

Apport de la télédétection spatiale à l'étude de l'alimentation en eau des principaux bassins versants du Sud Bénin

Eric Alain TCHIBOZO* & *Vassilii Alexandrovich MALINNIKOV*

*Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 01 Bp 526, Abomey-Calavi, tchibozeric@yahoo.fr

**Université d'Etat Géodésie et Cartographie, 103064 Moscou, 4 Rue du Goroxovski, Russie

RESUME

La gestion de l'eau passe par la connaissance de ses sources d'alimentation. L'objectif de cette étude est d'identifier les sources d'alimentation en eau des bassins versants du Sud Bénin. Les méthodologies utilisées sont la photo – interprétation et l'analyse corrélative. L'interprétation des images satellites a permis d'identifier le réseau hydrographique et les linéaments et de les caractériser. De nouvelles failles ont été découvertes.

Dans la partie sédimentaire, l'alimentation en eau du bassin versant de l'Ouémé est réalisée par les eaux souterraines: plus nombreux sont les linéaments, plus dense est le réseau hydrographique. Sur le socle cristallin, on observe un déficit de l'alimentation du bassin versant en eau superficielle, qui est dû à l'infiltration des eaux par les failles: plus nombreux sont les linéaments, moins dense est le réseau hydrographique. Dans le bassin versant du Mono, l'alimentation en eau est indépendante des linéaments.

Mots clés : Sud - Bénin, bassin versant, hydrographie, linéaments, alimentation

ABSTRACT

The management of water passes by the knowledge of its feeding sources. The objective of this study is to identify the sources of water supply of the basins slopes of the South Benin. Methodologies used are the photograph - interpretation and the correlative analysis. The interpretation of the satellite images made it possible to identify the hydrographic network and the lineaments and to characterize them. New tectonics faults were discovered.

In the sedimentary part, the water supply of the basin slope of Ouémé is carried out by subsoil waters: more are the lineaments, denser is the hydrographic network. On the crystalline base, one observes a deficit of the power supply of the basin slope out of surface water, which is due to the infiltration of water by the faults: more are the lineaments, less dense is the hydrographic network. In the basin slope of Mono, the water supply is independent of the lineaments.

Key words : South Benin, basin slope, hydrography, lineament, water supply

INTRODUCTION

Le RGPH3¹ a montré que la population du Bénin augmente (INSAE, 2002). Le Sud du pays très convoité à cause de son dynamisme économique, reçoit une pression démographique plus importante que les autres régions². Dans ce contexte, l'ampleur et la complexité des problèmes liés à l'eau s'accroissent: occupation illégale des exutoires naturels, crues dévastatrices, inondations ou au contraire longue période de sécheresse, aboutissant à des délestages énergétiques, etc. Face à cette situation, il est impérieux de gérer l'eau.

La gestion de l'eau passe par la connaissance de ses sources d'alimentation. Le débit de ces dernières est lié à l'état de surface des bassins versants topographiques, façonnés par l'érosion et la tectonique (Zverev *et al.*, 1997).³

¹ Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat

² Synthèse et analyse des résultats du RGPH3, DED, INSAE, 2003

³ Zverev A.T et al., (1997) Les résultats de l'analyse des corrélations du relief, du réseau hydrographique et des linéaments de la République du Bénin, p. 3

Les ressources en eau et leurs modes de fonctionnement ont toujours préoccupé les sociétés humaines (Playfair, 1956 ; Hutton, 1959). L'étude des bassins versants remonte à Davis⁴. Il a montré l'importance du relief des bassins versants dans le drainage des surfaces topographiques. Au Bénin, plusieurs auteurs ont réalisé des études sur le système hydrographique et ont montré la nécessité d'inventorier son potentiel (Zverev *et al.*, 1997 ; le Barbe *et al.* 1993 ; Slansky, 1962,...). Ces dernières se sont basées sur des méthodes de terrain et ne donnent pas un aperçu global de la situation hydrographique dans les bassins versants.

L'avènement de la télédétection spatiale a soulevé beaucoup d'espoir en vue de l'amélioration de nos connaissances sur le comportement de l'eau. Elle ne se substitue pas aux méthodes traditionnelles de terrain, mais de part sa vision spontanée et synoptique, peut apporter beaucoup d'informations complémentaires à l'étude des phénomènes hydrologiques. Les images de télédétection multispectrales permettent une approche interdisciplinaire scientifique à la compréhension des phénomènes étudiés. Dans ce travail, elles seront utilisées pour identifier le réseau hydrographique et les linéaments, ainsi que leurs comportements morphologiques dans la construction des bassins versants du Sud – Bénin. Ces documents présentent aussi des inconvénients dont le plus important pour cette étude est le manque de modèles tectoniques ou spectraux permettant l'identification de la lithologie.

Les éléments hydrographiques se caractérisent par l'adaptation ou l'inadaptation de leurs tracés aux données structurales, lithologiques ou tectoniques (Coque, 1998)⁵. L'objectif de cette étude est de vérifier cette hypothèse sur le Sud - Bénin et d'identifier les sources d'alimentation en eau des bassins versants topographiques.

L'intérêt scientifique de l'article réside dans la mise à jour des données disponibles et la contribution à une meilleure gestion de l'eau par la connaissance de ses sources d'alimentation.

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est le « Sud – Bénin ». Elle déborde légèrement sur le Sud - Ouest du Togo. Sa localisation se trouve entre les parallèles 6°10' et 7° 49' et les méridiens 1° 06' et 2° 37'. Sa surface couvre le bassin sédimentaire côtier et la partie Sud du socle cristallin. Les deux sont séparés par une série de plateaux du Continental Terminal et du Crétacé supérieur qui est creusée par une dépression médiane «da Lama ». Elle est entaillée par des vallées Nord – Sud et Nord – Ouest Sud – Est des fleuves Mono, Couffo et Ouémé des terrasses alluviales. Au Sud, dans le domaine margino - littoral, on observe des cordons littoraux du Quaternaire. Le morcellement du socle est d'origine tectonique (Slansky, 1962). Sa mise en place présente de nombreux accidents. L'affaissement en gradins est guidé par des failles longues et nombreuses de direction moyenne 50°N à 70°E, plus ou moins parallèles au littoral. Le pendage est faible et incliné vers l'océan Atlantique.

⁴ Davis W.M. (1954) Geological Essays, p. 40

⁵ Coque R. 1998, La géomorphologie, p.112

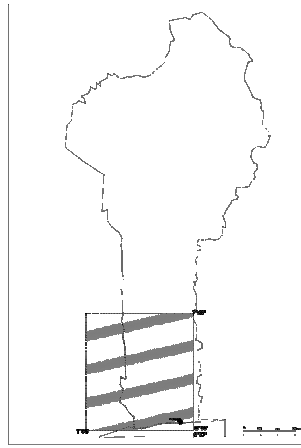


Figure 1 . La localisation de la zone d'étude

MATERIELS ET METHODOLOGIES

Matériels

Les matériels utilisés sont les images satellites, la carte topographique et la carte hydrogéologique.

Les images sont des photographies satellitaires multispectrales, obtenues le 21 janvier 1989 à bord du satellite «AKA- Ressource F2» de la série «Cosmos - Russie». Le capteur utilisé est la camera photographique MK4 qui dispose de 6 canaux multispectraux :

Canal 1 : 0,635 - 0,690 μm
Canal 2 : 0,810 - 0,900 μm
Canal 3 : 0,515 - 0,565 μm

Canal 4 : 0,460 - 0,505 μm
Canal 5 : 0,580 - 0,690 μm
Canal 6 : 0,400 - 0,700 μm



0,635-690 μm



0,810-900 μm

Figure 2 . Les images satellitaires multispectrales du Sud – Bénin

Source : Centre Priroda, Moscou, 1991

Dans ce travail ce sont les canaux 1 et 2 de la caméra qui ont été utilisés. Ils correspondent aux parties rouge et proche infra rouge du spectre électromagnétique. La résolution au sol est variable en fonction de l'altitude de vol et de la sensibilité de l'émulsion. Pour un contraste de l'objectif compris entre 0,2 et 0,3, cette valeur est supérieure à 100m. Les images ont été numérisées avec une résolution de 150 x150, ce qui correspond à une tache de 141 m au sol.

La carte topographique du Bénin à l'échelle de 1/600 000 a été réalisée et éditée par l'IGN France, dans la collection « les Spatiales de l'IGN, Pays et villes du monde » en 1992. Les données utilisées sont collectées en 1982 et 1992 par les travaux de terrain de l'IGN Bénin.

La carte hydrogéologique du Bénin, bassin sédimentaire côtier est réalisée à l'échelle de 1/200 000 sous le projet n° 5100.71.13.007, Fond Européen de Développement (FED) et éditée par la société Géohydraulique France, en 1985.

Méthodologies

Les méthodes utilisées sont la photo - interprétation et l'analyse corrélative.

Photo - interprétation

Sur les images l'hydrographie se différencie des autres éléments du paysage par le dessin net de son contour. Elle absorbe le rayonnement électromagnétique surtout dans les canaux rouge et proche infrarouge du spectre et présente de faibles valeurs spectrales. Ces dernières ont été précisées par le traitement spectral : altération spectrale, amélioration des contours, différenciation spectrale, etc. (Caloz et al., 1987)⁶. Les indicateurs directs utilisés pour sa reconnaissance sont la forme, la tonalité et le contraste.⁷

Les linéaments sont des zones de faible résistance à l'érosion. Sur les images, ils présentent des discontinuités qui sont liées à des phénomènes cassants ou ductiles (les failles, les chevauchements, les fractures, les filons, les diaclases, les flexures, etc.). La répartition, l'orientation et l'extension des structures géologiques ont permis de les identifier.

L'extraction des linéaments a été réalisée avec le logiciel LESSA « Lineament Extraction and Strip Statistic Analysis » conçu par la société Aérologie de la Fédération de Russie. Ce programme permet d'extraire les photos linéaments qui sont des frontières des zones de variation de 256 graduations du ton photographique. Les fenêtres utilisées sont glissantes et reposent sur des masques gradients de différentes orientations dont la précision angulaire de chacun dépend de la dimension des masques et de leurs orientations.

Analyse de la corrélation

Les rapports de l'hydrographie avec la structure géologique, illustrent l'importance que celle - ci peut exercer sur le relief (Coque, 1998). Dans le Sud - Bénin, la direction prise par les cours d'eau est liée aux failles et surtout à la tectonique qui est la cause de l'émottage des minéraux⁷.

⁶ Wilmet J., 1996, Télédétection aérospatiale, méthodes applications, p. 80

⁷ Tchibozo E (1998), Evaluation de l'état de l'environnement naturel des régions Sud et Central du Bénin par les images satellitales multispectrales, Thèse de Doctorat PhD, Université d'Etat Géodésie et Cartographie, Moscou Russie

L'interprétation du réseau hydrographique et des linéaments ne suffit pas pour étudier les sources d'alimentation en eau des bassins versants. Cette dernière n'a pas un indicateur direct reconnaissable sur les images, mais dépend surtout de l'interaction des deux paramètres interprétés (réseau hydrographique et linéaments). Pour apprécier cette interaction, il faut recourir à une analyse corrélative (Dagnelie, 1988)⁸.

Tableau 1. Les coefficients de corrélation de la densité des linéaments avec la densité du réseau hydrographique, calculés par le logiciel « COR.EXE »

Fenêtre 4X4	Fenêtre 8X8	Fenêtre 12X12	Fenêtre 16X16	Fenêtre 20X20
R (1,1) = -0,369	R (1,1) = -0,185	R (1,1) = -0,197	Fenêtre 16X16	R (1,1) = - 0.123
R (1,2) = -0,099	R (1,2) = -0,102	R (1,2) = -0,151	R (1,1) = -0,195	
R (1,3) = -0,447	R (1,3) = -0,379	R (1,3) = -0,130	R (1,2) = -0,050	
R (1,4) = 0,324	R (1,4) = 0,203		R (2,1) = -0,143	
R (1,5) = -0,435	R (2,1) = 0,126	R (2,1) = -0,142	R (2,2) = -0,105	
	R (2,2) = -0,158	R (2,2) = -0,183		
R (2,1) = 0,321	R (2,3) = -0,443	R (2,3) = -0,114		
R (2,2) = 0,145	R (2,4) = 0,093			
R (2,3) = -0,561		R (3,1) = -0,252		
R (2,4) = -0,465	R (3,1) = -0,064	R (3,2) = -0,213		
R (2,5) = 0,670	R (3,2) = -0,316	R (3,3) = -0,091		
	R (3,3) = -0,338			
R (3,1) = -0,212	R (3,4) = 0,126			
R (3,2) = 0,063				
R (3,3) = -0,564	R (4,1) = -0,327			
R (3,4) = -0,144	R (4,2) = -0,194			
R (3,5) = 0,309	R (4,3) = 0,061			
	R (4,4) = 0,069			
R (4,1) = -0,246				
R (4,2) = -0,198				
R (4,3) = -0,221				
R (4,4) = -0,038				
R (4,5) = 0,413				
R (5,1) = -0,360				
R (5,2) = -0,418				
R (5,3) = -0,178				
R (5,4) = -0,168				
R (5,5) = 0,011				

La méthode de corrélation a été choisie à cause du nombre de paramètres à analyser (deux) et de leur nature (quantitative). Les coefficients de corrélation ont été calculés à l'aide du logiciel dénommé « COR.EXE ». Ce dernier prend en compte le dessin hydrographique, la structure géologique et le relief pour calculer les coefficients de corrélation. Le logiciel utilise des matrices numériques, qui sont obtenues par la superposition de palette aux données interprétées sur l'image. Dans l'analyse de la corrélation les paramètres suivants sont utilisés : la densité du réseau hydrographique, la densité des linéaments et le coefficient de corrélation R. La corrélation a été réalisée à l'aide des fenêtres glissantes et un agrandissement progressif du rayon de centrage. Ceci a permis d'obtenir des coefficients de corrélation sur les surfaces de 28*28km² (fenêtre 4x4); 56*56km² (fenêtre 8x8);

⁸ Dagnelie P. (1988) Statistique théorique et appliquée, Tome 2, inférence statistique à, une ou deux dimensions, p.39

84*84km² (fenêtre 12x12); 120*120km² (fenêtre 16x16) et 140*140km² (fenêtre 20x20).

Le test de conformité et de signification des valeurs de coefficients de corrélation rejette l'hypothèse nulle de Fisher :

$Z = \frac{1}{2} \log_e(1+R / 1-R)$, où Z - Transformé de Fisher, R - Tangente hyperbolique de Z

Le seuil significatif R_{lim} des coefficients de corrélation a été obtenu par la distribution de Student avec n - 2 degré de liberté, par la formule :

$T_{lim} = \sqrt{(n-2)(1-R^2)}$, où

n - Taille de l'échantillon, R - Coefficient de corrélation, T_{lim} - Seuil significatif de R.

Tableau 2. Les valeurs minimales significatives des coefficients de corrélation, calculées pour les différentes fenêtres glissantes

• Niveau local		• Niveau régional	
Fenêtres 4x4 et 8x8 :		Fenêtres 12x12 et 16x16 :	Fenêtre 20x20
$R \geq 0,2$ Présence de corrélation		$R \geq 0,1$ Présence de corrélation	$R \geq 0,06$ Présence de corrélation
$R \leq 0,2$ Absence de corrélation		$R \leq 0,1$ Absence de corrélation	$R \leq 0,06$ Absence de corrélation

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Photo – interprétation

Hydrographie

L'interprétation des images satellites a permis d'identifier le réseau hydrographique et les bassins versants du Sud Bénin (Figure3). La densité minimale du réseau hydrographique est observée dans le bassin du Mono. Dans celui de l'Ouémé, sa valeur évolue régulièrement et augmente avec l'élévation du relief. Le dessin du réseau hydrographique est de type dendritique avec une organisation tantôt pennée, tantôt digitée. Il est pratiquement inexistant dans la dépression de « la Lama », et l'on observe des zones d'endoréisme. Sur le socle cristallin, la largeur des vallées diminue progressivement vers le nord du pays, alors que dans la partie sédimentaire, elle s'élargie.

Les vallées N-S du Mono, du Couffo et de l'Ouémé entaillent profondément les plateaux. Elles forment de larges dépressions qui sont des bassins versants topographiques, drainés par le réseau hydrographique. Il s'agit du :

- *bassin de l'Ouémé* : on distinguera la partie du bassin sur le socle et que l'on appellera « L'Ouémé supérieur » et celle située sur les formations sédimentaires du bassin côtier et que l'on appellera « l'Ouémé inférieur »⁹

L'Ouémé supérieur présente des rivières qui suivent la direction N-S imposée par les formations du socle⁹. Le bassin est drainé par un Réseau hydrographique dont le ruissellement concentré montre la forte pente des versants. La pente peut s'accroître au passage d'accidents techniques. Les interfluviaux sont des collines escarpées.

⁹ Le Barbe L. et al. , 1993, Les ressources en eau superficielle de la République du Bénin, p35

Linéaments

L'interprétation des images satellites a permis d'extraire les linéaments du Sud Bénin. Certains linéaments sont de vraies failles, d'autres sont seulement des fractures rectilignes sans déplacement relatif des blocs de part et d'autre du fléau de fracture (Bonn, 1996)¹⁰. La plus grande longueur est observée sur des linéaments des systèmes longitudinaux. Les linéaments interceptent les éléments de relief (vallées, plateaux, dépressions,.....) sur les directions 22° et 112°. Les systèmes des linéaments diagonaux de direction 67° sont tangents aux plateaux du nord et du sud. Ils délimitent la partie affaissée du bassin sédimentaire appelée « dépression de la Lama ». Les affaissements de direction 50°N à 70°E abritent les cours d'eau du bassin sédimentaire. Ils correspondent à des accidents allongés NS (Ouémé) ou N20°E (lac Toho), à N30°E (lac Ahémé) qui délimitent les fosses d'effondrements occupées par les dépressions marécageuses.

La superposition des linéaments avec les failles connues sur la carte hydrogéologique du Bénin a permis de mettre en évidence deux systèmes de failles: l'une d'orientation WSW – ENE et l'autre de direction SSW - NNE. Le premier, plus ancien, comprend deux failles majeures connues (Slansky, 1962): l'une passe près d'Athiémé, à Lokossa et relève le compartiment Est d'une centaine de mètres, l'autre passe près de Sèhouè et relève le compartiment Ouest d'une hauteur analogue.

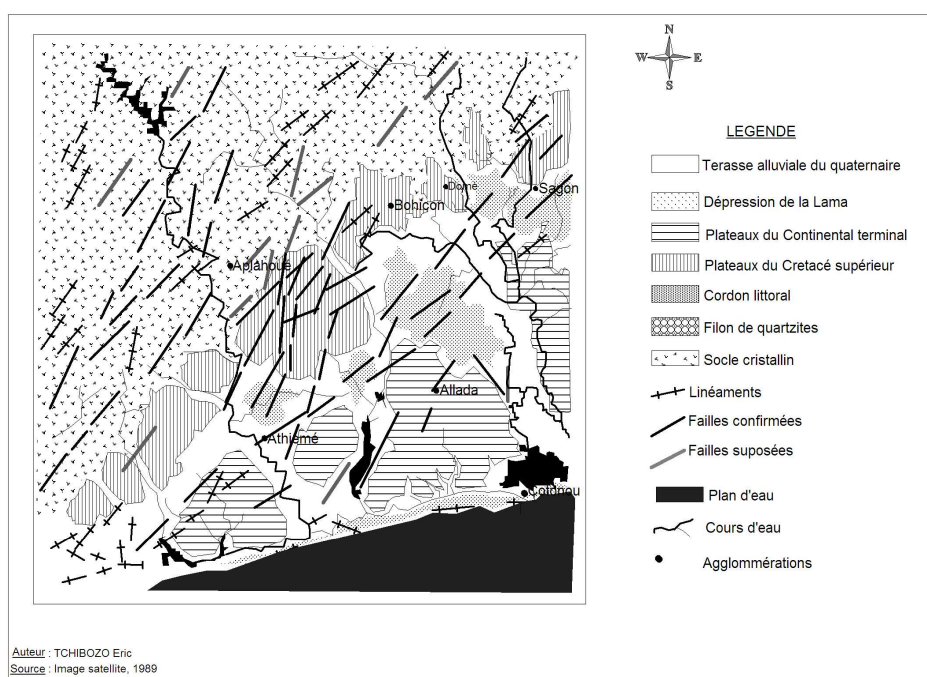


Figure 4 : Les linéaments et les bassins versants du Sud –Bénin obtenus par interprétation des images satellites

¹⁰ Bonn F. et al., Précis de Télédétection, volume 2, application thématique, p50

Le second, mal connu et plus jeune, comprend de nombreuses failles concentrées surtout à l'Ouest du Couffo (Figure 4). On observe des décrochements sur certaines d'entre elles qui traversent la ligne de contact des sédiments avec le socle cristallin. De nouvelles failles appartenant à ce système ont été identifiées.

Corrélation entre les linéaments et le réseau hydrographique

L'analyse des coefficients de corrélations par intervalles différenciées montre que dans la fenêtre 4X4 du niveau local, on observe 64% de valeurs significatives. 20% d'entre elles indiquent une corrélation directe, alors que 44% montrent une corrélation indirecte. Aux niveaux local et régional, pour des fenêtres plus grandes, toutes les valeurs indiquent une corrélation indirecte. Cette situation montre que la corrélation directe des paramètres étudiés s'exprime essentiellement au niveau local (Tableau 2).

Tableau 3 . Analyse des valeurs de coefficients de corrélation par rapport aux seuils de signification

Seuil de signification	Fenêtre	Valeurs significatives de R (%)	Valeurs de R directe	Valeurs de R indirecte
R ≥ 0,2	4x4	64	20	44
	8x8	38	0	38
R ≥ 0,1	12x12	88,8	0	88,8
	16x16	75	0	75
R ≥ 0,06	20x20	100	0	100

L'analyse de la carte de corrélation, établie au niveau local (Figure 5), montre que dans sa partie sédimentaire, le bassin versant de l'Ouémé présente une corrélation directe de la densité des linéaments avec la densité du réseau hydrographique: plus nombreux sont les linéaments, plus dense est le réseau hydrographique. L'importance de cette relation est observée le long des failles, surtout celle qui coupe le Zou à proximité du village de Dome et l'Ouémé près du village de Sagon. Cette situation indique que bassin versant de l'Ouémé est incisé par l'érosion et la tectonique, et que son alimentation se réalise par les eaux souterraines.

Sur le socle cristallin, dans le même bassin versant, la relation de corrélation s'exprime de manière indirecte: plus nombreux sont les linéaments, moins dense est le réseau hydrographique. Cette situation confirme la présence d'un affaissement tectonique qui crée un déficit d'alimentation dans la partie cristalline du bassin versant de l'Ouémé. Selon Slansky, 1962, le déficit hydrographique est dû au passage de la faille majeure post – Eocène et de direction SW-NE, qui crée un débit d'étiage soutenu dans le bassin versant de l'Ouémé.

Dans la partie sédimentaire du bassin - versant du Couffo et sur le socle cristallin, on observe une corrélation indirecte de la densité des linéaments avec la densité du réseau hydrographique : plus nombreux sont les linéaments, moins dense est le réseau hydrographique. Cette situation indique l'influence des linéaments sur l'alimentation en eau du bassin. Ces derniers sont très remarquable à partir du plateau d'Allada jusqu'au plateau d'Aplahoué, où à l'Ouest du Couffo, on observe plusieurs systèmes de failles.

Le bassin versant du Mono, présente une absence de corrélation significative. Cette situation indique que son alimentation est indépendante des linéaments. Toutefois, autour des formations géologiques caractéristiques de quartzites, on observe une corrélation directe des paramètres étudiés.

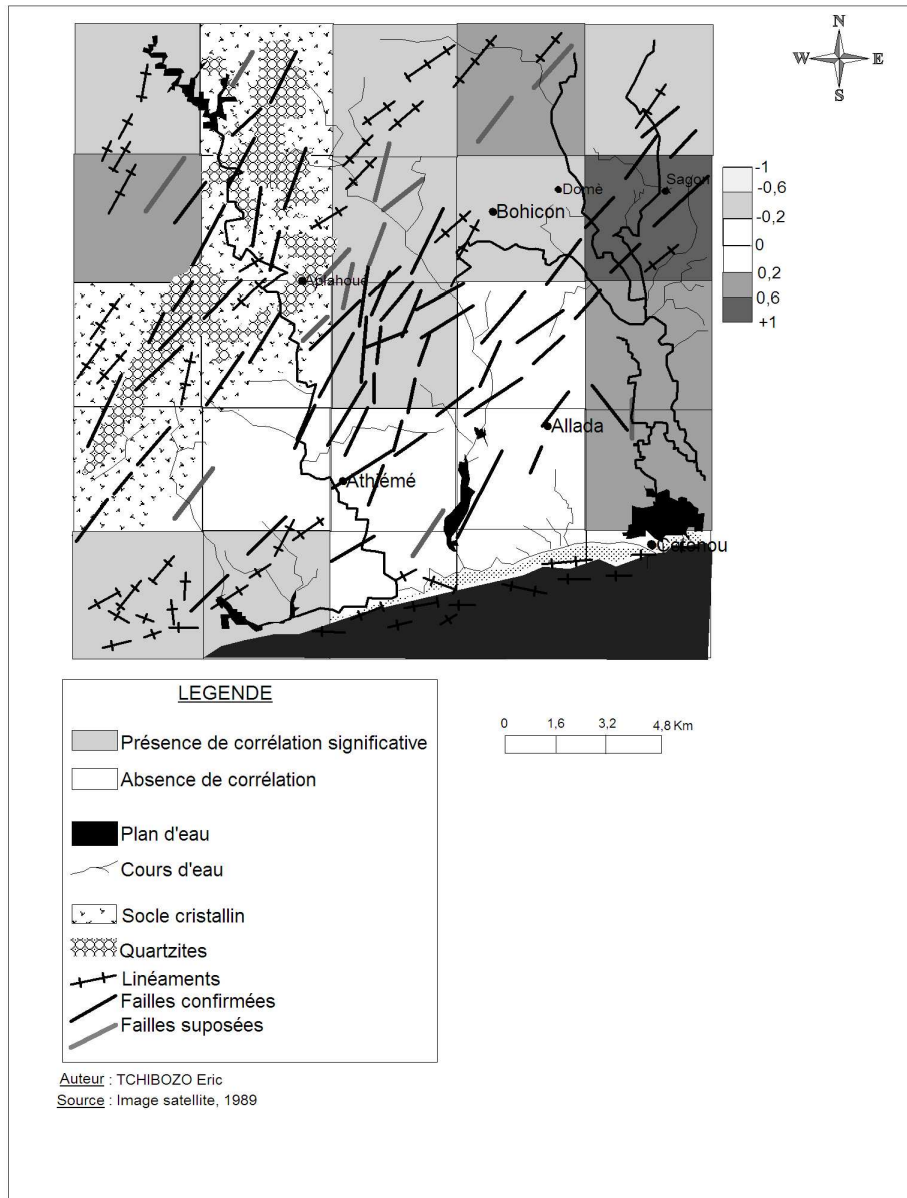


Figure 5. Carte de corrélation de la densité des linéaments avec la densité du réseau hydrographique

CONCLUSION

La télédétection apporte une information complémentaire aux études hydrographiques. Lorsqu'elle est associée à l'analyse corrélatrice, elle peut identifier les sources d'alimentation en eau des bassins versants. Ce dernier s'exprime par une corrélation directe ou indirecte des linéaments avec le réseau hydrographique.

Des trois bassins versants du Sud – Bénin, identifiés sur les images satellites, seul le bassin versant du Mono présente une inadaptation aux linéaments. Les deux autres à savoir, le bassin de l'Ouémé et celui du Couffo, montrent une parfaite adaptation des tracés hydrographiques à la structure géologique aux niveaux local et régional. L'existence de corrélation entre les paramètres étudiés montre que dans ces bassins versants, la direction prise par les cours d'eau est liée aux failles et à la tectonique qui sont les causes de l'émottage des minéraux. L'orientation des linéaments est fonction du relief et de la construction géologique du territoire. Cette dernière est liée au climat, à la végétation, au modelé, au degré de porosité et de perméabilité des roches qui définit leur résistance à l'altération et à l'érosion.

Ainsi, la densité du réseau hydrographique dépend de la densité des linéaments. Ces derniers influencent les sources d'alimentation en eau des bassins versants qui peuvent être souterraines ou superficielles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- LE BARBE L., G. ALE B. MILLET H. TEXIER & Y. BOREL (1993) : Les ressources en eau superficielle de la République du Bénin. Paris, Orstom, Monographie hydrographique, N°11.
- BONN F., (1996) : Précis de télédétection, volume 2, applications thématiques. Québec, Presses de l'Université du Québec, 633 pages.
- CALOZ R. & ABEDNEGO B. S. (1987) : Traitement numérique d'images TM de Landsat pour les modèles de simulation hydrologiques. Journées d'études en télédétection, Louvain-la-Neuve, Belgique, 12 pages.
- COQUE R. (1998) : La géomorphologie. Paris, Armand Colin, 503 pages, page 112.
- DAVIS W. M. (1954: Geological Essays. Boston, Ginn and C°, 1909, Reimpr., New York, Dover Publ. Inc., 1954, 777 p.
- DAGNELIE P. (1988) : Statistique théorique et appliquée, Tome 2, inférence statistique à une et à deux dimensions. Paris, Bruxelles, De Broeck Université, 659 pages.
- HUTTON J. (1959): A Theory of the Earth, with Proofs and illustrations. Edinburgh, 1795, Reimpr., 2 vol.
- PLAYFAIR J. (1956): Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth. Edingburgh, W. Creech, 1802, 528 p. Reimpr. Univ. of Illinois Press.
- SLANSKY M. (1962) : Contribution à l'étude géologique du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo. Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle, Paris, Université de Nancy - BRGM, 241 pages.
- TCHIBOZO E.A. (1998) : Evaluation de l'état de l'environnement naturel des régions sud et centrale du Bénin, à l'aide des images satellitaires multispectrale. Thèse de Doctorat PhD, Université d'Etat de Géodésie et cartographie, Moscou, Russie, 234 pages.
- ZVEREV A. T., V. A. MALINNIKOV & E.A. TCHIBOZO (1997): Les résultats de l'analyse de corrélation de l'hydrographie avec le relief et les linéaments du Sud –Bénin. Actes du forum international sur les problèmes de la science, la technique et l'éducation, vol.2. Moscou, Académie des sciences de la terre, 118 pages.