



RELATION ENTRE LES ÉCOULEMENTS DE SURFACE ET SOUTERRAIN DANS LE BASSIN VERSANT DU HAUT BANDAMA EN CÔTE D'IVOIRE

RELATIONSHIP BETWEEN SURFACE AND UNDERGROUND WATER FLOW IN THE UPPER BANDAMA WATERSHED IN IVORY COAST

***KOUAMÉ K. A.¹, KOUDOU A.², SOROKOBY V. M.³, KOUAMÉK. F.³,
KOUASSI A. M.⁴***

¹ Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Unité 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) ; 22 BP 582 Abidjan 22 (Côte d'Ivoire).

² Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) ; Département des Sciences de l'Environnement ; BP 150 Daloa (Côte d'Ivoire).

³ Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM) ; Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT) ; 22 BP 801 Abidjan 22 (Côte d'Ivoire).

⁴ Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) ; Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi) ; Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques ; BP 1093 Yamoussoukro (Côte d'Ivoire).

kassialexiskouame@yahoo.com

RÉSUMÉ

Le bassin versant du Haut Bandama révèle une anomalie dans les processus hydrologiques dans la zone de confluence de ses deux principaux affluents : le Bandama blanc en rive gauche et le Bandama rouge encore appelé Marahoué en rive droite. L'analyse des débits fait ressortir une importante perte d'eau évaluée à environ 1 milliard de m³ d'eau sur le Bandama blanc, de Marabadiassa à Kossou et un apport d'eau évaluée à environ 500 millions de m³ sur la

Marahoué, de Zuénoula à Bouaflé. Le traitement d'une image SPOT HRV-XS permet d'identifier un réseau d'accidents majeurs de directions NW-SE et NE-SW dominants, susceptibles de drainer les eaux du Bandama blanc vers la Marahoué. Le guidage structural des différents affluents du Bandama met en relief la relation entre le réseau de surface et les accidents structuraux souterrains qui conditionnent la configuration des aquifères de socle.

Mots clés : Bassin versant, Climatologie, Fleuve Bandama, Fractures, Télédétection, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

The Upper Bandama watershed is drained by two major rivers: the Bandama and the Marahoué. At the zone of convergence of these affluents, an unusual behaviour of water flow regime is observed. Namely, water flow decreases from Marabadiassa to Kossou while the flow on the Marahoué increases from Zuénoula to Bouaflé. Significant volume decrease amounting to about 1 billion cubic meters is observed on the Bandama from Marabadiassa to Kossou while half a billion cubic meters of water is gained on the Marahoué from Zuénoula to Bouaflé. Dominant linear geologic fractures in NW-SE and NE-SW directions have been mapped using SPOT imagery. The fracture network is presumed to sustain underground water flow from the Bandama towards the Marahoué. The observed directions of the affluents of the river Bandama highlights a relationship between surface and underground water flow, which may regulate aquifer characteristics.

Key words: Bandama River, Climatology, Fracture, Remote sensing, Watershed, Ivory Coast.

INTRODUCTION

La gestion des écosystèmes et plus principalement des ressources en eau fait appel à la prise en compte d'interactions complexes et variées du fonctionnement des composantes du milieu naturel (Calder et *al.*, 1995 ; Fohrer et *al.*, 2005). L'impact de la dynamique du paysage, sur les processus hydrologiques tels que l'évaporation des plans d'eau, l'écoulement des eaux et la recharge des aquifères permettent de fournir des informations pertinentes dans le cadre d'une utilisation durable des ressources naturelles, ainsi que la gestion intégrée de ces ressources (Fohrer et *al.*, 2005). En Côte d'Ivoire, le

barrage hydroélectrique de Kossou, construit en 1971 sur le fleuve Bandama pour assurer l'alimentation énergétique a causé une modification du paysage naturel. À l'instar de tous les ouvrages de ce type, sa réalisation a eu de sérieux impacts sur l'environnement local, notamment la perturbation du régime hydrologique de ce cours d'eau. Cet important barrage est situé dans une zone où il y a une chute de débit au niveau du Bandama blanc, sur la rive gauche et une hausse de débit au niveau de la Marahoué, sur la rive droite du fleuve Bandama (Biémi et Loroux, 2000). Cela met en évidence deux phénomènes hydrologiques contraires qui traduisent des possibilités de liens existant entre les réseaux de surface et souterrain. L'hypothèse émise ici est celle de l'interconnectivité entre les réseaux de surface et souterrain, qui serait à l'origine de cette anomalie.

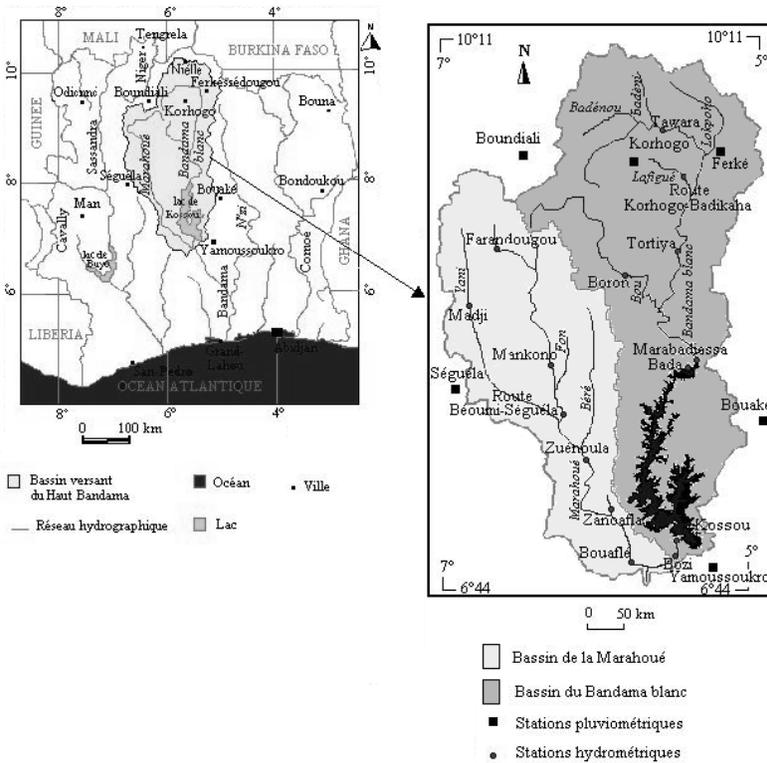
Cette étude vise d'abord à suivre l'évolution des débits d'amont en aval du Bandama blanc et de la Marahoué, ensuite à identifier les zones de perturbation majeure de débit et enfin à mettre en évidence le contrôle structural des principaux cours d'eau dans cette région. Pour atteindre cet objectif, l'approche méthodologique a consisté en une étude hydroclimatologique suivie de la cartographie des linéaments majeurs de la région à partir de l'imagerie satellitaire SPOT HRV-XS.

CONTEXTES GÉOGRAPHIQUE, GÉOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE

Le bassin versant du Haut Bandama est situé entre les latitudes 6°44' et 10°11' Nord et les longitudes 5°00' et 7°00' Ouest. Il s'étend sur une superficie de 52 200 km² avec deux principaux affluents qui se croisent dans les environs de Bouaflé : le Bandama blanc et la Marahoué (Figure 1).

Le Bandama blanc prend sa source sur les hauts plateaux du Nord (altitude moyenne : 400 m) dans les environs de Korhogo. Il reçoit deux petits affluents, le Badénu et le Badéni puis s'oriente vers le sud-est en direction de Ferké où il est rejoint par le Lokpoho. Il creuse son lit dans des terrains généralement très altérés, schisteux puis granitiques. Avant Ferké, il rencontre une longue et étroite unité schisteuse appelée « gouttière du Nord Bandama » qui s'étire selon une direction NNE-SSW. Il emprunte ce couloir jusqu'à sa confluence avec le Bou (Figure 2). Durant ce parcours, il reçoit sur sa rive droite le Lafigué. Le Bandama blanc prend alors son allure de fleuve et s'y distingue par de larges méandres. Après avoir reçu le Bou, le fleuve se dirige vers le sud-est, traversant ainsi un alignement granitique où sa pente baisse rapidement. Atteignant une

nouvelle unité schisteuse, il reprend une direction NNE-SSW puis s'oriente vers le sud ; ce qui l'amène en amont du barrage hydroélectrique de Kossou (Camus, 1972 a et b).



La Marahoué, long de 550 km est le second affluent du fleuve Bandama. Elle prend sa source dans la région montagneuse au sud-ouest de Boundiali. Elle est essentiellement formée par le Yani et le Fon, deux rivières égales et parallèles distantes de 30 à 40 km et coulant dans la direction NNW-SSE. Ils se rejoignent après avoir franchi le 8^{ème} parallèle, et forment la grande Marahoué. Celle-ci s'écoule à travers des méandres jusqu'à Bouaflé en passant par Zuénoula. Avant cette ville, elle reçoit le Béré sur sa rive gauche et se jette dans le Bandama à l'ouest de Bouaflé, à environ 15 km au sud du barrage de Kossou (Camus, 1972 a, b).

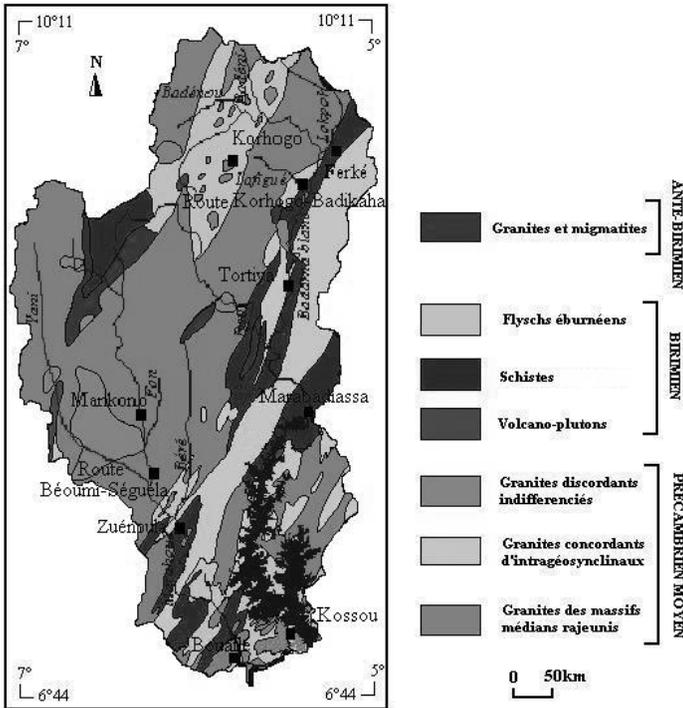


Figure 2 : Carte géologique du bassin versant du Haut Bandama

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Données

Les données météorologiques (pluies moyennes mensuelles) proviennent des stations de Yamoussoukro, Bouaké et Korhogo. Ces données ont été fournies par la Société de Développement et d'Exploitation Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) sur la période 1981-2000.

Les données hydrologiques sont les moyennes mensuelles des débits mesurés aux différentes stations de jaugeage situées à l'intérieur du bassin versant. Il s'agit, d'une part, des stations de Mankono, Route Békoum-Séguéla, Zuénoula, Bouaflé sur la Marahoué et d'autre part, de celles de Route Korhogo-Badikaha, Tortiya, Marabadiassa, Kossou sur le Bandama blanc. La série de données est continue sur la période 1986-1995, sur l'ensemble du bassin. Elles ont été mises

à notre disposition par la Sous-Direction de l'Hydrologie du Ministère des Infrastructures Economiques.

L'image satellitaire utilisée a été acquise le 25/11/1986 par le satellite français SPOT (scène 48-336) en mode multispectrale. L'image ayant une résolution spatiale de 20 m est composée de trois bandes issues des domaines visible et infrarouge (XS1 : 0,50 à 0,59 μm ; XS2 : 0,61 à 0,69 μm ; XS3 : 0,79 à 0,90 μm) qui sont traitées et interprétées sur un poste de travail équipé des logiciels de traitement d'images ENVI, PCI et de SIG ArcView.

Méthodes

Étude hydroclimatologique

L'étude hydroclimatologique consiste à établir la variation moyenne mensuelle de la pluviométrie au cours de l'année sur la décennie 1981-2000. Cette variation saisonnière de la pluie est ensuite mise en rapport avec celle du débit à l'exutoire de chaque sous-bassin afin d'étudier l'effet de la pluviométrie sur la variation du débit du cours d'eau.

Étude hydrologique

Quatre (4) stations de jaugeage ont été considérées d'amont en aval sur chaque cours d'eau. Il s'agit, d'une part, des stations de Mankono, Route Béoumi-Séguéla, Zuénoula, Bouaflé sur la Marahoué et d'autre part, de celles de Route Korhogo-Badikaha, Tortiya, Marabadiassa, Kossou sur le Bandama blanc. L'étude a consisté à établir la variation spatio-temporelle (d'amont en aval au cours de l'année) du débit de chaque cours d'eau.

Méthode de traitement de l'image satellitaire

La première phase du traitement a consisté en la correction géométrique à partir des cartes topographiques au 1/50000 des degrés carrés de Bouaké et de Gagnoa couvrant la zone de confluence du Bandama blanc et de la Marahoué. La deuxième phase vise le rehaussement (étalement dynamique, rapports de bandes, analyse en composantes principales et compositions colorées) et le filtrage (filtrage directionnel de Sobel) des images pour la mise en évidence de discontinuités linéaires. Enfin, l'interprétation structurale aboutit à l'extraction des discontinuités-images, qui correspondent aux accidents structuraux majeurs. Les accidents déjà identifiés par Biémi et *al.* (1995) à partir du traitement des

images satellitaires Landsat TM et leurs rosaces directionnelles sont comparés à ceux issus du traitement des images satellitaires SPOT HRV-XS pour la validation de la carte linéamentaire. Cette carte a été utilisée pour faire ressortir le réseau de failles responsables de l'écoulement souterrain dans la région de Kossou-Bouaflé.

RÉSULTATS ET INTERPRETATION

Évolution des paramètres pluie-débit

La lame d'eau annuelle ruisselée sur le sous-bassin du Bandama blanc (85 mm) est supérieure à celle de la Marahoué (79 mm). La lame totale d'eau ruisselée sur l'ensemble bassin du Haut Bandama est de 164 mm ; ce qui correspond à un volume annuel d'eau ruisselée de $4,310^9 \text{ m}^3$. Les paramètres pluie-débit, à Kossou (Bandama blanc) et Bouaflé (Marahoué), au cours de la période 1981-2000 sont consignés dans le tableau 1.

Une analyse de celui-ci montre que pour une même quantité de pluie tombée sur chaque sous-bassin au cours de la même période, le débit du Bandama blanc est largement supérieur à celui de la Marahoué.

La figure 3 indique que la première saison des pluies (mars à juin avec $P_{\text{moy}} = 144 \text{ mm}$) n'a pas d'effet sensible sur le débit du Bandama blanc ($Q_{\text{moy}} = 23,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) et de la Marahoué ($Q_{\text{moy}} = 4,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); le débit est en déphasage avec la pluie. C'est plutôt la seconde saison des pluies (septembre à octobre avec $P_{\text{moy}} = 161 \text{ mm}$) qui entraîne la crue de ces deux cours d'eau (Q_{moy} Bandama blanc = $318,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et Q_{moy} Marahoué = $215,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Tableau 1 : Évolution des paramètres pluie-débit à Kossou et Bouaflé (1981-2000)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Q Bandama ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	6,9	12,3	18,4	25,2	19,7	28,6	48,9	181,9	392,7	244,8	60,7	10,4
Q Marahoué ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	2,6	2,1	2	3,6	4,5	6,2	16,8	74,3	257,4	174,3	50,4	7,8
Pluie (mm)	4,2	42,2	101,6	141,8	146,4	128,4	84,8	118,4	191,9	130,9	46,5	15,3

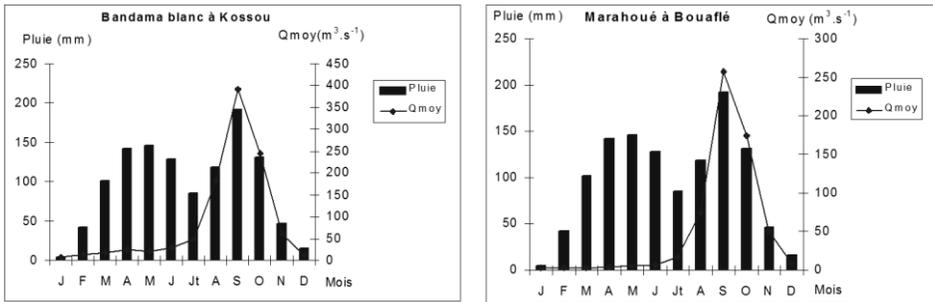


Figure 3 : Évolution des paramètres pluie-débit à Kossou et Bouaflé (1981-2000)

Étude comparée du débit d’amont en aval sur le Bandama blanc et la Marahoué

Les débits moyens annuels mesurés d’amont en aval sur le Bandama blanc et la Marahoué au cours de la période 1981-2000 sont présentés dans le tableau 2.

La figure 4 qui en découle, montre que le débit du Bandama blanc augmente lentement de la station Route Korhogo-Badikaha (S1) à la station de Marabadiassa (S3). De cette station à celle de Kossou (S4), le débit chute brutalement : il passe de $156,8 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ à $88,9 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$; il y a donc une importante perte d’eau dans la région de Kossou. Quant au débit de la Marahoué, il augmente lentement de la station de Mankono (S1) à celle de Zuénoula (S3). Cette augmentation devient brutale entre la station de Zuénoula et celle de Bouaflé (S4). En effet, entre ces deux stations, le débit passe de $44 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ à $339 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$; il y a donc un apport d’eau considérable dans la région de Bouaflé.

Les zones anormales étant identifiées, il convient de chercher à comprendre les causes de ces anomalies à partir de la carte linéamentaire établie.

Tableau 2 : Débit moyen annuel d’amont en aval sur le Bandama blanc et la Marahoué (1986-1995)

Cours d'eau	Bandama blanc				Marahoué			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Stations	Korhogo-Badikaha	Tortiya	Marabadiassa	Kossou	Mankono	Béoumi-Séguela	Zuénoula	Bouaflé
Q (m³.s⁻¹)	31,8	44,1	156,8	88,2	22,3	38,3	44	339

Relation entre les écoulements de surface et souterrain dans le bassin versant du haut Bandama en Côte d'Ivoire

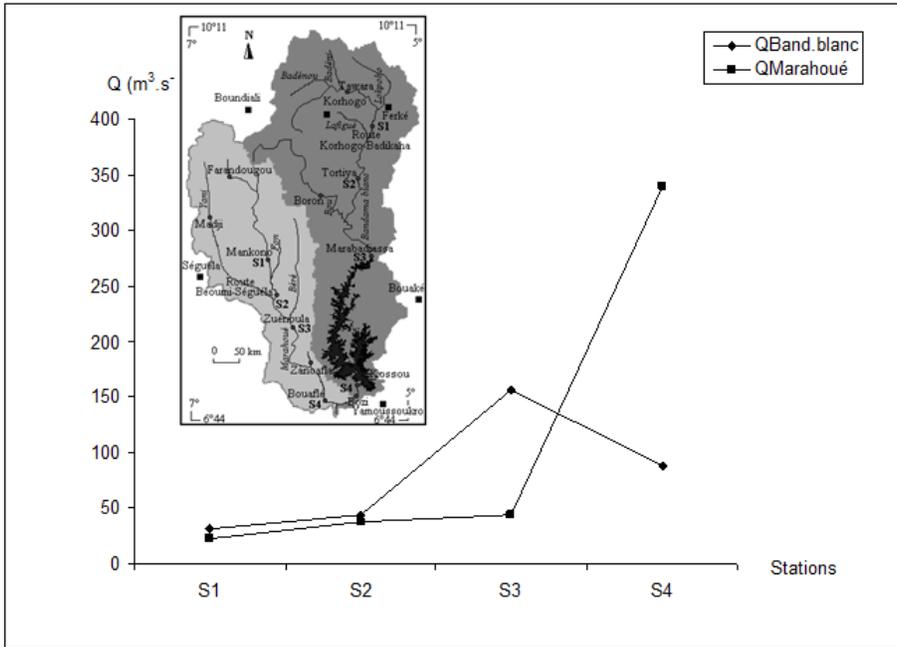


Figure 4 : Variation du débit moyen annuel d'amont en aval sur le Bandama blanc et la Marahoué (1981-2000)

Relation entre les réseaux souterrains et de surface

Carte linéamentaire

Les directions préférentielles observées sur les linéaments d'importance régionale sont NE-SW et NW-SE. Cependant, d'autres directions telles que NNE-SSW et NNW-SSE sont aussi présentes (Figure 5).

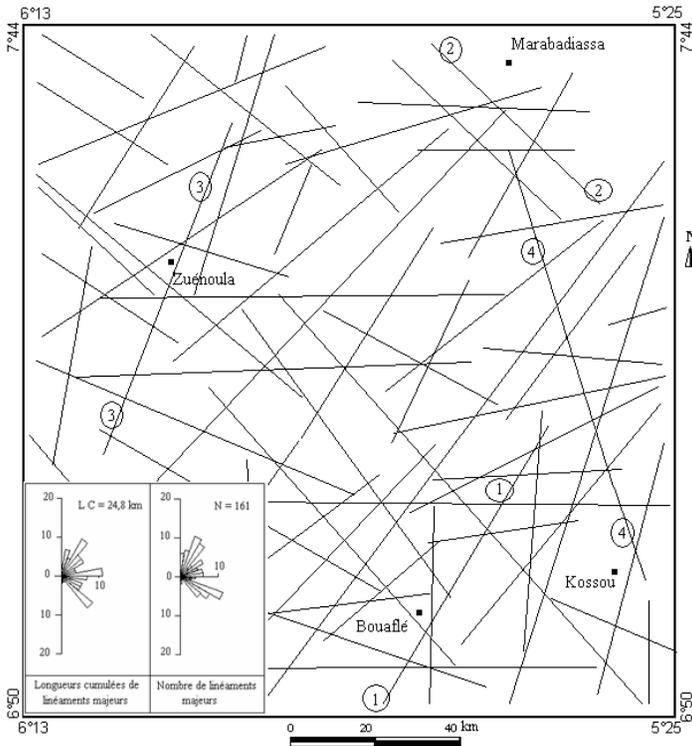


Figure 5 : Carte des linéaments majeurs de Kossou-Bouaflé, établie à partir des images HRV-XS de SPOT

Cette carte est validée par celle des accidents majeurs identifiés par Biémi (1992) dans la haute Marahoué (Figure 6).

Les principaux accidents, identifiés par Biémi (1992) sont, pour la plupart, reconnus sur l'image satellitaire. C'est le cas, par exemple, des failles de Bouaflé NE-SW (1) et de Marhana NW-SE (2). Cependant, il existe d'autres failles très importantes telles que la faille de Zuénoula NNE-SSW (3) et la faille de Kossou NNW-SSE (4). Les rosaces du nombre de linéaments majeurs et des mégafractures sont dominées par les directions suivantes : NE-SW matérialisée ici par le N 20-40 (21%) et NW-SE matérialisée par le N 110-130 (21%) sur la rosace du nombre de linéaments majeurs. Sur celle des mégafractures, il s'agit des directions N-S matérialisée par le N 0-10 (29%) et le N 170-180 (11%), NE-SW indiquée ici par le N 20-30 (12%) et NW-SE désignée par le N 100-120 (26%). Les rosaces des longueurs cumulées sont aussi dominées par les mêmes

directions N-S, NE-SW et NW-SE. Celle des mégafractures accentue le N 0-10 (10%) pour la direction N-S, le N 20-30 (18%) et le N 40-50 (23%) pour la direction NE-SW, enfin le N 100-120 (29%) pour la direction NW-SE. Quant à celle des linéaments majeurs, elle est marquée par les orientations N 30-40 (11%), N 80-90 (11%) pour la direction NE-SW et l'orientation N 130-140 (11%) pour la direction NW-SE.

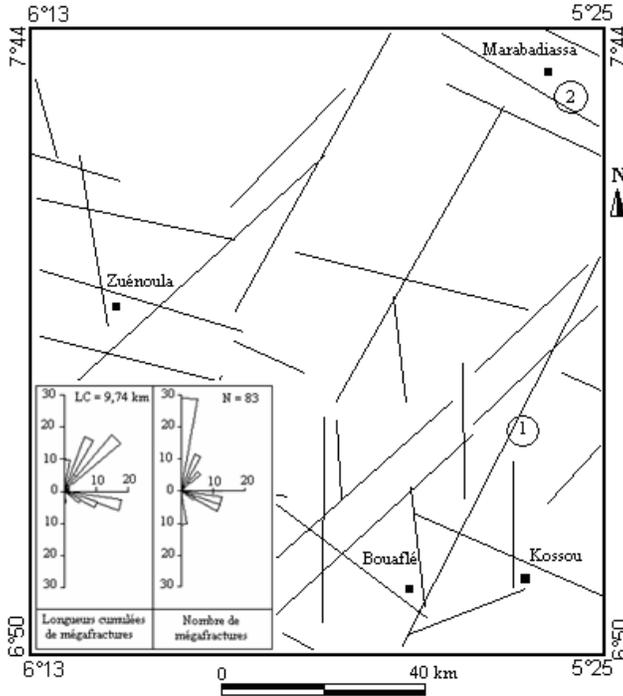


Figure 6 : Carte des accidents majeurs de la Haute Marahoué (Biémi, 1992)

Il ressort de ce qui précède que les fractures de la région de Kossou-Bouaflé sont orientées préférentiellement dans les directions N-S, NE-SW et NW-SE. Il est important de souligner que la direction NE-SW est aussi celle de l'axe Kossou-Bouaflé.

Couplage du réseau hydrographique à la carte linéamentaire

La figure 7 montre qu'il y a un lien entre le réseau hydrographique et les mégafractures de la région de Kossou-Bouaflé. À l'analyse de cette figure, nous constatons qu'il existe une interconnexion entre les différentes fractures. La

Marahoué et le Bandama blanc coulent dans deux faisceaux d'accidents parallèles NW-SE dont le point de croisement correspond à la confluence des deux cours d'eau. Il y a, par ailleurs, la direction NE-SW qui apparaît très bien et aussi des couloirs N-S, au Sud de la carte.

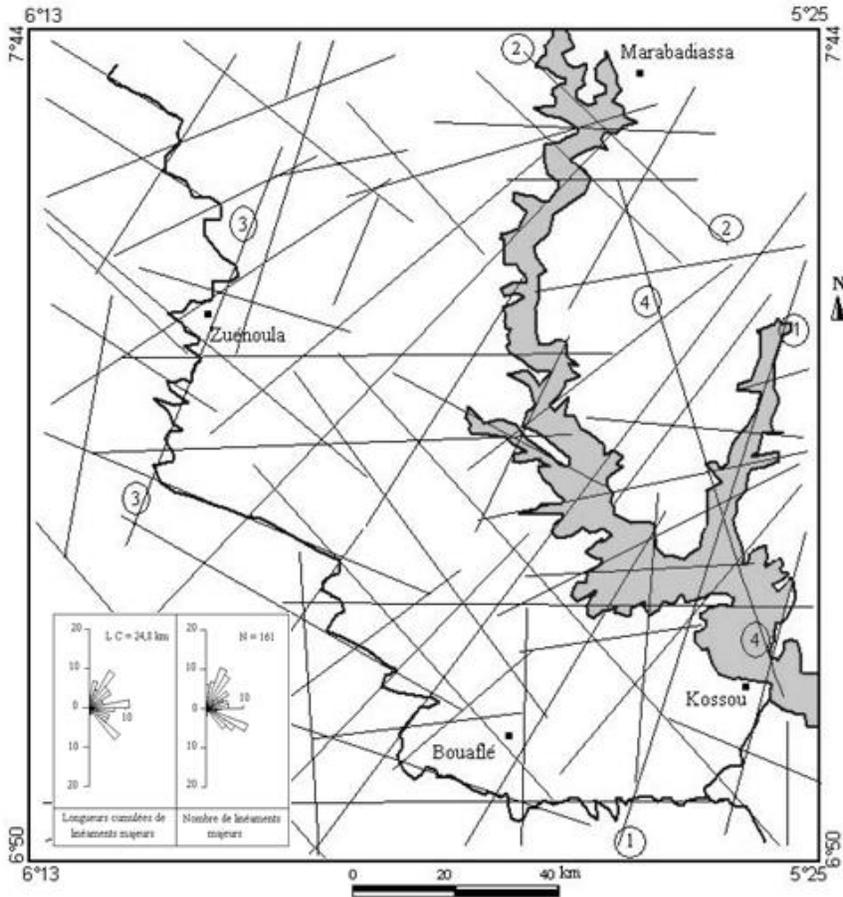


Figure 7 : Relation entre réseau hydrographique et accidents majeurs de la région Kossou-Bouaflé relevés en imagerie satellitaire SPOT (1 : faille de Bouaflé ; 2 : faille de Marahana ; 3 : faille de Zuénoula ; 4 : faille de Kossou)

DISCUSSION

Le bilan hydrologique du bassin versant du Haut Bandama a montré des résultats conformes à ceux obtenus par des études antérieures menées par Biémi (1992) dans le bassin versant de la Haute Marahoué. En effet, la lame totale d'eau ruisselée sur le bassin du Haut Bandama (164 mm) au cours de la période 1981-2000 est du même ordre de grandeur que celle trouvée par Biémi (1992), à la station de Séguéla (152 mm), dans le bassin versant de la haute Marahoué au cours de la période 1981-1990. La pointe de l'hydrogramme se situe en septembre, mois qui correspond également au pic de la seconde saison des pluies ; le débit est en phase avec la pluie. En effet, après la longue saison sèche de 4 mois (novembre à février), la pluie efficace de la première saison des pluies (mars-juin) est absorbée par le sol (régénérescence et croissance végétale, saturation du sol). Au cours de la petite saison sèche (juillet à mi-août), le sol sous-saturé est humecté et humidifié. À la seconde saison des pluies (mi-août à octobre), le sol étant saturé, l'excédent de pluie entraîne le ruissellement d'un important volume d'eau vers les cours d'eau.

Il ressort de ce qui précède que les débits des cours d'eau varient avec les régimes des précipitations avec un certain retard. Ce retard peut être imputé au phénomène d'infiltration. En effet, la couche altérée non-saturée est susceptible d'immobiliser une fraction de la pluie efficace pour combler son déficit d'humidité (Engalenc, 1980-1981, *in* Lasm, 2000). La quantité totale d'eau infiltrée sur l'ensemble du bassin versant est de $1,87 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. Le volume d'eau infiltrée sur le bassin versant du Bandama blanc ($1,1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$) est supérieur à celui du bassin versant de la Marahoué ($0,78 \cdot 10^9 \text{ m}^3$). Ces résultats sont fortement influencés par les barrages qu'on rencontre sur le bassin versant. Les aménagements hydrauliques (construction du barrage hydro-électriques de Kossou) et hydro-agricoles (construction d'environ 250 barrages pour l'irrigation) ont encore des impacts importants sur le régime normal d'écoulement de surface.

L'évolution du débit d'amont en aval tant sur le Bandama blanc que la Marahoué est conforme à celle révélée par Biémi et Loroux (2000). Cette étude fait ressortir en effet, une importante perte d'eau évaluée à environ 1 milliard de m^3 d'eau sur le Bandama blanc, de Marabadiassa à Kossou et un apport d'eau évaluée à environ 500 millions de m^3 sur la Marahoué, de Zuénoula à Bouaflé. Cela pourrait s'expliquer par le fait que dans cette région les phénomènes d'évapotranspiration et d'infiltration sont très accentués. De surcroît, le barrage hydroélectrique de Kossou régule le débit du Bandama blanc à ce niveau.

Le Bandama blanc et la Marahoué coulent dans des fractures affectant les formations granitiques et schisteuses (Tagini, 1971) ; ce qui donne une assez bonne similitude entre le réseau hydrographique et les accidents majeurs. Dans les régions de socle fracturé, la géométrie du réseau hydrographique est, dans une certaine mesure, conditionnée par le réseau de fractures (Lasm et Razack, 2001). En effet, les grands cours d'eau de Côte d'Ivoire tel que le Bandama sont logés dans les mégafractures (Biémi, 1992). Les accidents déjà identifiés par Biémi (1992) comparés à ceux issus du traitement des images satellitaires font ressortir le réseau de fractures responsables de l'écoulement souterrain dans la région de Kossou-Bouaflé. Ainsi, il existe une bonne concordance entre les directions tectoniques majeures relevées sur les images satellitaires, les cartes photogéologiques et le comportement du réseau hydrographique au sol. Ces résultats sont conformes à l'état des connaissances acquises en Côte d'Ivoire et d'une manière générale en Afrique de l'Ouest, sur le rôle joué par les accidents dans le guidage des cours d'eau (Biémi, 1992 ; Jourda et al., 2006a ; Youanta et al, 2008 ; Koïta et al., 2010 ; N'go et al, 2010 ; Sorokoby et al., 2010).

CONCLUSION

D'amont en aval, le débit augmente lentement jusqu'à la station de Marabadiassa sur le Bandama blanc et celle de Zuénoula sur la Marahoué. Au moment où il chute brutalement de la station de Marabadiassa à celle de Kossou sur le Bandama blanc, il augmente aussi brutalement de la station de Zuénoula à celle de Bouaflé sur la Marahoué.

La carte linéamentaire obtenue à l'issue du traitement des images satellitaires SPOT HRV-XS comporte des fractures pluri-kilométriques. Le réseau de linéaments majeurs concorde parfaitement avec le réseau de fractures de la région de Kossou-Bouaflé. Les mégafractures de cette région sont interconnectées et orientées dans toutes les directions. Toutefois, elles ont deux directions (NW-SE et NE-SW) dominantes. Il existe une bonne concordance entre les directions tectoniques majeures relevées sur les images satellitaires et le comportement du réseau hydrographique au sol.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BIEMI, J., 1992. Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens 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, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 493 p.
- BIEMI J., DOUMOUYA I., SORO N., JOURDA J. P., GWYN H. et DESLANDE S. 1995. Influence des fractures sur la productivité des forages dans le bassin versant de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire) : Apport de la télédétection et d'un système d'information à référence spatiale. Annales de l'Université d'Abidjan, série C, Sciences et Techniques, volume B, Sciences Naturelles et Biologiques, tome XXVI-B, 17p.
- BIEMI J. et LOROUX BI F. E., 2000. Impact des grands projets de développement sur l'environnement en Côte d'Ivoire. Etude d'impact environnementale approfondie. Rapport de recherche JICA-Haut Commissariat à l'Hydraulique, n°5, Abidjan, 105 p.
- CALDER I. R., HALL R. L., BASTABLE H. G., GUNSTON H. M., SHELA O., CHIRMA A. et KAFUNDU R. 1995. The impact of land use change on water resources in sub-saharan Africa: a modelling study of Lake Malawi. Journal of Hydrology, Vol. 170, pp. 123-135.
- CAMUS H. 1972 a. Hydrologie du Bandama, Tome 1, « Le Bandama blanc ». Adiopodoumé : ORSTOM, 96 p.
- CAMUS H. 1972 b. Hydrologie du Bandama, Tome 2, « Les affluents du Bandama blanc ». Adiopodoumé : ORSTOM, 96 p.
- FOHRER N., HAVERKAMP S. et FREDE H.G. 2005. Assesment of the effects of land use patterns on hydrologic landsacape functions; development of sustainable land use concepts for low mountain range areas. Hydrological processes, Vol. 19, pp. 659-672.
- JOURDA J.P.R., DJAGOUA E.V., KOUAME K.F., SALEY M.B., GRONAYES C., ACHY J.J., BIEMI J., RAZACK M. (2006a). Identification et cartographie des unités lithologiques et des accidents structuraux majeurs du département de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire) : apport de l'imagerie ETM+ de Landsat. Télédétection, Vol. 6, n°2, 123-142.
- KOITA M., JOURDE H., RUELLAND D., KOFFI K., PISTRE S., SAVANE I. (2010). Cartographie des accidents régionaux et identification de leur rôle dans l'hydrodynamique souterraine en zone de socle. Cas de la région de Dimbokro-Bongouanou (Côte d'Ivoire). Journal des Sciences Hydrologiques, Vol. 55, n°5, 805-820.
- KOUAME K. F. 1999. Hydrogéologie des aquifères discontinus de la région sémi-montagneuse de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire). Apport des données des images satellitales et des méthodes statistique et fractale à l'élaboration d'un système

- d'information hydrogéologiques à référence spatiale. Thèse 3e cycle, Université de Cocody, 196 p.
- LASM T. 2000. Hydrogéologie des réservoirs de socle : Analyses statistique et géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrodynamiques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (domaine archéen). Thèse de doctorat, Université de Poitiers, 274 p.
- LASM T. et RAZACK M. 2001. Lois d'échelle dans la fracturation de roches dures cristallines et dans le réseau hydrographique associé. *Compte Rendu Académique des Sciences Paris, Sciences de la Terre et des Planètes*, n°333, pp. 225-232.
- N'GO Y.A., LASM T., KOITA M., SAVANE I. (2010). Extraction par télédétection des réseaux de fractures majeures du socle précambrien de la région de Dimbokro (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). *Télédétection*, Vol. 9, n°1, 33-42.
- SOROKOBY V.M., SALEY M.B., KOUAME K.F., DJAGOYA M.E.V., BERNIER M., AFFIAN K., BIEMI J. (2010). Utilisation des images Landsat ETM+ et du SIRS pour la cartographie linéamentaire et thématique de Soubré-Meagui (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire): contribution à la gestion des ressources en eau souterraine. *Télédétection*, Vol. 9, n°3-4, 209-223.
- TAGINI B. 1971. Esquisse structurale de la Côte d'Ivoire. Essai de géotectonique régionale. Thèse de Doctorat, Université de Lausanne, SODEMI, Abidjan-Côte d'Ivoire, 302 p.
- YAO K. A. 2002. Évaluation des ressources en eau du degré carré de Bouaké. Mémoire de DEA, Université de Cocody, 69 p.
- YOUANTA M., LASM T., JOURDA J.P., KOUAME K.F., RAZACK M. (2008). Cartographie des accidents géologiques par imagerie satellitaire Landsat-7 ETM+ et analyse des réseaux de fractures du socle précambrien de la région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). *Télédétection*, Vol.8, n°2, 119-135.