques.

C'est pourquoi dans ce contexte, les minerais tels la bismuthite Bi(CO<sub>3</sub>)O2, la wolframite (Fe, Mn)WO<sub>4</sub>, la cassitérite (SnO<sub>2</sub>) se forment (Foucault *et al.*, 2014), comme ce qu'on observe dans le domaine stannifère de la chaine Kibarienne. En général les gisements d'étain (Sn) se rencontrent à travers toutes les époques géologiques. Ils peuvent se trouver en relation soit avec les zones de subduction, soit avec les grandes fractures des plateformes continentales, soit encore avec des orogénies. Ils peuvent être associés aussi à des granites cristallisant à des profondeurs fort différentes et dans des conditions géologiques, géochimiques et structurales très variées: on les trouve soit dans ou autour des coupoles granitiques associés aux filons de pegmatites et de quartz (Varlamoff, 1975).

En considérant le contexte de la chaine Kibarienne, cette idée colle avec celle annoncée par Rugomba *et al* (2010) et qui stipule que les gisements et indices du groupe de l'étain (étain, wolframite, niobium, tantale, béryl) sont localisés dans la partie Est du Congo où ils forment une ceinture s'étendant sur 700 km, de l'Ituri au Nord jusqu'à l'extrémité Ouest de la ceinture du cuivre du Sud de la R.D.Congo. Ceci s'explicite par la concentration d'étain (Sn) dans les échantillons 1, 5, 6, 7 qui sont respectivement de diorite, orthogneiss, filon de quartz et pegmatite. La concentration en étain (Sn) bien faible est épinglée dans tous nos échantillons et ainsi ce métal peut faire l'objet d'une recherche géologique systématique étant donné qu'il reste un des métaux caractéristiques du Kibarien (Pohl, 1992).

# 6. CONCLUSION

L'étude géochimique faite en secteur de Vwandanze dans le but de mettre en évidence la présence des indices potentiels de minéralisation est passée par les analyses statistiques des résultats géochimiques des matériaux qui nous ont servi de base pour mener cette étude et vérifier ainsi nos hypothèses.

Nous avons sans nul doute reconnu l'or (Au) et l'argent (Ag) comme les métaux précieux essentiels de la région de Vwandanze et environs. Certains métaux notamment l'étain (Sn), le niobium (Nb) et le tungstène (W) se distinguent par rapport aux reste, mais leurs valeurs normalisées demeurent faibles et souvent inférieures à un. Cette découverte en métaux précieux dans la région est mieux soutenue par la revue de la littérature et le contexte géodynamique de la zone. Pour rappel, Vwandanze et environs est une zone ancrée principalement dans le socle Kibarien. Celui-ci est caractérisé par le métamorphisme des roches granitiques auxquelles s'associent les intrusions pegmatitiques et dioritiques. Sa minéralisation est syngénétique et liée à la mise en place des corps minéralisés, mais aussi épigénétique associée aux discontinuités provoquées par les soubresauts tectoniques ayant affecté le Kibarien.

# Acknowledgment

Nos sincères remerciements s'envoient non seulement aux co-auteurs de cette œuvre mais aussi à toute personne qui soutenue ce projet de recherche depuis la période de terrain jusqu'à celle de rédaction finale.

#### Références

- [1] Baudin, F. N. T.V. et Thrichet, J., 2007. Géologie de la matière organique, collections « interactions », société géologique de France, Vuibert, 263p
- [2] Bougault, H., 1980. Contribution des éléments de transition à la compréhension de la genèse des basaltes océaniques. Analyse des éléments traces dans les roches par spectrométrie de fluorescence, Ed. Brest, 221 p.
- [3] Brace, A-T. et Sheila S., 2012. Je suis un géologue de l'exploration, ed. Minerals, 18 p.
- [4] Entwcklungb, Nicola, M. et Carla, P., 2007. Ressources naturelles de République Démocratique du Congo: un potentiel de développement? Institut Fédéral Allemand des Sciences de la terre et des matières, 108 p.
- [5] Foucault, A et Raoult, J.F., 1990. Dictionnaire de géologie, Dunod, Paris, 355 p.
- [6] Foucault, A., 2014, Le guide du géologue amateur, Dunod, Paris, 25 p.
- [7] GADHOP, 2012. Etude socioéconomique sur l'exploitation artisanale dans le territoire de Lubero, régions de Kasugho, Katanga /buyinga et Manguredjipa, 161p.
- [8] Goldschmidt, V. M., 1970. Geochemistry. Oxford University Press, Oxford,
- [9] Hammer, O., 2017. Reference manuel of PAleontological STatistics. Ed. NHMUO, 253 p.

- [10] Kasay, K., LL., 1988. Dynamisme démo-Géographique et mise en valeur de l'espace en milieu équatorial d'altitude : Cas du pays Nande au Kivu septentrional, Zaïre, thèse inédit, Université de Lubumbashi, p242-244
- [11] Klerkx, J et J. Michot, 1984. African geology. Musée Royal de l'Afrique central-Tervuren, 333 p
- [12] Lepersonne J. (1974). Carte géologique du Zaire au 1/2.000.000. Carte dressée par les géologues du Musée royal de l'Afrique centrale et du Bureau de Recherches géologiques et minières sous la direction de J. Lepersonne. Rép. du Zaïre, Serv. géol., Kinshasa; Mus. roy. Afr. centr. Tervuren
- [13] Ministère des ressources naturelles Canada, 2104. Guide sur l'exploration et l'exploitation minières pour les communautés autochtones, 74 p.
- [14] Murairi, J-B., 2012. Les minerais et l'énergie dans l'économie du Nord-Kivu: son salut ou sa perte?, 28 p.
- [15] Moreau, P., 2013. Excel 2013 avancé: Guide de formation avec cas pratiques. Ed. TSoft et Groupe Eryolles, 25 p.
- [16] Ongendangenda, T.A., 2007. La vallée du rift Est-Africain: géologie et ressources en hydrocarbures Energulf Congo S.A.R.L, p 29.
- [17] Pohl, W, 1992. Kibarian evolution and metallogeny in Central Africa: a synthesis at the end of I.G.C.P 255, newsletter, 4-8 p.
- [18] Sylvain, T, 2007. L'or dans les roches de haut grade de métamorphique, Université de Québec à Chicoutimi 80 p.
- [19] Varlamoff, N. 1975. Classification des gisements d'étain, N.R., XIX-5, Brussel, 83 p.

