

# Apport de la Télédétection et des SIG à l'exploration d'un site aurifère : Cas de Dodougou au Burkina Faso

---

Blaise OUEDRAOGO<sup>1,\*</sup>, Sié PALE<sup>2</sup>, Issan KI<sup>3</sup>

## Résumé

La présente étude vise à proposer une méthode de détermination de sites de minéralisation aurifère dans le domaine du Birimien connu comme propice aux gîtes en Afrique de l'Ouest. Le secteur d'étude est le permis d'exploration de Dodougou dans la région des Hauts Bassins au Burkina Faso. La démarche méthodologique intègre des informations géologiques acquises à partir des images Landsat8 OLI/TIRS (Operational Land Imager/Thermal InfraRed Sensor) et une analyse SIG multicritères. La superposition des différentes cartes de lithologie, des linéaments et de l'altération hydrothermale 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 à Dodougou. Ainsi, six cibles d'exploration aurifère ont été détectées dont trois sont qualifiées de très significatives à la découverte de l'or.

**Mots-clés :** Télédétection, SIG, exploration aurifère, roche birimienne, Dodougou, Burkina Faso.

## Contribution of Remote Sensing and GIS to the exploration of a gold site: case of Dodougou in Burkina Faso

### Abstract

The present study aims to propose a method for the determination of gold mineralization sites in the Birimien domain known to be favourable for deposits in West Africa. The study area is the Dodougou exploration permit in the Upper Basins region of Burkina Faso. The methodological approach integrates geological information acquired from Landsat8 OLI/TIRS (Operational Land Imager/Thermal InfraRed Sensor) images and a multi-criteria GIS analysis. The superimposition of the various lithology, lineament and hydrothermal alteration maps and the consideration of gold mineralization indicators allowed the zoning of sites likely to contain gold ore concentrations at Dodougou. As a result, six gold exploration targets have been detected, three of which are qualified as very significant gold discovery targets.

**Keywords:** Remote sensing, GIS, gold exploration, Birimian rock, Dodougou, Burkina Faso.

---

<sup>1</sup> Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA)/Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), 01BP 476 Ouaga 01 ; Tel: +226 70278332 ; Email: blaise32fr@yahoo.fr

<sup>2</sup> Laboratoire Dynamique des Espaces et Sociétés de l'Université Joseph Ki-Zerbo / Université de Ouahigouya, Burkina Faso, +226 72344449, email : palesie@gmail.com

<sup>3</sup> Institut Panafricain de Développement Afrique Occidentale Sahel Ouagadougou, Burkina Faso ; Tel : +22670811350 Email : kiissan84@gmail.com

\* Auteur correspondant : blaise32fr@yahoo.fr

## Introduction

La récente flambée du prix mondial des métaux précieux, suite à la forte demande des pays industrialisés suscite une véritable ruée vers l'exploitation des ressources minérales. De ce fait, l'Afrique, au regard de son histoire géologique, constitue le plus grand pourvoyeur de ces matières premières minérales. C'est en cela que le Burkina Faso connaît, depuis plus d'une décennie un essor de son secteur minier (BOUCHOT *et al.*, 2011). Il regorge de nombreuses potentialités minières ; cependant, l'or est l'une des substances qui occupe pour le moment une place prépondérante dans les transactions économiques. Ce métal précieux apporte une part non négligeable dans l'économie du pays puisque son apport budgétaire annuel avoisine 17,10 % et ce, depuis 2013 (MINISTERE DE L'ECONOMIE, 2017).

Les résultats obtenus à travers l'observation des différents gisements montrent que les minéralisations aurifères au Burkina Faso sont régulièrement portées par les formations birimiennes (Protérozoïque C : 2300 – 2100 Ma), reposant sur le socle Paléo-protérozoïque (BESSELES, 1977 ; MILESI *et al.*, 1989, BOURGES *et al.*, 1994 ; BAMBA, 1996 ; NABA, 1999). Ces formations du Birimien définissent un système de ceintures composées de roches vertes volcaniques au sein de larges batholites de granitoïdes datant de l'orogénèse éburnéenne ; elles forment le remplissage du sillon subméridien de Boromo-Gaoua au Burkina Faso (BEAUDET G. et COQUE R., 1986 ; BOEGLIN et MAZALTARIM, 1989 ; BOEGLIN, 1990 ; OUANGRAWA *et al.*, 2000 ; KOUAME. *et al.*, 2008 ; BOUCHOT *et al.*, 2011). Ces formations du Birimien occupent plus du tiers de la superficie du pays et leur forte présence lui confère un potentiel aurifère assez élevé (BESSELES, 1977 ; CASTAING *et al.*, 2003 ; GABOURY, 2019).

La cartographie de la géologie du pays connaît des insuffisances, malgré les travaux engagés depuis le temps colonial (BONNARD, 1965 ; HOTTIN et OUEDRAOGO, 1975). Le choix de l'échelle pour la cartographie géologique (au 1/1 000 000 et au 1/500 000) a beaucoup d'influence sur la pertinence et la justesse des résultats obtenus. C'est ainsi que le Projet Système Minier (SYSMIN 1999 - 2003) permet de rattraper un tant soit peu le retard par le levé géologique de 13 degrés carrés au 1/200 000 sur les 27 feuilles qui couvrent l'ensemble du territoire. Cette initiative montre à quel point le secteur minier tient une place importante dans la politique de développement socio-économique du pays.

Bien que l'Etat burkinabè manifeste sa volonté de rendre le secteur minier un levier du développement économique et social, de nombreuses sociétés d'exploration minières, installées dans le pays 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 (BOUCHOT *et al.*, 2011 ; ILBOUDO *et al.*, 2019). L'objectif de ce travail est de proposer une méthode de détermination de sites de minéralisation aurifère à l'aide de la télédétection et des SIG et ce, à partir d'une étude appliquée au permis d'exploration de Dodougou. En d'autres termes, c'est utiliser la télédétection pour orienter les prospecteurs vers des zones susceptibles de contenir des concentrations intéressantes de minerais d'or.

L'intérêt des données de télédétection spatiale pour la cartographie des linéaments et l'identification des structures géologiques n'est plus à prouver (SCANVIC, 1983 ; GABOURY, 2019). Cette méthode permet de minimiser considérablement les risques économiques encourus pendant les phases ou campagnes de prospection.

## I. Présentation de la zone d'étude

Dodougou est un village situé à une vingtaine de kilomètres en plein Sud de Bobo-Dioulasso, la capitale économique du Burkina Faso. Il est situé entre 10°6'0" et 12°10'0" de latitude nord et entre 4° 16'17" et 3°80'10" de longitude ouest.

C'est dans cette localité qu'un permis d'exploration minière, sur une superficie de 231 km<sup>2</sup>, a été octroyé à la société ACC BURKINA FASO par l'arrêté du Ministère en charge des mines sous le N° 2007/07-152/MCE/SG/DGMGC, du 23 octobre 2007. La figure 1 donne la localisation du site d'étude, accessible par la route Bobo-Banfora.

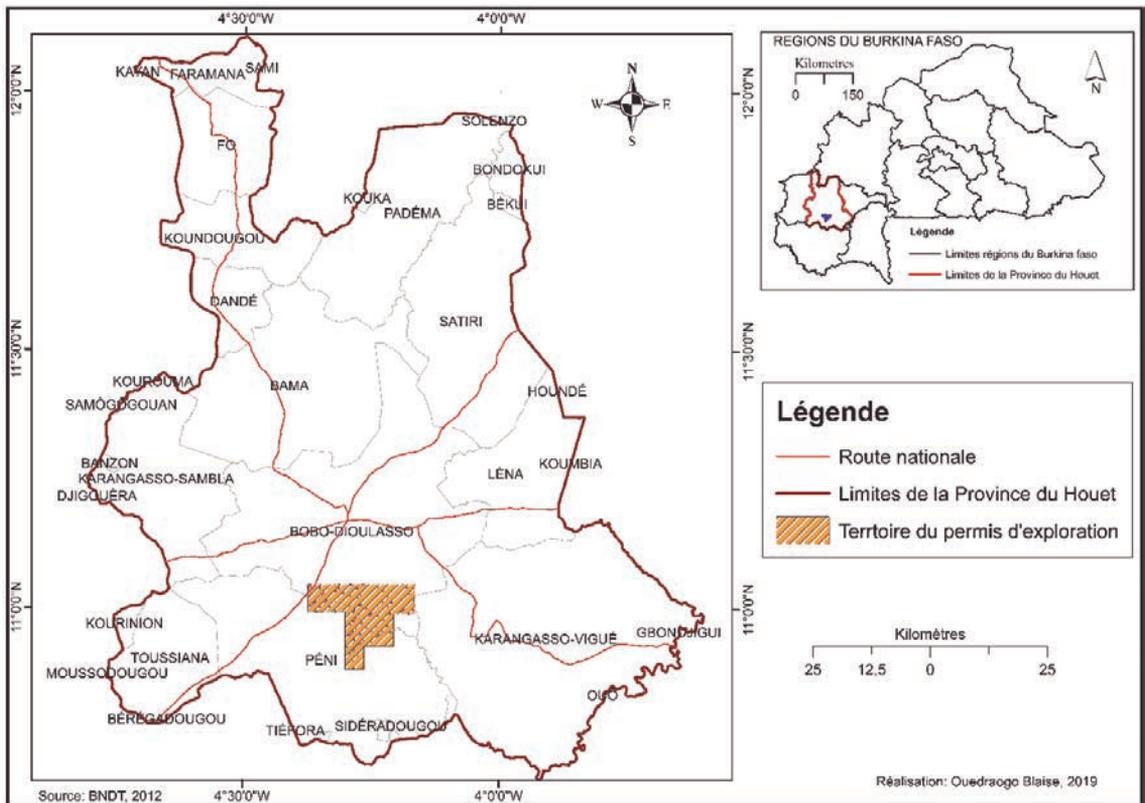


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.

La zone d'exploration est couverte par des formations géologiques telles que les roches vertes volcaniques, les schistes, les migmatites, les gneiss et des granites indifférenciés ; celles-ci sont en partie (nord-ouest), recouvertes par un dépôt gréseux du Continental Terminal (IWACO, 1993, GABOURY, 2019).

## II. Méthode et outils

La méthodologie adoptée s'articule principalement autour de la recherche documentaire et du traitement des images satellites. La recherche documentaire a permis d'accéder aux données de types textuels et aux bases de données cartographiques. En effet, des données de sondages et des

coordonnées du périmètre du permis de Dodougou ont été utilisées. La base nationale de données topographiques (BNDT) de 2012 de l'Institut Géographique du Burkina (IGB), ainsi que celle de données géologiques obtenues auprès du Bureau des Mines et de Géologie du Burkina (BUMIGEB), ont été utilisées. Et pour compléter cette liste de données, des images Landsat 8 OLI/TIRS (LANDSAT\_SCENE\_ID = « LC81960532017110 ») et couvrant le permis de recherche de Dodougou ont été téléchargées sur le site USGS à l'adresse suivante <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Les traitements appliqués aux images satellites à travers les logiciels ENVI 4.7 et ArcGis 10.2, ont permis d'extraire la lithologie, les linéaments, l'altération hydrothermale du site de recherche aurifère de Dodougou. Puis, une analyse spatiale et multicritères a été faite dans le but d'identifier les cibles d'exploration aurifère. Les différentes étapes de traitements utilisées dans ce travail, à savoir les compositions colorées, le filtrage directionnel et les rapports de bandes sont représentées dans le schéma conceptuel de la démarche (figure 2).

Dans le détail, la procédure suivie pour chaque phase se résume aux étapes ci-après :

• **pour la cartographie lithologique**, les étapes suivantes ont été suivies :

- une composition colorée RGB appliquée à l'image (le rouge, le vert et le bleu ont été affectés respectivement aux bandes 7, 5 et 3) ;
- une vectorisation de l'image classifiée ;
- une conversion du fichier de l'image vectorisée en format shapefile (.shp) ;
- une cartographie de la lithologie.

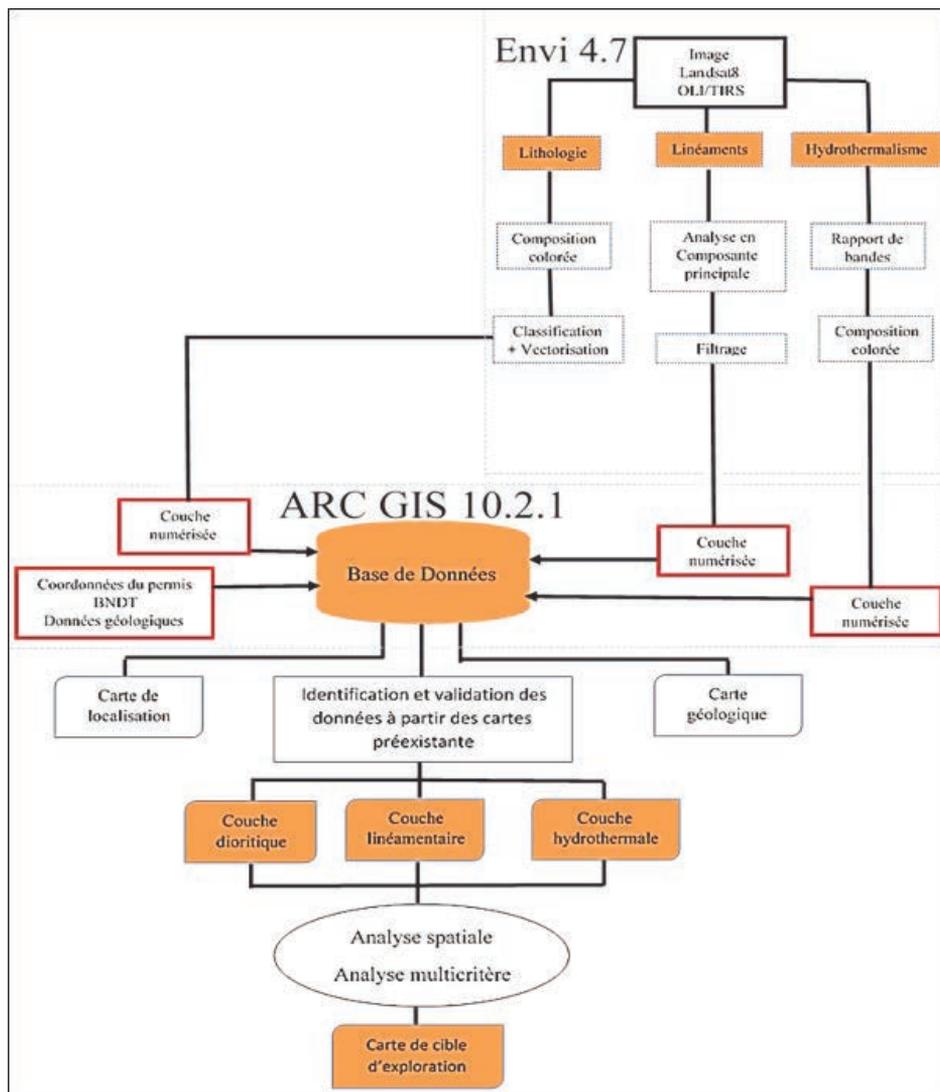
• **pour l'analyse structurale et la cartographie des linéaments**, les filtres directionnels sont appliqués aux différentes bandes spectrales et aux néo-canaux (CP et bandes ratios). Ils améliorent la perception des linéaments, correspondant à des discontinuités lithologiques ou structurales, en provoquant un effet optique d'ombre portée sur l'image. En clair, le filtrage d'une image permet de lui appliquer une fonction mathématique qui modifie les valeurs du gris de tout ou une partie des pixels. Ainsi, 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  $00^\circ$  à matrice  $3 \times 3$  sur la composante principale ;
- une numérisation des linéaments.

Ce traitement est basé sur des calculs statistiques complexes desdites bandes. Cette transformation a été appliquée à l'image en composition colorée 7-5-3 (figure 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.

• **pour la cartographie de l'altération hydrothermale**,

- un rapport des bandes 4/2 a d'abord été effectué montrant une bonne discrimination pour les roches ayant subi une altération hydrothermale et pour les oxydes de fer ; un autre rapport des bandes 6/7 a été fait avec une bonne discrimination pour les roches riches en oxyhydroxyde d'aluminium  $AlO(OH)$  ;



**Figure 2 :** Schéma conceptuel de la démarche.

- Ensuite, une composition colorée (RVB) néo-canaux 4/2, 6/7 et 10 a également été faite ; cette combinaison permet l'identification de roches altérées et d'unités lithologiques ;
- enfin, une numérisation de l'altération hydrothermale ayant conduit à la carte a été réalisée.

### III. Résultats

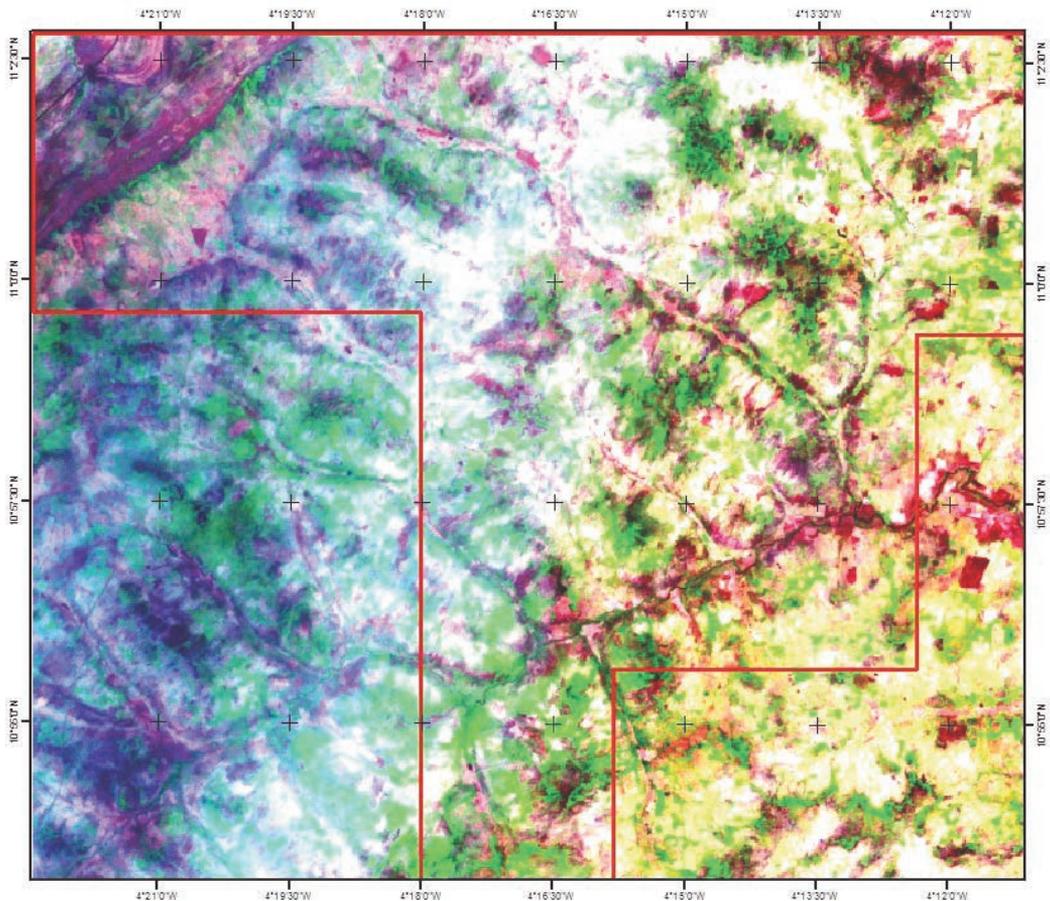
Les résultats présentés ici, sont issus du traitement des images Landsat8 OLI/TIRS, principalement en deux grands points : l'extraction des informations géologiques et l'analyse spatiale multicritères faisant ressortir le zonage des cibles d'exploration susceptibles de contenir du minerai d'or. Les résultats des différentes analyses effectuées sont présentés sous forme de carte. La superposition de ces cartes opérée dans le SIG permet de déterminer les zones susceptibles de contenir du minerai d'or.

### 3.1. Extraction des informations géologiques à partir des images satellitaires Landsat8 OLI/TIRS

L'utilisation des données multi-spectrales des images satellitaires fournit une aide précieuse pour la cartographie de la lithologie, des linéaments et de l'altération hydrothermale.

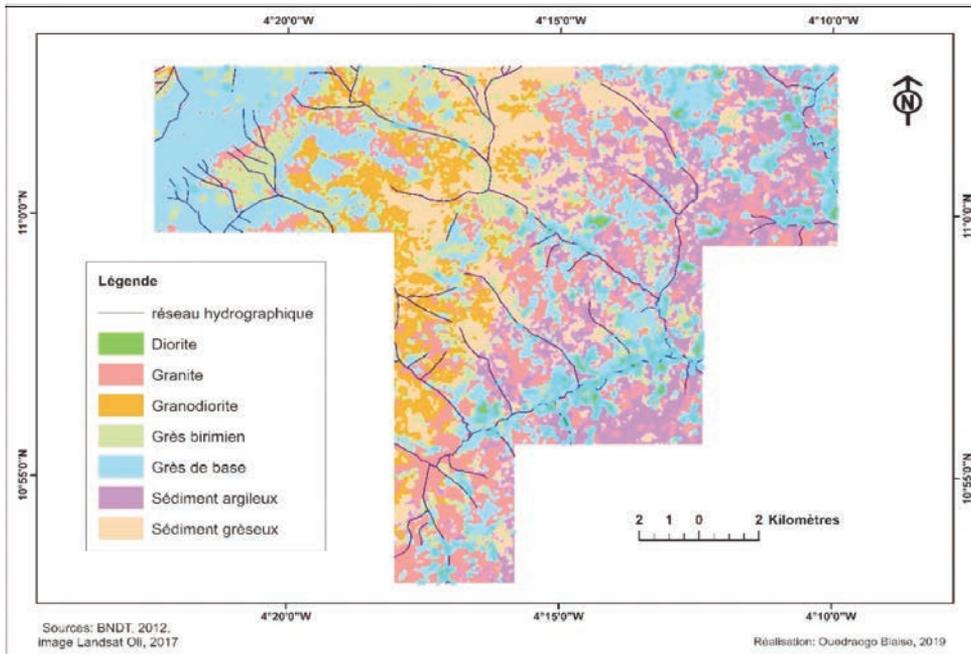
#### 3.1.1. La carte de la lithologie

Les résultats obtenus à partir du traitement de l'image a permis une bonne discrimination lithologique des unités. Ainsi, sur la figure 3 montrant la composition colorée, les granites, les granodiorites et les diorites apparaissent respectivement en vert foncé, vert clair et en rose tandis que les sédiments gréseux et argileux se distinguent respectivement par leur couleur blanche et jaune. Ainsi, les formations basales de grès se différencient par leur teinte violacée, des autres grès du Birimien représentés par des taches claires et violacées.



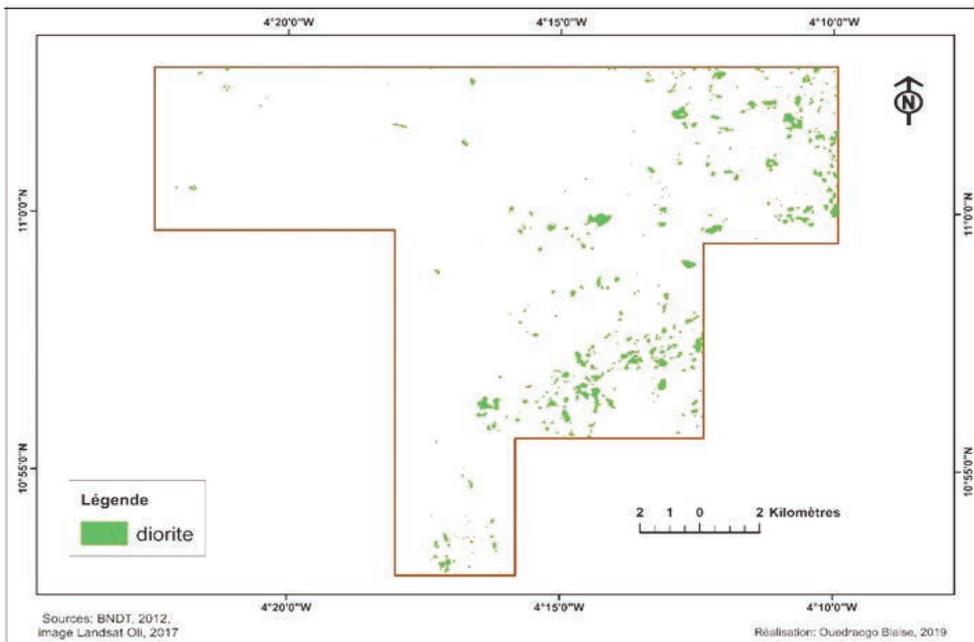
**Figure 3 :** Composition colorée 7-5-3 (RVB) de l'image Landsat8 OLI/TIRS de la zone d'étude avec en surimpression des limites de la zone de permis.

La classification de cette composition colorée a donné les résultats en 7 classes selon la figure 4.



**Figure 4 :** Couverture lithologique du permis de Dodougo.

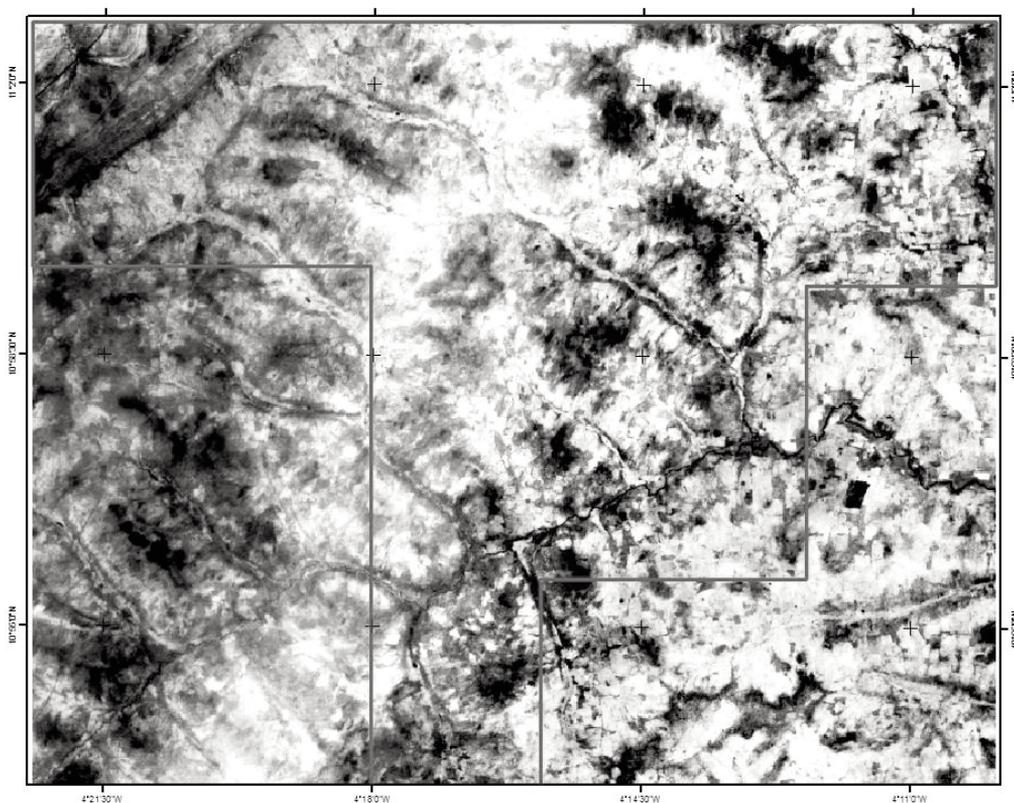
Il est désormais reconnu dans le domaine du Birimien que les diorites (en vert sur la figure 4) sont des roches déterminantes dans l'étude de la minéralisation de l'or, car elles sont généralement associées au gisement aurifère. Les diorites extraites de la classification et présentées sur la figure 5 sont beaucoup localisées dans la partie sud-est et nord-est du site.



**Figure 5 :** Distribution spatiale des diorites du permis de Dodougo.

### 3.1.2. La carte des linéaments

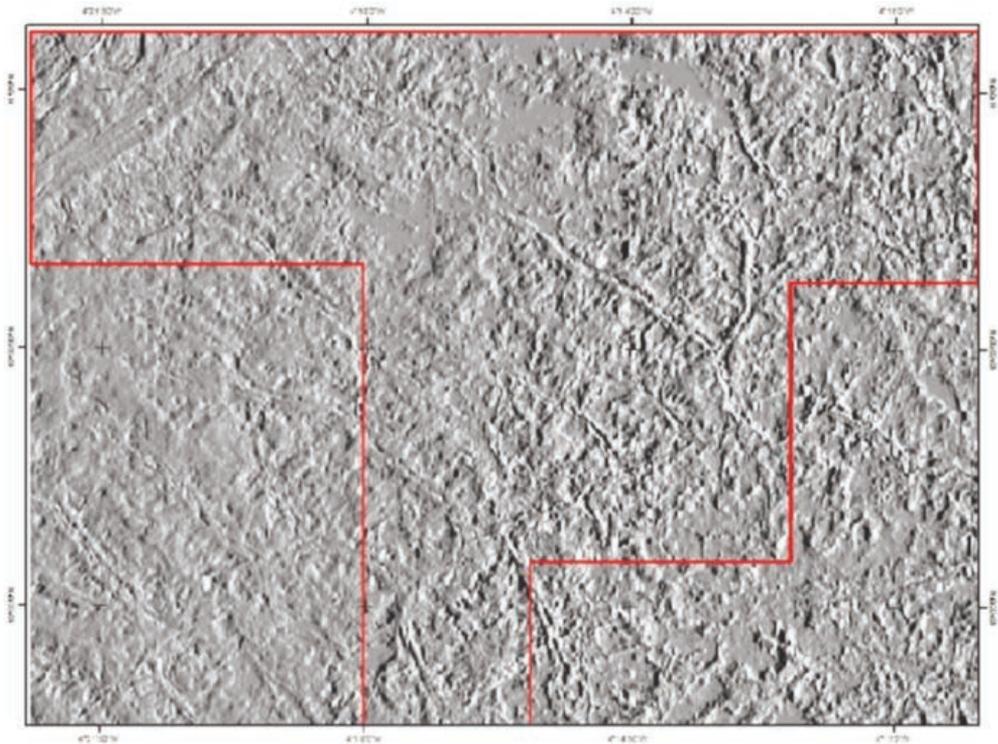
Le résultat prend la forme de plusieurs nouveaux canaux présentant un intérêt explicatif décroissant. Dans notre contexte, le choix est porté sur la première composante principale (CP1), car elle renferme plus d'informations relatives aux linéaments. La figure 6 ci-après montre la première composante principale de l'image en composition colorée 7-5-3.



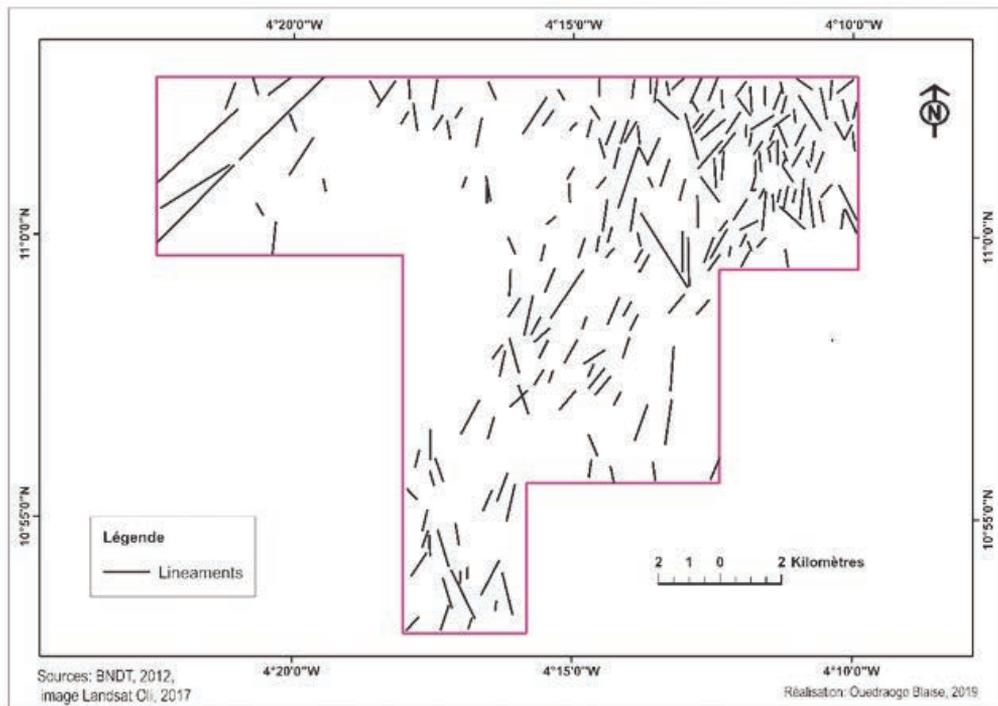
**Figure 6 :** Première composante principale (CP1) de l'image Landsat 8 en composition 7-5-3.

Afin de déterminer le maximum des discontinuités linéaires, de nombreuses directions ont été essayées sur l'image. La direction retenue est celle de 0° grâce à son fort contraste enregistré sur l'image (figure 7). Ici, il y a lieu de préciser que la taille de la fenêtre du filtre utilisé est de 3 x 3, du fait de la résolution de l'image qui est de 30 m sur 30 m.

Concernant la vectorisation des linéaments, elle s'est faite sur l'image filtrée de la figure 7 sous ArcGIS. En lui superposant les couches du réseau hydrographique et des voies de communication de la base de données BNDT 2012 de l'IGB, cette pratique permet d'éviter la confusion entre les linéaments (géologiques) et celles-ci, comme le montrent les résultats de la figure 8.



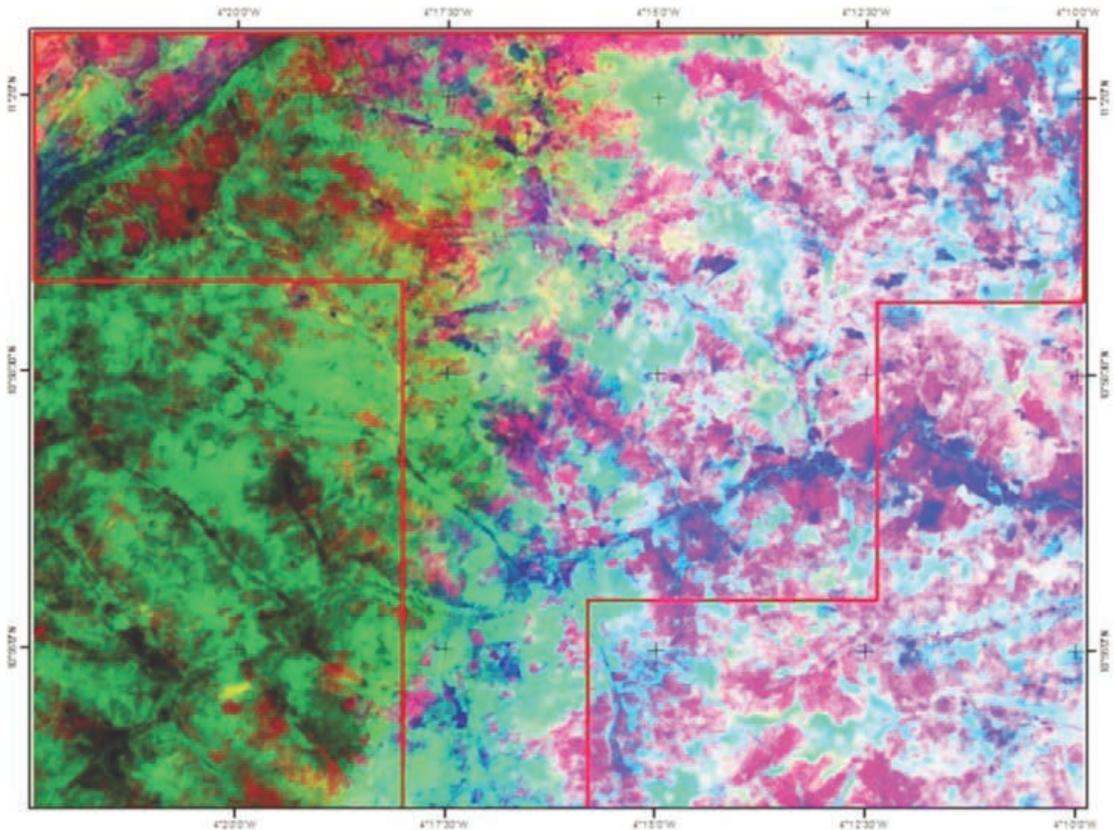
**Figure 7** : Image filtrée de direction  $0^{\circ}$  à matrice  $3 \times 3$ .



**Figure 8** : Linéaments extraits dans la zone du permis de Dodougou.

### 3.1.3. La carte de l'altération hydrothermale

Les résultats de ce traitement sont représentés par la figure 9. On remarque que les tons en jaune sur l'image montrent l'abondance de l'altération hydrothermale.



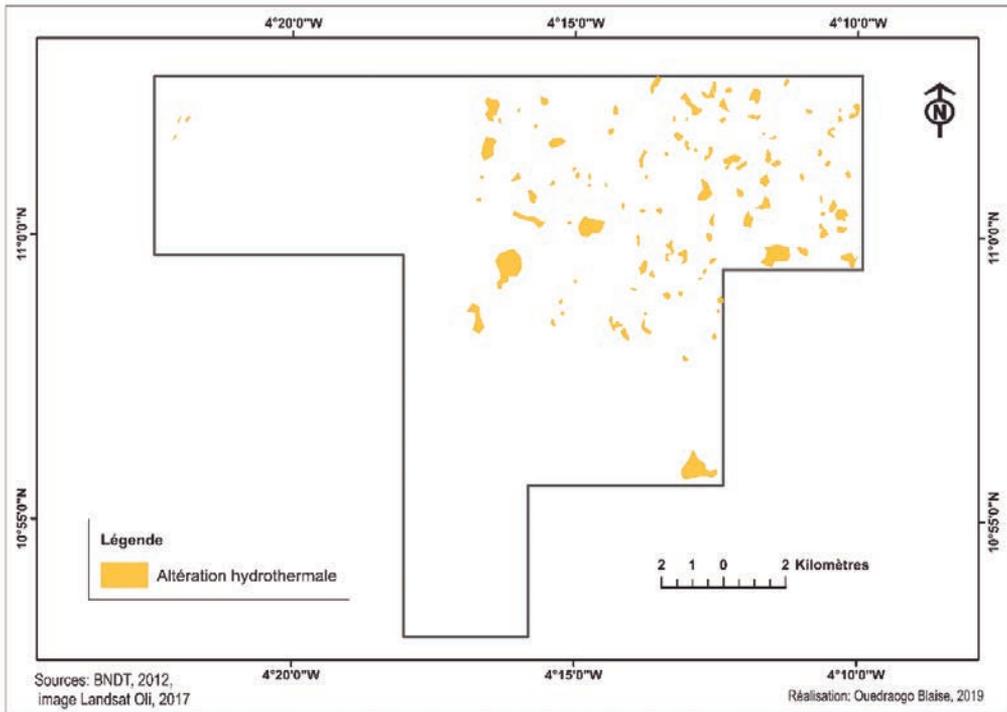
**Figure 9 :** Rapport de bandes et composition colorée 4/2, 6/7 et 10.

L'image géo-référencée de la figure 9, issue de la composition colorée des rapports de bandes 4/2, 6/7 et de la bande 10 a été exportée vers ArcGIS afin de vectoriser les tons correspondant à l'altération hydrothermale. Ce qui permet d'afficher sur la carte suivante (figure 10), la distribution spatiale de l'altération hydrothermale de la zone d'étude.

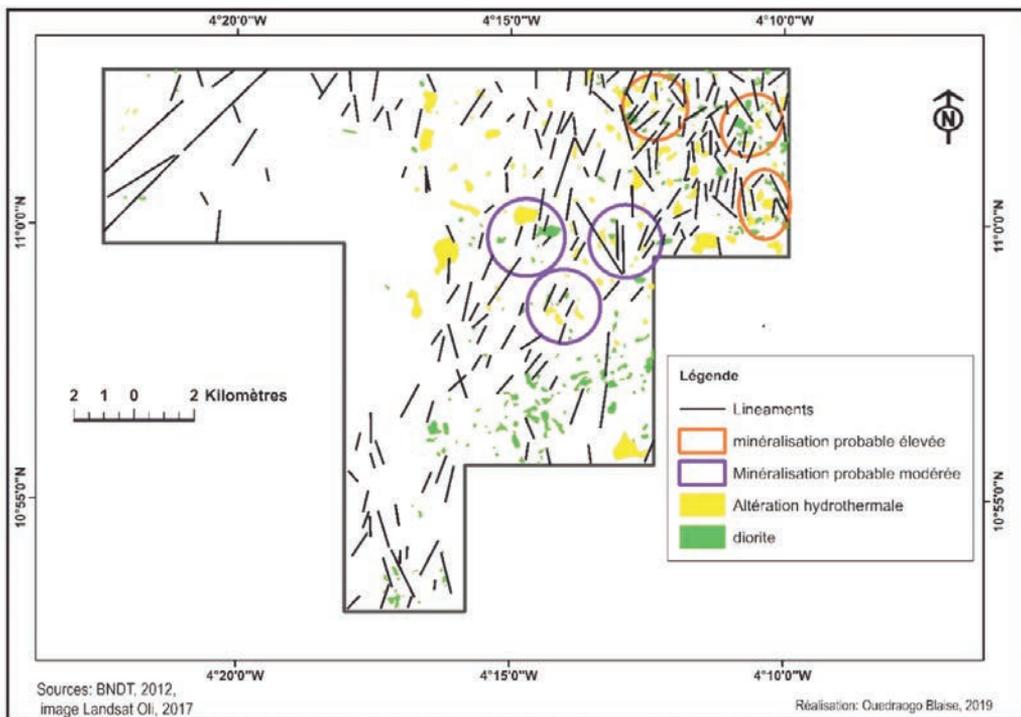
### 3.1.4. Les zones des cibles d'exploration

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 ArcGIS, a permis la réalisation de la carte de l'environnement géologique (figure 11) ; cette figure montre la distribution spatiale et surtout l'intensité tectonique des éléments géologiques indispensables à la minéralisation de l'or, plus marquée à l'Est qu'à l'Ouest du permis. Cette carte montre également les différentes zones de convergence des indicateurs de la minéralisation d'or les plus intéressants ; plus concentrées dans les parties Nord-est (trois sites jugés très importants) et au centre de la zone d'étude (trois autres sites jugés moyennement importants), ces zones sont favorables à la circonscription de l'exploration aurifère à Dodougou.



**Figure 10 :** Distribution spatiale de l'altération hydrothermale du permis de Dodougou.



**Figure 11 :** Environnement géologique indispensable à la minéralisation aurifère.

## IV. Discussions

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 (SALEY, 2003 ; AFFIAN *et al.*, 2004 ; JOURDA *et al.*, 2006 ; DIAKITE *et al.*, 2019).

Les résultats auxquels nous sommes parvenus sont comparables à ceux obtenus à Katiola en Côte d'Ivoire par DIAKITE *et al.* (2019), à Mouro dans le système birimien de Banfora par ILBOUDO *et al.* (2019). La méthodologie appliquée donne des résultats intéressants comme le confirme OUATTARA *et al.*, 2012. Elle permet de comparer les sites d'exploitation de l'or de la mine de Kalama au Mali, avec le zonage des cibles de minéralisation de l'or à Dodougou. Il apparaît clairement, au vu de ces résultats corroborant ceux d'autres auteurs (SALEY, 2003 ; JOURDA *et al.*, 2006 ; GABOURY, 2019 ; DIAKITE *et al.*, 2019) 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 rapport aux autres techniques traditionnelles géologiques (géologie structurale, 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 États-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

La cartographie géologique classique uniquement basée sur des missions de terrain est un travail à la fois long, complexe, fastidieux et très coûteux. La méthode d'extraction numérique des informations géologiques assistée par ordinateur offre non seulement une meilleure lisibilité, mais également des moyens d'observation des éléments géologiques sous plusieurs aspects à travers divers traitements. Ces différents atouts permettent une cartographie se rapprochant le plus possible de la réalité que les travaux de terrain doivent cependant renforcer.

Les différents traitements apportés sur les images Landsat8 dans le cadre de ce travail ont permis l'extraction de la lithologie, des linéaments et de l'altération hydrothermale. Différentes cibles d'exploration constituant des endroits privilégiés à la découverte d'une concentration de l'or à Dodougou, 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. En définitive, cette étude devra contribuer à une meilleure compréhension de l'environnement géologique de Dodougou et aussi aider à redynamiser le secteur minier.

## Remerciements

Les auteurs remercient la société ACC Burkina Faso pour les différentes données qu'elle leur fournit dans le cadre de cette recherche.

## Références bibliographiques

- AFFIAN K, BROU F. A., DJAGOUA é. V., ROBIN M., AZAGOH M. C. N'GUESSAN P., KOUAMÉ 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, p. 277–288
- BAMBA O., 1996. L'or disséminé dans les albitites de Larafella (Burkina Faso), évolution dans les altérites et les cuirasses ferrugineuses. Métallogénie – Pétrologie – Géomorphologie. Thèse de doctorat de l'Université d'Aix-Marseille III, 268 pages.
- BEAUDET G. et COQUE R., 1986. Les modelés cuirassés des savanes du Burkina Faso (Afrique occidentale). *Rev. Géol. dyn. Géogr. phys.*, 27 (3-4), p. 213-224.
- BESSELES B., 1977. Géologie de l'Afrique : Le craton ouest-africain. Mémoire B.R.G.M., Paris, France, pp 88-404.
- BOEGLIN J.-L. et MAZALTARIM D., 1989. Géochimie, degrés d'évolution et lithodépendance des cuirasses ferrugineuses de la région de Gaoua au Burkina Faso. *Sci. Géol., Bull.*, 42 (1), p. 27-44.
- BOEGLIN J.-L., 1990. Evolution minéralogique et géochimique des cuirasses ferrugineuses de la région de Gaoua (Burkina Faso). Thèse de doctorat en géologie de l'université Louis Pasteur de Strasbourg, 188 pages.
- BONN F. et ROCHON G., 1992. Précis de télédétection. Vol. 1 : Principes et méthodes. Presses de l'Université du Québec / AUPELF-UREF, 485 p.
- BONNARD L. F., 1965. Aperçu sur la géologie de la Haute-Volta. Rapp. Dir. Géol. Mines Haute-Volta, 23 pages, multigr.
- BOUCHOT V., KABORE B. E., ITARD Y., COURTOIS N., SOME S., TAPSOBA A. et RECOCHE G., 2011. Burkina Faso, géoresource et société : un projet scientifique Sud-Nord au service d'une gestion raisonnée des géoressources en Afrique intertropicale. *Vertigo – la revue électronique en sciences de l'environnement*, <https://doi.org/10.4000/vertigo.10435>, <https://journals.openedition.org/vertigo/10435>.
- BOURGES F., DEBAT P., GRANDIN G., PARIZOT J.-C., TOLLON F., BARAS E. et OUEDRAOGO M. F., 1994. Relations entre cristallisations de quartz et concentrations aurifères (exemple de filons aurifères du Birrimien du Burkina Faso, Afrique de l'Ouest). *C.R/ Acad. Sci. Paris*, t. 319, série II, p. 543-550.
- CASTAING C., BILLA M., MILESI J.-P., THIEBLEMONT D., LE METOUR J., EGAL E., DONZEAU M., ET GUERROT C., COCHERIE A., CHEVREMONT P., TEGYEY M., ITARD Y., ZIDA B., OUEDRAOGO I., KOTE S., KABORE B. E., OUEDRAOGO C., KI J.-C., ZUNINO C., 2003. *Notice explicative de la carte géologique et minière du Burkina Faso à 1/1000000*. Orléans : Bureau de recherches géologiques et minières ; [Ouagadougou : BUMIGEB], 147 p : ill.
- DIAKITE Y., AHOUSI 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*. ISSN 251-8014 Vol. 40 N° 2(40), pp. 345-358. Innovative Space of Scientific Research Journals, <http://www.ijsr.issr-journals.org/>
- EL ATILLAH A., ZINE, EI MORJANI Z., SOUHASSOU M., 2018. Utilisation de l'image multi spectrale pour l'exploration et la recherche des ressources minérales : état des connaissances et proposition d'un modèle de traitement. *European Scientific Journal*, August 2018 édition Vol.14, No.24 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
- GABOURY D., 2019. Les minéralisations aurifères d'Afrique de l'Ouest : différences et similitudes avec l'Albitibi. *Ressources Mines et Industrie*, Volume 6 numéro 2, pp 37-42. DOI: 10.13140/RG.2.2.36582.78403
- HOTTIN G. et OUEDRAOGO O. F., 1975. *Notice explicative de la carte géologique au 1 000 000 ème de la République de Haute-Volta*. Edit. BRGM, 58 pages.
- ILBOUDO H., SAWADOGO S., OUIYA P., HIEN A. et YAMEOGO F. H., 2019. Géologie des minéralisations (Au) en veines de Mouro dans le système Birimien de Banfora, Burkina Faso – Afrique de l'Ouest : approche géologique par exploitation d'un site d'orpaillage. *Afrique SCIENCE* 15(6), pp 92-104.
- IWACO, 1993. *Notice explicative de la carte hydrogéologique du Burkina Faso*. Echelle 1 : 500 000. Feuille Bobo-Dioulasso. Rapport 60.451/29, DIRH – IWACO – Bilan d'Eau, 40 pages.

**JOURDA J.-P., SALEY M. B., DJAGOUA E. V., KOUAME K. J., BIEMI J. et RAZACK M., 2006.** Utilisation des données ETM+ de Landsat et d'un SIG pour l'évaluation du potentiel en eau souterraine dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire), approche par analyse multicritères et test de validation. *Revue de Télédétection*, Vol. 5, n° 4(5), pp 339-357.

**MILESI J.-P., FEYBESSE J.-L., LEDRU P., DOMMANGET A., OUEDRAOGO M. F., MARCOUX E., PROST A., VINCHON C., SYLVAIN J.-P., JOHAN V., TEGYEY M., CALVEZ J. Y. et LAGNY PH., 1989.** West African gold deposits in their Lower Proterozoic lithostructural setting. *Chron. Rech. Min. Fr.*, 497 : 3-98.

**NABA S., 1999.** Structure et mode de mise en place de plutons granitiques emboîtés : exemple de l'alignement plutonique paléoprotérozoïque de Tenkodogo–Yamba dans l'Est du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). *Unpublished thesis Univ. Dakar*, 236 pages.

**OUANGRAWA M., GRANDIN G., PARISOT J. C. et DELAUNE M., 2000.** Evolution des particules d'or en milieu latéritique soudano-sahélien : alluvions et colluvions dans l'environnement d'un gîte filonien, Piéla, Burkina Faso. *Bull. Soc. Géol. France*, t. 171, n°4, p. 397-405.

**OUATTARA, G., KOFFI, G. B., & YAO, A. K., 2012.** Contribution des images satellitales Landsat 7 ETM+ à la cartographie lithostructurale du Centre-Est de la Cote d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 61-75.

**SALEY M. B., 2003.** Système d'information à référence spatiale, discontinuités pseudo-images et cartographies thématiques des ressources en eau de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 209 p.

**SCANVIC J. Y., 1983.** Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre. Ed. BRGM n°7, Manuel et Méthodes, Paris, France, 158 p.

**YAO-KOUAME A., YAO G. F., ALUI A. K., N'GUESSAN A. K., TIEMOKO T. P. et KLOMAN Y. K., 2008.** Etude morphopédologique du bassin versant du mont Blanguand dans le massif du Yaouré en région centre de la Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE* 04(3), p. 426-451.