

La production du maïs face aux aléas pluviométriques dans le Nord et Nord-ouest de la Côte d'Ivoire de 1950 à 2013

Pauline A. DIBI KANGAH¹, Jean-Dominique H. ANOH²

Résumé

Le Nord et Nord-ouest ivoiriens, à l'instar de toutes les régions de l'Afrique Occidentale, subissent une variabilité pluviométrique depuis plusieurs décennies. Cette situation menace la production agricole. L'objectif de cette étude est de montrer l'impact de la variation des pluies sur la production du maïs de 1950 à 2013 à travers l'analyse de la pluviométrie et la relation pluies-rendement du maïs dans le nord et nord-ouest de la Côte d'Ivoire. Pour ce faire, les méthodes des indices pluviométriques et de segmentation de Hubert ont permis d'identifier une baisse des quantités de pluies depuis 1950 dans cette partie de la Côte d'Ivoire. Cette diminution des pluies a été confrontée au rendement du maïs. Les résultats ne présentent pas un lien statistiquement significatif. Cependant, face à la perturbation avérée des aléas pluviométriques, des stratégies adaptatives sont recommandées pour atténuer les effets néfastes du dérèglement des pluies.

Mots-clés : *Zea mays* L., aléas pluviométriques, rendement du maïs, Nord et Nord-ouest ivoiriens

Rainfall challenges and corn production in the north and northwest regions of Côte d'Ivoire from 1950 to 2013

Abstract

Like in many parts of Africa, crop yield in the North and Northwestern regions of Côte d'Ivoire has been impacted by rainfall variability over the past decades. Based on a correlation analysis, this study aims to show the degree to which rainfall variability impacted corn yield from 1950 to 2013 in the North and Northwestern regions of Côte d'Ivoire. To achieve this, rainfall indices and Hubert segmentation analyses were used to identify a decreasing trend in rainfall since 1950. This drop of rainfall was then correlated with corn yield. The results showed that there is no clear link between rainfall and corn yield. Instead they reveal a variation dependent upon the size of the arable lands. However, given the disruption on corn productivity, strategies of adaptations are recommended to mitigate the adverse effects of rainfall variability.

Keywords: *Zea mays* L., rainfall variability, maize yield, northern and northwestern regions of Côte d'Ivoire

¹ Institut de Géographie Tropicale, Université Felix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire ; E-mail : line237@yahoo.com

² Peronne Sizer Institute, University of Massachusetts, Boston MA (USA) ; E-mail : jdhanoh@gmail.com

Introduction

Les populations du Nord et du Nord-ouest ivoiriens, à l'instar de toute la Côte d'Ivoire basent leur économie et leurs besoins fondamentaux de nourriture sur les ressources naturelles. Les activités économiques de la région sont en effet tournées vers une agriculture pluviale. Cependant, durant ces dernières décennies, la région connaît une variabilité de son régime des pluies. Des études sur la Côte d'Ivoire ont montré une diminution des cumuls pluviométriques interannuels se manifestant par une rupture de stationnarité dans les séries chronologiques à la fin des années 1960 (AKA *et al.*, 1997 ; BROU, 1997 ; BROU *et al.*, 1997 ; PATUREL *et al.*, 1998 ; BROU *et al.*, 2005 ; DIBI KANGAH, 2010). Ces auteurs ont souligné les effets perceptibles de la variabilité pluviométrique sur la production agricole. Ils ont aussi révélé une coïncidence entre la baisse des pluies, la déforestation, la modification de l'occupation des sols, l'intensification de la mise en culture suite à l'accroissement démographique. De ce fait, la pluviométrie est un élément majeur pour l'agriculture pluviale. Cependant, la recherche sur les pluies a essentiellement porté sur les causes de leur variabilité ainsi que la possibilité prévisionnelle des saisons en énumérant des impacts comme la baisse des rendements agricoles. En effet, les aléas pluviométriques ont des répercussions immédiates sur les activités socio-économiques, causant des conséquences parfois dramatiques telles que des pénuries graves de vivres et d'eau ainsi que des conflits fonciers avec leurs corollaires de pertes en vie humaine comme ce fut le cas lors des sécheresses de 1972-1973 et 1983-1984 (DIOMANDE, 2013). Toutefois, ces analyses ne focalisent pas spécifiquement sur les mutations agricoles dans les Nord et Nord-ouest ivoiriens. Les travaux sont réalisés sur des échelles trop larges pour focaliser sur cette partie de la Côte d'Ivoire. C'est pour combler ce déficit que cette étude porte sur les impacts de la variabilité pluviométrique sur la production du maïs (*Zea mays* L.) dans la zone d'étude. Le climat des régions Nord et Nord-ouest ivoiriennes a un atout pour la culture du maïs qui prédomine dans la zone étudiée (Dibi Kangah, 2010). Toutefois, face aux enjeux mondiaux de la variabilité pluviométrique, il convient de vérifier l'impact potentiel de la variation récente des pluies sur la production du maïs. De ce fait, une question centrale s'impose : quelle est l'incidence de la variation de la pluviométrie sur le rendement du maïs dans la zone d'étude ? L'objectif de cet article est d'analyser la pluviométrie de 1950 à 2013 et de la corrélérer avec le rendement du maïs pour définir les rapports pluies-rendements dans la zone d'étude.

Données et méthodes

Présentation de la zone d'étude

Les régions Nord et Nord-ouest ivoiriennes s'étendent entre les latitudes 10°41 et 5°30 nord et les longitudes 8°16 et 5°30 ouest. La figure 1 montre que la zone étudiée comprend les régions administratives du Poro (Korhogo), Bagoué (Boundiali), Folon (Tingrela), Kabadougou (Odienné), Bafing (Touba), Worodougou (Séguéla) et Béré (Mankono). Elle couvre trois zones climatiques. La partie Nord a deux saisons pluviométriques dont une humide (juin-octobre) et une sèche (novembre-mai). Le centre et le Sud enregistrent deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses. L'ouest est influencé par la dorsale guinéenne et a donc un climat de type montagnard avec deux saisons humides et deux sèches. C'est la partie la mieux arrosée de la zone étudiée.

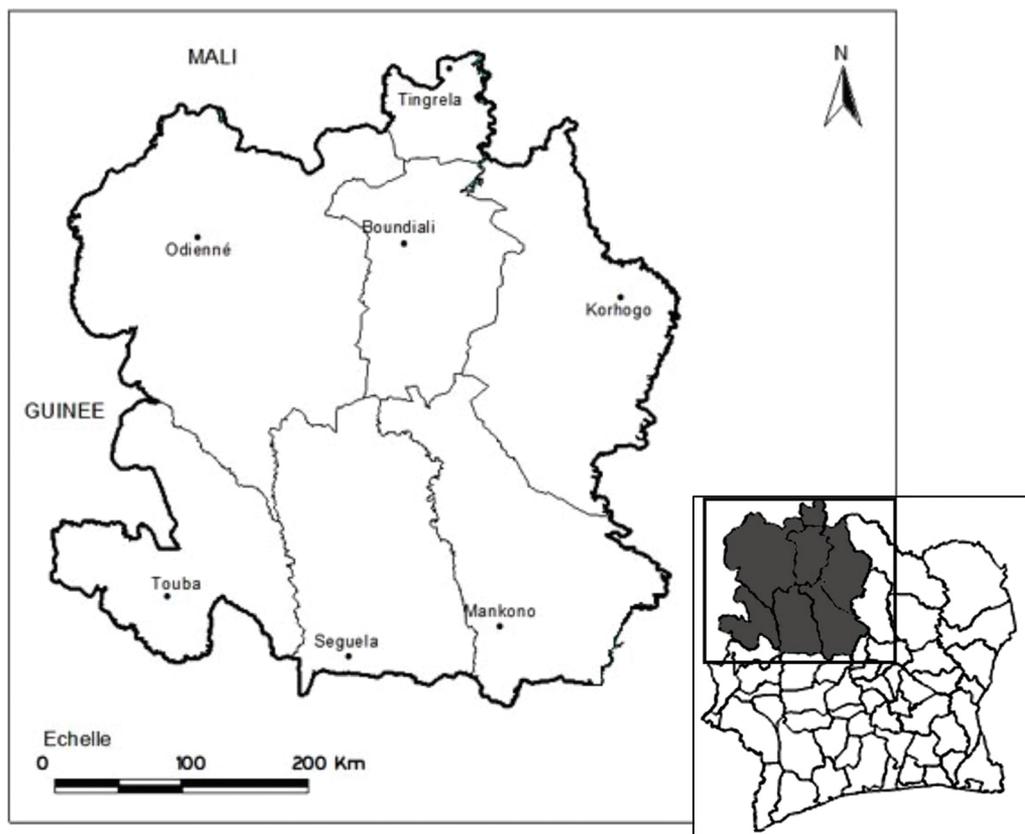


Figure 1. Localisation des sites d'étude dans le nord et le nord-ouest de la Côte d'Ivoire

Données agricoles et pluviométriques

Les statistiques agricoles de 1950 à 2013 ont été fournies par la Direction des Statistiques, de la Documentation et de l'Informatique (DSDI) du Ministère de l'Agriculture Ivoirien. Ces données portent sur les productions et les superficies du maïs et elles ne sont pas continues. Cette discontinuité est liée au caractère fluctuant du découpage administratif où les circonscriptions ivoiriennes ont été plusieurs fois renommées et dotées de nouvelles configurations spatiales. Pour y remédier, les visites dans les directions régionales du Ministère de l'Agriculture et au Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) ont permis de vérifier la fiabilité et surtout de compléter les données manquantes sur la production du maïs.

Les données pluviométriques des six stations (Boundiali, Korhogo, Mankono, Odienné, Séguéla et Touba) uniformément réparties dans la zone étudiée et couvrant la période 1951-2014 émanent de deux sources. Celles de 1950 à 2000 proviennent de la Direction de la Météorologie Nationale de Côte d'Ivoire. Les valeurs de 2001 à 2013 (pluies estimées par satellite) ont été téléchargées du site internet de la National Aeronautics and Space Administration (NASA). La NASA fournit gratuitement des séries pluviométriques (disponibles à partir de 1997) pour tous les points du globe à divers pas de temps (DELAHAYE, 2013). Etant donné que l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) suggère une normale d'au moins 30 ans, la période étudiée

est donc assez représentative pour conduire une telle analyse (OMM, 2011 ; GIEC, 2014). La qualité et la régularité des observations ont été contrôlées avec la méthode des doubles cumuls des stations du même domaine climatique. En outre, la régression multiple de type linéaire entre les stations lacunaires et les stations complètes environnantes aux latitudes semblables ont permis de combler et vérifier l'homogénéité et la fiabilité des données (DIBI KANGAH et AMON, 2016).

Méthodologie

Sur les séries complètes de pluies et de la production du maïs, des méthodes d'analyses ont été appliquées. Les indices centrés réduits et le filtre non-récurrent passe-bas de Hanning d'ordre 2 (moyennes mobiles pondérées centrées et réduites) ont identifié la variabilité interannuelle et les tendances à la hausse ou à la baisse des pluies de 1950 à 2013 (PATUREL *et al.*, 1998 ; NICHOLSON *et al.*, 2000 ; BROU *et al.*, 2005 ; DIBI KANGAH, 2010). Ces indices mesurent les écarts entre les quantités pluviométriques d'une année à l'autre par rapport à la moyenne de la période étudiée. Les indices centrés réduits expriment un excédent ou un déficit pour l'année considérée par rapport à la période de référence 1950-2013 selon la formule suivante :

$$i(t) = \frac{x(t) - \bar{x}}{\sigma}$$

Avec $i(t)$ = indice pluviométrique de l'année t , $x(t)$ = total pluviométrique pondéré de l'année t , \bar{x} = pluviométrie moyenne de la période 1951-2013 et σ = écart-type de la pluviométrie de 1951 à 2013.

En outre, pour mieux observer les variations pluviométriques interannuelles il fallait éliminer les fluctuations ponctuelles au moyen du filtre non-récurrent passe-bas de Hanning d'ordre 2 (PATUREL *et al.*, 1998). De 1950 à 2013, les moyennes mobiles pondérées centrées et réduites ont été calculés en estimant chaque total pluviométrique pondéré au moyen de l'équation suivante :

$$x(t) = 0,06x_{(t-2)} + 0,25x_{(t-1)} + 0,38x_{(t)} + 0,25x_{(t+1)} + 0,06x_{(t+2)}$$

Avec $x(t)$ = total pluviométrique pondéré à l'année t , $x_{(t-2)}$ et $x_{(t-1)}$ = totaux pluviométriques observés des deux années qui précèdent l'année t , $x_{(t+1)}$ et $x_{(t+2)}$ = totaux pluviométriques observés de deux années qui suivent l'année t (KANOIN *et al.*, 2012).

Par ailleurs, pour confirmer les tendances pluviométriques observées, la procédure de segmentation de Hubert a été utilisée (PATUREL *et al.*, 1996 ; HUBERT *et al.*, 1998). C'est un test de détection qui permet de fournir des dates de rupture(s) dans une série chronologique. Ces dates séparent des périodes dont les moyennes pluviométriques sont significativement différentes. Pour l'analyse de rupture(s) détectée(s), le taux de variation (T_x) de quantité de pluie enregistrée par chaque station à chaque différente date de rupture(s) détectée(s) a été calculé. Exprimé en pourcentage (%), l'équation du taux de variation est la suivante :

$$T_x = \frac{\text{moyA} - \text{moyB} * 100}{\text{moyA}}$$

Avec T_x = taux de variation, moyA = moyenne pluviométrique de la période avant la date de la rupture et moyB = moyenne pluviométrique de la période après la date de la rupture.

Il faut noter qu'en production agricole, la résultante entre les superficies cultivées, les conditions environnementales et les techniques culturales est le rendement. Il intègre à la fois les superficies et productions tout en reflétant les défis pluviométriques (DIBI KANGAH, 2010). Exprimé en tonnes/hectare, le rendement du maïs est le quotient de la production sur la superficie et sa formule est la suivante :

$$R_i = \frac{P_i}{S_i}$$

Avec R_i = rendement à l'année P_i = production à l'année i et S_i = superficie à l'année i . Afin de déceler les tendances interannuelles du maïs, les valeurs de rendements de chaque année ont été centrées et réduites au moyen de l'équation suivante :

$$I_{rt} = \frac{R(t) - R^-}{\sigma R}$$

Avec I_{Rt} = indice de rendement de l'année t , $I(t)$ = rendement de l'année t , R^- = rendement moyen de 1950 à 2013 et σR = écart-type des rendements sur la période 1950-2013.

En outre, la pluviométrie faisant partie des conditions environnementales nécessaires pour un rendement optimum du maïs, la mise en évidence des interrelations s'est faite à trois niveaux. D'abord, la confrontation interannuelle des moyennes afin de déceler la relation entre les pluviométries moyennes d'une région et le rendement moyen du maïs enregistré. Les indices pluviométriques ont été comparés aux indices de rendements afin de vérifier si les variations interannuelles de la pluviométrie sont en phase avec celles du rendement du maïs. Enfin, les relations pluie/rendement ont été testées au moyen du coefficient de corrélation (R) de Bravais-Pearson (DIBI KANGAH, 2010) qui montre l'ampleur et le sens (positif ou négatif) de l'influence des pluies (y) sur les rendements du maïs (x). Il se calcule de la façon suivante :

$$R_{x,y} = \frac{cov(x,y)}{\sigma_x * \sigma_y}$$

La significativité du coefficient de corrélation est testée à l'aide du test de Student pour un risque d'erreur $\alpha = 0,05$. La valeur de Student t calculé selon la formule suivante est comparée à celle de t lu dans la table de Student. n = Taille de l'échantillon.

$$t = |R| * \sqrt{\frac{n - 2}{1 - R^2}}$$

Résultats et discussion

L'analyse interannuelle des pluies dans les six stations de la zone d'étude révèle une tendance globale à la diminution des hauteurs des pluies. La baisse des pluies a commencé dès 1950 et s'est accentuée après la décennie 1970 avec une succession d'indices négatifs (Figure 2). Mankono, Boundiali et Séguéla enregistrent des pluies moyennes d'environ 900 mm. Les plus fortes quantités pluviométriques sont relevées dans l'Ouest de la zone d'étude, précisément à Odienné (1025 mm) et Touba (1515, 4 mm). Korhogo a enregistré la plus faible quantité de pluie avec une moyenne de 751,9 mm tout en affichant un déficit qui a débuté en 1982 et s'est poursuivi jusqu'en 2013.

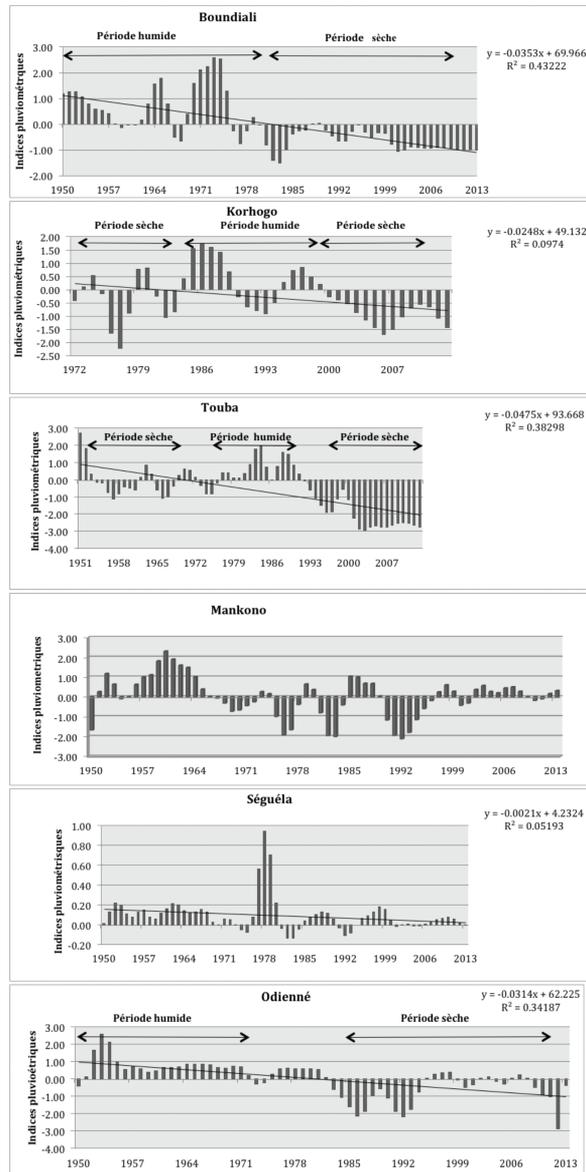


Figure 2. Evolution de la pluviométrie dans des stations du Nord et Nord-ouest ivoiriens

En outre, le tableau I présente les résultats de la procédure de segmentation de Hubert. Il dévoile une rupture en 1999 à Korhogo et un excès de 17,83% de pluies. Boundiali est marquée par une alternance d'excédents (1950 à 1983) et de déficits pluviométriques (1983 à 2013). La période excédentaire enregistre une augmentation de 58,68%. Mais une rupture est également détectée en 1975 marquant le début de la période sèche avec une tendance générale à la réduction de la pluviométrie. Pour Odienné, Touba, Séguéla et Mankono, la tendance est aussi à la baisse avec des hauteurs de pluies déficitaires bien que ces stations aient enregistré des excès dès le début de la série chronologique (jusqu'en 1982 pour Odienné et 1971 pour Touba). Par ailleurs, Séguéla affiche une longue période humide avec des années sèches et une rupture en 1982. Cette rupture a occasionné un excédent pluviométrique de 28,97%. Mankono présente une période humide dans les deux premières décennies (1950 et 1960) de la série et une période sèche marquée par des années sèches et humides. Toutefois, Mankono enregistre une reprise de la pluviométrie au début des années 2000 avec une rupture observée en 1950 au début de la série.

Tableau I. Récapitulatif des tests statistiques de rupture

Stations	Période d'observation	Pluviométrie moy. (mm)	Année de rupture	Probabilités associées
Korhogo	1972-2013	751,85	1999	0,1783
Boundiali	1950-2013	989,98	1975	0,5860
Odienné	1950-2013	1025,24	1982	0,2897
Mankono	1972-2000	908,7	1950	0,0897
Touba	1951-2013	1515,40	1994	0,2012
Séguéla	1950-2013	902,8	1982	0,2897

Ces résultats attestent d'une variabilité des pluies et d'une répartition aléatoire de la pluviosité dans le Nord et Nord-ouest ivoiriens. Le dérèglement avéré des pluies est un facteur indicatif de modification des hauteurs pluviométriques qui affichent une tendance à la baisse s'inscrivant dans la grande tendance déficitaire observée en Afrique Occidentale durant ces récentes décennies (DIBI KANGAH, 2010 ; NOUFE *et al.*, 2011 ; DIOMANDE, 2013). En outre, de 1950 à 2013 la pluviométrie de la zone étudiée se résume en deux phases principales. La première phase est excédentaire (décennies 1950 et 1960) et la deuxième est déficitaire (décennies 1970, 1980, 1990 et 2000). Toutefois, la décennie 2000 connaît une réduction du déficit pluviométrique marquée par un regain notable des pluies. Cette reprise est également observée par NOUFE *et al.* (2011), DIOMANDE (2013), et DIBI KANGAH *et* AMON (2016). Ces auteurs confirment qu'en Côte d'Ivoire la décennie 2000 a enregistré un regain de pluies dans les stations situées au-dessus du sixième parallèle.

Le tableau II présente les valeurs moyennes de pluviométrie et de rendement du maïs dans la zone étudiée. Il s'avère que les hauteurs élevées de pluie correspondent à des rendements élevés de maïs. Cela signifie qu'à priori, il existe une relation entre les pluies et les rendements. Ce constat est vérifié par les coefficients de corrélation (tableau III). Cependant, il faut noter que la pluviométrie et le rendement sont confrontés avec un risque d'erreur de 5 % pour attester que la corrélation observée est statistiquement significative au seuil de 5 %.

Tableau II. Comparaison entre les rendements et pluviométries moyens annuels du Nord et Nord-ouest ivoirien

	Korhogo	Boundiali	Odienné	Mankono	Séguéla	Touba
Rendement du maïs (t/ha)	1,71	1,54	1,06	1,48	1 ,01	1,2
Pluviométrie moyenne interannuelle (mm)	751,9	990	1025,2	908,3	902,8	1515,4

Tableau III présente les coefficients de corrélation entre la pluviométrie et les rendements du maïs. Les résultats indiquent une dépendance complexe entre les pluies et la production du maïs pour toutes les stations du Nord et Nord-ouest ivoiriens. Plus de la moitié des coefficients de corrélation (significatifs et non significatifs) sont positifs (26 sur 42), dévoilant que la coïncidence entre les pluies et les rendements du maïs n'est pas universelle. Les coefficients de corrélation positifs et significatifs ou non significatifs s'enregistrent plus pour Korhogo, Boundiali et Odienné. Mais, les coefficients positifs et non significatifs sont dominants. Cette situation peut s'expliquer par l'amélioration des pratiques agricoles avec l'utilisation des engrais et pesticides (DIBI KANGAH, 2010). En effet, la mécanisation de la culture du maïs peut expliquer les faibles coefficients de corrélation et même produire des associations négatives entre les pluies et les rendements du maïs. Par ailleurs, les coefficients de corrélations négatifs peuvent également indiquer des hauteurs importantes de pluies (les inondations par exemple) pouvant diminuer les rendements. De plus, les coefficients de corrélation entre la pluviométrie et les rendements du maïs sont très faiblement positifs et non significatifs pour la période d'étude (1950-2013).

Tableau III. Coefficient de corrélation indice pluviométrique/indice de rendement

Période	Korhogo	Boundiali	Odienné	Mankono	Séguéla	Touba
1950-1959	0,41	0,22	0,36	0,12	-0,11	-0,10
1960-1969	0,27	0,18	0,22	-0,40	-0,20	-0,23
1970-1979	0,57	0,30	0,32	-0,15	-0,39	-0,33
1980-1989	0,11	0,36	0,28	-0,29	-0,05	-0,18
1990-1999	0,17	0,26	0,18	-0,20	-0,13	-0,12
2000-2013	0,36	0,21	0,19	0,10	-0,20	-0,47
1950-2013	0,11	0,10	0,16	0,11	0,05	0,16

Conclusion

La présente étude a montré que la variabilité pluviométrique est effective dans le Nord et le Nord-ouest ivoiriens. De 1950 à 2013, la tendance générale est à la baisse des pluies ; mais la décennie 2000 connaît une réduction du déficit. Confrontés aux rendements du maïs, les coefficients de corrélation révèlent que les aléas pluviométriques n'impactent pas significativement la productivité agricole. Toutefois, face au dérèglement avéré de la pluviométrie, des stratégies adaptatives comme les techniques de conservation des eaux de pluies sont recommandées pour atténuer les effets néfastes de la variabilité pluviométrique.

Références bibliographiques

- AKA A.A., LUBÈS H., MASSON J.M., SERVAT É., PATUREL J.E., KOUAMÉ B., 1996.** Analyse de la variabilité temporelle des écoulements en Côte d'Ivoire : approche Statistique et caractérisation des phénomènes. *Sci. Hydro.*, 41(6) : 959-970.
- BROU T. Y., 1997.** Analyse et dynamique de la pluviométrie en milieu forestier : recherche de corrélations entre les variables climatiques et les variables liées à l'activité anthropique. Thèse de Doctorat 3ème cycle, Abidjan, 210 p.
- BROU Y. T., E. SERVAT ; J. E. PATUREL, 1997.** Evolution du couvert végétal ivoirien sur la période 1950-1990 en relation avec la variabilité du climat et les activités anthropiques. *Sécheresse*, 6 : 57-62.
- BROU Y. T., 2005.** "Climat, mutation socio-économique et paysages en Côte d'Ivoire". Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches, université des sciences et techniques de Lille, France, 212 p.
- DIOMANDE M., 2013.** Impact du changement de pluviosité sur les systèmes de production agricole en zone de contact forêt-savane de Côte d'Ivoire, thèse de Doctorat unique, UFR STRM, DSTEGE, 288 p.
- DELAHAYE F., 2013.** Analyse comparative des différents produits satellitaires d'estimation des précipitations en Amazonie brésilienne, Thèse Géogr., UMR 6554, IFR 91 OSUR, 228 p.
- DIBI KANGAH P. A., 2010.** Rainfall and Agriculture in Central West Africa since 1930: Impact on Socioeconomic Development, LAP-LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, 304 p.
- DIBI KANGAH P. et AMON P. H-J., 2016.** Variabilité pluviométrique et rendement du manioc dans l'est et le sud-est de la Cote d'Ivoire de 1951 a 2013, *RegardSuds*, 1: 1-8
- GIEC, 2014.** Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution du Groupe de travail II au cinquième rapport d'évaluation. Cambridge, Royaume Uni: Cambridge University Press.
- KANOHIN F., SALEY M., AKE G., SAVANE I., DJE K., 2012.** Variabilité climatique et productions de café et cacao en zone tropicale humide : cas de la région de Daoukro (centre-est de la Côte d'ivoire), *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 1(2) : 194-215.
- KANOHIN F., SALEY M. B., SAVANE I., 2009.** Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les activités humaines en zone tropicale humide. Cas de la région de Daoukro en Côte d'Ivoire, *European Journal of Scientific Research*, 26 (2): 209-222.
- NICHOLSON S. E., SOME B., KONÉ B., 2000.** An Analysis of Recent Rainfall Conditions in West Africa, Including the Rainy Seasons of the 1997 El Niño and the 1998 La Niña Years» *Journal of Climate American Meteorological Society*, 13: 2628-2640.
- NOUFE D., LIDON B., MAHE G., SERVAT E., BROU Y.T., KOLI BI Z., CHALEARD J. L., 2011.** «Variabilité climatique et production de maïs en culture pluviale dans l'est Ivoirien», *Hydrological Sciences Journal*, 56 (1) : 152-167.
- ORGANISATION METEOROLOGIQUE MONDIALE (OMM), 2011.** Guide des pratiques climatologiques OMM-N° 100, Genève, Suisse. 152 p.
- ORGANISATION NATIONS UNIES (ONU), 2012.** Rapport sur la situation économique de la Côte d'Ivoire, 30 p.
- PATUREL J.E., SERVAT E., KOUAME B., BOYER J. F., LUBES-NIEL H., MASSON J. M., 1996.** «Procédures d'identification de ruptures dans des séries chronologiques-modification du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest non sahélienne», *L'hydrologie tropicale: géoscience et outil pour le développement, IAHS, Publ.* 238: 99-110.
- PATUREL J.-E., SERVAT E., DELATTRE M. O., LUBES-NIEL H., 1998.** « Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique », *Hydrological Sciences* 43 (6): 937-946.