

**EXTRACTION ET CARTOGRAPHIE DES UNITÉS
LITHOLOGIQUES À PARTIR DES IMAGES SATELLITAIRES PAR
LES CLASSIFICATIONS (SUPERVISÉE ET NON SUPERVISÉE) :
CAS DE BAMAKO ET SES ENVIRONS, SUD - OUEST DU MALI**

**Awa KONE^{1*}, Hamadoun Bokar MAIGA¹,
Mamadou Lamine BOUARE^{2*} et Ibrahima DAOU²**

¹Ecole Doctorale des sciences et Technologies du Mali (EDSTM)

*²Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderrahmane Baba Touré (ENI-ABT),
Laboratoire de Recherche Eau / Environnement, BP 242 Bamako, Mali*

* Correspondance, e-mail : awakon19@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Dans le cadre de notre zone d'étude, la cartographie géologique, est une tâche difficile et compliquée souvent par l'inaccessibilité des terrains à cause de l'occupation des sites géologiques (rurbanisation). La télédétection permet alors aux géologues d'accéder à leurs terrains ; décrits généralement par leur formation géologique, composition et épaisseur ; à travers leurs caractéristiques optiques. Dans cet article, nous nous intéressons à l'utilisation des méthodes d'analyse des données satellitaires pour l'extraction d'information, pour la discrimination, reconnaissance, classification et l'identification des unités lithologiques. En cartographie géologique la corrélation, l'analyse et l'exploitation de l'imagerie optique et en particulier des données spectrales numériques Landsat 7 ETM+ sont d'un apport considérable. Dans la zone d'étude Bamako et ses environs (Sud-ouest malien) où les seules cartes géologiques existantes datent avant l'indépendance (Cartes au 1/200.000), cette technique constitue une source d'information très appréciable et offre un excellent outil pour une cartographie géologique plus performante en matière de qualité et de gain de temps. L'étude débute par une cartographie lithologique par l'imagerie satellitaire à travers une extraction automatique à partir d'images Landsat ETM+ rehaussées et filtrées texturalement et spatialement. Les travaux de télédétection, couplés aux données antérieures de terrain ont permis l'extraction et l'interprétation des lithologies obtenues par des images satellitaires de la zone d'étude. La présente étude vise à évaluer la contribution de cette méthodologie dans l'extraction des différentes unités litho-stratigraphiques et à définir les différentes formations de la zone d'étude. Les techniques de traitements utilisées (compositions colorées, rapports de

bandes, analyse en composantes principales et classifications) ont abouti à une très bonne discrimination lithologique de la zone d'étude où la direction subméridienne est remarquablement exprimée. La superposition des différents résultats de ces traitements numériques nous a permis la confection d'une nouvelle carte lithologique de la zone d'étude comparée à la carte lithostratigraphiques de la compilation [12] comme outil de référence et de vérification, nous a permis de proposer certaines mises à jours de cette dernière.

Mots-clés : *télé-détection, Bamako et ses environs, Landsat 7 ETM+, classification, unités lithologiques, cartographie géologique.*

ABSTRACT

Extraction and mapping of lithological units from satellite images by classifications (supervised and unsupervised) : case of Bamako and its surroundings, South - West of Mali

In the setting of our survey zone, the geological cartography, is often a difficult and complicated task by the inaccessibility of the lands because of the occupation of the geological sites (urbanization). The remote detection allows the geologists then to reach their lands; generally described by their geological formation, composition and thickness; through their optic features. In this article, we are interested in the use of the methods of analysis of the satellite data for the extraction of information, for the discrimination, recognition, classification and the identification of the units lithologiques. In geological cartography the interrelationship, the analysis and the exploitation of the optic imagery and in particular of the data spectral numeric Landsat 7 ETM+ are of a considerable contribution. In the zone of Bamako survey and his vicinity (Southwest malien) where the only existing geological cards date before the independence (Cards at 1/200.000), this technique constitutes a source of very substantial information and offer an excellent tool for a more effective geological cartography concerning quality and gain of time. The survey starts by a cartography lithologique by the satellite imagery through an automatic extraction from heightened pictures Landsat ETM+ and filtered texturalement and spatially. The works of remote detection, coupled to the previous data of land, permitted the extraction and the interpretation of the lithologies gotten by satellite pictures of the survey zone. The present survey aims to value the contribution of this methodology in the characterization of the different lithostratigraphic units and to define the different formations of the survey zone. The techniques of treatments used (colorful compositions, reports of strips, analysis in main components and classifications) succeeded to a very good

discrimination lithologique of the survey zone where the direction submériidienne is expressed remarkably. The superposition of the different results of these numeric treatments allowed us the confection of a new card lithologique of the survey zone compared to the litho-stratigraphic card of the compilation [12] as tool of reference and verification, allowed us to propose certain setting to days of this last.

Keywords : *remote sensing, Bamako and surroundings, Landsat 7 ETM, classification, lithological units, geological mapping.*

I - INTRODUCTION

D'après les nombreux travaux de terrains (lithologique, structurale, métamorphique, géochimique, géochronologique et géophysique), il est démontré que Bamako et ses environs fait partie intégrante des formations birimiens de l'unité du Mali Sud-ouest [1-12]. La carte géologique du SW Mali établie d'après ces études, montre une grande variété aussi bien dans sa composition lithologique que structurale. Vue l'occupation des sites géologiques de Bamako et ses environs la cartographie sans la télédétection devient très problématique (rurbanisation). Les cartes géologiques à petite échelle sont des documents indispensables à l'orientation de la recherche des ressources du sous-sol. Pour leur élaboration, la télédétection est devenue incontournable et complémentaire des travaux de terrain. L'utilisation de senseurs de plus en plus sophistiqués, a révolutionné l'application de cette technique, de par leurs résolutions spatiale et spectrale de plus en plus fines. Ce développement spectaculaire a largement contribué à l'évolution de la géologie structurale et la cartographie lithologique. La télédétection offre, dans ce type d'application, différentes possibilités : discrimination, délimitation, reconnaissance de formes, classification et identification permettant ainsi la réalisation de maquettes cartographiques aux différentes échelles. Elle constitue pour les photo-interprètes un outil très important, et parfois indispensable, pour optimiser le temps passé sur le terrain tout en améliorant la précision du document cartographique final. Cependant avec le flux croissant des images de télédétection, il devient nécessaire de développer des méthodes automatiques d'analyse de toutes ces données, et particulièrement les images. Pour répondre à ce besoin urgent d'automatiser la photo-interprétation, de nombreuses méthodes ont été développées. Ces méthodes tentent de remédier aux différents problèmes d'interprétation et d'extraction de l'information à partir d'images satellitaires, notamment en géologie tel que l'occupation du sol, la détection et l'extraction d'objets surfaciques ou linéiques.

II - CADRE D'ÉTUDE ET CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La feuille de Bamako et ses environs est située dans la partie sud-ouest du Mali, entre les parallèles 14° et 12° de latitude nord et entre les méridiens 9° et 7° de longitude ouest [13]. D'un point de vue administratif, la plus grande partie de la feuille se trouve sur la région de Koulikoro, sur les cercles de Kati, Dioila, Kangaba (au Sud-ouest), Kita (au Nord-Ouest), Koulikoro au Nord et Bougouni au Sud et contient la plupart des communes urbaines de la capitale. Géographiquement, la feuille se trouve à l'extrémité sud-est des plateaux Manding, dans la plaine du fleuve Niger et de ses affluents. Le modelé topographique de la feuille de Bamako et ses environs met en évidence deux zones distinctes : une première zone de collines gréseuses très érodées au relief très accidenté dans la partie nord-ouest de la feuille, qui constituent la pointe orientale des Plateaux Mandingues (dont l'altitude moyenne est de 500 m). Le reste de la feuille est une grande plaine d'altitude homogène (entre 300 et 400 m) constituée d'alluvions, de glacis et de quelques collines dans la partie sud dont le cours est composé de multiples bras, zones humides et îles sableuses. La végétation de la feuille de Bamako et ses environs correspond au domaine soudanien et soudano-guinéen (dans la partie sud). Elle est surtout constituée de forêts claires qui se dégradent progressivement en savanes plus ou moins riches en ligneux. Le tapis herbacé est surtout composé de graminées.

La protection sélective de certaines essences arborées utiles a permis de conserver des arbres typiques de cette zone comme le Karité, le Néré, le Balanzan (*Acacia albida*), le Tamarinier, le Baobab et le Fromager (ou Kapokier). La faune sauvage est rare autour de Bamako et ses environs. Dans la zone la moins peuplée au Sud-ouest de la feuille, les phacochères, singes et hippopotames, sont devenus très rares. Le réseau hydrographique est constitué de deux cours d'eau très importants. D'une part, le Niger, qui prend sa source dans le Fouta-Djalon en République de Guinée Conakry. Il est appelé « Djoliba » dans la partie supérieure de son cours jusqu'aux alentours de Bamako où il emprunte une étroite vallée rocheuse barrée par les rapides de Sotuba. Il s'évase à nouveau après Koulikoro. Au centre sud de la feuille se trouve le Banifing qui se jette dans le Baoulé au niveau de la forêt classée de Soussan. Le Baoulé devient ensuite un affluent du Bani qui se jette lui-même dans le Niger, dans la région de Mopti. Le reste du réseau est dense et dendritique, Composé de cours d'eau essentiellement temporaires. Le climat de cette région est de type tropical sec (ou « soudanien ») dont la Pluviométrie est comprise entre 900 et 1200 mm/an. L'année comprend deux grandes saisons de durée inégale. La saison sèche, la plus longue, s'étale de novembre à avril. Les températures les plus élevées sont enregistrées vers la fin de la saison (avril-mai). La saison des pluies, commence en mai et s'achève en octobre. La proximité du Niger se manifeste par un recouvrement important du socle Paléo

protérozoïque par des dépôts alluviaux sableux ou limoneux et les latérites fortes nombreuses masquent également les terrains birimiens. Le socle affleure parfois très bien en dessous des falaises de sédiments post-paléo protérozoïques et de dolérites créacé. D'un point de vue géologique, le Mali appartient au Craton Ouest africain qui est constitué en majeure partie de terrains archéens et paléo protérozoïques, d'âge supérieur ou égal à 2000 Ma, sur lesquels reposent en discordance les sédiments néo protérozoïques (infracambrien) et Paléozoïques du bassin de Taoudéni. Le Mali est situé dans la partie Sud du Craton Ouest africain appelée dorsale de Léo (ou de Man). Dans sa partie Sud-ouest (Ouest de la Côte d'Ivoire, Libéria, Sierra Léone, Sud de la Guinée) la dorsale est composée essentiellement de terrains archéens. D'après les différents travaux cartographiques soulignent que la feuille comprend principalement des sédiments et des granites avec ponctuellement des formations volcaniques de composition basique intermédiaire. La surface de la zone est dentelée de crêtes rocheuses discontinues de direction NE-SW [12] très accidentée. Les aires d'affleurement rocheux (alluvions, granites à biotite, dolerites, filons de quartz, grès fins, moyens et grossiers, argilites silteuses micacées, volcano-sédiments acides, granites, et formations néo protérozoïque). La cartographie des phénomènes litho stratigraphiques joue un rôle essentiel au cours des différentes phases de prospection des ressources du sous-sol.

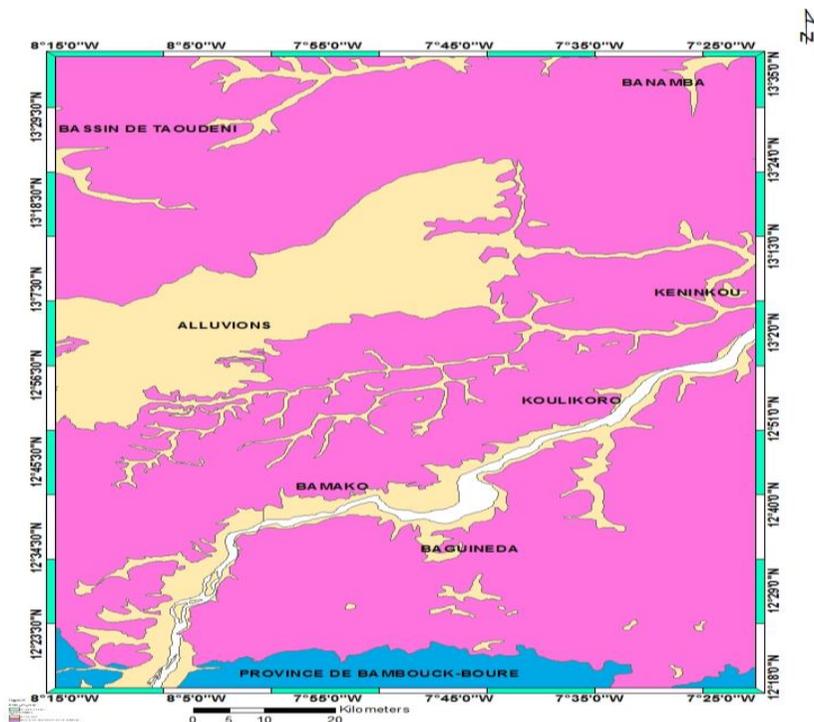


Figure 1 : Carte lithologique de la zone d'étude

III - MATÉRIEL ET MÉTHODOLOGIE

III-1. Matériel

La base de données cartographiques utilisée dans le cadre de cette étude comporte les cartes géologiques établies au 1/200 000 pour les localités Mali sud et ouest [12], de Bamako et ses environs. Les cartes photo géologiques établies au 1/200 000 pour ces localités ont également été utilisées. La présente étude s'appuie sur le traitement et l'interprétation d'une scène Landsat 7 ETM+ [9] multi spectrale et panchromatique [une bande panchromatique TM 8 à 15 m de résolution spatiale, 6 bandes multi spectrales (TM 1, 2, 3, 4, 5, 7, à 30 m) et une bande TM 6 à 120 m] couvrant Bamako et ses environs, spath 199 Row 051 du 17 Mars 2018. Il s'agit des bandes ETM+1 (bleu), ETM+2 (vert) ETM+3 (rouge), ETM+4 (proche infrarouge), ETM+5 (infrarouge moyen), ETM+7 (Infrarouge lointain) toutes avec des pixels carrés de 30 m et la bande ETM+6 (infrarouge thermique) des pixels de 120 m. Pour faire, nous nous sommes servis des logiciels (ENVI, Erdas Imagine, Sp02003, Rose.Net).

III-2. Méthodologie

Les techniques de la télédétection améliorent la localisation des formations géologiques et permettent de cartographier les unités lithologiques de façon raffinées et précise [14]. L'extraction et la cartographie des unités lithologiques se sont effectuées à partir du traitement d'image landsat ETM+. Le rehaussement ou les traitements d'amélioration d'image a été fait à l'aide de stretching ou l'étalement interactif du contraste (les étalements linéaires, gaussien, par equipopulation et racine carré) [15 - 18], de traitements thématiques, composition colorée, rapport des bandes ou bande de ratios et d'analyse en composantes principales (ACP), les IHS, les filtres et le rééchantillonnage [19 - 25]. La caractérisation radiométrique a été faite à l'aide des classifications non supervisée de l'isodata (Itérative self-organizing Data Analys Technique) et ICM (Itéraed conditional modes) [26 - 29], A, l'extraction supervisée (classification dirigée) et la matrice de confusion [25 - 31]. Les images issues des traitements par la classification non supervisée, la classification supervisée et la matrice de confusion (ENVI, ERDAS IMAGINE) sont ensuite importées dans les deux logiciel ARCGIS (ARC MAP) et MAP INFO pour dresser des cartes lithologiques de la zone d'étude. Celle qui fait ressortir le plus de discontinuités images est la classification supervisée et la matrice de confusion [26, 31]. Elle a permis de déterminer des unités lithologiques extraites comme étant des grès de Néo protérozoïque (ferrugineux, pelitiques, moyens, micro conglomératique, et quartzites), les granites à biotites, et leuco granites de de paléo protérozoïque, dolérite de jurassique, alluvions de quaternaires, et argilites de paléozoïque, toutes les formations lithologiques

signalées dans les travaux antérieurs [12] qui ressortent de manière très claire. Une fois l'extraction des lithologies avec ENVI et ERDAS IMAGINE, terminée. Ces procédés nous ont permis d'établir à terme une carte lithologique de la zone d'étude. La carte ainsi obtenue, a été superposée à la carte géologique à l'aide d'un SIG (Arc gis 10.4.1 et Map info17) pour correction, corrélation et interprétation.

IV - CONTRÔLE ET VALIDATION

La phase de contrôle et de validation des unités géologiques extraites du traitement numérique des images ETM+ est indispensable pour juger de la pertinence de la méthode utilisée. Les lithologies identifiées à partir des images Landsat 7 ETM+ ont fait l'objet d'une analyse fréquentielle où les directions principales ont été comparées à celles de formations géologiques relevées sur la carte photo géologique [12]. Les données auxiliaires issues des cartes géologiques et photo géologiques ont été comparées aux formations géologiques linéaires ou alignement litho-structuraux (A. L.S.) extraites des images satellitaires afin de leur donner une signification lithologique [12]. Lorsque l'origine anthropique d'une formation linéaire a été prouvée, elle a été supprimée. Ainsi, celles restantes doivent vraisemblablement correspondre aux formations géologiques [12]. La carte détaillée des réseaux rocheux obtenue dans le cadre de cette étude n'est certes pas exhaustive mais est représentative de la géologie de Bamako et ses environs. Elle servira de base pour la caractérisation des unités géologiques. Les réseaux rocheux ont donc été analysés suivant les techniques ; de l'analyse statistique et géostatistique de distribution des épaisseurs des roches et avec le logiciel SPO2003 et dans le second cas, d'analyser la rosace diagramme de l'orientation des roches (ROSET.NET). Le logiciel SPO2003 a permis de déterminer les épaisseurs des roches trouvées. Ces épaisseurs ont été intégrées à une étude statistique avec le logiciel STATISTICA 6.0. Il s'agit donc ici d'une approche purement qualitative où les formations ont été différenciées qu'en fonction de leur direction (ROSE .NET) et leur densité. Une mission du terrain a été faite en février 2019 pour la validation des formations géologiques trouvées par les traitements télé analytiques dans la zone d'étude, la majorité est visible sur le terrain, qui sont identique à celles déclarées dans les travaux antérieurs [12].

V - RÉSULTATS

La cartographie des unités lithologiques réalisée dans la zone d'étude est basée sur la classification supervisée et non supervisée des formations et circulaires sur les diverses images filtrées. La superposition des cartes lithologiques

obtenues dans les images traitées, nous a permis de réaliser la carte de synthèse des unités lithologiques. La carte de synthèse des unités lithologiques représente l'ensemble de formations géologiques résultantes de la superposition de l'information continue dans les images traitées. Elle regroupe les formations précambriennes, paléozoïques, cénozoïques et mésozoïques. L'analyse de la carte de synthèse indique une dispersion des formations gréseuses dans toutes les directions (0° à 180°), néanmoins certains groupes se dégagent. Il s'agit notamment des lithologies orientées : NNE-SSW ($N20^{\circ}$ à 30° et $N30^{\circ}$ à 40°) ; NE-SW ($N40^{\circ}$ à 50° et $N50^{\circ}$ à 60°) ; SE-NW ($N120^{\circ}$ à 130° et $N130^{\circ}$ à 140°) et SSE-NNW ($N140^{\circ}$ à 150° et $N150^{\circ}$ à 160°). Parmi ces groupes, on dénombre deux directions principales de formations lithologiques à savoir $N40^{\circ}$ à 50° et $N130^{\circ}$ à 140° et six directions secondaires d'orientation $N20^{\circ}$ à 30° ; $N30^{\circ}$ à 40° ; $N50^{\circ}$ à 60° ; $N120^{\circ}$ à 130° ; $N140^{\circ}$ à 150° ; $N150^{\circ}$ à 160° . Le reste des formations peu marqués sur la rosace adopte une direction $N0^{\circ}$ à 10° ; $N10^{\circ}$ à 20° ; $N60^{\circ}$ à 70° ; $N70^{\circ}$ à 80° ; $N80^{\circ}$ à 90° ; $N90^{\circ}$ à 100° ; $N100^{\circ}$ à 110° ; $N110^{\circ}$ à 120° ; $N160^{\circ}$ à 170° et $N170^{\circ}$ à 180° . Ces deux directions principales ($N40^{\circ}$ à 80° et $N130^{\circ}$ à 140°) correspondant aux directions des formations birrimiennes ont été aussi mises en évidence [12] dans Bamako et ses environs. L'orientation NNE-SSW est prédominante, regroupant des grès dans la ville de Bamako et une partie de Sibi 60 % de l'information. Les alluvions appartenant à la famille NE-SW regroupent 31.64 % des fréquences. La famille SE-NW regroupe les granites de Sibi 5.27 %. Quant aux autres directions des formations (dolérite, conglomérat, argiles), elles sont faiblement représentées. On note également en direction NNE-SSW de la carte, une zone à forte densité de grès, alors que dans les secteurs NW et SE de la carte, on note une faible représentation. La direction NNE-SSW la plus importante est la direction d'orientation de la foliation générale,

- la direction NE-SW est attribuée à des formations néo protérozoïque,
- la direction SE-NW est responsable des grands décrochements.

Les trois directions d'orientation des unités géologiques se retrouvent également au niveau des méthodes de traitements d'images satellitaires. La carte géologique du SW-Mali montre une grande variété aussi bien dans sa composition lithologique Les unités géologiques, issus de cette carte sont constitués des formations rocheuses (grès, argiles, granites) et aux accidents tectoniques (alluvions) [12]. Ces lithologies sont réparties selon trois directions. Une carte lithologique au 1/200 000ème est réalisée à partir de l'assemblage des différents résultats des analyses lithologiques en vue de tester la cartographie des différentes lithologies sur ces images obtenues par traitements, estimer leur apport et valider leurs résultats. Pour faire, la méthodologie utilisée est accompagnée d'un travail parallèle bibliographique et de terrain (dans le cas Bamako et ses environs par la carte géologique [12]

comme outil de référence, d'examen et de confirmation. Pour estimer le degré de concordance avec la carte géologique [12], cette dernière a été digitalisée et incorporée dans un système d'informations géographiques (SIG) dans le logiciel Arc Gis, les différentes images issues des traitements utilisés pour dresser la carte lithologique de la zone. La nouvelle carte lithologique obtenue est précise et apporte des mises-à-jours à la carte géologique existante. Les différents résultats voire les **Tableaux** et les **Figures** ci-dessous.

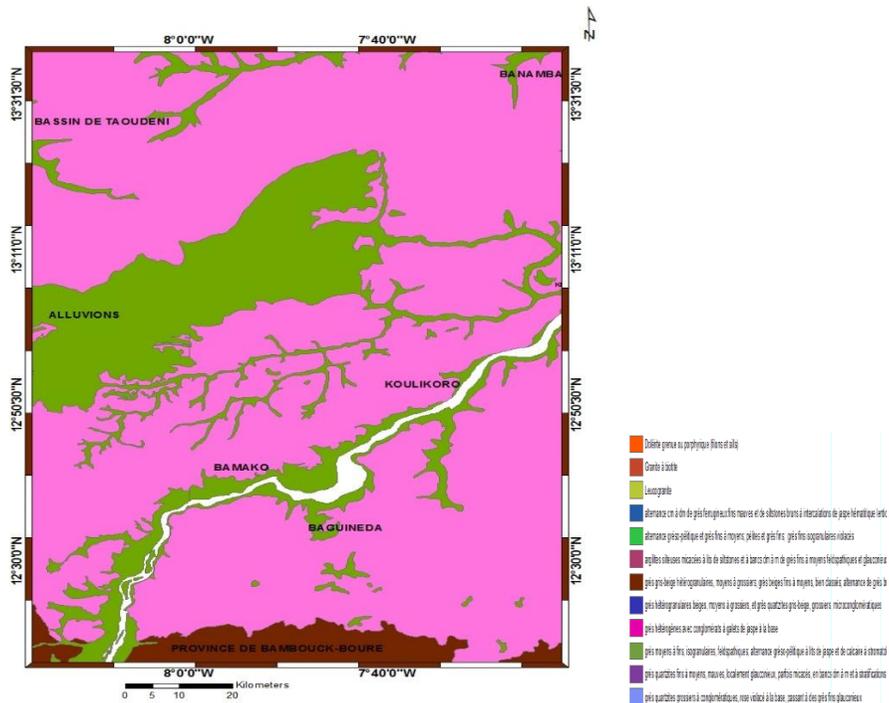


Figure 2 : Carte synthèse de lithologies de la zone d'étude (classification non supervisée)

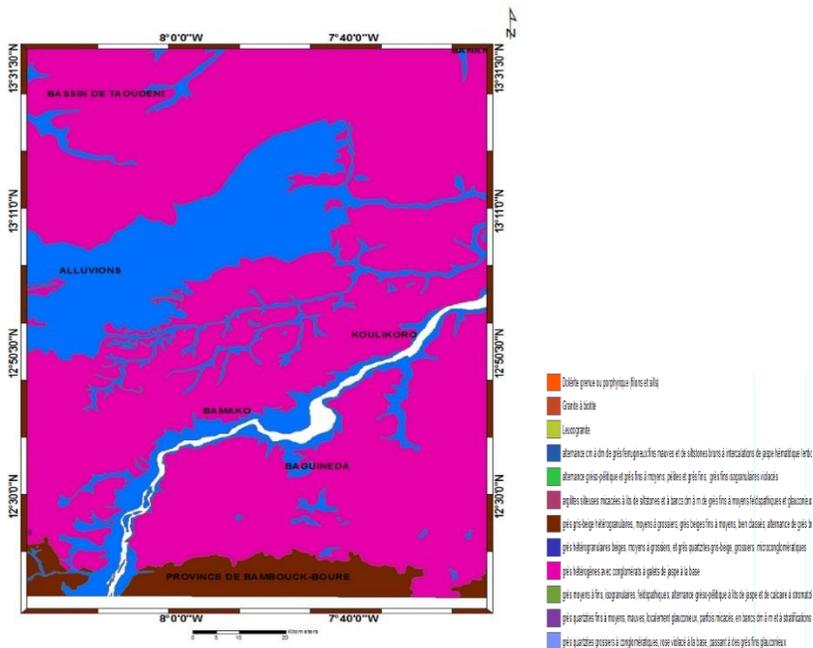


Figure 3 : Carte synthèse de lithologies de la zone d'étude (classification supervisée)

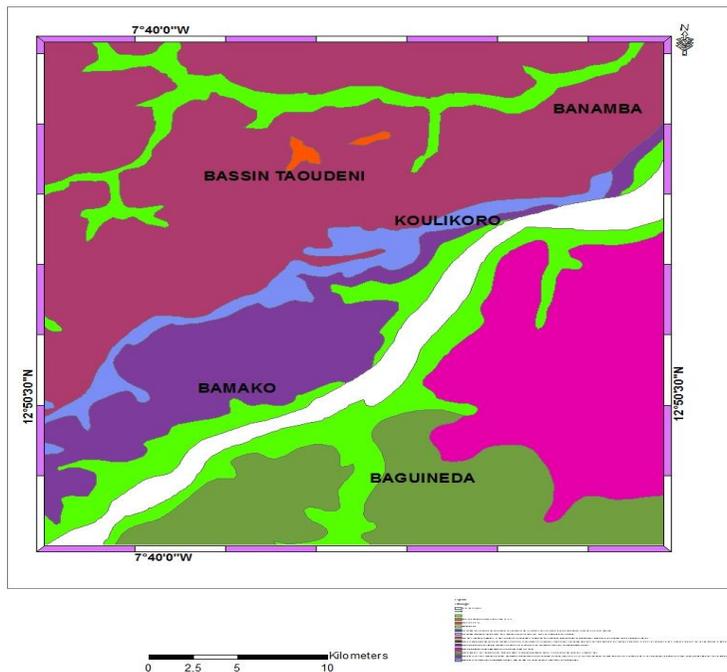


Figure 4 : Carte synthèse de lithologies FEYBESSE (2004)

Tableau 1 : Synthèse des résultats la distribution de l'orientation des lithologies télé analytiques de la carte lithologique de la zone d'étude

| Notation | Angle (°) | Direction | Lithologies | % |
|----------|-----------|------------|----------------|-------|
| 1 | 00 - 30 | NNE - SSW | Grès | 60 |
| 2 | 30 - 60 | NE - SW | Alluvions | 24.62 |
| 3 | 60 - 90 | ENE-WSW | Dolérites | 2.51 |
| 4 | 90 - 120 | ESE-WNW | Granites | 5.03 |
| 5 | 120 - 150 | SE - NW | Argiles | 13.82 |
| 6 | 150 - 180 | SSE - N NW | Leuco granites | 3.77 |

Tableau 2 : Synthèse des résultats la distribution de l'orientation des lithologies de la carte lithologique de la zone d'étude Feybesse 2004

| Natation | Angle (°) | Direction | Lithologies | % |
|----------|-----------|------------|----------------|-------|
| 1 | 00 - 30 | NNE - SSW | Grès | 51.68 |
| 2 | 30 - 60 | NE - SW | Alluvions | 28.29 |
| 3 | 60 - 90 | ENE - WSW | Dolérites | 4.04 |
| 4 | 90 - 120 | ESE - WNW | Granites | 1.51 |
| 5 | 120 - 150 | SE - NW | Argiles | 12.97 |
| 6 | 150 - 180 | SSE - N NW | Leuco granites | 1.51 |

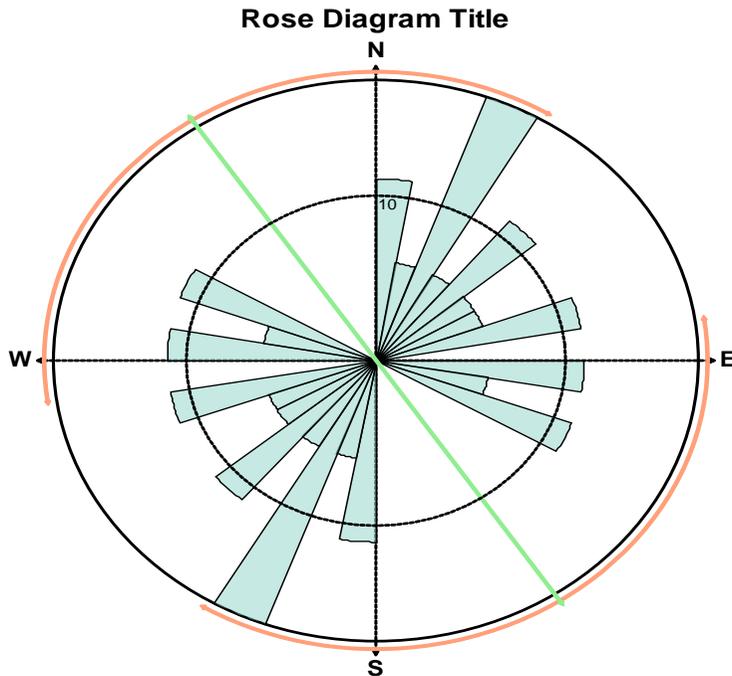


Figure 5 : Rosace des directions des roches télé analytiques de la zone d'étude (Bamako et ses environs)

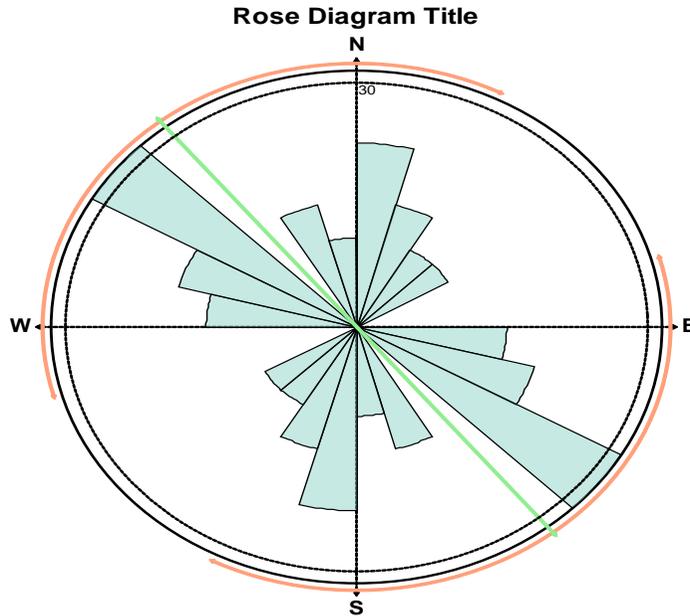


Figure 6 : Rosace des directions des lithologies de la zone d'étude (Bamako et ses environs)

VI - DISCUSSION

Les classifications (supervisée et non supervisée) des données d'images satellitaires et des données de la carte géologique permettent d'identifier les unités lithologiques comme étant, grès (infracambriens), granites et leuco granites (paléo protérozoïque), alluvions (quaternaires), dolérite (jurassiques), et argiles (paléozoïques) sur le terrain. La superposition des données d'images satellitaires et des données de la carte géologique permet d'identifier un certain nombre des unités lithologiques comme étant la foliation générale, grès (infracambriens), granites et leuco granites (paléo protérozoïque), alluvions (quaternaires), dolérite (jurassiques), et argiles (paléozoïques) reconnus sur le terrain. Il ressort de cette analyse que la direction préférentielle NNE - SSW représentée dans la zone entière, serait liée à la formation gréseuse générale lors de la deuxième phase de déformation et à un système de plis dissymétriques à plongement SSW qualifiés de plis d'accompagnement de la foliation [12] reprenant ainsi la foliation lors de la phase de déformation [12]. La direction SSW représente l'ensemble des unités lithologiques cassantes (fracture, diaclase, filon, para clase et autres fractures) attribuée à la phase de déformation terminale ; quant à la direction NNE – SSW, elle correspondrait à un système de grands décrochements transversaux (faille et cisaillement). Ces unités issues de l'image satellitaire sont souvent parfaitement superposés ou

légèrement décalés par rapport aux éléments géologiques du terrain ou encore sont dans le prolongement de ces derniers. Etant donnée la précision de l'image satellitaire (inférieur à 50 m, de l'ordre de deux pixels), ce décalage entre les lithologies satellitaires et géologiques peut s'expliquer d'une part, par le géocodage [21] et le reéchantillonnage (classification supervisée ou dirigée) qui introduisent de l'imprécision dans l'image traitée [22]. D'autre part, les cartes géologiques de compilation introduisent de l'imprécision par l'interprétation des contacts, les changements d'échelle (et parfois de changement de projection) et la largeur des lignes. L'observation de la carte des unités géologiques, permet de constater également une tendance NNE – SSW dans l'orientation des formations géologiques (grès, alluvions). Au NE et SW de la carte, on a plutôt une tendance les formations alluvionnaires dominées par les fractures, failles, décrochement et cisaillement. Cette constatation confirmerait la répartition des éléments géologiques selon deux secteurs tectoniques d'apparence morphologique différente : l'axe NNE – SSW représentant l'étirement de la chaîne dominé par les formations gréseuses et l'axe NE-SW représentant la compression dominé par les structures fragiles (alluvions). Il faut noter que l'orientation préférentielle NNE – SSW remarquée par l'image satellitaire (60 %) s'avère être également celle des unités liés au socle rocheux [23]. De ces analyses, il ressort que nous pouvons associer une bonne partie de nos observations à des lithologies déjà existantes avec une plus grande précision.

VII - CONCLUSION

La présente étude porte sur la cartographie lithologique de la zone d'étude (Bamako et ses environs) (Sud-ouest malien), en utilisant une méthode de cartographie qui devient actuellement le moteur d'une action pluridisciplinaire et interdisciplinaire "la télédétection". Le but de ce travail était d'apporter une compréhension lithologique de Bamako et ses environs à travers l'étude des formations géologiques obtenues par traitement d'images satellitaires. La contribution de l'analyse et l'exploitation de l'imagerie satellitaire dans la caractérisation des principales unités lithologiques ont été prouvées et évaluées à travers de multiples travaux. Cette approche apportant une contribution considérable est plus compétitive en matière de qualité et de bénéficié de temps comparée aux anciennes méthodes de cartographie géologique. L'approche méthodologique simple basée sur l'utilisation d'image corrigée géométriquement, le rehaussement d'image et les classifications (supervisée et non supervisée) a permis l'élaboration d'une carte lithologique précise et raffinée de la zone d'étude. L'analyse statistique des unités lithologiques à l'aide des rosaces directionnelles a démontré une répartition particulière de l'orientation de ces dernières selon la direction préférentielle NNE – SSW avec 60 % de fréquence. La confrontation de ces résultats avec les données géologiques à partir d'un SIG a permis de faire un lien géologique entre les différents éléments et faciliter leur interprétation.

RÉFÉRENCES

- [1] - B. BESSOLES, “ Géologie de l'Afrique : le craton ouest-africain”, BRGM thèse, (1977)
- [2] - J. P. BASSOT, J. MELOUX, H. TRAORE, “Notice explicative de la carte géologique à 1/500 000 de la République du Mali”. Archives Dir. Gén. Géol. Mines, Bamako, Mali, (1981)
- [3] - J. P. BASSOT, M. CAEN-VACHETTE, “ Données géochronologiques et géochimiques nouvelles sur les granodiorites de l'est Sénégal : Implications sur l'histoire géologique”, rapport BRGM, (1984)
- [4] - J. CAMIL, “Pétrographie, chronologie des ensembles archéens et formations associées de la région de Man (Côte d'Ivoire). Implications pour l'histoire géologique du craton ouest ”africain Thesis, University of Abidjan, (1984)
- [5] - S. LEMOINE, “ Evolution géologique de la région de Dabakala (NE Côte d'Ivoire) au Protérozoïque inférieur. Possibilités d'extension au reste de la Côte d'Ivoire et au Burkina-Faso”, Thesis, University of Clermont-Ferrand, (1988)
- [6] - R. GOLOUBINOW, “ Notice explicative sur la feuille de Bougouni-ouest. N°90”, Centre de documentation DNGM, (1937)
- [7] - V. M., I. KISSAO, “Rapport de prospection générale des monts mandingues”, (1978)
- [8] - M. VARLET, J. F., I. KISSAO. I, “ Rapport grande reconnaissance Mali Sud (région de Kayes - Bamako) ”, Centre de documentation DNGM, (1977)
- [9] - A. F. WILKINSON, “ Discordant Rb/Sr and Pb / Pb whole rock isochron ages for the Archeanbasement of Sierra Leone.Precambrian Research”, (1980)
- [10] - J. L. FEYBESSE, J. P. MILESI., V. JOHAN, D. A, J. Y. CALVEZ, M. BOHER, W. ABOUCHAMI, “La limite Archéen / Protérozoïque inférieur d'Afrique de l'ouest: une zone de chevauchement majeure antérieure à l'accident de Sassandra; l'exemple des régions, d'Odiénné et de Touba (Côte d'Ivoire), ”Compte rendu de l'Academie des Sciences de Paris, (1989)
- [11] - A. N. KOUAMELAN, C. DELOR, J. J. PEUCAT, “ Geochronological evidence for reworking of Archean terrains during the Early Proterozoic (2.1 Ga) in the western Côte d'Ivoire (Man Rise-West African Craton), ” *Precambrian Research*, (1997)
- [12] - JEAN-LOUIS. FEYBESSE, “ Notice explicative de la Carte géologique de la République du Mali à 1/200 000, ” BRGM, CPG, DNGM, (2004)
- [13] - Couverture Photographique du Mali, Situation au 31 Décembre”, (1977)
- [14] - D. GALMIER, “applications de la photo-interprétation et de la télédétection à la géologie de l'ingénieur, ” Rapport, BRGM, (1976)
- [15] - C. LACINA, “Interprétation Structurale des Linéaments par traitement d'Image Satellitaire : cas des sous provinces d'Abitibi et d'opatica (Québec), ” Université de Sherbrooke, Mémoire, (1996)
- [16] - J. DUBOIS, “Identification des linéaments dans les images satellitaires par ajustement et suivie de segments, ” mémoire de maitrise, (1999)
- [17] - A. TAMIM, “Segmentation et classification des images satellitaires : application à la détection des zones d'upwelling côtier marocain et mise en place d'un logiciel de suivi spatio temporel. Traitement du signal et de l'image, ” Université Mohammed V ; Thèse, (2015)

- [18] - A. LAAMRANI, Classification des images satellites Landsat: forces et limites, Article, (2007)
- [19] - L. M. YACINE, “Apport de la télédétection (images Landsat 7 ETM+) pour la cartographie géologique de la région d’Aflou (Atlas saharien), Université Ferhat Abbas-Setif, ” Mémoire de fin d’études, (2010)
- [20] - M. O. SGHAIER, “ Extraction des structures linéaires à partir des images satellitaires à très haute résolution pour l’aide à la gestion des catastrophes majeures, ” École de Technologie Supérieure Université du Québec, Thèse, (2017)
- [21] - F. FADIA, “Segmentation des Images par Contours Actifs : Application sur les Images Satellitaires à Haute Résolutions, ” Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, Mémoire de fin d’études, (2012)
- [22] - E. LABRUNYE, “Extraction automatique d’information géologique, à partir d’images sismiques tridimensionnelles, ” Thèse, (2004)
- [23] - G. LACHAINE, “Structures géologiques et linéaments, Beauce (Québec) : apport de la télédétection, ” thèse, (1999)
- [24] - N. IMESSAOUDENE, “ Utilisation de la télédétection pour la cartographie géologique du Massif des Eglab et de sa bordure sédimentaire (Sud-Ouest algérien), ” Université Ferhat Abbas – Setif, Mémoire de fin d’étude, (2012)
- [25] - H. NABILA, “Cartographie géologique et analyse linéamentaire de la région d’El Kseibat (Sahara du sud-ouest) à partir des images spatiales. Incidence sur l’exploration minière, ” Université Kasdi Merbah Ouargla, Thèse, (2016)
- [26] - NA. T. TANKAM, “ Méthode optimisée de classification d’images satellitaires radar RSO par usage des paramètres de texture d’ordre supérieur. Application à la mangrove littorale Camerounaise, Université de Bourgogne, Dijon, France. Article, (2000)
- [27] - A. DELAHAYE, “ Classification multi échelle d’images à très haute résolution spatiale basée sur une nouvelle approche texturale, ” Faculté des lettres et sciences humaines Université de Sherbrooke, Thèse, (2016)
- [28] - Z. SERVADIO, “ Apports de l’imagerie à haute résolution spectrale et spatiale dans les bilans de volume et bilans radiatifs au Piton de La Fournaise. Sciences de la Terre, ”Université de la Réunion, Français, Article, (2011)
- [29] - L. JÉGOU et J. BUOSI, “Méthodologie de la Cartographie Automatique, Institut Daniel Faucher, ” Article, (2007)
- [30] - Olivier PONY, “Classification d’image satellitaire super spectrale en zone rurale et périurbaine, ” Article, (2004)
- [31] - A. MASSE, “ Développement et automatisation de méthodes de classification à partir de séries temporelles d’images de télédétection - Application aux changements d’occupation des sols et à l’estimation du bilan carbone. Océan, Atmosphère, ” Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2013. Article, (2013)