

JOURNAL INTERNATIONAL

Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement

ISSN (electronic): 1737-9350

ISSN (printed): 1737-6688

Volume 2 - Numéro 3 - Juin 2017

Eau-Société-Climat'2017



**Ressources en Eau et Changement Climatique :
Impacts anthropiques et climatiques sur la
variabilité des ressources en eau**

Vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques

Rédacteur en Chef : Pr Noureddine Gaaloul

Publié par :

**l'Association Scientifique et Technique pour l'Eau et
l'Environnement en Tunisie (ASTEETunisie)**

"وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ"

سورة الأنبياء آية 30

Comité Scientifique International

<i>Hamadi Habaieb</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Noureddine Gaaloul</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Zouhaier Nasr</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Taoufik Hermassi</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Zohra Lilli</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INAT (Tunisie)</i>
<i>Mohamed Mechergui</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INAT (Tunisie)</i>
<i>Jamila Tarhouni</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INAT (Tunisie)</i>
<i>Mohamed Habib Sellami</i>	<i>Université de Jendouba -IRESA- ESIER (Tunisie)</i>
<i>Hechmi Belaid</i>	<i>Université de Jendouba -IRESA- ESIER (Tunisie)</i>
<i>Nagaz Kamel</i>	<i>Université de Sfax- IRA (Tunisie)</i>
<i>Kamel Zouari</i>	<i>Université de Sfax- ENIS (Tunisie)</i>
<i>Salwa Saidi</i>	<i>Université de Manar FST (Tunisie)</i>
<i>Mohamed Meddi</i>	<i>ENSH, (Algérie)</i>
<i>Ahmed Kettab</i>	<i>ENP, (Algérie)</i>
<i>Azzedine Hani</i>	<i>Université de Annaba (Algérie)</i>
<i>Mohammed Achite</i>	<i>Université de Chlef (Algérie)</i>
<i>Larbi Djabri</i>	<i>Université de Annaba (Algérie)</i>
<i>Abdelhalim Yahiaoui</i>	<i>Université de Bechar (Algérie)</i>
<i>Mohamed Bessenasse</i>	<i>Université de Saad Dahlab- Blida (Algérie)</i>
<i>Abdessamad Merzouk</i>	<i>Université de Tlemcen (Algérie)</i>
<i>Belkacem Bekkoussa</i>	<i>Université Mustapha Stambouli de Mascara (Algérie)</i>
<i>Guendouz Abdelhamid</i>	<i>Université de Blida I (Algérie),</i>
<i>Benabadj Noury</i>	<i>Université de Tlemcen (Algérie),</i>
<i>Nadia Machouri</i>	<i>Univ. Mohammed V (Maroc)</i>
<i>Abdelmajid Moumen</i>	<i>Université Nadour (Maroc)</i>
<i>Mhamed Amyay</i>	<i>Université de Fès (Maroc)</i>
<i>Abdelaziz Abdallaoui</i>	<i>Université Moulay Ismail (Maroc)</i>
<i>Saeid Eslamian</i>	<i>Université de. Isfahan (Iran)</i>
<i>Diop Ngom Fatou</i>	<i>UCAD FST (Sénégal)</i>
<i>Sousou Sambou</i>	<i>Univ. Cheikh Diop (Sénégal)</i>
<i>Soro Nagnin</i>	<i>UFR STRM (Cote d'Ivoire)</i>
<i>Gil Mahé</i>	<i>IRD (France)</i>
<i>Didier Orange</i>	<i>IRD (France)</i>
<i>Sabine Sauvage</i>	<i>IRD (France)</i>
<i>José Sánchez-Pérez</i>	<i>CNRS (France)</i>
<i>Christan Leduc</i>	<i>IRD (France)</i>
<i>Luc Descroix</i>	<i>IRD (France)</i>
<i>Jean-Denis Taupin</i>	<i>IRD (France)</i>
<i>Jean-Francois Vernoux</i>	<i>BRGM (France)</i>
<i>Dhafer Abbas</i>	<i>ISL Ingénierie (France)</i>
<i>Sami Lallahem</i>	<i>Société Ixsane – Lille (France)</i>
<i>Amjad Aliawi</i>	<i>Water Research Center, Kuwait Institute for Scientific Research (Kuwait),</i>

Préface



L'eau est une source indispensable à la vie. Elle est essentielle au développement industriel et agricole des sociétés humaines. Depuis que l'homme existe, il cherche à développer ses ressources en eau et garantir ses réserves en cette matière vivante notamment en la stockant, et à en améliorer la qualité, en la purifiant.

L'agriculture représente 70% des prélèvements par les secteurs agricole, municipal et industriel (y compris l'énergie). L'utilisation de l'eau dans l'agriculture peut représenter plus de 90% dans les pays où les aliments ne peuvent être produits sans eau (irrigation). Selon FAO une augmentation de 50% de la demande alimentaire en 2050 par rapport à 2006. Il est clair que, même avec l'utilisation de l'eau la plus efficace en l'agriculture, il faudra encore plus d'eau pour produire les aliments supplémentaires nécessaires en particulier pour ceux qui souffrent de l'insécurité alimentaire.

Dans le même temps, les changements climatiques devraient avoir un impact massif sur la disponibilité de l'eau en modifiant radicalement les régimes hydrologiques à travers le monde. Si ils ne sont pas traités correctement et en temps opportun, les conflits sur l'eau entre les secteurs, entre les personnes peuvent déclencher des conflits, menacer la sécurité alimentaire et augmenter les migrations. Une gestion responsable de l'eau agricole contribuera de manière importante à la future sécurité mondiale de l'eau. En effet, une gestion responsable est nécessaire dans chacun des secteurs utilisant de l'eau, même s'ils utilisent moins. Les effets attendus des changements climatiques sur le secteur agricole varient selon les régions et ne doivent pas pour autant inquiéter. L'adaptation doit être adoptée comme solution face à ces changements et aux différents problèmes qu'ils vont provoquer. Il faut s'adapter d'une manière progressive et augmenter la capacité d'adaptation par l'usage des technologies, le développement des infrastructures, du capital social, la promotion de la gouvernance, des connaissances et des compétences, outre la gestion des risques liés aux changements climatiques. Ainsi l'agriculture pourrait être modifiée à cause de plusieurs facteurs : les changements des températures, le niveau de l'humidité, des rayonnements ultraviolets, le niveau de CO₂, la présence d'animaux et d'insectes nuisibles ainsi que des maladies, la dégradation du sol et la sécheresse. Parmi ces problèmes figurent aussi la désertification, le surpâturage, la déforestation, la prolongation des périodes de sécheresse et la diminution des périodes de grandes précipitations.

Les conséquences des changements climatiques sont principalement : l'élévation du niveau de la mer et l'érosion, l'inondation des terres agricoles, des zones habitées et celles côtières, la salinité de l'eau souterraine. Les stratégies visant à réduire la pénurie d'eau au niveau sectoriel doivent être basées sur une compréhension approfondie du bilan hydrique, y compris les approvisionnements et les demandes en eau et leurs dimensions spatiales et temporelles. Le dialogue entre parties prenantes, la planification et / ou l'alignement entre planifications sont presque impossibles si les parties prenantes travaillent avec leurs propres systèmes d'information différents.

Tandis que les politiques d'atténuation s'attaquent aux causes des changements climatiques, les mesures d'adaptation sont destinées à aider les populations à surmonter les conséquences de ces changements. L'adaptation consiste à adopter des politiques et des pratiques pour préparer les populations aux effets des changements climatiques, en acceptant le fait qu'il est désormais impossible de les éviter complètement.

Les questions suivantes sont proposées à la discussion :

- *Comment la comptabilité de l'eau peut-elle aider à planifier les investissements et la répartition de l'eau entre les secteurs ?*
- *La comptabilité de l'eau peut-elle aider à gérer la pénurie d'eau pour l'agriculture ? Expériences à partager ?*
- *Comment développer les capacités humaines sur l'utilisation de la comptabilité de l'eau pour la gestion et la planification ?*
- *Peut-on survivre avec la salinité des eaux ?*
- *Peut-on penser l'adaptation aux changements climatiques ?*
- *Effets du changement climatique sur les ressources en eaux ?*
- *Impact du changement climatique sur les ressources en eaux ?*

Nouredine Gaaloul
Professeur de l'Enseignement Supérieur Agricole (INRGREF)
Président de l'ASTEE *Tunisie*
Président et Coordinateur ESC-2017

Sommaire

Vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques	6
Gbombele Soro (UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, - Côte d'Ivoire), Ernest Kouassi Ahoussi, Abou Traore, Nagnin Soro <i>Impacts de la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans le «V» Baoulé (centre de la Côte d'Ivoire) au cours de la période 1966-2000 sur les ressources en eau.</i>	7
Houda Rebai (Université de Tunis - Tunisie) <i>Impact du régime des pluies sur la dynamique érosive d'un bassin versant vertique et gypseux : cas de Fidh Ali (Kairouan)</i>	11
Sohou Laurenda Rose (Université de Lomé - Togo), Luc Ollivier Sintondji, Jean Mianikpo Sogbedji ; Euloge Kossi Agbossou <i>Une technique de conservation de l'eau pour les cultures : résidus de récolte du riz avec apport d'azote pour la production du piment</i>	15
Oga Yéï Marie Solange (Université Félix Houphouët Boigny - Côte d'Ivoire), Kpan Oulai Jean Gautier, Baka Derving, Yao Koffi Théodore, Biemi Jean <i>Adaptations des populations face aux impacts hydrologiques et environnementaux de la variabilité climatique dans le Sud-Est côtier de la Côte d'Ivoire</i>	21
Hamchaoui Samir (Université de Bejaia - Algérie), Boudoukha Abderrahmane, Benzerra Abbas <i>Performance des services d'eau potable face à l'aléa pluviométrique</i>	25
Yapi Assa Fabrice (Université FHB, Abidjan - Côte d'Ivoire), N'GNESSAN Bi Vami Hermann, OGA Yeï Marie Solange, KOUADIO Boyossoro Hélène <i>Caractérisation de la sécheresse météorologique dans la région de la Marahoué : apport de l'Indice Standardisé de Précipitation (SPI)</i>	29
Belaid Hechmi (Université de Carthage-ESIM-IRESA, Tunisie), Hammadi Habaieb <i>Etude des intensités instantanées en 15' et 30', répercussions sur l'érosivité des pluies et les pertes enterrées et mesures d'adaptation en milieu semi-aride Tunisien.</i>	33
Aissatou Lamarana Bah (Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire de Faranah - Guinée), Adama Oueda, Abdoulaye Barry, Gustave Kabre <i>Qualité des eaux du fleuve Niger et leur aptitude à l'irrigation à Faranah-Guinée</i>	37
Balah Belkacem (Département d'hydraulique Pole de technologie, Ain Beida - Algérie) <i>Climat de l'Est Algérien en liaison avec la zone de convergence intertropicale (ZCIT).</i>	41



*Vulnérabilité des ressources
en eau aux changements
climatiques*

Impacts de la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans le «V» Baoulé (centre de la Côte d'Ivoire) au cours de la période 1966-2000 sur les ressources en eau.

Gbombele SORO ^{1*} ; Ernest Kouassi AHOUSI ², Abou TRAORE³, Nagnin SORO⁴

1 Laboratoire des Sciences et techniques de l'eau et de l'Environnement, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, +225 09862685 ; 22 BP 582 Abidjan 22, marc_soro@yahoo.fr*

2. Laboratoire des Sciences et techniques de l'eau et de l'Environnement, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, 22 BP 582 Abidjan 22 ; ahoussi_kouassi@caramail.com

3. Laboratoire des Sciences et techniques de l'eau et de l'Environnement, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, 22 BP 582 Abidjan 22, bouareta@yahoo.fr

4. Laboratoire des Sciences et techniques de l'eau et de l'Environnement, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, 22 BP 582 Abidjan 22, soro_nagnin@yahoo.fr

Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'impact de la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie sur les ressources en eau dans le « V » Baoulé au centre de la Côte d'Ivoire. Les chroniques pluviométriques 1966-2000 de treize stations ont été utilisées. La méthode est basée sur le calcul et l'analyse des indices pluviométriques de Nicholson, le filtre passe-bas de Hanning et le test de Pettitt. La cartographie des isohyètes de même que celle des indices a permis de mettre en évidence une variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans le « V » baoulé dans le SW-NE traduite par une réduction des pluies de 2%. Les conséquences de cette baisse des pluies fut la réduction de la superficie du lac du barrage hydro-electric de Kossou de 60%. Cette situation a également provoquée un déplacement des populations à la recherche de zones plus favorables pour l'agriculture.

Mots clés : Variabilité, pluviométrique, indices, ressources en eau, « V baoulé », Côte d'Ivoire

Impacts of the spatio-temporal variability of the rainfall in "V" Baoulé (center of Côte d'Ivoire) in the period 1966-2000 on water resources.

Abstract

This study aims to assess the impact of rainfall spatiotemporal variability on water resources in "V" baoulé. It is based on the exploitation of rainfall data between 1966-2000 of 13 stations. Therefore, Nicholson index, the filter of Hanning and the statistic test of Pettitt are applied to highlight changes in rainfall regime. Moreover the mapping of the isohyets and the rainfall index highlights a gradient of spatiotemporal variation of rainfall SW-NE in "V" baoulé. This gradient reveals a decrease of 2% of rainfall. The consequence of this modification is the decrease of the area of 60% of the lake of Kossou hydroelctric dam. Futhermore, rural populction moves to search a suitable area to pratice agriculture.

Key Words: variability, rainfall, index, water resource, "V baoulé", Côte d'Ivoire

Introduction

Les économies des pays en voie de développement sont fragiles car elles reposent généralement sur le secteur agricole qui est tributaire des aléas climatiques. Les populations rurales de l'Afrique subsaharienne sont les plus touchées par les effets du changement climatique. Le « V » baoulé situé au centre de la Côte d'Ivoire est une zone à vocation agricole avec beaucoup de retenues d'eau aménagées pour l'agriculture et l'agropastoral. La variabilité climatique décrit la fluctuation des valeurs saisonnières ou annuelles des paramètres climatiques par rapport aux moyennes temporelles de référence [1].

Les effets négatifs de la variabilité des précipitations sur la disponibilité des ressources en eau se manifestent par la baisse des débits des rivières, le tarissement des nappes avec son corollaire de réduction des plans d'eau naturels et artificiels. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie sur les ressources en eau dans le «V» baoulé sur la période 1966-2000.

I. Description du milieu et Méthodologies

1.1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située au centre de la Côte d'Ivoire. La végétation est constituée de forêt mésophile, de forêts-galeries, de savanes arbustives ou de savanes à rôniers. La limite de la grande forêt équatoriale et de la grande savane subtropicale traverse la partie Sud de la région étudiée. La savane s'enfonce dans la forêt suivant un golfe célèbre en forme de V appelée le « V baoulé » [2] (Figure 1). Le climat de la zone est de type équatorial de transition atténué compris entre les climats de type guinéen et de type soudanien [2 ; 3] et est caractérisé par deux principales saisons. La hauteur des précipitations varie de 1200 à 1600 mm/an avec un déficit hydrique cumulé allant de 205 mm à 450 mm [4]. C'est une zone dominée par de nombreuses retenues d'eau colinéaires, de nature diverses aménagées pour la plupart entre 1970 et 1985. La superficie aménagée est estimée à 2 350 ha avec un volume total stocké annuellement estimé à $276,8.10^9$ m³ du fait de la présence du lac du barrage hydroélectrique de Kossou construit en 1972 [4]

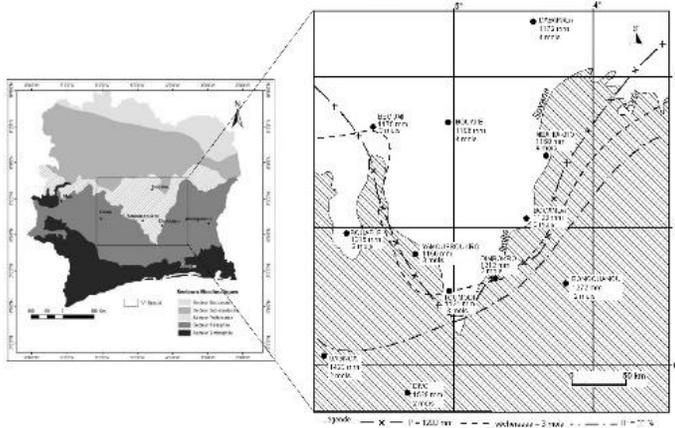


Figure 1 : Situation géographique du « V » Baoulé (Centre de la Côte d'Ivoire) [2 ; 3].

1.2. Méthodologies

Les données pluviométriques ont été obtenues auprès de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire et Météorologique (SODEXAM). La chronique allant de 1966 à 2000, commune à treize (13) stations de la zone a été retenue car elle présente des données régulières et uniformes. De plus l'application du test de double cumul a permis de montrer l'homogénéité des données. La station de Yamoussoukro a été retenue comme station de référence. La cartographie des isohyètes calculées pour les périodes 1966-1975 ; 1976-1985 ; 1986-1995 et de 1996 à 2000 a été réalisée à l'aide du logiciel surfer. Elle permet de comprendre la dynamique spatiale de la pluviométrie dans la zone.

L'Indice pluviométrique de Nicholson permet de mesurer l'écart par rapport à une moyenne établie sur une longue période en se référant aux données des stations. L'indice pluviométrique annuel est défini comme une variable centrée réduite. Il est obtenu par calcul à l'aide de la formule proposée par [5]. Il traduit soit un excédent ou un déficit pluviométrique pour l'année considérée par rapport à la période de référence. Une cartographie des indices pluviométriques obtenus a été réalisée sur les périodes 1966-1985, 1986-1995 et 1996-2000.

Le Filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2 (« moyennes mobiles pondérées ») permet d'éliminer les variations saisonnières dans une série chronologique donnée. Le calcul des totaux pluviométriques pondérés est effectué au moyen des équations (1 à 6) données par [6]. Cette méthode paraît plus efficace car, elle permet de découper de façon perceptible les séries.

Une rupture est un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné, le plus souvent inconnu [7]. Le test de Pettitt [8] a été utilisé pour sa puissance et robustesse dans le but de détecter les ruptures dans les séries pluviométriques de Yamoussoukro et de Tiébissou.

2. Resultats et discussion

2.1. Déplacement des isohyètes dans la zone d'étude

L'analyse du déplacement des isohyètes de 1966 à 2000 a été effectuée en découpant la série en quatre périodes (Figure 2). La première période qui va de 1966 à 1975 montre que les stations de Yamoussoukro et de Tiébissou sont comprises entre les isohyètes 1100 et 1200. De 1976 à 1985, l'isohyète 1200 s'est écartée des stations de Yamoussoukro et de Tiébissou laissant place à l'isohyète 1100. Au cours de la période 1986-1995, on assiste à une dominance de l'isohyète 1100 sur la partie nord de la zone d'étude au détriment de l'isohyète 1200. Cette situation semble cependant évoluer fortement dans la dernière période (1996-2000). En effet, l'isohyète 1200 est remontée jusqu'à atteindre Béoumi plus au Nord. Quant à l'isohyète 1100, son aire de répartition s'est considérablement réduite par rapport à la période précédente.

La zone d'étude est caractérisée par les isohyètes 1200 et 1100 qui fluctuent selon les périodes. On assiste également à une décroissance de la pluviométrie entre 1966 et 2000 selon un gradient SW-NE qui traverse le « V » Baoulé dans le sens de la direction des vents dominants (la mousson SW et l'Harmattan NE). Les hauteurs pluviométriques diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer en Côte d'Ivoire. Cette baisse pluviométrique est certes liée à l'effet de continentalité des pluies mais elle serait aussi le résultat de la destruction des îlots forestiers et galeries au profit des cultures intensives. En effet, dans la zone, l'impact anthropique se manifeste par la dégradation du couvert forestier au profit de nouvelles parcelles cultivables.

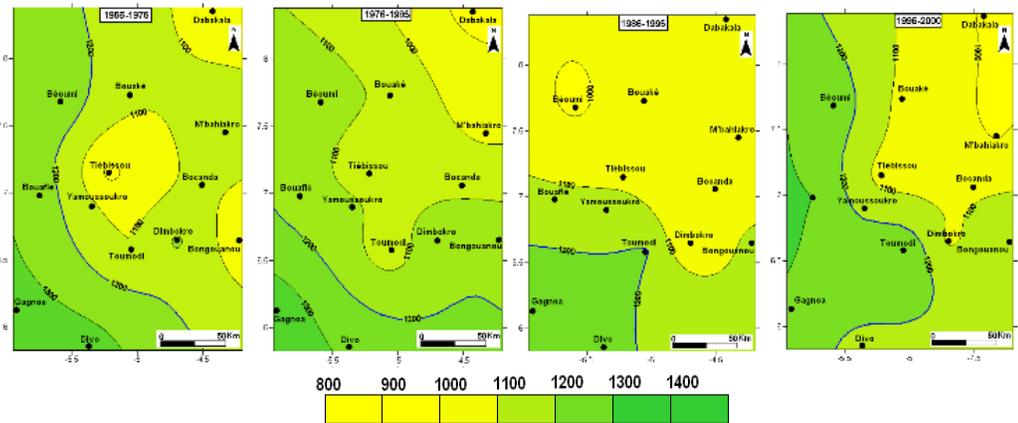


Figure 2: Evolution spatio-temporelle des isohyètes dans le V baoulé (1966-2000).

2.2. Analyses des indices pluviométriques et Test de Pettitt

Les indices pluviométriques montrent une forte variabilité interannuelle avec une alternance de phase déficitaire (1966-1978) et de phase excédentaire (1979-2000) à la station de Yamoussoukro ; A la station de Tiébissou, on note une phase excédentaire de 1972 à 1987 et une phase déficitaire de 1987 à 2000. La cartographie des indices pluviométriques moyennes sur les périodes 1966-1975, 1976-1985, 1986-1995 et 1996-2000, a montré que la période 1996-2000 est la plus déficitaire (Figure 3). On remarque également qu'au cours de la période 1966-1975, la zone évolue globalement dans une phase d'humidité. Le front d'humidité est plus élevé à l'Est et diminue au fur et à mesure qu'on avance vers l'Ouest. En outre, la fluctuation interannuelle de la pluviométrie s'accompagne de ruptures dans les deux séries en 1970 à la station de Yamoussoukro et en 1969 à celle de Tiébissou. Ces deux ruptures sont caractérisées une diminution des précipitations estimée à environ 2% [9]. Cette valeur est inférieure à celles obtenues dans les études précédentes qui varie entre 16 et 27% [1; 10]. Par ailleurs, cette rupture correspond à la décennie qui a commencé vers la fin de la décennie 60 et le début de la décennie 70 en Afrique de l'Ouest. Cette sécheresse a créé un fort déficit pluviométrique dont les effets ont été ressentis au niveau des cours d'eau et des forages d'eau dans la zone. Par ailleurs, la probabilité de dépassement de la valeur critique du test de Pettitt est environ égale à 90 % pour les deux séries observées. De ce fait, les ruptures détectées ne sont pas trop significatives. Par conséquent la moyenne des hauteurs annuelles de pluie n'a subi aucun changement significatif. Selon [11], ce déficit a entraîné de nombreuses défaillances dans le fonctionnement des aménagements hydroélectriques en Côte d'Ivoire. L'une des conséquences visible de cette variabilité de la pluviométrie est observable au niveau du lac du barrage hydroélectrique de Kossou mis en service en 1972. Au départ, ce lac couvrait une superficie estimée à 1500 km² pour une cote des basses eaux de 203 m. Actuellement, on relève une superficie d'environ 900 km² pour une cote moyenne des eaux de 184 m au cours des années 2000 [12]. Cette réduction de la superficie du

lac d'environ 60% pourrait être imputable à la forte évaporation qui a lieu dans la zone et dont l'effet immédiat est ressenti au niveau de l'écoulement de surface.

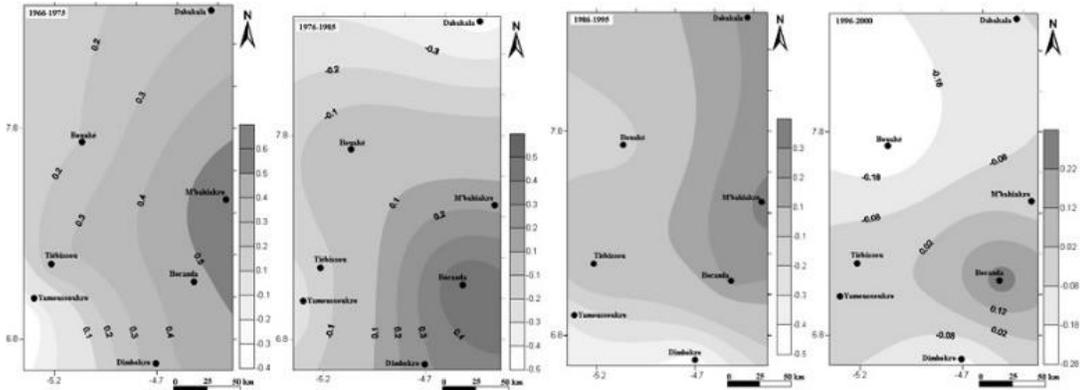


Figure 3: Evolution spatio-temporelle des indices pluviométriques décennaux de 1966 à 2000 dans le « V » Baoulé.

Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence une variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans le « V » baoulé. L'analyse de la carte des isohyètes a mis en évidence un gradient pluviométrique SW-NE qui traduit une diminution des pluies du sud vers le nord avec une valeur estimée à 2%. De même, deux ruptures ont été détectées dans la série pluviométrique de Yamoussoukro en 1970 et dans celle de Tiébiéssou en 1969. La rupture de 1970 s'inscrit dans le période de sécheresse qu'a connu l'Afrique de l'Ouest. La baisse de la pluviométrie dans cette zone a eu pour effet une baisse du niveau des eaux de surface et le dénoyage des forages d'eau dans la zone. Par ailleurs, le lac du barrage hydroélectrique de Kossou a subi fortement ces effets avec une réduction de sa superficie de 60% et de sa cote. L'une des conséquences visibles de cette situation est le déplacement des populations à la recherche de zones plus favorables pour l'agriculture.

Références

[1] E. Servat, J-E. Paturol, H. Lubès-Niel, B. Kouame, J.M. Masson, M. Travaglio, B. Marieu, De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne. *Revue des Sciences de l'Eau*, 12 (2) (1999) 363-387

[2] Z. A. Tra Bi, Y. T. Brou, G. Mahe, Analyse par télédétection des conditions bioclimatiques de végétation dans la zone de contact forêt-savane de Côte d'Ivoire : cas du « V » baoulé : XXVIII colloque de l'association internationale de climatologie, Liège (2015) 78-83

[3] K.E. N'guessan, Etude de l'évolution de la végétation du « V Baoulé » (contact forêt/savane en Côte d'Ivoire) par télédétection. *Télédétection sécheresse*. Ed. AUFELF-UREF, (1990) 181-196.

[4] Programme Sectoriel d'Aménagement Rural PSAR 1996 : Inventaire et diagnostic des barrages, DCGTX, (1996). p.95.

[5] P.J. Lamb, Persistence of Subsaharan drought. *Nature* 299, September (1982) 46-47.

[6] A. Assani, Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à Lubumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation océanique (El Niño/La Niña). *Sécheresse* n° 4, vol. 10, (1999) 245-252.

[7] H. Lubès-Niel, J.M. Masson, E. Servat, J.E. Paturol, B. Kouamé, J.F. Boyer, Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques - Etude bibliographique. *ORSTOM, FRIEND AOC, Programme ICCARE*, N° 3 (1994).

[8] A.N. Pettitt, A non-parametric approach to the change -point problem. *Appl. Statist.* 28(2) (1979) 126-135.

[9] S. Ardoin, Variabilité hydroclimatique et son impact sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France, 2004.

[10] G. SORO, Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eaux souterraines de la région des Lacs (centre de la Côte d'Ivoire) : Hydrogéologie et hydrochimie des aquifères continus du district de Yamoussoukro et du département de Tiébiéssou., Thèse unique de doctorat, Université de Cocody, Côte d'Ivoire 2010.

[11] J.C. Olivry, Etudes régionales sur les basses eaux ; les effets durables du déficit des précipitations sur les étiages et les tarissements en Afrique de l'Ouest et du centre. XII^{ème} journées hydrologiques de l'ORSTOM, Montpellier, France, 10-11 octobre (1996).

[12] P. Fabio, O. Njifonjou, J. Assienan, A. Kodjo, Y. Ndia, N. Salvati, C. Seghieri, (2002). Profil de pauvreté des communautés riveraines du Lac de Kossou en Côte d'Ivoire. Cotonou, Programme pour des moyens d'existence durable dans la pêche en Afrique de l'Ouest. DFID-FAO. PMEDP/RT/17 (2002) 90p.

Impact du régime des pluies sur la dynamique érosive d'un bassin versant vertique et gypseux : cas de Fidh Ali (Kairouan)

Houda REBAI (1) Damien RACLOT (2 et 3) et Hédi BEN OUEZDOU(1)

1 Laboratoire de Cartographie Géomorphologique des Milieux, des Environnements et des Dynamiques CGMED,

Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis, Tunisie, houdarebai@gmail.com; hbenouezdou@gmail.com

2 LISAH, Univ. Montpellier, IRD, INRA, Montpellier SupAgro, Montpellier, France, E-mail: damien.raclot@ird.fr.

3 IAV Hassan 2, Rabat, Morocco, E-mail: damien.raclot@ird.fr.

Résumé

Au sein d'une stratégie nationale de mobilisation des eaux de surface, la Tunisie a réalisé près de 900 lacs et barrages collinaires depuis les années 90, principalement dans la Dorsale tunisienne et le Cap Bon. Fortement répandues dans le milieu méditerranéen, les ravines sont considérées comme une importante source de production de sédiments et leur responsabilité dans l'envasement rapide des retenues collinaires et la diminution de la capacité de mobilisation des eaux a été mise en évidence à plusieurs reprises. Dans ce contexte, l'objectif de ce travail était d'étudier le rôle des fortes pluies sur la dynamique morphologique actuelle du ravinement. Une démarche en 3 étapes a été retenue. Nous avons tout d'abord analysé la fréquence des fortes pluies, définies comme une pluie journalière supérieure à 20 mm. Nous avons ensuite analysé l'évolution des longueurs de ravins pour différentes périodes s'étendant entre 1952 et 2016 grâce à la photo-interprétation des photographies aériennes historiques. Enfin nous avons recherché des corrélations entre le nombre de jours de fortes pluies et l'évolution des longueurs des ravines au cours des différentes périodes analysées. Cette démarche a été mise en œuvre sur un bassin versant de 240 ha caractérisé par des sols ayant une forte dynamique structurale et de forts taux de gypse en zone semi-aride de la Tunisie. Elle a permis de montrer que l'évolution du ravinement sur le bassin versant est très reliée à l'occurrence de fortes pluies, ce qui signifie que le régime des fortes pluies joue un rôle de premier ordre dans la dynamique du ravinement dans le contexte semi-aride tunisien. Ce résultat est important pour anticiper l'impact du changement climatique sur le ravinement en Méditerranée.

Mots-clés : pluies, ravinement, zone semi-aride, photographies aériennes, SIG.

Impact of rainfall on gully erosion in a gypsum watershed: case of Fidh Ali (Kairouan)

Abstract

As part of a national strategy to mobilize surface water, Tunisia has built nearly 900 lakes and hill dams since the 1990s, mainly in the Dorsale tunisienne and Cap Bon. Widespread in the Mediterranean environment, gullies are considered as an important source of sediment production and their responsibility for the rapid silting up of hill reservoirs and the reduction in water mobilization capacity has been highlighted several times. In this context, the objective of this work was to study the role of heavy rains on the current dynamics of gully erosion. A 3-step approach was chosen. First, we analyzed the frequency of heavy rainfall, defined as daily rainfall greater than 20 mm. We then analyzed the evolution of ravine lengths for different periods between 1952 and 2016 using photo-interpretation of historical aerial photographs. Finally, we looked for correlations between the number of heavy rainy days and the evolution of ravine lengths during the different periods analyzed. This approach was implemented in a 240 ha catchment characterized by soils with strong structural dynamics and high gypsum rates in semi-arid Tunisia. It showed that the evolution of gullying in the watershed is closely linked to the occurrence of heavy rains, which means that the heavy rainfall regime plays a major role in the dynamics of gullying in the semi-arid Tunisian context. This result is important to anticipate the impact of climate change on gullying in the Mediterranean.

Keywords: rainfall, gully, semi-arid area, aerial photographs, GIS.

Introduction

L'érosion des sols est un phénomène largement répandu dans les différents pays de la méditerranée du fait de la nature torrentielle des pluies, de la forte vulnérabilité des terrains, du surpâturage et de la pression anthropique particulièrement forte sur les régions côtières. En Tunisie, le Ministère de l'Agriculture et des Ressources hydrauliques évalue à 3 millions d'hectares la superficie des terres menacées par l'érosion hydrique dont la moitié est gravement affectée.

Les études consacrées aux facteurs d'érosion linéaire (Roose, 2000; Poesen et al., 2003) montrent que le ravinement dépend fortement du volume ruisselé, du type de sol ou de substratum et de la protection de la surface du sol par la couverture végétale. Le volume ruisselé dépend de l'intensité des pluies et de la capacité du sol à l'infiltration. Quant à la nature du substratum, les argiles et les marnes, formations géologiques fréquentes dans les régions méditerranéennes, sont très vulnérables au ravinement (Roose, 2000). Par ailleurs, Vandekerckhove et al. (2000) ont montré que le type de couverture végétale, qui est lui aussi fortement tributaire du régime de pluie, est important pour expliquer l'apparition des ravins et la progression des têtes de ravins. Par ailleurs, la région méditerranéenne est considérée comme une région très affectée par le changement climatique (Giorgi & Lionello, 2008), avec un impact sur les températures et sur le régime des pluies (Dubrovský et al., 2013), notamment avec une augmentation de l'occurrence de pluies intenses durant le 21ème siècle (IPCC, 2014). Dans un contexte allant très forte irrégularité des précipitations et faible disponibilité des ressources en eau souterraine, la Tunisie a développé un ambitieux programme de mobilisation des ressources en eau de surface par l'intermédiaire de la construction de barrages et de lacs collinaires. L'envasement rapide de certaines retenues révèle la nécessité d'étudier les facteurs responsables du rythme de leur envasement, afin de permettre d'anticiper l'effet du changement climatique sur les capacités de rétention de ces ouvrages.

I. Matériels et méthodes

I.1 Site d'étude

Le bassin versant de Fidh Ali (9°34'et 9°35'E, 35°42'et 35°43'N) appartient au secteur de Khit El Oued situé à 15 km au nord-ouest de la localité de Haffouz dans le gouvernorat de Kairouan. Il a une superficie de l'ordre de 240 ha. Le réseau hydrographique du bassin versant Fidh Ali est d'une forme nettement radiale avec un éventail plus allongé vers l'amont. Ce bassin alimente depuis 1991 une retenue d'une capacité initiale d'environ 135000 m³. Ce bassin versant est délimité du côté nord-ouest par une série de collines qui culminent à 470 m. L'altitude minimale est de 360 m soit une dénivellation de 110 m. 70.9 % de la superficie totale du bassin versant présente des pentes très faibles (inférieure à 6°) et les pentes moyennes (6-15°) et fortes (>15°) n'occupent que 24.8% et 4,3 % de cette superficie. Le bassin de Fidh Ali se situe dans le sous-étage bioclimatique semi aride inférieur. La pluviométrie moyenne annuelle de la région est de 375 mm, mais le régime de pluie présente de très fortes irrégularités saisonnières et interannuelles. Du point de vue structure, Fidh Ali occupe une petite partie de la voûte érodée d'un anticlinal orienté nord-est sud-ouest, de quelques 12 à 15 km de large et à flancs dissymétriques. Les plus forts pendages des couches géologiques (>10°) sont situés sur le flanc sud-est en rive droite du bassin versant et les plus faibles, sur le flanc nord-ouest, en rive gauche. Les variations lithologiques ont une grande importance sur la différenciation des sols et par voie de conséquence, sur leurs comportements hydrodynamiques et leurs réactions face à l'action de l'érosion.

La lithologie du bassin versant est composée essentiellement de formations marno-gypseuses avec des bancs lumachelliques. L'esquisse pédologique du bassin versant de Fidh Ali, montre que, les sols calcimagnésiques bruns calcaires à tendance vertique sur marnes gypseuses ou calcimagnésiques bruns calcaires modaux sur calcaires marneux, sont les principaux types de sols du bassin versant de Fidh Ali.

I.2 Données disponibles

Quatre jeux de photographies aériennes (1952, 1962, 1974, 1989) à des échelles allant de 1:12500 à 1:25000 ont été mobilisés pour cette étude. Toutes les photographies ont été scannées à une résolution de 600 dpi, géoréférencées et intégrées sous SIG. Nous avons ensuite choisi d'analyser uniquement la partie centrale de chaque photographie, ce qui permet de minimiser les distorsions géométriques induites par le relief en prise de vue conique. Nous disposons également d'une image datant de 2014 accessibles via Google Earth pour caractériser l'état le plus récent.

Les affleurements lithologiques font référence à deux principales formations présentées souvent en intercalation. Il s'agit des Argiles gypseuses et des calcaires lacustres conglomératique.

Les pentes ont été dérivées des courbes de niveau de la carte topographique au 1:50000 puis regroupées en cinq classes. Les seuils entre les classes ont été choisis pour couvrir la susceptibilité de déclenchement des mécanismes de l'érosion: secteurs stables, secteurs où prédomine l'érosion diffuse, secteurs où apparaissent des mécanismes d'érosion linéaire de plus en plus marqués. Quant aux données climatiques journalières, elles proviennent du poste pluviométrique d'Oueslatia situé à 12 km au nord du bassin versant et couvrent la période 1952-2016.

I.3 Méthode

L'approche méthodologique suivie pour évaluer, à l'échelle d'un petit bassin versant de la Dorsale tunisienne, l'impact du régime de pluie sur la dynamique érosive en terme de présence et dynamique morphologique récente repose sur i) la caractérisation du régime des pluies la cartographie, et particulièrement des pluies journalières supérieures à 20 mm ; ii) la cartographie sous S.I.G de l'évolution du système ravinatoire sur une période d'une soixantaine d'année par interprétation d'une série d'images aériennes et de relevés détaillés de terrain ; iii) l'analyse du rôle des fortes pluies sur la dynamique temporelle du système ravinatoire.

II. Résultat et discussion.

II.1 Analyse de la répartition spatiale actuelle des ravins

La densité de drainage étant définie comme étant le rapport entre la longueur du réseau hydrographique et la superficie de la zone considérée est de l'ordre de 147.6 m/ha. Cette valeur considérée forte est due à la présence de forts taux d'argiles gonflantes et de gypse. Ces formations géologiques sont marquées par l'abondance des processus de dessiccation ou de fentes de retrait. Ainsi, les reculs dans les lits ou les cascades d'eau font apparaître des sortes de marmites observées notamment dans le cours moyen de l'affluent rive gauche et au lieu-dit « Kroumet Amara » (Fig.1. a). L'affleurement des bancs de calcaires créé des chutes d'eau dont la hauteur dépasse les trois mètres et aboutissent à la modification de la vitesse des eaux et augmentent par conséquence leur capacité de creusement. Dans le bassin Fidh Ali, l'érosion latérale par sapement des berges est intense. La morphologie et la géométrie des ravins caractérisés par plusieurs sinuosités facilitent l'activité de sapement qui est également accentuée par l'ouverture de fentes de retrait en haut du talus. Ces fentes, favorisent le détachement en blocs des berges ce qui constitue une importante source de sédiments qui seront charriés par les eaux d'écoulement au moment des pluies intenses. Ce phénomène est de nature à donner lieu à un recalibrage général du lit tout au long de l'oued. Dans le bassin versant de Fidh Ali, le gypse présent avec de fortes teneurs peut se dissoudre et se précipiter sous l'effet de la circulation d'eau et des vides souterrains parfois considérables peuvent se former (Fig.1.b). Ceci entraîne de nombreux effondrements et contribue à l'initiation ou à l'élargissement des sections d'entailles. De ce fait, les manifestations de l'érosion hydrique dans le bassin versant de Fidh Ali agissent conjointement avec la dissolution chimique.



a. Affleurement de bancs calcaires; des cascades d'eau



b. Reprécipitation du gypse

Figure 1. Les manifestations les plus répandues de l'érosion ravinatoire dans le bassin versant de Fidh Ali

II.2 Evolution de la longueur et de la densité du réseau de drainage

La progression annuelle moyenne en 64 ans (entre 1952 et 2016) est de 262 m. Dans ce bassin versant, la longueur totale des ravins s'est développée de 20,6 km en 1952 à 35,6 km en 2016. Plusieurs ramifications de ravin, localisées dans la partie amont et médiane, sont apparues, notamment entre 1962-1974 et 1989-2016. Une nette érosion régressive a également été observée au niveau de très nombreuses têtes des ravins lors des périodes 1952-1962 et 1962-1974. Le processus de comblement, de bien moindre ampleur, s'est manifesté lors de la période 1952-1962 dans la partie amont de l'affluent rive droite. Au niveau de la pente, les résultats montrent que la densité de drainage a connu une progression pour pratiquement toutes les classes de pentes. Le taux de progression est d'autant plus élevé que la pente est forte. Au niveau de la lithologie, la tendance générale sur plus de 60 ans montre une progression plus rapide du ravinement sur les formations composées d'argiles gypseuses.

II.3 Influence des événements pluvieux sur le ravinement

L'irrégularité interannuelle et inter-saisonnière des pluies est très nette dans le bassin versant de Fidh Ali. L'analyse des différences de rythme d'évolution au sein de chaque période montre que le changement de la longueur des ravins est très lié à la quantité des pluies et surtout aux événements dont la lame ruisselée dépasse 20 mm/jour, valeur

fréquemment utilisée dans la littérature (Roose, 2000). L'analyse de la relation de la progression annuelle de la densité de drainage (m/ha/an) par rapport aux jours de pluies > à 20 mm, est présentée dans la figure ci-après (Fig.2). Cette dernière montre une très bonne corrélation ($R^2 = 90\%$).

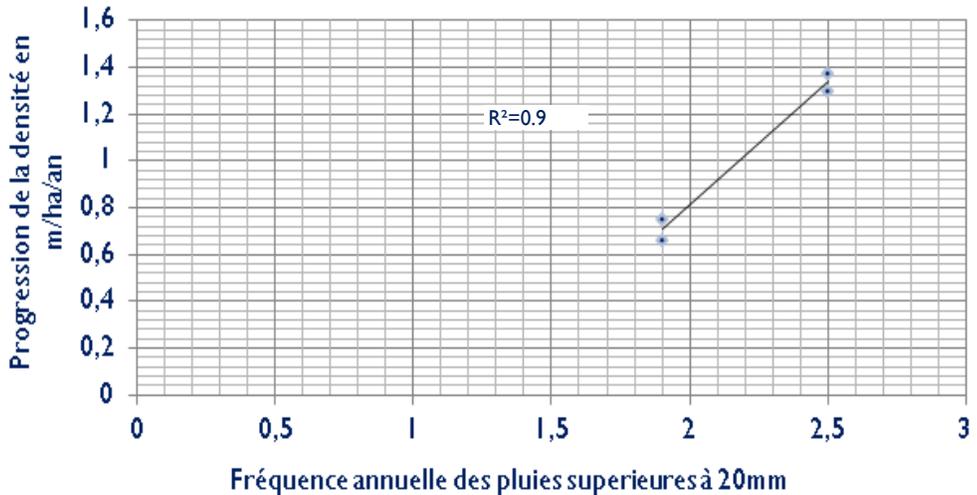


Figure 2. Analyse régressive de la fréquence annuelle des pluies supérieures à 20 mm/j par rapport à la progression annuelle de la densité de drainage

Les averses enregistrées survenues en octobre 1963 et 1964 avec 110 et 133.3 mm/j, octobre et septembre 1969 avec 114.1 et 130.7mm, octobre 1995 et 1996 avec 169.9 et 180 mm/jour ont largement contribué à la croissance des densités des ravins et l'extension des badlands lors de ces périodes. Ces résultats sont en cohérence avec ceux trouvés par Ben Ouedzou et al. (1991) au niveau des oueds er-Roni et er-Richihi au centre de Tunisie (région de Meknassy) ou par Bouchenak et al. (2004) dans les bassins versants des oueds El Hammam et Rmel.

Conclusion

Les résultats trouvés montrent que la variabilité spatiale et temporelle de la densité de drainage et de la longueur du réseau hydrographique est fortement dépendante de la répartition des pluies qui tombent sous forme d'averses intenses. L'érosion ravinatoire suivie sur plus de 67 ans a connu des fluctuations et des rythmes d'évolution très variables. C'est essentiellement lors des périodes 1962-1974 et 1989-2016 que la dynamique du ravinement a été très importante. Ces deux périodes ont concentré l'essentiel des événements pluvieux exceptionnels. Cet état se répercute sur le paysage actuel sous différentes formes dont les processus de régression des têtes, des berges, les glissements et les sapements des berges sont les plus spectaculaires et les plus répandues.

Références

- [1] H. Ben Ouedzou, R. Kallel et A. Mamou, Les pluies exceptionnelles de janvier 1990 en Tunisie: les conséquences hydrologiques, hydrogéologiques et géomorphologiques. CR Acad Sci Paris; II-311 (1991) 1375-1382.
- [2] H. Bouchenak, M. Sfar Felfoul, MR. Boussema et MH. Smane, Étude de l'évolution du ravinement en fonction de la lithologie dans les bassins versants des oueds El Hammam et Rmel en Tunisie centrale. Revue de Télédétection, 4(1) (2004)75–93.
- [3] M. Dubrovsky, M. Hayes, P. Duce, M. Trnka, M. Svoboda, and P. Zara, Multi-GCM projections of future drought and climate variability indicators for the Mediterranean region. Regional Environmental Change e, (2013) [DOI: 10.1007/s10113-013-0562-z].
- [4] F. Giorgi, P. Lionello P. 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. Global and Planetary Change 63: 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>.
- [5] IPCC. Climate change 2014: Synthesis report. In Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Core Writing Team, Pachauri RK, Meyer LA (eds). IPCC: Geneva, Switzerland; 151 (2014). Available at https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- [6] J. Poesen, J. Nachtergaele, G. Verstraeten, C. Valentin, Gully erosion and environmental change: importance and research needs. Catena, vol. 50 no 2-4 (2003) p 91-133.
- [7] E. Roose, R. Chebbani, L. Bourougaa, Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Sècheresse 4, 11(2000) 317-326.
- [8] L. Vandekerckhove, J. Poesen, D. Oostwoud Wijdenes, J. Nachtergaele, C. Kosmas, M.J. Roxo and T. De Figueiredo, Thresholds for gully initiation and sedimentation in Mediterranean Europe. Earth Surface Processes and landforms, 25 (2000)1201-1220.

Une technique de conservation de l'eau pour les cultures : résidus de récolte du riz avec apport d'azote pour la production du piment

Laurenda Rose SOHOU¹, Luc Ollivier SINTONDI², Jean Mianikpo SOGBEDJI³ & Euloge Kossi AGBOSSOU⁴

¹Ecole Supérieure d'Agronomie, Université de Lomé, Laboratoire de l'Unité de Recherche des Agroressources, Togo E-mail : laursohou@gmail.com

²Institut National de l'Eau, Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau, Bénin. E-mail : o_sintondji@yahoo.fr

³Ecole Supérieure d'Agronomie, Université de Lomé, Laboratoire de l'Unité de Recherche des Agroressources, Togo. E-mail : mianikpo@yahoo.com

⁴Institut National de l'Eau, Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau, Bénin. E-mail : agbossou.euloge@yahoo.fr

Résumé

Ce travail vise à mettre au point un ensemble de connaissances sur la gestion de l'eau par paillage et fertilisation en azote du sol pour la culture de piment dans les conditions de production de décrue. Quatre taux de résidus de riz (0 ; 2 ; 4 et 6t/ha) et trois doses d'azote (0 ; 50 et 100kg/ha) ont été expérimentés sur deux différents sites. Les fertilisants en Potassium et phosphore ont été appliqués à raison de 140 kg K₂O/ha et 140 kg P₂O₅ /ha respectivement pour éviter leurs effets sur les résultats. Trois répétitions des 12 combinaisons des traitements ont été réalisées en blocs aléatoires complets. L'effet des résidus de riz, des doses d'azote et leur interaction sur la croissance et la production du piment est significatif à l'exception de leur interaction sur la biomasse. Quant à l'humidité du sol, seul les résidus de riz l'affectent significativement. Pour ce qui est de la croissance des plants de piment, les meilleurs résultats sont obtenus pour l'application des doses d'azote de 100 et 50kg/ha combiné chacune à 4t/ha de paille respectivement sur les sites 1 et 2. Enfin les résultats révèlent que l'application de 4t/ha de résidus de riz et 50 ou 100kg /ha d'azote selon que le sol soit pauvre ou riche en azote offre des meilleures productivités du piment ; 4t /ha (rendement) pour le site 1 et 3,57t /ha pour le site2.

Mots-clés : humidité, pailles, sol, piment, décrue.

A water conservation technique for crops: rice straws with nitrogen supply for pepper production

Abstract

The main objective of this research is to develop a set of knowledge on the management of water by mulch and fertilization in soil nitrogen for the cultivation of pepper under conditions of flood recession production of season). The work highlights the effect of different straw and nitrogen rates on soil (Moisture), growth (Height and Biomass), and production (yield and agronomic efficiency of nitrogen) of pepper (*Capsicum Chinense*) in the Oueme basin at Adjohoun in southern Benin. Four rice residue levels (0, 2, 4 and 6t ha⁻¹) and three doses of nitrogen (0, 50 and 100kg ha⁻¹) were tested at two different sites, three kilometers distant from each other. Potassium and phosphorus fertilizers were applied at 140 kg ha⁻¹ of K₂O and 140 kg ha⁻¹ of P₂O₅ respectively to avoid their effects on the results. In order to better understand the influence of the nitrogen on pepper culture, three repetitions of the 12 combinations of treatments were performed in complete random blocks. The effect of rice straw, nitrogen doses and their interaction on the growth and production of pepper is significant except for their interaction on biomass. As for soil moisture, only the rice straws affect it significantly. The increase of rice straw by 2; 4; and 6t ha⁻¹ respectively retain soil moisture of 8.3; 12.9 and 10.1 mm compared to non-straw-plot plots at site 1. The mean moisture at site 1 is 0.334 m³.m⁻³ vs. 0.362 m³.m⁻³ at site 2 where the grade. In clay (62.77%) and therefore the retention capacity is higher. For the growth of pepper plants, the best results are obtained for the application of nitrogen doses of 100 and 50kg ha⁻¹, each combined with 4t ha⁻¹ of straw on sites 1 and 2 respectively. Results reveal that the application of 4t ha⁻¹ of rice straw and 50 or 100kg ha⁻¹ of nitrogen offers better productivity of pepper depending on whether the soil is poor or rich in nitrogen. On site 1, the best combination of 100kg-4t ha⁻¹ yielded a yield of 4t ha⁻¹ (yield) at the rate of 54.16kg of pepper per kilogram of applied nitrogen (Agronomical efficiency of nitrogen) on Site 1, while on site 2, the best combination of 50 kg-4 t ha⁻¹ yielded 3.57 t ha⁻¹.

Key words: soil, humidity, straw, nitrogen, pepper, recession.

Introduction

Environmental challenges and the scarcity of some natural resources are putting agriculture face to the double challenge of maintaining furthermore increasing the productivity of cultivated ecosystems. In the lower Oueme basin, which is a region in the south of the country, it is common to meet every year and especially in the dry season (November-March), just after the departure of the water of the annual flood that knows the region, production practices that consist of covering the soil with crop residues to take advantage of the moisture from which the soil has benefited for off-season production. It is the production of recession. This research aims to improve the soil moisture management through the study of the effects of rice straw and nitrogen fertilizer on soil moisture, growth and yield of pepper in the Oueme basin in southern Benin during recession.

Material and methods

Experimental sites

The study was conducted from October 2016 to January 2017 on two very low slope sites in the Oueme basin at Adjohoun in southern Benin. The site is located 32 km north of Porto-Novo, the capital of Benin between 2° 28' E and 2° 34' E and 6° 35' N and 6° 40' N. In this area, the climate is of the subequatorial type with an annual succession of four seasons, two rainy (mid-March to mid-July and mid-September to mid-November) and two dry (mid-July to mid-September and mid - November to mid-March). The average annual rainfall is 1122.19 mm. The average relative humidity is about 84% and its seasonal variations are opposed to those of temperature.

The soil of the site 1 is clay-silt, acid with a high organic carbon content (> 1.5%) and a low average nitrogen content (0.045-0.08%), an average phosphorus content (> 20 ppm). Site 2 is also clay-silt, acid with a high content of organic carbon and phosphorus, but unlike site 1, it has a high nitrogen content (> 0.08%).

Experimental design and Plant material

The experiment was conducted on two sites in order to compare the results. It consisted of twelve treatments resulting from the combination of three levels of nitrogen (N) and four levels of crop residues. In order to minimize the sources variation and to examine the treatments over a wide range of experimental units so that the results are extended to different situations, the twelve treatments resulting from the combination of the various factors were carried out in devices of Bloc Random Complete with three repetitions (Glèlè-Kakai, 2014) [1] on 6m x4m parcel units. The blocks were arranged perpendicular to the maximum variation of the terrain slope.

The crop chosen is pepper (*Capsicum chinense*), a variety known locally as "Gbatakin". It is characterized by a short cultural cycle from 80 to 120 days, a shallow root system dominated by numerous adventitious roots growing at 30 cm depth. The seeds are slow to germinate. The species is known for its sensitivity to water stress that is detrimental to flowering and fruit setting, but also to excess water that slows down the growth of the plant. It is more sensitive to climatic conditions during the growth and development phases (flowering and fruiting). Indeed, low temperatures delay the germination of seeds and slow growth, while excessive ones can lead to abortion of flowers. Water requirements are higher during the flowering-fruiting phase. Irrigation must maintain moisture on the first 30 cm of the soil, where most of the roots are located.

Soil, growth and production parameters

Soil moisture was measured in the top at 10 cm of soil, due to the low rooting of the pepper. These are direct field measurements with a TDR Portable (ML2x-KIT, Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK). At each elementary plot, the average soil moisture is determined from the values measured at two different points of the plot. On each plot, different measurements were made on the pepper crops. Indeed, the height, the biomass of the plants was measured to characterize the growth. These measurements were made four times and the measurements made at the fruiting stage were used to analyze the variance. For this study, height measurements and biomass were carried out at 4 weeks after sowing, 6 weeks after sowing, flowering and maturity. The height of the plants was measured with the decameter on five (05) random plants per plot.

Data processing and analysis

The statistical tests, models and figures were made with the R statistical software (version 3.0.3). An analysis of variance was performed on the treatments. Mean values were tested for significant differences by using a least significance difference (LSD). The probability level ≤ 0.05 was designated as significant.

Results

Effect on soil moisture

Figure 1 shows the effect of rice straw and fertilizer doses on soil moisture.

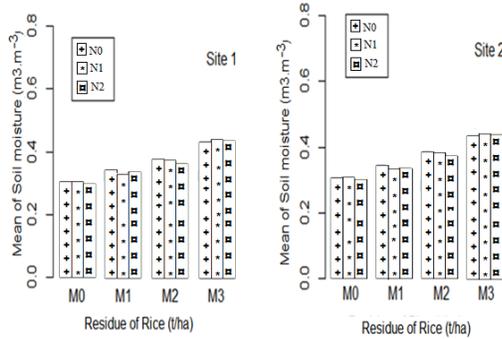


Figure 1: Effects of rice straws and fertilizer doses on soil moisture.

The ANOVA results show that only the rice straw factor significantly influences soil moisture ($p < 0.05$). In regard to the nitrogen dose factor and its interaction with rice straws, soil moisture was not influenced. At site 1, the increase of rice straws by 2; 4; and 6t ha⁻¹ resulted respectively in the conservation of average soil moisture of 34.69%; 54.08% and 71.61% compared to the control treatment and at site 2, these same increases in rice straws retained soil moisture of 22.11%, 23.43 and 45.55%, respectively, relative to Control treatment. Maximum moisture is therefore observed for M3 straws at the two sites.

Effects on pepper plants growth

Figures 2 and 3 present the effects of rice straws and fertilizer doses on pepper biomass and height. The biomass of the pepper plants responds to both the different levels of incorporation of rice straws and fertilizer doses at both sites with a significant effect at 5% and 1% (site 1 and 2 respectively) for rice straw and 1% for fertilizer doses at each site. For the application of doses of nitrogen fertilizer, its effect on biomass is highly significant at 1% at both sites. Doses of 50 and 100kg ha⁻¹ increase the amount of pepper biomass produced by 9.42 and 14.82%, respectively, compared to the control treatment (N0) for the first site. For the low-lying site these same doses of nitrogen fertilizer improved biomass production by 7.77 and 12.05% respectively compared to control (N0). Finally, on the first site, the combined effect of residue levels of rice and nitrogen doses was not significant at 5%, whereas the interaction was significant at 1% on site 2. The maximum production of Biomass is obtained for the M2-N2 combination at site 1 while at site 2 it is obtained for the M2-N1 combination. Similar to biomass results, the increase in rice straw of 2; 4; And 6t ha⁻¹ respectively increases the mean height of the pepper plants by 13.84; 29.13 and 23.46% relative to M0 at site 1 and 12.403; 34.833; 25, 23% at site 2. On each of the two sites there was no significant difference between the maximum heights of the plants obtained for the M2 and M3 treatments. In addition, doses of 50 and 100 kg ha⁻¹ increase the mean height of the pepper plants by 24.85 and 47.03% relative to N0 at site 1 and by 22.45 and 41.56%. The maximum heights of the pepper plants are obtained as in the case of the biomass for the M2-N2 combination (4t ha⁻¹ and 100kg ha⁻¹) at site 1 and M2-N1 at site 2.

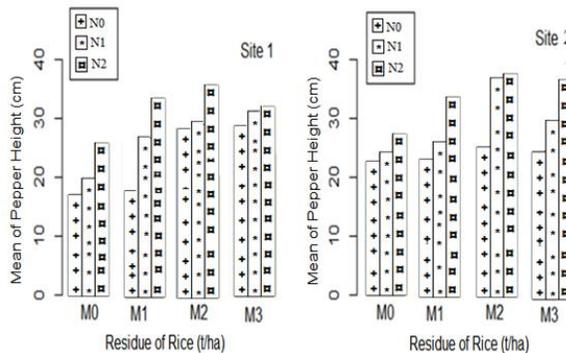


Figure 2: Effects of rice straws and fertilizer doses on the height of pepper plants.

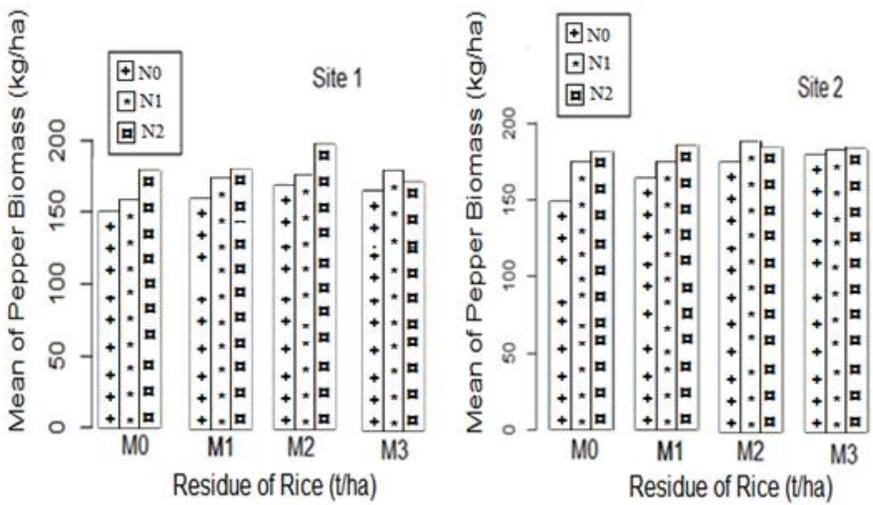


Figure 3: Effects of rice straws and fertilizer doses on biomass (kg ha^{-1})

Effects on Production Parameters

Effects on pepper yield

Considering the average yields of the various nitrogen levels (N0, N1, N2) obtained during the experiment, each level of incorporation of rice straw, brings a more significant increase in the yield of pepper than the previous level. Consequently, rice straws levels M1, M2 and M3 respectively improve the yield of the "Gbatakin" pepper by 15.23; 50.20 and 76.56% at site 1 and 30.55; 77.62 and 76.46% on site 2 in comparison to the control plots. Similarly, nitrogen levels N1 and N2 increased the yield of the pepper of 66.52 and 168.89% at site 1, and 93.07 and 134.9%, respectively, on site 2 compared to the unfertilized plots.

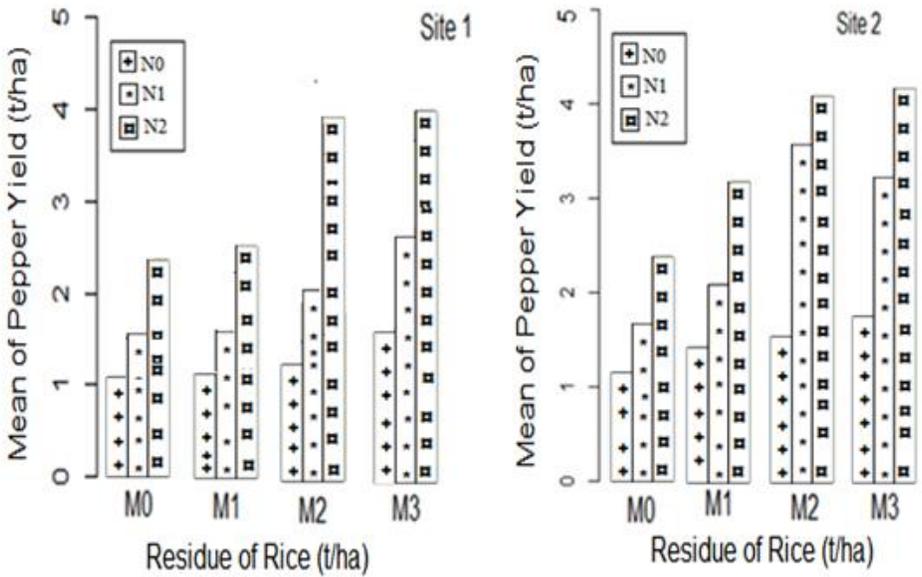


Figure 4: Effects of rice straws and fertilizer doses on pepper's yield.

Discussion

During this study, the incorporation of rice straws contributed significantly to the conservation of soil moisture. This was probably due to a decrease in soil evaporation. These results are in line with those of Lal (1974) [2]; Ji and Unger (2001) [3]; Kar and Kumar (2007) [4] which showed that straws reduce the evaporation of soil water and maintain stable the soil temperature. The difference in humidity and water availability between site 2 and site 1 can be explained by the clay content (62.77% at site 2 compared to 56.48% at site 1).

Water deficiency being one of the major problems that limits crop productivity during recession (dry season) in the Oueme basin, the study reveals that soil cover with significant amount of straw (4 to 6 t ha⁻¹) can be considered as a good practice to optimize soil moisture and increase productivity. This is in line with the results of Liu et al. (2010) [5], which showed that soil water content is generally better when straw are applied. These results are therefore favorable for flood recession production which generally takes place in the Oueme basin at Adjohoun during the period November-March. Furthermore, the variation of straw and nitrogen levels has considerably affected the growth of pepper plants.

The best growth results (height and average plant biomass) are observed for the 100kgN and 4t ha⁻¹ combinations at site 1, while on site 2 the best results are recorded from the combination of 50kgN and 4t ha⁻¹. The best growth results obtained on site 2 from the 50 kg ha⁻¹ dose can be explained by the initial nitrogen richness of its soil relative to the soil of the first site.

The combination of nitrogen dose factors and rice straw levels resulted in the average yields of 2,313 and 2,512t ha⁻¹ being recorded on the sites on the first and second sites respectively and these results are statistically equal. The values obtained are in the range of the successive productions obtained at the national level of which 2,026 t ha⁻¹ (CeRPA-AD, 2011) [6].

At both sites, rice straws levels M1, M2 and M3 respectively improved the yield of "Gbatakin" peppers relative to the yield of peppers plots that did not benefit from straw. Maximum yields of 4.33 and 4.00 t ha⁻¹ were obtained for plots that benefited 6t ha⁻¹ (M3) and 4t ha⁻¹ (M2), respectively, from straw combined with 100kg ha⁻¹ of nitrogen at the site 1, while at site 2 the 50 and 100t ha⁻¹ doses, each combined at 4t ha⁻¹, recorded high yield values. On each site, there is no significant difference between the maximum yields and therefore the most economical combinations will be more suitable.

In order to increase the production of "Gbatakin" (*Capsicum chinense*) pepper in the Oueme basin at Adjohoun and to develop rice straw, the findings suggest the application of 4t ha⁻¹ of Straw combined with 50 or 100 kg ha⁻¹ of nitrogen depending on whether the soil is either poor or rich in nitrogen.

This is in line with various studies that have reported that the application of high nitrogen and straw give better crop yields. Sadeghi et al. (2015) [7] pointed out that the optimum for plant growth and the best yields of wheat crops are obtained for high crop residues and nitrogen (N) with the safest system of wheat (*Triticum aestivum* L.) production in drought is the complete incorporation in the soil of the straw with a dose application of 70Kg ha⁻¹ of nitrogen. Similarly, Dossou-Yovo et al. (2015) [8] found that the best yield response for rice production was obtained with nitrogen fertilization of 60Kg N ha⁻¹ in combination with 3Mg ha⁻¹ of incorporated rice straws.

In comparison to the domestic production of pepper which is 2,026; 1,924 and 1,392 t ha⁻¹ in the respective years 2006; 2009 and 2010 (CeRPA-AD, 2011) [6], the maximum yields obtained at each of the two sites during the experiment are much higher even though the national estimates take into account rainfed and irrigated production, contrary to our experience during recession (dry season) without water supply to crops.

The average yield of peppers, which is 1.5t ha⁻¹ in the Oueme basin at Adjohoun (PANAI, 2015) [9], can therefore be improved, according to our results, by at least 166% with very good cultural practices which will improve both soil moisture and disadvantage competition between microorganisms and plants. In addition, studies have shown that better yields of pepper than current national production can be obtained (up to 15 t ha⁻¹ according to Assogba-Komlan et al., 2007) [10] under the best conditions.

According to the Integrated Adaptation Program to Combat the Adverse Effects of Climate Change on Agricultural Production and Food Security in Benin (PANAI, 2015) [9], to address the challenges of improving production and Impacts of climatic risks on the cultivation of pepper, convincing solutions must be developed against the constraints linked to the lack of control of water in the rainfed production system, to the non-management of production infrastructures in low-valleys, the poor performance of peasant production techniques and climatic risks.

Conclusion

The production of off-season peppers in the Oueme basin at Adjohoun is favorable thanks to the moisture available in the soil after the departure of the water that floods regularly in the region between July and August. This soil moisture is not often able to ensure the water supply of plants up to the end especially when it comes to long cycle plants. Consequently, the production during flood recession remains low because of the general sensitivity of all the fundamental biological processes that determine productivity of the plants. Based on the experimental results, this study showed that nitrogen doses and straws levels had significant effects on pepper productivity.

The incorporation of rice mulch positively impacts the availability of water for the plant and moisture in the top ten centimeters of the soil is conserved significantly. As for the growth of pepper plants, it is significantly influenced by nitrogen doses, rice straws and their interaction. The best pepper growth performance is obtained for 100 kg ha⁻¹ of nitrogen and 4 tons ha⁻¹ of rice straws, either for the height or the biomass of the plants on site 1 whose soil is nitrogen-poor and for 50 kg ha⁻¹ and 4t ha⁻¹ at site 2 where the soil is low in nitrogen.

The two factors and their interaction have a significant effect on the yield of pepper. The average yields obtained at the two sites do not differ significantly and represent the maximums. Finally, the N2-M2 interaction optimized the yield of pepper with a production of 54.16 and 51.033kg of pepper per kilogram of nitrogen fertilizer (Agronomic Efficiency of Nitrogen) at sites 1 and 2 respectively. However, the results of this study remain specific to pepper; this last one, being a priority market gardening of the study area.

References

1. R. Glèlè-Kakaï, Design of Experiments. Associate Professor in Biostatistics and Forestry -University of Abomey-Calavi, 26 (2014) 8-10.
2. R. Lal, Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. *Plant soil.* (1974) 40:129-43.
3. S. Ji, P.W. Unger, Soil water accumulation under different precipitation, potential evaporation and straw mulch conditions. *Soil science society of America journal* 65, (2001) 442-448.
4. G. Kar, A. Kumar, Effects of irrigation and straw mulch on water use and tuber yield of potato in eastern India. *Agriculture water management* (2007) 94:109-116.
5. C. Liu1, J. Ma, X. Chen, X. Zhang, Y. Shi, B. Huang, Effect of nitrogen fertilizer and maize Straw incorporation on NH⁴⁺-¹⁵N and NO₃⁻-¹⁵N accumulation in black soil of north east China among three consecutive cropping Cycles. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*10 (2010) 443 – 445.
6. P. Onibon, A.C. Ofio, Plan régional de développement de la filière cultures maraichères. Centre Régional pour la Promotion Agricole de l'Atacora-Donga (CeRPA- AD).149 (2011) 14.
7. H. Sadeghi, M.J. Bahrani, Effects of Crop Residue and Nitrogen Rates on Yield and Yield Components of Two Dryland Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars. *Plant Production Science.*7 (2015) 499-501.
6. S.F. Mousavi, M. Moazzeni, B. Mostafazadeh-Fard, M.R. Yazdani, Effects of Rice Straw Incorporation on Some Physical Characteristics of Paddy Soils. *J. Agr. Sci. Tech.*11 (2012) 1176-1181.
7. M.B. Naceur, M. Naili, M. Selmi, Effet d'un déficit hydrique, survenant à différents stades de développement du blé, sur l'humidité du sol, la physiologie de la plante et sur les composantes du rendement. *Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT)*, 8 (1999) 53.
8. E.R. Dossou-Yovo, N. Brüggemann, N. Jesse, J. Huat, E.E. Ago, E.K. Agbossou, Reducing soil CO₂ emission and improving upland rice yield with no-tillage, straw mulch and nitrogen fertilization in northern Benin. *Soil Tillage Res.* 10 (2015) 44-52.
9. PNUD, Changements Climatiques sur la production agricole et la sécurité alimentaire au Bénin (PANAI), Plan de travail annuel, 2015, pp. 6-9.
10. F. Assogba Komlan, P. Anihouvi, E. Achigan, R. Sikirou, A. Boko, R. Vodouhè, A. Assa, Pratiques culturales et teneur en éléments anti-nutritionnels (nitrates et pesticides) du *Solanum macrocarpum* au Sud du Bénin. In *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*, (2007) Vol 7 N° 4: 1-27.

Adaptations des populations face aux impacts hydrologiques et environnementaux de la variabilité climatique dans le Sud-Est côtier de la Côte d'Ivoire.

OGA Yéi Marie Solange¹, KPAN Oulai Jean Gautier², BAKA Derving, YAO Koffi Théodore et BIEMI Jean

(1) Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement, UFR- STRM, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan Côte d'Ivoire ; (225) 07856246 ; oga_oms@yahoo.fr

(2) Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement, UFR- STRM, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan Côte d'Ivoire ; (225) 08187415 ; kpagnolajiangautier@yahoo.fr

Résumé

La présente étude met en évidence les mesures d'adaptation adoptées par les populations du Sud-Est côtier ivoirien face aux impacts hydrologiques et environnementaux de la variabilité climatique. Les résultats obtenus avec la méthode de Hanning d'ordre 2 montrent une période humide excédentaire de 1960 à 1983 (12,64 à 15,15%) et une période sèche déficitaire de 1984-2014 (-11,72 à -6,75%) dans la région. Les coefficients de tarissement calculés sur le fleuve Comoé révèlent une baisse des débits dans la période de 1985 à 1994. La classification supervisée des images satellitaires TM+ (1986) et ETM+ (2000 et 2016) de la scène 195-056 montre un amenuisement et une eutrophisation du lac Ono respectivement en 2000 et 2016. Elle révèle également l'absence de la classe «zone de marécage» et l'augmentation des zones de « sols nus » sur les images de 2000 et 2016. Selon l'enquête socio-économique réalisée en 2014, 81% des populations interrogées attribuent la cause des baisses des productions et des rendements agricoles au changement climatique. Pour s'y adapter, les stratégies d'amélioration des pratiques culturales ont été développées par 69% des populations tandis que 31% ont choisi le transport, l'agriculture et le commerce au détriment de l'agriculture ou la migration vers les pays occidentaux et les villes ivoiriennes.

Mots clés : variabilité climatique, classification supervisée, occupation du sol, stratégies d'adaptation, Côte d'Ivoire.

Adaptation of populations to the hydrological and environmental impacts of climate variability in the coastal South-East of Côte d'Ivoire.

Abstract

This study highlights the adaptation measures adopted by populations of Ivorian South-east Coastal in response to the hydrological and environmental impacts of climate variability. The results with the Hanning method of order 2 show a wet period surplus from 1960 to 1983 (12.64 to 15.15%) and a deficit dry period between 1984 and 2014 (-11.72 to -6.75 %) in the study region. The depletion coefficients calculated in the Comoé River show a decrease in flows during the period from 1985 to 1994. The supervised classification of the TM + (1986) and the ETM + (2000 and 2016) from scene 195-056 shows a reduction and Eutrophication of the ONO lake respectively in 2000 and 2016. It also reveals the missing of the class "Swamp area" and the increase of "Bare soil" areas on the images of 2000 and 2016. According to the socio-economic survey achieved in 2014, 81% of questioned populations attributed the cause of declines in agricultural production and yields to climate change. To adapt to this, strategies to improve cultivation practices were developed by 69% of the population, while 31% chose transport, agriculture and trade to the detriment of agriculture or migration to Western countries and the Ivorian cities.

Key Words: climate variability, supervised classification, land use, adaptation strategies, Côte d'Ivoire.

Introduction

L'agriculture est la base de l'économie ivoirienne car elle représente 22% du PIB et est source de revenus de 2/3 des ménages. En effet, elle procure au pays environ 75% des recettes d'exportation non pétrolières [1]. Cependant, elle dépend essentiellement de la pluviométrie et des conditions atmosphériques. De ce fait, elle présente une vulnérabilité réelle face au phénomène des variabilités climatiques. La communauté scientifique connaît bien le problème et plusieurs études ont déjà montré les répercussions de ces changements sur les conditions actuelles et futures de vie des populations [2, 3]. La présente étude porte sur les impacts hydrologiques et environnementaux de ce phénomène ainsi que les stratégies adoptées par les populations rurales dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire pour s'y adapter.

1. Généralités

La zone d'étude est située au sud-est de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 3°00' et 4°00' Ouest et les latitudes 5°00' et 5°30' Nord. Couvrant une superficie de 5056 km², elle part d'Abidjan Est à Aboisso (**figure 1**). La population est estimée à 803500 habitants pour une densité de 158 habitants/km² et un taux d'accroissement de 1,59% [4]. Au plan géologique, la région est constituée à 90% d'un bassin sédimentaire d'âge secondaire-tertiaire (dont 80% par les formations du Mio-Pliocène) et d'un socle précambrien qui couvre 10% de la région. Le réseau hydrographique de la région est constitué de lagunes, de cours d'eau dont le fleuve Comoé et des rivières. Ces cours d'eau sont beaucoup sollicités par les populations riveraines pour leurs activités quotidiennes (pêche, agriculture, élevage, etc.).

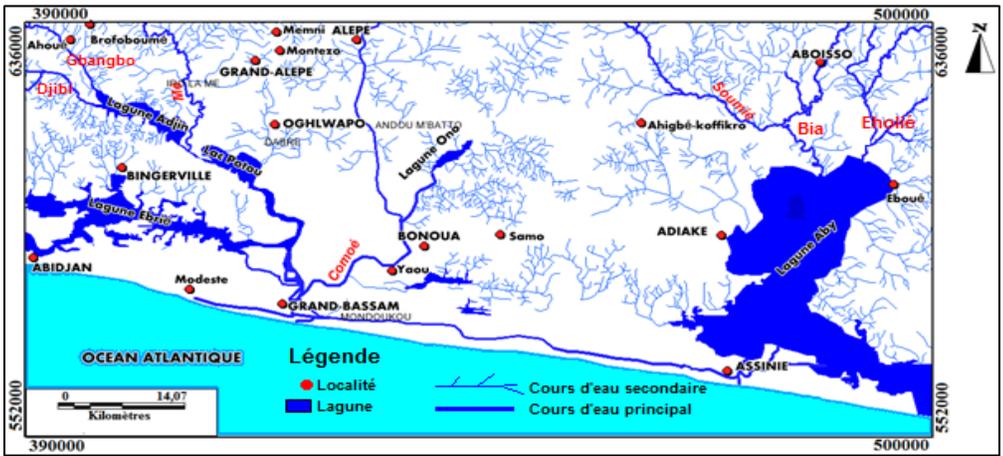


Figure 1: Présentation de la zone d'étude

2. Matériel et méthodes

Le matériel utilisé est constitué :

- des données de pluviométrie (1960-2014) d'Abidjan, Adiaké, Alépé et de Bingerville fournies par la SODEXAM et des données de débits (1983-2004) du fleuve Comoé provenant de la DHH ;
- des images satellitaires TM (Thematic Mapper) de 1986 et ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de 2000 et 2016 utilisées téléchargées à partir de <http://earthexplorer.usgs.gov/>;
- de fiches d'enquête socio-économique de 70 questions et des logiciels ENVI 4.3 et SPSS.

Les différentes méthodologies appliquées sont :

- la méthode de Filtre non récursif passe-bas de Hanning d'ordre 2 suivant l'équation 1

$$X_t = 0,06x_{(t-2)} + 0,25x_{(t-1)} + 0,38x_t + 0,25x_{(t+1)} + 0,06x_{(t+2)} \quad (1)$$
- le calcul du coefficient de tarissement (k) se fait selon l'équation 2 par la méthode de Maillet, améliorée par résolution dichotomique par [5]:

$$Q_t = Q_0 e^{-kt} \quad (2)$$
- le volume d'eau mobilisé ($V_{\text{mobilisé}}$) par l'ensemble des aquifères est obtenu à partir d'une intégration de la formule de l'équation 3 sur l'intervalle 0 à $+\infty$:

$$V_{\text{mobilisé}} = \int_0^t Q_0 e^{-kt} dt = \frac{86400 \cdot Q_0}{k} \quad (3)$$
- le traitement des images satellitaires s'est fait avec la méthode de classification supervisée. L'analyse des images traitées a permis de connaître l'évolution spatio-temporelle du lac ONO et la dynamique d'occupation du sol de la région au cours des années 1986, 2000 et 2016.
- une enquête socio-économique a été réalisée auprès de 280 ménages à Ahigbé-Koffikro et Samo.

3. Résultats

3.1 Filtre passe-bas d'Hanning d'ordre 2

L'analyse des périodes climatiques menée à partir de la méthode du filtre passe bas d'ordre 2 de Hanning ou indice pondéré a donné les résultats consignés dans le tableau 1. Toutes les stations présentent deux périodes pluviométriques à savoir une période humide et une période sèche

Tableau 1 : Résultats du filtre passe bas d'ordre 2 de Hanning

Stations	Période d'étude	Période humid	Excédent (mm)	%	Période sèche	Déficit (mm)	%
Abidjan-aéroport	1960-201	1960-19	265,22	14,8	1983-20	-190,4	10,
Adiaké	1960-201	1960-19	273,32	15,1	1984-20	-211,4	11,
Alépé	1960-201	1960-19	243,17	15,1	1977-20	-108,4	6,7
Bingerville	1960-201	1960-19	231,18	12,0	1984-20	-178,4	9,7

3.2 Coefficient de tarissement et volumes d'eau mobilisés

À la station d'Abradinou sur la Comoé, les coefficients de tarissement k oscillent entre $1,17.10^{-2} j^{-1}$ et $2,03.10^{-2} j^{-1}$ avec une valeur moyenne de $1,62. 10^{-2} j^{-1}$. Les volumes d'eau mobilisés varient entre 0,65 et 7,27 km³ avec une moyenne de 3,72 km³. Les années 1985 à 1988 et celles allant de 1991 à 1994 montrent une hausse du coefficient de tarissement. Implicitement, le volume d'eau mobilisé dans les mêmes périodes est en baisse. Après 1994, une augmentation générale des volumes d'eau mobilisés est observée.

3.3 Évolution spatio-temporelle du lac ONO

L'image classifiée de 1986 indique un lac bordé de zones marécageuses à l'Est, à l'Ouest et au Nord, dont la superficie est de 7 Km². Également dans la partie Nord, une retenue d'eau est bien distinguée. En 2000, la disparition des zones marécageuses ainsi que la retenue d'eau dans les alentours du lac Ono montre les effets de la sécheresse vécue dans la zone de 1980 à 1999. Cela a réduit sa superficie qui est passée à 6,44 Km². Le regain de la pluviométrie dans la période de 2000 à 2014 a entraîné un retour des zones marécageuses. Les observations faites sur le terrain ont permis de constater que cette étendue d'eau est de plus en plus envahie par des touffes d'herbes (caractéristiques des terres fermes) sur une distance d'environ 30 mètres depuis la berge jusqu'aux eaux peu profondes dudit lac. Cela traduit le recul des eaux au profit des terres. Le phénomène d'eutrophisation est amorcé et le lac Ono est réduit à 5,24 Km². Ainsi, ce lac a perdu 25% de sa superficie entre 1986 et 2016.

3.4 Méthodes d'adaptation

3.4.1 Pratiques des populations

Plus de 99% des enquêtés reconnaissent le phénomène des changements climatiques. Pour 81%, ce phénomène est à la base de la baisse de leurs productions agricoles. Pour y faire face, 32,7% des populations agricultrices sont devenues des éleveurs de volailles ou des transporteurs urbains et inter-urbains. D'autres ont choisi exclusivement le commerce de marchandises diverses. Dans certains cas, c'est l'abandon d'une culture ou d'une pratique culturale soit au profit d'une autre ou soit de façon définitive. Ce cas de figure a entraîné la quasi disparition des cultures de la noix de coco, de la patate, etc. La culture de l'ananas qui mobilisait plus de 30% des personnes interrogées, est aujourd'hui pratiquée par moins de 5%. Lecafé-cacao a également régressé. Les populations s'orientent vers des plantes beaucoup plus résistantes à la sécheresse (hévée, palmier à huile) ou moins exigeante en eau (manioc). La culture d'arachide ou le riz s'intensifient.

L'abandon de certaines cultures au profit d'autres cultures ou d'une autre activité constitue, malgré tout, le dernier recours pour les populations. Elles procèdent à l'irrigation motorisée, l'utilisation des péricarpes des fèves de cacao en lieu et place de l'engrais et l'utilisation de la bourre de coco pour en faire le sol. Des mouvements migratoires des populations à l'extérieur du pays ou vers les grandes villes ivoiriennes sont aussi observés.

3.4.2 Dynamique de l'occupation du sol de 1986 à 2016

Une analyse diachronique de l'occupation du sol réalisée sur la zone du Sud-est côtier à partir des images de 1986, 2000 et 2016 a été effectuée. Les modifications spatio-temporelles qui ont eu lieu, du point de vue qualitatif et de façon quantitative s'observent dans le tableau 2.

Tableau 2 : Évolution des zones d'occupation du sol (en %) de la région Abidjan-Aboisso (1986-2016)

Classes	1986	2000	2016
Habitations	11,09	12,25	18,80
Forêt dense	16,94	14,86	7,56
Zone de culture	38,01	41,02	38,40
Eau	31,11	30,99	30,82
Sols nus	0,16	0,88	4,42
Zone marécage	2,69	-	-
Total	100,00	100,00	100

L'analyse du **tableau 3** montre que la classe « Habitations » a augmenté de 7,71% passant ainsi de 11,09% en 1986 à 12,25% en 2000 et à 18,80% en 2016. Les « forêts denses » enregistrent une baisse d'occupation de 9,38% passant ainsi de 16,94% en 1986 à 7,56% en 2016. Les zones de culture se sont accrues entre 1986 (38,01%) et 2000 (41,02%). Par contre, elles ont régressé en 2016 (38,40%) suite à l'augmentation des zones de « sols nus » qui sont en hausse en 2016 (4,42%) par rapport à 2000 (0,88%). Le taux des retenues d'eau est passé de 31,11% en 1986 à 30,99% en 2000 et à 30,82% en 2016. Cela correspond à une réduction de 0,29%. Les zones de marécage n'ont pas été observées en 2000 ni en 2016 alors qu'elles occupaient 2,69% de la surface étudiée en 1986. Elles sont remplacées par des « zone de culture » et de « sols nus » entre 1986 et 2016. L'occupation du sol constitue donc une solution d'adaptation aux effets de la variabilité climatique pour les populations du Sud-Est côtier de la Côte d'Ivoire.

4. Discussion

Cette étude réalisée dans le Sud-Est côtier de la Côte d'Ivoire a mis en évidence, par la méthode de filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2, deux périodes pluviométriques à savoir une période humide excédentaire de 1960 à 1983 et une période sèche déficitaire de 1984-2014. Cette baisse de la pluviométrie observée à partir de 1983 dans les stations pluviométriques d'Abidjan-aéroport, d'Adiaké et de Bingerville et à partir de 1976 à la station pluviométrique d'Alépé se manifeste pratiquement dans la même période que celle relevée par les travaux de [5, 6] en Côte d'Ivoire et en Afrique de l'Ouest par [7]. Ces auteurs situent le début de la sécheresse en Afrique de l'Ouest aux alentours de 1969-1970. Cette sécheresse s'illustre de façon modérée (39,3%) et de façon forte (51,5%) par une raréfaction intense des pluies [7]. En Afrique centrale, précisément au Cameroun, une diminution des précipitations moyennes de 6,69% par décennie au cours de ces six dernières décennies a été enregistrée [8]. La conséquence directe qui en résulte est la baisse de la taille et du volume des cours d'eau comme l'ont observé également les travaux de [6]. Cette situation est préjudiciable aux agriculteurs de la région du Sud-Est côtier ivoirien. Pour y faire face, ces derniers ont adopté des techniques d'adaptation dont la multiplication des semis, l'introduction d'une nouvelle culture ou d'une variété améliorée, l'utilisation de techniques de fertilisation du sol, le reboisement, l'initiation d'activités ou de cultures secondaires, l'irrigation motorisée ou même l'abandon de certaines cultures au profit d'autres. Ces pratiques sont courantes en Afrique selon les travaux de [9]. Ces méthodes entraînent très souvent des modifications du couvert végétal selon le mode d'occupation des sols.

Conclusion

Cette étude réalisée dans le Sud-Est côtier de la Côte d'Ivoire a montré que cette région a connu deux périodes pluviométriques dont une période humide excédentaire de 1960 à 1983 (12,64 à 15,15%) et une période sèche déficitaire de 1984-2014 (-11,72 à -6,75%). Les cours et plan d'eau tels que le fleuve Comoé et le lac Ono ont connu une baisse de leur volume d'eau et un rétrécissement de leur taille. La raréfaction des précipitations a contraint les populations à occuper les zones marécageuses pour les cultures. Face aux impacts hydrologiques et environnementaux de la variabilité climatique, les populations ont adopté les stratégies suivantes : la multiplication des semis, l'introduction d'une nouvelle culture ou d'une variété améliorée, l'utilisation de techniques de fertilisation du sol, le reboisement, l'initiation d'activités ou de cultures secondaires et l'irrigation motorisée.

Références

- [1] PND Plan National de Développement 2012-2015, Tome I, Résumé analytique (2012) p65
- [2] GIEC. Bilan sur les changements climatiques : Rapport de synthèse GIEC, Stockholm, en Suède, (2013) p34.
- [3] Y.M.S Oga., M. Adja, A.F. Yapi, J.G. Kpan, D. Baka, K.T Yao, et J. Biemi, Projection de la variabilité climatique à l'horizon 2050 dans la zone côtière au Sud-Est de la Côte d'Ivoire (d'Abidjan à Aboisso). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°25 (2016) 67-81
- [4] INS (Institut National de la Statistique), Recensement générale de la population et de l'habitat de la Côte d'Ivoire 2014, (2014) 22 , /http : ins.ci
- [5] I. Savane, K.M. Coulibaly et P. Gioan, Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man. Revue Sciences et changement planétaire-sécheresse, vol.12, n°4, (2001) 237.
- [6] A. M. Kouassi, K. F. Kouamé, M. B. Saley et J. Biemi, Application du modèle de Maillet à l'étude des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau en Afrique de l'ouest : cas du bassin versant du N'zi-Bandama (Cote d'Ivoire). Revue Journal of Asian Scientific Research. Vol. 3, n°. 2, (2013) 214-228.
- [7] C. Faye, A. A. Sow, J. B. Ndong, Étude des sécheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie de la sécheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal. Physio-Géo. DOI: 10.4000/physio-geo 4388. (2015)
- [8] M. Tchindjang, J.A. Amougou, S.A. Aboisso and S. Bessoh Bell, Challenges of climate change, landscape dynamics and environmental risks in Cameroon. In Runge J(Ed): Landscape evolution, neotectonics and quaternary environmental change in Southern Cameroon. Palaeoecology of Africa, 31, chap. 5, (2012).
- [9] M-J Dugué, Caractérisation des stratégies d'adaptation au changement climatique en agriculture paysanne. Étude de capitalisation réalisée sur les terrains de coopération d'AVSF (www.avsf.org), (2012) 50 p.

Performance des services d'eau potable face à l'aléa pluviométrique

HAMCHAOUI Samir¹, BOUDOUKHA Abderrahmane², BENZERRA Abbas¹

¹ : Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement (LRHAE) Faculté de Technologie, Université de Bejaia, 06000, Bejaia, Algérie. Email: hamchaouisamir@gmail.com

² : Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée, Université Batna 2, Algérie.

Résumé

L'objectif de ce papier est de proposer un outil d'évaluation de la performance des services d'eau potable, prenant en considération les spécificités locales de l'Algérie. Le but de cette étude est d'aider l'Algérienne Des Eaux à améliorer la qualité de gestion du service d'eau potable. L'évaluation globale de la performance nécessite au préalable la construction de l'outil. Par la suite l'identification des indicateurs nécessaires à l'évaluation et l'analyse de la situation pluviométrique. Enfin, une application est réalisée sur le service d'eau potable de la ville de Béjaia, durant l'année 2009, Algérie. En analysant l'objectif « satisfaire le client », la situation pluviométrique est jugée optimiste et la performance de gestion du service d'eau potable de la ville de Béjaia se situe à un bon niveau.

Mots clés : Service d'eau potable, Pluviométrie, Performance, Indicateur, Gestion.

Performance of drinking water services face to rainfall random

Abstract

The aim of this paper is to provide an evaluating tool for the sustainable management of drinking water supply services (DWSS), taking into account local specificities of Algeria. This study is supporting the water utility (Algérienne Des Eaux: ADE) to improve the management quality of drinking water supply services. The overall assessment of the performance requires prior construction of the tool. Subsequently, the identification of the indicators necessary to assessment and the analysis of the rainfall situation. Finally, an application takes place in the DWSS of Bejaia city, Algeria, during 2009. By analysing the objective « satisfy the customer», the rainfall situation is deemed optimistic and the evaluation of the objective's performance studied in this paper showed a good level of performance.

Key Words: Water supply service, Rainfall, Performance, Indicator, Management.

Introduction

L'Algérienne Des Eaux est aujourd'hui confrontée à la compréhension des récentes orientations stratégiques de gestion durable. Elle doit faire face à une situation complexe dans la gestion due à une hausse constante de la demande, conjuguée au phénomène aléatoire de l'apport en eau de pluie. A long terme, les volumes mobilisables risquent de ne pas être garantis et les conséquences sont coûteuses. De ce fait une gestion durable de ce service est plus que nécessaire. Ceci s'avère une tâche très difficile vue la diversité des thématiques liées à la notion de durabilité de la gestion du service d'eau potable. Aujourd'hui, les experts considèrent qu'il est nécessaire de piloter le service d'eau potable par un ensemble d'indicateurs qui, grâce à l'évaluation de leur performance, permettra aux gestionnaires de disposer d'un outil d'aide à la décision [1] [2]. Dans ce contexte plusieurs études ont été réalisées ; elles ne s'accordent pas avec la situation locale de l'Algérie. En effet, le choix des indicateurs reste spécifique à chaque étude. Toutefois, ces études apportent des éléments intéressants.

Dans ce papier, nous présenterons la méthodologie mise en œuvre. Par la suite, nous décrirons la manière d'évaluer la performance des services d'eau potable. Par la suite la méthode utilisée pour agréger les indicateurs et attribuer une note globale de performance de l'objectif analysé. Cette méthode sera illustrée par une application sur le service d'eau potable de la ville de Béjaia.

I. Methodologie

La méthodologie de recherche utilisée comporte deux phases. La phase constructive et la phase d'évaluation. Notre démarche s'est inspirée de la définition de Brugman [3] sur l'évaluation de la durabilité : « *Evaluer la durabilité des ressources en eau nécessite un cadre approprié d'indicateurs, qui peuvent idéalement : décrire et communiquer les conditions actuelle, favoriser la réflexion critique sur les mesures correctives nécessaires et faciliter la participation des diverses parties prenantes dans les processus décisionnels* ». Une telle approche connaît diverses applications dans plusieurs domaines.

I.1. Phase de construction

Dans cette phase, la participation des parties prenantes nous a permis l'identification des objectifs prioritaires des services d'eau potable algériens. L'identification des objectifs est un travail difficile à réaliser à cause de la complexité et de la diversité des objectifs de la gestion durable des services d'eau. Il nécessite la compréhension du contexte local et actuel. Plusieurs avis et diverses opinions ont été émis par différents gestionnaires. Cette étape est un processus difficile et long mais nécessaire pour construire des objectifs admis par tous [4]. Un consensus est obtenu après un large débat. De cette façon, le consensus obtenus sera un point de départ dans l'évaluation de la performance des services d'eau potable Algériens.

Par la suite, les objectifs prioritaires sont subdivisés en sous objectifs pour cerner d'avantage le sens de leur définition. Chaque sous objectif est défini par un ensemble de critères évalués par des indicateurs de performances adaptés à la situation et au contexte actuel de la gestion du service d'eau potable Algérien. Au final, nous avons identifié plusieurs objectifs prioritaires. Nous allons nous intéresser à un seul objectif appelé « *Satisfaire le client* ».

I.2. Phase d'évaluation

La phase d'évaluation de l'objectif « *Satisfaire le client* » nécessite le passage par plusieurs étapes. Au préalable, il est indispensable de collecter des données issues des campagnes de mesure. Les valeurs sont transposées sur des échelles de performance pour obtenir les notes de performance de chaque indicateur définis lors de la phase précédente.

Par la suite, la performance des critères est déduite par pondération et agrégation des notes de performances des indicateurs. L'agrégation de la performance des critères fournira après la performance des sous objectifs. Enfin, l'agrégation des sous objectifs permet d'avoir la performance de l'objectif étudié. La méthode d'agrégation appliquée est l'agrégation complète. Nous avons opté pour la méthode de l'addition linéaire dite méthode de la somme pondérée pour sa clarté et sa simplicité [5]. Pour ce qui est de l'affectation des poids, la méthode appliquée est la méthode appelée Processus d'Analyse Hiérarchique [6]. Le choix de cette méthode se justifie par les nombreuses utilisations qu'a connues cette méthode dans le domaine d'aide à la décision voir même dans le domaine de l'eau [7].

I.3. Satisfaire le client

Dans la satisfaction du client trois situations peuvent apparaître : les performances sont en deçà des attentes, à leur niveau, au-delà. « *Satisfaire le client* » est l'un des objectifs prioritaires pour lequel l'opérateur active pour sa mise en œuvre. Cet objectif englobe la distribution d'une eau en quantité suffisante et de qualité bonne.

En plus, un service rendu au client de meilleure qualité indiqué par une alimentation continu, un traitement des réclamations et les raccordements dans les meilleurs délais.

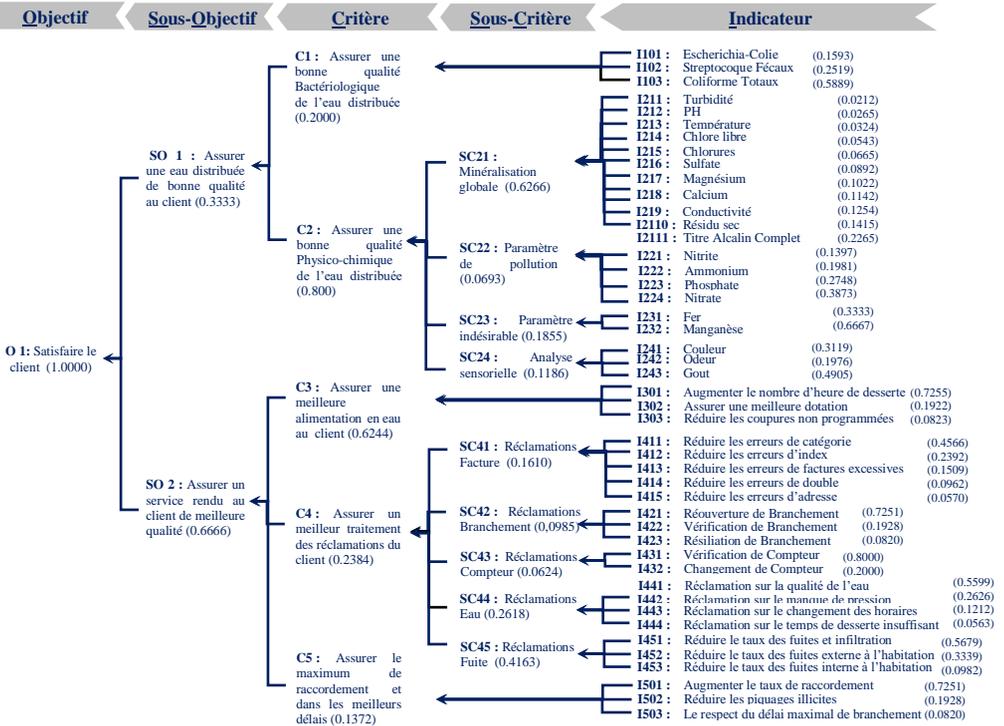


Figure 1. Structure hiérarchique pondérée de l'objectif prioritaire étudié « Satisfaire le client » [8].

2. Aléa pluviométrique

Les objectifs souhaités de certains indicateurs peuvent être réduit dans le cas de la réduction des volumes d'eau mobilisable provoqué par l'aléa pluviométrique.

Dans l'analyse de l'objectif prioritaire « Satisfaire le client », nous proposerons deux fonctions de performance. La première fonction s'applique dans le cas où l'exigence est maximale. La deuxième fonction de performance s'applique dans le cas où l'exigence est minimale. Nous allons envisager une réduction de la valeur des services fournis uniquement dans le cas de la réduction des volumes d'eau mobilisable provoqué par l'aléa pluviométrique. En engageant une réflexion avec les gestionnaires des services d'eau de la ville de Béjaia, un accord a été mis en évidence.

3. Résultats et discussion

3.1. Zone d'étude

L'outil d'évaluation et d'aide à la décision est appliqué sur le service d'eau potable de la ville de Béjaia. Ce service est assuré par l'Algérienne Des Eaux unité de Béjaia. «Satisfaire le client» est l'objectif prioritaire traité. A cet effet, les données recueillies par les différents services publics, de la ville de Béjaia, durant l'année 2009 seront exploitées.

L'approche participative nous a permis d'identifier les indicateurs, sous critères, critères et sous objectif. Cette phase a nécessité la contribution des gestionnaires de l'Algérienne Des Eaux de Béjaia. Cette entreprise nous a fournis les données nécessaires à notre application. C'est à partir de l'exploitation de ses statistiques que nous pouvons construire une idée sur la performance de gestion durable des services d'eau potable en Algérie.

3.2. Situation pluviométrique

Afin de connaître la situation pluviométrique d'optimiste ou de pessimiste, nous allons calculer la pluie moyenne interannuelle des Bassins versants qui alimentent la ville de Béjaia. Cette étape a nécessité la contribution de l'Agence Nationale des Ressources Hydrique. Dans notre cas, l'analyse de la situation pluviométrique des bassins versants de

l'année 2009 a donné la pluie moyenne annuelle supérieure à la moyenne. De ce fait, la situation pluviométrique se retrouve dans une situation jugée optimiste.

3.3. Synthèse de l'évaluation de l'objectif prioritaire « satisfaire le client »

Les résultats de l'évaluation des indicateurs et sous critères sont récapitulés dans la figure 2 ci-dessous. L'agrégation des performances des critères nous a permis de situer la performance de chaque sous objectif. Enfin, l'agrégation des sous objectifs nous donne la performance globale de l'objectif prioritaire étudié durant l'année 2009. La performance obtenue sur l'objectif étudié est de 73 %. Elle se situe dans la classe *bon niveau*.

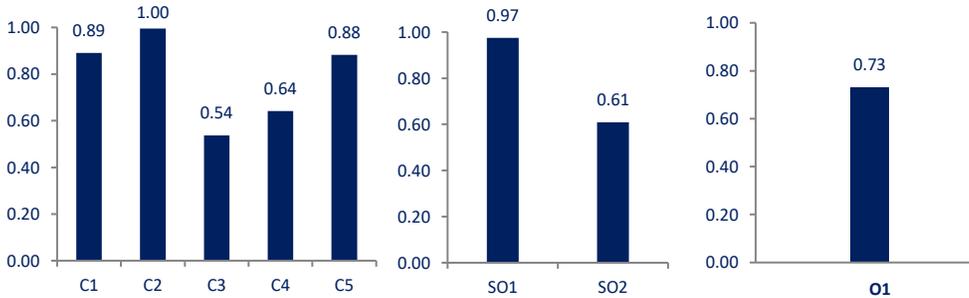


Figure 2. Performance des Critères, Sous Objectifs et Objectif de l'année 2009.

Conclusion

Dans ce papier, nous avons proposé un outil d'aide à la décision appliqué dans le cadre de la gestion des services d'eau potable. Ceci en prenant en compte les spécificités locales de notre pays. Le choix des objectifs et des indicateurs a nécessité une collaboration des acteurs en liens avec les ressources en eaux.

L'outil développé nécessite le passage par deux phases. La phase de construction et la phase d'évaluation. La première a pour but d'identifier les objectifs liés à la gestion durable du service d'eau potable. La deuxième commence par une collecte de données. Les valeurs sont transposées sur des échelles de performance pour obtenir des notes de performance de chaque indicateur. De même, une note de performance est déterminée respectivement pour les sous critère, les critères, les sous objectifs et l'objectif final.

L'application a nécessité la collecte de plusieurs données. Les données pluviométriques, nous ont permis d'apporter un jugement sur la situation pluviométrique des bassins qui alimentent la ville de Béjaia ; la situation pluviométrique est jugée optimiste. Par la suite, l'exploitation des données fournies par l'Algérienne Des Eaux nous a permis d'apprécier la qualité de l'objectif prioritaire étudié à savoir « Satisfaire le client ».

Références

- [1] H. Alegre, W. Hirner, J.M. Baptista, R. Parena, Performance indicators for water supply services, Manual of Best Practice, IWA Publishing, 2000, London, UK.
- [2] L. Guérin-Schneider, Introduire la mesure de performance dans la régulation des services d'eau et d'assainissement en France, Thèse de doctorat, Université Montpellier 2001.
- [3] J. Bruggmann, Sustainability indicators revisited: Getting from political objectives to performance outcomes - a response to Graham Pinfield, Local Environment, 3 (1997) 299-302.
- [4] A. Milman, A. Short, Incorporating resilience into sustainability indicators: An example for the urban water sector, Global Environmental Change, 18 (2008) 758 -767.
- [5] H.D. Coulibaly, M.J. Rodriguez, Development of performance indicators for small Quebec drinking water utilities, Journal of Environmental Management, 73 (2004) 243-255.
- [6] K. M. A.-S. Al-Harbi, Application of the AHP in project management, International Journal of Project Management, 19 (2001)19-27.
- [7] V.H. Honkaskara, M. Sohonia, U.V. Bhandarkar, A participatory decision making process for community-level water supply, Water Policy, 16 (2014) 39-61.
- [8] S. Hamchaoui, A. Boudoukha, A. Benzerra, Drinking water supply service management and sustainable development challenges: case study of Bejaia, Algeria. Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA, 64 (2015) 937-946.

Caractérisation de la sécheresse météorologique dans la région de la Marahoué : apport de l'Indice Standardisé de Précipitation (SPI)

YAPI Assa Fabrice¹, N'GUESSAN Bi Vami Hermann^{1,2}, OGA Yeï Marie Solange¹,
KOUADIO Boyossoro Hélène^{1,2}

1: Département des Sciences et Techniques de l'Eau et du Génie de l'Environnement,
Université FHB, 22 BP 582 Abidjan 22 - Côte d'Ivoire.

2: Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection, Université FHB, 22
BP 801 Abidjan 22 Côte d'Ivoire.

Résumé

La région de la Marahoué située au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire est une zone à forte activité agricole. A l'instar des autres régions du pays, elle connaît des perturbations climatiques suscitées par la détérioration des paramètres climatiques en occurrence les précipitations. L'évaluation des effets de la sécheresse sur les ressources en eau est le but de ce travail, en vue de proposer aux populations des mesures d'atténuation ou d'adaptation face à ce fléau. Pour ce faire, une analyse des données pluviométriques a été faite au niveau de la station de Zuénoula (1972 à 2000), de Bouaflé (1940 à 2001) et de Sinfra (1966 à 2000). La méthode utilisée est basée sur le calcul des indices standardisés de précipitation (SPI) à différentes échelles de temps : 3 mois, 6 mois, 12 mois et 24 mois. Ces indices étudiés à court terme (03 mois et 06 mois) indiquent que la zone d'étude a observé une sécheresse modérée sur 24,14% à 42,86% du temps total analysé. A moyen terme (12 mois), 24,14% à 37,14% du temps analysé ont enregistré une sécheresse modérée. A long terme (24 mois) les valeurs du SPI indiquent que 31,67% à 42,42% du temps total analysé a enregistré une sécheresse modérée ; 6,06% à 11,67% du temps total analysé est marqué par une sécheresse sévère.

Mots clés : sécheresse, indices standardisés de précipitation, adaptation, Marahoué, Côte d'Ivoire.

Evaluation of drought in sudano-guineen area : case of Marahoué region (West-Central of Côte d'Ivoire)

Abstract

Marahoué region in western of Cote d'Ivoire is a high agricultural area under frequent climatic disturbances mainly due to high rainfall variability. The aim of this study is to assess the effects of drought on water resources, in order to propose mitigation or adaptation strategies to the people. To do this, an analysis of rainfall data was done by computing standardized precipitation indices (SPI) at different time scales: 3 months, 6 months, 12 months and 24 months in Zuenoula (1972-2000), Bouaflé (1940-2001), and Sinfra (1966-2000). These short-term indices (03 months and 06 months) indicate that the study area observed a moderate drought on 24.14% to 42.86% of the total time analyzed. To means term (12 months), 24.14% to 37.14% of the time analyzed recorded a moderate drought. In the long term (24 months) the SPI values indicate that 31.67% to 42.42% of the total time analyzed recorded a moderate drought; 6.06% to 11.67% of the total time analyzed is marked by severe drought.

Key Words: drought, standardized indices of precipitation, adaptation, Marahoué, Côte d'Ivoire

Introduction

La sécheresse est un phénomène naturel apparaissant dans toutes les régions du monde et particulièrement en Afrique de l'Ouest [1,2]. Elle est liée à un manque ou une baisse de la pluviométrie dans une région donnée. Ceci a pour conséquences de sérieux problèmes de manque d'eau à certaines périodes de l'année dans diverses régions de la Côte d'Ivoire et particulièrement dans la région de la Marahoué qui est une zone à forte activité agricole [3]. A l'instar des autres régions du pays, elle connaît des perturbations climatiques suscitées par la détérioration des paramètres climatiques en occurrence les précipitations. Étant donné que certains scénarios des changements planétaires indiquent que l'occurrence et l'impact des sécheresses risquent d'augmenter dans les années à venir [4], il est indispensable de pouvoir analyser les séquences de la sécheresse météorologique en vue de proposer aux populations des mesures d'atténuation ou d'adaptation au cas échéant.

1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située au centre-ouest de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 5°15' et 6°30' Ouest et les latitudes 6°00' et 8°00' Nord (figure 1). A cheval entre la zone de forêt et la zone des savanes, la région de la Marahoué couvre une superficie de 9 092,48 km² dont 4 222,48 km² pour le département de Bouaflé, 3 252 km² pour le département de Zuénoula et 1 618 km² pour le département de Sinfra. Le Climat est de type baouléen et caractérisé par deux (02) grandes saisons alternées par deux (02) petites : une grande saison sèche (de décembre à fin février), une grande saison de pluie (de mars à juin), une petite saison sèche (de juillet à août) et une petite saison de pluie (de septembre à novembre) [5].

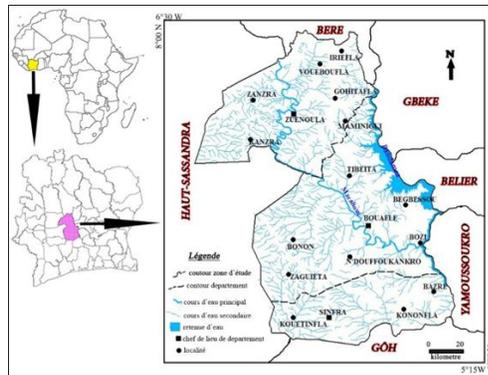


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

2. Données et méthodes

2.1. Données

Les données de base sont constituées de relevés pluviométriques journaliers provenant de trois postes pluviométriques dont celle de Bouaflé (1940-2001), de Sinfra (1966-2000) et de Zuénoula (1972-2000).

2.2. Méthodes

Une analyse des données pluviométriques journalières a été faite sur l'environnement du logiciel ClimPact 2 Master qui est un programme mis au point par l'Organisation Mondiale de la Météorologie. Ce programme calcule plus de quatre vingt dix indices, dont le SPI et le SPEI. Pour cette étude, l'indice SPI a été retenu. La méthode utilisée est celle du calcul des indices standardisés de précipitation (SPI) à différentes échelles de temps : 3 mois, 6 mois, 12 mois et 24 mois. La spatialisation de l'indice standardisé de précipitation a été faite par décennie sur ArcMap 10.3.1.

• **Indice standardisé des précipitations**

L'indice SPI d'un lieu donné se calcule, pour la période choisie, à partir des relevés à long terme des précipitations. La série des données de longue durée est ajustée à une distribution de probabilité que l'on transforme ensuite en une distribution normale pour que l'indice SPI moyen, du lieu considéré et pour le laps de temps étudié, soit égal à zéro [4]. IL est défini par l'équation 1 :

$$SPI = \frac{(P_i - P_m)}{\sigma} \quad (1)$$

Où P_i : Précipitation de l'année i (mm), P_m : Précipitation moyenne historique de la période (mm)

σ : Ecart-type historique des précipitations de la période (mm)

3. Résultats et discussion

3.1 Résultats des indices standardisés de précipitation

La région de la Marahoué a connu une variabilité hydroclimatique, matérialisée par une alternance d'années humides et sèches au regard de l'évolution des indices SPI, figure 2. Les années sèches sont représentées par les valeurs négatives de l'indice SPI, matérialisées par la couleur rouge et les années humides par les valeurs positives, matérialisées par la couleur bleue. Les valeurs du SPI calculées pour le court terme (03 mois et 06 mois) varient beaucoup et donne plus de détails sur les saisons. À l'échelle du moyen (12 mois) et long (24 mois) terme, ces valeurs se stabilisent et traduisent avec plus de précision les périodes de déficit et d'excédent des précipitations (figure 2). À Zuénoula les sécheresses les plus longues et les plus intenses sont enregistrées durant les périodes de 1976-1977, 1982-1984, 1990-1994 et 1997-1998. A Bouaflé, ces sécheresses sont observées durant les périodes de 1974-1979, 1982-1984 et 1993-2001. La station de Sinfra a aussi enregistré des sécheresses plus longues et plus intenses durant les périodes de 1970-1977, 1982-1985 et 1991-1995.

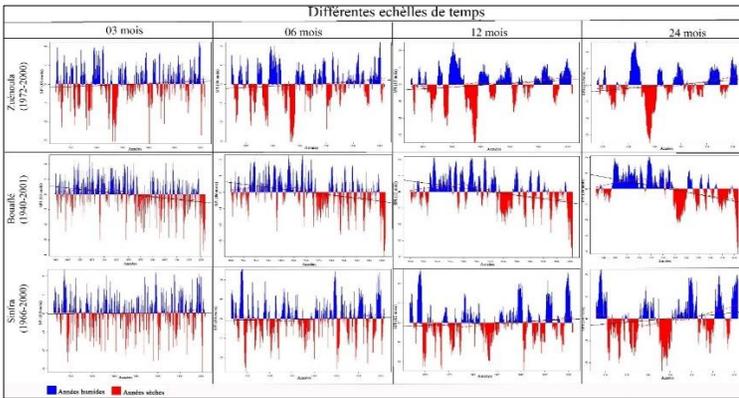


Figure 2 : SPI des trois stations pluviométriques de la zone d'étude à échelles multiscalaire

En vue de déterminer la variation des fréquences de sécheresse enregistrées dans la région de la Marahoué, les différentes classes de sécheresse ont été déterminées en fonction des différentes échelles de temps à partir des résultats du calcul de l'indice SPI, tableau 1.

Tableau 1 : variation des fréquences de différentes classes de la sécheresse dans la région de la Marahoué

Échelles de temps	Fréquences de sécheresse		
	Extrême	Sévère	Modérée
Court terme (03 et 06 mois)	1,61% à 3,45%	3,23% à 6,90%	24,14% à 42,86%
Moyen terme (12 mois)	1,61% à 3,45%	3,86% à 8,06%	24,14% à 37,14%
Long terme (24 mois)	1,67% à 7,41%	6,06% à 11,67%	31,61% à 42,42%

Pour mieux observer l'évolution des effets de la sécheresse dans la région de la Marahoué, les valeurs moyennes des indices standardisés de précipitations des différentes échelles de temps ont été spatialisées par décennie, figure 3. Dans la première décennie (1953-1964) les plus faibles valeurs du SPI sont enregistrées au Nord-ouest de la zone d'étude, cette zone est donc plus affectée par les effets de la sécheresse pendant cette période.

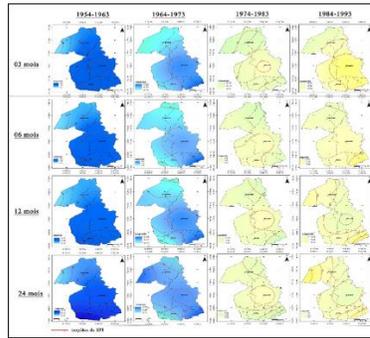


Figure 3 : Répartition spatiale des valeurs moyennes du SPI à différentes échelles de temps par décennie

3.2. Discussion

La baisse de la pluviométrie déterminée au cours de cette étude se situe en général après 1970, et s'intègre dans les périodes sèches définies par les études antérieures. Comme signalés par [6] les années 1970 constituent une période très représentative de l'importante chute de la pluviométrie en Côte d'Ivoire. Dans le Centre-ouest de la Côte d'Ivoire, des études ont mises en évidence un important déficit pluviométrique, plus précisément dans le département de Divo et de Gagnoa. Les travaux de [7], ont également mises en évidence un déficit pluviométrique dans les régions des savanes de la Côte d'Ivoire, selon ces hauteurs, cette baisse pluviométrique a eu des répercussions sur le bilan hydrique de ces régions. L'analyse de l'indice standardisé des précipitations(SPI) a révélé que le Centre-ouest de la Côte d'Ivoire a connu un important déficit pluviométrique après 1970 avec des pics en 1969 à Sinfra, en 1983 à Zuénoula et en 1989 à Bouaflé. Ces pics ont été caractérisés par des sécheresses de types extrêmes et sévères à Zuénoula et à Bouaflé ; à Sinfra elles sont de types modérés. Ces résultats confirment les recherches effectuées par [8] en Afrique de l'Est et de l'Ouest et [9] en Côte d'Ivoire. En Côte d'Ivoire, les travaux de [10] ont montré que les décennies 1970-1979, 1980-1989, et 1990-1999 ont été des périodes sèches. La spatialisation des valeurs moyennes des indices SPI a également permis de'affirmer cette baisse progressive de la pluviométrie marquée par la sévérité de la sécheresse devenue de plus en plus importante de depuis les années 1970 et qui s'étend du Nord vers le Sud de la région d'étude. La région de la Marahoué a enregistré depuis les années 1970 des sécheresses de types modérées avec des fréquences variant entre 31,03% et 38,46%. Ces résultats sont conformes avec les travaux de [3] dans le bassin versant du Badaman.

Conclusion

D'une échelle de temps à l'autre, l'évolution historique du SPI s'avère différente. Le Centre-ouest de la Côte d'Ivoire a été affecté par plusieurs périodes sèches depuis les années 1970. Les sécheresses les plus remarquables de par leur fréquence sont de types modérés. Ces épisodes secs ont atteint leur paroxysme en 1969 à Sinfra, en 1983 à Zuénoula et en 1989 à Bouaflé. Des trois stations étudiées, celles de Bouaflé et Zuénoula sont les plus affectées par la sécheresse.

Références

- [1] R. Mirabbasia, E.N. Anagnostoub, A. Fakheri-Farda, Y. Dinpashoha, S. Eslamianc, Analysis of meteorological drought in northwest Iran using the Joint Deficit Index. *Journal of Hydrology*, 492, (2013) 35-48.
- [2] Savane I., Coulibaly K. M., P. Gion, Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man, *Sécheresse*, 12, 4, (2001) 231-237.
- [3] I. Doumouya, B. Kamagaté, A. Bamba, M. Ouedraogo, I. Ouattara, I. Savané, B. T. A. Goula, J. Biémi, impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau et végétation du bassin versant du bandama en milieu intertropical (Côte d'Ivoire). *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 14 (2009) 203-215.
- [4] 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'Évolution du Climat, Genève, Suisse, (2007) 103 p.
- [5] Conseil générale de la Marahoué. www.regionmarahoue.ci, consulté le 02 février 2015.
- [6] J. Paturol E, E. Servat, B. Kouamé, J.F. Boyer, Manifestation de la sécheresse en Afrique de l'Ouest non sahélienne, cas de la Côte d'Ivoire, du Togo et du Bénin. *Bulletin sécheresse*, 6, 1, (1995) 95-102.
- [7] B. Diomande I, A. Kangah D. P, K. Dje B, Variabilité du bilan hydrique dans les régions de savanes de côte d'ivoire. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 2, (2013) 15p.
- [8] G. Mahé, Y. L'hote, J. Olivry C., W. Wotling. Trends and discontinuities in regional rainfall of West and Central Africa. *Hydrological, Sciences Journal*, 46, 2, (2001) 211-226.
- [9] S. Bigot, Y. Brou T, J. Oszwald, A. Diedhiou, Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. *Sécheresse*, 1, 6, (2005) 5 -13.
- [10] B. Goula T. A., I. Savané, B. Konan, V. Fadika, G. Kouadio B, Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins versants du N'Zo et du N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide). *Vertigo*, 7, 1, (2006) 1-12.

Etude des intensités instantanées en 15' et 30', répercussions sur l'érosivité des pluies et les pertes en terres et mesures d'adaptation en milieu semi-aride Tunisien.

Hechmi Belaid¹, Hammadi Habaieb²

1 : ESIER Medjez El Bab Tunisie belaidhfr@yahoo.fr

2 : INRGREF, Tunisie

Résumé

Connaître l'évolution et la variabilité récentes du climat dans les pays arides et semi arides est une nécessité afin d'anticiper ce que pourrait être les conséquences sur les milieux et sur les sociétés de ces régions, et ceci dans le but de définir des stratégies d'adaptation durables. Le Zaghouanais, cadre de notre étude, est l'un des meilleurs exemples qui soient pour l'investigation et l'analyse de ces processus fort complexe qui menacent les ressources en eaux et en sols.

Le calcul d'érosivité des pluies repose sur les intensités de pluie, en particulier les intensités en 15' et en 30'. Dans ce travail on a utilisé deux approches pour le calcul de l'érosivité, une qui repose sur $I_{15\max}$ et l'autre sur $I_{30\max}$. Les averses dites érosives ou supérieure à 12,7 mm sont celles qui occupent la part la plus importante, Soit 82%, dont 45% pour les averses dites torrentielles ou supérieures à 30 mm. La comparaison entre les valeurs des intensités en 15' et celles de 30' montrent qu'avec les changements climatiques il est plus utile d'utiliser celles de 15'. La spatialisation sur le grand bassin a été faite d'une manière adéquate. Les mesures d'adaptation en condition extrêmes sont aussi discutées soit à l'échelle de la parcelle ou à l'échelle des cours d'eaux.

Mots-clés : climat, intensité pluie, érosivité, adaptation, Tunisie.

Study of instantaneous rainfall intensities in 15' and 30', repercussion on rainfall erosivity and soil loss and adaptation measures in Tunisian semi-arid environment

Abstract

Knowledge of recent climatic development and variability in arid and semi-arid countries is a necessity in order to anticipate what would be the consequences on environments and societies of these regions, this is important to define sustainable adaptation strategies. The Zaghouaneese, frame of our study, is one of the best examples for investigation and analysis of such complicated processes which threaten water and soil resources.

Rainfall erosivity calculation is based on rainfall intensities, in particular intensities in 15' and in 30'. In this work we used two approaches for erosivity calculation, one is based on $I_{15\max}$ and the other on $I_{30\max}$. the storms called erosives or greater than 12,7 mm present the most important part, say 82%, in which 45% for the storms called pouring or heavy greater than 30 mm. The comparison between values at intensities in 15' and those in 30' showed that in parallel to the climatic change it is moreuseful to use those in 15'. The spatialisation over the great watershed was done adequately. Adaptation measures in extreme conditions are also discussed at a scale of the field or at a scale of water bodies.

Key Words: climate, rainfall intensity, erosivity, adaptation, Tunisia.

Introduction

Une averse peut être caractérisée par plusieurs paramètres qui peuvent avoir, au sein d'un même événement, des temps de retour très différents [1]. On peut citer la hauteur d'eau H (mm), la durée D (h), l'intensité moyenne $imoy = H/D$ (mm/h), l'intensité instantanée $it = Ht/Dt$ (mm/h), les intensités maximales sur des intervalles de temps dt de quelconques $im(dt)$ et la distribution dans le temps des intensités instantanées $i(t)$ ou des fréquences des classes d'intensité. Le calcul d'érosivité des pluies repose sur les intensités de pluie, en particulier les intensités maximales en 15' et en 30'. L'objectif de ce travail est de faire une comparaison entre deux méthodes et d'étudier leurs distributions.

I. Zone d'étude

La généralisation et l'extension spectaculaire des processus d'érosion revêtent de plus en plus des aspects inquiétants, voire catastrophiques dans les confins amont du bassin versant Remel dans le Zaghouanais et en particulier le sous bassin Sbaihia. C'est dans ce cadre le choix a porté sur ce dernier où l'extension des processus se soldent par l'accélération de toutes les formes d'érosion en particulier le ravinement qui est devenu généralisé dans une proportion considérable du bassin versant. Il a fait l'objet d'un projet FAO, le projet inter-régional pour la conservation et le développement à caractère participatif des hautes terres, le bassin versant est choisis parmi cinq zones d'étude dans le monde. Le lac collinaire de Sbaihia est construit sur l'oued Sbaihia amont et collecte les eaux de ruissellement d'un bassin d'une superficie de 324 hectares (Figure 1). L'impluvium amont est constitué essentiellement de forêts de pin d'Alep et de terres de parcours (garrigue et maquis bas) pour environ 80% de la surface totale. Les terrains agricoles occupant le reste de l'impluvium. Une végétation très dense s'est développé dans le lit de l'oued et facilite le piégeage des sédiments les plus grossiers (galets, petits blocs de roche, etc.). Les travaux de CES, principalement représentés par des banquettes mécaniques sont assez bien développés sur les terres agricoles du haut bassin amont [2].

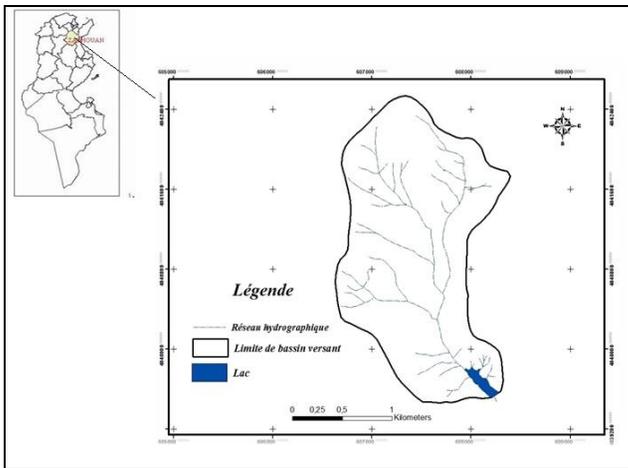


Fig. 1 Le sous bassin versant Sbaihia et son lac collinaire

2. Matériels et méthodes

Les mesures hydrologiques concernent essentiellement la pluviométrie, la pluviographie, l'évapotranspiration et le niveau d'eau dans le lac. Les mesures sont télé-transmises à un ordinateur. Les observations ont débutés en 15 décembre 1993 et achevés durant l'année hydrologique 2007/2008.

L'indice d'érosivité le plus communément utilisé a été proposé par Wisheimer et Smith [3], sur la base d'observations liant d'une part les pertes en terre par rejaillissement, érosion en nappe et en rigoles, et d'autre part le produit de l'énergie cinétique E_{cin} (ton/ha/cm) ou (MJ/ha/mm) selon le système d'unités utilisés et de l'intensité maximale des pluies de 30 minutes I_{30} (cm/h) ou (mm/h) selon la méthode.

$$R = E_{30} \cdot I_{30max} \quad (1)$$

Pour chaque averse on délimite des périodes d'intensité uniforme ou pluviophases, et pour chaque pluviophase on détermine la hauteur h_i et la durée t_i respectivement en cm et heures.

Ceci nous permet de calculer l'intensité unitaire li .

Pour chaque intensité on calcule l'énergie cinétique spécifique de la pluviophase selon l'équation (2):

$$E_{si} = 210 + 89 \log_{10} I_i \quad (2)$$

Avec, E_{si} = énergie cinétique spécifique de la pluviophase exprimée en tonne métrique x mètre/ha/cm de pluie.
 Ensuite l'énergie cinétique de la pluviophase est le produit de l'énergie spécifique par la hauteur correspondante (3).

$$E_{pi} = E_{si} \cdot h_i \quad (3)$$

L'énergie cinétique totale de l'averse est la somme sur les n pluviophases

$$E = \sum E_{pi} \quad (4)$$

L'intensité maximale en 30 mn, I_{30max}

Exprimée en cm/h, elle est basée sur la raideur des pluviophases sur un pluviogramme. Dans le cas où la pluviophase avec la plus forte raideur à une durée supérieure à 30 mn, I_{max30} est l'intensité de la pluviophase correspondante ($I_{max} = I_i$). Dans le cas où la pluviophase avec plus forte raideur est d'une durée moindre de 30 mn on complète par les pluviophases voisines pour compléter les 30 mn.

Récemment dans la nouvelle formulation de L'USLE ,ou Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Renard et al.[4] recommandent pour le calcul de l'énergie spécifique d'utiliser la formule suivante (5):

$$E_{si} = e_m = 0.29 [1 - 0.72 \exp (-0.05 i_m)] \quad (5)$$

Avec toujours e_m à les unités de MJ/ha/mm de pluie et i_m l'intensité en mm/h.

En parallèle avec les changement climatiques , les tendances récentes sont envers l'utilisation de I_{15max} dans le calcul de l'érosivité (6) à la place de I_{30max} [5] [6].

$$R = E \cdot I_{15max} \quad (6)$$

3. Résultats et discussions

En calculant R pour toutes les averses et en utilisant I_{15max} , on obtient une érosivité moyenne dans le bassin versant de l'ordre de 1273 MJ.mm/ ha.h. Le minimum observé est enregistré durant l'année 94/95 avec 358 MJ.mm/ha.h et le maximum est enregistré durant l'année 2000 avec un record de l'ordre de 4060 MJ.mm/ha.h. L'écart type est assez élevé, de l'ordre de 1006 MJ.mm/ha.h. En calculant R pour toutes les averses et en utilisant I_{30max} , on obtient une érosivité moyenne de l'ordre de 1128 MJ mm /ha h. Sachant qu'on a considéré que les intensités maximales supérieures à 10 mm/h , les intensités maximales en 15' oscillent entre 10 et un maximum de 114,5 mm/h. Ce maximum est enregistré dans l'averse du 27 octobre 2010 d'une durée de 3 heures (Tableau 1). Les intensités maximales en 30' elles oscillent entre 10 et un maximum de 88,3 mm/h, le maximum est enregistré dans la même averse. La moyenne est autour de 21 mm/h dans les deux cas et l'écart type est légèrement plus élevé pour I_{15max} (Tableau 1).

L'érosivité de l'averse correspondante, calculée pour les maximums enregistrés est respectivement de 1755 MJ mm /ha h pour I_{15max} et 1353 MJ mm /ha h pour I_{30max} . Telle érosivité enregistrée en une averse de 3 h équivaut une fois et demie l'érosivité moyenne annuelle de la zone.

Tableau 1. Les paramètres statistiques des intensités maximales en 15' et en 30'.

Intensité/ Paramètre statistique	I_{15max}	I_{30max}
Minimum	10	10
Maximum	114,5	88,3
Moyenne	21,4	20,6
Ecart type	15,8	12,9

La répartition des fréquences des classes des intensités maximales en 15' et en 30' est donnée par la figure 2. On remarque bien que dans 60% des cas les intensités maximales dans les deux cas est inférieures à 20 mm/h. Les intensités très fortes soit supérieure à 60 mm/h dans les deux cas sont de fréquence très faible et par conséquent des périodes de retour très élevées.

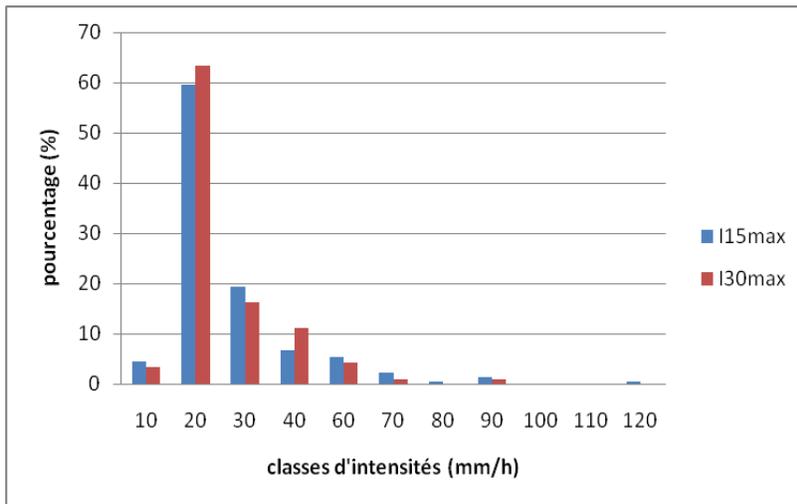


Fig. 2 Répartition des fréquences des classes des intensités maximales en 15' et en 30'.

Dans le but de faciliter le calcul de l'érosivité, Belaid et Habaieb [7] ont trouvés une première relation qui relie l'érosivité R et l'indice de Fournier modifié Fm à l'échelle mensuelle (7) et une deuxième relation à l'échelle annuelle (8).

$$R_m = 16.80 F_m^{0.86} \quad (R^2 = 0,72) \quad (7)$$

$$R = 1,042 F_m^{1,59} \quad (r = 0,84) \quad (8)$$

Ces deux relations donnent une prévision de l'indice d'érosivité pour toutes les stations non équipées de pluviographes de l'oued Remel et par lasuite une spatialisation sur tout le bassin.

Conclusion

Le Zaghouanais, cadre de notre étude, est l'un des meilleurs exemples qui soient pour l'investigation et l'analyse des processus de dégradation fort complexes qui menacent les ressources en eaux et en sols. Le calcul d'érosivité des pluies repose sur les intensités de pluie, en particulier les intensités en 15' et en 30'. Dans ce travail on a utilisé deux approches pour le calcul de l'érosivité, une qui repose sur I₁₅ max et l'autre sur I₃₀max. les résultats montrent qu'on s'oriente de plus en plus vers l'utilisation des intensités en 15' au lieu de celles de 30'. Le paramètre érosivité est très fondamental dans le choix des aménagements au niveau des bassins versants. les mesures d'adaptation s'imposent et doivent tenir en compte des changements climatiques, les travaux de conservations des eaux et des sols qui existent déjà au niveau du bassin versant que ce soit au niveau de la parcelle ou au niveau des voies d'eaux doivent être renforcés et multipliés.

Références

- [1] A. Musy, A. et C. Higy., 1999. Hydrologie appliquée. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Lausanne, Suisse.336p.
- [2] D/CES et IRD, 1995. Note sur L'envasement de lacs collinaires en zone semi-aride Tunisienne. Ministère de l'agriculture, Tunisie.
- [3] W.H. Wisshmeir, W.H. and Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses- a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.
- [4] K.G. Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.c. Yoder., 1996. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA - ARS Agriculture Handbook
- [5] S. Jebari S., Berndtsson, R., Bahri, A., Boufaroua, M., 2010. Spatial soil loss and reservoir siltation in semi-arid Tunisia. Hydrological Sc. J. 55(1): 121-137.
- [6] H. Belaid, H. 2015. Contribution à l'étude des processus de l'érosion hydrique en milieu semi aride tunisien. Thèse de doctorat. INAT Tunisie.
- [7] H. Belaid, H. et H. Habaieb. 2015. Etude de l'estimation de l'érosivité des pluies au nord semi-aride de la Tunisie. IVème Colloque international : « Eau et Climat : Regards croisés Nord-Sud ». Défis de l'Eau et Stratégies d'Adaptations autour du Bassin Méditerranéen. Constantine, 24 et 25 Novembre 2015.

Qualité des eaux du fleuve Niger et leur aptitude à l'irrigation à Faranah-Guinée

Aissatou Lamarana BAH^{1,2}, Adama OUEDA², Abdoulaye BARRY¹, Gustave KABRE².

¹Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire de Faranah Guinée

²Université Ouaga1 Pr Joseph Ki Zerbo.

Résumé

La présente recherche a été menée pour évaluer la qualité physico-chimique des eaux du fleuve Niger à de Faranah en Guinée pour l'irrigation. six sites ont été identifiés 18 paramètres analysés : température, turbidité, conductivité électrique, pH, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, HCO₃²⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, Fer, O₂ dissout et colis fécaux. Les résultats ont été traités à l'aide de méthodes hydrochimiques (diagramme de Piper) des techniques d'analyse statistique multivariée. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'analyse en Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) le diagramme de Richard Riverside. Au terme de cette étude, l'ACP et la CHA ont révélé que les phénomènes sont à l'origine de la minéralisation des eaux : le pluviolavage des sols et les apports des activités anthropogéniques au niveau du Centre-ville. Les eaux étudiées sont neutres, faiblement minéralisées, et de qualité physico-chimique acceptable leur conférant l'aptitude à satisfaire les besoins d'irrigation pour la plupart des sols et pour la plupart des espèces cultivées. La pression démographique galopante avec ses corollaires sur l'environnement et le développement de l'agriculture avec l'utilisation d'engrais chimiques pourraient rendre les eaux vulnérables et les exposer à une pollution beaucoup plus importante.

Mots-clés : Fleuve Niger, hydrochimie, Irrigation, Faranah, Guinée

Water quality of the Niger River for irrigation in Faranah

Abstract :

This research was conducted to evaluate the physico-chemical quality of the Niger River water in Faranah, Guinea for irrigation. six sites were identified 18 parameters analyzed: temperature, turbidity, electrical conductivity, pH, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, HCO₃²⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, Fer, O₂ dissolve and faecal packages. The results were processed using hydrochemical methods (Piper diagram) of multivariate statistical analysis techniques. The Principal Component Analysis (PCA) and Ascending Hierarchical Classification (AMP) analysis of the Richard Riverside diagram. At the end of this study, the ACP and the HCA revealed that the phenomena are at the origin of the mineralization of the water: the pluviolavage of the grounds and the contributions of the anthropogenic activities at the level of the Center-town. The studied waters are neutral, weakly mineralized, and of acceptable physicochemical quality conferring on them the ability to satisfy the irrigation needs for most soils and for most cultivated species. Rapid population pressure with its corollaries on the environment and the development of agriculture with the use of chemical fertilizers could make the waters vulnerable and expose them to much greater pollution.

Keywords : Niger River, Hydrochemistry, Irrigation, Faranah, Guinea

Introduction

En Guinée, les risques climatiques identifiés à Faranah (sécheresse, perturbations pluviométriques, inondations...) ont des impacts négatifs sur les activités des différents groupes socio-économiques. Ce qui implique une variation subséquente des rendements des cultures, des récoltes incertaines conduisant à une insécurité alimentaire ; Les perturbations du climat posent donc de nombreuses contraintes dans le secteur de l'agriculture notamment la rareté des eaux et leur mauvaise répartition dans l'espace et le temps. Pour relever ce défi il y a lieu de passer d'une agriculture pluviale à une agriculture irriguée qui satisfait les besoins en eau des cultures sans discontinuité. Les eaux du fleuve Niger peuvent être mises à contribution dans le domaine de l'irrigation à Faranah. Malheureusement, les activités humaines mettent gravement en danger les eaux du fleuve Niger (Bariweni et Izonfuo 2001 ; Planète bleue 2003). Et aucune étude n'a encore été réalisée sur les eaux du Fleuve Niger en Guinée en matière de qualité ou d'aptitude à l'irrigation. Certains éléments dissous sont identifiés comme aliments et sont salutaires pour la croissance des plantes, alors que d'autres peuvent être toxiques pour les récoltes ou peuvent le devenir à concentration élevée (Couture 2004). L'utilisation des eaux du fleuve Niger en agriculture pose donc un préalable, celui de connaître leur qualité par rapport à cet usage. La présente étude s'inscrit dans le cadre de l'adaptation de l'agriculture pluviale extensive au changement climatique, l'agriculture irriguée étant une technique qui vient à bon escient dans le but d'évaluer la qualité des eaux du fleuve Niger le long du Centre-ville de Faranah pour des besoins d'irrigation.

I. Méthodologie

I.1. Le bassin versant et la zone d'étude

I.1.1. Le bassin versant

Le Bassin du Niger en Guinée encore appelé Haut Bassin du Niger (figure 1a) correspond à la Haute Guinée qui est l'une des quatre régions naturelles de la Guinée. C'est une vaste région comprise entre 8°00 et 11° 37 de longitude ouest et entre 8° 45 et 12° 35 latitude nord. Elle couvre une superficie de 103 235 km² soit 41 % du territoire guinéen. Cette Zone dispose d'une grande potentialité en sol (terres), en eau, en plantes, en animaux et en ressources minières. Les sols du Haut bassin du Niger en Guinée sont en général complexes avec une alternance de lithosols, luviosols, nitosols et acrisols (Baldé Y. et Girard 1980) et présentent par endroit des zones de latérite à horizon compacts.

I.1.2. La zone d'étude

Le Centre-ville de Faranah (figure 1c) est une partie intégrante de la Commune Urbaine qui s'étend sur une superficie d'environ 47 km² pour une population de 56 463 habitants soit une densité de 1201 habitants au km². Il est situé au centre sud du pays (figure 1b) à 450 km de la capitale Conakry et s'étend longitudinalement du Sud au Nord le long du fleuve Niger. Il est sous l'influence du climat sub soudanien, un climat du type tropical sec caractérisé par l'alternance de deux saisons à durée inégale. La saison sèche la plus longue commence en novembre et finit en mai (soit sept mois), celle pluvieuse dure cinq mois (de juin à octobre). La température moyenne est de 22°C pour 30 ans avec un minima moyen de 16°C et un maxima moyen de 28°C. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1523,8 mm pour une période de 30 ans et varie périodiquement. Le Centre-ville, est traversé du sud au nord par le fleuve Niger. De nombreux affluents (Mansarenko, Tonolonko, Sirikoléni, Founkama ...) traversent la ville avant de se jeter dans le fleuve. La couverture géologique est constituée de roches métamorphiques, quartzites à minerai de fer.

I.2. Méthodologie

I.2.1. Appréciation de la qualité de l'eau

Le choix des paramètres à analysés a tenu compte des effets potentiels de l'eau d'irrigation sur les sols, les plantes, le rendement des cultures et la santé des utilisateurs. Les analyses ont porté sur 18 paramètres : température, turbidité, conductivité électrique, pH, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, HCO₃²⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, Fer, O₂ dissout et colis fécaux.

Méthodes d'analyses

Les méthodes d'analyse employées sont adaptées de Standard Methods de l'American Public Health Association (APHA, 1995) aux instruments de la firme HACH.

In situ, ont été déterminés

- La température ; le pH et la conductivité à l'aide d'un appareil multi paramètre HI98130.
- La turbidité à l'aide d'un turbidimètre.
- L'Oxygène dissout grâce à un oxymètre portatif de marque HI83200-02

Au laboratoire, ont été déterminés

- Le calcium, le magnésium, le potassium, les carbonates, par titrimétrie ;
- Le fer, les nitrites les nitrates, les phosphates, l'ammonium et le sodium par spectrophotométrie ;
- Les sulfates et les chlorures, par colorimétrie ;
- Les coliformes fécaux par méthode de filtration sur membrane millipore 0,45 µm.

1.2.2. Traitement des données :

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) et la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) ont été utilisées pour mettre en évidence respectivement les phénomènes à l'origine de la minéralisation des eaux et les liens entre ces eaux. Pour l'analyse de la typologie des eaux, les données ont été traitées à l'aide de méthodes hydrochimiques par le logiciel diagramme. Pour la détermination des faciès des eaux étudiées, le diagramme de Piper a été utilisé. Pour l'aptitude des eaux du fleuve Niger à l'irrigation, nous nous sommes servis des méthodes d'analyse hydrogéochimique, à travers le diagramme de Richard Riverside (Oga ;2009 ; Dominique 2009 ; Ahoussine et al. 2012 ; Haïssoune 2013 ; et Tampo 2015). A cet effet le diagramme Schöeller-Berkaloff a été utilisé pour classer les eaux. Les indices tels que le Pourcentage de Sodium Soluble (PSS) et le Ratio d'Absorption du Sodium (RAS) ont été utilisés pour confirmer les classes de Richard Riverside.

2. Résultats

2.1. Variation spatiotemporelle des paramètres étudiés

Température, pH, turbidité, conductivité électrique et oxygène dissout : Les valeurs des variables physiques (température, turbidité) mesurées sont plus ou moins homogènes au niveau du cours principal et de ses affluents au Centre-ville mais différent de celles observées à la source du fleuve Niger à Faranah. La température moyenne est de $24,46^{\circ}\text{C} \pm 2,61$. Les valeurs moyennes du pH avoisinent la neutralité dans toutes les eaux. La valeur moyenne est de $6,75 \pm 0,22$. La turbidité moyenne est de $50,01 \text{ NTU} \pm 50,18 \text{ NTU}$. La conductivité électrique moyenne est de $40,51 \pm 9,05 \mu\text{s}/\text{cm}$. La teneur moyenne en oxygène dissout est de $5,40 \pm 1,37 \text{ mg}/\text{L}$.

Cations majeurs : Globalement, les valeurs en cations majeurs sont faibles. Toutefois les valeurs les plus élevées sont enregistrées en période d'étiage et celles les plus faibles en période de crues.

Anions majeurs : Les concentrations en anions majeurs bicarbonates et les sulfates sont globalement faibles et homogènes au niveau du cours principal et de ses affluents au Centre-ville mais différentes de celles de la source où elles sont encore relativement plus faibles.

Eléments traces métalliques : La concentration en ions Fer est quasi homogène dans toutes les eaux et varie de $0,78$ au niveau de l'affluent permanent et du cours principal (Bas-fond) du Centre-ville à $1,55 \text{ mg}/\text{L}$ au niveau de la Source. La concentration en Fer varie peu d'une période hydrologique à l'autre avec une moyenne $1,05 \pm 0,22 \text{ mg}/\text{L}$.

Nutriments : D'une manière générale, les concentrations en nutriments NO_3 ($0,01 \text{ mg}/\text{L}$), NO_2 ($0,002$), NH_4 ($0,01 \text{ mg}/\text{L}$) et PO_4 ($0,01 \text{ mg}/\text{L}$) quasi inexistantes en période de crues à la Source sont relativement élevées au niveau du cours principal et de ses affluents au Centre-ville en période d'étiage. Les maximas ($28,00$ pour NO_3 ; $0,52$ pour NH_4 et $3,79 \text{ mg}/\text{L}$ pour PO_4) sont observés au niveau de l'affluent temporaire. Les valeurs moyennes de ces paramètres sont $1,40 \pm 0,84 \text{ mg}/\text{L}$ pour le PO_4 ; $0,015 \pm 0,015 \text{ mg}/\text{L}$ pour le NO_2 et $0,33 \pm 0,14 \text{ mg}/\text{L}$ pour le NH_4 ; $28,00 \pm 9,32 \text{ mg}/\text{L}$ pour NO_3 .

Paramètres bactériologiques Les colis fécaux, inexistantes à la Source, se comptent par milliers au niveau du cours principal au Centre-ville où ils ont été dénombrés jusqu'à $2024 \text{ (ufc}/100\text{ml)}$ en période de crues.

2.2. Classification hydrochimique des eaux

L'analyse des eaux du fleuve Niger et de ses affluents au Centre-ville de Faranah a montré l'existence de plusieurs éléments chimiques. L'analyse des diagrammes de Piper (figures 1 a et b) a permis de dégager des groupes de comportement commun qui reflètent un faciès dominant indiquant que les eaux étudiées appartiennent à la famille des eaux bicarbonatées calciques. Ce faciès représente en général, les eaux faiblement minéralisées.

2.3. Analyse de la composante principale (ACP)

Le regroupement et le positionnement des variables dans les cercles de corrélation des échantillons de la saison pluvieuse dans le cours principal (figure 5a) nous permet de distinguer trois groupes de variables : le groupe 1 caractérisé par les indicateurs du degré de minéralisation (Ca, Mg, HCO_3 , CE et Na) et la turbidité ; le groupe 2 caractérisé par des descripteurs de pollution anthropique (NO_2 , colis fécaux, NO_3 , PO_4). Le groupe 3 (NH_4 , SO_4) caractérisé par des descripteurs de pollution de pollution agricole.

Pour ce qui est de la saison sèche au niveau du cours principal, la figure 5b révèle deux groupes de variables : d'un côté le Ca, le K, le Na, les bicarbonates, la conductivité électrique ; de l'autre côté, la turbidité, les colis fécaux et les phosphates également fortement corrélés entre eux s'identifient à la pollution anthropique.

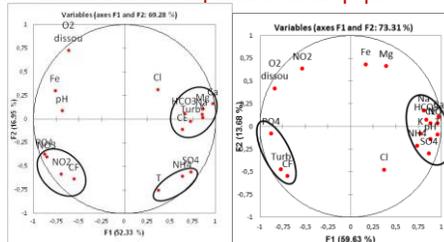


Figure 1 : Projection des variables dans le plan factoriel F1-F2 des eaux du cours principal et affluents, Centre-ville de Faranah, a- cours principal saison pluvieuse, b- cours principal saison sèche

L'analyse l'arbre à classification hiérarchique a permis de distinguer deux grands groupes de points de prélèvement en fonction de leur similarité par rapport à la qualité des eaux. D'un côté, la Source dans son état naturel qui n'a connu aucune influence anthropique ; de l'autre côté, les autres points de prélèvement sur le Niger et ses affluents au Centre-ville de Faranah soumis à des pollutions de tout ordre : géomorphologiques et anthropiques.

2.4. Aptitude de l'eau à l'irrigation

Le report des échantillons placés sur le diagramme de classification des eaux d'irrigation de Richard Riverside montre que le pourcentage de sodium et le pouvoir alcalinisant sont faibles. Ce qui signifie que les eaux du Fleuve Niger de la Source au Centre – ville à Faranah sont utilisables sur presque n'importe quel sol et pour n'importe quelle culture pour la plupart des espèces cultivées et des sols

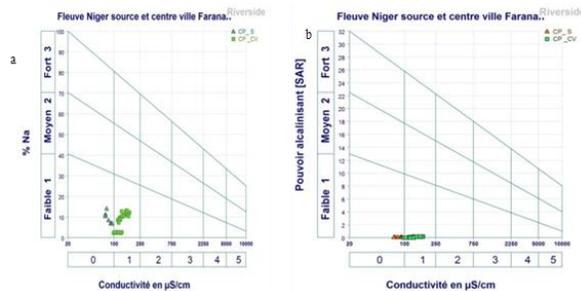


Figure 2 : Représentation des classes d'aptitude des eaux du fleuve Niger (Source et Centre-ville) à l'irrigation a- d'après le diagramme de Richard Riverside ; b- par rapport à l'absorption du Na d'après le diagramme de Richard Riverside.

3. Discussions

Les eaux présentent dans l'ensemble une faible minéralisation surtout en saison pluvieuse avec une dilution par l'apport des eaux pluviales. Par contre en saison sèche on assiste à une diminution du volume du fleuve donc de la minéralisation relative par évapoconcentration. Le même constat a été fait pendant l'étiage avec les eaux des rivières calédoniennes et le phénomène a été expliqué par la baisse du niveau d'eau qui concentre les éléments chimiques en cette période (N'Diaye 2015). En matière d'aptitude des eaux à l'irrigation, les eaux du fleuve Niger, de la Source au Centre-ville de Faranah, sont utilisables pour la plupart des espèces cultivées et des sols. Ces eaux, au-delà de Faranah, peuvent satisfaire les usages industriels, l'irrigation, la pisciculture et l'abreuvement des animaux dans la zone parcourus du fleuve de la Guinée et du Mali (Haissoune 2013).

Conclusion

L'approche hydro chimique a révélé deux faciès : faciès bicarbonaté calcique et faciès bicarbonaté calcique faiblement magnésien. L'analyse en composantes principales a permis de constater que les phénomènes à l'origine de la minéralisation des eaux sont, le pluviolésivage des sols et les apports des activités anthropogéniques au niveau du Centre-ville. L'étude de l'aptitude à l'irrigation a permis de ranger les eaux dans la classe bonne (S1) par rapport au risque d'alcalinisation des sols et dans la classe I par rapport au risque de salinité conférant aux eaux l'aptitude à irriguer la plupart des sols. Les eaux sont donc faiblement minéralisées, neutres, et de qualité physico-chimique acceptable leur conférant l'aptitude à satisfaire les besoins d'irrigation.

Références

- [1] Ahoussi K. E., Koffi Y. B., Kouassi A. M., Soro G., Soro N., Biemi J. Caractérisation Physico-Chimique et Bactériologique des Ressources en eau des Localités Situées Aux Abords de la lagune Ebrié dans la commune de Marcory (District d'Abidjan, Côte Ivoire) : cas du village d'Abia Koumassi. *European Journal of Scientific Research*, Vol. 89 No 3 (2012) : 359-383
- [2] Alhou B., Y. Issiaka, A. Awais et J-C. Micha, 2014. Premier inventaire des macro-invertébrés du fleuve Niger à Niamey comme bio indicateurs de la pollution urbaine et industrielle *Hydroécol. Appl. Tome 18*, pp. 139-163.
- [3] Baldé Y. et Girard M. C., Classification des sols de Guinée (2ème approximation) et leur évaluation en vue d'une utilisation agricole. *Bulletin SENASOL No 8 MAEF F – PROJET CNUD/ FAO Gui 72-004*. 1980 35p
- [4] Bariweni A.P. and L.W.A. Izonfuo, The effect of urban runoff water and human activities on some physico-chemical parameters of the Epie Creek in the Niger Delta. *Journal Appl. Sc. Environ. Manage.*, 5 (2001) : 47-55.
- [5] Couture I., 2004. Analyse d'eau pour une irrigation, MAPAQ Montérégie-Est 12
- [6] Dominique V., 2009. Etudes de données physico-chimiques des eaux du secteur Nord du Piton des Neiges Ile de La Réunion MASTER GEOSPHERE Transfert Sol Aquifère Université2 de la Réunion
- [7] Haissoune A. I. A., 2013. Caractérisation de la qualité des eaux superficielles et souterraines du bassin de N'fis, *Eau environnement, Maroc*.
- [8] N'diaye A. D., Salem K. M. M., El Kory M. B., Kankou M. O. S., Baudu M., 2013. Contribution à l'étude de l'évolution Spatio-temporelle de la qualité physicochimique de l'Eau de la Rive droite du fleuve Sénégal
- [9] Oga M. S., Lasm T., Yao T. K., Soro N., Saley M. B., Kouassi D., Gnamba F., 2009. Caractérisation chimique des eaux des aquifères de Fracture : Cas de la Région de Tiassalé en Côte d'Ivoire, *European Journal of Scientific Research* 31(1) : 72-79 *Scientific Research*, 31(1):72-87
- [10] Planète bleue <http://www.planetebleue.info/2003/07/La-pollution-et-l'ensablement-du-fleuve-Niger-inquiètent-les-autorités-maliennes/> (2003).
- [11] Tampo L., Gnazou M., Akpataku VBawa., L., Djaneye-Boundjou G., 2015. Application des méthodes statistiques à l'étude hydrochimique des eaux d'un hydrosystème tropical : cas du bassin versant de la rivière Zio (togo) *European Scientific Journal* No.14

Climat de l'Est Algérien en liaison avec la zone de convergence intertropicale (ZCIT)

Belkacem BALAH

Département d'hydraulique, faculté des sciences et des sciences appliquées Pole de technologie, Ain Beida 04200 wilaya d'Oum El Bouaghi- Algérie, (213)699016306 balahbelkacem@hotmail.fr

Résumé

Cette communication vient de paraître l'activité potentielle probable de la zone de convergence inter tropicale (ZCIT), exprimée par son déplacement dans le sens de la latitude vers les frontières Sud du bassin versant de la Seybouse de l'Est Algérien. Celle- ci, est dévoilée à travers l'étude du régime pluviométrique avec l'indice saisonnier des séries des pluies pluri annuelles qui est un facteur prépondérant dans une étude de la variabilité et changement du climat. Cette zone qui est le responsable de contrôle des quatre saisons. Les résultats montrent une perturbation du régime pluviométrique avec de la faible et de la forte activité saisonnière selon les saisons.

Mots clé : climat, variabilité, changement.

Climate of Eastern Algeria in connection with the Intertropical Convergence Zone (ITCZ)

Abstract

This communication comes to appear the probable potential activity of the zone of inter-tropical convergence (ITCZ), expressed by its displacement in the direction of the latitude towards the southern borders of the watershed of the Seybouse of Eastern Algeria. This is revealed through the study of the rainfall regime with the seasonal index of multi-year rainfall series which is a major factor in a study of climate variability and change. This area which is the controller of the four seasons. The results show a disruption of the rainfall pattern with low and seasonal high seasonal activity.

Key words: climate, variability, change.

I. Introduction

Le concept de la variabilité climatique dans le bassin versant de la Seybouse est examiné sur la base de la variabilité pluviométrique. La variabilité pluviométrique est en connexion avec la variabilité atmosphérique, causée par une hétérogénéité des données. L'étude de la variabilité saisonnière est indispensable, pour voir si la baisse ou la hausse de la pluviométrie est spécifique à une saison particulière ou à plusieurs saisons [8, 10]. Les précipitations sont l'un des paramètres météorologiques les plus difficiles à analyser à cause de leur forte variabilité spatiale et temporelle [9]. Une des difficultés majeures dans l'étude du climat est l'existence de variabilité qui possède des échelles temporelles intermédiaires, de l'ordre de dizaine d'années. Cette variabilité à basse fréquence est particulièrement problématique dans l'optique de la recherche d'évolutions temporelles, puisqu'elle peut pour certaines variables faire apparaître des tendances. Ce type de phénomène se traduit notamment par l'existence des oscillations australes (ENSO plus connu comme EL- Nino) et le Nord- Atlantique NAO [11]. L'El Nino est un mode de variabilité climatique, désignait un courant côtier chaud pendant une période allant de deux à sept ans. Ce courant chaud persistait plusieurs mois. Selon Frédéric, 1998, Cet dite El Nino est le lieu de la naissance de plusieurs études dans la plus part des pays proche de l'océan Pacifique, en Inde, en Amérique, en Afrique ou encore dans l'ensemble de la planète. Selon le Frédéric R. et al 1998, le ENSO, est l'un des facteurs à l'origine des variations interannuelles de la circulation atmosphérique mondiale, qui engendrait une modification de la distribution des pluies et des températures. En hydrologie, la variabilité pluviométrique s'explique par l'instabilité atmosphérique et l'influence des facteurs planétaires [2]. Elle s'explique par la variabilité temporelle. La variabilité et l'instabilité des pluies peu causées la migration et/ou étendue de la zone de Convergence Inter- Tropicale (ZCIT), elle s'explique par une variabilité spatiale. Egalement, cette instabilité des pluies fait partie du caractère mondial des phénomènes d'instabilité qui atteste encore fois les travaux réalisés par Raymond Sneyers sur les pluies Africaines, cité en référence [11]. La Zone de Convergence Inter-Tropicale dite aussi l'équateur météorologique n'est pas une bande stable. Elle se déplace en fonction des périodes de l'année et par rapport aux zones géographiques et possède une forte fluctuation au-dessus des zones africaine à cause du relief principalement. Elle peut se déplacer de plus de 1000 kilomètres entre l'été et l'hiver. Selon le dictionnaire de Larousse, la ZCIT elle se déplace en été vers le nord, beaucoup plus loin au-dessus des continents surchauffés qu'au-dessus des océans, et se trouve alors située entre 5 et 30 °N. Par contre, en hiver, elle se déplace vers l'hémisphère Sud, où elle atteint des latitudes légèrement inférieures. Au-dessus des régions océaniques, en raison de l'inertie thermique des océans, cette variation ne dépasse pas cinq degrés. Selon Jacques R. 1994 et al. La variabilité de la position de la ZCIT, est responsable de la saison.

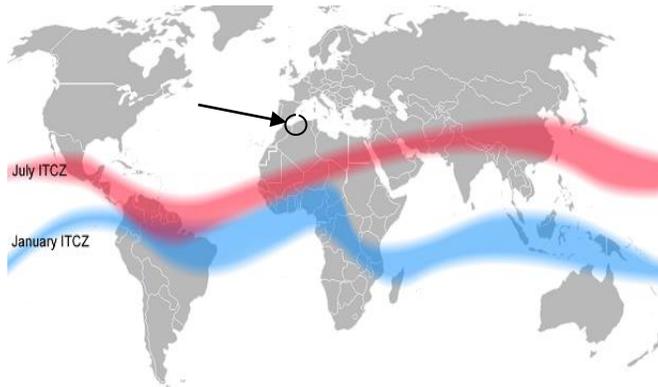


Photo : localisation du bassin versant de la Seybouse avec la position de la ZCIT en mois du janvier et en juillet.

2. Objectif de cette étude

Cette communication contribuée à viser les causes possible de la perturbation pluviométrique en zone étudiée, par la mise de l'accent sur le déplacement ou expansion latitudinal de la partie nord de la zone (bande) de convergence inter tropicale jusqu'à les frontières de la latitude 35°53' du bassin versant.

• Description des données et de la zone d'étude

Le secteur d'étude est le bassin versant de la Seybouse de l'Est Algérien qui est le lieu de naissance de plusieurs recherches, études et travaux scientifiques, et c'est une région caractérisée par plusieurs conditions physiographiques, hydro climatiques et environnementales. Il couvre au total environ de 0.288 % de la superficie de l'Algérie, Il s'étend entre les longitudes 6°48'W et 7°59'E et de latitude 35°53' Sud et 36°57' Nord. Les données examinées sont les séries des pluies pluri annuelles et inter mensuelles de vingt quatre postes pluviométriques, sont répartis sur le territoire du bassin versant selon la figure 1. Les séries des pluies sont étendues de 1946 à 2009, sont comblés par des techniques usuelles pour les rendre traitable.

examinées à l'aide des corrélogrammes. L'interprétation de ces résultats d'auto corrélations ACF, indiquent une grande différenciation entre les valeurs de coefficient d'auto corrélation $\rho(k)$ et celles-ci sont significatives et différentes de zéro. L'élément retenu sur ce point, est que les séries des pluies pluri annuelles ne sont pas stationnaires. Une des caractéristiques des corrélogrammes des séries des pluies est la présence des valeurs d'auto corrélations à l'extérieur de l'intervalle 95% du confiance pour un niveau de signification $\alpha = 5\%$, citons par exemple, les stations de Ain Settara, Bouchegouf, Mechroha, Ain Babouche et Berriche, est la dernière station exhibe trois (03) premiers retards de décalages hors l'intervalle de confiance, contrairement aux quatre dernières stations. Sur le corrélogramme, nous remarquons qu'une tendance visible à la décroissance qui varie entre rapide et lente avec une périodicité et fluctuation entre valeur positive et négative et une instabilité à savoir : les stations Cheikh Rabah, Hammam Nbails, Bakouche Lakhda, Kef Mourad, Mechroha, Bouchegouf, Boukhamouza, Bouhadjar, Mdaouroche, Mdjaz Amar, Ksar Sbihi, Guelma, Ain Barda, Ain Settara et station de Berriche qui présentent 62,5% de l'ensemble des séries des pluies pour les périodes étudiées. En outre, le reste des corrélogrammes, présentent des tendances à l'accroissement. On compte 12,5% sur le total des séries étudiées des stations, marquent des fluctuations et une instabilité sur les valeurs des pluies entre valeurs positives et négatives à savoir : les stations Bouatti Mahmoud, Héliopolise et Ain Makhlouf. Le reste des stations pluviométriques présentent des fluctuations de type Marcovienne. L'examen des valeurs des corrélogrammes mis en évidence le rejet de l'hypothèse nulle de bruit blanc pour un seuil de 5% (c'est-à-dire n'est pas considérer un processus de bruit blanc) des séries des pluies pluriannuelles. Les informations disponibles sur les indices saisonniers sont intéressantes et précieuses. Nous pouvons distinguer deux catégories des valeurs. Pour les mois de Mai, Juin, Juillet, Aout, Septembre et mois d'Octobre, l'activité saisonnière (mensuelle) est faible ; inférieure à la moyenne, qu'elle coïncide aux saisons du printemps et d'été. Contrairement, au reste des mois, elles marquent une activité saisonnière importante ; supérieure à la moyenne. Les résultats d'indice saisonnier, donnent une idée sur l'effet potentiel des valeurs du coefficient saisonnier sur la prévision des pluies mensuelles. Ce dernier en liaison avec l'activité potentiel par rapport la normale de la ZCIT.

Evolution des pluies inter annuelles : Autre témoignage sur la forte variabilité temporelle, qui touche et frappe le bassin versant étudié, une grande partie du Nord Algérien, l'Est Marocain et l'Ouest Tunisien. En effet, les pluies diminuent en moyenne sur tout le Nord algérien. Cette dite sécheresse est mentionnée par plusieurs chercheurs. Même aussi cette aridité et rupture climatique touche aussi une grande partie des régions du territoire Marocain qui a débuté vers les années 1976 et qui s'est étendue largement vers 1979-1980, et qui donne une vision globale et décisive sur la pluviométrie et le climat du Nord Africain ainsi que le déplacement des masses d'air (cité par BALAH B., 2016). L'examen de la coïncidence et de simultanéité entre les années déficitaires et la sécheresse indiquée ci-dessus avec les années EL Nino, permet d'estimer la bonne corrélation sur cette période avec ce phénomène et la zone présente une réponse positive très marquée à l'El Nino. Selon (BALAH B., 2016) L'année 2001, marquée une sécheresse extrême sur toutes les zones couvertes par les stations, qu'elle montre aucune coïncidence avec un zéro corrélation avec ce phénomène, d'où, la réponse à l'El Nino est négative. Selon le même auteur, l'année 2003, marquée un caractère excédentaire de la pluviométrie sur toute la zone étudiée, qu'elle montre une coïncidence et une simultanéité entre les années d'El Nino dont la corrélation et bonne sur cette période avec une réponse positive au phénomène. Cette opposition entre les résultats, mettre en face l'hypothèse du caractère cyclique du phénomène, il s'avère une nécessité absolue aux études très approfondies à des échelles régionale et locale pour prendre les mesures nécessaire à ses situations.

Conclusion

La variation du régime pluviométrique et de la pluviométrie inter annuelle au bassin versant de la Seybouse est liée à la circulation et aux activités du profil de la ZCIT et des phénomènes associés tels que la cellule de Hadely et El Nino. Au sein de cette zone se développe des perturbations comme les dépressions et anticyclones.

Références

- [1] A.ANSER... Guide pratique pour l'utilisation des indices et coefficients climatiques, édition 1.02.5312 Alger- Algérie office des publications universitaire, 4- 2002, édition 1.02.5312.
- [2] AMOUSSOU E., CAMBERLIN P., BOKO M et ET JOCELYNE P. Impact de la variabilité climatique sur les apports liquides dans la basse vallée du mono (Benin, Afrique de l'ouest), Geographia Technica, 2009, Numéro spécial, 35-40.
- [3] BALAH Belk., AMARCHI HO. 12/01/2016. Variabilité des séries pluviométriques du bassin versant de la Seybouse du Nord Est- Algérien, Rev. Sci. Techn. Synthèse 32 :86- 97(2016), 12/01/2016.
- [4] Bi Tié Goula., Issiaka Savane et al., Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'ZO et N'ZI en cote d'IVOIRE (Afrique tropicale Humide), vertigo –la revue en science de l'environnement, vol 7 n 01, mai 2006.
- [5] Flore B. A. ROKO.. Evolution des variables météorologiques sur le haut bassin de l'Ouémé et leurs influences sur l'évapotranspiration de référence. Thèse, Université d'Abomey-Calavi, 21 septembre 2007, BENIN, 81p.
- [6] Frédéric ROSSEL et al, Régionalisation de l'influence du El Nino sur les précipitations de l'équateur, Bult. Inst. Fr. études andines. 1998, 27(3) : 643- 654.
- [7] Jacques RANCHER et Francis ROUGERIE. L'environnement océanique de l'archipel des Tuamotu (Polynésie Française), ORSTOM, B.P. 529, Papeete, Tahiti, OCEANOLOGICA ACTA- ,1994, VOL. 18- W1.
- [8] KHALDI A., Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida", Thèse de Doctorat en Hydrogéologie Université D'Oran. Algérie. 2005, 239p.
- [9] LAZRI M., AMEUR S et HADDAD B.. Analyse de données de précipitations par approche Markovienne, Larhys Journal, ISSN 1112-3680, n° 06, Décembre 2007, pp. 7-20.
- [10] Pierre A. Cholette., La dessaisonalisation pour le non-spécialiste, L'Actualité économique, vol. 59, n° 1, 1983, p. 144-152.
- [11] RENARD Benjamin., Détection et prise en compte d'éventuels impacts du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques en France, thèse de Doctorat de l'institut national polytechnique de GRONOBLE. France. 20 septembre 2006, 364p.

Colloque International



Ressources en Eau & Changement Climatique:

Impacts anthropiques et climatiques sur la variabilité des ressources en eau

Eau-Société-Climat 2017 (ESC-2017)

Sommaire

Vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques

Gbombele Soro (UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, - Côte d'Ivoire), Ernest Kouassi Ahoussi, Abou Traore, Nagnin Soro

Impacts de la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans le «V» Baoulé (centre de la Côte d'Ivoire) au cours de la période 1966-2000 sur les ressources en eau.

Houda Rebai (Université de Tunis - Tunisie)

Impact du régime des pluies sur la dynamique érosive d'un bassin versant vertique et gypseux : cas de Fidh Ali (Kairouan)

Sohou Laurenda Rose (Université de Lomé - Togo), Luc Ollivier Sintondji, Jean Mianikpo Sogbedji ; Euloge Kossi Agbossou

Une technique de conservation de l'eau pour les cultures : résidus de récolte du riz avec apport d'azote pour la production du piment

Oga Yéï Marie Solange (Université Félix Houphouët Boigny - Côte d'Ivoire), Kpan Oulai Jean Gautier, Baka Derving, Yao Koffi Théodore, Biemi Jean

Adaptations des populations face aux impacts hydrologiques et environnementaux de la variabilité climatique dans le Sud-Est côtier de la Côte d'Ivoire

Hamchaoui Samir (Université de Bejaia - Algérie), Boudoukha Abderrahmane, Benzerra Abbas

Performance des services d'eau potable face à l'aléa pluviométrique

Yapi Assa Fabrice (Université FHB, Abidjan - Côte d'Ivoire), N'GNESSAN Bi Vami Hermann, OGA Yéï Marie Solange, KOUADIO Boyossoro Hélène

Caractérisation de la sécheresse météorologique dans la région de la Marahoué : apport de l'Indice Standardisé de Précipitation (SPI)

Belaid Hechmi (Université de Carthage-ESIM-IRESA, Tunisie), Hammadi Habaieb

Etude des intensités instantanées en 15' et 30', répercussions sur l'érosivité des pluies et les pertes enterres et mesures d'adaptation en milieu semi-aride Tunisien.

Aissatou Lamarana Bah (Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire de Faranah - Guinée), Adama Oueda, Abdoulaye Barry, Gustave Kabre

Qualité des eaux du fleuve Niger et leur aptitude à l'irrigation à Faranah-Guinée

Balah Belkacem (Département d'hydraulique Pole de technologie, Ain Beida - Algérie)

Climat de l'Est Algérien en liaison avec la zone de convergence intertropicale (ZCIT).

