



Identification de métaux de transition responsables de différentes couleurs des sols des ravins de Lukwila/Province du Kwilu (RD Congo)

Kulunga Makulunga C.¹, Lufimpadio Ndongala J.¹, Ibebeke Bomangwasaila Y.¹, Kindela Fadjay J.F.¹, Gipalanga Y.², Ntumba Mukendi J.L.¹, Uмба di M'balu J.^{1,2}

¹ Université Pédagogique Nationale (UPN), B.P. 8815 Kinshasa/Ngaliema

² Université Loyola du Congo (ULC), Faculté des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, B.P. 3724/Kinshasa-Gombe

Résumé:

Cette étude explore l'origine de différentes couleurs des sols des ravins de Lukwila et identifie les métaux de transition et leur teneur pour une éventuelle valorisation. En appliquant ces deux techniques principales : d'une part, l'analyse du sol par spectrométrie Fluorescence X (SFX), l'étude identifie neuf métaux de transition (Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Nb, Ti, Zr, Zn) présentant des concentrations déterminées sur quelques échantillons ; et par spectrométrie de masse couplée à un plasma induit (ICP-MS), elle détecte sept SFX et un Cr. D'autre part, l'analyse qualitative par UV-Visible des échantillons, révèle la présence des ions métalliques (Fe^{3+} , Co^{2+} , Mn^{2+}) dans les sols des ravins de Lukwila.

Mots clés : Identification des métaux, couleurs des sols, ravins, Lukwila et Kwilu

Abstract:

This study explores the origin of the different soil colors in the Lukwila ravines and identifies transition metals and their concentrations for potential valorization. Using two main techniques X-ray Fluorescence Spectrometry (XRF) and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)—the study identifies nine transition metals (Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Nb, Ti, Zr, Zn) in several samples; ICP-MS also detected chromium (Cr), absent from XRF results. Additionally, UV-Visible spectrometry reveals the presence of metal ions (Fe^{3+} , Co^{2+} , Mn^{2+}) in the soils.

Keywords: Metal identification, soil color, ravines, Lukwila and Kwilu

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.17207005>

1 Introduction

La RD Congo, un grand pays au cœur de l'Afrique, dotée d'immenses ressources variées, connaît depuis plus de trois décennies plusieurs mutations mais reste confrontée à de nombreux défis liés à son développement intégral (observation faite sur terrain). Face aux défis de tout genre, la recherche scientifique apparaît comme l'une des clefs qui pourrait apporter des solutions aux problèmes majeurs qui affectent la RD Congo. La recherche scientifique doit, non seulement être encouragée pour favoriser le développement intégral du pays, mais elle doit

aussi être soutenue par des moyens conséquents qui permettraient aux chercheurs de consacrer des études pour découvrir des ressources naturelles non explorées dans le pays.

Le sol constitue un atout majeur du développement. En effet, à cause de sa disponibilité, de sa facilité à l'extraction et à la transformation, le sol sert à la fois dans la construction, la fabrication de céramiques, du cristal, de la faïence, des pots et la préparation de certains produits (Lufimpadio, 2012). Il s'avère que la nature chimique, la forme physique et l'état de surface des différentes matières constitutives de ce matériau, lui confèrent des propriétés particulières valorisables dans plusieurs secteurs de la vie, notamment les secteurs industriels (Wetshondo, 2012). En effet, les ravins de Lukwila sont une belle illustration de ces terres merveilleuses qui attirent plusieurs curiosités et qui pourraient intéresser des chercheurs de diverses disciplines scientifiques telles que la géologie, la pédologie, la géographie, l'histoire, le tourisme, la chimie, la métallurgie, la biologie, etc.

Les sols des ravins de Lukwila présentent différentes couleurs. En effet, lorsqu'on approche de cette vallée de Lukwila, on est frappé par plusieurs aspects de la végétation, à savoir les formes de reliefs, des colorations fantastiques des sols et une vision charmante du paysage qui hantent les esprits et qui ont engendré des mythes et des croyances diverses chez les autochtones (interview réalisée aux villages Mufulu, Kotshi et Kinzumba). Une telle richesse ne pourrait pas se limiter seulement à l'admiration et à l'émerveillement du paysage mais requiert une étude approfondie dans la discipline concernée, pour identifier et découvrir les causes de ces manifestations écologiques, reconnaître les problèmes et déterminer ceux qui nécessitent une investigation (Milondo, 2018).

Cette étude voudrait analyser les sols de Lukwila autour de ces questions : Quelle serait l'origine des différentes couleurs des sols observées dans les ravins de Lukwila ? Quels sont les métaux de transition qui peuvent être à l'origine des couleurs observées dans les sols des ravins de Lukwila et à quelle teneur ?

Ce travail repose sur l'hypothèse selon laquelle les couleurs des sols des ravins de Lukwila pourraient provenir des métaux de transition sous formes d'oxydes métalliques ou de cations métalliques associés à des oxo-anions qui sont la cause de leurs différentes teintes.

En effet, il sied de noter que les métaux de transition sont souvent colorés en raison des transitions d'électrons entre différents niveaux d'énergie dans les orbitales d ; et ils possèdent de nombreux états d'oxydation (Kindela, 2018).

2 Matériel et méthodes

2.1 Milieu d'étude

Les ravins de Lukwila se situent à 6 Km du secteur Kandale, et à 59 Km au Sud de la cité de Gungu, Chef-lieu du territoire de Gungu, dans la province du Kwilu en RD Congo. Ces ravins couvrent une superficie d'environ 100 Km² et son site présente ces limites naturelles : à l'Est, le site est limité par la rivière Loange dont Lukwila est l'un des affluents ; à l'Ouest par la ligne crête de deux bassins hydrographiques du Kwilu et de la Loange ; au Nord par une ligne de partage des eaux avec le bassin voisin (bassin hydrographique du Kwilu) de l'affluent Mvudi ; au Sud, il est borné par la route qui relie les localités Mufufu-Khotshi-Kinzunda (Kubanza, 1991). Lukwila dont le nom signifie rivière d'eau sanglante est une vallée qui présente une forte dépression couvrant environ trente-deux sources avec des eaux colorées à l'exception de Mutshimape qui possède des eaux claires. La Lukwila influence en grande partie la coloration des eaux de la Loange en aval de la confluence Loange-Lukwila (Kubekela, 2016). Les falaises profondes d'environ 150m laissent apparaître les différentes couches sablonneuses et glaiseuses, différemment teintées suivant la profondeur et dont les nuances vont du blanc au rouge sang en passant par le gris, le jaune, le rose et la garance. Pour donner plus de grandeur au spectacle, d'immenses murailles s'élèvent au fond du canyon jusqu'au trois quart de sa hauteur totale de pics selon les différentes teintes.

2.1.1 Milieu de prélèvement des échantillons

Les prélèvements des échantillons choisis selon les différentes teintes visibles à l'oeil nu ont été faits dans les ravins, à une profondeur d'au moins 50m.

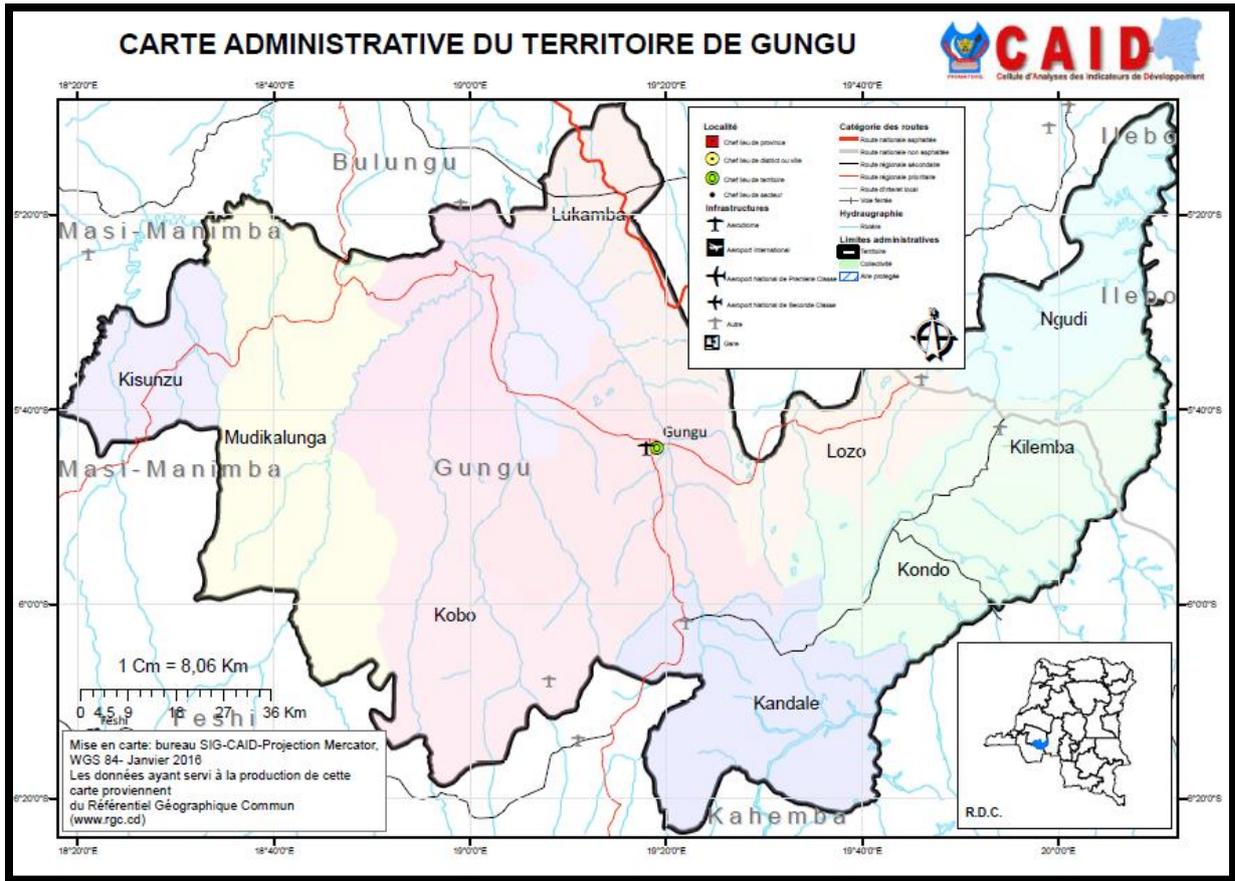


Figure 1: Localisation du secteur Kandale sur la carte administrative du territoire de Gungu

Source: <https://caid.cd/cartes/downloads/9.pdf>

2.1.2 Milieux d’analyses

Le laboratoire de chimie du Centre de Recherches Géologiques et Minières (C.R.G.M) à Kinshasa, a servi pour la caractérisation de la couleur des sols, les analyses granulométrique et densimétrique, l’élimination de l’humidité et des matières organiques dans les sols. C’est dans ce même laboratoire que la spectrométrie de fluorescence X a été réalisée.

Les laboratoires de Chimie et de l’agronomie de l’Université Pédagogique Nationale de Kinshasa ont permis de réaliser la spectrométrie UV-Visible. La spectrométrie de masse couplée à un plasma induit a été réalisée au laboratoire de chimie de l’Université de Namibie en Namibie.

2.2 Matériel

L’étude porte sur huit échantillons des sols de différentes couleurs, prélevés pendant la grande saison sèche de juillet 2019. Ces échantillons sont répartis de la manière suivante : sept du sable humide et un échantillon de l’argile pâte et mouillé ont été prélevés et codés : CK-L1, CK-L2, CK-L3, CK-L4, CK-L5, CK-L6, CK-L7 et CK-L8. Le prélèvement s’est effectué dans le fond de cirque à une profondeur de plus de 50m.



Figure 2 : Echantillons des sols prélevés dans les ravins de Lukwila

Les matériels suivants ont été utilisés pour atteindre les objectifs de ce travail :

- Carte de couleurs des sols Munsell soil color chart 2000 ; la
- Balance analytique de précision SZBL 303 A ;
- Tamis en métal de porosité de 0,500 mm, de 0,250 mm, de 0,200 mm, de 0,125 mm, de 0,100 mm, de 0,080 mm, 0,063 mm ;
- Agitateurs mécanique avec marteau ;
- Étuve à 105 °C ;
- Dessiccateur en verre ;
- Chronomètre ;
- Cylindre gradué de 1000 mL dont le diamètre intérieur est d'environ 6,0 cm ;
- Tamis de 2 mm ;
- Bêchers de différentes dimensions ;
- Plaque chauffante ;
- pH-mètre ;
- Papier filtré taré ;
- Erlenmeyers ;
- Étuve VWR DL 53 ; le Modèle 08_55510 à 110 °C ;
- Creusets VWR 459-0198 de 35 mL ;
- Spectromètre de Fluorescence x ;
- Spectromètre UV-Visible de marque Évolution 160 ;
- Creusets en porcelaine VWR 459-0198 de 35 ml ;
- Four à moufles Hobersal, modèle HD 200 ; température maximale de 1000°C à 1200°C ;
- Spectromètre de masse couplée à un plasma induit (ICP-MS) ;
- Verre de montre ;
- Spatules ;
- Ballons jaugé ;
- Compte-goutte ;
- Entonnoir en verre ;
- Poire en caoutchouc ;
- Tubes à essai ;
- Pipettes graduées de 10mL ;
- Pissette ;
- Bêchers

2.2.1 Réactifs

- Hexamétaphosphate de sodium $\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6$,
- Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) à 6 %,
- Chlorure d'hydrogène (HCl) à 10 %,
- Carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 5%,
- Acide acétique (CH_3COOH)
- Acide chlorhydrique (HCl) à 38 % d = 1,19,
- Acide nitrique (HNO_3) à 67 % d = 1,41,
- Eau distillée (H_2O),
- Tampon à pH 9,
- Sulfate de cuivre (II) anhydre : (CuSO_4),
- Sulfate de fer (III) : $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$,
- Oxyde de manganèse (IV) : MnO_2
- Acétate de cobalt (II): ($\text{CH}_3\text{COO}_2\text{Co}$)
- Ligands : Chloro (Cl^-) dans : HCl à 38% d = 1,19,
- ammine (NH_3) dans NH_4OH à 28%
- Cyano (CN^-) dans KCN

2.3 Méthodes

Les différents échantillons des sols prélevés dans les ravins de Lukwila sont passés par quelques analyses du prétraitement avant l'identification des métaux de transition, responsables des couleurs des sols. Les différentes étapes sont indiquées dans les figures suivantes :

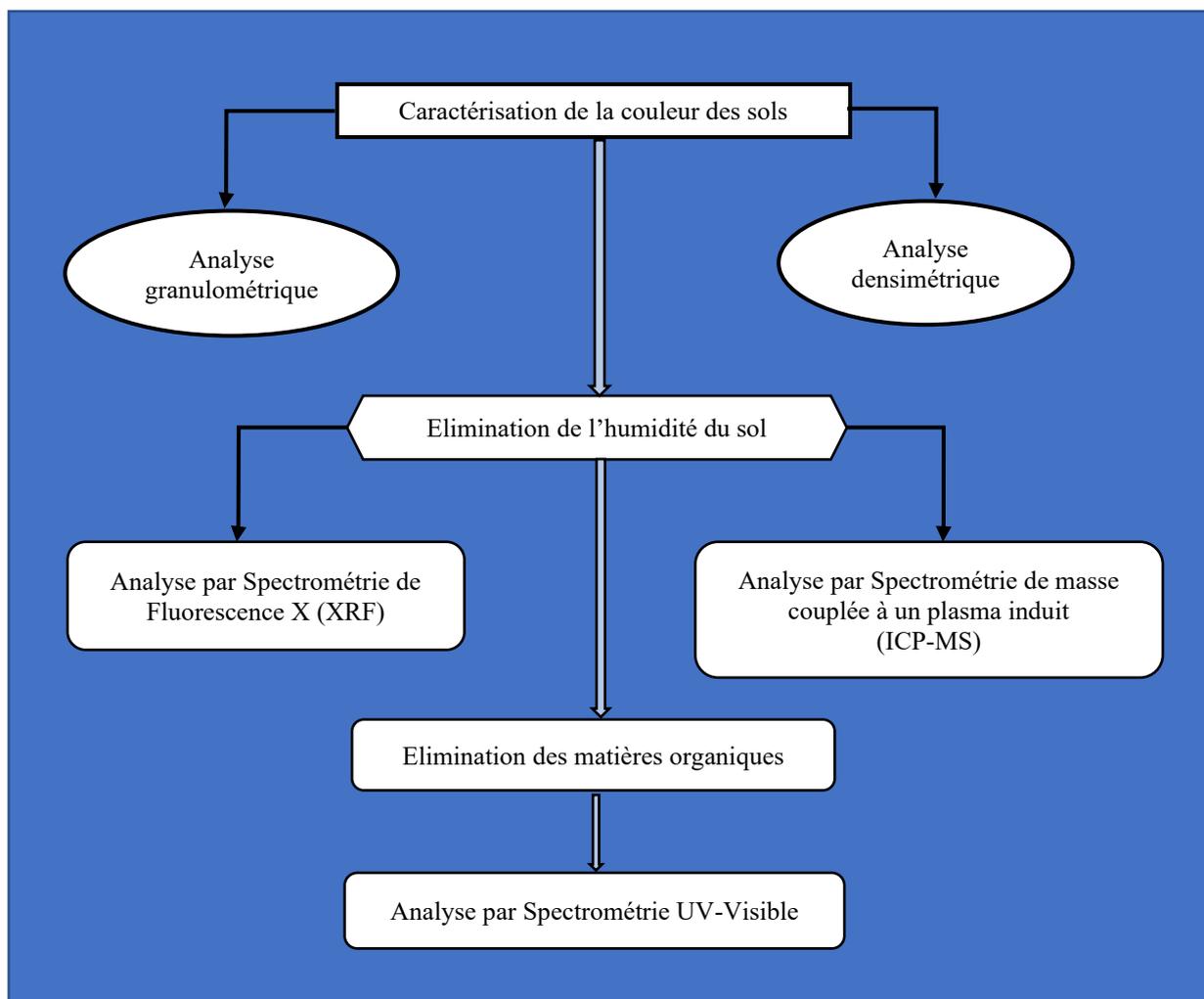


Figure 3: Schéma d'identification des métaux de transition responsables des couleurs des sols des ravins de Lukwila.

Source: Mémoire DEA-Christianne Kulunga (2018)

Les 8 échantillons, CK-L1, CK-L2, CK-L3, CK-L4, CK-L5, CK-L6, CK-L7 et CK-L8 ont été analysés selon les différents modes opératoires des analyses effectuées dans quatre différents laboratoires.

2.3.1 Caractérisation de la couleur des sols

Pour nommer les couleurs des sols, la charte de couleurs de sols Munsell soil color chart 2000 a été utilisée au laboratoire de chimie du Centre de Recherches Géologiques et Minières (C.R.G.M) à Kinshasa.

La couleur d'un sol est codée par comparaison avec le nuancier de Munsell. En déplaçant l'échantillon de sol sous les fenêtres prévues sous chaque échantillon coloré, on repère celui dont la couleur se rapproche le mieux et on note ses coordonnées (teinte, clarté, pureté). A chaque planche correspond une teinte qui présente des échantillons de clarté croissante en ordonnée et de pureté (ou saturation) croissante en abscisse. Le code comporte trois variables : la teinte qui va du rouge (10R) au brun (10YR) puis au jaune (Y) et au bleu (B) ; la clarté va du noir (0) au blanc (10) et la pureté du terne (0) au vif (8). La couleur d'un horizon, issu d'un limon des plateaux est par exemple : 10YR 4/3 : teinte = 10YR, clarté = 4, et pureté = 3 (Escadafal *et al.*, 1988 ; Jabiol et Baize, 2011).

2.3.2 Analyse granulométrique

Cette analyse a été réalisée au C.R.G.M en procédant par tamisage par voie sèche selon le mode opératoire suivant :

- Faire sécher à 105°C dans l'étuve pendant une nuit environ 800 g d'échantillon.

- Laisser les échantillons étuvés dans le dessiccateur (minimum de 4 heures).
- Monter la série de tamis en commençant par le bas dans la séquence suivante : base, tamis de 0,500 mm, de 0,0417, de 0,0315, de 0,250 mm, de 0,200 mm, de 0,160 mm, de 0,125 mm, de 0,100 mm, de 0,080 mm, 0,063 mm, 0,050 mm.
- Peser 500 g d'échantillon sec, noter le poids, transférer l'échantillon dans le tamis de 2 mm et fermer le couvercle.
- Placer le montage sur l'agitateur mécanique avec marteau et fixer solidement.
- Agiter pendant 15 minutes.
- Retirer le montage et le défaire.
- Peser chaque tamis et son contenu (fraction de l'échantillon).
- Les résultats sont exprimés en % pour chaque fraction obtenue, selon l'équation suivante
$$F = \frac{T_1 - T_0}{E} \times 100 \quad (\text{C.R.G.M})$$
- Où F : fraction de l'échantillon sur un tamis (%); T₁ : poids du tamis avec fraction (g); T₀ : poids du tamis vide (g); E : poids de l'échantillon total utilisé (g).
- Les critères d'acceptabilité pour la méthode par tamis, sont appliqués comme suit : la somme du solide contenu sur tous les tamis doit représenter environ 98 % et 102 % du poids de solide pesé initialement pour l'essai.

2.3.3 Analyse densimétrique

Cette opération plus délicate que la précédente, a aussi été réalisée au C.R.G.M, selon les étapes suivantes : Mélanger dans un bécher de 1 litre tous les réactifs, tamponner jusqu'à avoir un pH = 9.

- Peser 10 g de sol par échantillon, préalablement tamisé à 2 mm ; dans un bécher de 800 mL mélanger avec 50 mL de H₂O₂ à 6 % ; puis laisser reposer,
- Chauffer sur bain-Marie dans un Erlen-meyer (attaque de la matière organique), laisser refroidir puis ajouter 200 mL de HCl à 10 %.
- Verser le mélange dans le bécher de 800 mL, agiter, puis ajouter 10 mL de Na₂CO₃ à 2 %, agiter puis laisser reposer pendant 12 heures ; l'opération s'appelle le siphonage de l'acide surnageant ;
- Ajouter l'eau de robinet jusqu'à atteindre 800 mL puis prélever le pH.

La seconde étape consiste à :

- Enlever 10 mL de la solution siphonnée, la remplacer par 10 g de Na₆(PO₃)₆, agiter, puis laisser reposer pendant 48 heures.
- Séparer le surnageant du sable ;
- Reprendre le traitement deux à quatre fois jusqu'à ce que la solution surnageant soit claire et qu'on voit jusqu'au fond du bécher la quantité de limon qui se dépose.

En fin c'est la Filtration pour séparer les limons des argiles

- Peser le papier filtre après qu'il ait été imbibé d'eau distillée, puis le sécher dans l'étuve à 105 °C pendant quelques minutes ;
- Déverser le mélange dans l'erenmeyer ; le papier filtre servant d'entonnoir retient les limons et le filtrat passe.
- Le papier filtre et son contenu sont séchés à l'air libre puis pesés.

2.3.4 Elimination de l'humidité du sol

La méthode qui a été utilisée ici est la méthode gravimétrique validée par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) au C.R.G.M, selon le mode opératoire mis au point ci-après :

- Sécher les échantillons à l'air libre et à la température ambiante du laboratoire, au minimum 96 heures (8 jours) pour éliminer l'eau de gravité par drainage et égouttage. Le sol atteint son point de ressuyage et le volume d'eau qu'il retient encore est dit, capacité de rétention ;

- Peser 10 g de chaque échantillon du sol après séchage à l'air libre (poids du sol sec : PSS), les mettre dans les creusets ;
 - Étuvé ces sols à 110°C pendant 1 jour,
 - Peser les sols étuvés (PSE) pour obtenir la valeur la perte au feu (PAF), enfin calculer le pourcentage de l'humidité par la formule suivante :
- $$\% \text{ d'Humidité} = \frac{PSS - PSE}{PSS} \times 100. \text{ (C.R.G.M)}$$

2.3.5 Analyse par Spectrométrie de Fluorescence X (XRF)

Cette analyse a été réalisée au C.R.G.M suivant ces étapes :

- Le spectromètre de Fluorescence X n'a pas besoin de préparation d'échantillons ; il analyse tous types d'échantillons. Il est très simple d'utilisation avec sa technologie « point and shoot », pointer et tirer.
- Emballer la portion de sol étuvé à 110°C dans un papier duplicateur,
- Déposer le paquet sur la paillasse et poser l'appareil dessus,
- Viser l'échantillon en appuyant sur la gâchette pour bombarder l'échantillon.
- A la fin de la lecture, il s'affiche sur l'écran du spectromètre, les éléments que contient l'échantillon en partie par million (ppm).

2.3.6 Analyse par Spectrométrie de masse couplée à un plasma induit (ICP-MS)

Cette analyse a été réalisée au laboratoire Analytique de l'Université de Namibie en Namibie. Le mode opératoire implique les étapes suivantes :

- Digestion à l'eau régale de 10 g d'échantillon, après séchage à 60 °C et tamisage dans un tamis à 2 mm de mailles
- Laisser refroidir la solution et la diluer avec de l'eau ultra pure ;
- Prélever 10 mL de filtrat :
- Allumer et calibrer l'appareil ;
- Introduire le filtrat dans le plasma via un nébuliseur pour qu'il soit analysé
- Dans le plasma à haute température (6000-10000 K) ; les atomes des métaux de transition sont ionisés,
- Séparation des ions par le spectromètre de masse en fonction de leur rapport masse/charge (m/z),
- Détection des ions : les ions séparés sont détectés par un détecteur,
- Le logiciel de l'instrument enregistre toutes les données,
- Concentration des métaux de transition dans le sol se calcul par le logiciel de l'instrument est généralement exprimée en mg/kg (ppm)

2.3.7 Elimination des matières organiques

Cette méthode consiste notamment à :

- Peser 10 g de sol sec à l'air libre,
- Le mettre dans le creuset en porcelaine,
- Placer dans le four, régler la température à 1000 °C pendant 16 heures.
- Peser le sol après calcination (PSC)
- Calculer le taux des matières organiques par la formule suivante :

$$TMO = \frac{PSS - PSC}{PSS} \times 100 \text{ (C.R.G.M)}$$

TMO : Taux de matières organiques

PSS : Poids du Sol Sec à l'air libre à la température ambiante

PSC : Poids du Sol après calcination dans le four à mouffles

2.3.8 Analyse par Spectrométrie UV-Visible

- Préparation de l'eau régale ou l'eau royale, juste avant l'utilisation, parce que les produits des réactions n'ont pas le pouvoir oxydant de l'acide nitrique.

Mélanger 2,5 mL de HNO₃ et 7,5 mL de HCl Peser 1,5 g de sol calciné, le mettre dans l'eau régale dans un bécher, chauffer sur la plaque chauffante jusqu'à ce qu'il y ait dégagement de la vapeur,

- Prélever 5 mL du filtrat, les placer dans un ballon jaugé de 50 mL et remplir avec l'eau distillée jusqu'au trait de Jauge,
- Prélever 2 mL de la solution diluée, placer dans un pied gradué de 50 mL, ajouter 2 mL du tampon à pH 9 puis ajouter l'eau distillée jusqu'à 20 mL,
- Après avoir paramétré l'appareil, on réalise le blanc avec de l'eau distillée pour neutraliser les absorptions du solvant et d'autres substances du milieu.
- Remplir à moitié la cuvette avec la solution de l'échantillon, puis la placer dans l'appareil.
- Lire les absorbances et les longueurs d'onde de la solution de l'échantillon sur la plage de 200 à 800 nm (Tona, 2020).

Il faut signaler que cette opération a été réalisée tour à tour pour les 8 échantillons aux laboratoires de Chimie et d'Agronomie de l'Université Pédagogique Nationale (UPN) à Kinshasa.

3 Présentation des résultats et interprétations

3.1 Caractérisation de la couleur des sols

Tableau 1: Description et nomenclature des couleurs des sols de Lukwila

Code des Échantillons	Image des échantillons	Nomenclature selon la Charte de couleurs de MUNSELL 2000
CK-L1		10 R 4/6 Red (rouge)
CK-L2		2,5 Y 8/6 Yellow (jaune)
CK-L3		7,5 R 5/8 Red (rouge)
CK-L4		2,5 Y3/2 : Very dark gravity brown (gravité très sombre marron)
CK-L5		2,5 YR 7/3 : Light reddish brown (Léger rougeâtre marron)
CK-L6		10 R 3/6 Dark red (rouge sombre)
CK-L7		10 R 7/6 Light red (rouge clair)
CK-L8		10 YR 8/2 Reddish slightly brown (rougeâtre légèrement marron)

A l'aide de la Charte de Munsell, chaque échantillon se différencie de l'autre par sa teinte, sa clarté et sa pureté. Ces trois principaux agents colorants des sols sont présents dans les différents échantillons. Le fer par ses oxydes de colorations rouge, rouille ou brune en milieu oxydant, prédomine dans les échantillons CK-L1, CK-L3, CK-L6 et CK-L7. Les matières organiques ont teinté l'échantillon CK-L4 avec une gravité très sombre marron. Le calcaire a certainement allégé le rouge dans les échantillons CK-L5 et CK-L8, qui ont donné une teinte légèrement rougeâtre marron. Nous pouvons, pour saisir ces nuances, nous référer à la chimie quantique qui explique la configuration électronique des atomes par les 4 nombres quantiques ou encore à la notion des isotopes d'un élément chimique.

Ceci prouve que les 8 échantillons des sols prélevés des ravins de Lukwila portent des colorations différentes selon les trois variables de codification de Munsell.

3.2 Analyse granulométrique

Tableau 2 : Résultats de la granulométrie

Mailles de Tamis en mm	Fraction des échantillons codés en %							
	CK-L1	CK-L2	CK-L3	CK-L4	CK-L5	CK-L6	CK-L7	CK-L8
0.500	0.3	1.1	0.3	5.2	5.8	-	-	-
0.417	0.4	6.7	1.4	5.0	4.8	-	0.4	-
0.315	10.4	31.6	12.2	13.5	9.5	-	10.3	4.1
0.250	27.3	28.4	36.2	23.8	13.5	90	37.2	33.2
0.200	23.5	11.4	13.4	14.7	10.8	3	14.4	13.8
0.160	16.3	11.3	13.8	13.4	18.5	2.3	13.1	17.1
0.125	14.1	5.6	15.5	16.8	26.9	2.3	15.3	20.1
0.100	2.2	1.1	1.7	2.5	5.8	0.6	2.7	3.2
0.080	3.1	1.2	2.8	2.6	2.7	1	3.1	4.3
0.063	1.4	0.4	1.3	0.8	0.7	-	1.4	1.9
0.050	0.9	0.3	1.2	0.7	0.6	-	1.2	1.4
TOTAL	99.1	99.1	99.8	99	99.6	98.6	99.1	99.1
PERTE	0.9	0.9	0.2	1	0.4	1.4	0.9	0.9

Les ravins de Lukwila, mystifiés par les Chefs Coutumiers et les Chefs de Groupements, ne sont accessibles qu'avec leur autorisation et après un rite coutumier. Ce site est quasiment inaccessible pendant la saison des pluies à cause des éboulements, des déchirures et des chutes de blocs de terre accompagnés des bruits terrifiants. Ce paramètre a été pris en compte pour caractériser la distribution des tailles des échantillons par rapport aux phénomènes de cassures et de chute brutal de blocs de terre dans ces ravins. Il se constate qu'à l'exception de l'échantillon CK-L6 qui ne commence qu'à passer dans le tamis de 0,250 mm où il donne un pourcentage très élevé par rapport aux autres échantillons, les restes des échantillons sont composés de particules très fines, incapables de retenir l'eau de ruissellement. La taille moyenne de grain de sol de Lukwila est de 210 µm. Cette dimension se situe dans les limites des sables fins (250 µm - 50 µm).

3.3 Analyse densimétrique

Tableau 3 : Résultats de la densimétrie

Échantillon	Densité en %			Texture du sol
	Sable	Limon	Argile	
CK-L1	90.55	1.82	7.63	Sablonneux
CK-L2	90.80	1.53	7.67	Sablonneux
CK-L3	89.93	0.95	9.12	Sablonneux
CK-L4	91.58	6.18	2.24	Sablonneux
CK-L5	91.80	2.05	6.15	Sablonneux
CK-L6	23.60	44.46	31.94	Argilo-limono-sablonneux
CK-L7	90.61	1.52	7.86	Sablonneux
CK-L8	99.01	0.96	0.02	Sablonneux

D'après la densité en % de sable, de limon et de l'argile, les échantillons CK-L1, CK-L2, CK-L3, CK-L4, CK-L5, CK-L7 et CK-L8 ont une texture sablonneuse qui varie faiblement avec la présence de l'argile. L'échantillon CK-L6 est argilo-limono peu sablonneux. Ce dernier a été prélevé au bord d'une des sources de Lukwila.

3.4 Elimination de l'humidité des sols

Tableau 4: % de l'humidité des sols

Échantillon	Masse en gramme (g)			Humidité en %
	Masse de Sol Sec (MSS)	Masse de sol étuvé (MSE) à 110°C	Perte au feu (PAF)	
CK-L1	10,001	9,896	0,105	1,050
CK-L2	10,001	9,912	0,089	0,889
CK-L3	10,001	9,778	0,223	2,229
CK-L4	10,006	9,871	0,135	1,349
CK-L5	10,002	9,884	0,118	1,179
CK-L6	10,003	8,898	1,105	11,046
CK-L7	10,007	9,936	0,071	0,709
CK-L8	10,003	9,898	0,105	1,049

L'échantillon CK-L6 montre qu'il était très humide avec un pourcentage de 11,046 % d'humidité, valeur la plus élevée du tableau ci-dessus.

En effet, c'est cet échantillon CK-L6 de couleur rouge sang à l'œil nu, sol compacte et peu perméable, pris au bord d'une de 32 sources que couvrent ces ravins.

3.5 Analyse par Spectrométrie de Fluorescence X (SFX)

Tableau 5: Résultats de l'analyse par SFX: teneur en ppm des éléments métalliques contenus dans les 8 échantillons

Élément chimique	ECHANTILLON							
	CK-L1	CK-L2	CK-L3	CK-L4	CK-L5	CK-L6	CK-L7	CK-L8
Fe	3800	800	3500	7900	2900	37600	1700	600
Ti	-	102	23	-	25	4000	-	70
Mn	-	-	43	-	-	470	-	-
Co	-	-	64	-	77	294	17	10
Zr	190	110	100	161	126	223	142	100
Zn	-	43	120	-	-	206	5	8
Cu	8	-	54	25	68	130	11	-
Ni	-	12	42	-	-	120	-	-
Nb	-	-	-	-	4	22	-	-

Naturellement, les métaux de transition sont présents dans les sols, dans des concentrations variées qui dépendent de certains facteurs environnementaux, du type de roches mères et des activités humaines (Nyami, 2017). Dans ces échantillons, neuf (9) éléments métalliques de transition ont été identifiés par cette analyse. Le fer (Fe) étant

un des métaux les plus abondants dans la croûte terrestre, présente la concentration la plus élevée par rapport aux autres éléments dans tous les 8 échantillons. Le second est le zirconium (Zr), avec des teneurs variant selon chaque échantillon. Les sols contiennent aussi naturellement le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le cobalt (Co) [11], etc. Il y a des éléments qui ont été identifiés dans ces échantillons en de teneurs faibles tandis que d'autres sont en traces. Les résultats de cette analyse confirment la présence des métaux de transition qui produisent les différentes couleurs dans les sols des ravins de Lukwila.

3.6 Analyse par Spectrométrie de masse couplée à un plasma induit (ICP-MS)

Tableau 6: Résultats de I-ICP-MS: Teneur en mg/kg des métaux de transition

ECH	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Co
QC1	1,02	0,990	0,998	1,01	1,01	1,00	0,999
CK-L1	13,8	2,71	1784	0,756	15,6	4,56	8,64
CK-L2	16,0	5,35	2206	1,21	17,3	7,97	8,68
CK-L3	9,42	13,3	2519	0,882	20,4	8,36	8,60
CK-L4	12,2	3,48	2052	0,780	14,8	5,07	6,88
CK-L5	5,63	167	2531	1,11	18,3	3,30	8,23
CK-L6	55,2	244	30643	84,1	115	118	26,4
CK-L7	15,0	2,14	1609	0,770	16,2	8,62	7,94
CK-L8	9,00	2,04	1023	0,649	14,8	3,70	7,53

QC1: Norme de contrôle de qualité 1.00mg/L

Les résultats de l'ICP-MS confirment une fois de plus la présence des ions métalliques de transition dans les sols de ravins de Lukwila. Les 8 échantillons contiennent tous 7 métaux identifiés. Les teneurs les plus élevées sont encore déterminées dans l'échantillon CK-L6.

Par ailleurs, l'ICP-MS a identifié la présence du chrome (Cr), qui n'apparaît pas dans les résultats fournis par la spectrométrie de fluorescence X (SFX).

Il sied de noter que le CK-L6 est retenu comme échantillon de référence à cause de ses résultats remarquables.

Il se dégage donc que par ICP-MS, toutes les teneurs faibles qu'elles soient de 7 éléments de transitions détectés dans tous les échantillons, ont des concentrations bien déterminées par rapport à la SFX où certains éléments ne sont identifiés qu'en trace.

3.7 Elimination des matières organiques

Tableau 7: Teneurs en % des matières organiques éliminées dans les échantillons

Échantillon	Poids en gramme (g)			M.O en %
	PSS	PSC	M.O	
CK-L1	10,001	9,881	0,120	1,199
CK-L2	10,002	9,879	0,123	1,229
CK-L3	10,000	9,845	0,155	1,550
CK-L4	10,001	9,516	0,485	4,849
CK-L5	10,001	9,973	0,028	0,280
CK-L6	10,006	9,813	0,193	1,928
CK-L7	10,004	9,987	0,017	0,169
CK-L8	10,003	9,891	0,112	1,219

Cette opération de calcination des échantillons des sols dans le Four à moufles à des températures maximales allant de 1000°C à 1200°C, permet d'éliminer les matières organiques dans les sols (Shriver et Atkins, 2001). Elle permet aussi d'éviter que les résultats des analyses soient faussés. Nous avons constaté que la couleur de l'échantillon CK-L4 avait complètement changé. Sa teneur de la matière organique en pourcentage est plus élevée (4, 849 %) par rapport à celle des autres échantillons. Le CK-L6 a subi une petite modification de la taille de grains, faisant apparaître un aspect brillant.

3.8 Analyse par Spectrométrie UV-Visible

Tableau 8: Résultats des longueurs d'onde identifiant la présence des ions métalliques dans le filtrat CK-L6 complexé

Ion métallique témoins	Ligand	λ (en nm)	CK-L6
Fe^{3+}	NH_3	639	623 – 648
Co^{2+}	CN^-	368	367 – 373
Mn^{2+}	Cl^-	265	265

Après la suppression des absorbances et longueurs d'onde de l'eau régale utilisée comme oxydant pour dissoudre les ions métalliques dans le filtrat dans tous les échantillons, le filtrat de l'échantillon CK-L6 a été retenu car il a permis de préparer des complexes avec les ligands chloro (Cl^-), ammine (NH_3) et cyano (CN^-) afin de déterminer les types d'ions présents dans ce filtrat en comparaison avec les complexes formés à partir des ions métalliques (Fe^{3+} , Co^{2+} , Mn^{2+}) témoins, dans le sulfate de fer III ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), l'oxyde de manganèse IV (MnO_2), et l'acétate de cobalt II ($(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Co}$) avec les mêmes ligands.

Une comparaison a été faite entre les valeurs de longueurs d'onde obtenues dans les complexes formés avec les 3 ligands : d'une part, avec les ions métalliques témoins et d'autre part, avec le filtrat de l'échantillon CK-L6. Chaque fois après trois essais, les longueurs d'onde des complexes présents dans le tableau 8, indiquent par l'analyse qualitative que les longueurs d'onde dans les complexes des ions métalliques témoins sont, soit exactement les mêmes trouvées dans le filtrat de CK-L6 avec le même ligand, soit dans l'intervalle de valeurs de longueurs d'onde de CK-L6. C'est pourquoi, nous confirmons par analyse UV-Visible, la présence des ions métalliques (Fe^{3+} , Co^{2+} et Mn^{2+}) dans les sols de Lukwila. Les complexes du $\text{Fe}^{3+}+\text{NH}_3$ n'ont pas de valeurs de longueurs d'onde fixe car ils dépendent de plusieurs facteurs mais ils absorbent de la lumière dans la région visible du spectre. Les longueurs d'onde allant de 623 nm à 648 nm sont comprises dans le domaine du visible du spectre.

Les complexes du Co^{2+} avec le ligand cyano (CN^-) ont tendance à présenter des absorbances dans la région ultraviolet (10 nm à 400 nm) et souvent en dessous de 400 nm [13]. Le complexe du CK-L6 et CN^- , nous a donné des absorbances entre 367 – 373 nm, en dessous de 400 nm, ce qui confirme la présence des ions cobalt dans ce filtrat.

Les ions Mn^{2+} complexé avec les chloro (Cl^-) présentent une absorption plus intense dans la région UV du spectre. Les résultats du complexe préparé avec le filtrat CK-L6 et le ligand Cl^- , rose pâle, ont à trois reprises, présenté la même longueur d'onde que celle du complexe témoin, 265 nm dans la plage de la région UV du spectre.

4 Conclusion

Cette étude a cherché à identifier les métaux de transition responsables des couleurs des sols des ravins de Lukwila dans le secteur de Kandale, territoire de Gungu, province du Kwilu, en RD Congo. L'étude présente un double intérêt, scientifique et industriel, et contribue à la mise en valeur de ces sols. Les échantillons prélevés des sols de ces ravins, codifiés CK-L1, CK-L2, CK-L3, CK-L4, CK-L5, CK-L6, CK-L7 et CK-L8, ont été analysés par spectrométrie de fluorescence X (SFX), par spectrométrie de masse couplée au plasma induit (ICP-MS) et par spectrométrie UV-Visible. Par la SFX, neuf (9) métaux de transition (Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Nb, Ti, Zr, Zn) ont été identifiés. L'échantillon CK-L6 contient des teneurs (en ppm) les plus élevées par rapport aux autres échantillons. L'élément le plus abondant est le Fer (37600 ppm) suivi du Titane (4000 ppm), du Manganèse (470 ppm), du Cobalt (294 ppm) et du Zirconium (223 ppm). Le Cuivre et le Nickel ont des teneurs respectives de 130 et 120 ppm.

Les résultats obtenus par ICP-MS présentent sept (7) métaux de transition (Fe, Cu, Co, Mn, Zn, Ni et Cr). Cette analyse n'a pas détecté le Niobium, le Titane et Zirconium mais a identifié la présence du chrome. L'échantillon CK-L6 renferme 30643 mg/Kg de Fe, 224 mg/Kg de Mn, 118 mg/Kg de Zn, 115 mg/kg de Cu, 84,1 mg/Kg de Ni, 55,2 mg/Kg de Cr et 26,4 mg/Kg de Co.

Au terme de ces analyses, il se constate que tous ces métaux de transition qui se présentent sous forme d'ions dans les complexes pourraient être à l'origine de la présence des couleurs rouge, jaune, rose, blanche, violette... des sols des ravins de Lukwila. À ce sujet, les études antérieures ont démontré que les métaux de transition absorbent des énergies dans le visible qui provoquent l'excitation des électrons et subissent des transitions électroniques au sein des ions correspondants au passage d'un ou des électrons des orbitales t_{2g} vers e_g , et ces transitions font apparaître des couleurs (Kindela, 2017).

Dans une étude ultérieure, nous envisageons l'extraction de quelques métaux de transition en vue de les valoriser.

REFERENCES

- [1] Escadafal, Richard, Girard, Michel-Claude et Courault Dominique (1988), « *La couleur des sols : appréciation, mesure et relations avec les propriétés spectrales* », Agronomie, vol. 8, n° 2 [en ligne], 1988, consulté le 30/10/2019, disponible sur <<http://www.lorexplor.istex.fr>>
- [2] Jabiol, Bernard et Baize, Denis (2011), *Guide pour la description des sols*. Versailles Cedex, Editions Quae.
- [3] Kindela Jean-Faustin (2017), Cours de Chimie inorganique II 2^{ème} Graduat, Kinshasa, Université Pédagogique Nationale
- [4] Kindela, Jean Faustin et al. (2020), « Essai d'identification de quelques métaux de transition dans une des termitières du plateau de Bateke », *CREDUPUN*, Avril-Juin, n° 083a,
- [5] Kindela, Jean-Faustin (2018), *Séminaire de Chimie Organométallique 3eme cycle*, Kinshasa, Université Pédagogique Nationale.
- [6] Kubanza Vungu (1991), L'érosion de Lukwila et son impact sur l'environnement, collectivité de Kandale. Mémoire de Licence en Géographie, Kikwit, Institut Supérieur Pédagogique de Kikwit.
- [7] Kubekela Lukaka (2016), Étude géographique et intérêt touristique du site de Lukwila dans le développement du secteur Kandale en territoire de Gungu, Mémoire de Licence en Géographie et Gestion de l'environnement, Kikwit : Institut Supérieur Pédagogique de Kikwit
- [8] Lufimpadio, J.-G. (2012), *Cours de Chimie du Solide*, 2^{ème} Licence, Kinshasa, Université Pédagogique Nationale.
- [9] Milondo, A.M. (2018), *Séminaire de Méthodologie de la Recherche Scientifique*, 3^{ème} cycle, Kinshasa, Université Pédagogique Nationale.
- [10] Nyami, B.L. (2017), *Cours de Pédologie, conservation du sol et Fertilisation*, 1^{er} Graduat AGROVET, Kinshasa, Université Loyola du Congo.
- [11] Shriver, D.E., Atkins, P.W. (2001), *Chimie Inorganique*, 3^{ème} édition, Paris, De Boeck université.
- [12] Tona Lys Phuna (2020), *Identification de métaux de transition dans les termitières de la ville province de Kinshasa*, Mémoire Chimie, Kinshasa : Université Pédagogique Nationale.
- [13] Wetshondo Osomba, D. (2012), Caractérisation et valorisation des matériaux argileux de la Province de Kinshasa (RD Congo), ULB (2012), - THESE