

APPLICATION D'UN SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE (SIG) POUR LA MISE EN ÉVIDENCE DES FORMATIONS ABRITANT LA MINÉRALISATION AURIFÈRE EN COTE D'IVOIRE : CAS DU DÉPARTEMENT DE KATIOLA

[APPLICATION OF A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) TO HIGHLIGHT FORMATIONS THAT SUPPORT GOLD MINERALIZATION IN COTE D'IVOIRE : CASE OF THE DEPARTMENT OF KATIOLA]

DIAKITE Yacouba¹, AHOUSSEI Kouassi Ernest², SOUMAHORO Segbe³, and TOURE Ibrahim⁴

¹Université Technologique et Tertiaire Loko (UTTLOKO), Abidjan, Côte d'Ivoire

²Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Côte d'Ivoire

³Direction technique, Société d'Etudes et d'ingénierie (SETI), Abidjan, Côte d'Ivoire

⁴Faculté des sciences, Université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This work aims to identify potential sites suitable for mining research through the use of Geographic Information Systems (GIS). The method of pair comparisons by the hierarchical analysis process developed was used to the ponderation of criteria to generate different thematic maps. By the technique of complete aggregation based on the ponderation, these different maps were combined to produce the indicator map to result in the synthesis map. The map of potential sites for the auriferous mineralization which is a synthesis map reveals that 10% (350Km² or 3500ha) of the study area is moderately mineralized, 30% (1050km² or 10500ha) is mineralized and 13% (455Km² or 45500ha) is very mineralized. This map is of great importance for possible auriferous explorations. It highlights the auriferous potentialities of Katiola department.

KEYWORDS: Analysis multicriteria, Katiola, mineralization, potential sites, SIG.

RESUME: Cette étude a pour objectif de mettre en place un système d'information géographique (SIG) pour déterminer les sites potentiels de minéralisation aurifère dans le département de Katiola (centre-nord de la Côte d'Ivoire). La méthode des comparaisons par paire par le processus d'analyse hiérarchique a été utilisée pour la pondération des critères afin de générer les différentes cartes thématiques. Par la technique de l'agrégation complète basée sur la pondération, ces différentes cartes thématiques ont été combinées pour produire la carte des indicateurs pour aboutir à la carte de synthèse. La carte des sites potentiels à la minéralisation aurifère qui est une carte de synthèse révèle que 10% (350Km² soit 3500ha) de la zone d'étude est moyennement minéralisée, 30% (1050km² soit 10500ha) minéralisée et 13% (455Km² soit 45500ha) très minéralisée. Cette carte est d'une grande importance pour d'éventuelles explorations aurifères. Elle met en évidence les potentialités aurifères du département de Katiola.

MOTS-CLEFS: Analyse multicritère, Katiola, minéralisation, site potentiel, SIG.

1 INTRODUCTION

La découverte d'un gisement dont la distribution dans la lithosphère est irrégulière, est l'objectif principal de la prospection minière. L'on déduit de cette observation, qu'un projet de prospection n'est mis en exécution que lorsqu'un gisement est soupçonné [1]. Cette approche est liée au fait que la prospection minière est une activité à risques. Pour minimiser le risque, le prospecteur se doit d'utiliser des méthodes peu onéreuses, faciles d'accès et adaptées pour le bon déroulement des activités de la prospection minière. Dans cette approche, le choix des outils constitue la clé de la solution aux risques. Les systèmes d'information géographique (SIG) rentrent dans le cadre de ces outils indispensables dans la réalisation d'un programme d'exploration. En effet, l'utilisation d'une base de données aura pour intérêt de mettre en place un SIG qui créera une interaction entre la minéralisation et les autres facteurs. Le croisement de couches thématiques, issues des différentes cartes, est l'une des caractéristiques essentielles d'un SIG. Le but de ces différents croisements est de permettre une prise de décision [2] Aussi, les données constituent l'élément central d'un SIG. En d'autres termes, comme le pensent [2], le SIG doit être perçu comme étant une carte de "rang supérieur". L'apport du SIG est fondamental en ce sens qu'il favorisera un croisement entre les différentes données pour aboutir à une information de synthèse sous forme cartographique [3] ; le SIG ne doit être perçu comme un "outil miracle" par le gestionnaire de ressources, mais doit permettre d'entrevoir des solutions à chaque cas, compte tenu de leur pertinence vis-à-vis de la problématique posée. Cette étude se propose alors de mettre en place un SIG pour déterminer les sites potentiels de minéralisation aurifère dans le département de Katiola. Elle pourrait constituer un document scientifique important à la prospection minière en vue de susciter chez les opérateurs à s'intéresser davantage à cette partie du pays regorgeant des ressources aurifère importante.

2 PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

Située au Centre Nord de la Côte d'Ivoire, la zone d'étude (Katiola) est comprise entre la longitude 4°44' et 5°38' Ouest et la latitude 7°58' et 8°27' Nord (fig. 1). La zone d'étude a une pluviométrie annuelle oscillant entre 1100 mm³ et 1200 mm³. Les pluies sont moins importantes et inégalement réparties. Le paysage de la zone d'étude se caractérise par des reliefs de cuirasses lateritiques formant de petits plateaux monotone et à faible pente [4]. La région est drainé par deux cours d'eaux principaux, le N'zi à l'Est et le fleuve Bandama à l'Ouest et de nombreuses rivières dont la plupart tarissent pendant la grande saison sèche [5]. La végétation et le sol sont favorable au culture d'exportation, de même qu'aux cultures vivrières [4]. Le département à une superficie de 3500 Km² et une population estimée à 106905 habitants, soit une densité de 30 habitants/km² [6]. Cette population essentiellement agricole est constituée du peuple senoufo (Tagbana). D'après les études géologiques antérieures, les roches de la zone d'étude appartiennent au domaine paléo protérozoïque [7]. Ces formations géologiques sont subdivisées en trois ensembles que sont les formations du complexe plutonique abronien; les formations du complexe granitoide baoulé et les formations birimiennes (fig. 2). Les accidents majeurs identifiés dans la zone d'étude présentent diverses directions : N-S ; NNE-NNW et E-W. [8].

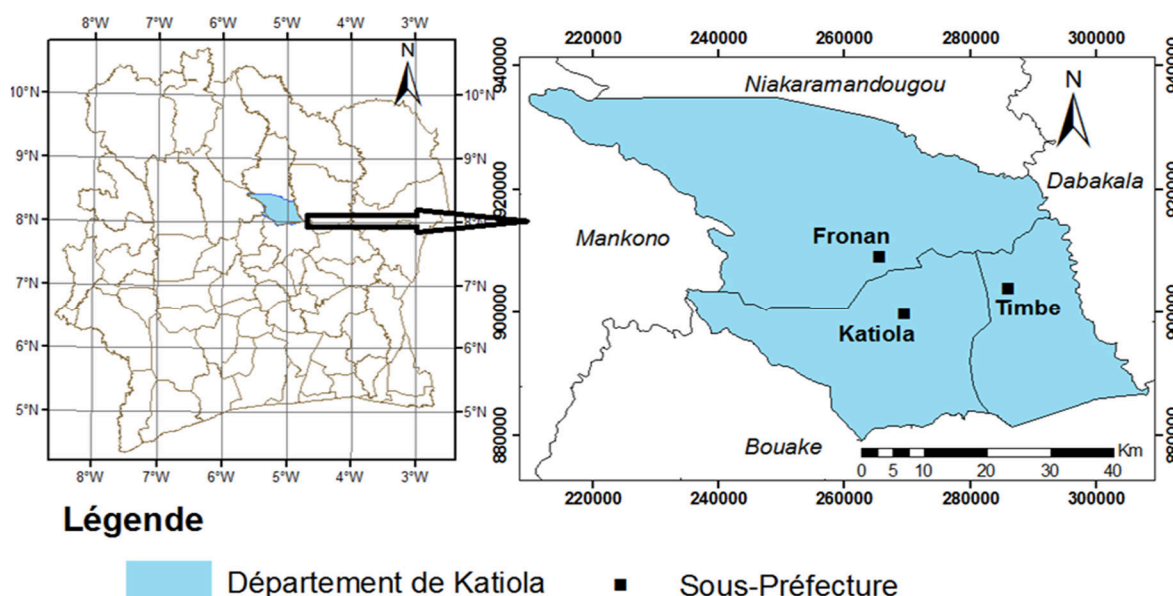
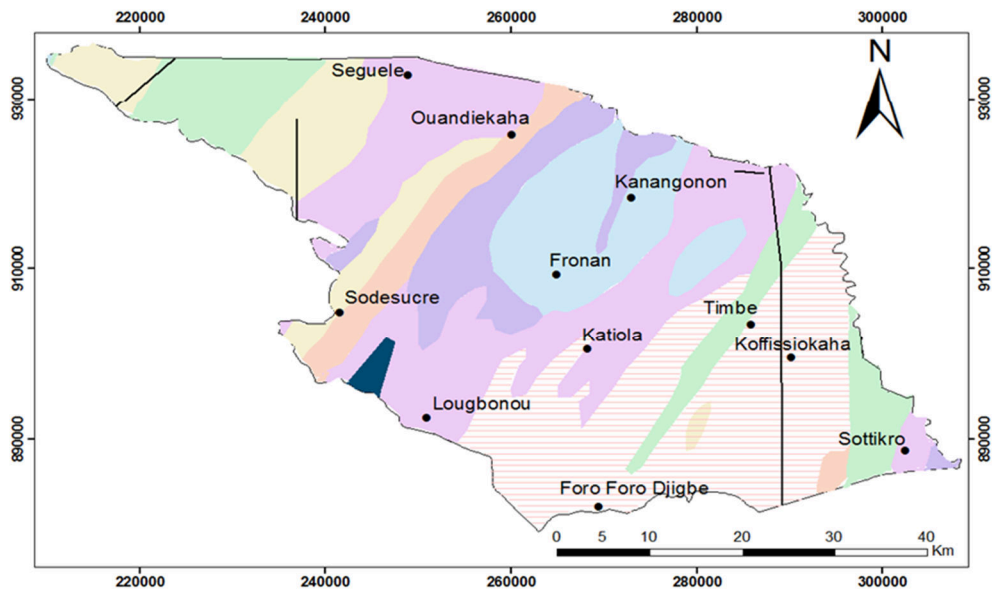


Fig. 1. Carte de présentation du département de Katiola



Légende

•	Localité	—	Failles régionales
	Granite akéritique		Andesite, basalte, amphibolite
	Granodiorite		Granitoïde subalcalin
	Schiste et grawackes		Granite alcalin et granitoïdes indifférenciés
	Conglomérat polygénique à ciment grawackeux		Formation de métamorphisme plus intense

Fig. 2. Carte géologique de la zone d'étude (extraite de la carte géologique de la Côte d'Ivoire)

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 MATÉRIEL ET DONNÉE

Cette étude a nécessité l'utilisation de plusieurs types de données dont la carte géologique à l'échelle 1/1000000 produite par la sodemi en 1972 et la carte pédologique de la Côte d'Ivoire produite par ORSTM en 1987 ; Les images satellites ETM+ de Landsat 7 (scènes p196r054 du 29 janvier 2002 et p197r054 du 22 décembre 2003) ont été utilisé pour la cartographie linéamentaire. Les données terrain comportent les coordonnées des sites d'orpaillage et une fiche d'enquête réalisée auprès des orpailleurs. A celles-ci s'ajoute les données démographiques (recensement des populations 2014) proviennent de l'institut national de la statistique (INS) fournie par le conseil régional de Katiola (CRK).

De nombreux logiciels ont été utilisé en vue d'atteindre les objectifs fixés conformément à l'approche méthodologique adoptée. Pour les travaux de composition colorée, de traitement de l'image ETM+ et d'analyse statistique des linéaments, ont été utilisé respectivement ILWIS 3.8 ; ENVI 5 et ROCKWORK. Pour l'établissement des différentes cartes thématique ainsi que la carte de synthèse, les données ont été saisie sur le tableur Excel et traité grâce au logiciel ARCGIS 10.2.2

3.2 MÉTHODES

3.2.1 CARTOGRAPHIE DES LINEAMENTS

La cartographie a été rendue possible grâce à l'image corrigée landsat ETM+ scènes p196r054 du 29 janvier 2002 et p197r054 du 22 décembre 2003. Les techniques utilisées pour le traitement de l'image comprennent l'analyse en composante principale (ACP), les compositions colorées et les techniques de filtrage spatial (les filtres de Sobel). L'organigramme de la figure 3 résume les étapes de ces opérations.

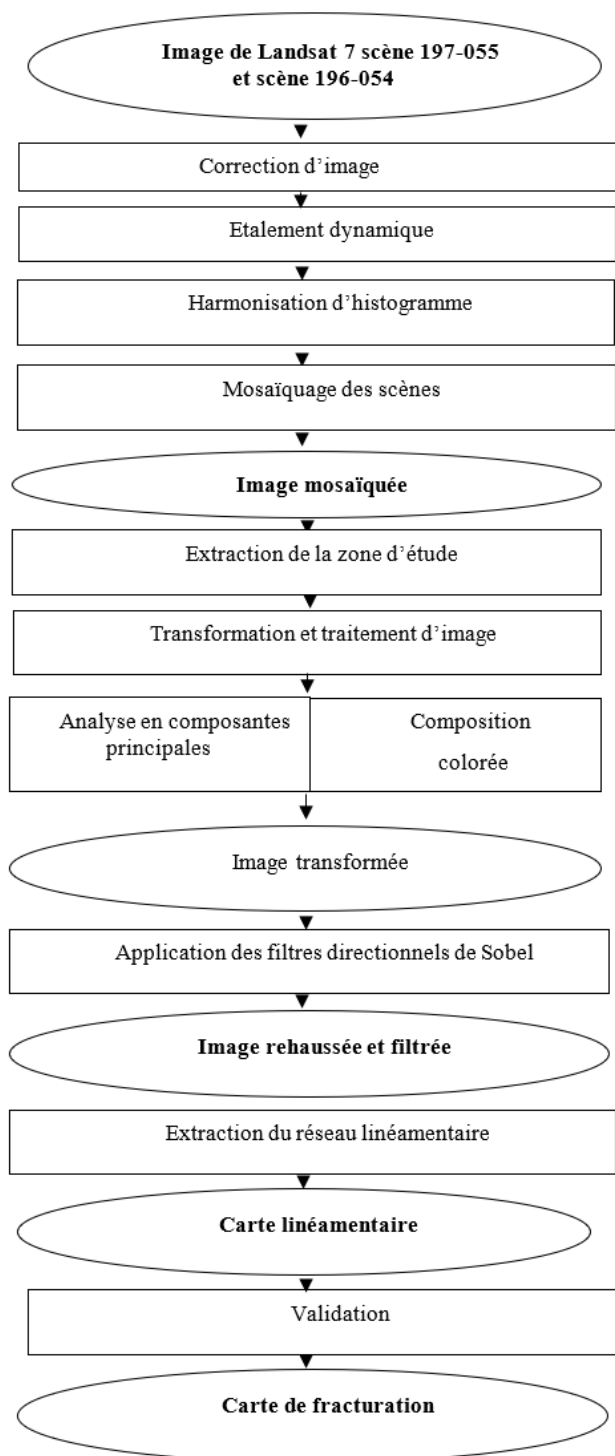


Fig. 3. Organigramme général pour le traitement et l'extraction des linéaments à partir d'une image Landsat

3.2.2 ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE

L'analyse en composantes principales (ACP) est une opération effectuée sur plusieurs canaux, dans le but d'améliorer la qualité des images, de supprimer les redondances d'informations et de compiler les données. Le résultat prend la forme de plusieurs nouveaux canaux présentant un intérêt explicatif décroissant. Pour cette étude, elle a été réalisée avec les bandes ETM+ de landsat 7. L'analyse permet de retenir les néo-canaux ACP1, ACP2, ACP3 qui contiennent respectivement 57,72% ; 19,44% ; 11,95% d'informations. Il en résulte donc que 89, 11% d'information sur l'image de la zone d'étude sont contenues dans ces trois neo-canaux. La technique d'étalement linéaire a ensuite été appliquée à ces néo-canaux pour une amélioration du contraste.

3.2.3 COMPOSITION COLORÉE

Plusieurs compositions colorées ont été réalisées avec les bandes ETM+ à partir du calcul de l’OIF introduite par [9] (optimum index factory) La combinaison qui a l’OIF le plus élevé est susceptible de fournir le maximum d’informations puisqu’elle utilise les données ayant le moins de redondances. Le logiciel ILWIS 3.8 a été utilisé pour déterminer automatiquement la composition colorée la plus optimum à partir des statistiques des bandes images du logiciel ILWIS 3.8. (Tableau 1). Il se calcule de la manière suivante:

$$OIF = \frac{\sum_{k=1}^3 S_k}{\sum_{j=1}^3 |r_j|} \tag{équation 1}$$

Avec:

ΣS_k = somme des écarts types (déviations standards) des combinaisons des 3 bandes k1, k 2, k3.

$\Sigma |r_j|$ = somme des valeurs absolues du coefficient de corrélation.

Le choix de la composition colorée retenue a été fait en fonction des caractéristiques recherchées.

Tableau 1. Facteur d’indice optimum à partir de toutes les combinaisons possibles des six bandes dans la région d’étude

Compositions colorées	Bandes équivalentes	OIF
157	b1 b5 b6	80.77
145	b1 b4 b5	78.25
257	b2 b5 b6	76.64
147	b1 b4 b6	75.87
245	b2 b4 b5	74.10
125	b1 b2 b5	73.83

Tableau 2. Filtres directionnels de Sobel (matrice 7x7)

1	1	1	2	1	1	1	-1	-1	-1	0	1	1	1
1	1	2	3	2	1	1	-1	-1	-2	0	2	1	1
1	2	3	4	3	2	1	-1	-2	-3	0	3	2	1
0	0	0	0	0	0	0	-2	-3	-4	0	4	3	2
-1	-2	-3	-4	-3	-2	-1	-1	-2	-3	0	3	2	1
-1	-1	-2	-3	-2	-1	-1	-1	-1	-2	0	2	1	1
-1	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1
Filtre SOBEL de direction N-S							Filtre SOBEL de direction E-O						
0	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	0
-1	0	2	2	2	3	1	1	3	2	2	2	0	-1
-1	-2	0	3	4	2	1	1	2	4	3	0	-2	-1
-1	-2	-3	0	3	2	1	1	2	3	0	-3	-2	-1
-1	-2	-4	-3	0	2	1	1	2	0	-3	-4	-2	-1
-1	-3	-2	-2	-2	0	1	1	0	-2	-2	-2	-3	-1
-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-2
Filtre SOBEL de direction NE-SO							Filtre SOBEL de direction NO-SE						

3.2.4 CONTRÔLE ET VALIDATION DES LINÉAMENTS

La carte des accidents majeures de la Côte d’Ivoire a servi de support à la validation de la carte de fracturation de Katiola. La démarche a consisté à identifier et répertorier toutes les fractures sur la carte linéamentaire et d’identifier par la même occasion sur la carte des accidents majeurs de la Côte d’Ivoire.

3.3 CARTOGRAPHIE THÉMATIQUE

La démarche méthodologique adoptée pour la cartographie des sites potentiels à la minéralisation aurifère dans le cadre de cette étude a suivi les étapes suivantes : l'identification des critères de décision, la pondération des critères, la classification et standardisation de ces critères en vue de l'élaboration des indicateurs conformément aux objectifs à atteindre et enfin la pondération des critères par la méthode d'agrégation complète et la reclassification suivant la démarche multicritère.

3.3.1 IDENTIFICATION ET JUSTIFICATION DU CHOIX DES CRITÈRES

Cinq critères accessibles au grand public ont été identifiés, sélectionnés et évalués, pour l'établissement des différentes cartes thématiques des ressources aurifères, compte tenu de la rareté des données minières de la zone d'étude, les critères jugés importants sont lithologie, densité de fracturation, indices aurifère densité de population et type de sol

3.3.1.1 LITHOLOGIE ET DENSITÉ DE FRACTURATION

Le choix des formations géologiques favorables a pour justification la relation métallogénique entre la roche et la minéralisation. C'est un facteur important car, dans le contexte du birimien, les minéralisations aurifères ne se retrouvent exclusivement que dans certains types de roches.

Étant donné l'importance de l'activité hydrothermale dans le birimien, la recherche des "pièges à or" a toujours guidé les prospecteurs dans la recherche de la minéralisation aurifère. Les références [10] et [11] ont identifié les filons de quartz et les structures faillées comme étant des "pièges à or" que l'on peut rencontrer dans le birimien.

3.3.1.2 DENSITÉ DE LA POPULATION ET TYPES DE SOLS

La réalisation d'un projet minier dans une zone donnée est beaucoup influencée par l'implantation humaine dans cette zone. Plus la population est dense sur un site plus il serait difficile de la déplacer du site. Ce critère influence ainsi la praticabilité de tout projet minier.

La prospection des sols est un élément déterminant pour le suivi de la minéralisation de la surface vers la profondeur. L'intérêt que présente la prospection des sols au stade actuel des recherches est que tous les sols ne se prêtent pas à ce type d'investigation. En effet, à l'exception des sols latéritiques, les autres types de sols ne permettent pas d'affirmer le caractère en place de la minéralisation [12].

3.3.1.3 INDICES AURIFÈRES

Les concepts de prospection minière établissent clairement qu'aucune action ne peut être entreprise sans le soupçon d'un gîte [1]. L'existence d'indices de minéralisation dans une zone donnée est un facteur déterminant dans une décision de prospection. De plus, les indices aurifères indiquent la présence d'une minéralisation.

3.3.2 INDICATEURS UTILISÉS

Les indicateurs utilisés sont : indicateur zones de minéralisation et indicateur niveaux de praticabilité [12].

Indicateur « zones de minéralisation »

La mise en évidence des zones minéralisées est un facteur primordial et déterminant dans toute décision de prospection minière. Pour cela, le choix des « zones de minéralisation » paraît un indicateur fondamental pour la détermination des sites potentiels à la minéralisation aurifère. Ainsi, sera pris en compte l'environnement géologique (formations géologiques et zones de fracturation) et les indices aurifères pour la détermination des zones de minéralisation.

Indicateur « niveaux de praticabilité »

La découverte de l'existence d'une minéralisation est toujours suivie d'une interrogation. Il s'agit de voir dans quelles mesures la pratique de la prospection est réalisable. Ainsi les « niveaux de praticabilité » deviennent pour le prospecteur, un indicateur approprié pour répondre à cette interrogation. Il sera ainsi pris en compte l'aspect démographique et la pédologie de la zone d'étude pour déterminer les degrés de praticabilité de la prospection minière.

3.3.3 PONDÉRATION DES FACTEURS D'APPRÉCIATION

Elle s'est faite à partir de la méthode des comparaisons par paire développée par [13] dans le cadre du processus d'analyse hiérarchique (Analytical Hierarchy Process). Elle permet de produire des coefficients de pondération standardisés dont la somme est égale à 1 (Tableau III et IV). La combinaison obtenue avec cette méthode est estimée de la façon suivante :

$$S = \sum WiXi \quad (\text{équation 2})$$

Avec : S le résultat de la combinaison, Wi le poids du facteur i et Xi la valeur du critère de facteur i.

Une fois que les couches des facteurs d'appréciation ont été établis, et leur coefficient de pondération déterminé, il est aisé de les combiner. Ainsi, la densité de fracturation, la densité de population, les indices aurifères ont été combinées pour obtenir la carte d'indicateur « zones de minéralisation ». La lithologie et les types de sol ont permis d'obtenir la carte d'indicateur « niveaux de praticabilité ». Ces deux indicateurs combinés ont abouti à la carte des « sites potentiels de minéralisation aurifère ».

Tableau 3. Matrice de comparaison par paire et de pondération de l'indicateur niveaux de praticabilité

Critères	Densité de population	Types de sol	Vecteur Propre	Coefficient de pondération
Densité de population	1	7	$\sqrt[2]{1 \times 7} = 2,645$	$\frac{2,645}{2,645 + 0,377} = 0,87$
Types de Sol	1/7	1	$\sqrt[2]{\frac{1}{7} \times 1} = 0,377$	$\frac{0,377}{2,645 + 0,377} = 0,13$

Tableau 4. Matrice de comparaison par paire de l'indicateur zones de minéralisation

Critères	Lithologie	Densité de fracturation	Indices aurifères	Vecteur propre	Coefficient de pondération
Lithologie	1	7	1/5	$\sqrt[3]{1 \times 7 \times \frac{1}{5}} = 1,118$	$\frac{1,118}{1,118 + 0,251 + 3,556} = 0,23$
Densité de fracturation	1/7	1	1/9	$\sqrt[3]{\frac{1}{7} \times 1 \times \frac{1}{9}} = 0,251$	$\frac{0,251}{1,118 + 0,251 + 3,556} = 0,05$
Indices aurifères	5	9	1	$\sqrt[3]{5 \times 9 \times 1} = 3,556$	$\frac{3,556}{1,118 + 0,251 + 3,556} = 0,72$

3.3.4 ELABORATION, CLASSIFICATION ET STANDARDISATION DES CRITÈRES

La classification des différents critères s'est faite en tenant compte des études antérieures réalisées par [3] ; [14] et [15]. Deux techniques ont été utilisées pour la spatialisation selon que le critère est représenté par des points, des polygones ou des polygones. Ainsi pour les points et polygones tels qu'indices aurifère, densité de population et densité de fracturation ont été interpolés grâce à l'outil « Interpolate to Raster » de « Spatial Analyst », avec la méthode « Inverse Distance Weighted » (IDW). Les couches raster obtenues sont en format « ESRI GRID » du logiciel Arcgis 10.2.2. Les données cartographiques ont été scannées, géoreférencées et numérisées en vue de l'obtention des couches de données. A l'aide de l'outil « Polygon to Raster » de « Conversion », les couches de données ont été converties en données raster au format « ESRI GRID ». Les différentes surfaces obtenues à la suite de ces opérations ont été réparties en cinq classes.

Lors de la standardisation, la note 10 est attribuée aux classes « très faible » ou « très forte » selon qu'elles contribuent à d'excellente réalisation du projet considéré. Dans le cas inverse, la note 1 est attribuée à ces classes. En suivant la même logique, les valeurs intermédiaires sont attribuées aux classes intermédiaires selon une distribution linéaire. Par conséquent, plus la note affectée à la classe est élevée, plus la classe est jugée pertinente. Les tableaux V et VI résument la classification et la standardisation pour chacun des indicateurs.

Tableau 5. Classification et standardisation des critères niveaux de praticabilité

Critères	Qualificatifs des critères	Classes	Notes
Densité de population	Très forte	30720 – 38400	1
	Forte	23040 – 30720	3
	Moyenne	15360 – 23040	5
	Faible	7680 – 15360	8
	Très faible	0 – 7680	10
Types de sols	Très forte	Sols ferrallitiques remaniés et appauvris; Sols ferrallitiques remaniés indurés; Sols ferrallitiques remaniés avec induration.	10
	Très faible	Sols hydromorphes	1

Tableau 6. Classification et standardisation des critères zones de minéralisation

Critères	Qualificatifs des critères	Classes	Notes
Indices aurifères	Très forte	42 – 50	10
	Forte	34 – 42	8
	Moyenne	26 – 34	5
	Faible	18 – 25	3
	Très faible	0 – 18	1
Densité des linéaments	Très forte	273 – 342	10
	Forte	205 – 273	8
	Moyenne	136 – 205	5
	Faible	68 – 136	3
	Très faible	0 – 68	1
Lithologie	Très forte	Schistes et grawackes	10
	Forte	Formations de métamorphisme plus intense	8
	Moyenne	Granites alcalins et granitoïdes indifférenciés	5
	faible	Andésites, basaltes et amphibolites	3
	Très faible	Granodiorites, granite akéritique, conglomérat polygénique à ciment grawackeux et granitoïde subalcalin	1

3.3.5 RECLASSIFICATION DE LA CARTE DE SYNTHÈSE

Elle permet de réduire le nombre de classes obtenues après traitement afin de faciliter l'interprétation de la carte. Dans cette étude, les classes ont été ramenées à cinq. Chaque classe est accompagnée d'un qualificatif suivant l'importance du phénomène observé sur la carte. Les qualificatifs choisis sont : très minéralisé ; minéralisé ; moyennement minéralisé ; peu minéralisé ; moins minéralisé.

4 RÉSULTAT ET DISCUSSION

4.1 RÉSULTAT

4.1.1 CARTOGRAPHIE DES LINÉAMENTS

La figure 3 présente les résultats du filtre de directionnel de Sobel (7×7) rehaussant les accidents. Ces filtres directionnels rehaussent les linéaments dans les différentes directions. Le relevé de toutes les discontinuités images sur l'ensemble des images traitées a permis de dresser la carte des linéaments détaillés de la zone d'étude (fig. 4). La carte linéamentaire a été validée grâce à la carte des accidents majeures de la Côte d'Ivoire (fig. 5).

L'analyse de la rosace directionnelle (fig. 6) aboutit aux observations suivantes :

N40°-45° se dégage comme la direction principale. Trois autres se dégagent comme des directions secondaires. Ce sont : N30°-35°, N0°-5°, N10°-15°.

L'exploitation de la carte du relevé détaillé des linéaments permet d'élaborer de nombreux fichiers thématiques tels que la densité de fracturation et l'orientation des linéaments. Au sein d'un système d'Information Géographique (SIG), ces couches thématiques sont intégrées et associées à d'autres informations de nature diverse dans la perspective d'une modélisation géologique.

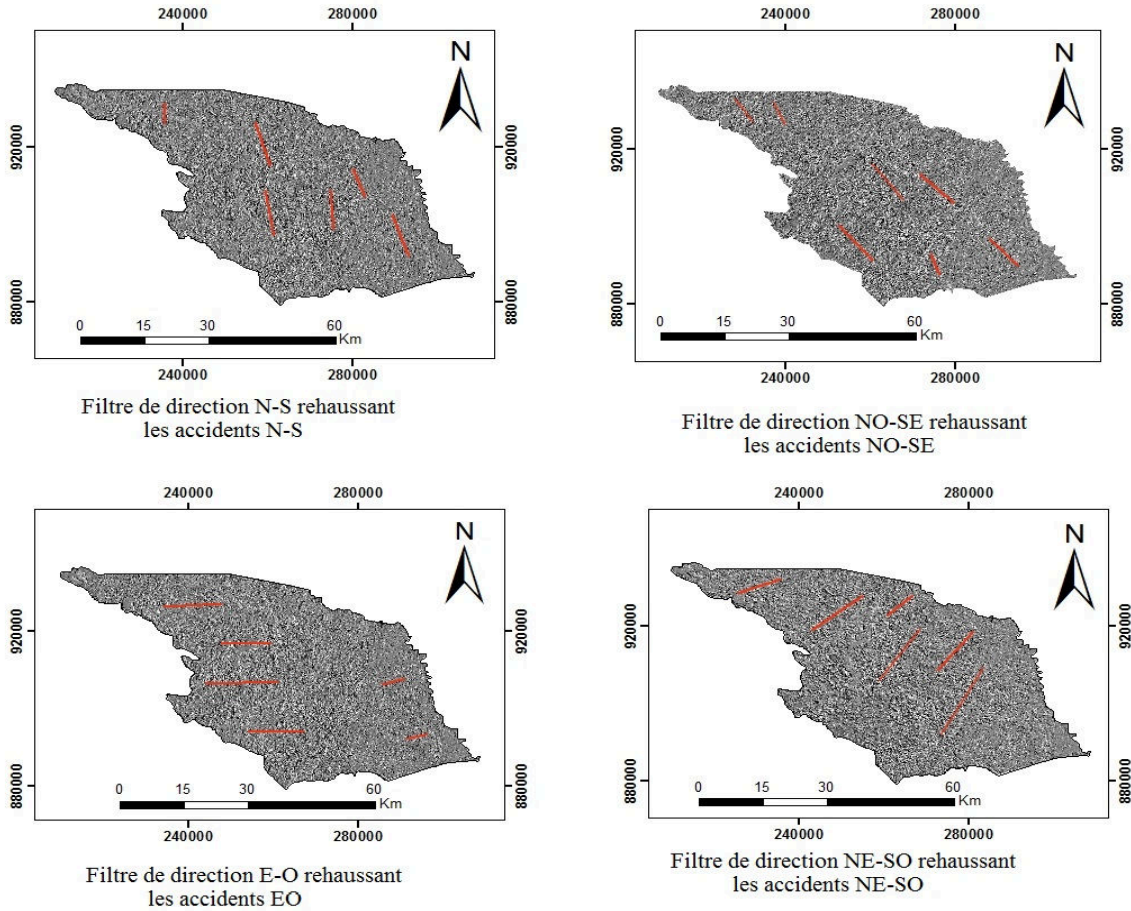


Fig. 4. Filtres directionnels de Sobel (7x7)

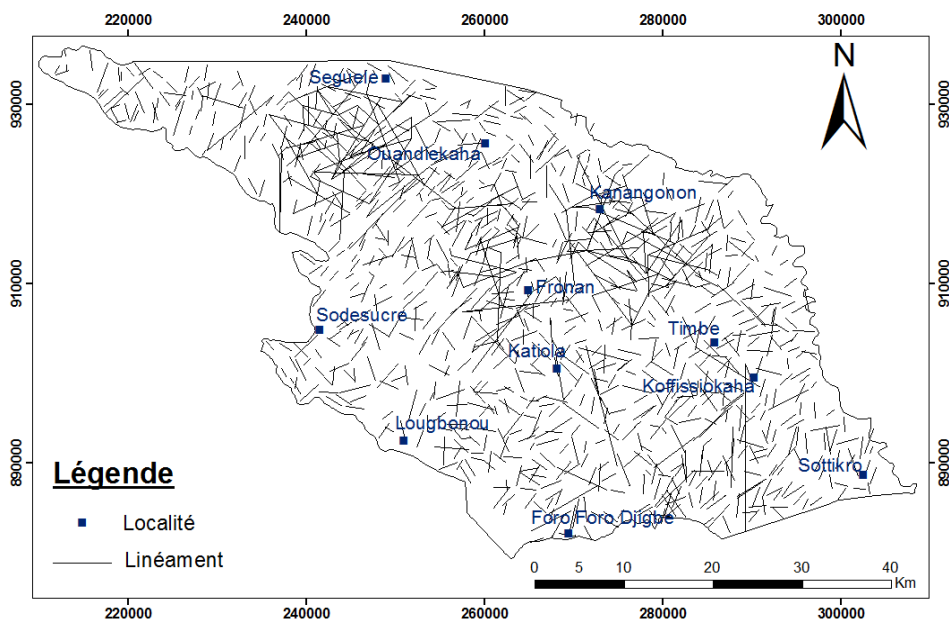
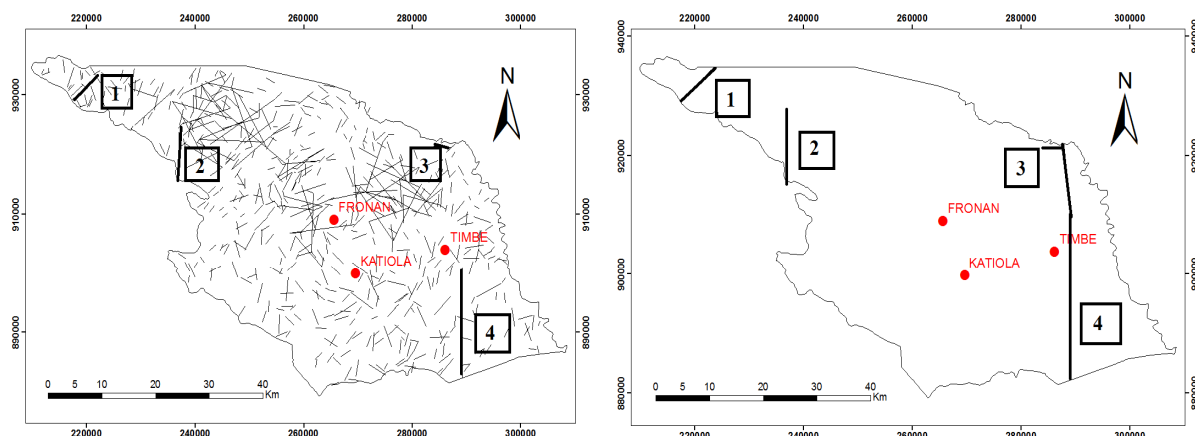


Fig. 5. Carte linéamentaire



Carte linéaire du département de Katiola (Image satellite Landsat)

Accidents majeurs du département de Katiola (Biémi, 1992)

Fig. 6. Carte de validation

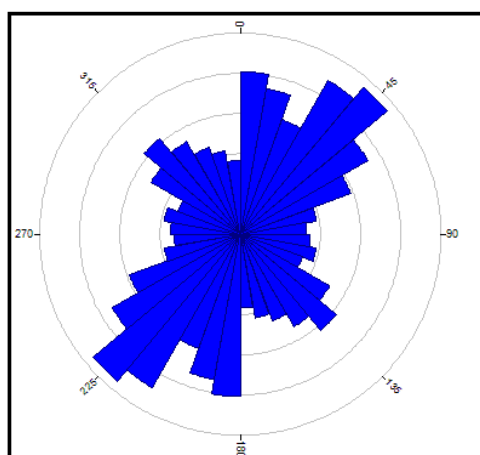


Fig. 7. Rosace directionnelle

4.1.2 CARTOGRAPHIE THÉMATIQUE

« Carte des Zones de minéralisation »

La carte des zones de minéralisation (figure 7) est le résultat des croisements des cartes lithologique, d'indice aurifère, et de densité de fracturation. Cette carte permet de dégager les zones probables de minéralisation et est établie en tenant compte de cinq classes. La zone de minéralisation très faible 28% (980Km² soit 98000ha) occupe le Sud de la zone d'étude. La zone de minéralisation faible couvre 25% (875Km² soit 87500ha) de la zone étudiée et se localise également au Sud et l'Ouest. La zone de minéralisation moyenne avec une proportion de 20% (700Km² soit 70000ha) occupe le Centre la zone d'étude. Quant aux zones de minéralisation forte et très forte représentant respectivement 15% (525Km² soit 52500ha) et 12% (420Km² ou 42000ha) elles couvrent les localités de Fronan, Kanangonon, Ouandiékaha et Séguélé.

L'étude de la carte de minéralisation de Katiola montre que la zone d'étude est moyennement minéralisée (47%). On rencontre une très forte minéralisation à l'Ouest de la zone d'étudiée où se situe la localité de Séguélé. Le degré de minéralisation diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de cette zone. Les zones de faible minéralisation se rencontrent au Sud.

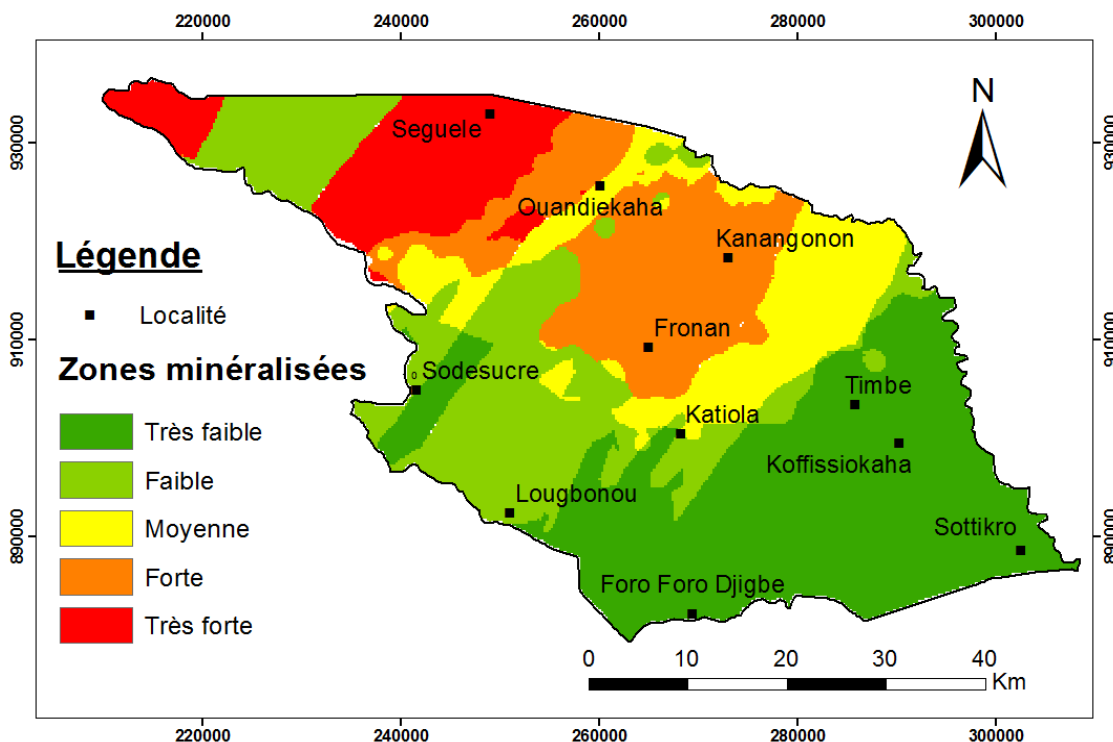


Fig. 8. Carte des zones de minéralisation

« Carte des niveaux de praticabilité »

La carte des sites praticables en matière de recherche de minéralisation aurifère (fig. 8) a été obtenue en combinant la carte de densité de population et la carte des types de sol. Elle se présente en anneaux concentriques. Cette carte met en évidence cinq niveaux de praticabilité de la recherche de la minéralisation aurifère. La classe très faible 2% (70 Km²ou 7000ha) situé à Katiola est entourée par la classe moyenne 5% (175 Km²ou 17500ha) La classe forte couvre les localités de Fronan jusqu'à Lougbonou et fait 23% (805 Km²ou 80500ha) de la zone d'étude. La classe très forte occupe la quasi-totalité de la zone d'étude 70% (2450 Km²ou 245000 ha).

La combinaison du facteur densité de population avec le facteur type de sols a permis l'obtention de la carte des sites favorables à la pratique de la recherche aurifère. L'étude de la carte des niveaux de praticabilité montre que la quasi-totalité de notre zone d'étude est accessible à la pratique à la recherche. En effet, les zones très forte praticabilité couvrent environ 70% (2450Km² ou 245000 ha) de la zone d'étude et sont caractérisées par l'association d'une faible implantation humaine et des sols latéritiques. Les sites moyennement anthropisés et les sols latéritiques forment la trame des zones à praticabilité faible. On y rencontre les localités de Fronan et Lougbonou. La forte anthropisation dans la localité de Katiola rend cette zone et ses environs impraticables à la recherche de la minéralisation aurifère.

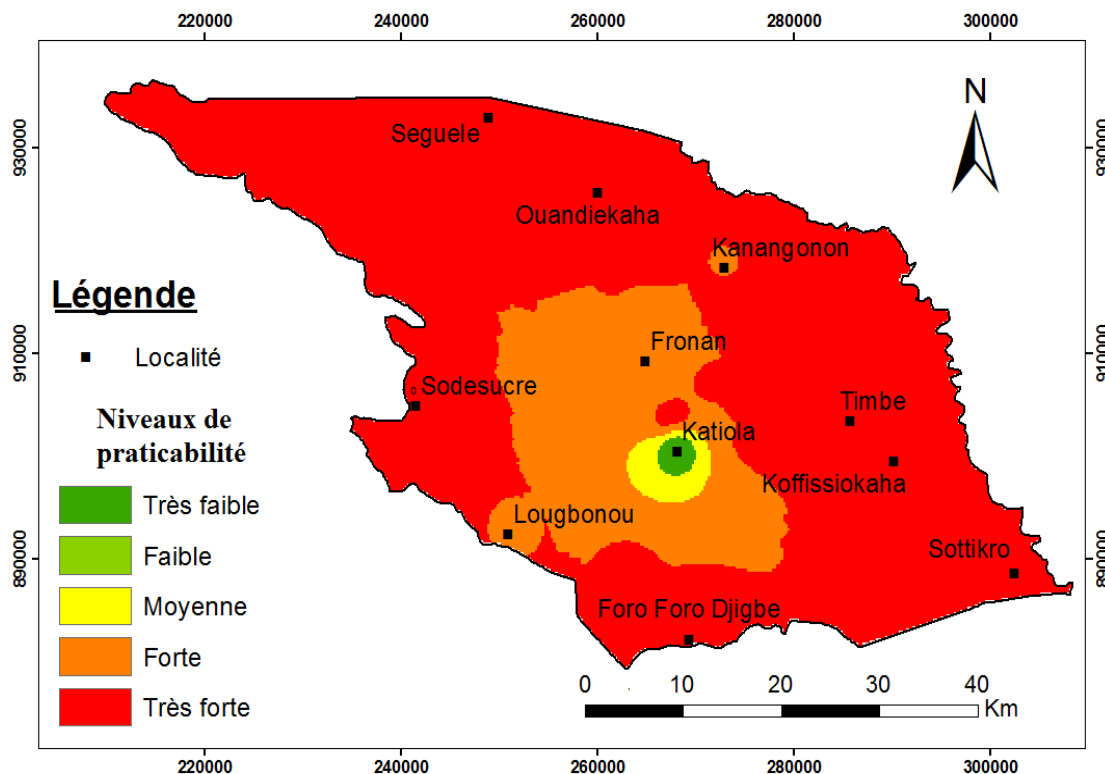


Fig. 9. Carte des niveaux de praticabilité

« Carte des sites potentiels à la minéralisation »

La carte des sites potentiels à la minéralisation aurifère (fig. 9) est le résultat de la combinaison des indicateurs zones de minéralisation et niveaux de praticabilité pour la conception de la carte de synthèse. Cette carte présente cinq principales zones de minéralisation. Les sites moins minéralisés couvrent 7% (245Km² ou 24500 ha) du territoire étudié. Ils se localisent à Koffisiokaha et s'étendent du Sud jusqu'à à Katiola. Les sites peu minéralisés couvrent 35% (1225 Km² ou 112500 ha) de la zone d'étude. Ces sites sont localisés à Foro Foro Djigbe, Sottikro et Timbé. Les sites moyennement minéralisés occupent 15% (525 Km² ou 52500 ha) de la surface d'étude et se rencontrent dans la partie Sud au Centre. Les zones minéralisés et très minéralisés représentent respectivement 30% (1050 Km² ou 105000 ha) et 13% (455 Km² ou 45500 ha) de la surface d'étude et se rencontrent au Nord et à l'Ouest.

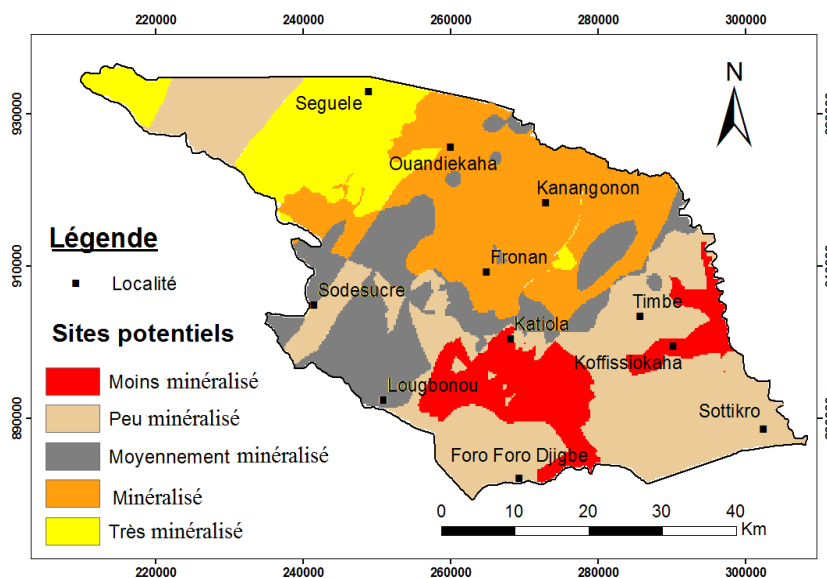


Fig. 10. Carte des sites potentiels à la minéralisation aurifère

La carte des sites potentiels à la minéralisation aurifère montre que le département de Katiola peut être divisé en deux zones principale. Il se dégage très clairement que les sites minéralisés et très minéralisés occupent la partie Nord et couvrent environ 43% (1505Km² ou 150500 ha) de la zone d'étude. Ces zones correspondent aux sites très propices à une recherche aurifère. On y trouve les localités de Fronan, Seguele, Kanangonon et Ouandiékaha. La partie Sud du département est occupées par les sites moins et peu minéralisés. Ces sites couvrent environ 42% (1470Km² ou 147000ha) de la zone d'étude et sont localisés à Sottikro, Timbé, Koffisiokaha et Foro Foro Djigbe. Ces zones peuvent faire objet de recherche selon les conditions technologiques du moment et en fonction de l'offre et de la demande. Ces deux grandes zones sont séparées par une zone intermédiaire correspondant au site moyennement minéralisé. Cette zone occupe 10% (350Km² ou 35000ha) de la superficie du secteur étudié.

4.2 DISCUSSION

L'utilisation du SIG et de l'analyse multicritère dans le département de Katiola a abouti à la production des cartes de zones de minéralisation et de niveaux praticabilité de la recherche minière. Le constat qui se dégage de la combinaison des indicateurs zones de minéralisation et niveaux de praticabilité est la similitude de la carte de synthèse avec celle des zones de minéralisation. Ceci s'explique par le fait que la carte de synthèse a été fortement influencée par l'indicateur zone de minéralisation. La distribution des zones probable de minéralisation s'explique par le fait que la carte des zones de minéralisation elle aussi a été fortement influencée par le facteur indices aurifères et moyennement par le facteur lithologie. Le facteur indice aurifère a été très déterminant du fait que ce facteur a toujours guidé toute entreprise de recherche de minéralisation aurifère. Aussi, selon [1], les concepts de la prospection minière établissent clairement qu'aucune action ne peut être entreprise sans le soupçon d'un gîte. Dans un sens plus large, il faut au préalable une indication de la présence de la minéralisation avant d'entreprendre une prospection minière dans une zone donnée. Quant à la lithologie, elle constitue un véritable métallotecte dans la recherche de la minéralisation. Les méthodes d'analyse multicritère ou plus exactement les méthodes d'aide multicritères à la décision ont été utilisées par de nombreux auteurs. En effet, les procédures d'analyse spatiale basée sur des critères pour l'identification et le choix de l'emplacement d'un site a déjà fait ses preuves à travers diverses études [12] ; [14] et [17]. Le département de Katiola présente des zones aurifères et un bon niveau de praticabilité de la recherche aurifère. La carte des sites potentiels de minéralisation obtenue après superposition de la carte des indicateurs zone de minéralisation sur celle des niveaux de praticabilité, se présente comme une base de donnée très importante pour l'aide à la décision. Elle constitue une pré-prospection qui évite les phases de recherches lourdes, lentes et coûteuses Ainsi, la carte obtenue permet de remarquer que les zones minéralisées présentent des niveaux de praticabilité accessible et acceptable. Cette carte présente l'avantage d'avoir ainsi sur un seul support cartographique, plusieurs éléments géologiques (lithologie, densité de fracturation, type de sol, etc.).

Le SIG et l'analyse multicritère présentent de nombreux atouts, car ils apportent une contribution incontestable à la gestion des ressources minière et les prises de décisions rationnelles. Cependant, ils présentent des limites. L'estimation des paramètres manque souvent de précision du fait de l'insuffisance ou de l'absence totale de données en certains endroits de la zone d'étude.

5 CONCLUSION

Cette étude s'est fixée comme objectif la déterminer des sites potentiels de minéralisation aurifère à partir de la mise en place d'un système d'information géographique. Le traitement de l'image ETM+ de Landsat7 a permis de réaliser la carte de linéaments de la zone d'étude. La direction N40°-45° apparait comme la direction principale de la carte linéamentaire dans le département de Katiola tandis que celles de N30°-35° ; N0°-5° ; N10-15° sont secondaires. L'identification des sites potentiels à la minéralisation s'est fait à partir du SIG et de la méthode d'analyse multicritère (analyse hiérarchique des procédés). Cette méthode nous a permis d'avoir des résultats assez satisfaisants. Avec cette méthode, nous avons produit deux cartes d'indicateurs que sont les indicateurs des niveaux de praticabilité et des zones de minéralisation. Le croisement des deux indicateurs a permis d'établir la carte des sites potentiels de la minéralisation aurifère de la zone d'étude. En effet, cette carte montre que 10% (350Km² soit 35000ha) de la zone est moyennement minéralisé, 30% (1050Km² soit 105000ha) est minéralisé et 13% (455Km² soit 45500ha) est très minéralisé. Elle fournit à l'utilisateur un outil de prise de décision pour la recherche minière dans le département de Katiola.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Direction Régionale des Mines de Katiola pour son apport technique dans la réalisation de cette étude dans le département de Katiola.

CONFLIT D'INTERET

Il n'existe aucun conflit d'intérêt entre les auteurs de cet article.

RÉFÉRENCES

- [1] DUMAS F. (1977). Techniques d'exploration minière: objets et méthodes. Cahiers du BRGM Orléans. 325p.
- [2] STAR. J; ESTES. J. (1990): Geographic information systems. An introduction. Library of Congress Cataloging-in-publication Data. Ed. Prentice-Hall. Santa Barbara. Vol II, 301 p.
- [3] JOURDA J P. (2005). Méthodologie d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'Ouest. Concept de l'hydrotechnique spatiale. Cas de la zone test de Korhogo. (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat ès Sciences naturelles, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 402p.
- [4] TALNAN J.H.C. (2009). Répartition spatiale, gestion et exploitation des eaux souterraines: cas du département de Katiola, Région des savanes de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat de l'Université de Paris Est, France. 29p.
- [5] POSS R. (1982). Etude morpho-pédologique de la région de Katiola (Côte d'Ivoire), Carte des paysages et des unités morpho- pédologiques, Notice Explicative. N°94, ORSTOM PARIS IBSN 2-7099-0644-9.
- [6] CRK (2014). Conseil régional de Katiola
- [7] DOUMBIA S., POUCKET A., KOUAMELAN A., PEUCAT J.J., VIDAL M., DELOR C. (1997). Petrogenesis of juvenile-type Birimian (paleoproterozoic) granitoids in Central Côte d'Ivoire, West Africa: geochemistry and geochronology, pp. 33-63.
- [8] BIEMI.J. (1992). Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse d'Etat, Univ, Abidjan,
- [9] CHAVEZ., PAT S., BERLIN, GRAYDON L. and SOWERS, LYNDIA B. (1982). 'Statistical method for selecting Landsat MSS ratios'. Journal of Applied Photographic Engineering, Vol. 8: pp. 23-30.
- [10] YESOU H., GWYN H., BRISSON H., BRUCE B. (1990). Télédétection et prospection minière : application à la cartographie structurale du secteur lac Shortt, Abitibi-Québec, résultats préliminaires. Sci. Géol., vol.43, pp 45-61.
- [11] BAUX C et CASSARD D., (1991). Identification des secteurs à vocation aurifères dans un couloir tectonique régional par interprétation satellitaires, géologiques, géophysiques intégrées dans un Système d'Information Géographique. L'exemple du cisaillement Sud- Armoricaïn. Chronique de la recherche minière n°505, pp. 19-34.
- [12] NIAMKE K.H. (2009). Télédétection et SIG dans la stratégie de prospection minière en côte d'ivoire : cas de l'indice d'or baoulé-est de région du N'zi-Comoé (Centre de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Côte d'Ivoire. 149p.
- [13] SAATY T.L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology, 15, pp 234-281.
- [14] JOURDA J.P., SALEY M.B., DJAGOUA E.V., KOUAMÉ K., J., BIÉMI 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 multicritère et test de validation. Revue de Télédétection, vol.5, n°4, pp 339 – 357.
- [15] KOUAME K.J. (2007). Contribution à la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) du district d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire): Outils d'aide à la décision pour la prévention et la protection des eaux souterraines contre la pollution. Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, 225p.
- [16] AHOUSSEI K.E (2008). Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville : Thèse de doctorat, Université de Cocody, 132p.
- [17] 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, 209p.