

DYNAMISME ET MATURITE DES CHENAUX FLUVIAUX DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

AKA FERDIN KOUAMÉ, AMA VALÉRIE WOGNIN, DÉSIRÉ SOSTHÈNE ATTO, SYLVAIN MONDE

-Université Félix Houphouët Boigny, Unité de Formation et de Recherches des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Département de Géosciences Marines

* **Correspondance**, courriel : ferdinaka@gmail.com

RÉSUMÉ

Le dynamisme s'appuie sur le style fluvial qui est la manifestation spatiale du fonctionnement hydro-géomorphologique. Cet article se propose de déterminer les paramètres morphométriques devant caractériser le style fluvial. La démarche méthodologique consiste en à la détermination de quatre paramètres morphométriques et de la topographie du fond. Les principaux résultats de la recherche montrent que les tronçons décrivent des chenaux à méandres et parfois sinueux. Ils sont très actifs dans l'ensemble et leur activité est plus prononcée dans la partie concave du chenal où on note des importantes profondeurs. Les chenaux ont une forme en « V » et traduisent des phénomènes d'érosion.

ABSTRACT

The dynamism is based on river style that is the spatial manifestation of hydro- geomorphological operation. This article proposes to determine morphometrics parameters that characterize the river style. The methodology involves the determination of four morphometrics parameters and bottom topography. The main results of the research show that sections describe channels meandering and sometimes tortuous. They are very active in all and their activity is more pronounced in the concave part of the channel where there are significant depths. The channels have a shape "V" and result of erosion.

INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire située en Afrique de l'Ouest dispose d'un vaste réseau hydrographique constitué de grands fleuves. Ce sont d'Est en Ouest le Comoé, le Bandama, le Sassandra et le Cavally. Le Comoé prend sa source au Burkina Faso et draine 78 000 Km² en Côte d'Ivoire sur une longueur de 1160 Km. Le Bandama formé du Bandama blanc, Bandama rouge (Marahoué) et du N'Zi a une longueur totale de 1050 km et occupe un bassin de 97 000 Km². Le Sassandra prend sa source en Guinée et draine 75 000 Km² en Côte d'Ivoire sur une longueur de 650 Km. Le Cavally prend sa source également en Guinée au Nord du mont Nimba. Son bassin versant a une superficie de 28 800 Km² (Girard, 1970).

Son utilisation impose une meilleure connaissance de son fonctionnement hydro-géomorphologique. Il existe cependant la construction des infrastructures (barrages hydroélectriques, ponts, etc) qui sous entend une bonne connaissance du style fluvial et la bathymétrie de ces chenaux. De manière générale, les phénomènes naturels comme la géologie et l'hydrologie façonnent la topographie des chenaux fluviaux. Ce présent article vient justement préciser le dynamisme des chenaux fluviaux à travers les paramètres morphométriques à une échelle plus grande. La bathymétrie fournit plus d'informations sur la topographie du fond dictée par le style fluvial qui est la manifestation spatiale du fonctionnement hydro-géomorphologique d'un cours d'eau (Toroimac, 2007). Une étude technique pour la construction de ponts a été menée sur des chenaux fluviaux de Côte d'Ivoire. Elle requiert la connaissance de ces paramètres morphométriques (indice de sinuosité, longueur d'onde, amplitude et rayon de courbure) et de la bathymétrie de ces chenaux fluviaux. Ce sont :

- le chenal fluvial de Yakassé-Bettié sur le Comoé ;
- le chenal fluvial de Bouaflé sur la Marahoué (Bandama) ;
- les chenaux fluviaux de Danané et Saerbly sur le Cavally.

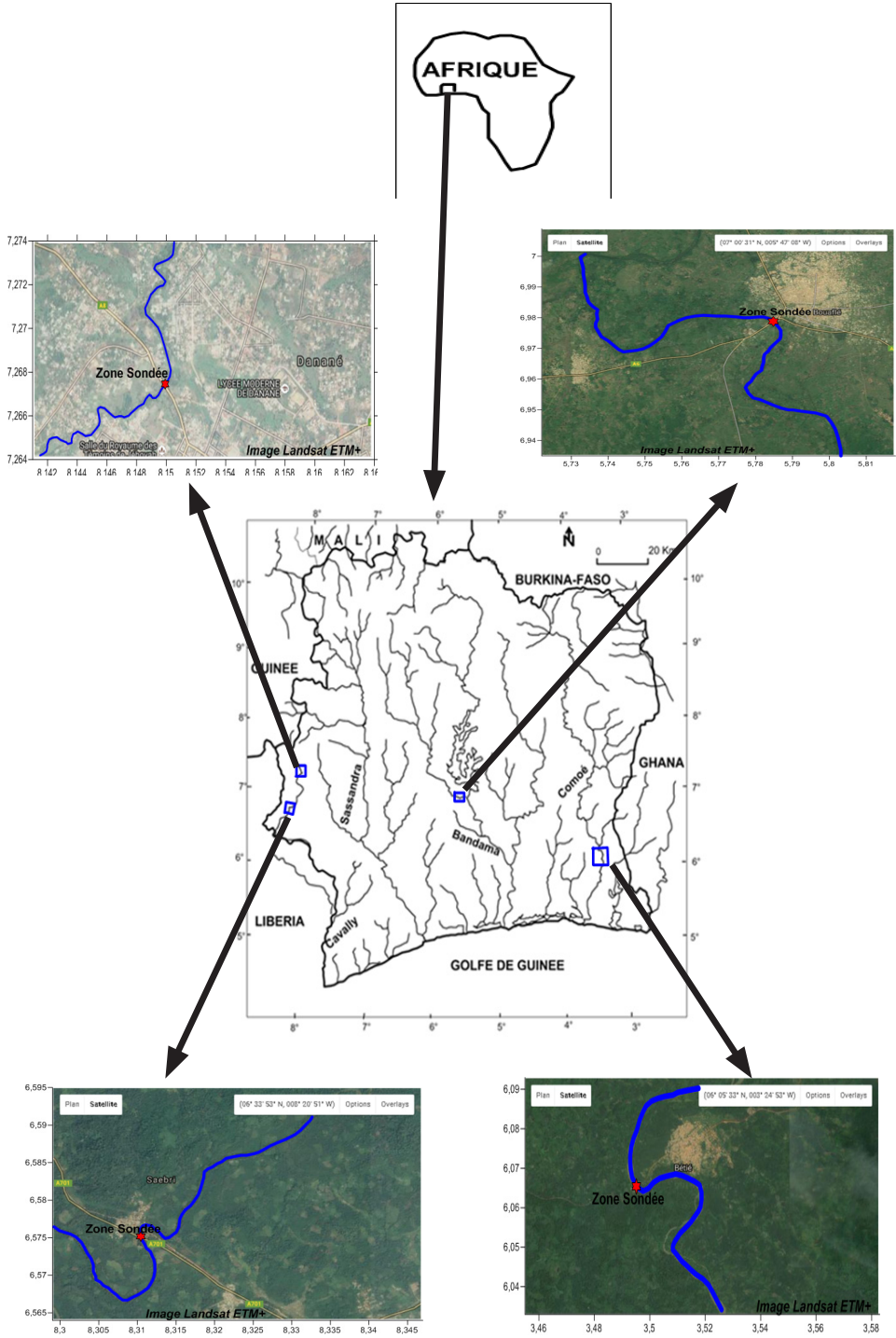


Figure 1 : Quelques tronçons du réseau hydrographique de Côte d'Ivoire

MATERIEL ET METHODES

Les images Landsat ETM+ et un échosondeur de type Lowrance modèle Elite-4 ont été utilisés sur quatre (04) sites du réseau hydrographique de Côte d'Ivoire.

Les méthodes de cette étude portent sur les paramètres morphométriques des images de Landsat ETM+ et sur la bathymétrie. L'étude morphométrique d'un tronçon consiste à décrire des caractéristiques morphométriques en plan. Ce sont des indicateurs hydromorphologiques du fonctionnement des fleuves. Nous utiliserons quatre caractéristiques (indice de sinuosité, longueur d'onde, amplitude et rayon de courbure) pour caractériser le dynamisme fluvial. Ces caractéristiques sont obtenues en suivant le tracé en plan sur des images de Landsat ETM+. L'indice de sinuosité (IS) est obtenu par le rapport de longueur.

-méthode du rapport de longueur : Le principe est de mesurer la longueur développée du cours d'eau en suivant l'axe du lit mineur, puis de la diviser par la longueur entre les deux mêmes points en suivant l'axe général d'orientation du fleuve. Malavoi et Bravard (2010) proposent quatre classes de sinuosité (SI). Ce sont :

- SI < 1,05 : le cours d'eau est **rectiligne** (lit moyen des fleuves en tresses et chenalisés) ;
- 1,05 < SI < 1,25 : le cours d'eau est **sinueux** ;
- 1,25 < SI < 1,5 : le cours d'eau est **très sinueux** ;
- SI > 1,5 : le cours d'eau est **méandrique**.

La longueur d'onde des sinuosités (λ) se mesure entre deux sommets de sinuosités consécutives de même phase (Uwe, 2012). La mesure est donnée en valeur relative, en la divisant par la largeur moyenne à pleins bords (W). Les valeurs relatives faibles sont associées à des cours d'eau très méandriques et à faible activité hydrodynamique sur les berges, par contre ces cours d'eau ont une forte activité d'érosion sur le fond du chenal (Bravard, 2000). Les valeurs fortes (>15) s'observent sur les cours d'eau sinueux, considérés comme plus actifs sur les berges d'un point de vue hydrodynamique.

L'amplitude se mesure entre deux sommets de sinuosités de phase opposée. On calcule la moyenne sur l'ensemble du tronçon. Les amplitudes relatives des fleuves s'échelonnent entre 5 et 20 w, avec une valeur médiane autour de 10 – 12 w. Elle est faible sur les fleuves peu sinueux et actifs. Les fortes valeurs s'observent sur les fleuves méandriques peu actifs sur les berges.

Le Rayon de Courbure (R_c) est l'indicateur de la « maturité » d'un méandre et de sa dynamique probable d'érosion. Le rapport R_c/W est compris entre 2 et 3 pour les forts taux d'érosion (Hickin et Nanson, 1984). Cette érosion est maximale au niveau des berges concaves. Lorsque $SI < 1.5$ et le rapport R_c/W est compris entre 2 et 3, la dynamique latérale des berges est plutôt active caractérisée par une érosion maximale des sinuosités. La puissance du cours d'eau engendre une évolution en plan traduite par la translation des méandres. Son action sur la topographie du fond est faible provoquant de ce fait de faibles profondeurs. Par contre, quant $SI > 1.5$ et le rapport R_c/W compris entre 2 et 3, l'action du cours d'eau dans les méandres est prépondérante sur la topographie du fond. Les profondeurs sont importantes dans ce cas. Le rayon de courbure se mesure en faisant passer un cercle par les deux points d'inflexion d'une sinuosité complète ou en ajustant l'arc du cercle au plus près de la forme générale de la sinuosité.

S'agissant de la bathymétrie, le matériel nécessaire pour effectuer un levé comprend un échosondeur Elite 4X, un GPS pour relever les coordonnées, une embarcation pour le déplacement sur le plan d'eau. La réalisation d'un levé bathymétrique se fait selon des radiales N-S et E-W sur le plan d'eau dans le but de déterminer la morphologie du fond du chenal. Les données issues des levés bathymétriques subissent un traitement. Il commence par la correction des données en ajoutant la profondeur d'immersion du transducteur suivi du rattachement des sondes à l'altitude de référence locale. Le logiciel Surfer V11 utilise les données traitées pour réaliser des cartes bathymétriques. A partir de données reçues, une méthode d'interpolation est indiquée en tenant compte du nombre de données et de leur répartition sur la zone étudiée. Parmi plusieurs méthodes d'interpolation, la méthode de « krigeage » semble la mieux adaptée pour l'interpolation. Elle produit des cartes visuellement attrayantes à partir de points irrégulièrement espacés par un maillage flexible en spécifiant un variogramme approprié.

RESULTATS

Caractérisation morphométrique et morphobathymétrique du chenal fluvial de Yakassé-Bettié

Analyse de paramètres morphométriques sur le tronçon Yakassé - Bettié (Comoé)

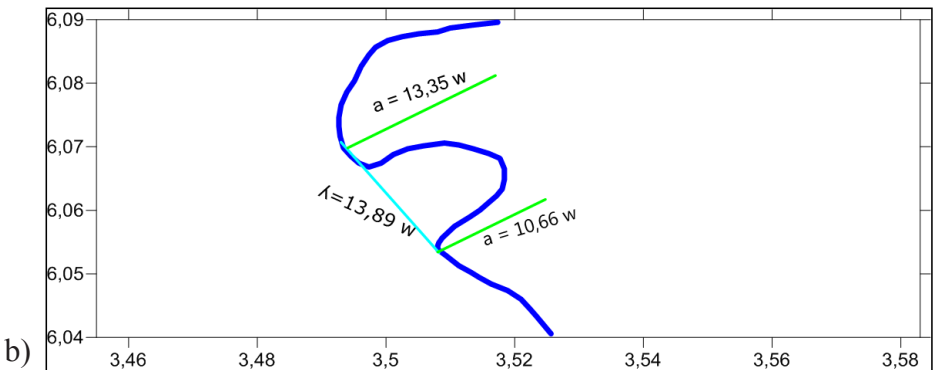
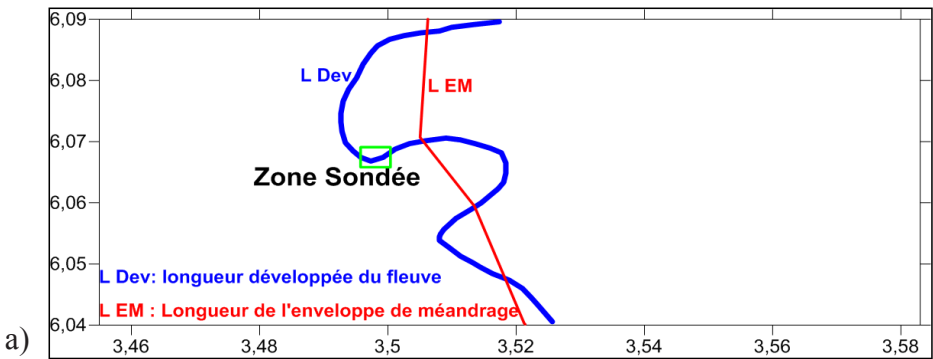
Indice de sinuosité : La longueur développée par ce tronçon est 4,23 km et la longueur de l'enveloppe de méandrage est de 2,45 km. L'indice de sinuosité qui en résulte indique 2,1 (Figure 2a) imposant un caractère méandrique du tronçon étudié.

Longueur d'onde : La largeur moyenne à pleins bords est de 134,5 m. La longueur d'onde mesurée entre deux sinuosités consécutives de même nature est 13,89 w (Figure 2b). Elle est comprise entre les valeurs observées dans la nature qui s'établissent entre 8 et 15w. Cette valeur indique que le chenal a une faible activité hydrodynamique sur les berges mais compensée par l'érosion du fond du chenal.

Amplitude des sinuosités : L'amplitude de ce cours d'eau est en moyenne 12,5w et traduit que le fleuve est méandrique et moins actif sur les berges (figure 2b).

Rayon de courbure : Le rayon de courbure varie entre 2 et 2,7 w (Figure 2c). Le chenal présente un méandre mature.

Pour ce tronçon, SI est supérieur à 1,5 et l'indice du rayon de courbure varie entre 2 et 3 par conséquent l'érosion latérale sur les berges est moindre. Le cours d'eau a tendance à érodé le fond du chenal provoquant de profondeurs importantes.



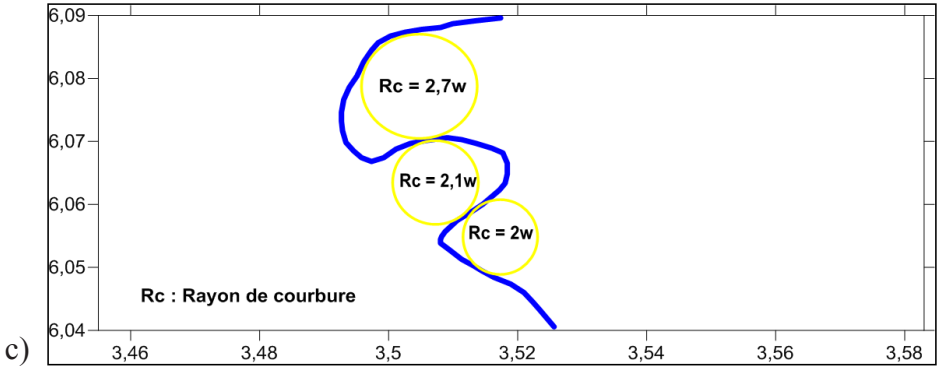


Figure 2 : Paramètres morphométriques du chenal fluvial Yakassé – Bettié
Morphobathymétrie du chenal fluvial Yakassé – Bettié

Le tronçon du chenal du fleuve Comoé (Yakassé – Bettié) est orienté NNW-SSE. L'altitude de référence du plan fluvial relevée au GPS est 98 m (Figure 3). Le chenal a une profondeur maximale de 12 m et une profondeur moyenne de 5 m. Les profondeurs importantes se situent dans la partie concave du fleuve présentant la sinuosité. Sur la carte bathymétrique, deux profils mettent en évidence la typologie du chenal. Ces profils indiquent un chenal en forme « V » avec leur axe de symétrie se localisant du côté de la rive Yakassé. Le courant est plus fort sur le fond du fleuve. Le rapport largeur/profondeur pour ce chenal indique 11,2. Ce faible rapport (<20) montre que l'érosion est dominante sur le fond du chenal que sur les berges. Le modèle numérique de terrain présente des aspects géomorphologiques caractérisant la morphologie de la portion du chenal du Comoé. Ce sont des dépressions de 12 m et des hauts fonds se situant à 4 m de la surface fluviale (Figure 4). Si les dépressions sont le fait de l'accentuation du courant fluvial, les hauts fonds traduisent des conditions hydrodynamiques calmes ou des formations qui résistent à l'érosion (Adopo, 2009).

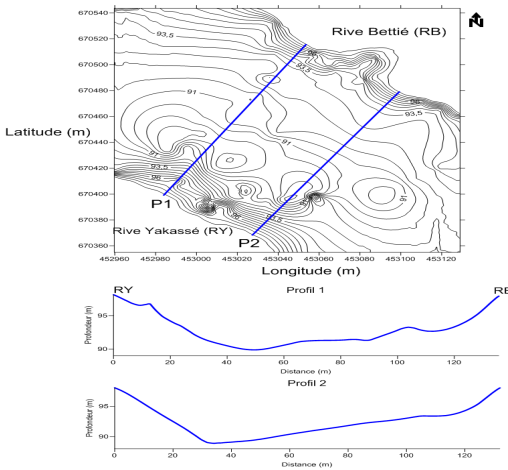


Figure 3 : Carte bathymétrique et profils du chenal fluvial Yakassé - Bettié

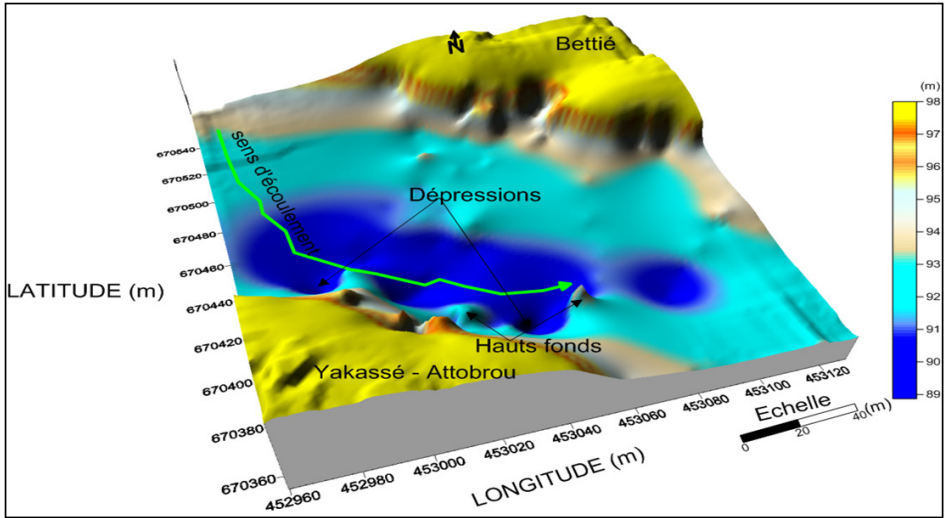


Figure 4 : Modèle Numérique de Terrain (MNT) du chenal fluvial de Yakassé – Bettié

Caractérisation des paramètres morphométriques et morphobathymétrique du chenal fluvial de Bouaflé

Analyse des paramètres morphométriques du chenal fluvial sur le Bandama

Sur ce tronçon, deux paramètres morphométriques ont été identifiés pour expliquer son fonctionnement et son dynamisme. Ce sont l'indice de sinuosité et le rayon de courbure. Les deux autres paramètres n'ont pu être calculés à cause de l'allure du tronçon.

Indice de sinuosité (IS) : la longueur développée mesure 5,63 km et la longueur de l'enveloppe de méandrage est de 2,45 km. Le rapport de distance indique 2,2 comme indice de sinuosité, ce qui confère à l'extrait du cours d'eau une forme de méandre (Figure 5a).

Rayon de courbure (Rc) : la largeur moyenne sur le tronçon du chenal de la Marahoué est estimée à 87,8 m. Le rayon de courbure qui en résulte vaut 10,4 (Figure 5b). Cette valeur est loin de celles comprises entre 2 et 3 où le taux d'érosion est fort. Cela montre l'immaturité du méandre et un faible impact du dynamisme du fleuve sur la topographie du fond. Le lit du fleuve est constitué de formations rocheuses freinant son érosion.

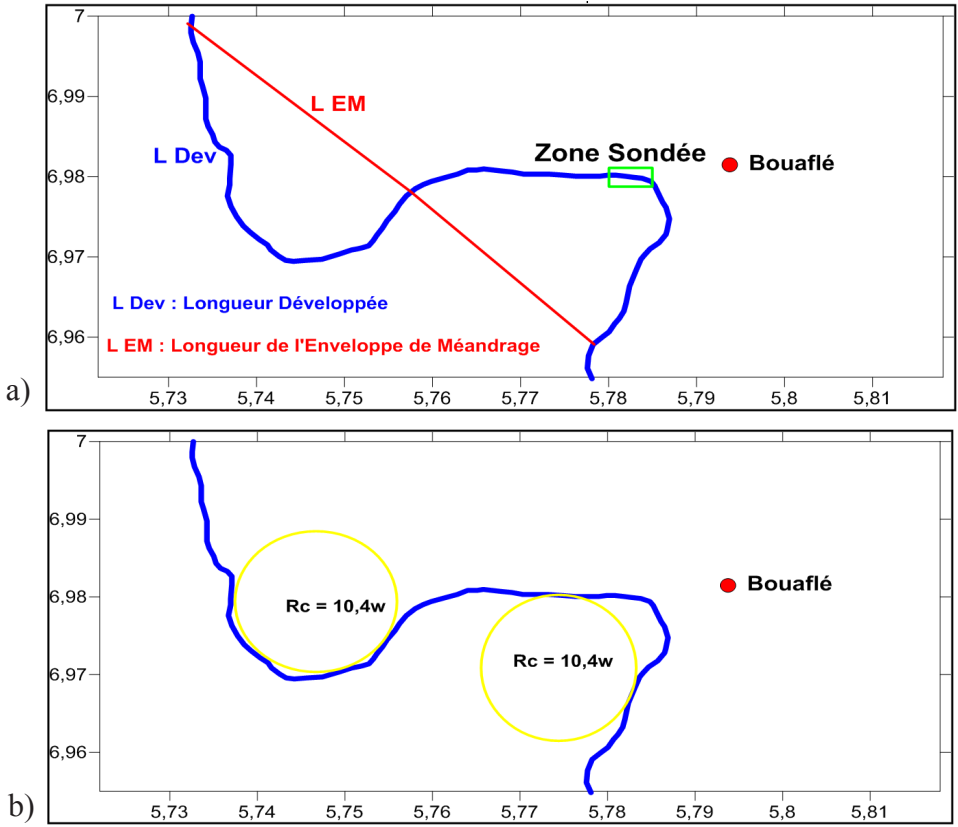


Figure 5 : Paramètres morphométriques du chenal de Bouaflé (Bandama)

Morphobathymétrie du chenal de Bouaflé

Le tronçon du chenal de Bouaflé a une direction NW-SE avec l'altitude à 166 m (Figure 6).

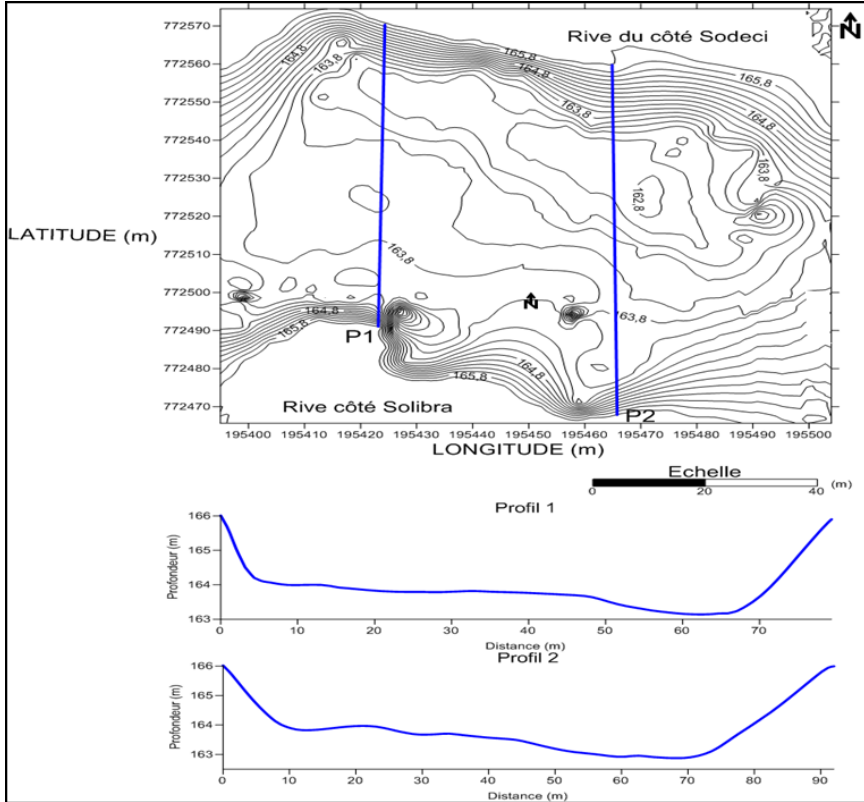


Figure 6 : Carte bathymétrique et profils du chenal fluvial de Bouaflé

La profondeur minimale relevée sur la rive Solibra est de 1,5 m ; la profondeur maximale dans la partie concave indique 4,5 m et la profondeur moyenne 2,4 m. Ainsi, les profondeurs importantes se situent dans la partie concave du chenal et les faibles profondeurs sur la partie convexe. Les profils indiquent un chenal de forme « intermédiaire » (Figure 6). Dans ce chenal, les agents d'accumulation et les agents d'érosion ne s'équilibrent pas (Amani, 2012). L'érosion s'accroît dans la partie concave pour modifier par la suite la forme du méandre. La configuration de ce chenal présente des aspects géomorphologiques. Ce sont les dépressions se situant dans la zone concave traduisent une érosion et le dépôt se faisant dans la partie convexe du chenal avec la présence des hauts fonds (Figure 7).

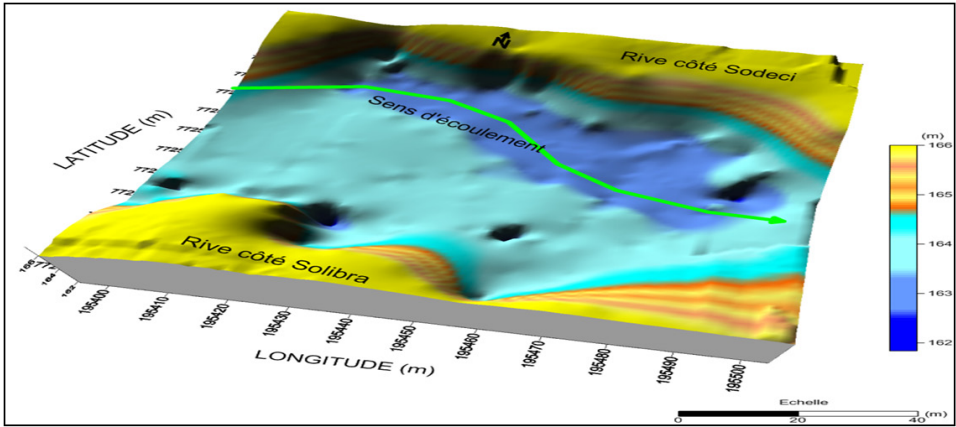


Figure 7: MNT du chenal fluvial sur la Marahoué

Caractérisation morphométrique et morphobathymétrique du chenal fluvial de Danané

Analyse des paramètres morphométriques du chenal de Danané

Indice de sinuosité : la longueur développée du chenal (Figure 8a) est de 1,6 km et la longueur de l'enveloppe de méandrage vaut 1,1 km. Le rapport de ces longueurs représente l'indice de sinuosité qui est de 1,4. Cet indice de sinuosité caractérise un tronçon très sinueux.

Longueur d'onde : La distance séparant les sinuosités consécutives (Figure 8b) de même nature est de 310 m soit $11,06 w$ indiquant la longueur d'onde. Elle met en évidence le caractère sinueux et actif du tronçon étudié.

Amplitude : La moyenne des amplitudes mesurées indique $5,2 w$; elle est faible et montre que le fleuve est sinueux et actif. L'érosion se fait sur les berges (Figure 8b).

Rayon de courbure : La largeur moyenne à pleins bords est de 28 m. L'indice du rayon de courbure Rc/W varie entre 0,9 et 3,3 (Figure 8c) avec une moyenne de 1,5. Cela démontre l'immaturation du tronçon qui favorise l'érosion du chenal dans les sinuosités pour donner plus tard des méandres. On notera de ce fait, de faibles profondeurs dans le chenal.

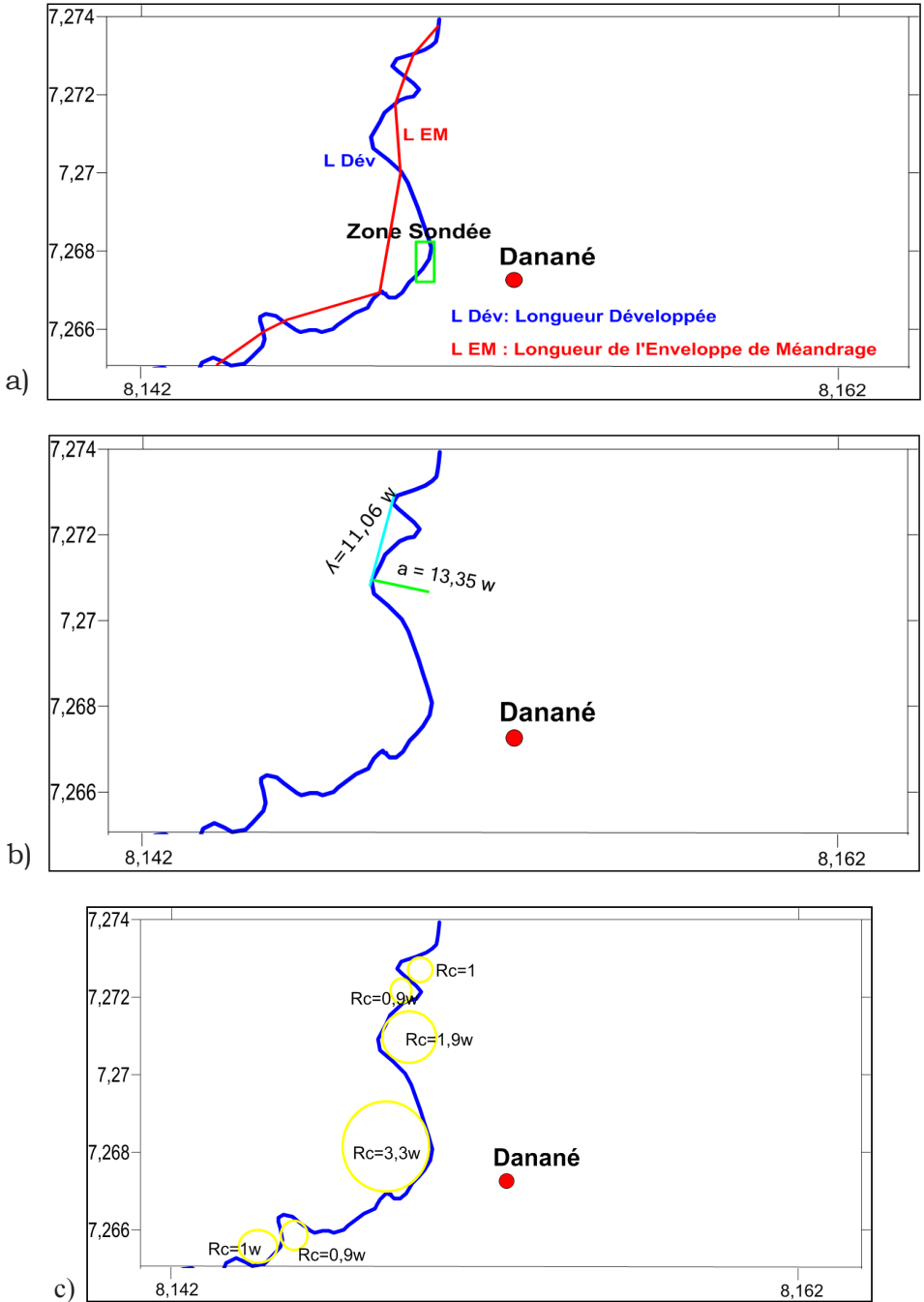


Figure 8 : Paramètres morphométriques du tronçon du chenal du Cavally à Danané

Morphobathymétrie du chenal de Danané

La portion du chenal sur le Cavally à Danané se situe à une altitude de 335,5 m (Figure 9). Elle affiche une profondeur maximale

de 4,7 m et une profondeur moyenne 2,4 m. Les profondeurs sont généralement faibles. L'érosion du fleuve s'accroît sur les flancs montrant par endroits un recul des berges. Ce chenal a une forme en « V » indiquée par deux profils marquant le phénomène d'érosion. On note, par ailleurs, des dépressions de 4,7 m de profondeur situées au niveau des points d'inflexion du chenal caractérisées par l'érosion du fleuve à ce niveau. Les hauts-fonds situés à 1,8 m de profondeur par rapport à la surface du plan d'eau s'observent dans la partie rectiligne du chenal (Figure 10).

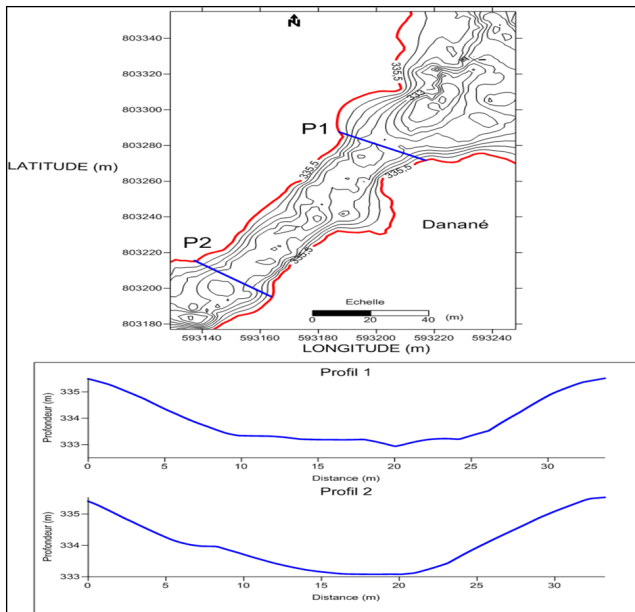


Figure 9: Carte bathymétrique et profils du chenal fluvial de Danané

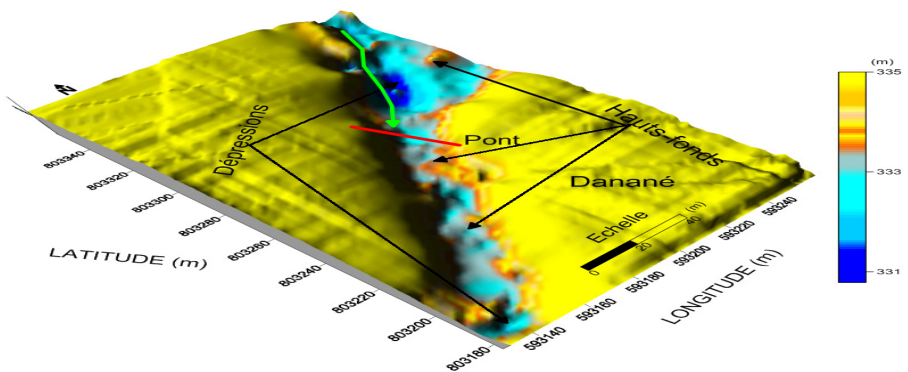


Figure 10: MNT du tronçon du chenal fluvial de Danané (Cavally)

Caractérisation morphométrique et morphobathymétrique du chenal fluvial de Saerbly

Analyse des paramètres morphométriques du chenal fluvial de Saerbly

Indice de sinuosité : la longueur développée de la portion est 2,7 km et la longueur de l'enveloppe de méandrage 1,7 km. Cet indice est de 1,6. On déduit que le tronçon de Saerbly est méandriforme (Figure 11a).

Longueur d'onde et amplitude : la largeur de pleins bords moyenne vaut 64 m. La longueur d'onde relative est $8,8 w$ et l'amplitude moyenne relative $6 w$. La faible valeur relative de la longueur d'onde traduit le caractère méandriforme du tronçon avec une faible activité hydrodynamique sur les berges. La forte activité hydrodynamique indiquée par l'amplitude sera marquée par l'érosion du fond du tronçon pour mettre en évidence de grandes profondeurs (Figure 11b).

Rayon de courbure : Les rayons de courbure relevés sur ce tronçon indiquent des valeurs comprises entre 1,6 et 4,1. La moyenne de ces rayons étant de 2,2 indique que le chenal est mature ; l'érosion se fera préférentiellement sur le fond du tronçon (Figure 11c).

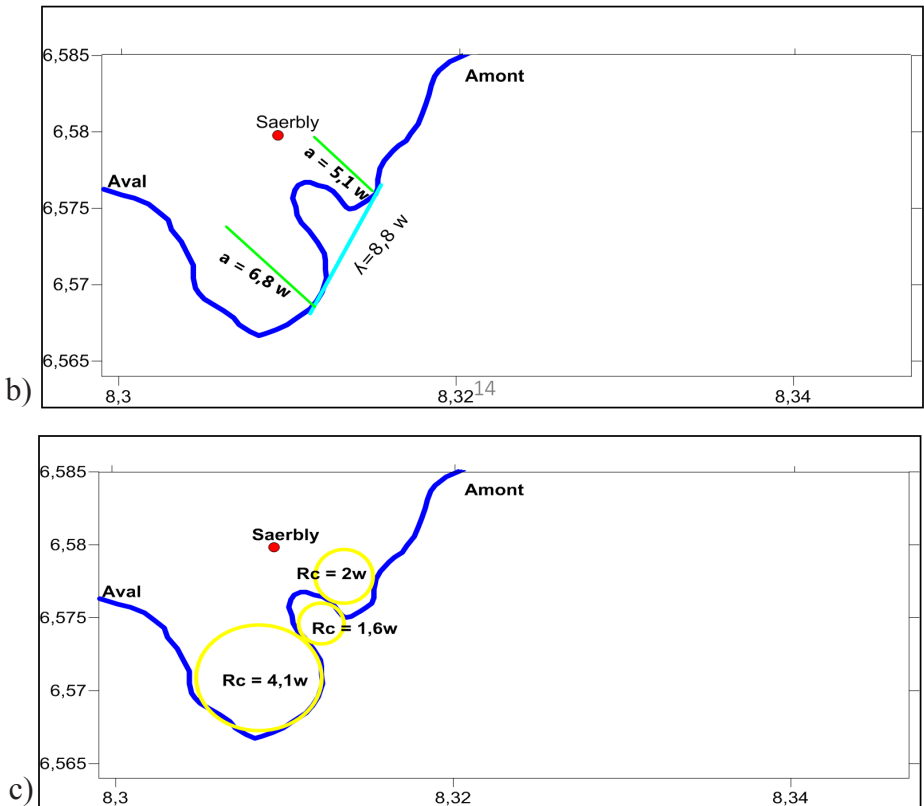


Figure 11: Paramètres morphométriques du tronçon de Saerbly

Bathymétrie du chenal de Saerbly

Le chenal fluvial de Saerbly présente une direction NW-SE (Figure 12). Son altitude au GPS indique 248 m. La profondeur maximale est 9,6 m et la profondeur moyenne 6,3 m. On enregistre de ce fait des profondeurs importantes. La maturité du chenal montre que l'érosion s'accroît préférentiellement sur le fond du chenal que sur les berges (Figure 13). La forme qui en résulte indique un chenal en « V » marqué par le processus d'érosion.

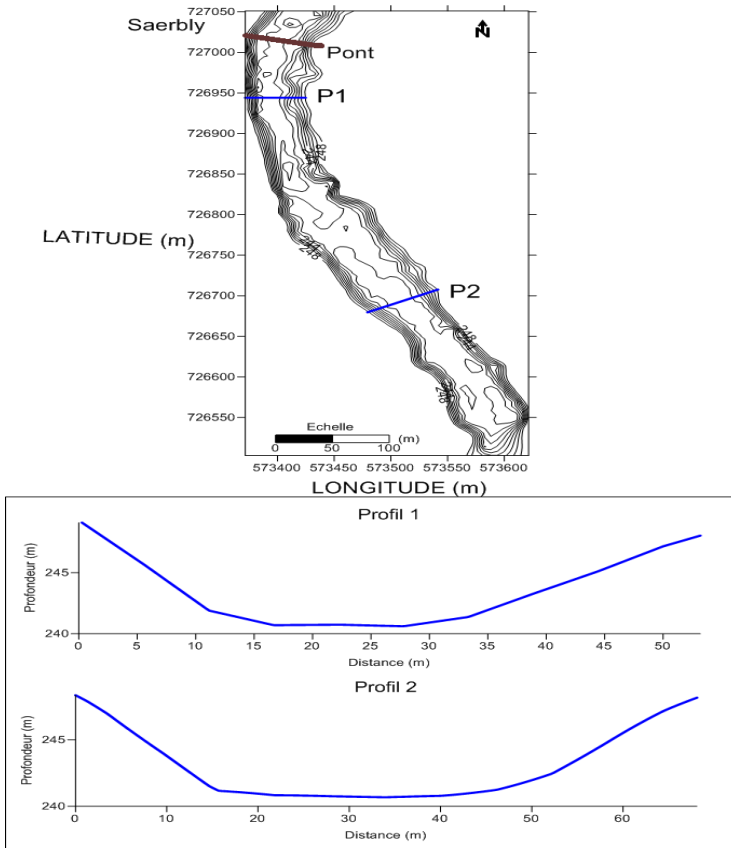


Figure 12: Carte bathymétrique et profils en forme « V » du chenal fluvial de Saerbly

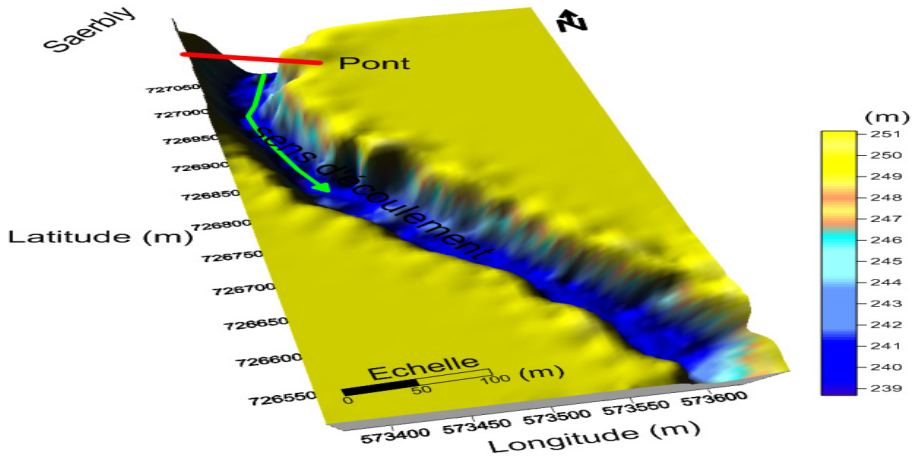


Figure 13: MNT du chenal fluvial de Saerbly

DISCUSSION

Les paramètres hydromorphologiques susceptibles de caractériser les chenaux fluviaux sont consignés dans le tableau 1. Il importe de préciser pour chaque paramètre, les valeurs indiquant le dynamisme du cours d'eau. Selon Malavoi *et al.*, (2010) la longueur d'onde varie pour les cours d'eau naturels entre 8 et 15 w. Elle est forte pour le cours d'eau sinueux et actif, indique une forte activité géodynamique marquée par l'érosion des berges.

Pour un cours d'eau naturel, l'amplitude se situe dans une gamme de 5 à 20 w. Le rayon de courbure est indicateur de la « maturité » d'un méandre et du dynamisme probable d'érosion. Il est compris entre 2 et 3 w.

Malavoi (2010) met en évidence le rapport largeur/profondeur (l/P) qui est indicateur du dynamisme actif. Lorsque l/P est inférieur à 20, le cours d'eau est profond et indique que l'érosion se fait préférentiellement sur le fond du chenal. Par contre, s'il est supérieur à 20, l'érosion latérale se produit sur les tronçons sinueux où le chenal est large et moins profond.

Tableau 1 : Caractéristiques morphométriques de quelques tronçons des chenaux fluviaux de Côte d'Ivoire

Tronçons	yakassé-Bettié	Bouaflé	Danané	Saerbly
paramètres morphométriques				
Indice de sinuosité	2,1	2,2	1,4	1,2
longueur d'onde	13,89 w	-	11,06 w	8,8 w
amplitude	12,5 w	-	5,2 w	6 w
rayon de courbure	2 - 2,7 w	10,4 w	1,5 w	2,2 w
largeur/profondeur	11,2	32,4	11,6	10,1

Malavoi (2010) affirme qu'en dehors de toute intervention anthropique, tout tracé naturel n'est jamais rectiligne. Sur les tronçons étudiés seuls ceux de Bouaflé et Saerbly présentent des formes sinueuses. Par contre ceux de Yakassé-Bettié et Danané présentent des formes de méandre. La longueur d'onde et l'amplitude des tronçons donnent des valeurs qui indiquent qu'en plus du caractère méandrique et sinueux, les chenaux sont actifs. Cette activité est soit marquée par l'érosion latérale des berges soit par l'érosion du fond.

S'agissant du rayon de courbure, il fournit des détails sur la maturité des cours d'eau. Selon (Hickin et Nanson, 1984) les cours d'eau matures ont leur rapport R_c/W compris entre 2 et 3. Sur les tronçons étudiés, seulement ceux de Yakassé-Bettié et Saerbly mettent en évidence des cours d'eau matures car R_c/W se situe entre 2 et 3. Dans ce cas, l'érosion se fait sur le fond du chenal.

Le rapport longueur/profondeur (l/p) est un indicateur du processus hydromorphologique. Les tronçons de Yakassé-Bettié, Danané et Saerbly ont leur rapport inférieur à 20 et présentent des chenaux profonds à part celui de Danané où par endroit on observe des dépressions. S'agissant du tronçon de Bouaflé l'érosion se fait latéralement sur les berges.

Les chenaux fluviaux étudiés sur le réseau hydrographique présentent dans l'ensemble une forme « V » décrite comme un phénomène d'érosion (Aka, 1991). Cette forme montre que l'action de l'eau est le facteur influençant la morphologie du fond des fleuves.

CONCLUSION

Le comportement hydromorphologique des chenaux fluviaux de Côte d'Ivoire a été déterminé sur la base de la connaissance de leur style fluvial et de la morphologie du fond. Il ressort que les différents résultats décrivent des chenaux à méandres et des chenaux sinueux. Ils mettent en évidence le caractère actif des fleuves qui s'accroît dans les parties concaves. Au niveau morphobathymétrique, les chenaux mettent en évidence une forme en « V » traduisant l'érosion des fonds par les cours d'eau.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- **ADOPO K.L. (2009)**. Caractérisation du fonctionnement hydro-sédimentaire d'un environnement estuarien en zone tropicale : cas de l'embouchure du fleuve Comoé à Grand-Bassam (sud-est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Cocody, 179p.
- 2- **AKA K. (1991)**. La sédimentation quaternaire sur la marge de Côte d'Ivoire. Essai de modélisation. Thèse Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université de Côte d'Ivoire, 320p.
- 3- **AMANI M. (2012)**. Essais de modélisation hydrodynamique de la circulation des masses d'eau et la dispersion saline dans un environnement côtier peu profond de la lagune Digboué (San-Pédro, Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, 200p.
- 4- **BRAVARD J-P., PETIT, F. (2000)**. Les cours d'eau, Dynamique du système fluvial. Armand Colin, Paris, 222 p., ISBN 2-200-25177-7.
- 5- **GIRARD G., SIRCOULON J., TOUCHBOEUF P. (1970)**. Aperçu sur les régions hydrologiques *In* : Le milieu naturel de Côte d'Ivoire. Mém. Orstom, n°50: pp 109-156.
- 6- **MALAVOI J., BRAVARD J.-P., (2010)**. Eléments d'hydromorphologie fluviale. ONEMA, (Collection : Comprendre pour agir), 228 p.
- 7- **TOROIMAC G.I. (2007)**. Détermination du style fluvial. Etude de cas : la rivière Prahova *Revista de geomorfologie* – vol. 9, 2007, pp. 87-94
- 8- **HICKIN E.J., NANSON G.C., (1984)**. Lateral Migrations of River Bends. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110: 11.
- 9- **UWE S. (2012)**. Etude hydromorphologique de petits cours d'eau de l'interfluve Loison-Othain (Lorraine Nord). Master, centre d'études géographiques de l'université de Lorraine, 29p.