

Linéaments et géomorphodynamique des plateaux du sud-est (Porto-Novo / Sakete-Pobe-Ketou) béninois

**Yémalin Bienvenu Simon ALLAGBE*, Jean Cossi HOUNDAGBA, Brice Agossou TENTE
et François Cohovi TCHIBOZO**

*Université d'Abomey-Calavi (UAC), Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS), Département de
Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Laboratoire de Biogéographie et Expertise
Environnementale (LABEE), BP 677, Abomey-Calavi, Bénin*

* Correspondance, courriel : allagbeyemalin@gmail.com

Résumé

Cet article analyse les états de surfaces topographiques sur la base des indices morphostructurales notamment les contacts géologiques et les lignes de drainages. La méthodologie adoptée consiste à extraire les linéaments à la suite de traitement d'images satellitaires : Landsat et MNT. Ainsi, le filtre de Sobel (5X5) permet de rehausser la qualité des taches linéamentaires. Ensuite, ces linéaments sont superposés aux différentes données morphostructurales (Topographique, géologique et réseaux de drainages). L'analyse directionnelle des linéaments révèle quatre (04) orientations majeures : Nord-Est (NE), Nord-Ouest (NO), Sud-Est (SE) et Sud-Ouest (SO). Il est extrait 3086 linéaments : NE (1696,66 km), S-E (1695,25 km), S-O (887,13 km) et N-O (825 km). La dispersion spatiale de ces linéaments est diversement appréciée compte tenu des facettes topographiques et des faciès géologiques qui les portent. En effet, du sud au nord et d'une unité morphologique à une autre, il est remarqué que les linéaments sont différemment disposés autour des surfaces drainées. Sur le plateau de Porto-Novo les linéaments sont presque parallèles aux lignes de drainages tandis qu'ils leur sont majoritairement séquents sur le plateau de Kétou. Pour une meilleure modélisation des processus morphogénétiques l'intégration des données linéamentaires peuvent aider à la prise de décision en matière d'aménagement.

Mots-clés : *linéaments, géomorphodynamique, facette topographique, MNT, Bénin.*

Abstract

Lineaments and geomorphodynamics of the beninese south-eastern plateau (Porto-Novo / Sakete-Pobe-Ketou)

This article analyzes topographic surface conditions on the basis of morphostructural indices including geological contacts and drainage lines. The methodology adopted consists in extracting the lineaments following the processing of satellite images : Landsat and MNT. Thus, the Sobel filter (5X5) enhances the quality of lineal patches. Then, these lineaments are superimposed on the different morphostructural data (topographic, geological and drainage networks). The directional analysis of the lineaments reveals four (04) major orientations: North-East (NE), North-West (NW), South-East (SE) and South-West (SW). It is extracted 3086 lineaments: NE (1696.66 km), S-E (1695.25 km), S-O (887.13 km) and N-O (825 km). The spatial dispersion of these lineaments is variously appreciated given the topographic facets and the geological facies that carry

them. Indeed, from south to north and from one morphological unit to another, it is noticed that the lineaments are differently arranged around the drained surfaces. On the Porto Novo plateau, the lineaments are almost parallel to the drainage lines, whereas they are mostly sequential on the Kétou plateau. For better modeling of morphogenetic processes, the integration of lineal data can help decision-making in planning.

Keywords : *lineaments, geomorphodynamic, topographic facet, MNT, Benin.*

1. Introduction

Dans le domaine de l'analyse et de la caractérisation des surfaces topographiques, la télédétection fournit des outils assez édiants. En effet, l'apparition de MNA (modèles numériques de terrain) laser (haute précision et résolution) a permis d'élargir les applications (Kalbermatten, 2004). Ainsi, l'usage de la télédétection permet d'avoir des informations complémentaires pour une modélisation plus représentative des géosystèmes. De nombreux travaux (Krishnamuthy et al., 1996 ; Hammad et al., 2016 ; Oudre et al., 2018) ont montré l'utilité de cette discipline dans les investigations hydrogéologiques par exemple. En Côte d'Ivoire, Youan Ta et al. (2009) ont pu extraire et cartographier les réseaux de fractures dans les roches cristallines et métamorphiques. Il est donc possible d'étudier les paramètres physiques des surfaces topographiques et la dynamique du relief à partir de la télédétection. C'est dans ce contexte que s'inscrit cet article qui analyse les linéaments en relation avec la géomorphodynamique des plateaux du sud-est au Bénin. Les principaux objectifs de cet travail est d'extraire et de cartographier les réseaux de fractures indiquées par les linéaments. Ce travail est une contribution à une meilleure connaissance des processus morphogénétiques des plateaux sédimentaires. Il permettra d'envisager, d'une part la modélisation des états de surfaces topographiques qui conduira à la détermination des grands axes de l'évolution du relief et, d'autre part, à la gestion intégrée du patrimoine géomorphologique.

2. Matériel et méthodes

Le secteur d'étude couvre les plateaux du sud-est béninois qui font partie intégrante du bassin sédimentaire côtier (*Figure 1*).

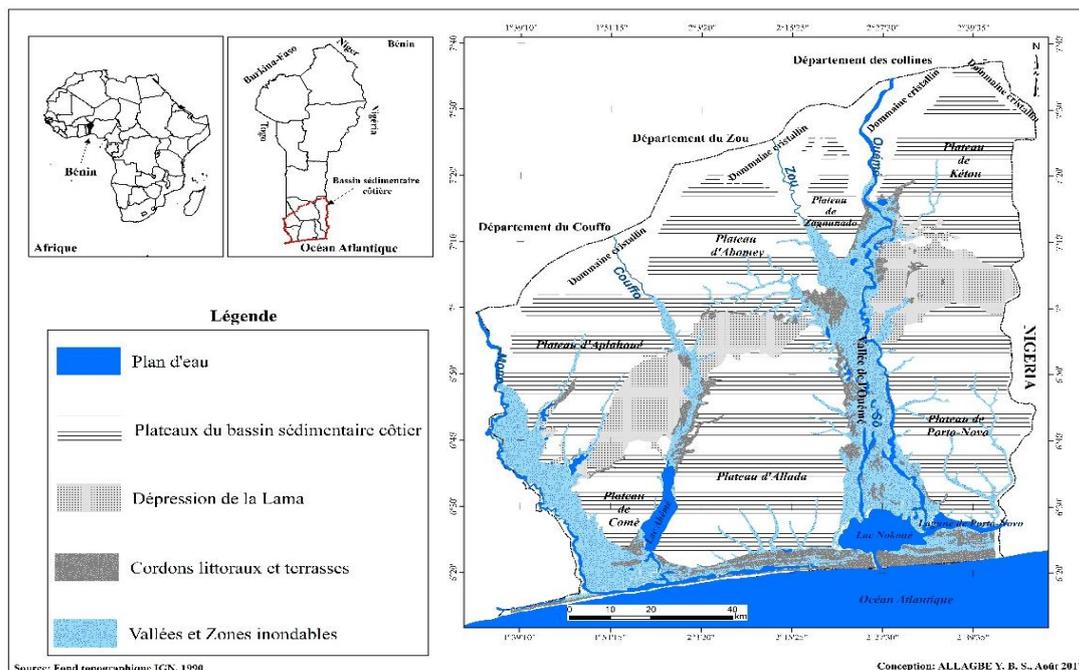


Figure 1 : *Bassin sédimentaire côtier et plateaux méridionaux*

Il est situé entre les 2°15' et 2°48' de longitude Est d'une part et entre les 6°24' et 7°41' de latitude Nord d'autre part. D'une superficie d'environ de 3746 km² il s'étend sur une distance de 128 km du nord au sud. Il couvre à la fois, du point de vue administratif, les communes des départements de l'Ouémé sauf celle de Sèmè-Podji et toutes les communes du Plateau en plus de celles de Ouinhi et de Zagnanado (département du Zou). La cartographie en 3D permet d'observer le milieu d'étude suivant la troisième dimension tout en saisissant les caractères volumiques du secteur d'étude (**Figure 2**).

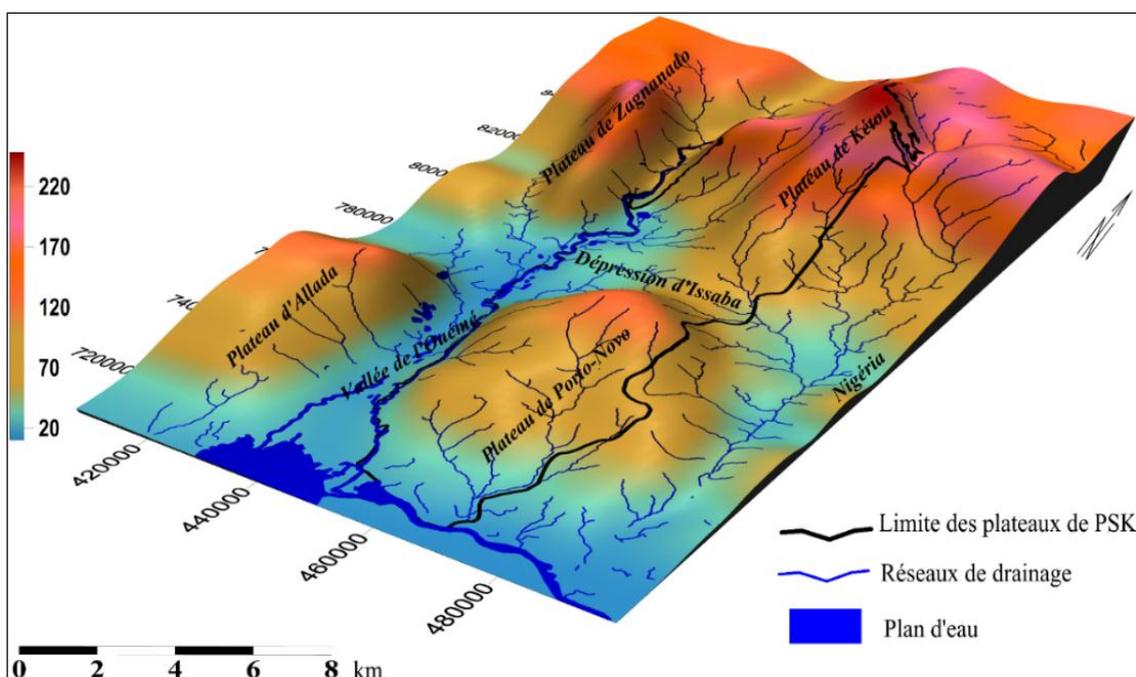


Figure 2 : Projection en 3D des plateaux PSK dans le BSC

La **Figure 2** présente en effet les plateaux de PSK en trois dimensions (3D). Les plages de couleur rouges indiquent l'emplacement des plateaux notamment ceux du milieu d'étude située complètement à droite. En haut de la figure et de la droite vers la gauche, on distingue le plateau de Kétou et un bout du plateau de Zagnanado. Ensuite, vers le bas (au sud) ce sont les plateaux de Porto-Novo (à droite) et d'Allada (à gauche) qui s'affichent. Déjà la cartographie au 1/200.000 indique des failles structurales sur le plateau de Kétou. La méthode développée dans cet article expose une démarche empruntée à la télédétection. Elle passe par plusieurs étapes de traitement d'image satellitaires (SRTM et Landsat).

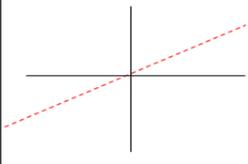
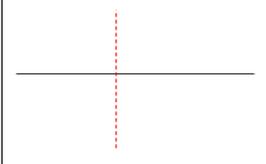
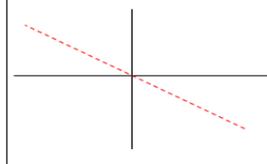
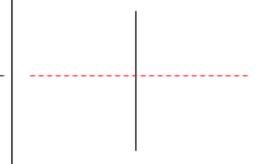
2-1. Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales est une technique efficace pour accentuer une image multispectrale pour des fins d'interprétation géologique (Biémi et *al.*, 1991). Elle permet de réduire l'information contenue dans plusieurs bandes, parfois hautement corrélées (d'où redondance de l'information) en un nombre plus restreint de composantes. Celles-ci représentent généralement jusqu'à 97 % de la variance totale de l'ensemble des données originales (Deslandes, 1991). Il a été donc calculé les composantes principales à partir des 8 bandes spectrales TM. Les calculs statistiques montrent que les trois premières composantes représentent près de 99 % de la variance totale de l'ensemble des 8 bandes. L'image obtenue par combinaison des bandes 4-5-3 sous le logiciel ENVI ont été utilisées. Il s'en est suivi l'extraction des linéaments avec les logiciels PCI Geomatica et Arc Gis. Afin de s'assurer de l'effectivité des résultats obtenus avec l'image Landsat, les linéaments sont également extraits en soumettant l'image radar SRTM.

2-2. Rehaussement de l'image par filtrage

Le but du rehaussement de l'image est de repérer les points qui correspondent à un changement brutal de l'intensité lumineuse. Ces changements de brillance au sein de l'image traduisent en général des événements importants ou des formes (Oudre et *al.*, 2018) et qu'il importe de discriminer. « Certaines méthodes de détection de contours utilisent des filtres (linéaires ou pas), qui vont permettre de mettre en évidence les contours : on appelle cette tâche le rehaussement de contours ». Ainsi, il est utilisé des filtres directionnels qui améliorent la perception des linéaments en provoquant un effet optique d'ombre portée sur l'image comme si elle était éclairée par une lumière rasante (Marion, 1987). Le rehaussement des linéaments a donc été effectué à partir de filtres directionnels utilisant l'opérateur de Sobel (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Structure des filtres de Sobel 5 x 5

| Nord-ouest | | | | | Ouest | | | Sud-ouest | | | | Sud | | | | | | | |
|--|----|----|----|----|--|---|---|---|----|---|----|--|----|----|----|----|----|----|----|
| 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | 0 | -1 | -2 | -2 | 3 | -1 | -2 | 3 | 2 | -1 |
| 2 | 4 | 3 | 0 | -1 | 2 | 3 | 0 | -3 | -2 | 1 | 0 | -3 | -4 | -2 | -1 | -3 | -4 | -3 | -2 |
| 2 | 3 | 0 | -3 | -2 | 3 | 4 | 0 | -4 | -3 | 2 | 3 | 0 | -3 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | -3 | -4 | -2 | 2 | 3 | 0 | -3 | -2 | 2 | 4 | 3 | 0 | -1 | 1 | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 0 | -1 | -2 | -2 | -3 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 |
|  | | | | |  | | |  | | | |  | | | | | | | |
| Axes d'orientation | | | | | Limite centrale du filtre matriciel | | | | | | | | | | | | | | |

Source : Filtre directionnels de Sobel.

Adapté de Coulibaly, 1996

Le **Tableau 1** montre les directions probables que peut prendre tout objet géographique notamment les linéaments. En d'autres termes, les points les plus près du centre dans la matrice (en ligne ou en colonne) interviennent avec un poids supérieur à ceux des extrémités dans la mesure du gradient directionnel (Deslandes, 1986). Le filtre de Sobel utilisé a permis de rehausser l'image suivant quatre grandes directions préférentielles. Ceci a conduit à quatre autres images dérivées et générées à partir des quatre filtres directionnels (NO, O, SO et S). Ainsi, le filtre de Sobel est bien indiqué dans la recherche des indices géologiques linéaires. Une fois identifiées elles sont cartographiées.

2-3. Analyse factorielle des correspondances

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) a été appliquée à l'étude des linéaments. Les variables mesurées (azimuts, directions et longueurs) ont été croisées avec les quatre orientations majeures retenues (Nord-Est, Nord-Ouest, Sud-Est et Sud-Ouest). Chaque échantillon et les variables sont projetés simultanément sur des diagrammes à deux dimensions définis par des axes de variation maximale. Cette méthode permet d'analyser les associations et les oppositions entre échantillons et variables, d'identifier et de choisir les variables et les représentations graphiques les plus intéressantes pour caractériser les diverses unités morphologiques et de définir les principaux variables qui influencent les linéaments.

2-4. Cartographie des linéaments

Les linéaments extraits sont numérisés afin de disposer de fichiers vectoriels. Ces données vectorielles sont ensuite projetées sur les quatre images dérivées de départ pour s'assurer de leur position sur l'ensemble du milieu d'étude. Ceci a pour but d'éviter de rajouter d'autres entités linéaires susceptibles d'être considérés comme des linéaments (route, limites boisées et lignes électriques) lors du processus de filtrage. La dernière étape consiste à superposer les quatre classes de linéaments obtenues afin de créer une carte de synthèse.

2-5. Représentation graphique des données structurales : histogrammes et rosaces

Plusieurs techniques graphiques interviennent dans l'analyse des données structurales (lithologique, stratigraphique et tectonique). Ces techniques ont pour « objet de faciliter la reconnaissance d'un groupement ou d'une orientation préférentielle de certains éléments structuraux » (Figure 3).

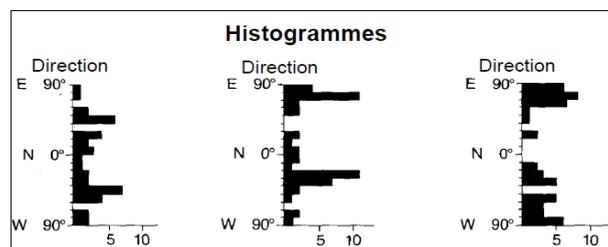


Figure 3 : Histogramme de failles relevées sur trois stations différentes

Source : Modifiée de Davis et Reynolds(1996).

Dans le cas des rosaces, les directions sont représentées sur cercle (Figure 5), regroupées en tranche d'angle selon leurs fréquences (par exemple 5° ou 10°). Ces fréquences sont proportionnelles à la longueur des rayons du cercle indiquant leur direction.

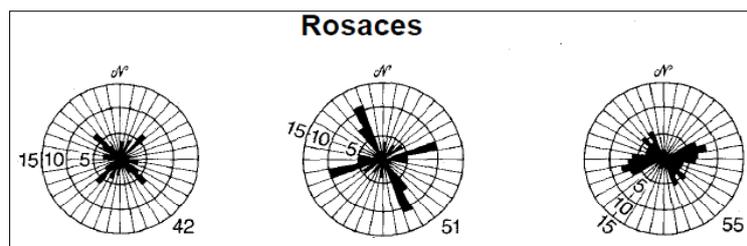


Figure 4 : Rosaces directionnelles de failles relevées sur trois stations différentes

Source : Modifiée de Davis et Reynolds (1996).

Ainsi, l'ensemble des populations des linéaments extraits peuvent être soumises à une analyse statistique. Aussi, chaque classe d'orientation de ces derniers est-elle examinée suivant les rosaces directionnelles.

3. Résultats

Les résultats présentés abordent premièrement l'analyse statistique des linéaments extraits et deuxièmement la relation existante entre ces linéaments et les unités géomorphologiques du milieu d'étude.

3-1. Analyse statistique des classes de linéaments extraits

Les linéaments extraits sont classés en quatre catégories suivant les directions Nord-Est (NE), Nord-Ouest (NO), Sud-Est (SE), et Sud-Ouest SO. Le **Tableau 2** présente la statistique des variables mesurées.

Tableau 2 : Synthèse statistique des classes de linéaments

| Valeurs Variables mesurées | Valeur moyenne | Valeur minimum | Valeur maximum | Ecart type | Corrélation (Dépendance) |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|------------|--------------------------------|
| Azimut | 180,37 | 0,77 | 359,33 | 114,73 | Dépendances non significatives |
| Direction | 155,78 | 0,70 | 359,14 | 100,20 | |
| Longueur | 1,65 | 0,46 | 11,61 | 0,83 | |

Source : traitement des données.

Il ressort de l'analyse du **Tableau 2** que la différence entre les variables (azimut, direction et Longueur) est significative. La dépendance n'est donc pas vérifiée. En effet, Les 2 variables ("Azimut" et "Longueur") expliquent 5,8 % de la variance "Direction". Cette dernière n'est donc pas influencée par ces deux variables mesurées. Au total, il est extrait 3086 linéaments : Nord-Est (1696,66 km), Sud-Est (1695,25 km), Sud-Ouest (887,13 km) et Nord-Ouest (825 km). La **Figure 5** présente la spatialisation de l'ensemble de ces linéaments.

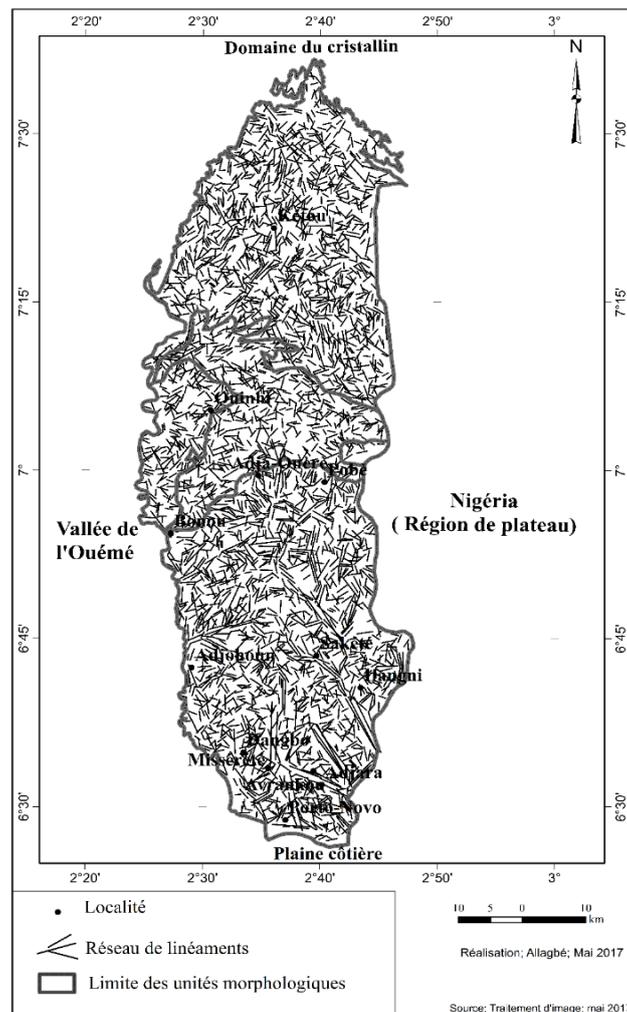


Figure 5 : Réseaux de linéaments extraits

L'analyse spatiale des linéaments montre que ceux orientés Est dominant la population statistique observée avec le NE qui totalise 976 linéaments contre 963 pour le SE. Pour ceux orientés Ouest c'est la direction Sud qui l'emporte avec 606 linéaments contre 541 dirigés par le Nord. Les **Figures 6** présentent le rose diagramme qui indique les positions azimuthales de l'ensemble des linéaments.

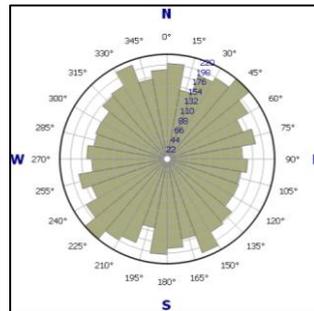


Figure 6 : Roses diagrammes

Source : Traitement des données

De l'observation des angles, il est remarqué que le premier cadran (N/E) affiche l'azimut 45° comme dominant. Au niveau du second cadran (S/E) c'est l'azimut 150° qui l'emporte. Dans le troisième (S/W) c'est l'azimut 225° qui s'impose et enfin le dernier (N/W) affiche 330° comme azimut dominant. De cet ensemble, il est isolé quatre autres diagrammes qui correspondent aux cadrans indiqués (**Figure7**)

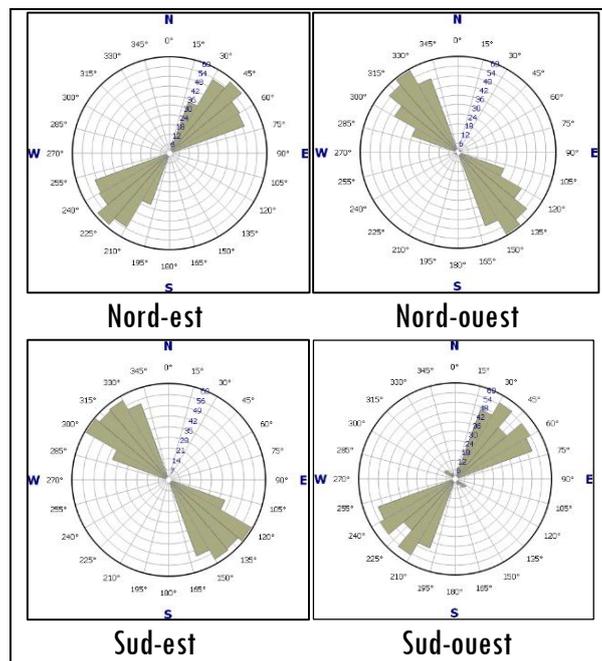


Figure 7 : Roses diagrammes des quatre classes d'orientation

Les linéaments orientés Nord-Est (NE) sont encadrés par les azimuts 15° et 75°. Le second diagramme indique un encadrement compris entre 285° et 345°. Les azimuts 105° et 165° sont les valeurs qui limitent la troisième catégorie (SE) des linéaments. La dernière catégorie (SO) est entourée des valeurs comprises entre 195° et 255°. Ainsi, une opposition se dégage-t-elle des unités morphologiques qui fondent le milieu d'étude au regard de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) (**Figure 8**).

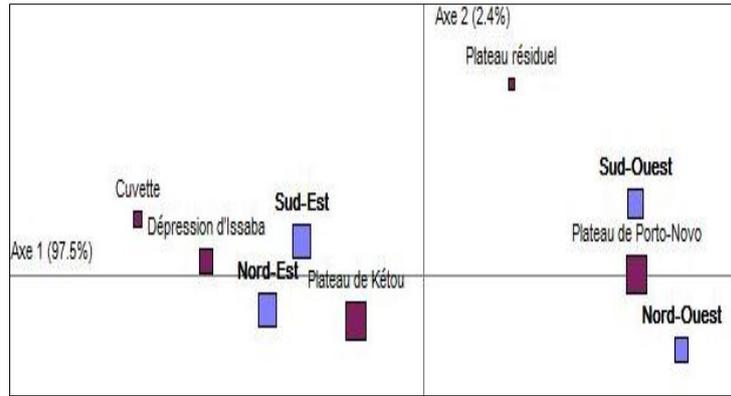


Figure 8 : Analyse factorielle des correspondances

Source : Traitement de données.

En effet, le plateau de Porto-Novo et le lambeau résiduel regroupent les linéaments orientés Ouest tandis que le plateau de Kétou, la dépression d'Issaba et les cuvettes affichent des linéaments orientés Est.

3-2. Linéaments et dynamique morphologique

Les quatre unités morphologiques (les plateaux de Porto-Novo et de Kétou, la dépression d'Issaba et le plateau résiduel de Ouinhi) indiquent différentes répartitions des linéaments (Figure 9)

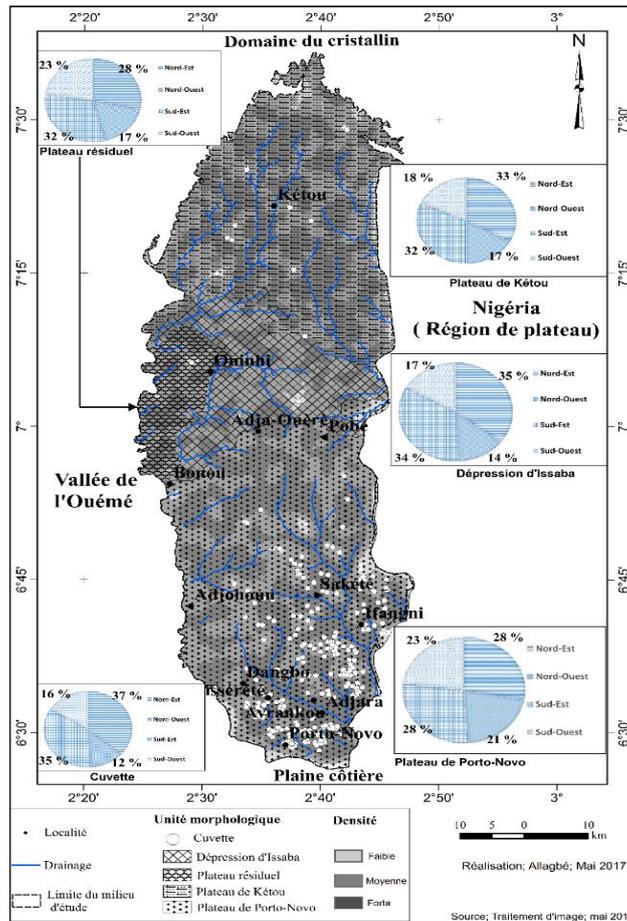


Figure 9 : Densité des linéaments et unités morphologiques

De l'analyse des répartitions des linéaments, il ressort que toutes les unités morphologiques regroupe chacune plus de 50 % de la population orientées Est. Ceci peut être expliqué par le fait que les surfaces topographiques sont drainées suivant deux grandes directions : surface drainée vers l'est (ligne de drainage Sud-Est) et celle drainée vers l'ouest (ligne de drainage Nord-Est). A cet effet, il est observé que la densité des linéaments autour des dépressions drainées est élevée et faible sur les surfaces moins drainées. Il est donc possible que le réseau hydrographique et les surfaces périodiquement drainées (au cours des saisons pluvieuses) soient influencés par les linéaments extraits. La **Figure 10** montre les dispositions des linéaments observés autour des lignes de drainages.

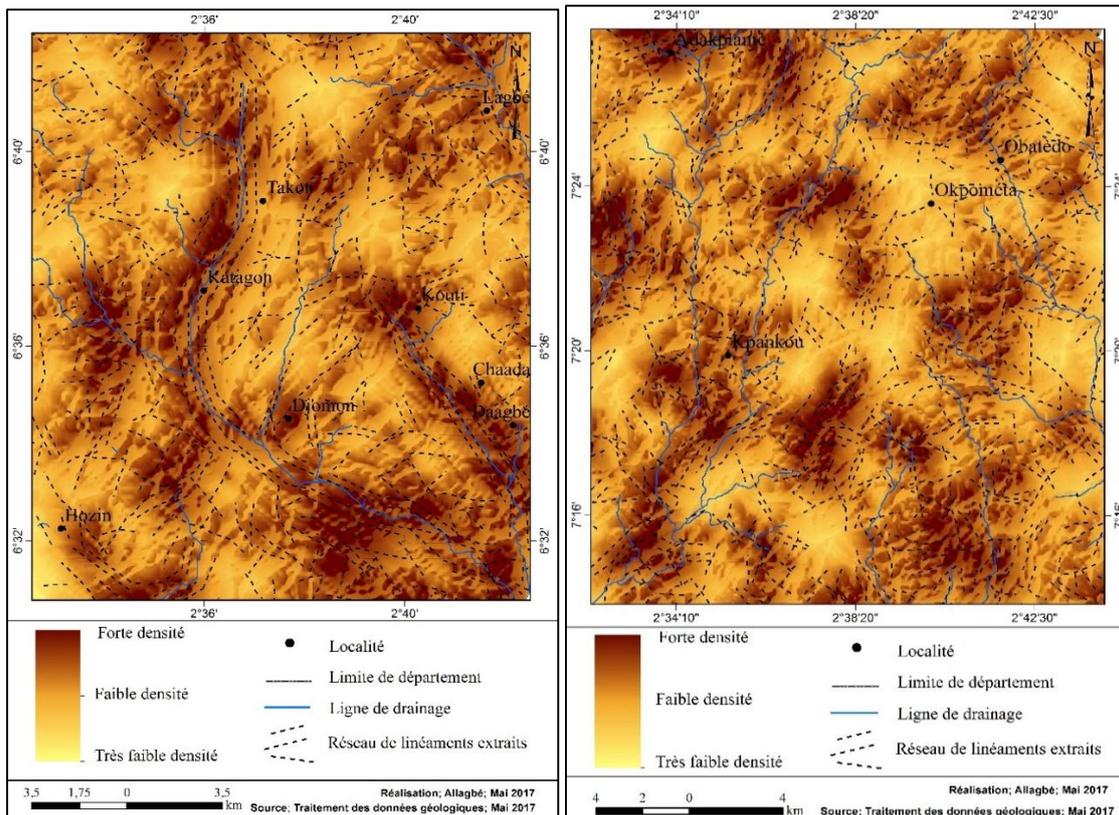


Figure 10 : Disposition des linéaments observés sur les plateaux de Porto-Novo et de Kétou

Du sud au nord et d'une unité morphologique à une autre, il est remarqué que les linéaments sont différemment disposés autour des surfaces drainées. Sur le plateau de Porto-Novo (entre 6°27' et 7°) les linéaments sont presque parallèles aux lignes de drainages tandis qu'ils leur sont majoritairement séquents sur le plateau de Kétou (entre 7°6' et 7°36'). En effet, les surfaces topographiques présentent des facettes incisées par l'énergie des flux drainés qui y marquent des empreintes linéaires (griffures, ravins, rigoles, etc.) sur un matériel sédimentaire plus ou moins tendre (sablo-argileux). Ces conditions peuvent expliquer en partie la présence des linéaments parallèles observés sur le plateau de Porto-Novo. Par contre la nature lithologique fait de concrétion latéritique au-dessus des géotumeurs dénudés ne saurait entretenir un drainage parfaitement linéaire. Ainsi, ce deuxième niveau d'appréciation des surfaces topographiques expliquerait plus ou moins la répartition presque anarchique des linéaments sur le plateau de Kétou. Il convient également de présenter les activités humaines telles que l'agriculture sur brûlis et les exploitations des carrières qui exposent les surfaces topographiques à la météorisation comme une participation à l'expression des linéaments dégagés par érosions fluviales. Sur le terrain, il est observé en effet des incisions profondes (**Photo 1**) qui marquent les formations géologiques permettant de comprendre la dynamique morphostructurale recherchée à travers l'interprétation des linéaments.



Photo 1 : *Incision profonde observée sur le versant de Sissekpa à Adjohoun*

Prise de vue : Allagbé, 2017

L'ouverture très remarquable indiquée par la **Photo 1** est un des indices physiques qui dénoterait d'un probable bouleversement enregistré par les couches sédimentaires qui fondent les plateaux du sud-est béninois. Aux regards de toutes ces observations, il peut être admis que l'identification des linéaments qui affectent la dynamique des surfaces topographiques serait donc influencée par plusieurs facteurs : topographique, lithologique, tectonique et anthropiques.

4. Discussion

Les objets géographiques linéaires peuvent être sous l'influence des données morphostructurales et anthropiques. En effet, les lignes de drainage et autres objets linéaires sont complémentaires des linéaments caractéristiques des accidents tectoniques notamment les failles dans les processus morphogénétiques. La méthodologie utilisée pour l'extraction et la cartographie des linéaments s'accorde bien avec les approches vulgarisées par Biémi (1991), Moore (1996) et Hamad (2016). Ces auteurs ont abordé les étapes relatives aux traitements d'images, à l'identification des paramètres morphostructurales, à la caractérisation morphologique et aux aspects liés à la dynamique des surfaces topographiques. Les résultats obtenus ont permis également de caractériser les unités morphologiques des plateaux du sud-est au Bénin. Pour les études géomorphologiques, les nombreuses possibilités qu'offre aujourd'hui la télédétection ouvrent de nouvelles prometteuses dans la gestion intégrée et pluridimensionnelle du patrimoine géomorphologique.

5. Conclusion

Les résultats présentés dans cet article révèlent l'importance de la télédétection dans l'appréciation des données géomorphologiques et structurales. En effet, la classification et l'interprétation des signatures altimétrique et morphologique permettent de situer les états de surfaces topographiques. De la pente en

passant par ses dérivées fonctionnelles, il est donc possible d'approcher les études géomorphologiques à des échelles plus grandes et d'envisager plus aisément des modèles de terrain plus précis pour un aménagement plus équilibré. Les linéaments relevés sur les plateaux de PSK indiquent quatre orientations majeures (NE, NO, SE et SO). Il est observé une opposition marquée par les linéaments différemment orientés selon les unités morphologiques identifiées. En effet, le plateau de Porto-Novo se démarque de l'ensemble en affichant des linéaments orientés majoritairement Ouest. Quant au plateau de Kétou, il est dominé par des linéaments orientés Est. En ce qui concerne la relation qu'entretiennent les linéaments avec les surfaces topographiques, il est à retenir que la corrélation est significative. Les modalités de transformation des surfaces sont dirigées par les linéaments qu'elles soient de nature lithologique, tectonique ou anthropique. Du reste, il serait intéressant de maîtriser les méthodes et les approches de classification discriminante des populations linéamentaires afin de dégager clairement les linéaments qui sont influencés par la tectogenèse et les processus d'érosions.

Référence

- [1] - A. CAILLEUX, J. TRICART, Le problème de la classification des faits géomorphologiques, *Annales de Géographie*, t. 65, N° 349 (1956) 162 - 186 p.
- [2] - C. DEPRAETERE, Etudes géomorphométriques comparatives en Afrique du Sud : applications hydrologiques et géomorphologiques (Doctoral dissertation), (1984)
- [3] - J. C. DAVIS, *Statistics and data analysis in geology* (2^e ed.) Willey, New York, (1986) 646 p.
- [4] - J. MARION, Mesures de Hausdorff d'ensembles fractals. In *Annales des sciences mathématiques du Québec*, Université du Québec à Montréal, Département de mathématiques et informatique, Vol. 11, N° 1 (1987) 111 - 132 p.
- [5] - L. W. ZEVENBERGEN, C. R. THORNE, Quantitative analysis of land surface topography, *Earth surface processes and landforms*, Vol. 12, (1987) 47 - 56 p.
- [6] - R. J. PIKE, The geometric signature quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. *Mathematical geology*, Vol. 20, N° 5 (1988) 491 - 511 p.
- [7] - J. BIEMI, S. DESLANDES, Q. H. J. GWYN & P. JOURDA, Géologie et réseaux de linéaments régionaux du bassin versant de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire) : cartographie à l'aide des données Landsat TM et du champ magnétique total. *Télétection et gestion des ressources*, 7 (1991) 135 - 145
- [8] - S. DESLANDES & Q. H. J. GWYN, Evaluation de SPOT et SEASAT pour la cartographie des linéaments : comparaison basée sur l'analyse de spectres de Fourier, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 17 (2) (1991) 98 - 110
- [9] - G. H. DAVIS & S. J. REYNOLDS, Structural geology of rocks and regions. In *Structural geology of rocks and regions. 2nd edition*. Wiley, New York, (1996)
- [10] - G. Moore, Digital processing of landsat image for Lineament occurrence and Spatial Frequency in Sedimentary Rok. U.S, Departement of Interior, *Geological Survey Report DOE/OR21552-1, EROS Data Center*, (1996)
- [11] - L. COULIBALY, interprétation structurale des linéaments par traitement d'image satellitaire : cas des sous provinces d'Abitibi et d'Opatika (québec), Mémoire de maîtrise, (1996) 177 p.
- [12] - J. WOOD, *The geomorphological characterization of digital elevation models*, (1996)
- [13] - P. MONIER, Caractérisation du terrain en vue de son traitement numérique. Application à la généralisation de l'orographie. Thèse de doctorat, (1997)
- [14] - M. KALBERMATTEN, Détermination d'indicateurs géomorphologiques à partir de données altimétriques Laser, *Laboratoire de systèmes d'Information Géographique*, (2004)

- [15] - A. BANNARI, Intégration des variables spectrales et géomorphométriques dans un SIG pour la cartographie des aires exposées à l'érosion, *Téledétection*, 7 (1-2-3-4) (2007) 327 - 342
- [16] - R. J. PIKE, I. EVANS et T. HENGL, Geomorphometry : A brief guide. In : *Hengl T. et Reuter H. I., ed. Geomorphometry : Concepts, Software, Applications, Developpements in Soil Science*, Vol. 33, (2008) Elsevier, 3-33
- [17] - F. KOUAME, T. LASM, M.B SALEY, E. TONYE, M. BERNIER, & S. WADE, Extraction linéamentaire par morphologie mathématique sur une image RSO de RadarSat-1: application au socle Archéen de la Côte d'Ivoire. IIIèmes Journées d'Animation Scientifique du réseau de Télédétection de l'AUF, Alger, 8 - 11 (novembre 2009)
- [18] - M. EL HAGE, E. SIMONETTO, G. FAOUR ET L. POLIDORI, Impact of DEM reconstruction parameters on topographic indices, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Paris, France, vol. XXXVIII, part 3B, (2011) 40 - 44
- [19] - P. DASH, S. P. AGGARWAL, N. VERMA, Correlation based morphometric analysis to understand basin evolution : a case study of sirsa river basin, western himalaya, india, *Analele Stiintifice ale Universitatii "Al. I. Cuza" din Iasi, Serie Noua. Geografie; Iasi*, Vol. 59, N° 1 (2013)
- [20] - M. SUKUMAR, N. VENKATESAN & C. NELSON KENNEDY BABU, A Review of Various Lineament Detection Techniques for high resolution Satellite Images. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 4 (2014) 72 - 78
- [21] - A. S. MAHDI & L. A. JAWAD, An Adaptive Automatic Algorithm for Extracting Geological Lineaments in Al-Dibdibba Formation Basin, *Iraqi Journal of Science*, 56 (1C) 866 - (2015) 874
- [22] - N. HAMMAD et al., Cartographie des linéaments géologiques en domaine aride par extraction semi-automatique à partir d'images satellitaires: Exemple à la région d'El Kseïbat (Sahara algérien), Université Kasdi Merbah Ouargla, Laboratoire de Géologie du Sahara, Faculté des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Algérie, (2016)
- [23] - L. OUDRE, G. DAUPHIN, A. BEGHADADI, Traitement des images numériques, TP4 : Filtrage, rehaussement de contours et segmentation, Université Paris 13, Institut Galilée, (2018)