

Application de la télédétection multispectrale et des SIG à l'exploration aurifère dans le territoire de Wamba (RDC) : cartographie litho-structurale et identification de cibles

*Bila Bimare Joel
Mando Manyoka Eliezer
Neiki Biangbali Yannick
Basekawike Ma-Boo Judith*

Géologues chercheurs, personnel scientifique, Université de l'Uélé, RDC

[Doi:10.19044/esj.2026.v22n11p54](https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n11p54)

Submitted: 23 September 2025

Accepted: 15 April 2026

Published: 30 April 2026

Copyright 2026 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Bila Bimare, J., Mando Manyoka, E., Neiki Biangbali, Y., & Basekawike Ma-Boo, J. (2026). *Application de la télédétection multispectrale et des SIG à l'exploration aurifère dans le territoire de Wamba (RDC) : cartographie litho-structurale et identification de cibles*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (11), 54. <https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n11p54>

Résumé

Cette étude porte sur l'exploration aurifère dans le territoire de Wamba (RDC), situé dans la ceinture de roches vertes de Moto du système Kibalien (Néoarchéen). L'objectif est de pallier les contraintes d'accessibilité et la densité du couvert végétal par l'intégration de la télédétection multispectrale et des Systèmes d'Information Géographique (SIG). La méthodologie repose sur le traitement d'images Landsat 8 OLI/TIRS, optimisées par le calcul de l'Optimum Index Factor (OIF) pour la discrimination lithologique et l'Analyse en Composantes Principales (CP1) pour l'extraction structurale. Des rapports de bandes (4/2 et 6/7) ont permis de cartographier les halos d'altération hydrothermale (oxydes de fer et minéraux hydroxylés). L'analyse de 6 551 linéaments révèle une direction prédominante NNE-SSW, corrélée à la structure régionale du « KZ Trend ». Le croisement spatial multicritère a permis d'identifier six cibles de minéralisation, dont trois sont qualifiées de haute priorité. Ce modèle numérique constitue un outil d'aide à la décision pour orienter les futures campagnes d'échantillonnage géochimique de terrain.

Mots clés : SIG, Télédétection, Landsat 8, Or Orogénique, Kibalien, Linéaments, Wamba, RDC

Application of Multispectral Remote Sensing and GIS to Gold Exploration in the Wamba Territory (DRC): Lithostructural Mapping and Target Identification

Bila Bimare Joel
Mando Manyoka Eliezer
Neiki Biangbali Yannick
Basekawike Ma-Boo Judith

Géologues chercheurs, personnel scientifique, Université de l'Uélé, RDC

Abstract

This study addresses gold exploration in the Wamba territory (DRC), located within the Neoproterozoic Moto greenstone belt of the Kibalian system. The objective is to overcome accessibility constraints and dense vegetation by integrating multispectral remote sensing and Geographic Information Systems (GIS). The methodology utilizes Landsat 8 OLI/TIRS imagery, optimized through the Optimum Index Factor (OIF) for lithological discrimination and Principal Component Analysis (PC1) for structural extraction. Specific band ratios (4/2 and 6/7) were applied to map hydrothermal alteration halos, focusing on iron oxides and hydroxyl minerals. Statistical analysis of 6,551 lineaments indicates a predominant NNE-SSW trend, aligned with the regional "KZ Trend". Multi-criteria spatial overlay identified six exploration targets, including three high-priority sites. This digital prospecting model serves as a preliminary decision-making tool to guide subsequent geochemical ground-truthing and field validation.

Keywords: GIS, Remote Sensing, Landsat 8, Orogenic Gold, Kibali Belt, Lineaments, Wamba, DRC

Introduction

L'exploration minière constitue le premier stade critique d'un processus complexe visant à transformer une simple occurrence minérale en une réserve économiquement exploitable (Melleton, J., et al., 2018). La récente flambée du prix mondial des métaux précieux, portée par une demande croissante des pays industrialisés, a suscité une véritable ruée vers l'exploitation des ressources minérales mondiales. Dans ce contexte, l'Afrique, au regard de son histoire géologique complexe, s'impose comme le plus grand

pourvoyeur de ces matières premières (Ouedraogo, B., et al., 2020). En 2017, les investissements mondiaux dans l'exploration aurifère ont atteint environ 3,6 milliards d'euros, le continent africain captant une part substantielle de ces budgets, majoritairement financés par les grandes compagnies minières (Melleton, J., et al., 2018).

Cependant, en République Démocratique du Congo (RDC), la cartographie géologique connaît encore des insuffisances majeures, héritées de travaux de l'époque coloniale réalisés à des échelles souvent trop générales (1/2.500.000) pour les besoins de l'industrie moderne (Fernandez-Alonso, M., et al. 2015). Les bases d'informations géologiques actuelles sont jugées incomplètes et ne répondent que partiellement aux exigences rigoureuses d'une exploration de précision. De plus, les méthodes conventionnelles basées exclusivement sur des missions de terrain s'avèrent être des processus longs, fastidieux et extrêmement coûteux, particulièrement dans les régions équatoriales caractérisées par une couverture végétale dense et une accessibilité limitée (Ouedraogo, B., et al., 2020).

Pour pallier ces contraintes, la télédétection spatiale multibande s'est imposée comme un outil indirect de prospection incontournable. Elle offre la capacité de réduire considérablement les coûts d'exploration en orientant la recherche minière vers des régions potentiellement favorables sur de vastes surfaces. En géologie minière, le traitement numérique des images issues de capteurs tels que Landsat 8 OLI/TIRS ou ASTER permet l'individualisation des minéraux de surface et l'identification des structures géologiques profondes. Cette technologie permet de détecter des halos d'altération hydrothermale, souvent invisibles à l'œil nu, qui servent de guides vers les gisements métallifères (El Atillah, A., et al., 2018).

Ce travail s'inscrit dans cette dynamique multidisciplinaire associant la géomatique à la géologie structurale. Le territoire de Wamba, situé dans la ceinture de roches vertes de Moto (Nord-Est de la RDC), appartient au système Kibalien (Néoarchéen) dont l'âge est estimé entre 2640 et 2625 Ma. La minéralisation aurifère orogénique y est contrôlée par le "KZ Trend", une structure régionale de 60 km composée de cisaillements et de plis complexes (Vargas, C. A., Allibone, A., et al., 2018). L'objectif principal de cette étude est d'utiliser la synergie entre la télédétection et les Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour mettre en évidence la relation entre la lithologie, la fracturation et les indices de minéralisation. En élaborant un guide de prospection numérique pour Wamba, nous visons à optimiser le ciblage des sites aurifères tout en minimisant les risques financiers liés aux phases de reconnaissance.

Présentation de la zone d'étude

Le Territoire de Wamba (Figure 1) est situé au Nord-est de la République Démocratique du Congo, dans la Province du Haut-Uélé. Il est limité au Nord et Nord-Ouest par le territoire de Rungu, à l'Est par le territoire de Watsa, au Sud et Sud-est par celui de Mambasa (Ituri), et enfin à l'Ouest et au Sud-ouest par le territoire de Bafwasende (Tshopo). Sa superficie est de 10.305km², et est comprise entre 2° 08' 48.78 de latitude N et 27° 59' 00.29 de longitude E, avec une altitude moyenne de 773m. (Omasombo J., et al, 2011).

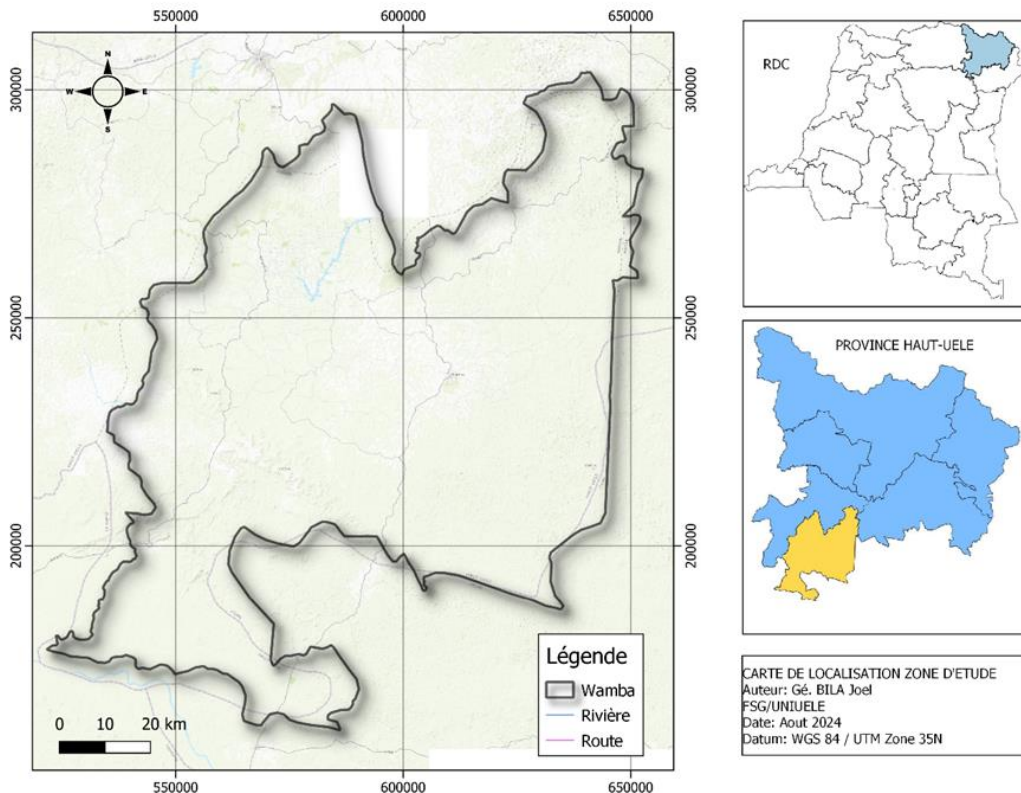


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude.

Le contexte géologique du territoire de Wamba comporte quatre types de formation géologique : la formation granitique, la formation de Lokoma, la formation d'Ituri et la formation Kibaliennne.

Dans la formation de Kibalien, on rencontre principalement la minéralisation en : Or, en dissémination et en filon, fer, associé aux itabirites, étain, sous forme d'indices associé avec l'or dans le lambeau du Kibalien supérieur, en alluvions dans le bassin de l'Uélé. D'autres minéralisations sont également rencontrées par-ci par-là à travers le territoire. (J. Omasombo et al. 2011).

Méthodologie

La démarche repose sur une approche hybride combinant l'analyse statistique multidimensionnelle des données satellites et la validation par les modèles géologiques de classe mondiale du supergroupe de la Kibali.

Données disponibles

Nous utilisons des scènes Landsat 8 OLI/TIRS (résolution 30m) acquises en saison sèche pour minimiser l'impact de la couverture nuageuse, téléchargées via l'USGS.

Logiciels

Les traitements et les analyses sont effectués sur :

- **ENVI 5.0** (The Environment For Visualizing Images). C'est un logiciel commercial complet de visualisation et de traitements d'images issues de la télédétection. Il présente une interface logique et intuitive pour lire, visualiser et analyser les différents formats d'images. Toutes les méthodes de traitement d'images pour extraire la lithologie, les linéaments et de mise en page cartographique sont présentes.
- **PCI GEOMATICA 2016**: Est un progiciel de bureau de télédétection et de photogrammétrie destiné au traitement des données d'observation de la Terre, conçu par la société PCI Geomatics. Il vise principalement à accélérer le traitement des données et permet aux utilisateurs de charger des images satellitaires et aériennes où une analyse avancée peut être effectuée.
- **ArcGIS 10.3** : Est une suite de logiciels d'information géographique développés par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute).
- **RockWorks 16** : est la dernière version du progiciel intégré de RockWare pour la gestion, l'analyse et la visualisation des données géologiques. Que vous travailliez avec des données de surface ou de sous-surface, des cartes locales ou des points globaux, RockWorks propose une suite complète d'outils faciles à utiliser pour la modélisation, la création d'images et la génération de rapports. Ce programme nous a aidés à lire les données de fracture et générer un diagramme directionnel (rosace) qui décrit les orientations des caractéristiques.
- **QGIS 3.12** : un des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) les plus utilisés qui permet, entre autres, la digitalisation des cartes et la réalisation d'une cartographie intégrée dans un SIG. Il nous a été utile pour une analyse spatiale multicritères dans le but d'identifier les cibles d'exploration aurifère dans.

Prétraitements et sélection quantitative

Les prétraitements incluent des corrections atmosphériques et géométriques indispensables pour assurer la fidélité des valeurs radiométriques des pixels. Pour augmenter la précision spatiale, une technique de Pansharpening peut être appliquée, fusionnant la bande panchromatique (15m) avec les bandes multispectrales pour rehausser les structures géologiques fines.

Pour optimiser la discrimination lithologique, nous appliquons l'Optimum Index Factor (OIF). Cet indice mathématique classe les combinaisons de trois bandes en privilégiant celles qui possèdent la plus forte variance (richesse d'information) et la plus faible corrélation (absence de redondance). (El Atillah, A., et Al 2018).

Tableau 1 : Matrice de corrélation et écarts-types (SD) des bandes Landsat 8

Bande	1	2	3	4	5	7	SD
1	1	0,94	0,88	0,82	0,35	0,42	18,45
2	-	1	0,92	0,85	0,38	0,45	19,12
3	-	-	1	0,91	0,41	0,52	22,64
4	-	-	-	1	0,44	0,55	25,30
5	-	-	-	-	1	0,88	32,15
7	-	-	-	-	-	1	30,48

On utilise les données de tableaux ci-dessus avec l'équation d'OIF pour calculer les différents termes de ce dernier comme suit :

Tableau 2 : Calcul de l'OIF pour les meilleures combinaisons

Combinaison des bandes	Somme (écart-type)	Somme (corrélation)	OIF	Rang de l'OIF
7-5-3	85,27	1,81	47,11	1
7-4-2	74,90	1,85	40,48	2
5-4-1	75,90	2,14	35,46	3
7-5-1	81,08	2,32	34,94	4
4-3-2	67,06	2,68	25,02	5

Commentaire : La combinaison 7-5-3 (Bandes SWIR-2, Near-IR et Rouge) obtient l'OIF le plus élevé (47,11) car elle combine des bandes ayant des comportements spectraux très différents, minimisant ainsi la redondance.

Comme indiqué dans nos résultats, ce choix quantitatif a permis de discriminer les BIF des schistes et des granites dans le secteur Sud-Ouest de Wamba.

D'après le calcul d'OIF, on peut déterminer les composantes colorées les plus importantes qui ne représentent pas des redondances selon l'ordre croissant de leur OIF. (El Atillah, A., et al., 2018).

Cartographie de l'altération hydrothermale

L'exploration de l'or orogénique nécessite l'identification des halos d'altération. (Barrick gold corporation., 2022). Nous utilisons des rapports de bandes (Ratios) pour isoler les signatures minéralogiques :

- ❖ Rapport 4/2 : Isole les oxydes de fer (hématite, goethite), indicateurs fréquents de zones minéralisées oxydées.
- ❖ Rapport 6/7 : Détecte les minéraux hydroxylés et les argiles (séricite/illite), composants clés de l'assemblage d'altération
- ❖ Rapport 6/5 : Spécifique à la discrimination des formations ferrugineuses (BIF).

Cartographie des linéaments

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est appliquée pour réduire la dimensionnalité des données. La première composante (CP1), qui contient souvent plus de 90% de l'information structurale, est utilisée pour l'extraction des linéaments. Des filtres directionnels de Sobel (0°, 45°, 90°, 135°) sont appliqués pour accentuer les discontinuités (fractures et failles) masquées par la topographie. (Ouedraogo, B., et Al., 2020).

Tableau 3 : Matrice de corrélation des composantes principales (ACP)

PC	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
PC1	1.00	0.15	0.22	0.29	0.27	-0.07	1.00
PC2	0.15	1.00	-0.10	-0.08	-0.13	0.05	0.15
PC3	0.22	-0.10	1.00	-0.17	-0.22	0.04	0.22
PC4	0.29	-0.08	-0.17	1.00	-0.11	-0.04	0.29
PC5	0.27	-0.13	-0.22	-0.11	1.00	-0.02	0.27
PC6	-0.07	0.05	0.04	-0.04	-0.02	1.00	-0.07
PC7	1.00	0.15	0.22	0.29	0.27	-0.07	1.00

Commentaire : cette matrice illustre les relations statistiques entre les différentes composantes principales générées. Elle démontre comment l'information est répartie après la transformation ACP afin de sélectionner la composante la plus riche en données structurales (CP1).

Tableau 4 : Matrices de convolution de Sobel appliqué pour le rehaussement des linéaments

Sobel 0° (N-S)							
0	1	1	1	1	1	1	2
-1	0	2	2	2	3	3	1
-1	-2	0	3	4	2	2	1
-1	-2	-3	0	3	2	2	1
-1	-2	-4	-3	0	2	2	1
-1	-3	-2	-2	-2	0	0	1
-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1

Sobel 90° (E-O)							
1	2	1	1	1	1	1	0
1	3	2	2	1	0	0	1
1	2	4	3	0	-2	-1	-1
1	2	3	0	-3	-2	-1	-1
1	2	0	-3	-4	-2	-1	-1
1	0	-2	-2	-2	-3	-1	-1
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2

Sobel 45° (NE-SO)						
1	1	1	2	1	1	1
1	1	2	3	2	1	1
1	2	3	4	3	2	1
0	0	0	0	0	0	0
-1	-2	-3	-4	-3	-2	-1
-1	-1	-2	-3	-2	-1	-1
-1	-1	-1	-2	-1	-1	-1

Sobel 135° (NO-SE)						
-1	-1	-1	0	1	1	1
-1	-1	-2	0	2	1	1
-1	-2	-3	0	3	2	1
-2	-3	-4	0	4	3	2
-1	-2	-3	0	3	2	1
-1	-1	-2	0	2	1	1
-1	-1	-1	0	1	1	1

Commentaire : L'application de ces matrices de convolution de Sobel (7x7) sur la première composante principale (CP1) constitue une étape fondamentale pour calculer le gradient d'intensité radiométrique et détecter les contours des discontinuités litho-structurales. Contrairement aux fenêtres classiques de 3x3, l'utilisation d'une matrice 7x7 est ici privilégiée pour le traitement des images Landsat 8 (résolution de 30 m) car elle assure un meilleur lissage des structures géologiques régionales tout en minimisant le bruit spectral de surface. En provoquant un effet d'ombre portée sur l'image, ces filtres directionnels rehaussent la perception visuelle des linéaments, ce qui facilite leur numérisation précise pour la cartographie des zones de cisaillement et de fracturation intense (Nana O., et al., 2024).

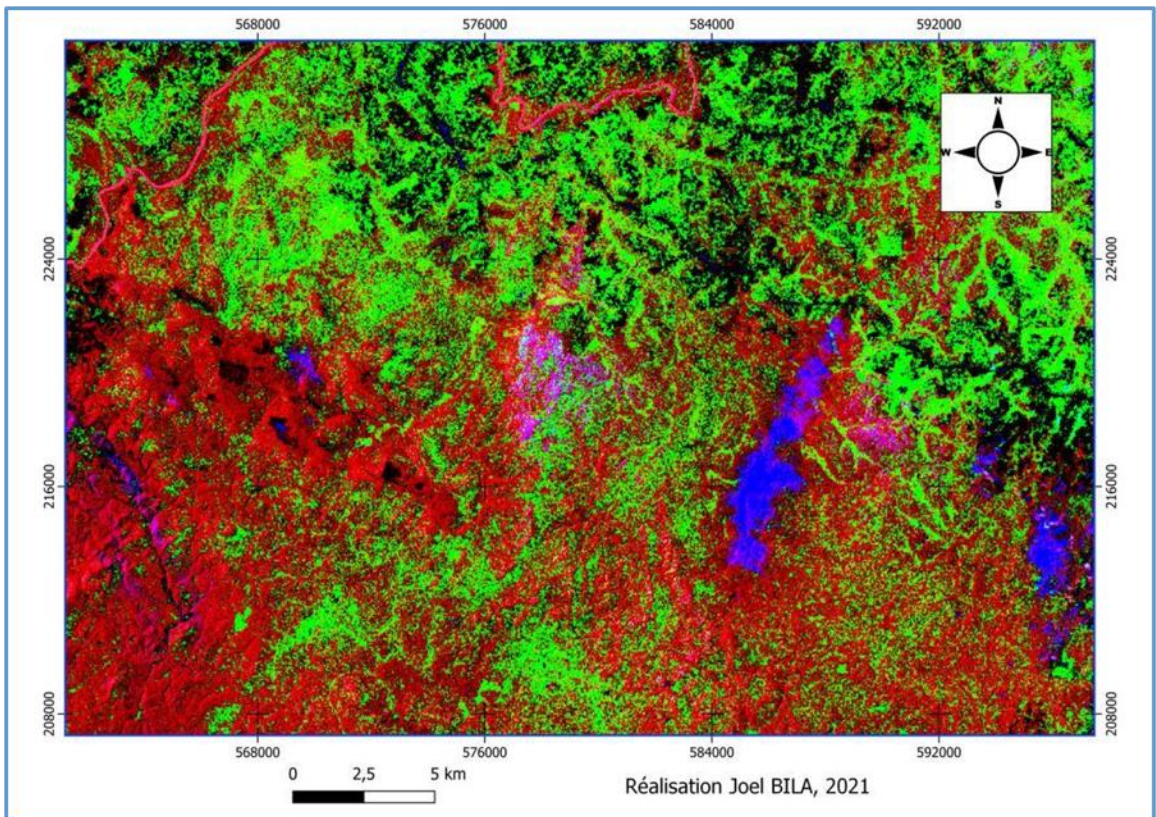


Figure 2 : Analyse en composantes principales (ACP)

Cette transformation a été appliquée à l'image en composition colorée 7-5-3. A chaque application de calculs, une nouvelle image est générée, de manière à rehausser des informations qui sont moins évidentes que dans l'image originale en composition colorée 7-5-3.

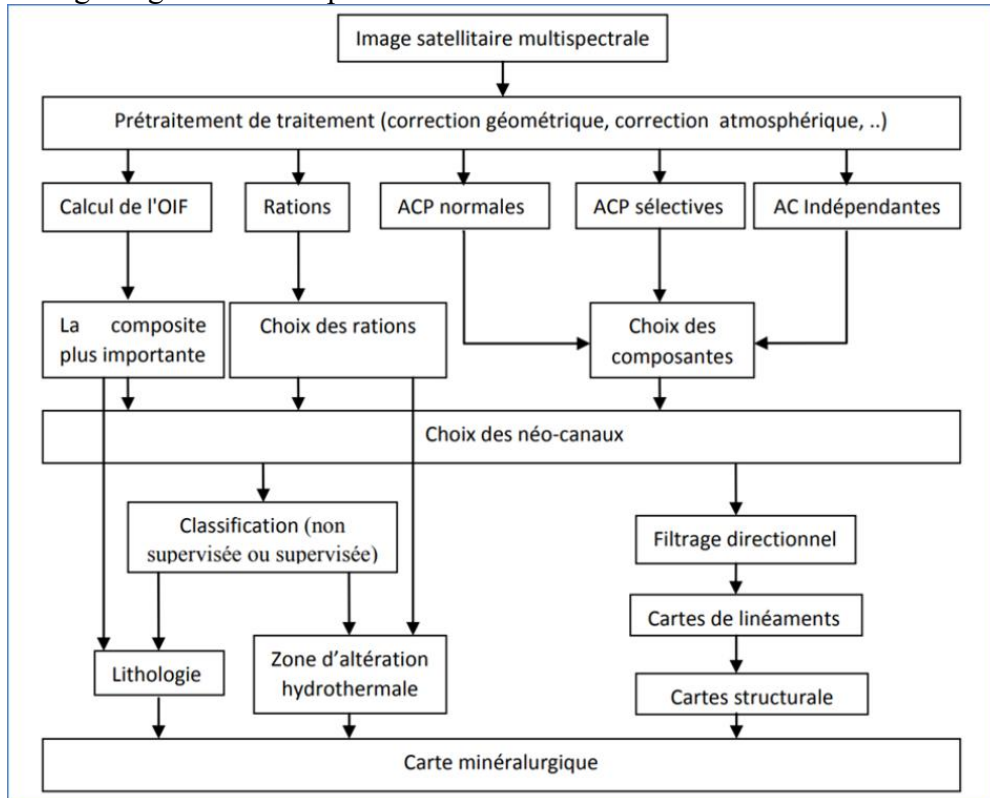


Figure 3 : Schéma récapitulatif du modèle de traitement. (El Atillah, A., et al., 2018)

Résultats

Les traitements numériques appliqués aux images Landsat 8 OLI/TIRS et leur intégration sous SIG ont permis de générer une série de données thématiques quantitatives et qualitatives essentielles pour le ciblage aurifère dans le territoire de Wamba.

Discrimination lithologique supervisée

La classification supervisée, calibrée par des données de terrain et d'anciennes cartes minières, a permis de cartographier sept classes lithologiques majeures.

- Les schistes et migmatites : Dominent la partie centrale, affichant des teintes caractéristiques sur les compositions colorées 7-5-3.

- Les Banded Iron Formations (BIF) : Apparaissent sous forme de crêtes allongées, cruciales car elles agissent comme des pièges chimiques pour l'or.
- Les intrusions granitiques : Identifiées comme des corps massifs influençant la structuration régionale.

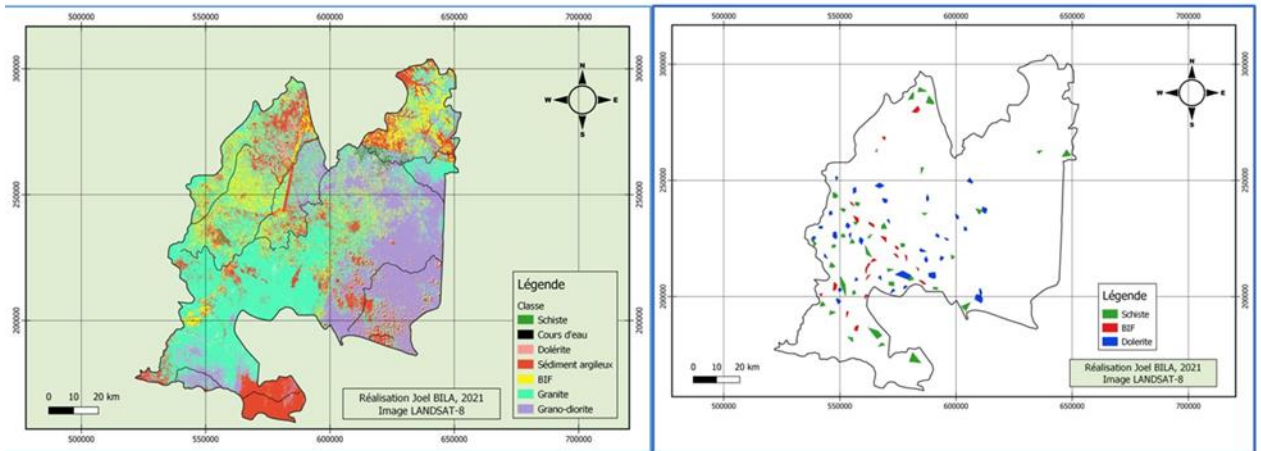


Figure 4 : Couverture lithologique et la distribution spatiale des schistes, BIF et dolérites (formations supposées regorger la minéralisation) dans le territoire de Wamba



Figure 5 : Les faciès lithologiques observés sur terrain ;
(a) bif, (b) schiste, (c) dolérite, (d) granite.

Analyse statistique du réseau de fractures

Le traitement a révélé un réseau complexe de 6551 fractures.

- Direction Prédominante : L'orientation majeure est NNE-SSW ($N20^{\circ}-30^{\circ}$), ce qui correspond à la rotation de la structure régionale du KZ Trend observée à Kibali. (Vargas, C. A., Allibone, A., et al., 2018).

- Directions Secondaires : Les familles NE-SW et N-S jouent un rôle de connectivité entre les structures majeures.
- Densité : Les zones de forte densité linéamentaire coïncident avec les zones de cisaillement intense, zones privilégiées pour la circulation des fluides hydrothermaux.

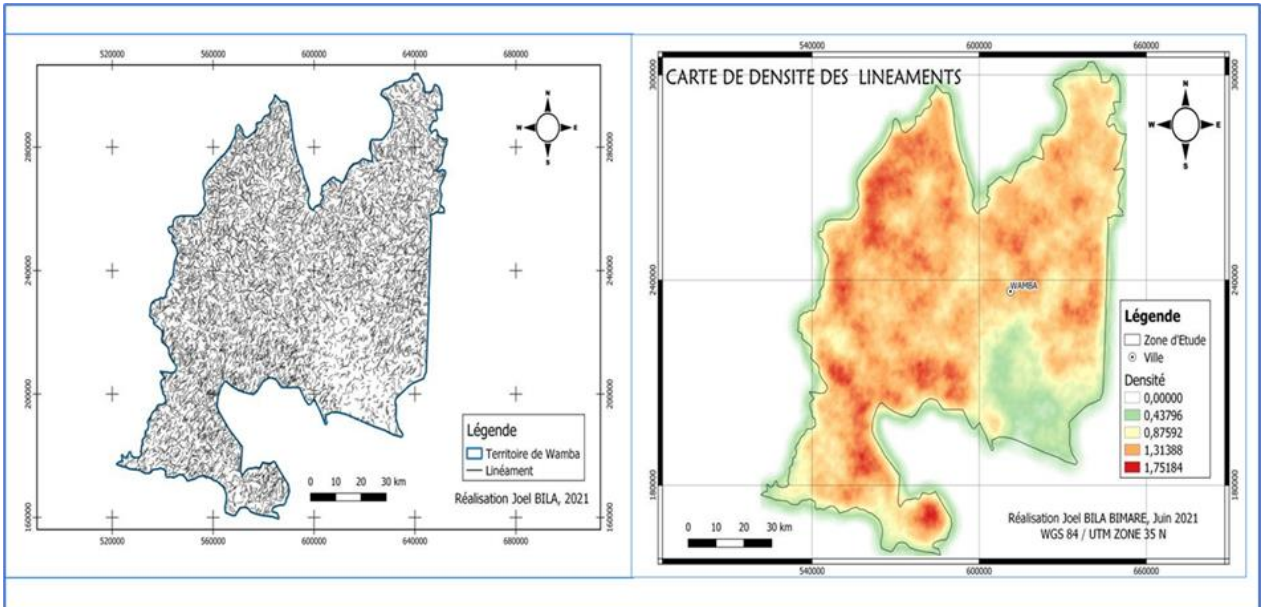


Figure 6 : Linéament extrait et densité des linéament dans le territoire de Wamba

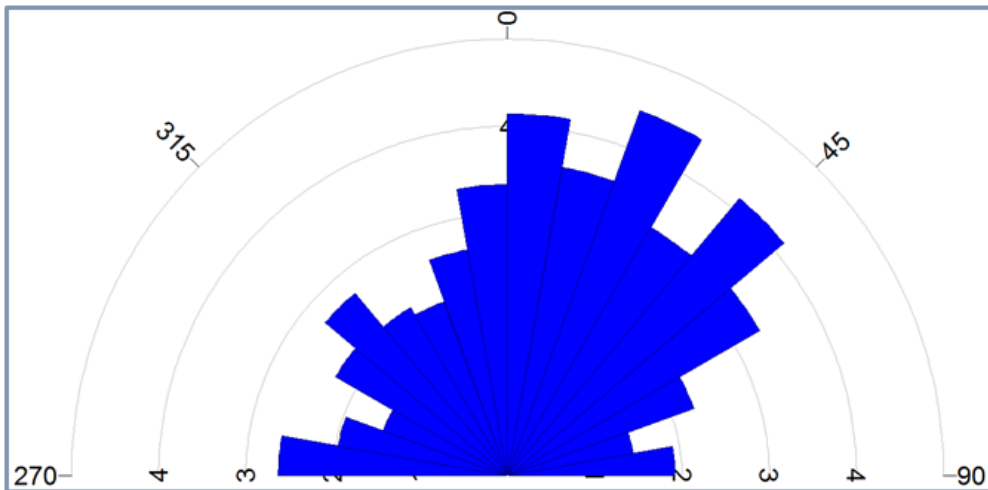


Figure 7 : Rosace directionnelle en nombre des fractures

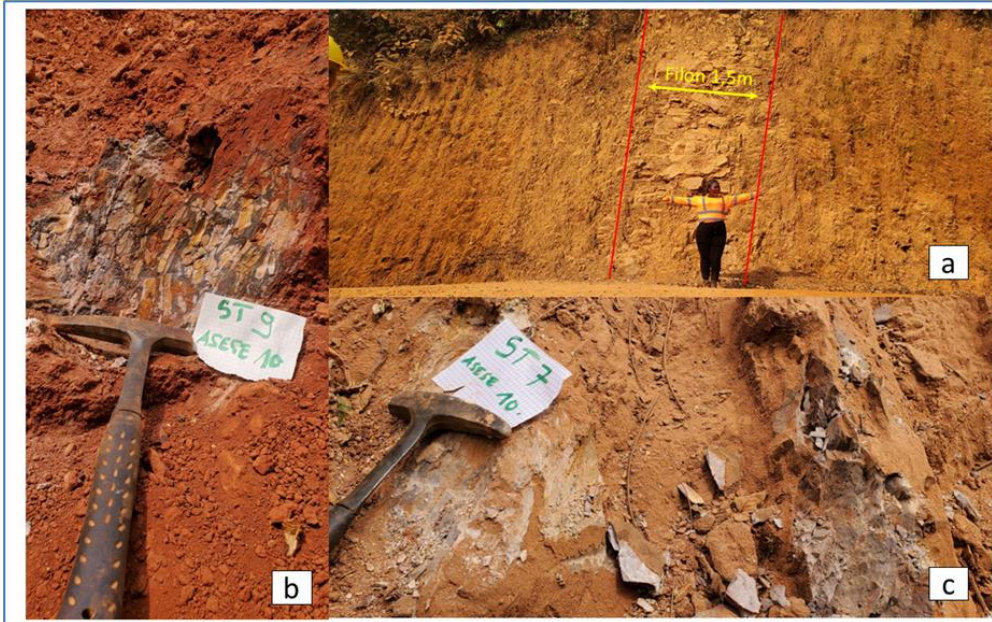


Figure 8 : (a) un paroi montrant un filon recoupant le contact entre le schiste et le bif ; (b) un affleurement de Bif-Sil ou simplement un bif silicifié (c) un schiste oxydé.

Cartographie des halos d'altération hydrothermale

L'utilisation des rapports de bandes a permis d'isoler les zones de transformation minéralogique liées aux fluides minéralisateurs.

- ❖ Rapport 4/2 : A mis en évidence des zones riches en oxydes de fer (hématite, goéthite), souvent situées en bordure des structures majeures.
- ❖ Rapport 6/7 : A discriminé les minéraux hydroxylés et les argiles (séricite/kaolinite). Sur le terrain, ces anomalies coïncident avec des affleurements de schistes très silicifiés observés dans les puits artisanaux.
- ❖ Signature BIF (6/5) : A permis d'affiner la délimitation des formations ferrugineuses silicifiées.



Figure 9 : (a) On observe sur cet affleurement de schiste une forte silicification dans un filon quartz minéralisé en Or au contact avec une mince couche de kaolinite, et cette couche de Kaolinite sert de marqueur d'halo d'altération hydrothermale autour de ce filon aurifère ; localisé dans un puits d'exploitation artisanale de l'or (b) Un affleurement de schiste très silicifié par altération hydrothermale porteur de la minéralisation dans cette région

Identification et priorisation des cibles

Le croisement multicritère sous SIG des densités de fractures, des contacts lithologiques (BIF/Schistes) et des anomalies d'altération a permis d'isoler six cibles :

- ❖ **Cibles de Priorité 1 (3 sites) :** localisées principalement au Sud et à l'Ouest, elles présentent une convergence totale de tous les indicateurs (forte densité structurale, présence de BIF et altération marquée).
- ❖ **Cibles de Priorité 2 (3 sites) :** Situées au centre de la zone, elles présentent des indices structuraux favorables mais des signatures d'altération plus diffuses.

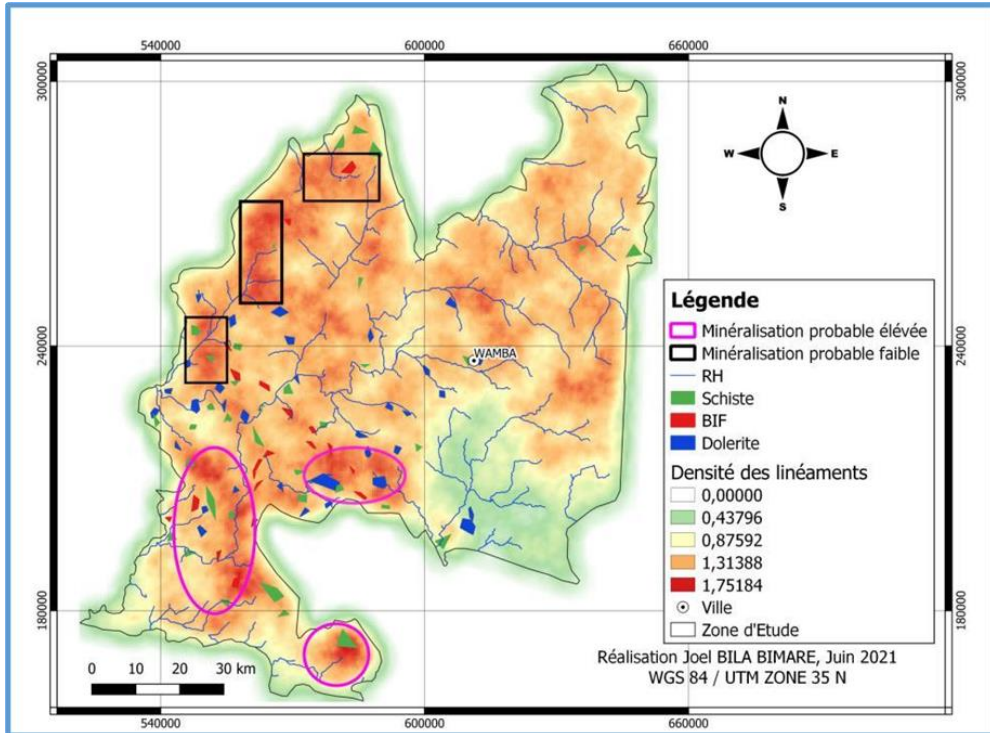


Figure 10 : Environnement géologique indispensable à la minéralisation aurifère



Figure 11 : (a) lavage à la batée ou panning (affinage manuel pour séparer l'or) (b) l'or concentré (c) exploitation artisanale de l'or par les orpailleurs. Situés dans la zone considérée comme cible priorité 1

Discussion des résultats

La convergence des indicateurs numériques et des observations de terrain permet de valider le potentiel aurifère du secteur et de hiérarchiser les cibles identifiées.

Analyse statistique du réseau de fractures

L'analyse statistique de la fracturation a mis en évidence un réseau complexe de 6.551 linéaments. La direction prédominante NNE-SSW (N20°-30°), complétée par les familles NE-SW et N-S, est d'une importance capitale. Ces orientations sont en corrélation étroite avec la structure régionale majeure appelée « KZ Trend », qui s'étend sur plus de 60 km et contrôle les gisements de classe mondiale du district de Moto (Vargas, C. A., Allibone, A., et al., 2018).

Dans le système Kibalien, ces structures de cisaillement ont servi de conduits principaux pour la migration des fluides hydrothermaux riches en H₂O-CO₂ (Barrick gold corporation., 2022). La forte densité de linéaments observée dans les parties Sud et Sud-Ouest de Wamba indique une zone de perméabilité structurale intense, condition indispensable au piégeage de la minéralisation aurifère orogénique.

Contrôle lithologique et rôle des banded iron formations (BIF)

La classification supervisée a permis d'individualiser sept classes, dont les schistes, les BIF et les dolérites, principalement localisés au Sud-Ouest. Selon le modèle de l'or orogénique en vigueur dans la ceinture de roches vertes de Moto, les BIF et les cherts fracturés agissent comme des pièges physiques (par contraste de ductilité) et des pièges chimiques (par réaction des fluides avec les minéraux ferreux).

L'identification de crêtes allongées de BIF superposées à des zones de cisaillement (linéaments) constitue un critère de ciblage de premier ordre. Les meilleures minéralisations sont souvent hébergées dans les BIF cisailés et bréchifiés sur les marges des zones de déformation.

Interprétation des halos d'altération hydrothermale

L'application des rapports de bandes (4/2 et 6/7) a révélé des anomalies spectrales caractéristiques. Ces signatures correspondent aux assemblages d'altération hydrothermale identifiés sur les sites de Kibali :

- L'assemblage ACSA-A (quartz-ankérite-séricite), détecté par le rapport 6/7 (minéraux hydroxylés/argiles), qui forme souvent un halo étendu autour des zones minéralisées.
- L'assemblage ACSA-B (sidérite-pyrite), plus restreint, qui est spatialement associé de manière destructive aux corps minéralisés et

détecté par les anomalies d'oxydes de fer (Barrick gold corporation., 2022).

La présence de ces halos d'altération, observés également sur les parois silicifiées des puits artisanaux à Wamba, confirme que les fluides minéralisateurs ont effectivement circulé dans les zones cibles détectées par satellite.

Synthèse et priorisation des cibles d'exploration

La superposition multicritère sous SIG a permis d'identifier six cibles, dont trois sont qualifiées de « haute priorité ». Ces sites présentent une convergence parfaite entre :

1. Une forte densité linéamentaire (zones de cisaillement).
2. La présence de BIF fracturés au contact des schistes.
3. Des anomalies d'altération marquées (halos sériciteux et oxydes de fer).

La validation de ces cibles par des images de terrain montrant des activités d'orpaillage (lavage à la batée, puits artisanaux) dans les secteurs de priorité 1 prouve l'efficacité de cette approche numérique pour orienter la prospection.

Avantages et limites de l'approche multispectrale

Le couplage télédétection et SIG offre un avantage économique majeur pour couvrir les zones inaccessibles et à couverture végétale dense du territoire de Wamba. Cependant, la résolution spatiale de Landsat 8 (30m) limite la détection directe des filons de quartz plurimétriques. Bien que l'image ASTER soit jugée plus performante pour la discrimination minéralogique fine grâce à ses bandes SWIR, notre modèle basé sur Landsat 8 fournit un guide de reconnaissance solide et fiable.

Conclusion

Cette étude a démontré la puissance de l'intégration des données de télédétection multispectrale (Landsat 8 OLI/TIRS) et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) dans l'élaboration d'un guide de prospection aurifère pour le territoire de Wamba. L'approche méthodologique, rigoureusement appuyée sur le calcul de l'Optimum Index Factor (OIF) pour la sélection des bandes et sur l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour l'extraction structurale, a permis de pallier les contraintes majeures de la région, notamment son inaccessibilité et sa couverture végétale dense.

L'analyse a mis en évidence un réseau de 6.551 linéaments, dominé par une direction majeure NNE-SSW. Cette orientation n'est pas fortuite : elle s'aligne parfaitement sur le "KZ Trend", la structure régionale majeure qui contrôle les gisements aurifères de classe mondiale dans la ceinture de roches

vertes de Moto. Le croisement spatial des unités lithologiques clés (schistes et Banded Iron Formations) avec les halos d'altération hydrothermale (détectés par les rapports de bandes 4/2 et 6/7) a permis d'identifier six cibles d'exploration.

Trois de ces cibles sont qualifiées de "haute priorité" en raison de la convergence exceptionnelle des indicateurs litho-structuraux et spectraux. La présence d'activités minières artisanales (orpaillage) dans ces secteurs spécifiques constitue une validation empirique directe de notre modèle numérique. Cette méthodologie offre aux opérateurs miniers un outil d'aide à la décision à la fois rapide et économique, réduisant considérablement les risques financiers liés aux premières phases de reconnaissance.

Pour transformer ces cibles prospectives en ressources prouvées, nous recommandons les étapes suivantes :

1. Validation de terrain (Ground-truthing) : Engager des campagnes de prélèvements géochimiques (sols et sédiments de ruisseaux) pour confirmer les teneurs en or.
2. Analyse des éléments traceurs (Pathfinders) : Prioriser l'analyse de l'Arsenic (As) et de l'Antimoine (Sb), qui sont des indicateurs d'accompagnement critiques dans le Kibalien.
3. Télédétection à haute résolution : Utiliser des images à plus haute résolution spatiale ou des capteurs hyperspectraux (type ASTER ou PRISMA) pour affiner la cartographie des veines de quartz et des zones de cisaillement millimétriques.

En définitive, ce travail ne remplace pas la géologie de terrain classique, mais s'établit comme un complément indispensable. La généralisation de ce modèle à l'ensemble de la province du Haut-Uélé constituerait un atout majeur pour la relance durable du secteur minier en République Démocratique du Congo.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Affian K., Brou F. A., Djagoua É. V., Robin M., Azagoh M. C., N'guessan P., Kouame F., Saley M. B. Et Biémi J. (2004). Contribution de la télédétection à la recherche de gisement d'or dans

- la région d'Angovia en Côte d'Ivoire. *Téledétection*, vol. 4, n°3, pp. 277-288.
2. Allibone A. H., Vargas C. A., Jogens R., Mackenzie D. Et Holliday J. (2020). Geologic map of central and eastern equatorial Africa showing the distribution of Archean and Proterozoic rocks in the Congo craton. *Barrick Technical Report*.
 3. Antoine D. (2015). *Guide pratique et rapide pour l'acquisition de l'image LANDSAT et la réalisation d'une analyse diachronique type*. Université de Liège, 10 p.
 4. Barrick Gold Corporation. (2022). *Technical Report on the Kibali Gold Mine, Democratic Republic of the Congo*. Effective Date: 31 December 2021.
 5. Biemi J. (1992). *Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest*. Thèse de Doctorat d'État, Univ. Nat. Côte d'Ivoire.
 6. Boubacar F. Et Konaté M. (2020). Utilisation de la télédétection et du SIG pour la cartographie des zones minéralisées en or dans la province panafricaine du sud-est du Niger. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 36, pp. 230-252.
 7. Chavez P. S., Berlin G. L. Et Sowers L. B. (1982). *Optimum Index Factor (OIF)*. American Society of Photogrammetry.
 8. Diakite Y., Ahoussi K. E., Soumahoro S., Et Toure I. (2019). Application d'un système d'information géographique (SIG) pour la mise en évidence des formations abritant la minéralisation aurifère en Côte d'Ivoire : cas du département de Katiola. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, Vol. 40, N° 2, pp. 345-358.
 9. El Atillah A., El Morjani Z. E. A., Et Souhassou M. (2018). Utilisation de l'image multispectrale pour l'exploration et la recherche des ressources minérales : État des connaissances et proposition d'un modèle de traitement. *European Scientific Journal*, Vol. 14, No. 24.
 10. El Hadani D. (1997). Télédétection et systèmes d'information géographique pour la gestion et la recherche de l'eau. *Géo-observateur*, 1, 28 p.
 11. Fernandez-Alonso M., Kampata D., Mupande J.-F., Dewaele S., Laghmouch M., Baudet D., Lahogue P., Badosa T., Kalenga H., Onya F., Mawaya P., Mwanza B., Mashagiro H., Kanda-Nkula V., Luamba M., Mpoyi J., Decrée S. Et Lambert A. (2015). *Carte Géologique de la République Démocratique du Congo au 1/2.500.000, Notice Explicative*. Ministère des Mines, RDC.

12. Gaboury D. (2019). Les minéralisations aurifères d'Afrique de l'Ouest : différences et similitudes avec l'Abitibi. *Ressources Mines et Industrie*, Vol. 6, n°2, pp. 37-42.
13. Imessaoudene N. (2012). *Utilisation de la télédétection pour la cartographie géologique du massif des Eglab et de sa bordure sédimentaire (Sud-Ouest Algérie)*. Mémoire de fin d'étude, Université Ferhat Abbas - Setif.
14. Lavreau J. Et Ledent D. (1975). Établissement du cadre géochronologique du Kibalien (Zaïre). *Annales de la Société Géologique de Belgique*, T. 98, pp. 197-212.
15. Melleton J., Fournier E., Et Gloaguen E. (2018). Les techniques d'exploration minière utilisées pour la recherche de l'or. *Annales des Mines - Réalités industrielles*, pp. 5-9.
16. Nana Oumarou Baba, Ewodo Mboudou, G., Kah Elvis, F., Diguim Kepnamou A., Mohamadou Mouctar Et Messi G. (2024). Geomatics Applied to Update the Geological Map of the Benoue Upstream Watershed (BUW). *Journal of Geosciences and Geomatics*, Vol. 12, No. 4, pp. 87-95.
17. Omasombo Tshonda J. (dir.). (2011). *République démocratique du Congo. Haut-Uele. Trésor touristique*. Séries « Monographies des provinces de la RD Congo ». Vol. 2. Bruxelles-Tervuren : Le CRI-MRAC.
18. Ouedraogo B., Pale S., Et Ki I. (2020). Apport de la télédétection et des SIG à l'exploration d'un site aurifère : Cas de Dodougou au Burkina Faso. *Revue burkinabè de la recherche, Sciences naturelles et appliquées*, Vol. 39, n°1.
19. Slimene S. (2017). *Extraction semi-automatique des linéaments et des indicateurs morphométriques dans un environnement SIG pour la caractérisation morphostructurale de la région de Nefza*. Thèse de Doctorat, Université de Tunis El Manar.
20. Vargas C. A., Allibone A., Jongens R., Mackenzie D. Et Holliday J. (2018). *Geology and controls on mineralization at the Archean Kibali (KCD) gold deposit, NE DRC*. Presentation, December 2018.
21. Woodtli R. (1956). *La structure de Kilo, contribution à l'étude des fossés africains*. Académie royale des sciences coloniales, Mémoire in 8°, Tome VI, Fasc. 2.
22. Yao T. K., Fouché-Grobla O., Yéi Oga M. S., Et Assoma, V. T. (2012). Extraction de linéaments structuraux à partir d'images satellitaires, et estimation des biais induits, en milieu de socle précambrien métamorphisé. *Revue Télédétection*, 10, pp. 161-178.