

Application du SIG et télédétection pour la mise en évidence des zones abritant la minéralisation aurifère : Cas du territoire de Wamba en RDC

Mando Eliezer
Judith Basekawike
Yannick Neiki

Géologue chercheur, personnel scientifique à l'Université de l'Uélé, RDC

Doi: 10.19044/esipreprint.10.2025.p68

Approved: 08 October 2025
Posted: 10 October 2025

Copyright 2025 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Eliezer, M., Basekawike, J. & Neiki, Y. (2025). *Application du SIG et télédétection pour la mise en évidence des zones abritant la minéralisation aurifère : Cas du territoire de Wamba en RDC*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.10.2025.p68>

Résumé

La présente étude, vise à élaborer un guide de prospection stratégique de l'Or dans le territoire de Wamba en République Démocratique du Congo ; avec la considération des indicateurs de la minéralisation en utilisant la télédétection et le Système d'Information Géographique. L'objectif est de mettre en évidence, à partir de la télédétection, la relation qui existe entre la lithologie, les linéaments et la minéralisation afin de déterminer les sites probablement minéralisés en Or. La démarche méthodologique intègre des informations géologiques acquises à partir des images Landsat8 et une analyse SIG multicritères. La superposition des différentes cartes de lithologie, des linéaments et la considération des indicateurs à la minéralisation aurifère ont permis de réaliser le zonage des sites susceptibles de contenir des concentrations de minerais d'or dans le territoire de Wamba. Ainsi, six cibles d'exploration aurifère ont été détectées dont trois sont qualifiées de très significatives à la découverte de l'or.

Mots clés : SIG, Télédétection, Exploration aurifère, modélisation, réseaux hydrographiques, Territoire de Wamba

Application of GIS and remote sensing for identifying areas hosting gold mineralization: Case of the Wamba territory in the DRC

Mando Eliezer
Judith Basekawike
Yannick Neiki

Géologue chercheur, personnel scientifique à l'Université de l'Uélé, RDC

Abstract

The present study aims to elaborate a strategic prospecting guide for gold mineralization in the Wamba territory in the Democratic Republic of Congo, considering mineralization indicators using remote sensing and the Geographic Information System. The objective is to highlight, from remote sensing, the relationship between lithology, lineaments and mineralization in order to determine the sites likely to be mineralized with gold. The methodological approach integrates geological information acquired from Landsat8 images and a multi-criteria GIS analysis. By superimposing the various lithology maps, lineaments and by considering indicators of gold mineralization, it was possible to zonally identify sites likely to contain concentrations of gold ores in the Wamba territory. Six gold exploration targets have been identified, three of which are considered highly prospective for gold.

Keywords: GIS, remote sensing, gold exploration, modeling, hydrographic networks, Wamba Territory

Introduction

La géologie est l'étude des formes de terrain, des structures et de l'écorce terrestre, et a pour but de comprendre les processus physiques qui modifient la croûte terrestre. Elle est généralement perçue comme étant l'exploration et l'exploitation des ressources minérales et pétrolières dans le but d'améliorer les conditions de vie de la société.

La cartographie de la géologie de la République Démocratique du Congo connaît des insuffisances, malgré les travaux engagés depuis le temps colonial (**Fernandez-Alonso, M. et al, 2015**). Le choix de l'échelle pour la cartographie géologique (1/2.500.000) a beaucoup d'influence sur la pertinence et la justesse des résultats obtenus.

Bien que des nombreuses études sont faites, les sociétés d'exploration minières peinent à découvrir un gisement. Cela s'explique par le fait que les

bases d'informations géologiques mises en place par les méthodes conventionnelles et anciennes sont insuffisantes, incomplètes et ne répondent que partiellement aux exigences d'une bonne exploration.

L'objectif de ce travail est de déterminer les sites probables de minéralisation aurifère à l'aide de la télédétection et des SIG. En d'autres termes, c'est utilisé la télédétection pour orienter les prospecteurs vers des zones susceptibles de contenir des concentrations intéressantes de minerais d'or dans l'ensemble du territoire de Wamba. Cette méthode permet de minimiser considérablement les risques économiques encourus pendant les phases ou campagnes de prospection.

Le territoire de Wamba, comme l'ensemble de la province, fait partie du système kibalien (âge protérozoïque inférieur 2500-1600Ma) et est dominé par les micaschistes et les migmatites comprenant des séquences amphibolitiques et des roches vertes. Il a été intrudé par des granites et des pegmatites accompagnées de filons de quartz aurifères.

Presentation 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).

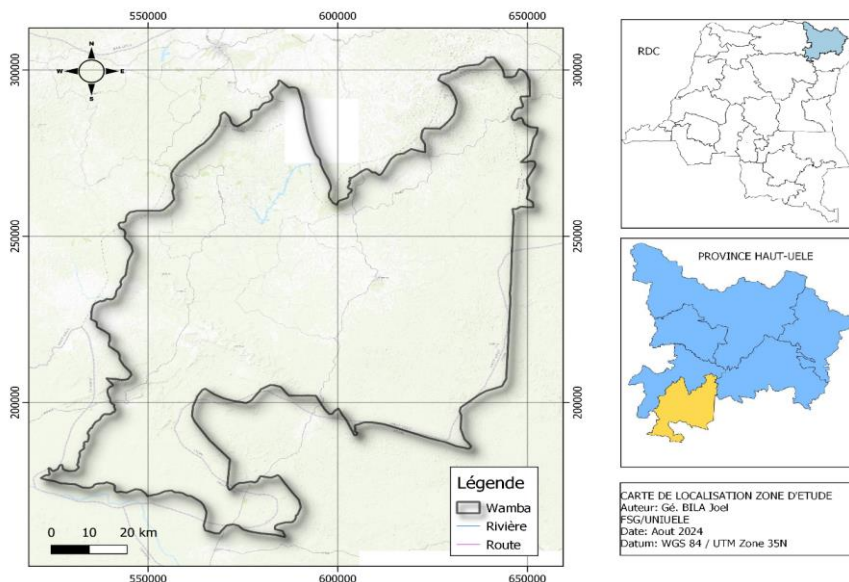


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

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).

Materiels et methodes utilises

Materiels

Données disponibles

Les données géo-scientifiques du type cartographique comportent d'une part les anciennes cartes géologiques obtenues auprès de la division des Mines du Haut-Uélé, la carte d'exploitation artisanale de la région obtenue auprès du service de SAEMAP ; et d'autre part, la carte minière révisée de la province du Haut-Uélé par la Division de Mine.

Et pour compléter cette liste des données, des images Landsat 8 OLI/TIRS (LANDSAT-SCENE-ID) :

- ☞ LC08_L1TP_174058_20190923_20190926,
- ☞ LC08_L1TP_174059_20181225_20181225,
- ☞ LC08_L1TP_175058_20181114_20181128,
- ☞ LC08_L1TP_175059_20190202_20190206 ;

Couvrant le territoire de Wamba, ont été téléchargées sur le site USGS à l'adresse suivante <https://www.earthexplorer.usgs.gov/>. Elles sont acquises entre 2018 - 2020. Path 174 et 175, Row 058 et 059.

Logiciels

Pour faire, nous nous sommes servis des logiciels :

- **ENVI** (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. Nous avons utilisé la version ENVI 5.0.
- **PCI GEOMATICA**: Est un logiciel 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. La version 2016 a été utilisée dans ce travail.

- **ArcGIS** : 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 travailler 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.

Methodes

Prétraitement

Les prétraitements permettent de préparer les images avant la réalisation des traitements thématiques. Ils ne produisent pas de nouvelle information. (A. DENIS, 2015). Ces traitements sont effectués à l'aide du logiciel ENVI 5.0.

Parmi ces prétraitements, nous avons utilisés :

1) *Layer stacking*

C'est la combinaison des bandes spectrales individuelles dans une image unique multi-bandes. Lors de l'ouverture simple d'une image, et que les différentes bandes spectrales de l'image sont affichées séparément, il est pratique, avant de faire d'autres traitements, de combiner les différentes bandes spectrales d'une image en une seule image unique multi-bandes. L'image résultante est de la sorte plus facilement manipulable car l'ensemble des traitements pourront s'appliquer simultanément sur l'ensemble des bandes spectrales regroupées, ce qui n'aurait pas pu être le cas autrement.

2) *Découpe de l'image sur la zone d'intérêt (spatial subset)*

Les images LANDSAT couvrent une zone relativement grande (± 180 km de côté). Les zones étudiées sont souvent plus petites et se retrouvent au sein d'une seule image. Dans ce cas, il convient, afin de réduire

la taille des données manipulées et d'accélérer la vitesse des traitements, de découper l'image afin de ne garder que la partie intéressante.

3) *Mozaïcage*

Le mozaïcage consiste en un assemblage d'images satellitaire (scènes landsat-8) pour l'extraction de la zone d'étude.

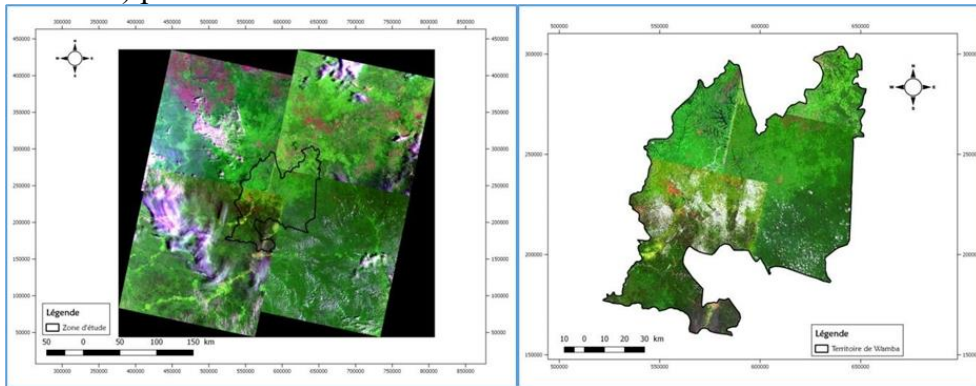


Figure 2 : (01) Mozaïcage avec surimpression de la zone d'étude et (02) extraction de la zone d'étude

Les différents traitements utilisés

Le traitement de la scène Landsat-8 de la zone d'étude a porté sur :

- Des traitements pour la caractérisation des différentes formations affleurant dans la région tels que les compositions colorées (CC) et l'analyse en composantes principales (ACP) ;
- Des traitements pour l'identification des linéaments en les rehaussant par filtrage directionnel et spatial.

La Cartographie Lithologique

La composition colorée ou affichage en fausses couleurs :

Les images de télédétection sont en mode RASTER ; où l'espace est divisé en unités spatiales élémentaires appelées pixel (Picture element) portant chacun une valeur radiométrique renseignant sur sa luminosité et sa couleur. Ainsi, un fichier raster peut être constitué d'un ou plusieurs plans de couleurs (ou groupes de valeurs radiométriques) et chaque plan image correspond à une bande spectrale précise, c'est-à-dire à une longueur d'onde dans laquelle l'image a été acquise par les différents canaux radiométriques du satellite. En codant les canaux de même résolution (30m, Bandes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 9) d'une image Landsat8 avec les trois couleurs fondamentales (rouges, vert et bleu), on peut élaborer plusieurs compositions colorées.

- ***Choix des combinaisons de bandes en composition colorée :***

La variété des canaux Landsat-8 OLI/TIRS nous offre une multitude de choix pour réaliser les combinaisons tertiaires RGB. Cependant, il arrive que ces combinaisons soient très corrélables, c'est-à-dire que l'information

portée se répète dans plusieurs bandes. Pour échapper à cette répétitivité et choisir les compositions RGB les plus importantes, une étude statistique pour les bandes de même résolution spatiale (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 9) est effectuée. Ainsi, le coefficient de corrélation des six bandes et leurs déviations standards sont calculés. (IMESSAOUDENE N., 2012)

Nous avons réalisé, une composition colorée en fausse couleur dont le traitement a consisté à combiner les bandes 7-5-3 qui nous a permis de mettre en évidence les matériaux géologiques.

Classification et vectorisation de l'image classifiée

Il existe différentes types de méthodes de classifications :

- Classification supervisée : l'opérateur définit lui-même les classes à produire (nombre, caractéristique spectrale,...) ;
- Classification non-supervisée : le logiciel définit lui-même les classes ;
- Classification par pixel : chaque pixel est classifié individuellement et indépendamment des pixels voisins ;
- Classification par objet : l'image est d'abord découpée en objet (1 objet = 1 ensemble de pixels voisins spectralement homogène) au cours d'une étape de « segmentation ». Ensuite, les caractéristiques de ces objets sont utilisées pour les classifier.

Pour ce travail, nous avons utilisé la classification supervisée.

Signalons que pour réaliser une classification supervisée d'une image satellite sous entend que vous possédez une très bonne connaissance de l'occupation du sol réelle de la zone de l'image à l'époque où l'image a été prise. Nous nous sommes servis des anciennes cartes géologiques et des travaux ultérieurs, y compris google earth et une descente sur terrain pour confirmation.

1) Définition du nombre de classes spectrales

A partir de l'examen de la composition colorée de la zone à classifier (également avec l'amélioration de contraste), nous avons réussi à identifier 7 classes (figure 14) de signatures spectrales différentes correspondants à chaque taxon de la légende.

2) Sélection des aires d'entraînement ou ROI (Region Of Interest) pour chaque classe

Il s'agit de sélectionner un minimum de 30 pixels spectralement représentatif de chaque signature spectrale identifiée précédemment. Ces échantillons, ou aires d'entraînement serviront à la calibration de notre classification. Elles sont définies à l'écran par la numérisation d'un ou plusieurs polygones pour chaque classe spectrale. Sur base des polygones ainsi définis, l'extraction automatique des valeurs de pixels contenues à l'intérieur des polygones et le calcul de leur moyenne écart-type produiront

la signature spectrale de chaque classe à partir des 3 canaux de l'image. (A. DENIS, 2015).

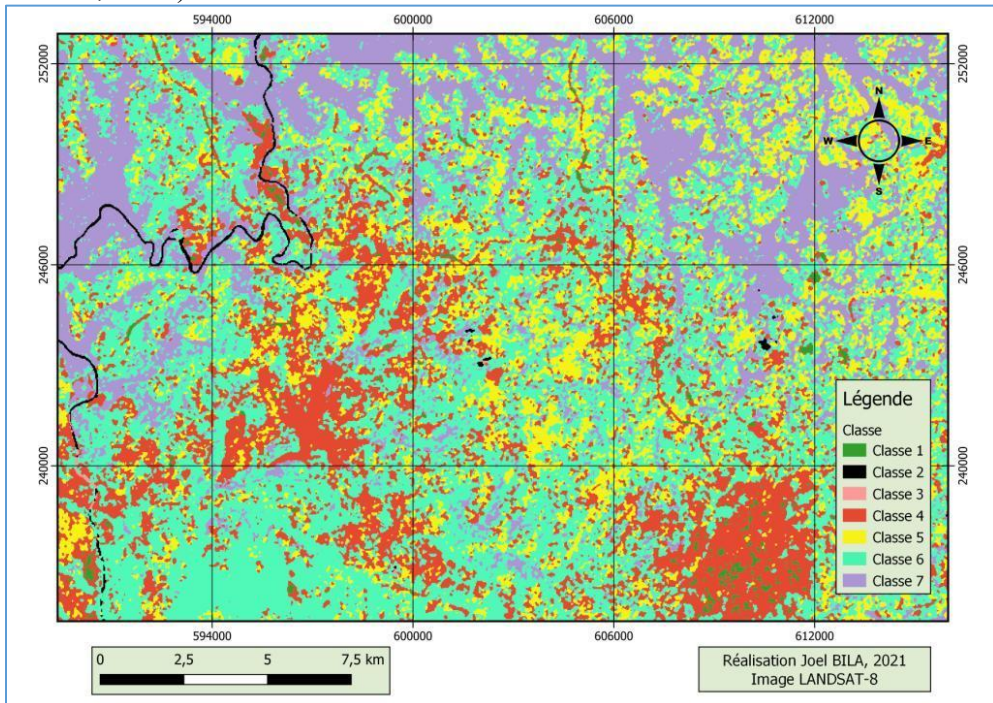


Figure 3: Les différentes classes de signatures spectrales de la zone d'étude

L'analyse structurale et la cartographie des lineaments

L'analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales (ACP) permet de réduire l'information contenue dans plusieurs bandes en un nombre plus restreint de composantes, en éliminant les informations inutiles. Parfois l'information obtenue dans 5 ou 7 bandes est ramenée en seulement 3 composantes. Cette analyse permet, entre autres, de créer des compositions colorées des trois premières composantes, ce qui favorise une interprétation visuelle, augmentant ainsi le contraste entre les divers objets au sol. (F. BOUBACAR et al, 2020).

C'est une technique efficace pour accentuer une image multi spectrale pour des fins d'interprétation géologique.

En clair, le filtre d'une image permet de lui appliquer une fonction mathématique qui modifie les valeurs du gris de tout ou une partie des pixels. Si la fonction prend en compte les valeurs du gris au voisinage de chaque pixel transformé, elle est dite fonction de convolution ; si dans le cas d'une fonction linéaire, ce filtrage est dit linéaire et se conçoit par : une analyse en composante principale de l'image en composition colorée 7-5-3 (en RGB) ;

un filtrage spatial, particulièrement un filtrage directionnel 00° à matrice 3×3 sur la composante principale puis une numérisation des linéaments.

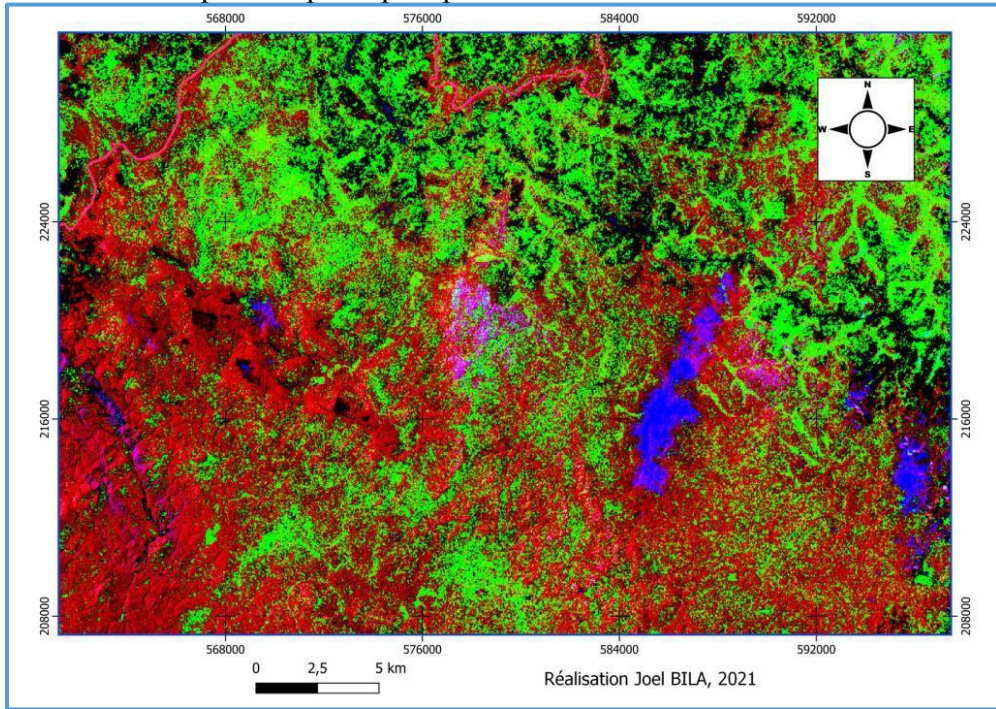


Figure 4: Analyse en composantes principales (ACP)

Ce traitement est basé sur des calculs statistiques complexes des dites bandes. 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. Ces nouvelles images qui résultent des combinaisons de bandes sont appelées composantes principales (voir ci-haut).

Extraction et vectorisation des linéaments

Une extraction automatique par laquelle on a utilisé le module LINE du logiciel GEOMATICA a été réalisée. La superposition avec la carte topographique permet d'éliminer par géotraitement toutes les structures linéaires d'origine anthropique détectées sur l'image (routes, pistes, lignes de hautes tensions).

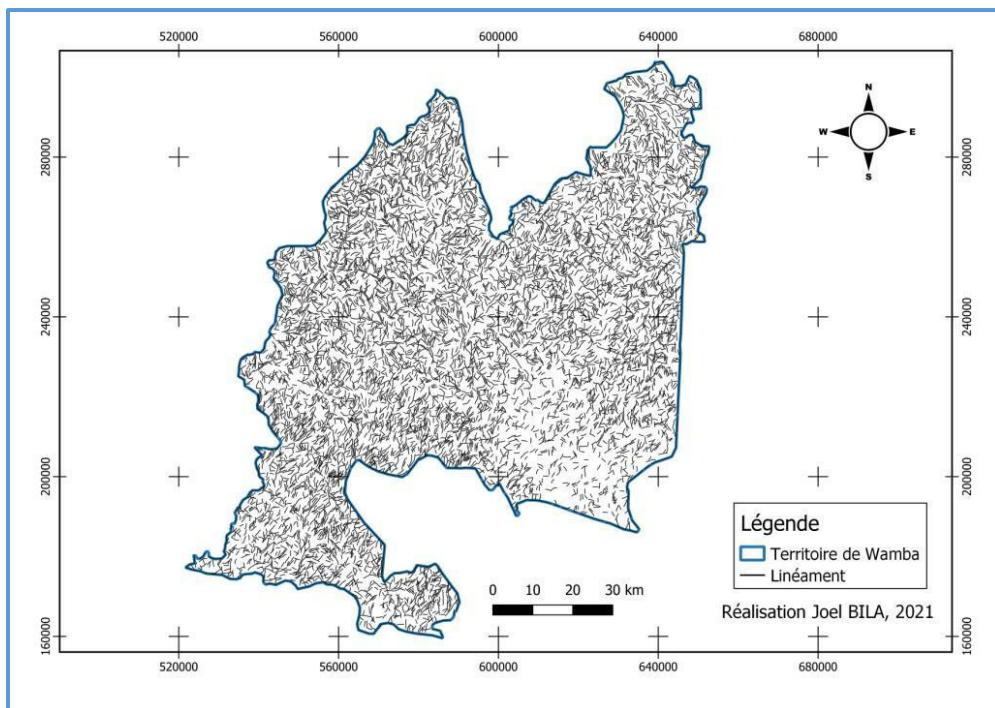


Figure 5 : Linéament extrait dans le territoire de Wamba

Les linéaments ont été détectés sur les images transformées issues de l'ACP et celles des rapports de bandes. Elles ont été filtrées avant d'être traitées avec le logiciel GEOMATICA.

Resultats et Discussions

La cartographie lithologique

Les résultats obtenus à partir du traitement de l'image a permis une bonne discrimination lithologique des unités. Ainsi, sur la figure 14 les différentes classes, les granites, les granodiorites et les dolérites apparaissent respectivement en vert claire, teinte violacé et en rose, tandis que les sédiments argileux se distinguent par leur couleur rouge.

Ainsi, les formations schisteuses se différencient par leur couleur verte des BIF représentés par des taches jaune.

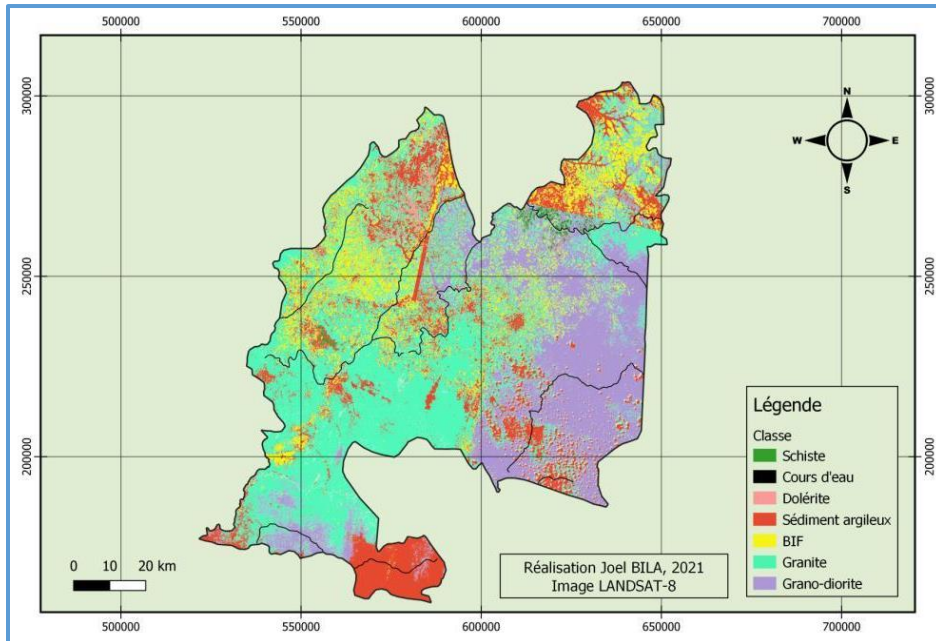


Figure 6 : Couverture lithologique du territoire de Wamba

Il est reconnu dans le kibalien que les schistes, les BIF et les dolérites (respectivement en couleur verte, rouge et bleue sur figure 6) sont des roches déterminantes dans l'étude de la minéralisation de l'or, car elles sont généralement associées au gisement aurifère. Ces formations extraites de la classification et présentées sur la figure 7, sont beaucoup localisées dans la partie Sud-ouest du territoire de Wamba.

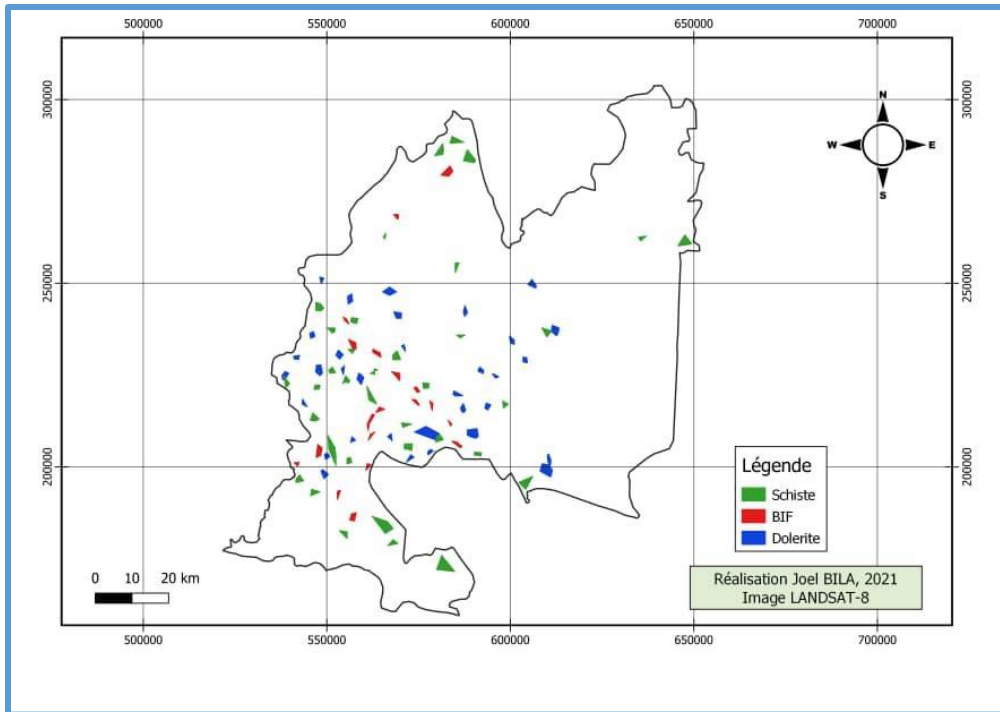


Figure 7 : Distribution spatiale des schistes, BIF et dolérites (formations supposées regorger la minéralisation) dans le territoire de Wamba

La cartographie des linéaments et l'analyse structurale

Le résultat prend la forme de plusieurs nouveaux canaux présentant un intérêt explicatif décroissant. Dans notre contexte, le choix a été porté sur la première composante principale (CP1), car elle renferme plus d'informations relatives aux linéaments.

Les filtres directionnels ont été, ensuite, appliqués aux différentes bandes spectrales en vue d'obtenir les cartes linéamentaires (figure 16). Ils améliorent la perception des linéaments, correspondant à des discontinuités lithologiques ou structurales, en provoquant un effet optique d'ombre portée sur l'image. (OUEDRAOGO B., et al, 2020).

Pour le filtrage directionnel, le rehaussement a été effectué dans plusieurs directions (0° , 45° , 90° et 135°) mais seul $\alpha=0^\circ$ a été retenu à cause de sa meilleure mise en relief des discontinuités radiométriques (fort contraste obtenu sur les images). Une participation de 05% de l'image originale dans l'image produite, et une fenêtre de convolution de 3x3 ont été jugées les plus convenables à notre étude ; permettant de voir le maximum de détails structuraux.

Analyse statistique des réseaux de fractures

L'analyse statistique du réseau de fractures a porté sur deux catégories de données :

- Le nombre de fractures recensées suivant une direction donnée ;
- La longueur cumulée des fractures dans une direction donnée.

La carte du réseau de fracture (**figure 5**) obtenue après les divers traitements met en évidence 6551 fractures de longueurs variables. Il apparaît ainsi que la distribution des fractures en nombre et en longueurs cumulées est homogènes.

- ✓ La rosace directionnelle portant sur le nombre de fractures (**figure 8**) met en relief trois directions dites préférentielles recensées suivantes : $N^{\circ}0^{\circ}-10^{\circ}$ (N-S), $N^{\circ}20^{\circ}-30^{\circ}$ (NNE-SSW), $N^{\circ}40^{\circ}-50^{\circ}$ (NE-SW).
- ✓ L'analyse statistique en longueur cumulée de fractures (**figure 9**) montre également la prédominance des trois classes directionnelles suivantes : $N^{\circ}0^{\circ}-10^{\circ}$ (N-S), $N^{\circ}20^{\circ}-30^{\circ}$ (NNE-SSW), $N^{\circ}40^{\circ}-50^{\circ}$ (NE-SW).

Cette analyse montre aussi qu'il existe une bonne corrélation entre la densité en longueurs cumulées et la densité en nombre de linéaments. Ces deux paramètres apportent donc des informations plus ou moins similaires et l'analyse de la fracturation peut se faire à partir de la répartition spatiale de l'un ou l'autre critère à savoir les densités en longueurs cumulés ou la densité en nombre de linéaments (**figure 10**).

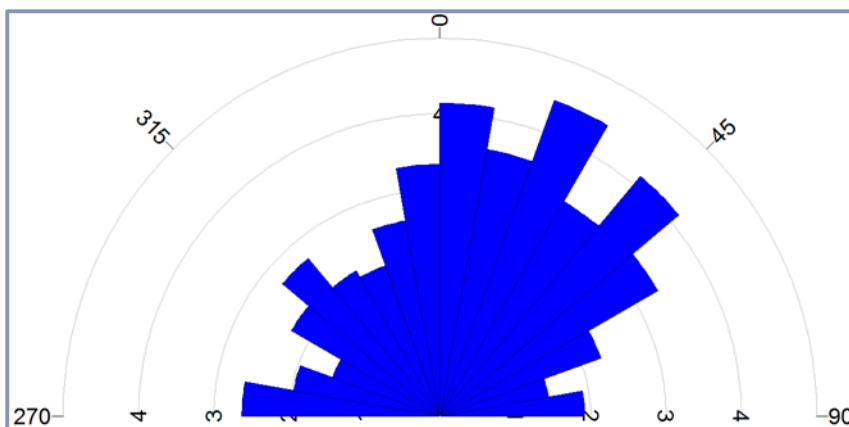


Figure 8 : Rosace directionnelle en nombre des fractures

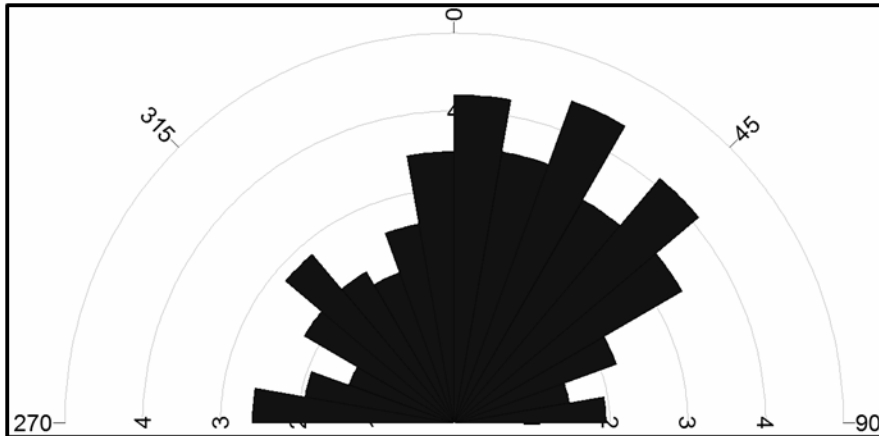


Figure 9 : Rosace directionnelle en longueur cumulée

Analyse géostatistique des fractures

La deuxième démarche de validation se repose sur l'analyse de la densité qui permet de représenter la fréquence des linéaments par unité de surface (HUNG & al. 2005). Dans notre travail, nous avons utilisé l'outil « spatial analyst » du logiciel ArcGis ce qui nous a permis de dresser la carte de densité linéamentaire (**figure 10**).

La répartition des zones à forte et à faible densité des linéaments sont superposables sur la carte de densité, mais d'intensités différentes. En effet, la densité des linéaments extraits d'une manière automatique est élevée surtout dans les régions à haute altitudes et les crêtes ainsi qu'il est clair que la plupart des zones adjacentes aux principales failles ont également une forte densité de linéaments. (S. SEDRETTE, 2017).

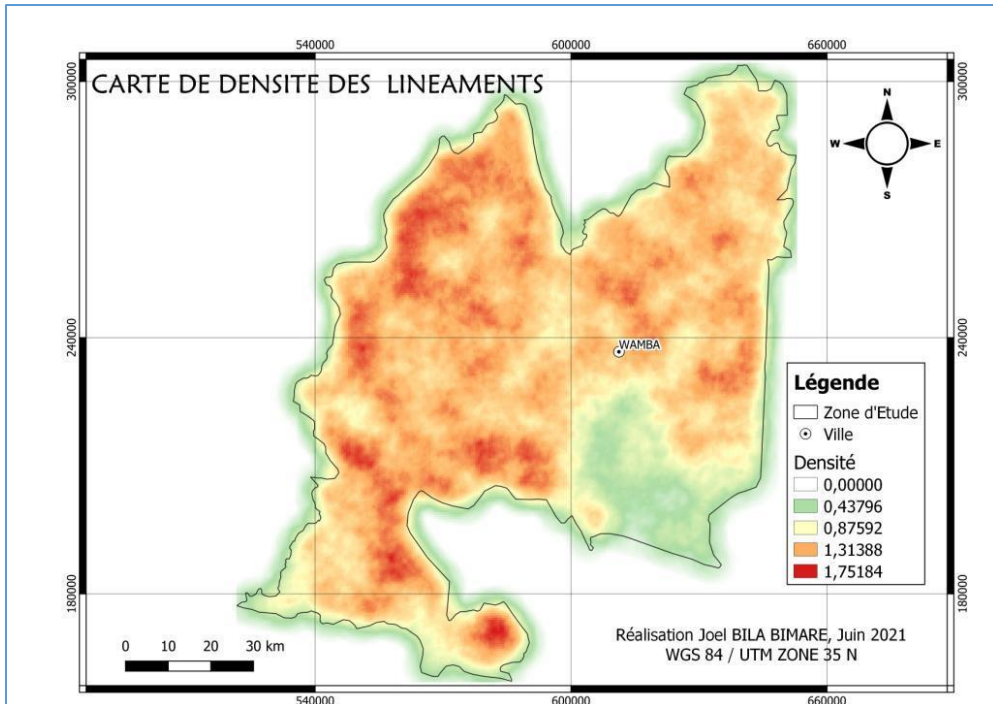


Figure 10 : Carte de densité des linéaments de Territoire de Wamba

Relations entre linéaments-lithologie et les réseaux hydrographiques

Les linéaments représentent des objets géologiques linéaires ou des alignements d'objets géologiques suffisamment proches, des discontinuités topographiques ou des structures géomorphologiques héritées d'anciennes topographies (YAO & al., 2012).

Les zones de densité élevées de linéaments sont, dans la plupart, reliées aux fortes concentrations d'éléments géochimiques et de gîtes minéraux, ce qui plaide pour un contrôle tectonique responsable de la mise en place de la minéralisation.

D'autre part, les données lithostratigraphiques de la région montrent une grande diversité de formations lithologiques. Ces contrastes tant au niveau lithostratigraphique qu'au niveau de l'orientation générale des formations rocheuses de la zone d'étude pourraient aussi justifier partiellement la densité élevée de linéaments extraits de l'image satellitaire.

Dans les régions à relief contrasté, comme c'est le cas de notre zone d'étude, les cours d'eau et le relief portent l'empreinte de la tectonique régionale (Horton, 1945 ; Biemi, 1992).

L'ensemble de ces démarches entreprises pour la validation de la carte des linéaments issus de l'image satellitaire, la densité élevée des linéaments extraits automatiques peut être expliquée par :

- Leurs faibles longueurs ;

- La détection des nouveaux linéaments tectoniques (morphométriques) ;
- Ces linéaments sont des structures linéaires ou curvilignes souvent associées à des éléments géomorphologiques et/ou à des structures tectoniques variées (El Hadani, 1997) ;
- Les limites des affleurements lithologiques ;
- Les linéaments hydrographiques surtout concernant les drains d'ordre supérieur dans la classification de Strahler.

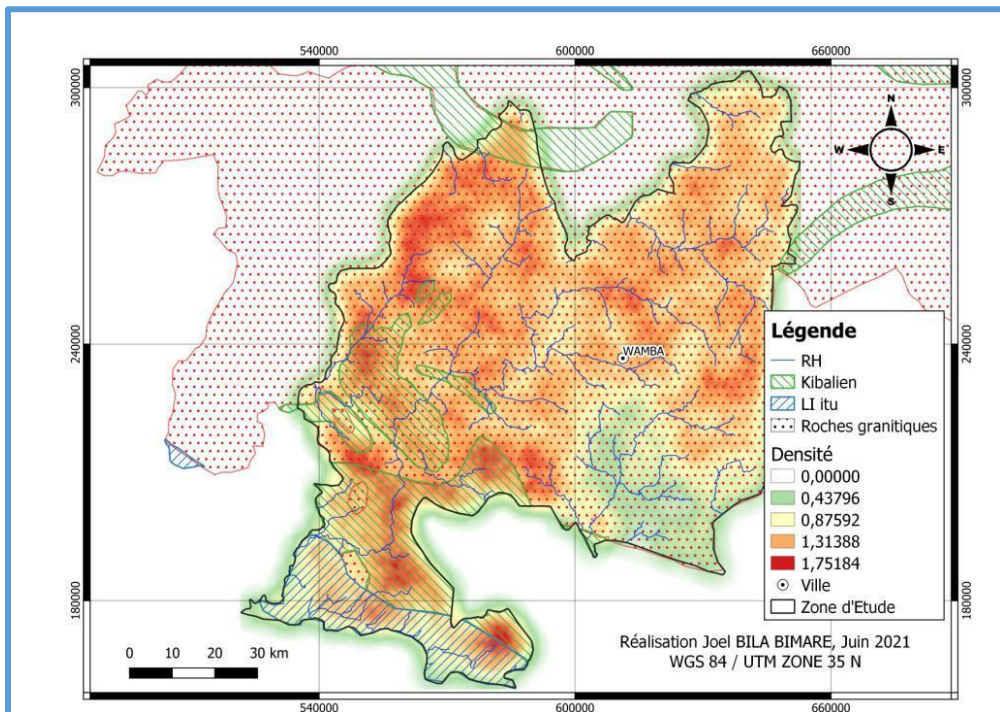


Figure 11 : Carte résiduelle de la densité des linéaments superposée à la carte des limites lithologiques et les réseaux hydrographiques

Cependant, les résultats dégagés par cette approche relatifs aux familles directionnelles majeures, cohérentes avec les résultats des travaux antérieurs entrepris dans la région (TFC, Mémoires...), et si l'on considère l'ensemble des travaux publiés sur l'extraction des linéaments à partir des images satellitaires (Thèses, Articles...), on constate que les structures géologiques contrôlent tellement la morphologie de la surface terrestre que, dans presque tous les cas, les linéaments extraits d'une image satellitaire caractérisent ces structures à un très fort degré (Scanvic, 1987). En effet, les familles directionnelles relevées concordent avec les résultats des travaux antérieurs.

Les zones des cibles d'exploration.

L'extraction des différentes couches géologiques à partir du traitement des images a servi de critère pour la cartographie de l'environnement géologique indispensable à la minéralisation aurifère.

Pour ce faire, la superposition de ces différentes couches vectorielles sous QGIS, a permis la réalisation de la carte de l'environnement géologique (**figure: 12**) ; cette figure montre la distribution spatiale et surtout l'intensité tectonique des éléments géologiques indispensables à la minéralisation de l'or, plus marquée au Sud, Sud-ouest et Ouest qu'à la partie Nord-Ouest du Territoire de Wamba. Cette carte montre également les différentes zones de convergence des indicateurs de la minéralisation d'or les plus intéressants ; plus concentrées dans les parties sud et ouest (sites jugés très importants) et dans la partie centre de la zone d'étude (autres sites jugés moyennement importants), ces zones sont favorables à la circonscription de l'exploration aurifère dans le Territoire de Wamba.

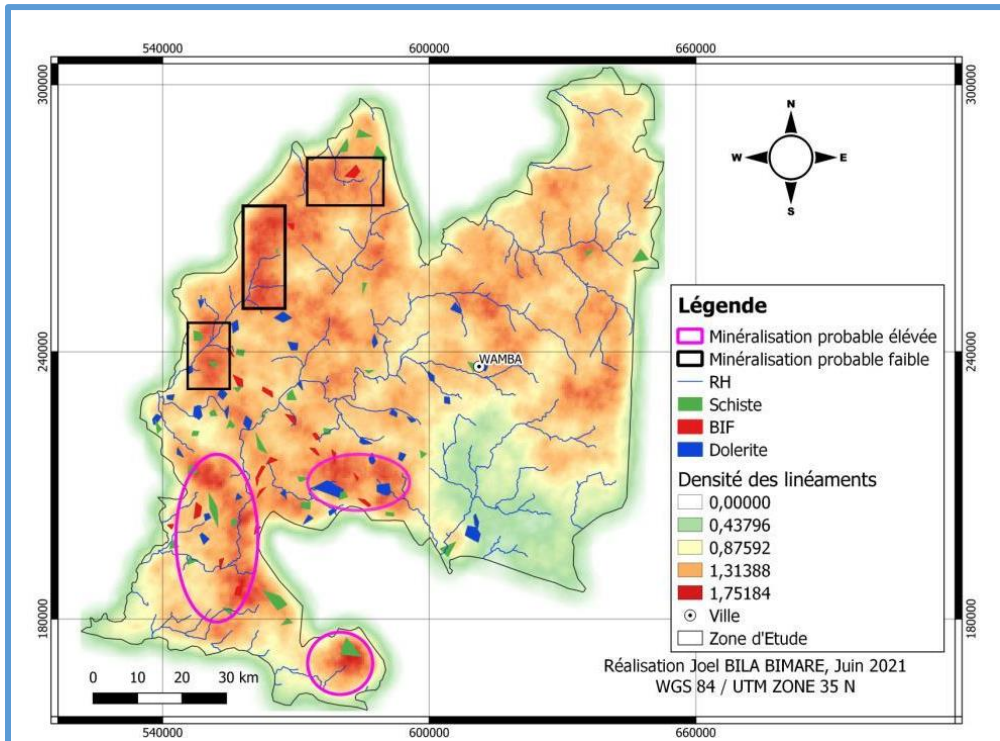


Figure 12 : Environnement géologique indispensable à la minéralisation aurifère

Discussion des résultats

Plusieurs auteurs utilisent désormais l'outil SIG pour le calcul des indices de la probabilité et le degré de minéralisation aurifère au profit de l'utilisateur (OUEDRAOGO et al., 2020 ; DIAKITE et al., 2019 ; AFFIAN et al., 2004).

Les résultats auxquels nous sommes parvenus sont comparables à ceux obtenus à base des techniques traditionnelles. La méthodologie appliquée donne des résultats intéressants comme le confirme SENDESA, 2020. Il apparaît clairement, au vu de ces résultats corroborant ceux d'autres auteurs que le couplage télédétection et SIG, peut servir à diriger de manière concise et efficace la prospection minière. Ce couplage constitue un puissant outil pour l'exploration des gisements aurifères et présente un grand avantage par rapports aux autres techniques traditionnelles géologiques (géologie structural, géophysique, géochimie au sol, sondage). Cette méthodologie fournit rapidement d'excellents résultats à des coûts nettement inférieurs (DIAKITE et al., 2019).

Toutefois, le choix des types d'images présente des avantages différenciés. L'image Aster par exemple, se révèle très intéressante en cartographie géologique et selon EL ATILLAH et al., 2018, ce satellite a montré son efficacité en matière de prospection minière au centre-ouest du Nevada aux Etats-Unis par la détermination de nombreux centres d'altération explorés pour les métaux précieux.

Par ailleurs, l'utilisation de la télédétection et des SIG ne saurait systématiquement remplacer les pratiques cartographiques anciennes, classiques et conventionnelles. Au contraire leur complémentarité reste un atout pour la précision et la justesse des résultats (GABOURY, 2019).

Conclusion

Cette étude, basée sur une approche méthodologique simple sur l'utilisation d'image Landsat8, a permis de mettre en évidence la relation entre linéaments, la lithologie et les concentrations minérales afin d'établir des guides de prospection future.

L'approche numérique par croisement des données multi-sources, dans un environnement SIG, nous a donné des éléments de réponse aux objectifs fixés dans ce travail.

L'analyse statistique des linéaments à l'aide de rosaces directionnelles de 10° d'intervalle a démontré la répartition des linéaments en trois familles d'orientations majeures avec une prédominance dans la direction NNE-SSW. Les directions secondaires sont, par ordre décroissant, les classes NE-SW et N-S.

En effet, les données lithostratigraphiques de la région montrent une grande diversité de formations lithologiques. Ces contrastes tant au niveau lithostratigraphique qu'au niveau de l'orientation générale des formations rocheuses de la zone d'étude pourraient aussi justifier partiellement la densité élevée de linéaments extraits dans notre zone d'étude.

Différentes cibles d'exploration constituant des endroits privilégiés à la découverte d'une concentration de l'or dans le territoire de Wamba, ont

été ainsi repérées. Et c'est en cela que la télédétection peut être d'une grande fiabilité lorsqu'elle est parallèlement renforcée par un travail bibliographique et surtout de terrain.

La généralisation des telles études pour toute la province serait un atout pour la cartographie de guide du prospecteur de l'Or dans la région.

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 BIé MI J., (2004). Contribution de la télédétection à la recherche de gisement d'or dans la région d'Angovia en côte d'Ivoire. *Télédétection*, vol. 4, n°3, 277-288p ;
2. 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, 2-7, 10p;
3. Biemi J., (1992). Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest: hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doct. D'Etat, Univ. Nat. Côte d'Ivoire. 479p ;
4. Blaise Ouedraogo, Sié Pale, Issan Ki (2020); apport de la télédétection et des SIG à l'exploration d'un site aurifère : cas de Dodougou au Burkina Faso. CNRST, Science et technique, sciences naturelles et appliquées, Vol. 39, n°1, ISSN 1011-6028. 18p ;
5. Diakite Y., Ahoussi K. E., Soumahoro S. & Tourei 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* ISSN 251-8014 Vol. 40 N° 2(40), 345-358p. *Innovativ Space of Scientific Research Journals*. <http://www.ijisr.issr-journals.org/>;

6. El Hadani D., (1997). Télédétection et systèmes d'information géographique pour la gestion et la recherche de l'eau. Géo-observateur. Les Rapports thématiques, 1, 28p ;
7. Fati Boubacar et Moussa Konate (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 (Sud Maradi et Damagaram-Mounio). Rev. Ivoir. Sci. Technol., 36(2020) 230-252. 7-10p ;
8. 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. ; Mashagi, H. ; Kanda-Nkula, V. ; Luamba, M. ; Mpoyi, J. ; Decrée, S. ; Lambert, A. (2015). Carte Géologique de la République Démocratique du Congo au 1/2500.000, Notice Explicative. Ministère des Mines, République Démocratique du Congo.
9. GABOURY D., (2019). Les minéralisations aurifères d'Afrique de l'Ouest : différences et similitudes avec l'Albitib. Ressources Mines et Industrie. Vol. 6, n°2. DOI : 10.13140/RG.2.2.36582.78403. 37-42p ;
10. Horton R., (1945). Erosional development of streams and their drainage basins hydrological approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. Am, 56, 370p;
11. <https://www.caid.cd/index.php/> . consulté le 23 Avril 2020, à 17h20'
12. <https://www.ccrs.nrcan.gc.ca> ; consulté le 02 décembre 2020, à 20h43' ;
13. <https://www.earthexplorer.usgs.gov/> ; consulté le 23 Novembre 2020 à 19h19 ;
14. <https://www.unocha.org> ; consulté le 30 Avril 2020 à 20h12'
15. 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. 4-6, 30-34p ;
16. Omasombo Tshonda, Jean (dir.). 2011. République démocratique du Congo. Haut-Uele. Trésor touristique. Séries « Monographies des provinces de la RD Congo ». Vol. 2. Bruxelles-Tervuren : Le CRM-RAC, 33-38p.
17. Sendesa Djamango Jean de Dieu, (2018). Contrôle géomorphologique de la minéralisation dans les territoires de Rungu et de Wamba en province du Haut-Uélé/RDC par examen d'imageries aériennes. Mémoire Inédit, Université de l'Uélé. 49p ;
18. Slimene Sedrette (2017). Extraction semi-automatique des linéaments et des indicateurs morphométriques dans un environnement SIG pour

la caractérisation morphostructurale et néotectonique de la région de Nefza dans le Nord-Ouest de la Tunisie. Thèse de Doctorat, Université de Tunis El Manar. 96p ;

19. Strahler A.N., (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union. 38, 913-920p;
20. Woodtli R., (1956). Le structure de Kilo, contribution à l'étude des fossés africains. Académie royale des sciences coloniales, classe des sciences techniques, Mémoire in 8°, Nouvelle série, Tome VI, Fasc. 2. 11p ;
21. Yao T. K., Fouché-Grobla O., Yéi Oga M. S. & 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, 161-178p