

Dynamique et impact du climat sur les ressources hydriques et agricoles au sud-ouest de la Côte d'Ivoire

[Dynamics and impact of the climate on the water and agricultural resources in the southwest of Côte d'Ivoire]

Yao Alexis N'GO¹, Kouakou Hervé KOUASSI², Gnenyougo Emile SORO¹, Hermann MELEDJE¹, Tié Albert GOULA BI¹, and Issiaka SAVANÉ¹

¹Laboratoire Géosciences et Environnement, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

²UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study aims to explain the dynamics of the local climate in southwestern of Côte d'Ivoire in a context of strong human pressure and climate variability. The methodological approach, based on the use of climate data an opportunity to discuss the impact of environmental change on natural resources. Southwestern Côte d'Ivoire has suffered a sharp change in vegetation cover. Since the climate out of 1970, the region observed spatiotemporal variation of rainfall regularly changing down. She sees an emphasis on the occurrence of extreme weather events, especially in terms of temperatures. These changes have resulted in a reduction of consecutive wet months and threatening storm agriculture practice in this area.

KEYWORDS: climatic variability, water, agriculture, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude vise à expliquer la dynamique du climat local au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire dans un contexte de forte pression anthropique et de variabilité climatique. L'approche méthodologique, basée sur l'exploitation de données climatiques a permis d'aborder l'impact des changements environnementaux sur les ressources naturelles. Le sud-ouest de la Côte d'Ivoire a subi une forte modification de sa couverture végétale. Depuis la rupture climatique de 1970, cette région observe une variation spatiotemporelle de la pluviométrie qui évolue régulièrement à la baisse. Elle voit une accentuation de la survenance des évènements climatiques extrêmes, notamment au niveau des températures. Ces changements ont provoqué une réduction des mois consécutivement humides menaçant ainsi l'agriculture pluviale pratique dans cette région.

MOTS-CLEFS: variabilité climatique, Eau, Agriculture, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

L'eau constitue le facteur indispensable des écosystèmes caractérisés par plusieurs composantes biologiques. L'absence de cette ressource ou sa raréfaction influence négativement la vie et le développement. L'un des plus grands défis auxquels l'humanité fait face aujourd'hui est le réchauffement climatique qui correspond à une augmentation progressive, prévue ou observée, de la température à la surface du globe. Cette augmentation est l'une des conséquences du forçage radiatif provoqué par les émissions anthropiques [1]. C'est le réchauffement climatique qui entraîne les changements climatiques par l'intégration d'une composante anthropique qui se surimpose à la variabilité naturelle du climat. C'est d'ailleurs pour cela que le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) considère le changement climatique comme toute évolution du climat dans le temps, qu'elle soit due à la variabilité naturelle ou aux activités humaines [2].

L'analyse et la caractérisation précise des manifestations de la variabilité du climat, et sa relation avec la variabilité des ressources en eau dont dépend l'agriculture, constituent aujourd'hui une problématique de développement. Elles permettent en effet, l'élaboration de scénarii permettant la prévision et la gestion durable des ressources en eau. Aussi, l'une des plus fortes perturbations des hydrosystèmes est due à l'activité humaine et concerne essentiellement la modification du paysage phytogéographique ([3]; [4]; [5] et [6]). La variabilité du climat et les modifications de l'occupation du sol soulèvent des questions de développement, notamment en ce qui concerne la disponibilité des ressources en eau [7], la sécurité alimentaire [3], la santé [8] et la dégradation des terres et des écosystèmes ([5], [6]).

L'objectif du présent travail est l'exploitation des données climatiques (pluies, température etc.) pour expliquer la dynamique du climat local au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire et son impact sur les ressources en eau et l'agriculture.

2 ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude est située au sud-ouest de la Côte d'Ivoire, entre les latitudes 4°30' N et 5°30' N et les longitudes 6° W et 7°W (Fig. 1). Il est à cheval sur les départements de Sassandra, San Pédro, Soubré, Divo et Gagnoa. Le littoral, dans cette région, a une structuration mixte avec une alternance de côtes rocheuses et sableuses caractéristiques du littoral du sud ouest de la Côte d'Ivoire. Il abrite le complexe Sassandra-Dagbego (site RAMSAR) qui comprend l'estuaire du fleuve Sassandra et plusieurs autres habitats naturels sensibles tels que les marécages, les mangroves et de petites îles à caractères particuliers. On y rencontre quatre types de formations végétales [9]. Il s'agit: des forêts marécageuses, de la forêt dense sempervirente sur sol à forte capacité de rétention en eau, de la mangrove sur sol hydromorphe à gley et de la forêt dense sempervirente de sol ferme.

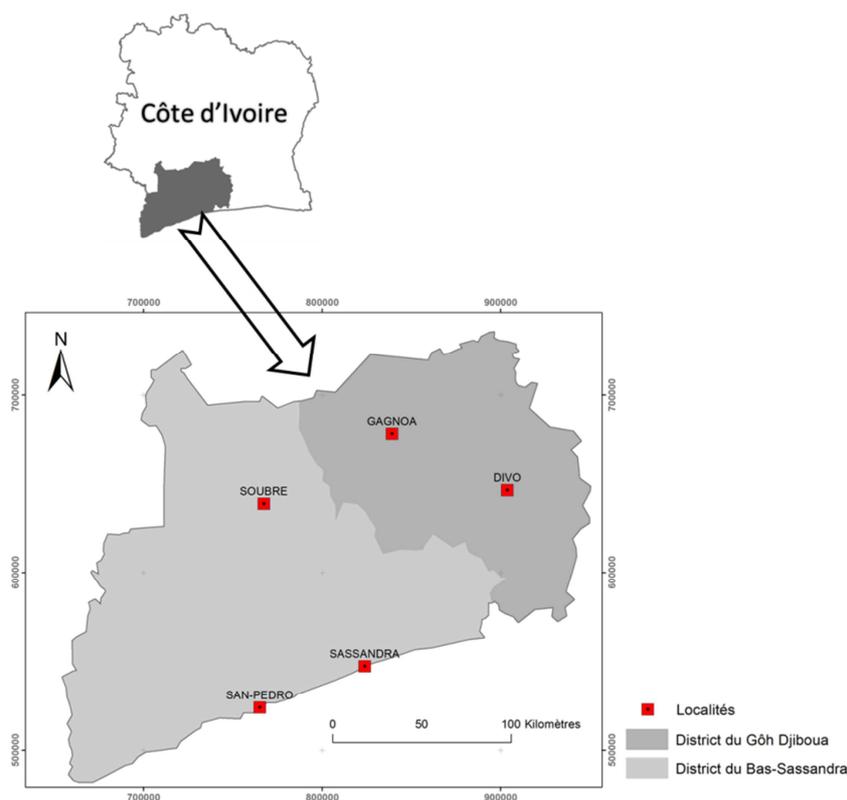


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

Le climat de cette région est de type équatorial de transition avec une pluviométrie généralement supérieure à 1500 mm/an et une température qui oscille entre 25°C et 27°C en moyenne. Le relief est assez contrasté avec l'ouest constitué de hauts sommets et les autres parties essentiellement composées de plaines.

3 DONNÉES ET MÉTHODES

3.1 DONNÉES

Les données utilisées dans ce travail sont les données climatiques. Les données climatiques (pluviométriques et d'Évapotranspiration et température) appartiennent au réseau de mesure de la Direction de la Météorologie Nationale de la Côte d'Ivoire. Ces stations respectivement du Sud, de l'ouest et du sud-ouest de la Côte d'Ivoire, nouvelles zones de production agricole, ont été retenues du fait qu'elles disposent de séries longues (au moins 30 années d'observations) et qu'elles présentent un nombre limité de données manquantes et de valeurs erronées. Les données utilisées portent sur la période allant de 1950 à 2003.

3.2 MÉTHODOLOGIE

L'approche méthodologique est basée sur la caractérisation de la variabilité climatique, l'analyse des pluies extrêmes et l'analyse des températures extrêmes. En outre un accent est mis sur l'étude de l'impact de l'évolution de la pluviométrie sur l'agriculture.

Pour la caractérisation de la variabilité climatique, les relevés pluviométriques acquis sur onze (11) stations (1970 à 2000) ont été saisis et organisés dans le tableur bureautique Excel par décennie. Le choix de la période obéit au fait que ce sont des données recueillies après la rupture climatique de la fin des années 60. Elles sont donc homogènes et permettent une telle étude comparative. Une spatialisation de ces données par krigeage sur le logiciel Surfer pour visualiser l'évolution spatiotemporelle des précipitations a été réalisée. Une analyse de ces courbes pluviométriques (isohyètes) dans le temps et dans l'espace ont permis de suivre la dynamique spatiotemporelle de la pluviométrie. Enfin, Une étude statistique de corrélation et de classification basées sur les cartes auto-organisatrices de [10]: Algorithme SOM (Self Organizing Map) a été réalisée sur Matlab en vue de mettre en évidence les liens et similarités. Pour analyser le déficit de terre agricole, le risque climatique encouru par la production agricole a été analysé à travers la méthode de [11] décrit par [12] qui consiste à évaluer, dans une certaine mesure, la probabilité d'occurrence de facteurs climatiques défavorables et susceptibles d'entraîner la perte partielle ou totale d'une récolte.

Concernant l'analyse des pluies extrêmes le Gradex, qui est le gradient des valeurs de la pluie en fonction du logarithme de la durée de retour, ou autrement le paramètre d'échelle de la loi de Gumbel [13] est utilisé. Le Gradex G peut être considéré comme le descripteur des pluies extrêmes en un lieu donné, qu'il est possible de cartographier [14]. Il résume l'ensemble de l'information concernant ces pluies, et présente l'avantage de s'exprimer dans la même unité que la variable étudiée [15]. En France, le Gradex G a été cartographié comme un paramètre climatique qui caractérise le risque de pluies journalières extrêmes par région. Rappelons rapidement quelques fondements théoriques de cette loi : en considérant la plus forte hauteur pluviométrique «X» sur un intervalle de temps d'une période calendaire quelconque de l'année, la distribution suit une fonction de répartition de la forme :

$$F(x) = e^{-e^{-u}} \quad \partial$$

Où u est la variable réduite de Gumbel :

$$u = \frac{x - x_0}{G}$$

Où x_0 est le paramètre de position de la loi et G est le paramètre de forme encore appelé «Gradex» comme «Gradient des valeurs extrêmes».

Pour ce qui est de l'analyse des températures la méthode de krigeage est utilisée pour le tracé des isothermes décennales. Ce qui permet d'en étudier l'évolution spatiale. Le krigeage tient compte de la variabilité spatiale et de la variable régionalisée, ce qui lui permet de minimiser l'erreur d'estimation. Cette méthode a été choisie pour la cartographie des températures extrêmes (minimale et maximale) sur les décennies (1971-1980), (1981-1990), et (1991-2000).

La caractérisation de l'impact de la réduction de la pluviométrie et sa répartition spatiale ont été conduites à la station de Gagnoa et de Sassandra de 1950 à 2003. Les mois humides sont caractérisés par une pluviométrie supérieure à l'évapotranspiration potentielle (ETP). Les stations de Gagnoa et de Sassandra utilisées dans cette analyse sont situées dans le régime de climat équatorial humide caractérisé par deux saisons humides et deux saisons sèches. Les saisons humides

correspondent aux périodes culturales de type pluvial dans cette région. L'objectif est de montrer les différentes variations (état de surface, pluviométrie) affectant le nombre de mois consécutivement humide ($P \geq ETP$) au niveau des deux stations.

4 RESULTATS

Les ressources hydriques d'une région sont gouvernées dans leur dynamique par celle de l'état de surface, du climat et des diverses pressions naturelles et anthropiques.

4.1 DYNAMIQUE PLUVIOMETRIQUE DANS LE SUD-OUEST DE LA COTE D'IVOIRE APRES LA RUPTURE CLIMATIQUE DE 1970

La plupart du temps, l'un des principaux indicateurs de la variabilité climatique est l'évolution spatiotemporelle de la pluviométrie. Une étude par décennie de l'évolution de la pluviométrie au Sud de la Côte d'Ivoire a été réalisée à travers un krigeage des données de onze stations pluviométriques. La Figure 2 montre qu'il y a une variation spatiotemporelle des isohyètes. Les hauteurs pluviométriques varient entre 1200 mm et 2100 mm dans la décennie 1971-1980 avec l'Est plus pluvieuse (2000 mm de pluie). La décennie 1981-1990 semble plus arrosée notamment à l'ouest, avec une légère hausse des hauteurs pluviométriques.

Cependant, l'amplitude est plus élevée avec une variation comprise entre 2300 mm et 1000 mm. On observe une grande disparité au niveau de la répartition des pluies. Le constat général indique une tendance plutôt régressive sur la décennie. La dernière décennie est moins pluvieuse avec des hauteurs pluviométriques variant entre 1900 mm et 1000 mm. Lorsqu'on suit l'isohyète 1200 mm dans l'espace et dans le temps, il est observé une variation régulière avec un déplacement NE-SW, caractérisant un couloir moins pluvieux centré sur la ville de Sassandra. L'évolution de ce couloir NE-SW peu pluvieux suit l'axe constitué des localités Oumé-Lakota-Sassandra, amorcé depuis les décennies précédentes (Fig. 2). Ce couloir est encadré par une zone Est et Ouest plus arrosées. Il se comporte comme un microclimat entouré par des zones arrosées. Les zones les plus arrosées coïncident avec les réserves forestières et les zones de forêts en général.

Une analyse statistique a permis de classer la répartition de stations pluviométriques du Sud de la Côte d'Ivoire en trois classes (tableau 1). La classe 1 est caractérisée par 3 stations pluviométriques (Guiglo, Taï et Adiaké) représentant les stations les plus arrosées sur les trois décennies (hauteur de pluies Supérieure à 1600 mm/an) (Tableau I). La classe 2 est composée de 2 stations (Oumé et Lakota) qui sont les moins arrosées et les plus instables au cours de ces trois décennies (environ, 1200mm/an) et la classe 3 regroupe les 7 autres stations (Sassandra, Soubré, Grand Lahou, Gagnoa, San Pédro, Buyo et Issia) qui évoluent entre ces deux extrêmes (entre 1300 et 1500mm/an).

L'analyse par décennies du tableau 1 montre une diminution de la pluviométrie moyenne annuelle au fil du temps au niveau des classes, sauf au niveau de la classe 3. Cette classe enregistre une légère augmentation de la pluviométrie à la dernière décennie.

La réalisation de la matrice de classification (Fig. 3) a permis de caractériser la dynamique des différentes classes obtenues par décennie. Au cours de la décennie 1971-1980, les résultats montrent que ce sont les stations de Guiglo à l'ouest et d'Adiaké à l'Est qui ont enregistré les plus fortes pluviométries dans la classe 1 (0,9) alors que Taï enregistrait le moins de pluie (0,55). Il s'établit une direction croissante de pluviométrie d'Ouest en Est dans la décennie 1971-1980. La deuxième décennie (1981-1990) présente par contre une inversion de cette dynamique. La station de Taï enregistre les plus fortes pluviométries (0,9) et les stations de Guiglo et Adiaké deviennent les moins arrosées dans la classe 1.

Cette tendance à l'inversion s'observe également dans les classes 2 et 3. Ce gradient de pluviométrie s'est maintenu sur la décennie 1990-2000. Ces résultats indiquent que le gradient positif au niveau de la quantité de pluie tombée s'oriente depuis la décennie 1981-1990 vers l'ouest forestier de la Côte d'Ivoire.

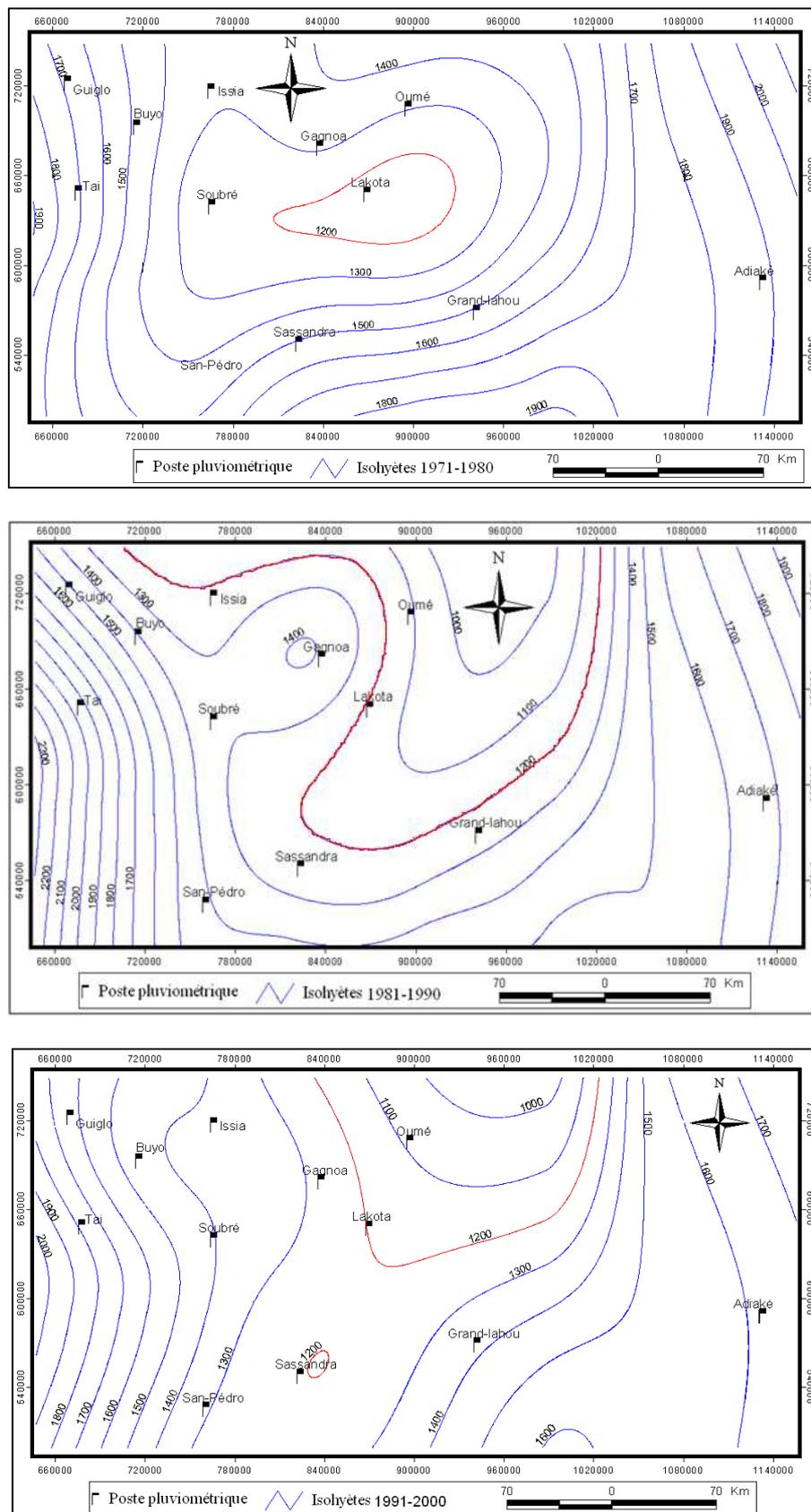


Fig. 2. Evolution spatiotemporelle des isohyètes au Sud de la Côte d'Ivoire de 1970 à 2000

Tableau I: évolution de la pluviométrie moyenne annuelle en fonction des classes

Période	Pluie moyenne (mm)		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
1971-1980	1756,33	1235,00	1399,00
1981-1990	1709,00	1148,00	1322,57
1991-2000	1679,00	1143,50	1342,14

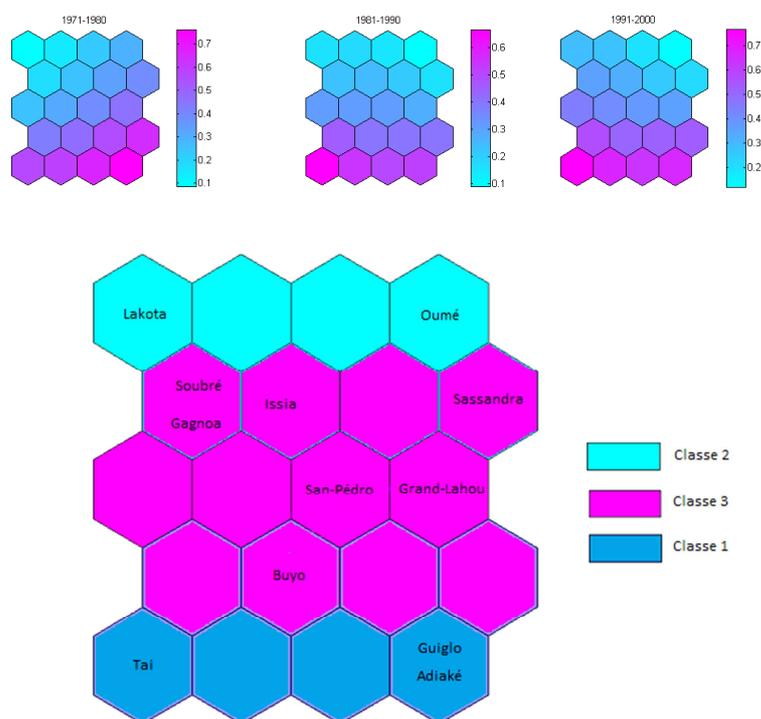


Fig. 3. Matrice de classification de répartition des stations pluviométriques

4.2 ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES EXTREMES CLIMATIQUES

La Figure 4 présente l'évolution du gradient des valeurs extrêmes de pluie au cours des décennies 1971-1980, 1981-1990 et 1991-2000. Il ressort des analyses du gradex que le siège des évènements extrêmes varie d'une décennie à une autre. Durant la décennie 1971-1980, les localités de Tabou, Sassandra et Grand-Lahou apparaissent comme les sièges des évènements extrêmes les plus violents.

En effet, dans ces zones, le gradex pluviométrique est supérieures à 40 mm. Au cours de la seconde décennie (1981-199, les pluies extrêmes ont été fortement ressenties dans les localités de Tai et Sassandra. Cette situation a donnée naissance à un couloir Grabo-Soubré-Gagnoa avec une pluviométrie extrême peu accentuée. Au cours de la décennie 1991-2000, on note le déplacement du dôme pluviométrique de Sassandra à Tiassalé. Ainsi, sur cette période, les pluies sont devenues moins violents dans cette localité. Le foyer de pluies extrêmes s'est plutôt déplacé vers le NE.

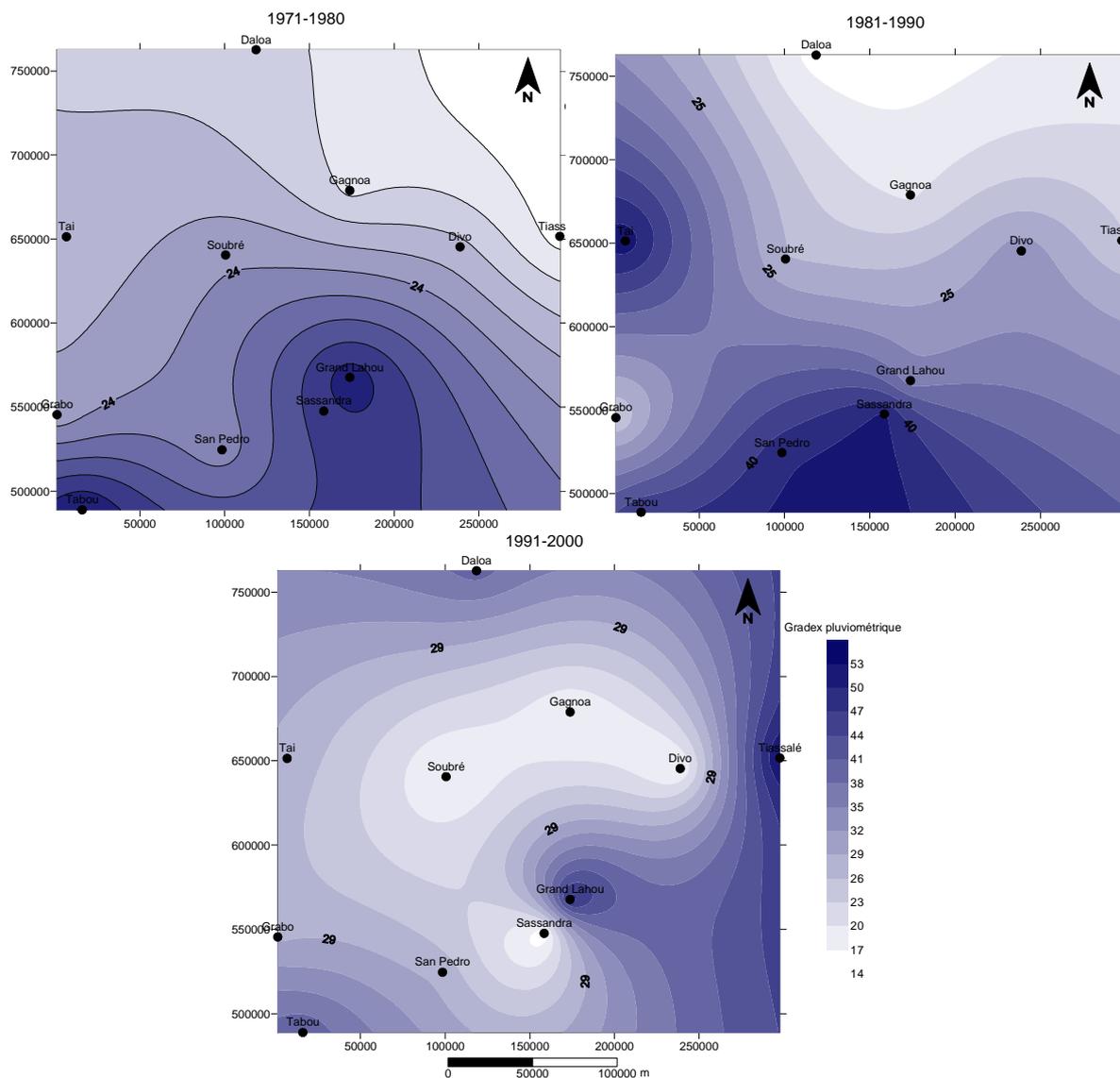


Fig. 4. Evolution du gradient pluviométrique extrême

L'évolution des températures extrêmes ont été mis en relief sur les trois décennies d'observation (Fig. 5 et 6). Il ressort que les températures minimales ont été particulièrement stables. L'isohyète 22°C pris comme référence a présenté un comportement constant. Par contre les températures maximales ont particulièrement variés au cours du temps.

Le gradient d'évolution de la température extrême est d'une manière générale NS à NE-SW. Dans la décennie 1971-1980 l'isohyète de référence 30°C était plus au nord de l'exutoire de Sassandra. Cette isohyète a amorcé une descente particulière vers le sud dans la décennie 1981-1990. Dans la dernière décennie cette isohyète est passé en dessous de la ville de Sassandra. Cette position montre que le Sud côtier enregistre de plus en plus de forte température en l'espace de trois décennies.

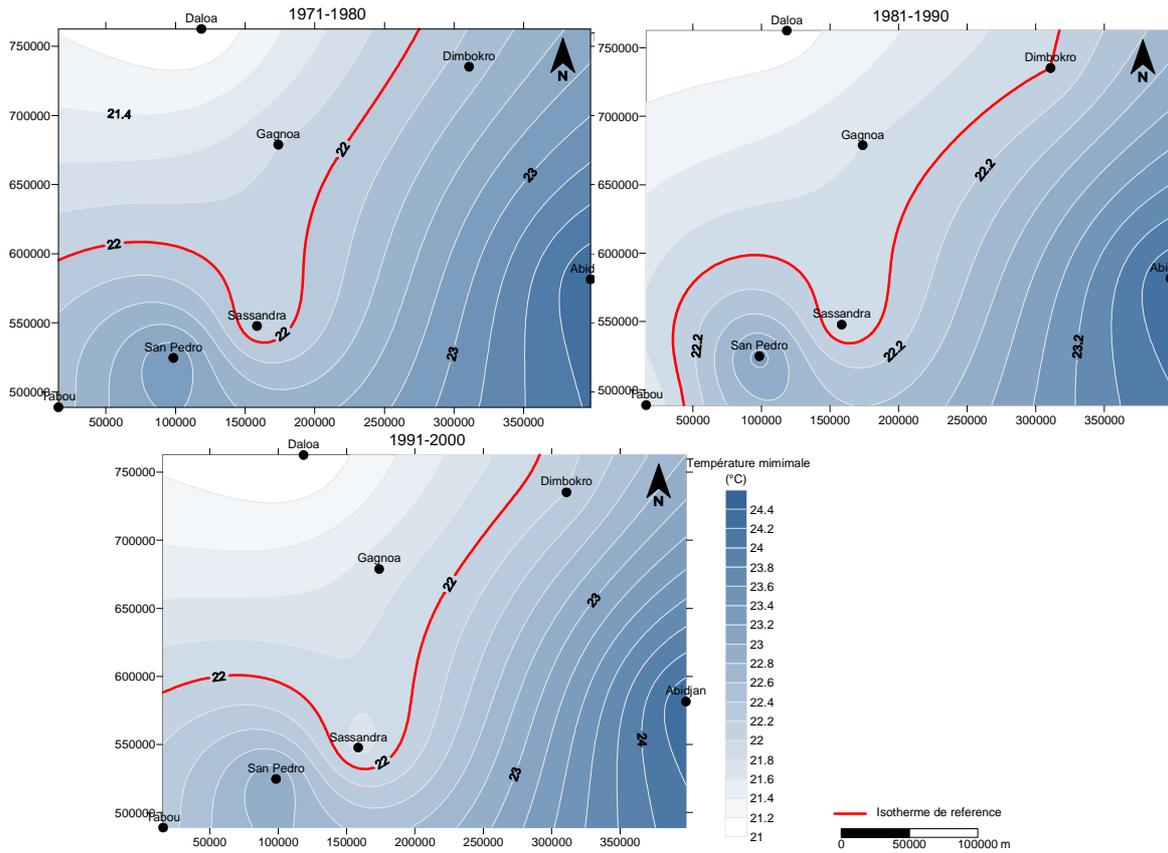


Fig. 5. Evolution des températures minimales

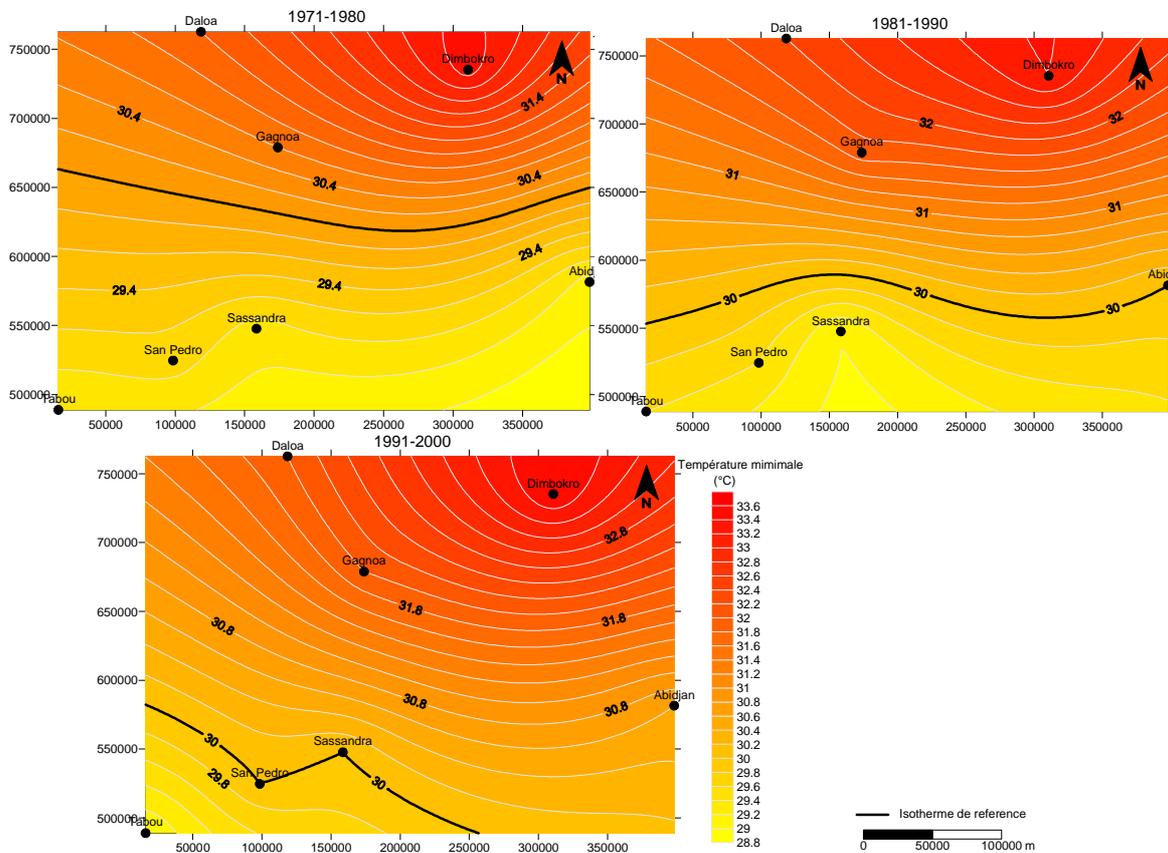


Fig. 6. Evolution des températures maximales

4.3 IMPACT DE L'ÉVOLUTION DE LA PLUVIOMETRIE SUR L'AGRICULTURE

L'analyse de la Figure 7 montre une diminution régulière du nombre de mois humides au niveau de chaque station. A la station de Gagnoa, la première saison se caractérise par une durée de mois consécutivement humides supérieure à trois mois et demi voire quatre mois dans la période 1950 à 1970. Cette durée est descendue autour de trois mois et moins entre 1971-1990. A partir de 1991, on observe une légère remonté. D'une manière générale, une diminution progressive de cette durée est observée dans le temps. A la deuxième saison, la diminution est plus importante. Elle semble se stabiliser autour de deux mois consécutivement humides.

A la station de Sassandra plus au Sud, la diminution générale du nombre de mois consécutivement humides est également observée. Dans la première saison, en analysant les moyennes par décennie, la figure 7 montre trois grandes ruptures. Ainsi, la décennie 1950-1970 présente une moyenne de trois mois consécutivement humides. De 1971 à 1990, cette durée est passée à moins de deux mois et demi. Dans la dernière decennie, la durée moyenne est autour de deux mois. Au cours de la deuxième saison culturale, cette variation est plus affectée et les ruptures sont plus précoces et désordonnées. Pour finir, dans la dernière décennie de cette deuxième saison, il n'y a plus qu'à peine un seul mois humide. Une telle évolution affecte considérablement l'agriculture pluviale généralement pratiquée dans cette région.

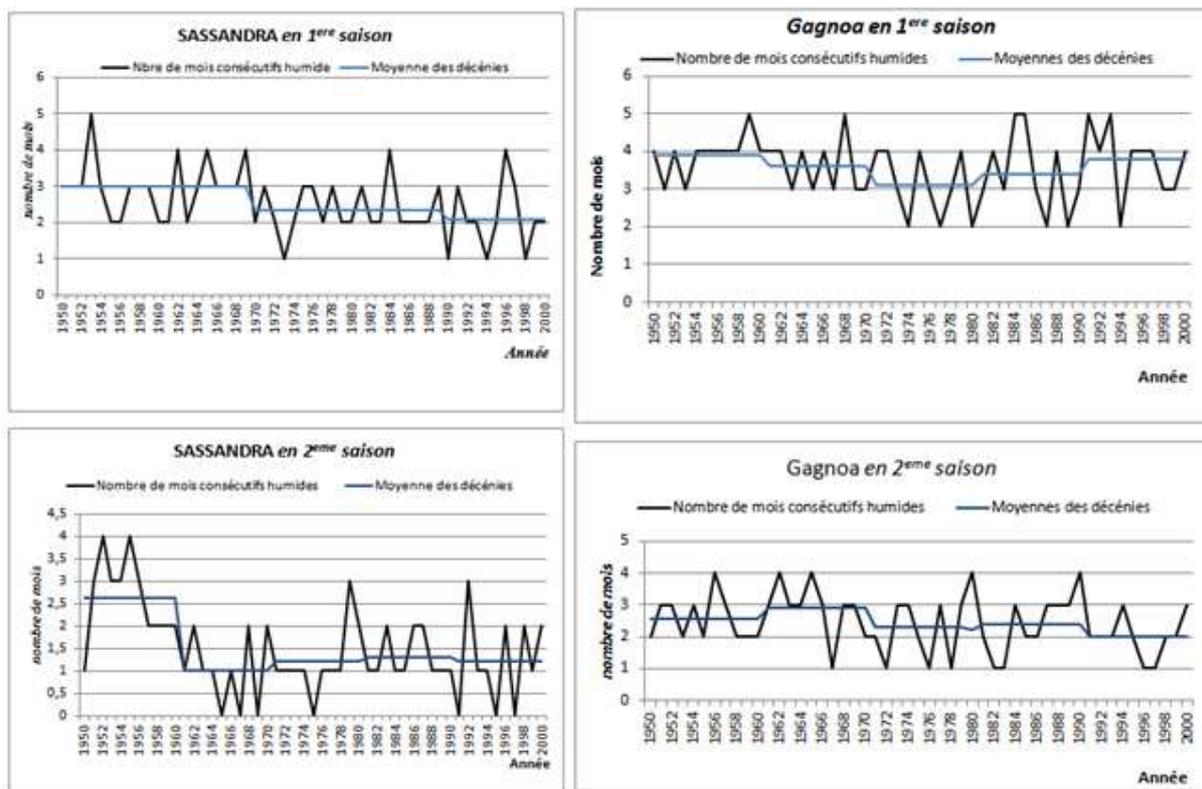


Fig. 7. Evolution temporelle des mois consécutivement humides aux stations de Gagnoa et Sassandra

5 DISCUSSION

L'analyse des tendances pluviométriques est un élément clé de l'évaluation de la variation du climat dans une région. L'évaluation entreprise a révélé de large variation dans le temps et dans l'espace de la pluviométrie. D'une décennie à une autre, il est observé une variation de la pluviométrie. La tendance générale est à la baisse régulière à travers le temps. Cette tendance à la baisse de la pluviométrie a été mise en évidence sur le bassin versant du N'zi [7]. Le fait marquant est l'inversion du gradient d'augmentation de la pluviométrie à partir de la décennie 1981-1990. Ce gradient est dorénavant tourné vers l'ouest plus riche en forêts naturelles (réserve de Tai). Ce qui suggère que la forte déforestation de cette région a un impact sur le déclin observé de la pluviométrie.

Etudiant dans le Sud-ouest de la Côte d'Ivoire, [16] ont lié la baisse de la pluviométrie dans cette région au début de la déforestation massive des forêts par les agriculteurs. Ce qui semble se justifier, car [17] a montré dans son étude que les

écosystèmes de forêt qui bordent le Golfe de Guinée recyclent plus de 60 à 70 % des pluies annuelles alors que les cultures annuelles ne peuvent en recycler qu'entre 45 à 55%. En d'autres termes, la déforestation impacte la variation du rythme pluviométrique dans une région, car mettant en mal le processus de recyclage des pluies. La réduction de la pluviométrie observée pourrait donc être en partie d'origine anthropique même si le changement climatique amorcé depuis 1970 semble en être la cause principale [18]. En effet, le déficit pluviométrique estimé dans certains pays de l'Afrique de l'ouest (Côte d'Ivoire, Burkina Faso, Mali, Sénégal etc.) ces dernières années par certains auteurs ([19]; [20]) varie entre 20 et 40% en le comparant à la moyenne interannuelle. Ces auteurs imputent généralement ces déficits au changement climatique amorcé depuis les années 70.

L'évolution des tendances pluviométriques et leur variabilité affectent directement ou indirectement divers autres variables telles que la productivité des cultures pluviales, les processus de dégradation des sols et de la végétation, la réduction de la qualité et de la quantité de services des écosystèmes et le bien-être de l'humanité ([21]; [22]). Ainsi, cette étude indique que la baisse de la pluviométrie et sa répartition spatiale dans le Sud Ouest ivoirien engendrent une réduction des mois consécutivement humides. Cette diminution est accentuée à la station de Sassandra, notamment dans la seconde saison culturale avec pratiquement un seul mois humide. L'agriculture pratiquée dans cette région étant généralement pluviale, la productivité agricole peut en être affectée. Dans ce contexte de réduction des mois humides, le risque de perte de récolte devient de plus en plus important pour les cultures non irriguées de vivriers dont le cycle va au-delà de 100 jours. La deuxième saison dans la région de Sassandra n'est donc plus adaptée aux cultures vivrières (sauf les cultures précoces). Selon [12], le risque existe également pour les cultures pérennes dans la mesure où les besoins en eau sont de moins en moins satisfaits pendant la période de floraison (mai et juin). La région de Gagnoa plus en amont montre une capacité culturale plus élevée que Sassandra au Sud.

Il est également observé un bouleversement climatique avec persistance des événements extrêmes à Sassandra. En effet, les pluies extrêmes sont centrées sur Sassandra. Les températures extrêmes sont également descendues sur les côtes au cours des dernières décennies. Ce qui fait penser à une persistance d'un microclimat responsable de la survenue de ce couloir peu pluvieux centré sur Sassandra. Cependant à ce stade de l'étude, il est difficile de focaliser notre analyse sur l'effet du changement climatique [23].

6 CONCLUSION

La répartition de la pluviométrie varie dans le temps et dans l'espace. Cette vulnérabilité agit notamment sur l'humidité des sols à travers une réduction graduelle des mois consécutivement humides. Les événements extrêmes atteignent de plus en plus la côte. Dans un environnement de culture pluviale, la productivité agricole devait relativement baissée. Les phénomènes climatiques observés semblent donc s'inscrire dans la durabilité. Les éléments mis en cause pour expliquer cette variation sont le changement climatique et la pression anthropique. Il est vrai que sur la base des données de 30 ans, il est difficile de tirer une conclusion au plan climatique qui serait probablement hâtive, mais le contact est que de réels bouleversements sont en cours dans cette région particulièrement agressée. Cette étude semble donc ouvrir de réels axes de recherche sur le comportement climatique du Sud ouest de la Côte d'Ivoire.

REFERENCES

- [1] B. BATES, Z. W. KUNDZEWICZ, S. Wu et J. PALUTIKOF, "Climate Change and Water", IPCC technical Paper VI, 214p., 2008
- [2] GIEC, "Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat," Genève, Suisse, 2007.
- [3] Y. T. BROU *Climat, mutations socio-économiques 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, 2005.
- [4] S. BIGOT, Y. T. BROU, J. OSZWAID et A. DIEDHOU, "Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales," *Sécheresse*. Vol. 16, n°1, p. 5-13. 2005.
- [5] A. KANGAH, "Utilisation de la télédétection et d'un système d'information géographique (SIG) pour l'étude des pressions anthropiques sur les paysages géomorphologiques des savanes sub-soudanaises : exemple du degré carré de Katiola (centre-Nord ivoirien)." *Thèse de Doctorat*, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire 186 p. 2006.
- [6] Y. A. N'GO, J. T. AMA-ABINA, A. Z. KOUADIO, H. K. KOUASSI, I. SAVANÉ, "Environmental Change in Agricultural Land in Southwest Côte d'Ivoire: Driving Forces and Impacts," *Journal of Environmental Protection*, 2013, 4, pp. 1373-1382, 2013.

- [7] A. M. KOUASSI, K. F. KOUAMÉ, B. T. A. GOULA, T. LASM, J. E. Paturel et J. BIÉMI, "Influence de la variabilité climatique et de la modification de l'occupation du sol sur la relation pluie-débit a partir d'une modélisation globale du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire," *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, vol.11, pp. 207 – 229, 2008.
- [8] T. C. NCHINDA, "Emerging Infectious Disease. In *Malaria: A reemerging Disease in Africa. juillet-septembre 1998*". OMS, Genève, 1998.
- [9] J. M. AVENARD, M. ELDIN, G. GIRARD, J. SIRCOULON, P. TOUCHEBEUF, J. L. GUILLAUMET, E. ADJANOHOOUN et A. PERRAUD, "*Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*," Mémoire ORSTOM, 1971.
- [10] T. KOHONEN, "Self-Organising Maps," *Edition Springer*, second edition, 1997.
- [11] M. ELDIN, "Risques climatiques, éléments des risques encourus pour la production agricole. Dynamiques des systèmes agraires," ORSTOM, *Collection et séminaires*, Paris, pp. 232-238, 1985.
- [12] Y. T. BROU, "Risques climatiques, pressions foncières et agriculture en Côte d'Ivoire. Global change: Facing risks and Threats to Water Ressources (Proc. Of the sixth *World FRIEND Conference*, Fez, Morocco, October 2010). IAHS Publ. 340, 2010.
- [13] P. GUÏLLOT, "Débits et pluies extrêmes," *Météorologie*, vol. 5, pp. 65 – 70, 1980.
- [14] J.P. LABORDE, "*Analyse des données et cartographie automatique en hydrologie : Éléments d'hydrologie Lorraine*," Thèse Doctorat d'état, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, France, p. 484 1984.
- [15] Y. ZAHAR, "*Gradex – valeurs extrêmes. Rapport bibliographique*," Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, France, 34 p. (1986) -
- [16] Y. T. BROU, E. SERVAT et J. E. PATUREL, "Contribution à l'analyse des interrelations entre activités humaines et variabilité climatique : cas du sud forestier ivoirien," *Académie des sciences/Elsevier*, Paris, t.327, série II a, pp.833-838, 1998.
- [17] B. A. MONTENY, "Contribution à l'étude des interactions végétation- atmosphère en milieu tropicale humide. Importance du rôle du système forestier dans le recyclage des eaux de pluies," *Thèse de doctorat d'Etat*. Université de Paris-Sud Centre d'Orsay, 170 p., 1987.
- [18] B. T. A. GOULA, I. SAVANÉ, B. KONAN, V. FADIKA et G. B. KOUADIO, "Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'zo et N'zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide)," *Vertigo*, n°1, p. 1-12, 2006.
- [19] A. DAI, P. J. LAMB, K. E. TRENBERTH, M. HULME, P. D. JONES et P. XIE, "The recent Sahel drought is real," *International Journal of Climatology*, vol. 24, pp. 1323 – 1331, 2004.
- [20] J. E. PATUREL, M. OUEDRAOGO, E. SERVAT, G. MAHE, A. DEZETTER et J. F. BOYER, "The concept of rainfall and streamflow normals in West and central in context of climatic variability," *Hydrological Sciences Journal*, 48 (1), pp. 125 – 137, 2004.
- [21] F. GALLART et P. LLORENS, "Catchment management under environmental change: impact of land covers change on water resources," *Water Int.* vol. 28, pp. 334-340, 2003.
- [22] M. BOKO, I. NIANG, A. NYONG, C. VOGEL, A. GITHEKO, M. MEDANY, B. OSMAN-ELASHA, R.TABO, P. YANDA, "Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," *Cambridge University Press*, Cambridge UK, pp. 433–467, 2007.
- [23] G. E. SORO B. T. A., GOULA, F. W. KOUASSI et B. SROHOUROU, "Evolution des intensités maximales annuelles des pluies horaires en Côte d'Ivoire," *Agronomie Africaine*, vol. 22, n°1, pp. 33 – 44, 2010.