
ANALYSE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE DANS LE BASSIN VERSANT AGRICOLE DU BANDAMA BLANC, NORD DE LA COTE D'IVOIRE

YAO F. Z.¹, REYNARD E.², FALLOT J.M.³, OUATTARA I.⁴, KOUAKOU E.⁵, SAVANE I.⁶

¹UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, f.zokou@yahoo.fr
Institut de géographie et durabilité, Université de Lausanne, Suisse, franck.yao@unil.ch

²Institut de géographie et durabilité, Université de Lausanne, Suisse, emmanuel.reynard@unil.ch

³Institut de géographie et durabilité, Université de Lausanne, Suisse, jean-michel.fallot@unil.ch

⁴UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, ismael2x@yahoo.fr

⁵UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, kyaoetienne@yahoo.fr

⁶UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, isavane@hotmail.com

Résumé : La population dans le bassin versant du Bandama blanc au nord de la Côte d'Ivoire est à majorité rurale et vit essentiellement de l'agriculture. Ce travail analyse les tendances des variables hydro-climatiques du bassin et leurs niveaux de significativité. Les méthodes utilisées sont l'indice standardisé et le test statistique non paramétrique de Mann-Kendall. Les résultats révèlent une tendance à la baisse, bien que peu significative, de la pluviométrie annuelle. Alors que, les précipitations de la saison pluvieuse et du mois le plus pluvieux ont fortement baissé. On constate une tendance à la hausse significative de la température et de l'évapotranspiration potentielle, alors que les écoulements sont en forte baisse. Ces changements dans les séries hydro-climatiques se sont produits dans les années 1970 et 1980. Cette étude se différencie de celles déjà réalisées sur la variabilité climatique au Nord de la Côte d'Ivoire, par les tests statistiques utilisés et la détermination du niveau de significativité des tendances dans les variables hydro-climatiques.

Mots clés : tendances hydro-climatiques ; tests statistiques ; Bandama

Abstract: Population of the white Bandama basin in the northern Côte d'Ivoire is largely rural and relies predominantly on agriculture. We analyzed trends within the watershed hydroclimatic parameters and their significance level. We utilized standardized index and the non-parametric Mann-Kendall statistical test. Results show a decline trend, not enough significant, of annual rainfall, whereas, precipitation of the rainy season and the rainiest month decreased significantly. Temperature and potential evapotranspiration increased significantly whereas a significant decrease trend is observed in discharge data. These changes in hydroclimatic data appeared in the decades 1970-1980. The contribution of this work among many studies already conducted about climate variability in the north of Côte d'Ivoire is dual. On the one hand by the statistical tests which were used. On the other hand by identifying the significance level of trends within hydrometeorological data.

Keywords: hydroclimatic trend; statistical tests; Bandama

Introduction

Il est reconnu que durant la période allant de 1970 à 1980, la région sahélienne de l'Afrique de l'Ouest a été marquée par une sécheresse sévère aux conséquences négatives pour le bien-être des populations et l'environnement (Dai *et al.*, 2004). Cependant, les études sur la variabilité hydro climatique dans cette région, couvrant la période allant de la sécheresse jusqu'aux années 2000, ont abouti à des conclusions contrastées. (L'Hôte *et al.*, 2003) suggèrent que la période sèche s'est poursuivi durant les années 1990 avec exceptionnellement quelques années de forte pluviométrie. A l'opposé, (Ozer *et al.*, 2003) indiquent que la région est entrée dans une période humide, avec pour exemple les inondations enregistrées dans certaines agglomérations. s j

Le bassin versant du Bandama blanc, au Nord de la Côte d'Ivoire, fait partie de la zone soudano-sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. Il présente un climat de type soudano-sahélien (régime tropical de transition) enregistrant deux saisons contrastées dans l'année, une période sèche et une période pluvieuse, durant chacune en moyenne 6 mois dans l'année. Plusieurs études conduites sur les fluctuations climatiques dans cette zone ont indiqué une persistance des conditions de sécheresse (Paturel *et al.*, 1998). Malheureusement, la plupart de ces études

aussi bien anciennes que récentes se limitent autour des années 2000 car la disponibilité de données fiables issues des réseaux de mesures a progressivement baissé et cessé à l'avènement de la crise politique qu'a connu le pays en 2002. De plus, les méthodes statistiques employées, généralement, sont les tests statistiques de Pettitt, Buishand, Lee et Heghinian et Hubert, tous utilisés avec le logiciel KhronoStat (IRD, 1998).

Dans un tel contexte, parmi les défis pour la recherche scientifique, figure l'utilisation d'autres méthodes statistiques sur ce bassin pour préciser les fluctuations climatiques et surtout identifier le niveau de significativité des tendances intervenues dans les variables hydro-climatiques.

L'objectif de ce travail est de réexaminer les tendances hydro climatiques intervenues sur la période allant de 1950 à 2000 et d'identifier leurs amplitudes par l'utilisation de la technique de l'indice standardisé couplée avec le test statistique de Mann-Kendall qui a déjà montré son efficacité lors d'études de la variabilité climatique dans d'autres zones géographiques (Faye, 2017).

1. Site d'étude et méthodologie

Le bassin versant du Bandama blanc au Nord de la Côte d'Ivoire est une partie du bassin du fleuve Bandama. Il est localisé entre 9°22 et 10°26 de latitude Nord et entre 5°00 et 6°30 de longitude Ouest (Figure 1) et couvre totalement ou en partie les localités de Ferkessédougou, Ouangolodougou, Dikodougou, Korhogo, M'bengué, Sinematiali, Boundiali et Niakaramadougou. Sa superficie est de 12 750 km², avec une population estimée à 1 607 497 habitants à majorité rurale vivant essentiellement de la culture du coton, de l'anacarde et de l'élevage (INS, 2014).

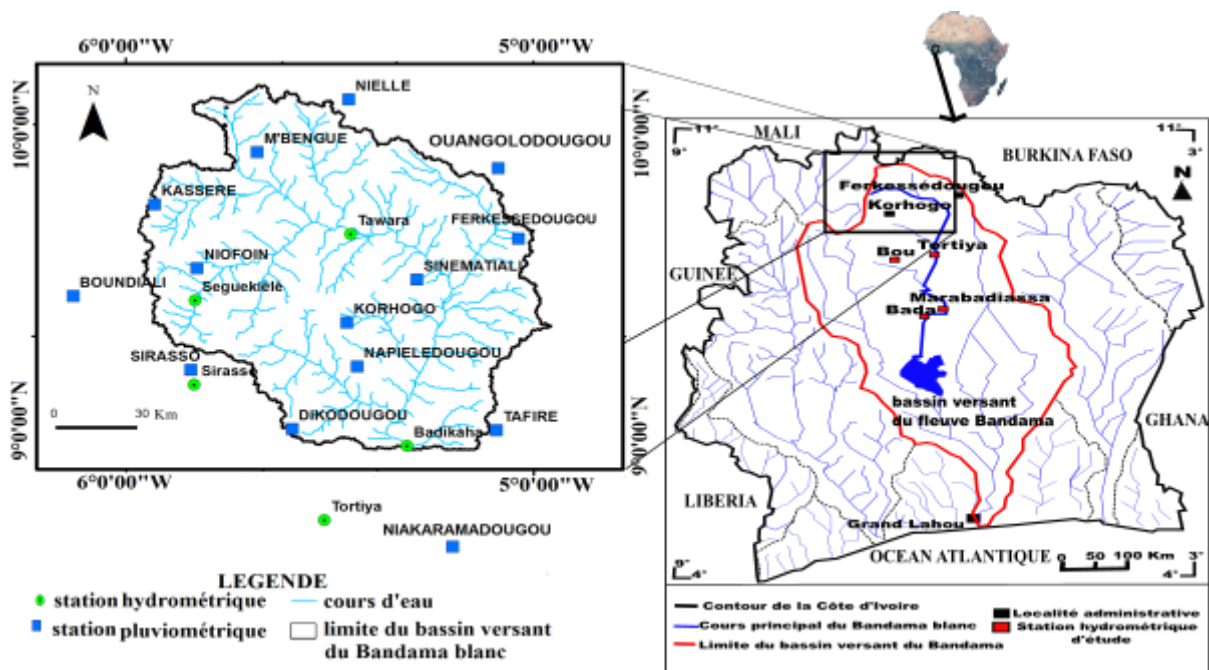


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Les données climatiques utilisées dans cette étude sont au pas de temps mensuel et ont été obtenues auprès de la Société de d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) et de la Compagnie Africaine de Sucre de Côte d'Ivoire (SUCAF). Elles concernent les stations pluviométriques de Boundiali, Ferkessédougou, Korhogo et Ouangolodougou. La station hydrométrique de Badikaha, située

à l'exutoire du bassin d'étude, a servi pour les données de débit. La station synoptique de Korhogo a été utilisée pour la température. L'évapotranspiration potentielle a été estimée, par la méthode de Thornthwaite, à partir des données de température de la station synoptique de Korhogo. Compte tenu de la faible variabilité spatiale de ces deux paramètres, on peut estimer les informations fournies par la station de Korhogo comme suffisantes (Dezetter, 1991).

Les données pluviométriques des stations de Boundiali, Ferkessedougou, Korhogo et Ouangolodougou ont été utilisées car elles présentant les plus longues chroniques et peu de lacunes. Ces données ont été comblées soit par les valeurs de pluie de stations voisines ayant fonctionné durant le mois manquant, soit par la moyenne pondérée par la tendance mensuelle des stations.

L'analyse des régressions linéaires et des corrélations entre la station de Badikaha, située à l'exutoire, et les stations voisines de Tortiya, Tawara, Seguékiélé et Sirasso, ont permis de combler les lacunes les séries hydrométriques de Badikaha (Ardoin-Bardin, 2004).

L'indice standardisé d'une variable hydrologique ou météorologique est l'écart relatif entre la valeur et la moyenne de cette variable mesurée à une station (Da Silva *et al.*, 2015). Il a permis de montrer les tendances dans les séries hydro-climatiques.

Le test statistique non paramétrique de Mann-Kendall a permis de savoir si les tendances (à la hausse ou à la baisse) observées dans les séries de données sont importantes ou pas en fonction des seuils de significativité (5 et 10 %) (Liuzzo *et al.*, 2017).

2. Résultats

A partir de l'application de la méthode de l'indice standardisé, les résultats ont permis de dégager trois tendances majeures dans les séries pluviométriques annuelles (Figure 2), saisonnières et mensuelles du bassin. D'abord, à partir de 1950 a débuté une période humide et de hautes eaux qui a duré jusqu'aux années 1970. Particulièrement, à la station de Ouangolodougou, cette période humide a déjà pris fin en 1960. Cela est confirmé par les indices de pluie avoisinant +2, un débit moyen annuel ($164.2 \text{ m}^3/\text{s}$) supérieur au débit moyen annuel de la série ($103 \text{ m}^3/\text{s}$), une pluie moyenne (1500 mm), supérieure à la pluie moyenne annuelle du bassin (1200 mm). Ensuite, exceptionnellement, de 1961 à 1974, la station de Ouangolodougou a enregistré une période normale durant laquelle les indices de pluies étaient proches de 0. Durant cette période humide, on note la survenue de quelques années exceptionnellement sèches (1958, 1961, 1967) sur l'ensemble du bassin d'étude. Enfin, à partir des années 1970 jusqu'à 2000, il y a eu une période sèche, de basses eaux, caractérisée par des indices pluviométriques et hydrométriques négatifs. Durant cette période sèche, la pluie moyenne avoisine 1000 mm et le débit moyen ($60 \text{ m}^3/\text{s}$) est inférieur au débit moyen annuel de la série (Figure 3) avec l'année, 1990, exceptionnellement pluvieuse à Korhogo.

Les indices de température et d'évapotranspiration (Figure 3) se situent en dessous de zéro de 1950 à 1982, ce qui témoigne d'une période (26.4°C) moins chaude que la moyenne annuelle de la région (26.6°C). Par la suite, ces deux paramètres ont une tendance générale croissante jusqu'en 2000, avec une température moyenne égale à 27°C .

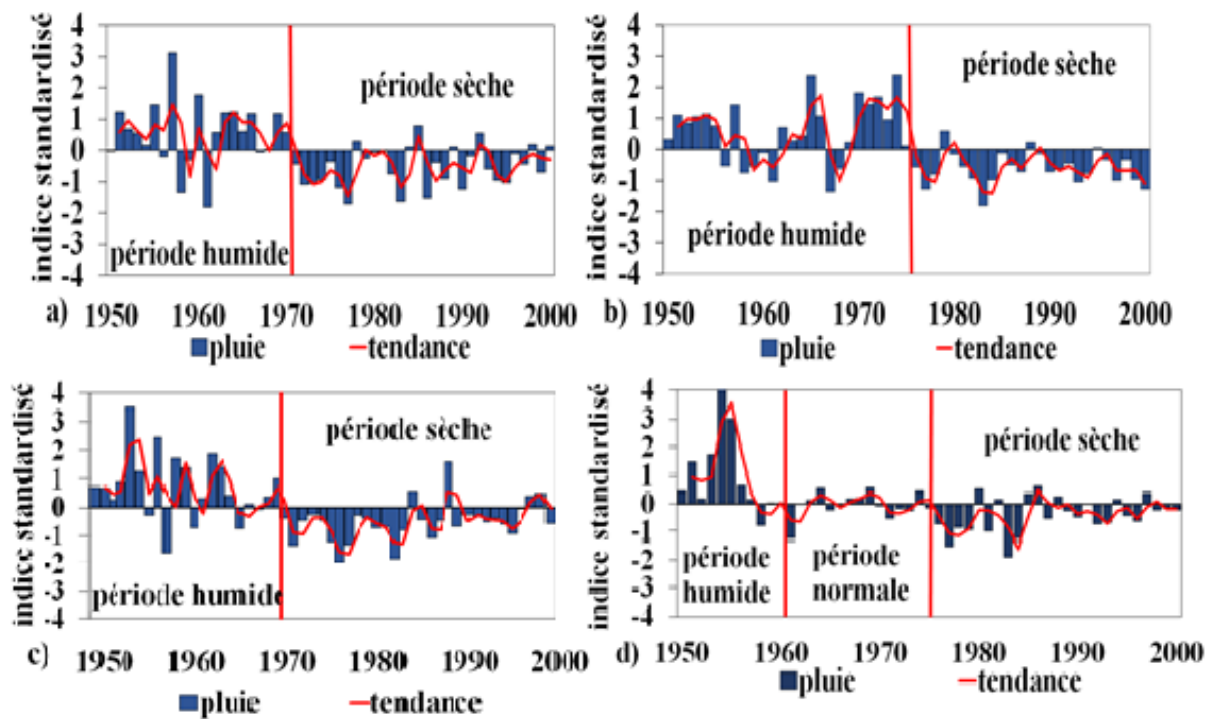


Figure 2 Variations interannuelles de la pluviométrie annuelle sur le bassin d'étude à la station de : a) Boundiali ; b) Ferkessédougou, c) Korhogo et d) Ouangolodougou

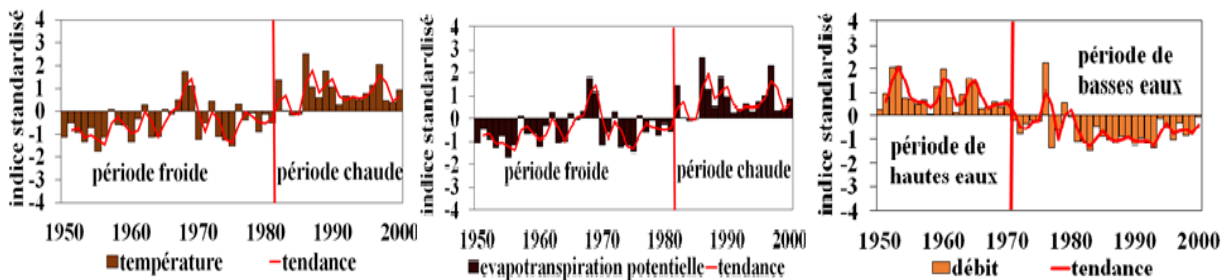


Figure 3 Variations interannuelles de la température et de l'évapotranspiration potentielle à la station synoptique de Korhogo et des écoulements à la station de Badikaha (exutoire du bassin).

Le test statistique de Mann-Kendall a été appliqué aux moyennes pluviométriques annuelle, saisonnière et du mois d'août, mois le plus pluvieux (Tableau 1), ainsi qu'aux moyennes annuelles de température et d'évapotranspiration potentielle. Ce test a permis de quantifier le niveau de significativité des tendances hydro climatiques déterminées précédemment. En effet, la pluviométrie moyenne annuelle sur l'ensemble du bassin d'étude a eu une tendance à la baisse seulement aux stations de Boundiali et Ferkessédougou au niveau de signification de $\alpha=10\%$. Alors que la pluviométrie moyenne en saison pluvieuse présente une tendance à la baisse sur l'ensemble du bassin aux niveaux de signification de 5 et 10 %, sauf à la station de Ferkessédougou, où il n'y a eu aucune tendance à 5% de niveau de signification. La pluie du mois le plus pluvieux, août, ne présente pas de tendance uniquement à la station de Boundiali alors qu'elle a été en baisse dans toutes les autres stations aux niveaux de signification de 5 et 10 %. La température et l'évapotranspiration potentielle ont été à la hausse de manière significative, alors que, l'analyse des séries de débit aux pas de temps annuel, saisonnier et mensuel montre une baisse significative des écoulements (Tableau 2).

Tableau 1. Résultats du test statistique de Mann-Kendall sur la pluviométrie annuelle, saisonnière et mensuelle de 1950 à 2000.

STATIONS	VARIABLES	Z_{MK}	p-value	Résultats des tests de tendance	
				$\alpha= 5\%$	$\alpha= 10\%$
BOUNDIALI	Pluie moyenne annuelle	-1.84	0.06	Pas de tendance	Baisse
	Saison pluvieuse	-2.89	0.00	Baisse	Baisse
	Pluie d'août	-1.57	0.11	Pas de tendance	Pas de tendance
FERKESSEDOUGOU	Pluie moyenne annuelle	-1.73	0.08	Pas de tendance	Baisse
	Saison pluvieuse	-1.67	0.09	Pas de tendance	Baisse
	Pluie d'août	-2.40	0.01	Baisse	Baisse
KORHOGO	Pluie moyenne annuelle	-1.10	0.26	Pas de tendance	Pas de tendance
	Saison pluvieuse	-2.39	0.01	Baisse	Baisse
	pluie d'août	-2.72	0.00	Baisse	Baisse
OUANGOLODOUGOU	Puie moyenne annuelle	-1.41	0.15	Pas de tendance	Pas de tendance
	Saison pluvieuse	-1.98	0.04	Baisse	Baisse
	Pluie d'août	-2.12	0.03	Baisse	Baisse

Tableau 2. Résultats du test statistique de Mann-Kendall sur les séries de température, évapotranspiration potentielle et débit de 1950 à 2000.

VARIABLES	PAS DE TEMPS	Z_{MK}	p-value	Résultats des tests de tendance	
				$\alpha= 5\%$	$\alpha= 10\%$
TEMPERATURE A LA STATION SYNOPTIQUE DE KORHOGO	Annuel	2.97	0.00	Hausse	Hausse
	Saison sèche	4.28	0.00	Hausse	Hausse
	Janvier	4.74	0.00	Hausse	Hausse
EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE A LA STATION SYNOPTIQUE DE KORHOGO	Annuel	2.74	0.00	Hausse	Hausse
	Saison sèche	4.54	0.00	Hausse	Hausse
	Janvier	4.30	0.00	Hausse	Hausse
DEBIT A LA STATION HYDROMETRIQUE DE BADIKAHA	Annuel	-8.98	0.00	Baisse	Baisse
	Saison humide	-5.53	0.00	Baisse	Baisse
	Septembre	-4.48	0.00	Baisse	Baisse

Sur le plan spatial, le test non paramétrique de Mann-Kendall a montré une variation des tendances et niveaux de significativité des paramètres hydroclimatiques aux différents pas de temps annuel (a), saisonnier (b) et mensuel (c) (Figure 4).

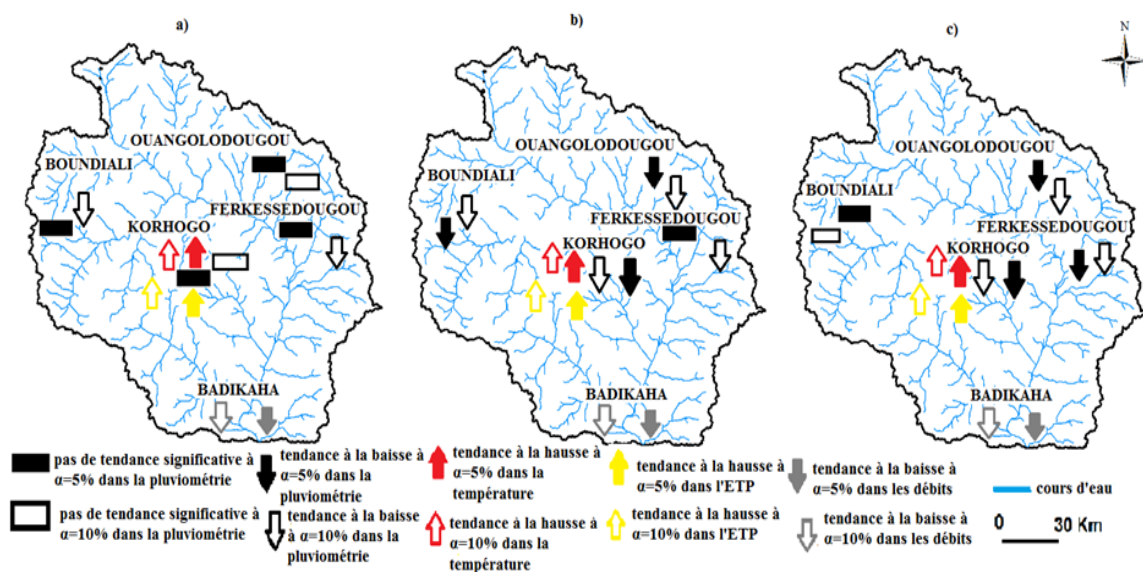


Figure 4. Variation spatiale dans les tendances des paramètres hydro-climatiques par le test de Mann-Kendall de 1950 à 2000.

Conclusion

Les résultats obtenus dans cette étude corroborent ceux obtenus dans d'autres travaux sur la variabilité climatique dans le bassin d'étude (Kouakou *et al.*, 2014). La tendance à la baisse de la pluviométrie mise en évidence par la méthode de l'indice standardisé (Figure 2 et 3) est peu significative statistiquement (Tableau 1 et 2), alors que la tendance à la hausse des températures et de l'évapotranspiration présente une significativité plus élevée. Cela porte à conclure que les changements du bilan hydrique ont été plus fortement influencé par l'augmentation de la température et de l'évapotranspiration que par la diminution de la pluviométrie. Par ailleurs, la diminution des écoulements significative suggère que des facteurs anthropiques (croissance démographique, développement de l'agriculture...) seraient à l'origine de la forte baisse des débits.

Remerciements

Nous adressons nos vifs remerciements à la Confédération Suisse qui finance ces travaux de recherche à travers la bourse d'excellence pour étudiants étrangers obtenue par Franck Zokou YAO.

Bibliographie

- Ardoin-Bardin S., 2004. *Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne*. Thèse de doctorat. Université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc. Spécialité : Mécanique, Génie Mécanique, Génie civil, 437 p.
- Dai A., Lamb P. J., Trenberth K. E., Hulme M., Jones P. D., Xie P., 2004. The recent Sahel drought is real. *International Journal of Climatology*, **24**, 1323-1331.
- Da Silva M. R., Santos G. A. C., Moreira M., Corte-real J., Silva L. C. V., Medeiros C. I., 2015. Rainfall and river flow trends using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. *Natural Hazard*, **77**, 1205-1221.
- Dezetter A., 1991. *Modélisation globale de la relation pluie débit. Application en zone de savanes soudanaises (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire)*. Thèse de Doctorat. Université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc. Spécialité : Mécanique, Génie mécanique, Génie civil, 274 p.
- Faye, C., 2017. Variabilité et tendances observées sur les débits moyens mensuels, saisonniers et annuels dans le bassin de la Falémé (Sénégal). *Hydrological Sciences Journal*, **62**, 259-269.
- Institut National de la Statistique (INS). 2014. *Résultats globaux du Recensement Général de la Population et de l'Habitat*. 26 p.
- Institut de Recherche et Développement (IRD), 1998. *KhronoStat version 1.0*. Logiciel, IRD, Montpellier.
- URL: www.hydrosciences.org/spip.php.article239.
- Kouakou E.; Koné, B.; N'Go A.; Cissé G.; Ifejika Speranza C.; Savané I., 2014. Ground water sensitivity to climate variability in the white Bandama basin, Ivory Coast. *SpringerPlus*, **3**, 226. 11 p.
- L'Hôte Y., Mahe G., Some B., 2003. The 1990s rainfall in the Sahel: the third driest decade since the beginning of the century. *Hydrological Sciences Journal*, **48**, 3. pp 493-496.
- Liuzzo L., Enrico Bono E., Sammartano V., Freni G., 2017. Long-term temperature changes in Sicily, Southern Italy. *Atmospheric Research*, **198**, 44-55.
- Ozer P., Ercicum M., Demaree G., Vandiepanbeek M. (2003) The Sahelian drought may have ended during the 1990s, *Hydrological Sciences Journal*, **48**, 489-492.
- Patuel J. E., Servat E., Delattre O. M., 1998. Analyse de série pluviométrique de longue durée en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. *Journal des sciences hydrologiques*, **43**, 937-945.