

JOURNAL INTERNATIONAL

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

ISSN (electronic): 1737-9350

ISSN (printed): 1737-6688

Volume 2 - Numéro 2 – Avril 2017

Eau-Société-Climat'2017



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

Évaluation des ressources en eau sous les pressions de l'humanité et des changements climatiques

Rédacteur en Chef : Pr Nouredine 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*
Coordinateur ESC-2017

Sommaire

Évaluation des ressources en eau sous les pressions de l'humanité et des changements climatiques	6
Mireille Sophie Kissezounnon (Université de Lomé - Togo), Euloge Kossi Agbossou <i>La discrimination du genre dans GIRE pour l'agriculture dans la Basse Vallée de l'Ouemé : cas d'Adjohoun au Bénin</i>	7
El-Aaraby Abdelaaziz (Faculté des Lettres et des Sciences Humaines –Sais-Fès - Maroc) <i>L'impact des changements climatiques et les mutations sociales sur les ressources en eau dans les oasis marocaines- le cas des oasis de Zagora(Maroc)</i>	11
Omar Elahcene (Université Ziane Achour, Djelfa - Algérie), Mohamed Yacine Bendjedou, Abdelali Terfous, Sylvain Ouillon, Boualem Remini, Abdellah Ghenaimn, Zohir Boulkenafet <i>Production et exportation des sédiments en suspension à différentes échelles et lors des évènements des crues. Cas de l'Oued Haddad, Algérie.</i>	16
Farès Nini (Université Salah Boubnider de Constantine 3, - Algérie) Azeddine Mebarki <i>Efficiencie de distribution de l'eau potable à l'échelle de quelques communes du Nord-Est Algérien</i>	20
Luc Descroix (IRD, LMI PATEO, UMR PALOC IRD/MNHN-Sénégal), Laurent Kergoat, Manuela Grippa, Honoré Dacosta, Moussa Malam Abdou, Aida Diongue-Niang, Françoise Guichard, Laetitia Gal, Cécile Dardel, Jean-Pierre Vandervaere, Ibrahim Mamadou <i>Paradoxes hydrologiques au sahel : ou en est-on ?</i>	24
Mostafia Boughalem (Université Ain Temouchent - Algérie), Rabiaa Bachir Bouyejra, Meriem Bachir Bouyejra, Hafida Boucherit <i>Risque du SAR dans l'eau de puits destinée à l'irrigation dans la région d'Ain Témouchent- Algérie</i>	28
Benabadji Noury (Université de Tlemcen - Algérie) <i>Evolution du bioclimat de la steppe en Algérie occidentale</i>	32
Lahlou Nadia (Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Béni Mellal – Maroc) El Ghachi Mohamed <i>Variabilité pluviométriques et changement climatique dans le bassin supérieur d'Oum Er-Rbia (1934-2010) (Région Beni Mellal – Khenifra)</i>	36



Évaluation des ressources en
eau sous les pressions de
l'humanité et des
changements climatiques

La discrimination du genre dans la GIRE pour l'agriculture dans la Basse Vallée de l'Ouémé : cas d'Adjohoun au Bénin.

Mireille Sophie Kissezounnon¹ Koudzo Yves Sokemawu² Euloge Kossi Agbossou³

¹Faculté des lettres et sciences humaines, Université de Lomé. Laboratoire de Recherche sur la Dynamique des Milieux et des Sociétés. Tel :00229 95956226 Email : kissmireille@yahoo.fr

²Faculté des lettres et sciences humaines, Université de Lomé. Laboratoire de Recherche sur la Dynamique des Milieux et des Sociétés. Email : yves.soke@yahoo.fr

³Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau. Tel : 00229 95713011 Email : agbossou.euloge@yahoo.fr

Résumé

La présente étude vise à analyser la discrimination du genre face à la gestion intégrée des ressources en eau pour l'agriculture. Un échantillon représentatif de 344 personnes (55,23% d'hommes 44,76% de femmes) tous membres de différents groupements agricoles a été soumis à une enquête dans 16 villages à Adjohoun au Bénin. Les résultats ont montré que 74,74% des hommes héritent de la terre contre 37,66% de femmes; mais bien qu'elles aient hérité de la terre elles ne sont pas capables de les vendre alors que les hommes peuvent librement vendre la terre héritée. Toutes les deux catégories trouvent que les intrants agricoles sont chers. Les équipements agricoles utilisés sont la propriété du groupement et le pouvoir de décision revient au président mais seulement 7,14 % des groupements sont dirigés par les femmes. Celles-ci rencontrent de réelles difficultés de mise en eau des casiers rizicoles dont les corollaires sont : -la perte élevée des récoltes ; - difficultés à l'accès aux crédits agricoles ; - revenus faibles

Mots clés : genre, eau, agriculture, Bénin

Gender discrimination in IWRM for agriculture in the lower Ouémé Valley: Case of Adjohoun in Benin

Abstract

The present study aims to analyze gender discrimination in the integrated management of water resources for agriculture. A representative sample of 344 respondents (55.23% male 44.76% female), all members of different agricultural groups, was surveyed in 16 villages at Adjohoun in Benin. The results showed that 74.74% of male inherit the land against 37.66% of female; But although they have inherited land they are not able to sell them while men can freely sell the inherited land. Male and female find that agricultural inputs are expensive. The agricultural equipment used is the property of the group and the decision-making power is for the president, but only 7.14% of the groups are headed by the female. These are faced with real problems of watering rice traps whose corollaries are: - the high loss of crops; - difficulties in accessing agricultural credits; - low income

Key Words: gender, water, agriculture, Benin

Introduction

L'eau est source de vie ; indispensable à l'existence des êtres vivants. Selon l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), l'eau douce ne représente que 2,5% de l'ensemble des eaux qui couvrent notre planète. Actuellement, l'eau douce disponible est en moyenne de 7600 m³ par personne et par an, soit la moitié à peine de la quantité disponible en 1970 [1]. Cette raréfaction progressive de l'eau due à l'essor démographique oblige l'humanité toute entière à penser à la durabilité de la ressource d'où la notion de Gestion Intégrée des Ressources en Eau(GIRE).

La GIRE est un processus qui vise une planification judicieuse de l'utilisation des ressources en eau, [2] Dans ce contexte de GIRE toutes les couches socio culturelles devraient être impliquées mais force est de constater que la gestion de l'eau ne fait pas l'unanimité et certaines couches sociales éprouvent des difficultés surtout dans son utilisation pour l'agriculture . Au Bénin avec une population de 10 008 749 habitants dont 51,2% de femmes. [3] on note un paradoxe qui pourrait limiter le développement du pays puisque 68% des femmes se retrouvent dans l'agriculture mais seulement 23% des femmes dans l'agriculture ont le pouvoir de contrôle de leurs revenus [4].

I. Matériel et méthodes

I.1. Site d'étude

La présente étude a été réalisée à Adjohoun, une commune de la basse vallée de l'ouémé au Bénin d'une superficie de 308 km². La basse vallée de l'ouémé est comprise entre les méridiens 2°21' et 2°33' EST et entre les parallèles 7° 12' et 6°23' Nord [1]. Du point de vue hydrologique, la commune est constituée d'une plaine inondable d'axe Nord-Sud. Elle s'étend de part et d'autre du fleuve Ouémé qui l'inonde annuellement entre les mois de juillet et novembre [5]



Figure 1 : Situation géographique de la basse vallée de l'ouémé

I.2. Echantillonnage, collecte et analyse des données

La collecte des données a été réalisée dans la commune d'Adjohoun. La population d'étude regroupe les ménages dirigés par des hommes ou des femmes au niveau de la commune qui sont inscrits dans un groupement et qui pratiquent au moins une activité agricole liée à l'utilisation de la ressource eau. La ressource eau dont il est question est l'eau du fleuve ouémé ou de l'un quelconque de ses affluents ou confluents. Un village est alors éligible s'il en est traversé. Au terme de ces spécifications 22 villages ont été choisis.

La taille de l'échantillon pour l'étude a été déterminée à partir de la formule de Dagnelie (1998)

$$n = \frac{U^2_{1-\alpha/2} \times p(1-p)}{d^2}$$

Après identification de $U^2_{1-\alpha/2}$, P et d la taille de l'échantillon n est trouvée par la formule :

$$n = \frac{3,8416 \times p(1-p)}{0,05^2}$$

La taille n de l'échantillon est ainsi sensiblement égal à 349. Le nombre de ménages interrogés par localité a été déterminé par proportionnalité par rapport à la taille de la population de chaque localité. L'enquête a été réalisée de Novembre à Décembre 2015.

2. Résultats

2.1. Caractéristiques socio-économiques des enquêtés

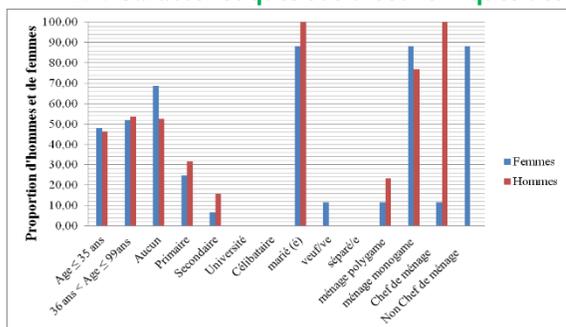


Figure 2 : Caractéristiques socio-économiques des enquêtés

Le nombre d'enquêtés représente 55,23% d'hommes contre 44,76% de femmes. La majorité de ces femmes, soit 68,83%, sont sans instruction. 24,68% affirment avoir le niveau du primaire tandis que 6,49% disent avoir le niveau du secondaire. Par contre, chez les hommes, le nombre des sans instruits est moins élevé et se situe autour de 50%. De manière spécifique, 11,69% des femmes enquêtées affirment appartenir à un ménage polygame contre 23,16% des hommes. 88,31% des femmes sont en situation de « femme au foyer », c'est-à-dire marié et sous tutelle masculine. Les 11,69% autres femmes enquêtées sont veuves et chef de leur ménage.

2.2. Genre et accès-contrôle de la terre

Les hommes et les femmes ont tous accès à la terre. Les discriminations vis-à-vis des femmes en ce qui concerne l'accès à la terre semblent diminuer. Mais en réalité la discrimination semble juste être déportée ailleurs puisque 67,36% des femmes maraîchères et rizicultrices, affirment avoir leur parcelle culturale logée dans une zone inondable. C'est aussi le cas de 32,64% de ces mêmes femmes maraîchères et rizicultrices, qui soutiennent que leur parcelle est trop loin de la ressource eau et que cela ne leur facilite pas le travail.

Quant au contrôle, les modes de faire valoir la terre qui varient déjà d'une personne à une autre, peuvent concéder l'usufruit mais pas nécessairement le contrôle sur la terre. Elles sont 53,25% de femmes à n'avoir aucun contrôle sur la parcelle exploitée contre seulement 34,74% chez les hommes. Cette discrimination est à la limite, de l'abus inacceptable qui, loin d'être la pérennisation d'une quelconque tradition, devient de la marginalisation grave de la gente féminine.

2.3. Genre et activités agricoles

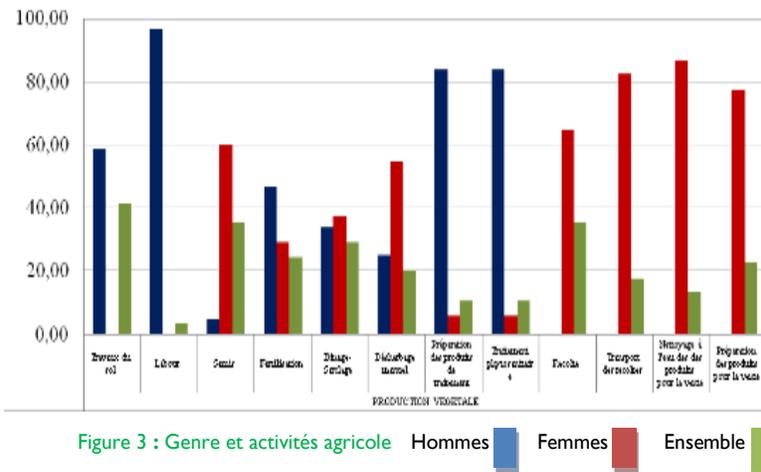


Figure 3 : Genre et activités agricole Hommes Femmes Ensemble

Les travaux nécessitant assez d'efforts physiques ou exposant à des risques d'intoxication aux produits chimiques de synthèse sont le plus souvent réservés aux hommes. Il s'agit des travaux du sol, du labour, de la préparation des produits phytosanitaires et des traitements phytosanitaires. Par contre, les activités de semis, de vente, de récolte et de transport sont exécutées par les femmes.

2.4. Genre et accès-contrôle des équipements d'irrigation

La motopompe est l'équipement dont disposent 71,43% des groupements. Elle est souvent un don fait par un projet au groupement d'agriculteurs et est devenue le matériel moderne d'irrigation le plus utilisé surclassant ainsi les traditionnels arrosoirs qui ne sont possédés que par 57,14% des groupements enquêtés. Le système d'irrigation par tourniquets est très rare. Les hommes ont plus accès aux équipements que les femmes (57,05% contre seulement 48,61% de femmes). Les hommes ont plus le contrôle sur les équipements d'irrigation que les femmes car selon les données, 51,28% des hommes enquêtés dans les groupements, soutiennent avoir le contrôle sur les équipements contrairement aux femmes dont seulement 19,44%, peuvent se targuer d'avoir le même contrôle.

2.5. Genre et accès-contrôle des crédits/finances

Seulement 27,27% des femmes, enquêtées, reconnaissent avoir l'accès-contrôle à un crédit agricole contracté auprès d'une Institution de Micro Finance (IMF). Ce taux est de 57,89% chez les hommes. Un groupement d'homme ou mixtes a une chance sur dix de se voir accorder un crédit agricole ; par contre à un groupement de femmes, ils n'en accordent pas du tout. Car disent-ils, les activités agricoles sont risquées et les femmes n'offrent pas de garantie de remboursement. Elles sont alors obligées d'emprunter de l'argent à un taux supérieur à celui de l'IMF chez les hommes qui en ont eu la chance.

3. Discussion

3.1. Le tandem genre, équipement agricole et finance

Les équipements agricoles regroupent les équipements de drainage et d'irrigation. Dans Adjohoun les projets ont mis en place ces équipements dans les groupements et dans leurs diverses stratégies ont exigé que les femmes en fassent partie. Mais la réalité sur le terrain est que le management de ces équipements revient à l'organe dirigeant des groupements qui est le bureau, dans lequel les femmes sont minoritairement représentées. Elles ont alors moins de chance d'en bénéficier d'où un suicide progressif de la couche défavorisée [6] . Généralement, les micro crédits permettent l'acquisition de ces matériels mais eu égard des exigences de garanties les femmes ont des difficultés d'accès aux crédits ce qui constitue également un frein pour l'investissement à long terme dans la terre et la technologie [7]

3.2. Les ressources foncières et le genre

Les ressources foncières ont un intérêt capital du fait qu'elles constituent un moyen de travail dans l'agriculture. Mais l'accès à la propriété foncière est en pratique encore régi par une réglementation coutumière qui désavantage la femme. Cette situation est rencontrée dans la plupart des pays en voie de développement [8]

Conclusion

La discrimination du genre reste un problème épineux qui constitue un frein au développement agricole. Cette discrimination du genre se retrouve également dans l'agriculture ou l'épineux problème du foncier rural revient sur le tapis. Elle a des racines lointaines liées aux habitudes culturelles et culturelles. La culture étant l'essence des peuples le changement ne peut être que graduel. Au regard de toutes ces inégalités il devient impérieux d'introduire l'approche genre dans les projets et programmes pour un développement harmonieux de toute la nation.

Références

- [1] L. Sossou-agbo, La mobilité des populations dans le complexe fluviolagunaire de la basse vallée de l'Ouémé au Bénin, en Afrique de l'Ouest. Thèse de doctorat Université de Grenoble et Université d' Abomey Calavi 2013.
- [2] E. Fourn, A. Tonouhewa, Etude portant sur genre et gestion intégrée des ressources en eau au Bénin. (2009) 226pp.
- [3] INSAE, Recensement Général de la Population et de l'Habitat, (2004) 24p.
- [4] PSRSA, Plan Stratégique de Relance du Secteur Agricole, version finale (2010) 112pp.
- [5] PDC, Plan de développement communal de Adjohoun version améliorée période 2004-2008, 93pp.
- [6] S. H. F Kakai, Analyse par genre de la participation et de la sous-représentativité des femmes au sein des instances décisionnelles et décentralisées au Bénin. Revue Perspectives & Sociétés, N° 1, (2010).
- [7] N. Hassan, P. C. Ngendakumana, Implication de la femme rurale dans les ressources naturelles. Bulletin scientifique de l'institut national pour l'environnement et la conservation de la nature (2014) PP 18
- [8] D. Budlender, E. Alma, Les femmes et la terre : des droits fonciers pour une meilleure vie. CRDI, (2011) 101p.

L'impact des changements climatiques et les mutations sociales sur les ressources en eau dans les oasis marocaines- le cas des oasis de Zagora (Maroc)

Abdelaziz EL-ARABY & Ali FALEH

Laboratoire des Etudes Géographiques, Aménagement et Cartographie, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines –Sais-Fès-Département de Géographie, BP 59 Route Immouzer CP 30000 Fès Maroc- Tél : +212 5 35 61 82 26 / +212 677362502/+212 631165731 – Fax: +212 5 35 61 82 53- abdelaziz_82@live.fr – falehali2001@yahoo.fr

Résumé

La gestion sociale traditionnelle des ressources en eau constitue un héritage historique d'envergure. Les espaces oasiens et les oasis de Zagora, plus spécifiquement, sont emblématiques en matière de gestion sociale des eaux. Il s'agit des coutumes et traditions qui régissent les circuits de distribution d'eau entre les membres de la tribu et d'un ensemble de méthodes uniques, en leur genre, d'interdépendance et de travail d'équipe et de solidarité (Tewiza). Cependant, il s'avère, au fil du temps, que l'intervention de l'Etat dans ces zones a pour résultats la détérioration des structures traditionnelles locales. Par ailleurs, la promulgation de la loi 95-10, qui insiste sur la propriété collective de l'eau, a contrarié le système social hérité dans ces oasis, qui stipule que l'eau est une propriété privée. Dans le même sens, la construction des canaux d'irrigation par l'Etat (Lmakhzen) constitue une raison de plus, qui permet aux gens qui n'accèdent pas à l'eau de contester l'ancien système de sa répartition. De plus, les changements climatiques qui continuent à se manifester dans ces oasis, provoquent la rareté d'eau, la désertification et la répartition irrégulière des précipitations dans l'espace et le temps. La présente contribution scientifique a pour but de discuter cette problématique liée aux changements climatiques, aux mutations sociales et à l'inadéquation de certaines actions aux spécificités locales.

Mots clés : Mutations sociales -pénurie d'eau – changements climatiques –oasis de Zagora

The impact of climate change and social change on water resources in Moroccan oases - the case of the oases of Zagora (Morocco)

Abstract

The traditional social management of water resources is an important historical legacy. The oases and oases of Zagora, more specifically, are emblematic of the social management of water. These are the customs and traditions that govern the distribution of water among the members of the tribe and a set of unique methods of interdependence and teamwork and solidarity (Tewiza). However, over time, it appears that the intervention of the State in these zones results in the deterioration of the traditional local structures. Moreover, the promulgation of Law 95-10, which insists on the collective ownership of water, has thwarted the social system inherited in these oases, which stipulates that water is a private property. In the same sense, the construction of state irrigation canals (Lmakhzen) is another reason why people who do not access water can challenge the old system of distribution. In addition, the climate changes that continues to occur in these oases, cause water scarcity, desertification and irregular rainfall distribution in space and time. The aim of this scientific contribution is to discuss this issue related to climate change, social change and the inadequacy of certain actions to local specificities.

Key Words: social change - water scarcity - climate change - oasis of Zagora

Introduction

La contribution scientifique signalée ci-dessus a pour objectif de discuter et analyser la problématique liée aux impacts des changements climatiques et des mutations sociales sur la pénurie d'eau dans les oasis de Zagora. Cet article porte sur des éléments de réponses aux questions suivantes : En quoi consiste la pénurie d'eau dans les oasis de Zagora ? Quels impacts engendrent les mutations sociales sur la gestion des eaux dans la zone ? Quelles formes ces changements climatiques prennent-ils dans ces oasis ? Pour cela, notre communication s'articule autour de deux axes principaux : Le premier présente l'état des lieux de l'eau dans la région, que ce soit l'eau courante ou souterraine, ainsi que l'héritage social lié à la gestion de cette ressource dans les oasis de Zagora. Le deuxième axe est consacré à la mise en évidence des impacts des changements climatiques et des mutations sociales sur la situation actuelle des oasis, objet de notre étude.

1. L'eau dans la province de Zagora : sa rareté et l'importance de l'héritage social

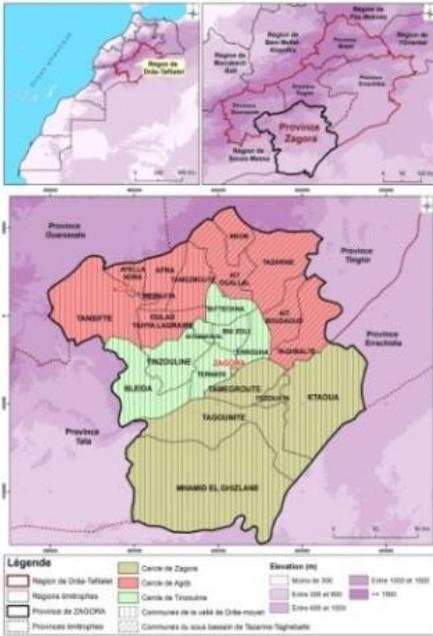
Située dans la partie orientale de l'Anti-Atlas (sud-est marocain), la province de Zagora appartient au Maroc présaharien. Elle est limitée, au nord par les montagnes de jbel Saghro, elle traverse, du nord-est au sud-ouest, les chaînes du jbel bani qui séparent Tazarine-Taghbalte du Drâa moyen. Cette province appartient, hydro-graphiquement, aux bassins du Drâa et du Maaider. Au sein de ce territoire un écosystème favorable à la sédentarisation de la population est développé dans des cuvettes, des oueds, des feijas et des plaines qui le forment. Administrativement, la province de Zagora fait partie de la région de Drâa Tafilalet. Elle est limitée au Nord et à l'Ouest par la Province d'Ouarzazate, à l'Ouest par la Province de Tata, à l'Est par la Province d'Errachidia et au Sud par les frontières Maroc-Algériennes sur une longueur de 200 Km (voir carte n°1). Elle réunit 25 communes dont deux urbaines. Elle s'étend sur une superficie de 23.000 km², et compte d'après le recensement de 2014 une population de 307306 habitants dont 256558 personnes en milieu rural. Après cette présentation succincte de la zone d'étude, la situation des ressources en eau et la nature de la gestion sociale liée à l'eau dans les oasis de Zagora se présentent comme des interrogations légitimes.

1.1. Le climat aride est un facteur clef dans le territoire

Le climat de la zone se caractérise par des températures enregistrant des amplitudes importantes tout au long de l'année, par un vent desséchant venant de l'est (chergui) qui souffle fréquemment dans la région, par un autre froid relativement humide (saheli) qui souffle de l'ouest, par une évaporation importante et des précipitations faibles (en moyenne en dessous de 100mm/an) marquées par des fluctuations dans le temps et l'espace (Abdelkabar BAHANI et al, 2014- p 31). Les deux périodes de 1931-1964 et de 1980-2005 enregistreraient des moyennes de précipitations estimées, respectivement, à 69mm/an et 56,71mm/an, soit un recul de 12,29 mm. Concernant les origines des ressources hydriques, le Drâa se base, principalement, sur les apports superficiels de l'oued Drâa, alors que le sous-bassin de Tazarine-Taghbalte compte essentiellement sur les eaux souterraines et partiellement sur les eaux superficielles. Six nappes phréatiques sont formées dans des cuvettes constituant des « plates-formes » sur lesquelles reposent les six oasis/palmeraies formant la vallée du Drâa moyen (voir carte n°2). Ces nappes se caractérisent par des réserves avec un régime irrégulier et dépendant de celui de l'oued principal source de leur alimentation. Concernant le sous-bassin de Tazarine-Taghbalte, plusieurs assifs (affluents), venant du versant sud-est de jbal et des montagnes de l'Anti-Atlas oriental forment le réseau hydrographique de cette partie du bassin de Maaider. Il s'agit, principalement, des oueds de N'kob, de Tazarine, d'Ait ouazzaq et de Taghbalte. Ces derniers s'enchaînent pour se jeter dans un lac (daya) appelé Maider. Certes, la sécheresse est une donnée structurelle dans ces oasis depuis longtemps, mais, la situation actuelle de ces oasis devient plus critique et plus vulnérable en termes de stress hydrique.

1.2. La gestion sociale de l'eau, un témoin du génie des habitants des oasis

Depuis une longue histoire et jusqu'à nos jours la région est connue par ses règles de gestion des ressources d'eau en fonction des coutumes et des traditions héritées de génération en génération. Du fait que les oasis du Drâa moyen appartiennent au domaine désertique, caractérisé par la rareté et l'irrégularité des précipitations d'une année à l'autre, avec une intensité de l'aridité vers le sud, la population a été obligée de pratiquer au départ une agriculture irriguée basée sur les eaux de l'oued Drâa. Cet usage de l'eau a exigé la construction d'un réseau de séguia. En se référant aux techniques de transfert et de distribution de l'eau pratiquées dans la région, on comprend que les techniques anciennes de l'aménagement hydro-agricole dans les oasis de Drâa central se sont adaptées aux conditions locales, du milieu naturel et de la nature des ressources en eau. Dans ces oasis, une personne appelée (Aimal) est chargée de la gestion de la séguia. Celle-ci est considérée comme une institution sociale à part, son entretien est réalisée par plusieurs Ksours qui mettent à leur tête deux personnes qui veillent au suivi et à la distribution de l'eau de la source aux champs. Le « Aimal » qui se charge de la gestion de la séguia est nommé par les notables de la tribu. En cas de conflit pendant la répartition, les bénéficiaires recourent à une réunion des membres de la jmâa et par la suite retiennent la gestion en vue d'éviter tout détournement de l'eau. On peut dire que ces populations ont été ingénieuses dans l'exploitation et la distribution de l'eau et aussi de sa canalisation vers leurs champs en utilisant différentes techniques, entre autres : la construction des barrages traditionnels avec des pierres et des branches dans les lits des oueds, une technique connue sous le nom amazigh « ouggougou » qui constitue une tête de prise des séguia (Lekbir OUHAJOU (1996)).



Carte n° 1 : Situation de la zone d'étude

Photo n°1: barrage de dérivation traditionnel «ouggougue» à Foug Azlag- Drâa moyen

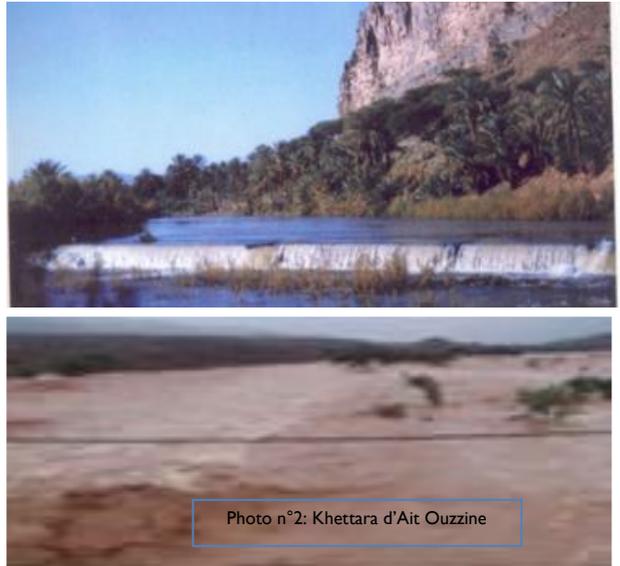
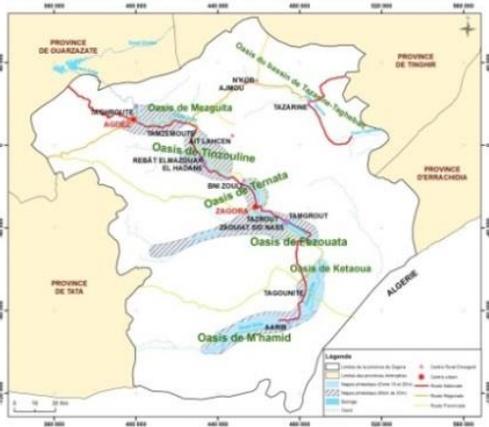


Photo n°2: Khetara d'Ait Ouzzine



Photos n° 3 : Inondations de l'oued Tazarine-Taghbalte en Novembre 2014



Figure n°1: évolution de la culture des pastèques dans la province de Zagora entre 2008 et 2014 en hectares

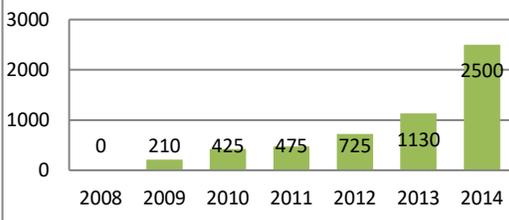


Photo n° 4 : oasis de Tizoutine en période de sécheresse (2007)



De plus la zone qui s'étale tout au long de l'oued Tazarine-Taghbalte (voir carte n°2) connaît par le système unique, en son genre, d'acheminement et de préservation des eaux souterraines qui est les « khattaras » (voir photo n°2). Par ailleurs, la distribution de l'eau dans la région est considérée très compliquée et difficile à comprendre, surtout que les outils de mesure diffèrent d'un Ksar à l'autre.

Cependant, cet héritage, dont nous avons cité quelques exemples, subit des transformations liées aux mutations sociales et aux changements climatiques.

2. Mutations sociales et changements climatiques, deux facteurs fragilisant les oasis de Zagora

Les oasis de Zagora ont subi des transformations sur le plan social ayant impacté négativement la gestion et la préservation de l'eau. Par ailleurs, les changements climatiques, comme étant phénomènes planétaires, se positionnent comme facteurs d'accentuation et de récurrence des phénomènes climatiques extrêmes.

2.1. Société oasienne et changements d'aptitudes

Les opportunités offertes par l'émigration internationale de travail ont contribué à la montée des travailleurs salariés. Etant donné que les parcelles représentent une valeur sociale intrinsèque à l'image de celui qui les possède, les émigrés cherchaient des travailleurs qui s'en occupent et en contrepartie d'une somme d'argent. Ces arrangements ont sonné le glas de la khemassa qui régnait auparavant (Mohamed AÏT HAMZA, 1999). Ce dernier cas de figure est récurrent dans les oasis de Zagora où les agriculteurs font appel à la motopompe car ils n'ont pas de temps pour s'adonner à l'agriculture. Le développement du travail salarial est le résultat de l'éclatement de l'esprit de solidarité qui liait autrefois les paysans.

Devant les charges financières quotidiennes, les paysans doivent employer une main d'œuvre qui travaille à leur place. C'est dans cette logique de diversification des activités et d'économie de marché que vient la culture des pastèques de Zagora qui a connu une évolution brusque (voir figure n°1) et, par conséquent, continue son impact néfaste sur le pompage des eaux souterraines. En effet, les contestations de certains membres de la société civile ainsi que les essais de réglementation de l'extension de cette culture n'ont pas donné de résultats escomptés.

Certes, l'insuffisance des revenus agricoles face aux besoins croissants des familles (effet de ciseaux en économie) incite à une diversification des activités et des revenus au sein des ménages (Mustapha HADDACHE, 2009), mais ce phénomène s'est développé à cause de plusieurs raisons : d'abord, la pauvreté de la majorité des paysans liée au manque d'accès à la terre causé par la concentration de la propriété. Pour le cas du Drâa moyen et du Maaidar, plus de 73% sont des exploitations de moins de 5 ha. Ensuite, l'émigration interne et externe et l'ouverture de la région sur le monde extérieur ont une grande influence sur les comportements des oasiens.

Enfin, les facteurs naturels poussent les gens en vain à diversifier les exploitations et parfois à les abandonner. Il en découle que cette pluriactivité forcée, dans la majorité des cas, aurait un impact sur la gestion sociale de l'eau, ce qui va influencer le maintien et la durabilité des systèmes hydro-agricoles. Le nombre des khattaras qui continuent de fonctionner en comparaison avec le nombre d'antan est un exemple illustratif (Abdelaziz EL-ARABY & Ali FALEH - 2017-pp32-34).

2.2. Changements climatiques et stress hydrique

La sécheresse qu'ont connue le Drâa moyen et le Maaidar, entre 1997 et 2007, a obligé les gens à quitter la région vers d'autres endroits où ils peuvent travailler, durant cette période, les autorités locales distribuent 80 litres d'eau par famille. Dans cette situation de stress hydrique extrême, la majorité des gens, en âge de travailler, ont quitté la région vers les villes ou vers les pays d'autre rive de méditerranée. En fait, les eaux des oueds ne suffisent pas aux besoins des cultures, surtout pendant les saisons de faibles précipitations et des périodes de sécheresse.

Par conséquent, les habitants recourent à l'exploitation des eaux souterraines, dont leur exploitation intensifiée s'observe particulièrement dans le bassin de Tazarine-Taghbalte ainsi que de l'amont vers l'aval du Drâa. En plus du recul du niveau piézométrique, l'exploitation intensifiée des eaux souterraines avec des motopompes, engendre la salinité des sols et s'aggrave davantage avec l'évaporation et l'évapotranspiration.

Les apports de l'oued Drâa enregistrent une variation entre les valeurs extrêmes de 90 à 1400Mm³ pendant le 20ème siècle, montrent des périodes marquées par des déficits hydriques très importants. Ainsi, la fréquentation des périodes de grandes sécheresses devient une situation récurrente : 1945-1947, 1955-1957, 1973-1976, 1981-1987, 1993-1995, 2000-2003 (Abdelkadir BAHANI et al, 2014- p 32). Par ailleurs, la récurrence des périodes de sécheresse ainsi que des périodes d'inondations (voir photos n°3 et n°4) très violentes constituent un indicateur éloquent de l'impact des changements climatiques sur la zone.

Conclusion

En guise de conclusion, la province de Zagora souffre beaucoup de la rareté de l'eau; Certes, cette situation trouve ses explications dans la rudesse du climat de la zone qui se répercute négativement sur le bilan de l'eau, et donne à la sécheresse une dimension structurelle depuis le début des années soixante-dix. Mais, les changements climatiques, en tant que données planétaires, ont un rôle d'accélérateur en termes de récurrence des phénomènes climatiques extrêmes (longues périodes de sécheresse, désertification, inondations ...). La zone objet de cette contribution scientifique se caractérise par la lourdeur de sa dimension historique et par une ancienne sédentarisation des populations. La richesse des traditions et coutumes liée à la gestion et à la distribution de l'eau reflète beaucoup cette originalité. Cependant, ce territoire a l'instar d'autres a subi des mutations ayant touché au fond l'institution traditionnelle et détériorent les valeurs sociales (travail de groupe, solidarité, partage rationnel et équitable des ressources naturelles...). Par conséquent, la logique de l'individualisme et du capitalisme dominant les aptitudes des populations de ces oasis et donnent lieu à des comportements nocifs dans un milieu déjà fragilisé par son cadre physique et bioclimatique.

Références

- [1] Abdelaaziz EL-ARABY (2018), Les Centres Ruraux Emergents, Aménagements et Enjeux du développement Territorial –Le cas de la province de Zagora- Thèse de Doctorat en géographie d'aménagement et développement- Univ. Sidi Mohamed Ben Abdellah-Fès-Maroc- 300p (non publiée).
- [2] Abdelkadir BAHANI et al, (2014). Migrations internationales et développement- cas de la province de Zagora/Maroc- kawtar print-rabat171p.
- [3] Lekbir OUHAJOU (1996) espace hydraulique et société au Maroc : cas des systèmes d'irrigation dans la vallée du Drâa, publication de la faculté des lettres et des sciences humaines – Agadir série thèses et mémoires n°7.
- [4] Mohamed AÏT HAMZA, (1999), Mobilité socio-spatiale et développement local au Sud de l'Atlas marocain (Dadès - Todgha), Thèse d'Etat en géographie sociale. Univ. Mohammed V, Rabat- Publiée par Maghreb-student: Heft 13 – 2002- ISBN 3-932820-21-5-ISSN1436-137X- 196p.
- [5] Office Régional de la Mise en Valeur Agricole – Ouarzazate (ORMVAO) -2008-2014.
- [6] Site internet : <http://jaridatarbawiya.blogspot.com/post/17.html> – dernière consultation : le 17 décembre 2014.
- [7] Mustapha HADDACHE, (2009), Gestion sociale de l'eau et mutations socio-économiques dans l'oasis de Toudgha, Mémoire du Diplôme des Etudes Supérieures Approfondies, Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Juridiques économiques et Sociales- Marrakech- (non publiée).
- [8] Abdelaaziz EL-ARABY & Ali FALEH (2017) Le système des khattaras, patrimoine hydrologique riche qui souffre de la pénurie d'eau et du défi du changement climatique, cas des oasis du Maider in Changements Climatiques et Développement Territorial au Maroc- Publication du Laboratoire LEGAC-Univ. Sidi Mohamed Ben Abdellah-Fès- Editeur : Faculté des Lettres et des Sciences Humaines-Sais-Fès-ISBN : 978-9981-55-6.

Production et exportation des sédiments en suspension à différentes échelles et lors des évènements des crues. Cas de l'Oued Haddad, Algérie

Omar Elahcene¹, Mohamed Yacine Bendjedou², Abdelali Terfous³, Sylvain Ouillon⁴,
Boualem Remini⁵, Abdellah Ghenaim³ & Zohir Boulkenafet¹

¹ Université Ziane Achour de Djelfa, Algérie, Faculté des sciences de la nature et de la vie, elahcene_o@yahoo.fr, boulkenafetzohir@yahoo.fr

² Université d'Oran, mybendjedou@gmail.com

³ INSA de Strasbourg, France, abdelali.terfous@insa-strasbourg.fr, abdellah.ghenaim@inasa-strasbourg.fr

⁴ LEGOS, université de Toulouse, IRD, CNRS, CNES, UPS, France, sylvain.ouillon@legos.obs.-mip.fr

⁵ Université de Blida, reminib@yahoo.fr

Résumé

Ce travail s'intéresse à la production et exportation des sédiments en suspension à différentes échelles et lors des événements des crues dans le bassin versant de l'Oued Haddad (Relizane, Algérie). Pour le comprendre, on s'est basé sur l'exploitation des données de prélèvements instantanés des débits solides, des débits liquides et des concentrations des sédiments transportés en suspension dans le cours d'eau effectués par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH, Algérie) entre 1976 et 2002. Les résultats obtenus montrent une corrélation mauvaise pour toutes les échelles étudiées entre le rapport C/Q_s , une bonne corrélation pour le rapport Q_s/Q_l et la dégradation spécifique moyenne est de $272 \text{ t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$. Cette valeur est comparable à celle trouvées pour d'autres régions à régime hydrologique similaire. Et, l'évolution des concentrations en MES et des débits liquides lors des événements des crues suit principalement trois modèles : clockwise loop, counterclockwise loop et dont la forme en huit. L'observation d'hystérésis horaire indique que les sédiments transportés durant la crue proviennent du lit de la rivière.

Mots clés : concentrations des sédiments en suspension, débits liquides, débits solides, hystérésis, Oued Haddad

Production and export of suspended sediments at different scales and during flood events. Case of the Haddad wadi, Algeria

Abstract

This work focuses on the production and export of suspended sediment at different scales and during flood events in the watershed of Wadi Haddad (Relizane Algeria). To understand this, it was based on the exploitation instant sampling data flow solid, liquid flows and concentrations of sediment transported in suspension in the water courses conducted by the National Agency of Water Resources (ANRH, Algeria) between 1976 and 2002. The results show a poor correlation for all scales studied between the C/Q_s , a good correlation for the ratio Q_s/Q_l and the average specific degradation is $272 \text{ t km}^{-2} \text{ year}^{-1}$. This value is comparable to that found for other regions in similar hydrological regime. And, the evolution of suspended sediment concentrations and liquid flows during flood events follows mainly three models: clockwise loop, counterclockwise loop and the shape in eight. The observation of hourly hysteresis indicates that the sediments transported during the flood come from the river bed.

Key Words: concentrations of suspended sediments, liquid flows, solid flows, hysteresis, Haddad wadi

Introduction

Dans le but de comprendre le fonctionnement des bassins versants dans la production des sédiments, de nombreux auteurs en Algérie comme dans d'autres pays méditerranéens à travers plusieurs études basées sur l'analyse de l'évolution de la concentration des MES en fonction des débits liquides et sur l'évolution de la charge solide en suspension en fonction des débits liquides, ont tenté une approche quantitative à différentes échelles temporelles du phénomène de l'érosion et de la sédimentation dans les bassins fluviaux (Probst et al., 1992 ; Benkhaled et al., 2003 ; Elahcene et al., 2013), ... etc. Et, l'étude du transport solide par événement peut permettre de déterminer la provenance des sédiments transportés, par l'analyse des courbes représentant la concentration en MES en fonction du débit liquide qui présentent parfois des hystérésis. Dans ce contexte, on notera les travaux de (Williams, 1989 ; Picouet et al., 2000 ; Bača, 2008), ... etc. L'objectif du travail est de chercher des modèles statistiques fiables et simples pour estimer et de prédire des quantités de matières solides qui transitent à l'exutoire du bassin versant, pour enfin arriver à mettre en évidence des relations susceptibles d'être appliquées à des régions ou des bassins versants dans lesquels les mesures sont rares ou inexistantes. Et, de trouver la variabilité temporelle de la concentration en sédiments en se basant sur les travaux de Williams G.P. (1989).

1. Présentation du bassin versant

Le bassin versant de l'Oued Haddad fait partie de l'Oued Mina code (01 34 01). Il draine une superficie de 470 km² à l'extrême Sud de Relizane (Nord-Ouest algérien). Il suit une direction SW-NE. Le bassin versant de l'Oued Haddad dispose une station hydrométrique Sidi Abdelkader El Djilali. Le périmètre du bassin est de 91 km² dont l'indice de compacité est de 1,18. L'altitude maximale est de 1160 m, l'altitude minimale est de 225 m et l'altitude moyenne est de 575 m. La longueur du rectangle équivalent est de 29,62 km et sa largeur est de 15,87 km. Son indice de pente globale est de 21,5, sa densité de drainage est de 2,45 km/km². La longueur du cours d'eau principal est de 47 km et le temps de concentration est de 10,50 h. Le climat du bassin versant de l'Oued Haddad est de type méditerranéen, caractérisé par une saison humide et une saison sèche. La pluviométrie annuelle est très irrégulière (elle varie de 200 mm/an à 379 mm/an). La pluie moyenne interannuelle est de 245 mm, avec un coefficient de variation de 45 % (Touaïbia et al., 1999).

2. Données et méthodologie

Les données sont recueillies auprès des services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Nous disposons un fichier comportant une série de 3468 valeurs de la hauteur d'eau, de débit liquide instantané Q_1 (m³/s) et de concentration des sédiments en suspension C (g/l) pour une période de 27 ans allant de 1976/77 au 2001/02. L'étude est réalisée à partir des données collectées au droit de la station hydrométrique de Sidi Abdelkader El Djilali. Pour tenter de montrer à partir des mesures in situ, la relation entre débits liquides-débits solides, une approche basée sur des statistiques des échantillons a été élaborée. Parmi les méthodes de contrôle des données, on a les méthodes de corrélation-régression. Le choix du modèle est basé sur la valeur la plus élevée du coefficient de détermination «R²» pour l'ensemble des relations de corrélation. Un deuxième fichier, comportant les valeurs des débits moyens journaliers. L'évolution des concentrations des sédiments en suspension et des débits liquides durant les crues nécessite un traitement individualisé de chaque crue, avec une reconstitution des courbes des concentrations en sédiments et des débits liquides en fonction du temps et les analyser. A cet effet, G.P. Williams, 1989 propose une classification de ces relations basées sur le rapport C/Q_1 durant les phases de montée de crue et de décrue. Cinq modèles de relations sont ainsi établis c'est-à-dire cinq exemples de classes d'hystérésis ont été identifiés sur la base d'un critère fiable, le rapport C/Q_1 et sont discutés ici, incluent des variétés. Bien que ce n'est pas toujours évident, vu le manque et l'imprécision des données, nous allons présenter, dans ce qui suit, les graphes des relations $C-Q_1$ pour les 08 crues enregistrés à l'Oued Haddad sur la période hydropluviométrique étudiée.

2.1. Relation $C = f(Q_1)$ et $Q_s = f(Q_1)$

Nous disposons une série de mesure de 3468 valeurs de hauteurs d'eau (H en cm), de débits liquides (Q_1 en m³/s) et de concentration en matières en suspension (C en g/l) et de débits solides (Q_s en kg/s) ont sélectionnées pour l'établissement du rapport entre la concentration et le débit liquide et le rapport entre le débit solide et le débit liquide. Ces données et utilisées pour la quantification du transport solide ont été analysées en vue d'en déterminer leurs fiabilité et validité c'est-à-dire une fois mesurées, les concentrations en matières en suspension et les débits solides sont corrélées aux débits liquides journaliers. Le rapport C/Q_1 et le Q_s/Q_1 ont été soumis à des relations linéaire, logarithmique, polynomiale, puissance et exponentielle. Généralement, les meilleurs résultats sont obtenus par une équation de type: $C = a \times Q_1^b$ ou $Q_s = a \times Q_1^b$ avec a et b : coefficients empiriques. Les résultats sont illustrés dans la figure 01.

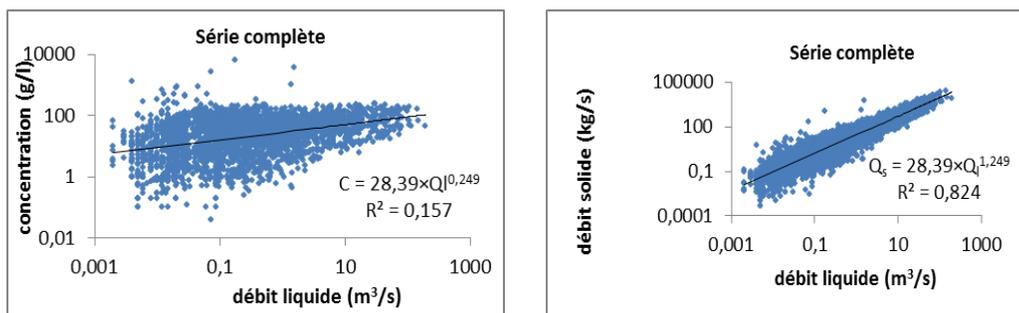


Figure 1 Relation entre la concentration des sédiments en suspension et le débit liquide et la relation entre le débit solide et le débit liquide dans le bassin versant de l'Oued Haddad (1976/77-2001/02).

3. Résultats et discussions

La mise en graphe des données de concentration des sédiments en suspension et du débit liquide dans le bassin versant de l'Oued Haddad pour la série complète et pour la période allant du 1976/1977 au 2001/2002 montre une dispersion considérable. A partir de cette figure, on peut tirer le coefficient de détermination (R^2) et on déduit le coefficient de corrélation [$R = (R^2)^{1/2}$]. Vu ce coefficient de détermination et de corrélation, on constate, qu'il y a une mauvaise liaison entre les deux grandeurs. La corrélation entre la concentration des sédiments en suspension et le débit liquide est obscurcie par les entrées soudaines de sédiments produites par les pluies occasionnelles dans des périodes plus sèches et par les premiers éclats (Ghenim, 2008, Elahcene et Remini, 2009). La première expression est typiquement appliquée aux écoulements d'averses qui se produisent au début de la saison des pluies après une longue période d'étiage. A ce moment-là, les concentrations des sédiments en suspension sont plus élevées que celles mesurées à des débits identiques plus tard dans la saison des pluies. Il y a une corrélation étroite entre le débit solide et le débit liquide. Cette relation est de la forme : $Q_s = a \times Q_l^b$ avec, a et b sont des coefficients empiriques. Et, le coefficient de corrélation est représentatif. Le modèle en puissance est représentatif pour la relation du débit solide (Q_s) en fonction du débit liquide (Q_l). Ceci, peut s'expliquer par l'effectivité de la relation en puissance. Pour quantifier les apports solides, nous avons utilisé le modèle en puissance à l'échelle interannuelle. Le modèle est de forme : $Q_s = 28,39 \times Q_l^{1,25}$ avec $R = 91\%$. Le calcul se fait sur une période de 22 ans allant du 1980/1981 au 2001/2002. Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau 01.

Tableau 1 Apports solides en suspension (A_s , en t) et dégradations spécifiques (A_{ss} , en $t \text{ km}^{-2} \text{ an}^{-1}$) dans le bassin versant de l'Oued Hadad (1980/81 à 2001/02).

Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aoû.	A_s (t)	A_{ss} ($t/\text{km}^2/\text{an}$)
5248	15057	19940	7788	13644	14597	30771	2037	4025	1562	11313	977	126959	272

Le tableau 1 montre que les quantités maximales des sédiments transportés en suspension par l'Oued Haddad s'effectuent entre octobre et mars. On constate que les crues d'hiver et les crues de printemps favorisent le transport des sédiments en suspension car elles sont caractérisées par une forte turbulence, due aux débits extrêmes. Tandis que, les crues d'automne se caractérisent par de fortes concentrations et de faibles débits. La turbulence étant faible, le transport en suspension n'est pas favorisé. L'apport moyen annuel des sédiments enregistré à l'exutoire du bassin versant de l'Oued Haddad est évalué à 126959 tonnes, ce qui correspond à un taux d'abrasion de 272 $t/\text{km}^2/\text{an}$. On notera que cette valeur se situe dans la fourchette des dégradations trouvées pour quelques bassins versants Magrébins. L'application de l'approche des hystérésis, pour les différentes crues enregistrées au niveau du bassin étudié durant les périodes de données disponibles, fait ressortir la distribution (tableau 2), des différentes classes d'évolution des relations concentration en sédiments transportés avec les débits liquides et leur fréquence relative.

Tableau 2 Fréquence des différentes classes d'évolution de la relation C- Q_l des crues au niveau du bassin versant de l'oued Haddad.

Classes	Nombre total des crues	I	II	III	IV	V
Haddad (1976/2002)	08	0	50	12,5	0	37,5

La concentration des sédiments transportés en suspension et des débits liquides pour les crues montrent qu'à l'oued Haddad, l'évolution des concentrations en fonction des débits liquides pendant les crues suit principalement trois modèles. L'évolution de la relation des concentrations des sédiments en suspension et le débit liquide pour les crues de l'Oued Haddad, se

présente à 50% suivant le modèle en boucle dans le sens des aiguilles d'une montre « clockwise loop ». Ce modèle se présente particulièrement pour les crues du printemps. Ceci est peut être dû à la disponibilité des sédiments produits par les crues précédentes d'hiver, comparé, à un manque ou à une diminution des réserves en sédiments à la fin de la saison sèche. Selon Heidel (1956), dans les petits cours d'eau, la concentration maximum des sédiments se produit habituellement avant le débit maximum. Cela peut se présenter pour les crues d'automne et les crues d'hiver. Le modèle en boucle dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (12,5 %) « counterclockwise loop » est caractérisé surtout par des crues d'hiver et de printemps. Sur l'Oued Haddad, ce modèle caractérise la crue d'hiver. Le sol étant plus ou moins saturé, le couvert résiste mieux à la pluie. L'érosion et le transport solide se verront légèrement retardés par rapport aux écoulements. Ainsi, ce n'est qu'après une érosion prolongée que la concentration en matières en suspension augmente. Les formes en huit (37,5%), se présentent souvent pendant les crues de printemps caractérisées par de fortes pluies tombant après un hiver relativement froid mais généralement pluvieux. Aussi, les sédiments accumulés dans le lit de l'Oued seront mobilisés dès les premières crues du printemps pour donner au départ des pics de concentration antérieurs aux pics de débits liquides. Le phénomène s'inverse avec le temps dès l'épuisement du stock de sédiments, comme cela peut se présenter pour la crue d'automne dans la zone d'étude. L'observation d'hystérésis horaire indique que les sédiments transportés durant la crue proviennent du lit de la rivière, mais peuvent provenir des berges et des affluents.

Conclusion

Ce travail se voudra comme outil de base pour une approche d'aménagement et de mise en valeur du milieu naturel ainsi qu'une approche quantitative du transport solide en suspension dont l'intérêt est de constituer une base de données fiable susceptible de servir pour les autres études dont le même thème. On doit retenir de cette étude qu'il y a une mauvaise corrélation entre C et Q_l et qu'il y a une bonne corrélation entre le débit solide et le débit liquide. La dégradation spécifique moyenne est de $272 \text{ t km}^{-2} \text{ an}^{-1}$. On notera que cette valeur se situe dans la fourchette des dégradations trouvées pour quelques bassins versants magrébins. Et, le modèle dominant dans cette étude est le modèle de la catégorie 2 (clockwise loop) d'où les sédiments transportés durant la crue proviennent du lit de la rivière.

Références

- [1] P. Bača, Hysteresis effect in suspended concentration in the Rybàrik basin, Slovakia, Hydrological Sciences Journal, 53 (1) (2008), 224-235.
- [2] A. Benkhaled, B. Remini, Variabilité temporelle de la concentration en sédiments et phénomène d'hystérésis dans le bassin de l'Oued Wahrane (Algérie). Hydrological Sciences Journal, 48 (2) (2003), 243-255.
- [3] O. Elahcene, B. Remini, Corrélation entre la concentration en matières en suspension et le débit liquide dans le bassin versant de oued Bellah (Algérie). European Journal of Scientific research, ISSN 1450-216X, Vol. 26, N° 1 (2009), pp. 139-146.
- [4] O. Elahcene, A. Terfous, B. Remini, A. Ghenaim, J.B. Poulet, Etude de la dynamique sédimentaire dans le bassin versant de l'Oued Bellah (Algérie), Hydrological Sciences Journal, 58-1 (2013), 1-13.
- [5] A. Ghenim, A. Seddini, A. Terfous, Variation temporelle de la dégradation spécifique du bassin versant de l'oued Mouilah (Nord-Ouest algérien), Hydrol. Sci. J., 53(2) (2008), 448-456.
- [6] S.G. Heidel, The progressive lag of sediment concentration with flood waves. Transactions of the American Geophysical Union, 37 (1) (1956), 56-66.
- [7] C. Picouet, B. Hingra, J.C. Olivry, Modélisation conceptuelle globale du régime du transport particulaire sur les fleuves tropicaux d'Afrique: application aux bassins du Niger supérieur et du Bani, Mali. Revue des Sciences de l'Eau, 13 (4) (2000), 463-481.
- [8] J.L. Probst, P. Amiotte Suchet, Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb, Hydrological Sciences Journal, 37 (6) (1992), 621-637.
- [9] B. Touaïbia, S. Dautrebande, D. Gomer, A. Aïdaoui, Approche quantitative de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales : bassin versant de l'Oued Mina, Hydrol. Sci. J. 44(6) (1999), 973-986.
- [10] G.P Williams, Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers, Journal of Hydrology, 111 (1989), 89-106.

Efficiencia de distribución de l'agua potable À l'échelle de quelques communes du Nord-Est Algérien

Farès NINI et Azeddine MEBARKI 2

¹Institut des Techniques Urbaines -Université S Bounider de Constantine 3 et Laboratoire LASTERNE, Algérie. fares.nini@yahoo.fr

² Université Frères Mentouri Constantine 1, Laboratoire LASTERNE, Algérie, azeddine.mebarki@umc.edu.dzE-mail

Résumé

Notre contribution fait la mise en point sur les améliorations des réseaux d'alimentation en eau potable de quelques petites et moyennes villes situées dans des communes du Nord-Est algérien. Les résultats obtenus traduisent le niveau d'amélioration de l'efficacité de la distribution de l'eau potable au cours de la période 2012-2015. Après avoir défini les mesures entreprises et la politique adoptée dans la gestion de l'eau selon la loi sur l'eau de 2005, on procède à l'application des indices mesurant à la fois l'efficacité physique des réseaux de distribution d'eau potable et l'efficacité économique. Le rendement global des réseaux varie de 43 à 76 % avec des rendements de 70 à 90 % sur les réseaux de distribution. Les conséquences se traduisent par des déficits de couverture des besoins en eau des populations urbaines à l'échelle de six communes étudiées. L'efficacité économique montre que le gestionnaire, dans les meilleurs des cas, n'arrive à facturer que 85 % des volumes distribués, les 15 % restants traduisent les fuites d'eau et les prélèvements illicites. L'efficacité de distribution et le rendement d'utilisation actuels des eaux, malgré quelques progrès encourageants, sont loin d'être satisfaisants. Il faudrait traduire les efforts entrepris dans le cadre des orientations de la loi sur l'eau, dans le cadre d'une stratégie nationale de Gestion de la Demande en Eau (GDE).

Mots clés : réseaux hydrauliques, efficacité de distribution, déficit en eau, communes Est algérien.

Efficient use of water distributed drinking some municipalities In the north-eastern Algeria

Abstract

Our contribution focuses on improvements to the drinking water supply networks of some small and medium-sized towns located in communes in northeastern Algeria. The results obtained reflect the level of improvement in the efficiency of the distribution of drinking water during the period 2012-2015. After defining the measures taken and the policy adopted in water management under the new water law (2005), the indices measuring both the physical efficiency of the water distribution networks Drinking water and economic efficiency. The overall efficiency of the networks has reached 43-76% with 70-90 % yields on the distribution networks. The consequences result in deficits in covering the water needs of urban populations on the scale of the six communes studied. Economic efficiency confirms that the manager, at best, only charges 85% of the volumes produced, while the remaining 15% reflect water leakage and illegal harvesting. The current distribution efficiency and utilization efficiency of the waters, despite some encouraging progress, are far from satisfactory. Despite the efforts and guidance of the Water Act 2005, they should be translated as part of a national demand management strategy (WDM).

Key Words: hydraulic networks, distribution efficiency, water deficit, municipalities of Eastern Algeria

Introduction

En vue d'une exploitation rationnelle des ressources en eau, l'intervention sur les systèmes hydrauliques pour augmenter leur performance est parmi les solutions indispensables et urgentes préconisées dans la nouvelle politique de l'eau en Algérie. De ce fait, notre contribution fait la mise en point sur les améliorations des réseaux d'alimentation en eau potable de quelques communes dans le Nord-Est algérien, résultats obtenus en termes d'amélioration de l'efficacité de distribution.

Notre démarche comprend deux étapes : la première vise à définir les mesures entreprises et la politique adoptée dans la gestion de l'eau (loi de 2005) ; la deuxième étape procède à deux types d'évaluation, l'une portant sur l'application des indices mesurant l'efficacité de distribution d'eau potable, et l'autre consistant à établir des confrontations entre les ressources et les besoins en eau.

1. Dispositif réglementaire et technique

Dès les années 2005, l'Algérie a adopté une nouvelle politique nationale de l'eau portant sur deux axes stratégiques majeurs : les réformes institutionnelles, et le développement de l'infrastructure hydraulique dans le cadre des programmes nationaux d'investissement. Elle prend en compte les mutations nées aussi bien dans l'évolution des enjeux socio-économiques que dans la perception du coût réel de l'eau. L'obligation d'une utilisation et d'une gestion économe des ressources en eau et la mise en œuvre de tous moyens appropriés pour lutter contre les pertes et les gaspillages sont désormais nettement affirmés dans la Loi sur l'eau de 2005, et en tout cas bien plus précisément que dans les législations précédentes. S'y ajoutent les mesures de maîtrise de la demande dans la gestion de l'eau (article 3).

La gestion de l'Alimentation en Eau Potable est confiée, au niveau national, à l'Algérienne des Eaux (ADE), entreprise publique qui doit reprendre la gestion directe des services d'eau potable de toutes les communes du pays ainsi que la prise en charge de l'ensemble des installations et la mise en place de directives rigoureuses vis-à-vis de la gestion des réseaux. Un système tarifaire basé sur trois principes : tarifs progressifs en fonction des tranches de consommation, sélectivité des tarifs selon les catégories des usages, le principe de solidarité entre les usagers permettant de garantir un accès à l'eau correspondant aux besoins vitaux des ménages.

Depuis l'année 2000, des dépenses financières importantes ont été consacrées à l'exécution de divers programmes et projets de rénovation et renforcement des capacités des installations hydrauliques visant à répondre aux besoins des populations en matière d'eau potable. En conséquence, de 1995 à 2004, la plus grande partie des dépenses a été consacrée aux infrastructures de mobilisation de l'eau, principalement les barrages (CNES, novembre 2008).

2. Données, objectifs et méthodologie d'étude

L'étude porte sur six (6) communes dont la population varie entre 31 940 et 120 002 habitants. Ces communes disposent de données relativement fiables et suffisantes pour établir une analyse sur la période 2012- 2015 : nombre de population (recensement RGPH de 2008), volumes d'eau produits, volumes distribués et volumes facturés.

Pour suivre régulièrement les progrès réalisés par les communes et la situation en matière de gestion de l'eau potable, on fait appel à l'indice d'efficacité de distribution et l'évolution des besoins de la population. Cette méthode est adoptée dans la stratégie méditerranéenne pour le développement durable (SMDD, Plan Bleu, 2009).

2.1. Définition de l'efficacité de distribution de l'eau potable

Cet indice permet d'évaluer les efforts réalisés en termes d'économie d'eau par la gestion de la demande en diminuant les pertes et les gaspillages lors du transport et de l'utilisation de l'eau potable. C'est la part de l'eau potable produite et distribuée qui est payée par l'utilisateur. Par application de cet indice, on mesure à la fois l'efficacité physique des réseaux de distribution d'eau potable (taux de pertes ou rendement) et l'efficacité économique, c'est-à-dire l'aptitude des gestionnaires de réseaux à recouvrer les coûts auprès de l'utilisateur.

2.2. Évolution des besoins en eau potable des populations

Pour évaluer les besoins en eau potable des populations, on procède par la méthode considérant le nombre d'habitants de chaque commune multiplié par la dotation théorique en eau, définie selon la hiérarchie des villes. Une dotation de 175 litres par jour et par habitant est appliquée aux petites communes (de 30 000 à 100 000 habitants), et une dotation de 250 litres par jour et par habitant est généralisée sur les moyennes communes de plus de 100 000 habitants.

2.3. Déficit en eau

Par l'application de la formule, on détermine le déficit en eau (%) déduit de la confrontation entre les ressources et les besoins en eau des populations.

3. Résultats et discussion

L'analyse des performances hydrauliques des réseaux de distribution de l'eau potable réhabilitée à l'échelle de quelques communes du Nord-Est algérien permet de préciser si les objectifs de valorisation et d'économie de l'eau visés par l'État, depuis une dizaine d'années, dans le cadre de la loi de l'eau, ont été atteints. Elle permet également de situer les défaillances et les problèmes en vue d'atteindre des performances meilleures.

3.1. Efficience des réseaux

Le rendement à l'échelle de la distribution dans les réseaux d'eau potable est de 83% en moyenne, avec des variations d'une commune à une autre, allant de 70% (El Harouch) jusqu'à 90% (Didouche Mourad et Zighoud Youcef). La situation des rendements des réseaux s'est nettement améliorée, confirmant par là-même la concrétisation de plusieurs projets et l'efficacité des plans d'action en matière d'amélioration de l'efficience du réseau d'alimentation en eau potable depuis la source jusqu'à l'abonné. Les pertes dans les réseaux se situent à moins de 20% dans la majorité des communes ; ces pertes sont liées à un ensemble de contraintes techniques et de gestion concernant essentiellement les anciens quartiers.

3.2. Efficience économique

Le rendement du réseau de distribution (Rd) est le rapport en pourcentage entre le volume facturé (VF) et le volume distribué (VD). Le volume moyen facturé (Vf) a atteint 25,686 millions m³ sur 38,012 millions m³ distribués à l'échelle des six communes, soit un taux de rendement de 68% (la commune d'El Harouche n'est pas incluse). L'efficience économique confirme que le gestionnaire, dans les meilleurs des cas, n'arrive à facturer que 85 % des volumes produits (Didouche Mourad), les 15 % restants traduisent les fuites d'eau et les prélèvements illicites. L'analyse urbaine et les enquêtes de terrain effectuées au niveau des communes étudiées montrent une relation entre le type d'habitat et les volumes facturés.

À titre d'exemple, dans la commune de Hamma Bouziane où l'habitat individuel représente près de 30 % de l'agglomération, en plus des constructions privées anarchiques dotées de jardins, les piquages illicites dans le réseau AEP permettent au service gestionnaire de facturer seulement 51% des volumes distribués. A l'opposé, dans la commune de Didouche Mourad où l'habitat collectif et semi collectif occupent plus de 40 % de la ville, le service gestionnaire parvient à facturer 85% du volume distribué.

3.3. Efficience de distribution de l'eau potable (efficience globale)

Le rendement moyen à l'échelle de la distribution dans les réseaux d'eau potable des communes étudiées est de 61 % ; la fourchette de variation est comprise entre 43 % (Hamma Bouziane) et 76 % (Didouche Mourad). Les pertes d'eau totales depuis la production jusqu'à l'abonné sont très coûteuses, sur le plan tant économique qu'environnemental. L'augmentation des volumes produits a atteint en quatre années, une moyenne de 15% sur l'ensemble des communes étudiées ; ces approvisionnements additionnels doivent faire face aux besoins croissants en eau des populations et, en partie, destinés à la fourniture en eau potable des nouveaux quartiers (extension des réseaux).

3.4. Bilan Ressources -Besoins et Déficit en eau

Les volumes d'eaux distribuées (38,012 hm³) au profit d'une population globale de l'ordre de 475 658 habitants font ressortir des dotations moyennes quotidiennes de 85 litres/jour/habitant en 2015, alors que la dotation théorique est fixée à 200 litres/jour/habitant. Les besoins en eau potable varient considérablement selon l'évolution socio-économique de la région, ils accroissent donc avec le niveau de vie des habitants, mais également avec la taille des collectivités humaines, et donc le degré de concentration urbaine. Les conséquences se traduisent par des déficits de couverture des besoins en eau des populations urbaines à l'échelle des six communes .

Le bilan ressources-besoins de l'année 2015 montre une disproportion entre les volumes disponibles et les besoins qui se traduisent par un déficit global de 5 %. Ce déficit tend à s'accroître dans les années à venir pouvant atteindre 13% en 2020 et 21% en 2025 dans les communes étudiées. Les approvisionnements additionnels en eau potable, n'ont pas réussi à s'aligner sur la demande croissante.

Conclusion

Pour rendre effectives et efficaces les orientations de la loi sur l'eau de 2005, il faudrait les traduire dans le cadre d'une stratégie nationale de gestion de la demande, fixant les objectifs en matière d'efficacité, définissant les actions pour les atteindre, précisant les outils et moyens réglementaires, techniques, économiques, et recommandant la gestion participative des populations.

Le défi pour l'Algérie sera, inévitablement, le développement de ses capacités à préserver et à valoriser ses faibles ressources beaucoup plus que de rechercher d'en créer de nouvelles.

Références

- [1] A. Chih-Chibani, le secteur public en Algérie à l'ère de la mondialisation, revue des réformes économiques et intégration en économie mondiale, école supérieure de commerce Alger ESC n°8/2010.
- [2] M. Benblidia, Plan Bleu, Rapport de synthèse, Centre d'Activités Régionales Sophia Antipolis, 2009.
- [3] M.H. Louati, L'efficacité d'utilisation de l'eau et approche économique, étude nationale, Tunisie, Plan Bleu, centre d'Activités Régionales PNUE/PAM, 2010.
- [4] M. Chadli, A. Hadjiedj, L'apport des petites agglomérations dans la croissance urbaine en Algérie, revue européenne géographique, 2003.
- [5] K. Saban, S. Atefen, Gestion de l'eau potable dans la commune de Zighoud-Youcef Constantine Algérie, mémoire de Master, Université S Bounider de Constantine 3, 2015.
- [6] S.Taleb. S. Smaali, Gestion de l'eau potable et développement durable, cas de la commune d'El Harouch Skikda Algérie, mémoire de Master, Université S. Bounider de Constantine, 2003.
- [7] N. Bouramoul, N. Ladrâa, Gouvernance urbaine et gestion de l'eau potable, cas de la ville Hama-Bouziâne, Constantine, Algérie, mémoire de Master, Université Salah Bounider Constantine 3, 2016.
- [8] M Kaaouan, M Bekhouch, Y Bouabdellah, S. Milat, Services de gestion de l'eau potable, cas de la commune de Didouche-Mourad, mémoire d'ingénieur, Université Salah Bounider de Constantine, 2016.
- [9] A. Bessam, M Aouadek, M Talba, K Zaater, Consommation l'eau potable dans la ville du Guelma, mémoire d'ingénieur, Université Salah Bounider de Constantine 3, 2014.
- [10] Z Kjioua, M Kamboua, Gestion de l'eau potable, cas de la ville de Skikda, mémoire de Master, Université Salah Bounider de Constantine 3, 2013.
- [11] I. Bouraoui, 2007, croissance des petites villes Algérienne, cas d'El Harouch, mémoire du magistère, université Mentouri de Constantine.
- [12] L. Schriver-Mazzuoli, La gestion durable de l'eau, Ressource, Qualité, Organisation, Dunod, 2012, pp. 157,2012.
- [13] F. Nini, A. Mebarki, Performance des systèmes hydrauliques dans les G.P.I du Nord-Est algérien, Journées scientifiques maghrébines en Algérie, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, 23-26 octobre 2016 Algérie.
- [14] Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme P.D.E.U groupement de Constantine, 2010.
- [15] Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme P.D.A.U intercommunale de : Constantine, El Khroub, Hama Bouziâne, Didouche Mourad, Ain Smara, 2011.
- [16] Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme PDAU intercommunale de : Guelma, Fedjouj, Belkheir, 2007.
- [17] Journal officiel de la république algérienne N°60, relative à l'eau, Loi n° 05.12 du 28 Jumada Ethani 1426 correspondant au 04 Aout 2005. 18. Recensement Général de la Population et de l'Habitat, armature urbaine, résultats issus de l'exploitation exhaustive, 2008.

Paradoxes hydrologiques au Sahel : où en est-on ?

Luc Descroix¹, Laurent Kergoat², Manuela Grippa², Honoré Dacosta³, Moussa Malam Abdou⁴, Aida Diongue-Niang⁵, Françoise Guichard⁶, Laetitia Gal², Cécile Dardel², Jean-Pierre Vandervaere⁷, Ibrahim Mamadou⁸

¹ IRD, LMI PATEO, UMR PALOC IRD/MNHN, BP 1386, Dakar, Sénégal, +221772453822, luc.descroix@ird.fr

² GET, UMR 5563, Univ. Toulouse 3, CNRS, IRD, Toulouse, France. +33561332987. laurent.kergoat@get.obs-mip.fr; manuela.grippa@get.obs-mip.fr; cecile.dardel@gmail.com, laetitia.gal@get.obs-mip.fr

³UCAD, Dakar, Dept de Géographie, BP 5005, Dakar, Sénégal, +221776422641 honore.dacosta@ucad.edu.sn ⁴Univ. de Zinder, BP 656, Zinder, Niger, +22797129105 moussa.malamabdou@gmail.com; imadou_ib@yahoo.fr ⁵ANACIM, Météo du Sénégal, BP 8257 Dakar-Yoff – Sénégal, +22177562598 aida.diongue.niang@gmail.com

⁶ Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), UMR 3589 Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)/Météo-France, 31057 Toulouse, France; francoise.guichard@gmail.com

⁷ Univ. Grenoble Alpes, IGE, 38041, Grenoble. +33683939968 jean-pierre.vandervaere@univ-grenoble-alpes.fr

Résumé

Au Sahel, durant le long épisode sec (1968-1995), on avait observé un fort et paradoxal accroissement des écoulements, qu'on a attribué aux changements d'usage des sols, en particulier leur mise à nu, qui conduit souvent à leur encroûtement rapide. Depuis le retour à des conditions pluviométriques moyennes à la fin du 20^{ème} siècle, on note un net reverdissement du Sahel. Ce reverdissement ne se traduit pas par une amélioration de la capacité de rétention en eau des bassins-versants, et les écoulements continuent d'augmenter. On cherche à comprendre ici les processus et mécanismes qui entraînent ces paradoxes, à l'heure où les pluies sont, certes, revenues, mais les agriculteurs ne voient pas forcément l'eau mieux pénétrer dans les sols ni leurs rendements en tirer profit. Or, il est urgent de tout faire pour améliorer la résilience des milieux sahéliens tant face aux possibles futurs chocs climatiques que face aux importants changements d'usage des sols qu'on y observe.

Mots clés : encroûtement des sols, ruissellement, Sahel, pluies intenses, inondation

Hydrological paradoxes in the Sahel: last news

Abstract

In the African Sahel, during the great Drought (1968-1995), a paradoxical increase in runoff was observed. It was attributed to Land Use/Land Cover Changes, particularly the extension of cropping which left extended areas of bare soils; the latter are prone to be crusted. Since the total annual rainfall recovery, at the end of 20th century, a net re-greening is observed. This re-greening do not lead to an improvement of soil and basins water holding capacity; thus, runoff coefficients are going on increasing. We aim here to improve our understanding of processes and mechanisms that lead to these two paradoxes. Indeed, mean total annual rainfall is nowadays at its average value, however, peasants not always see any improvement neither in soil water holding capacity nor in crop yields. Since future droughts and extreme events are predicted, it is worth to improve agro-systems resilience in the Sahel, to help them to face climate shocks and observed strong land use land cover changes

Key Words: soil crusting, runoff, Sahel, extreme rainfall events, flooding

Introduction

Les observations des bassins versants du Sahel ont montré, dès le début de l'épisode de sécheresse des années 1968-1985, un accroissement des écoulements. On a attribué cela à la disparition partielle de la couverture végétale. Celle-ci, due à l'extension des cultures et à la surmortalité des ligneux liée à la sécheresse, a eu pour conséquence la mise à nu du sol et son encroûtement superficiel. Depuis la fin du 20^{ème} siècle, on observe un reverdissement des espaces sahéliens. Or les écoulements continuent à augmenter, ce qui constitue un deuxième paradoxe. Si les processus de base sont connus, leur extension et variabilité spatio-temporelle dépendent de mécanismes dont la connaissance demande à être approfondie. Les prévisions du GIEC prévoient globalement une augmentation des précipitations sur le Sahel avec l'élévation des températures. Toutefois, cette tendance n'est pas forcément porteuse d'amélioration de la résilience des agrosystèmes sahéliens ; en effet, d'une part, on observe depuis 20 ans qu'elle s'accompagne d'un accroissement plus fort encore du nombre d'événements extrêmes ; et par ailleurs, la partie ouest du Sahel (Mauritanie, Sénégal, Gambie) pourrait connaître, elle, un nouvel épisode sec après 2030 ou 2035. Il est donc urgent d'agir pour assurer la résilience de ces agrosystèmes dans les toutes prochaines années.

I. 1^{er} paradoxe du Sahel : durant la sécheresse, une très nette augmentation des écoulements et des débits

Le 1^{er} paradoxe hydrologique du Sahel a été décrit (sans le nommer ainsi) par Albergel (1987) [1] qui a montré, 15 ans après le début de la grande période sèche (1968-1995) (voir figure 1), que les écoulements augmentaient très significativement dans les bassins versants expérimentaux sahéliens, alors qu'ils baissaient, plus logiquement, dans les bassins soudanais. Cela a été confirmé par de nombreux travaux depuis ([2] [3] [4] [5] [6] [7]). Cette augmentation paradoxale des écoulements est attribuée aux changements d'usages des sols, en particulier aux processus d'encroûtement qui sont liés, entre autres, à : a- La mise en culture, qui laisse les sols à nu une partie de l'année, exposés aux pluies sahéliennes de très forte intensité ; cela favorise au départ la formation de croûtes de battance ; mais surtout, en l'absence d'assolement ou de jachère suffisante, cela provoque la formation d'une croûte « ERO » de 25 à 40 cm d'épaisseur [8] ; la conductivité hydraulique à saturation (Ks) est divisée par 10 ou 20 par rapport à celle d'un champ sarclé ; -b La jachère, qui est réputée favoriser la formation de croûtes algales (*bioderm* en anglais) qui elles aussi ont des valeurs de Ks très faibles, entre autres du fait de l'hydrophobie des matières organiques.

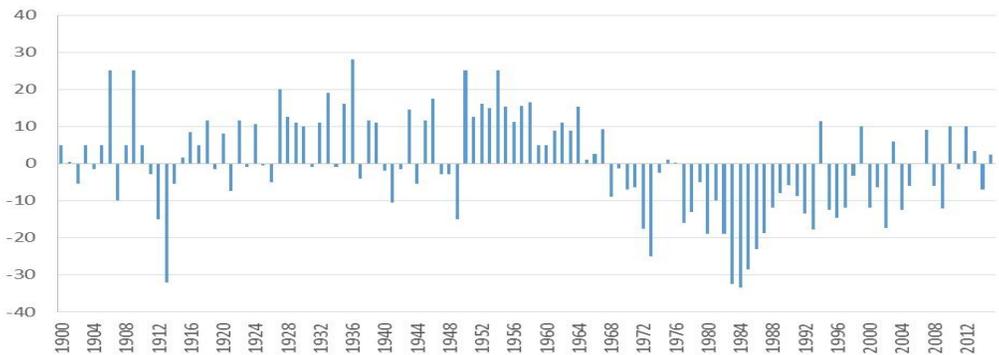


Figure 1. Evolution de l'indice des pluies (pourcentage autour de la moyenne) sur le bassin versant du Niger, qui représente une grosse moitié centrale de la bande soudano-sahélienne, entre 1900 et 2015.

La principale conséquence hydrologique de cette diminution de Ks est une forte baisse de la capacité de rétention en eau des sols. On voit ci-après comment cela se répercute sur les régimes hydrologiques.

Les deux conséquences hydrologiques en sont :

- une diminution du temps de réponse des bassins aux précipitations. La crue se produit de plus en plus tôt ; elle se finit aussi de plus en plus tôt. La figure 2 montre que la crue locale sahélienne (appelée crue rouge) à Niamey se produit de plus en plus tôt, et aussi que la crue « guinéenne », venue de l'amont du bassin, se tarit bien plus tôt qu'auparavant ; cela signifie que les réservoirs naturels (sols, sous-sol, nappe, mares, etc.), qui se sont vidangés au début de la sécheresse, permettant de soutenir les débits durant quelques années, sont en train de se recharger.
- surtout, un net accroissement des coefficients d'écoulement (figure 3) pour les affluents sahéliens du fleuve Niger. Ils sont 3 à 4 fois plus élevés actuellement que dans les années 1951-70, pourtant très excédentaires en pluviométrie.

2. 2^{ème} paradoxe : depuis que le reverdissement est avéré, la hausse des débits se poursuit

Tous les travaux sur la végétation au Sahel s'accordent sur un reverdissement assez général qui aurait commencé dès le début des années 1990 ([9] [10] [11] [12] [13]). La figure 4 montre d'une part que le reverdissement semble se limiter au Sud du Sahel ; d'autre part, qu'il y a deux types d'espaces dans lesquels on note une diminution nette de la biomasse : certaines marges nord du Sahel, en limite du désert, en particulier au Mali et au Niger. Et l'Ouest du Niger, qui semble être la seule région où le reverdissement ne s'applique pas, et où on note une nette régression de la végétation.

Or, la figure 3 montre bien que l'augmentation des coefficients d'écoulement se poursuit. C'est le deuxième paradoxe hydrologique du Sahel. En fait pour diverses raisons, le reverdissement améliore peu la capacité de rétention en eau des sols. La raison principale en est que les sols ont été en grande partie encroûtés durant la période sèche, ce qui réduit leur Ks et maintient leur fort coefficient d'écoulement. Les sols encroûtés (croûte de type ERO) ont une très faible perméabilité (Ks inférieur à 20 mm.h⁻¹). Or les trois quarts des volumes de pluie précipitée tombent avec une intensité supérieure à 30 mm.h⁻¹. Ces sols ayant un fort coefficient de ruissellement, sont très productifs en écoulement.

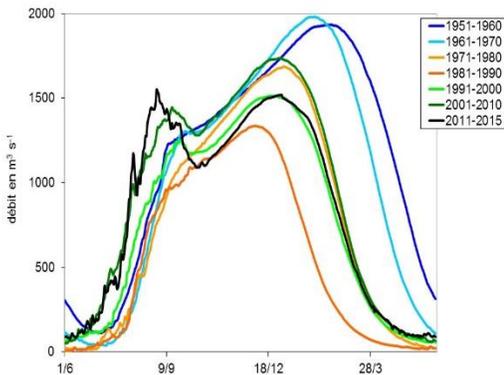


Figure 2. Hydrogrammes décennaux du fleuve Niger à Niamey de 1951 à 2015 ; on voit la première crue, sahélienne, se produire une quarantaine de jours plus tôt que dans les années 1951-1970

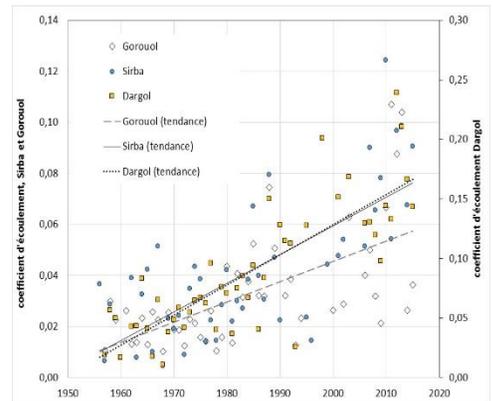


Figure 3. Evolution des coefficients d'écoulement des affluents sahéliens du fleuve Niger à Niamey (1950-2015).

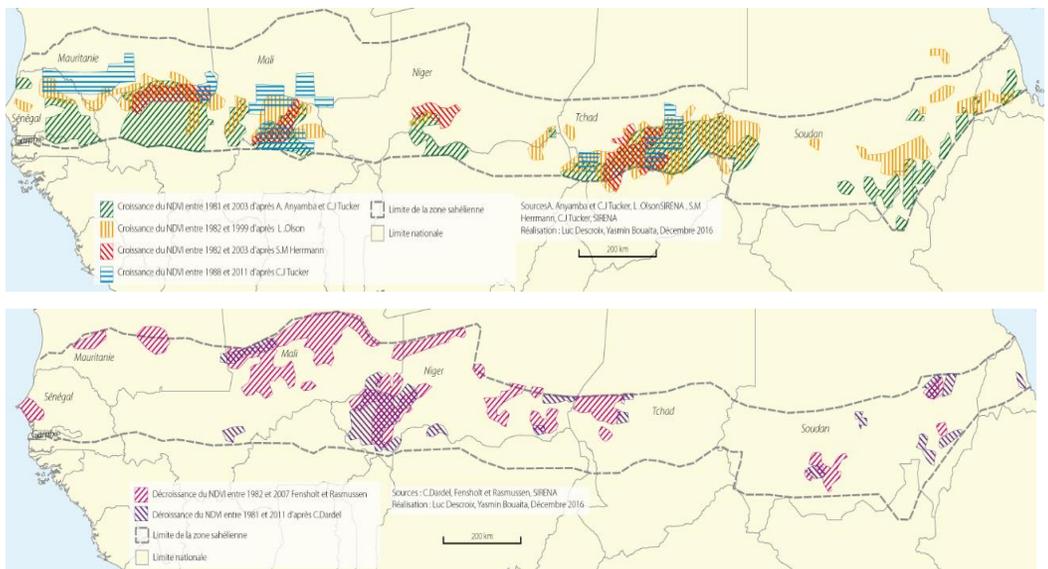


Figure 4. Les zones de croissance (haut) ou de diminution (bas) de la biomasse (NDVI) d'après les travaux récents

3. Quelques éléments d'explication supplémentaire

Les sols sahéliens sont globalement peu fertiles, et ils perdent leur faible richesse en s'encroûtant. Par ailleurs, les précipitations tombent pour leur majorité sous forme de lignes de grains, avec une forte voire une très forte intensité ; ces éléments expliquent les forts coefficients d'écoulement observés. Mais au moins deux éléments importants ont contribué à les renforcer.

A l'échelle régionale : Un accroissement des pluies extrêmes : on observe depuis le tout début du nouveau millénaire un accroissement du nombre d'événements pluvieux de fort cumul journalier (parfois appelés « événements extrêmes » ou « pluies extrêmes » [14] [15]. C'est un facteur d'augmentation du ruissellement, car il fait croître la proportion des pluies tombées au-dessus du seuil déclenchant le ruissellement.

A l'échelle plus locale : Des ruptures d'endoréisme : Le bassin du Niger moyen est celui où le paradoxe du Sahel s'est le plus appliqué. Or, l'accroissement initial des écoulements a entraîné, dans plusieurs vallées adjacentes à celle du Niger, le débordement soudain des mares drainant de petits bassins auparavant endoréiques, souvent retenus par des linéaments de dunes comme celui qui occupe la rive droite du Niger sur plus de 100 km en amont de Niamey. Ces mares, en débordant, ont créé de puissants cours d'eau, courts mais pentus et très alimentés en sable et en eau de ruissellement par les rebords de plateau cuirassés qui les surplombent ; cela a suffi à accroître de 1700 km² la superficie du bassin du Niger au niveau de Niamey [16].

Conclusion

Durant la sécheresse, le 1^{er} paradoxe du Sahel a eu des déterminants surtout humains à travers les changements d'usage des sols (attention, ceux-là ont pu être avant tout accélérés par la sécheresse et la soif de ressources qu'elle a engendrée). Depuis le retour à des conditions pluviométriques correctes, voire moyennes, le reverdissement n'empêche pas les écoulements de devenir de plus en plus abondants. Aux facteurs humains, indéniés, s'ajoutent un important facteur climatique : l'intensification des pluies et la hausse du nombre d'événements dits « extrêmes », qui a exacerbé l'augmentation des coefficients d'écoulement et des débits. Le GIEC prévoit un nouvel épisode sec à l'ouest du Sahel à l'horizon 2030 ou 2035. Il est important d'améliorer fortement la résilience des agrosystèmes et des hydrosystèmes de la région avant ce retour possible à des conditions plus sèches. Cela permettrait d'améliorer leur capacité de rétention en eau, et donc d'accroître leur productivité primaire nette tout en limitant les risques d'inondation en aval.

Références

- [1] J. Albergel. Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface : application aux petits bassins du Burkina Faso. In "The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources"; IAHS publication N° 168, Wallingford, UK.; 1987, pp. 355-365.
- [2] Mahé, G., Leduc, C., Amani, A., Paturel, J.E., Girard, S., Servat, E., Dezetter, A. Augmentation récente du ruissellement de surface en région soudano-sahélienne et impact sur les ressources en eau. In: Servat, E., Najem, W., Leduc, C., Ahmed, S. (Eds.), *Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions*, IAHS Pub. 278, 2003, pp. 215–222.
- [3] Mahé G, Paturel J.E. 1896–2006 Sahelian rainfall variability and runoff increase of Sahelian Rivers. *Comptes Rendus Geoscience* 341: (2009) 538–546.
- [4] Mahé, G., Lienou, G., Descroix, L., Bamba, L., Paturel, J.-E., Laraque, A., Meddi, M., Habaieb, M., Adeaga, O., Dieulin, C., Chahnez Kotti, F., and Khomsi, K. The rivers of Africa: witness of climate change and human impact on the environment; *Hydro. Process.* 27, (2013), 2105–2114. DOI: 10.1002/hyp.9813.
- [5] Amogu O., Descroix L., Yéro K.S., Le Breton E., Mamadou I., Ali A., Vischel T., Bader J.-C., Bouzou Moussa I.B., Gautier E., Boubkraoui S., Belleudy P. Increasing River Flows in the Sahel?. *Water*, 2(2): (2010), 170-199.
- [6] Descroix, L., Genthon, P., Amogu, O., Rajot, J.-L., Sighomnou, D., Vauclin, M. Change in Sahelian Rivers hydrograph: The case of recent red floods of the Niger River in the Niamey region. *Global Planetary Change*, 98-99, (2012), 18-30.
- [7] Descroix, L., Mahé, G., Olivry, J.-C., Albergel, J., Tanimoun, B., Amadou, I., Coulibaly, B., Bouzou Moussa, I., Faran Maiga, O., Malam Abdou, M., Souley Yéro, K., Mamadou, I., Vandervaere, J.-P., Gautier, E., Diongue-Niang, A., Dacosta, H., Diedhiou, A. Facteurs anthropiques et environnementaux de la recrudescence des inondations au Sahel. In Sultan et al. (Eds) « Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest » Ed IRD, 2015a, 153-170.
- [8] Casenave, A., Valentin, C. A runoff capability classification system based on surface feature criteria in semiarid areas of West Africa. *J Hydrol*, 130 (1992) 231 -49.
- [9] Anyamba, A. and Tucker, C.J. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981-2003. *Journal of Arid Environments* 63(3), (2005), 59614.
- [10] Prince, S.D., Wessels, K.J., Tucker, C.J., Nicholson, S.E. Desertification in the Sahel: a reinterpretation of a reinterpretation. *Global Change Biology* 13, (2007), 1308–1313. doi:10.1111/j.1365-2486.2007.01356.x
- [11] Fensholt, R., Rasmussen, K. Analysis of trends in the Sahelian 'rain-use efficiency' using GIMMS NDVI, RFE and GPCP rainfall data. *Remote Sensing of Environment* 115, (2011) 438-451. doi:10.1016/j.rse.2010.09.014.
- [12] San Emeterio, J.L. Désertification ou reverdissement : étude multi-scalaire de l'évolution du couvert végétal en Afrique sahéenne à partir de données de télédétection ; Thèse. Univ.é Paris Diderot. 2015, 269 p.
- [13] Brandt, M., Tappan, G., Diouf, A.A., Beye, G., Mbow, C. and Fensholt, R. Woody Vegetation Die off and Regeneration in Response to Rainfall Variability in the West African Sahel. *Remote Sens.*, 9, (2017), 39; doi:10.3390/rs9010039.
- [14] Panthou, G., Vischel, T., Lebel, T. Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. *International Journal of Climatology*. 34 (2014), 3998-4006.
- [15] Descroix, L., Diongue Niang, A., Panthou, G., Bodian, A., Sané, T., Dacosta, H., Malam Abdou, M., Vandervaere, J.-P., Quantin, G., 2015b. Evolution récente de la mousson en Afrique de l'Ouest à travers deux fenêtres (Sénégalie et Bassin du Niger Moyen). *Climatologie*, 12 (2015b): 25-43.
- [16] Mamadou, I., Gautier, E., Descroix, L., Noma, I., Bouzou Moussa, I., Faran Maiga, O., Genthon, P., Amogu, O., Malam Abdou, M., et Vandervaere, J.-P. Exorheism growth as an explanation of increasing flooding in the Sahel. *Catena*, 130 (2015), 131-139.

Risque du SAR dans l'eau de puits destinée à l'irrigation dans la région d'Ain Témouchent- Algérie

Mostafia Boughalem 1, Rabiaa Bachir Bouyejra 2, Meriem Bachir Bouyejra 2,
Hafida Boucherit 3

¹Ctr Univ Ain Temouchent, Laboratory of Applied Hydrology and environment/DGRSDT,
BP 284- 46000 Ain Temouchent, Algeria, boughalem_2000@yahoo.fr

²Département de Génie de l'Eau et de l'Environnement, Ctr Univ Ain Témouchent,
douceur91@hotmail.fr

³Centre universitaire de Naâma, Algérie, +213 791 887 544, hboucherit@hotmail.fr

Résumé

Dans la région d'Ain Témouchent caractérisée par un climat semi-aride, le recours à l'irrigation est inévitable pour la plupart des cultures. Les eaux souterraines sont de plus en plus sollicitées. Elles constituent une source importante en eau potable et en eau d'irrigation. Or, le développement de l'irrigation s'est, dans la majorité des situations, accompagné de l'apparition de processus de salinisation des sols à des degrés d'importance divers. Les agriculteurs irriguent plusieurs types de cultures sans le moindre contrôle.

Dans le cadre de la valorisation de l'eau d'irrigation, il nous est apparu intéressant de faire une étude qualitative des eaux de quelques puits dans la région afin de caractériser leur teneur en sel. Pour ce faire, nous avons adopté une démarche simple et efficace en nous appuyant sur un indicateur de salinité qui est le taux d'adsorption du sodium (Sodium adsorption ratio) ou SAR. Ce dernier exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Les résultats de notre étude ont révélé une salinité faible à modérée pour l'eau des puits contrôlés, avec un SAR variant entre 2,68 et 8,23. Cette eau est ainsi impropre à la consommation humaine mais reste utilisable pour l'irrigation agricole, sans risque pour le sol et les cultures. Par ailleurs, dans cette étude, deux facteurs peuvent être tenus pour responsables de la salinité : i) la nature de certaines roches, en particulier des marnes gypsifères. ii) les conditions climatiques, caractérisées par une période hivernale pluvieuse (favorable à la dissolution des roches) et par une période estivale sèche et chaude (ce qui induit une forte évapotranspiration et par conséquent une augmentation de la concentration des éléments dissous).

Mots-clés : salinité, sols, irrigation, eau de puits, SAR.

SAR Risk in Well Water for Irrigation in the region of Ain Témouchent- Algeria

Abstract

In the region of Ain Temouchent characterized by a semi-arid climate, irrigation is inevitable for most crops. Groundwater is more and more required. It is an important source of drinkable and irrigation water. In most cases, the development of irrigation has been accompanied by the emergence of salinization processes to varying degrees of importance. Farmers irrigate several types of crops without any control. In the context of the valorization of irrigation water, it seemed interesting to carry out a qualitative study of the waters of some wells in the region in order to characterize their salt content. For this, a simple and efficient approach has been adopted basing ourselves on a salinity indicator, which is the sodium adsorption ratio (SAR). This latter expresses the ion sodium relative activity in the exchange reactions in soils. The results of our study revealed a weak to moderate salinity regarding water of the controlled wells with a SAR ranging from 2.68 to 8.23. Consequently, this water is unsuitable for human consumption but remains useful for agricultural irrigation, without risk to soil and crops. Moreover, in this study, two factors can be considered as responsible for salinity: (i) the nature of some rocks, particularly gypsiferous marls, (ii) climatic conditions, characterized by a rainy winter period (favorable to rocks dissolution) as well as a dry and hot summer period (which leads to a strong evapotranspiration and consequently to an increase of the concentration of the dissolved elements).

Key Words: salinity, soils, irrigation, well water, SAR.

Introduction

Le phénomène de salinisation est très répandu dans les régions arides mais apparaît également dans les zones tempérées, particulièrement sur les zones côtières. En Algérie du Nord, ce phénomène présente la forme de dégradation physique des sols la plus importante affectant les reliefs, les rendements agricoles et la stabilité des versants. L'eau est un élément indispensable à la vie et revêt de l'importance pour plusieurs activités humaines. Elle peut être rare à certains endroits, comme les zones arides et semi-arides ou relativement en abondance dans les zones forestières. L'agriculture est le secteur d'activité le plus consommateur d'eau. Notamment lorsqu'elle est pratiquée pendant les séquences sèches de la saison des pluies. Elle dépend du climat et des conditions naturelles. Des conditions climatiques changeantes entraînent des déséquilibres entre précipitations et besoins des cultures durant leur période de végétation et ont un impact notable sur les rendements et la qualité des produits agricoles. L'irrigation est souvent utilisée en complément de l'eau pluviale afin d'augmenter les rendements et d'accroître la durée de la saison agricole. La qualité des eaux d'irrigation est fortement influencée par les modes de gestion des terres. Dans la région d'Ain Témouchent caractérisée par un climat semi-aride, le recours à l'irrigation est inévitable pour la plupart des cultures. Les eaux souterraines sont de plus en plus sollicitées. Elles constituent une source importante en eau potable et en eau d'irrigation. Or, le développement de l'irrigation s'est, dans la majorité des situations, accompagné de l'apparition de processus de salinisation des sols à des degrés d'importance divers. Le phénomène de salinisation des sols est abordé dans la littérature soit à partir des analyses physico-chimiques des eaux d'irrigation [7], soit en reliant les risques de salinisation aux mauvaises pratiques agricoles [2]; [1] soit par l'étude, à partir d'une base de données de mesures, des relations statistiques entre des combinaisons d'état de surfaces [3]. Plusieurs auteurs se sont attachés à comparer ces différents types de modélisations dans des situations contrastées: nappes phréatiques [8] ; [6], bassins versants agricoles [10] ou encore dans le contexte des parcelles expérimentales agricoles [5] ; [1]. Il en ressort que l'évaluation de la salinisation en un point donné du bassin versant est une opération relativement aisée, mais la difficulté réside dans le fait de chercher la salinisation qui caractérise l'ensemble du bassin, car celui-ci est très hétérogène de point de vue lithologie. C'est pourquoi il faut faire beaucoup de mesures. C'est en prenant en compte ces différentes dimensions au niveau de la région de Aïn Témouchent que nous avons voulu évaluer qualitativement les eaux de quelques puits dans la région afin de caractériser leur teneur en sel.

I. Matériel et méthode

L'expérimentation a été réalisée dans des exploitations agricoles situées dans la région d'Aïn Témouchent (Figure 1). C'est un territoire à vocation agricole caractérisée par un climat de type méditerranéen semi-aride avec une influence maritime plus que continentale. Les pluies annuelles varient de 280 mm à 600 mm. Elles sont déterminées par une irrégularité spatio-temporelle et par un régime de courte durée et à forte intensité. La structure géologique de la région est constituée par trois types de formations: i) formations basaltiques avec des cendres volcaniques d'âge primaire, ii) formations sédimentaires constituées de calcaires, d'argiles, et de marnes gypsifères, iii) formations quaternaires constituées de tufs et d'alluvions recouvertes de formations Argilo-marneuses et Argilo-sablonneuses et de croutes calcaires.



Figure 1. Situation géographique de la zone d'étude

Les sols présentent des potentialités agronomiques moyennes, de tendance argilo-limoneuse pour les plaines intérieures ainsi que la zone des montagnes et limono-sableuse pour la zone du littoral. La zone d'étude comprend plusieurs aquifères exploités pour l'irrigation ; les plus importants sont : la Basse vallée de la Tafna, le Plateau d'Aïn Témouchent, le système aquifère de l'Oued Djelloul, la nappe de Bou Zedjar, l'aquifère située entre la Plaine d'Aïn Témouchent et la Tafna, la nappe de la Plaine de la M' Léta et le système aquifère des Monts du Tessala. Or, l'exploitation des eaux souterraines a atteint ses limites et dépasse même les potentialités naturelles, suite à la réalisation d'un grand nombre de puits et forages illicites.

2. Échantillonnage et analyses

Un réseau d'échantillonnage composé de 12 puits a été choisi pour caractériser leur teneur en sel. 4 de ces puits (P2, P3, P9 et P10) sont situés dans un terrain marneux, 5 puits (P4-P7 et P12) sont répartis dans les terrains contenant des marnes gypsifères et les 3 autres (P1, P8 et P11) se situent sur un sol calcaire. Les analyses des échantillons ont été effectuées sur 2 périodes de l'année 2016 : septembre et Février.

Une grande quantité d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les argiles de sol et cause la dispersion des particules dans le sol. C'est pourquoi l'analyse de la concentration du sodium dans l'eau d'irrigation ne peut être faite seule. En effet, l'influence du sodium dépend des concentrations en calcium et en magnésium. Aussi, plutôt que de parler de concentration en sodium, nous parlons d'une valeur qui tient compte des effets mutuels du sodium, du calcium et du magnésium. Il s'agit du ratio d'adsorption du sodium par le sol, le SAR (Sodium adsorption ratio) [9].

Pour évaluer la qualité des eaux des puits étudiés en vue d'un usage agricole, nous avons utilisé le SAR (Sodium adsorption ratio). Cet indice exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Il mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium. Le SAR, appelé aussi "pouvoir alcalinisant" est défini par l'équation suivante :

$$SAR = [Na] / [\sqrt{(Ca + Mg)/2}] \quad (1)$$

Où Na indique le sodium, Ca le calcium et Mg le magnésium. Le dosage des ions (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺) se base sur la méthode de spectrophotométrie de flamme. Tous les ions sont exprimés en méq/l.

3. Résultats et discussion

Les valeurs du SAR des eaux des puits étudiés sont regroupées dans le tableau 1. Elles varient entre 2,68 et 8,23, donc inférieur à la limite des normes des eaux d'irrigation préconisées par la FAO. Le risque de salinité est d'autant plus grand que le SAR est plus élevé. Les résultats montrent que les eaux souterraines de la zone d'étude ont une salinité faible à moyenne. Les valeurs du SAR (< 10) indiquent que toutes les eaux souterraines échantillonnées présentent un faible danger d'alcalinisation et pourraient être utilisées en irrigation.

Tableau 1. Caractéristiques hydro chimiques des eaux des puits étudiés

Puits	Nature du sol	Février				Septembre			
		Ca ²⁺ (m)	Mg ²⁺ (m)	Na ⁺ (meq)	SAR	Ca ²⁺ (me)	Mg ²⁺ (m)	Na ⁺ (meq)	SAR
P1	Calcaire	1,5	0,4	2,9	2,98	1,5	0,4	3,4	3,32
P2	marneux	5,6	2,2	12	6,08	5,6	2,2	13	6,44
P3	marneux	4,2	1,6	9,8	5,75	4,2	1,6	10	5,75
P4	marne gypsifère	11,7	6	23,4	7,87	11,7	6	24,5	8,15
P5	marne gypsifère	8,9	3,8	18	7,14	8,9	3,8	19,8	7,78
P6	marne gypsifère	16,3	9,7	29	8,04	16,3	9,7	30	8,23
P7	marne gypsifère	13	6,1	24,8	8,03	13	6,1	25	7,91
P8	Calcaire	1,8	0,7	3,1	2,77	1,8	0,7	3,9	3,08
P9	Marneux	6	2,6	12,4	5,98	6	2,6	12,9	6,08
P10	Marneux	6,2	3,6	11,8	5,33	6,2	3,6	12	5,24
P11	Calcaire	1,7	0,8	3	2,68	1,7	0,8	4,1	3,27
P12	marne gypsifère	10	3,1	20	7,81	10	3,1	20,8	7,7

Les valeurs du SAR pour le puits P1, P8 et P11, situés sur le sol calcaire varient de 2,68 à 3,32. Elles renseignent sur une eau de bonne qualité avec une salinité moyenne, donc elle peut être utilisée pour l'irrigation de toutes les cultures pratiquées dans la région sans effet négatif sur le sol.

Quoi que le SAR des puits répartis sur le terrain marneux (P2, P3, P9 et P10) soit plus élevé que celui des puits situés sur le sol calcaire, il reste modéré comparativement aux normes fixées par la FAO [4]. Il varie de 5,24 à 6,44. Une attention

particulière doit être portée sur les cultures sensibles au sel pratiquées dans la région (pommes, oignon, radis, laitue, céleri, citrouille, poivron, pois, maïs sucré, pommes de terre, choux, choux –fleurs).

Les puits (P4-P7 et P12), plantés sur un sol contenant des marnes gypsifères ont un SAR allant de 7,14 à 8,23. Cela traduit une salinité plus élevée que les puits cités plus haut. Ceci est dû probablement à la nature du sol. En effet, la mesure que les roches et les sols sont érodés par l'eau, de petites quantités de sels minéraux qu'ils contiennent sont entraînées jusque dans les couches aquifères. L'eau de ces puits est donc impropre à la consommation humaine [4] mais reste utilisable pour l'irrigation agricole sans effets négatifs sur le sol. L'utilisation du gypse est conseillée dans les exploitations agricoles irriguées par l'eau en question. Les cultures irrigables au vue de ce résultat, se limitent aux arbres fruitiers rustiques (noix) et aux agrumes (citron, orange). Toutefois un échantillonnage régulier de la terre s'avère nécessaire pour le suivi de l'évolution du sodium dans le sol.

Pour la plupart des puits, les analyses effectuées durant la période hivernale ont révélé des valeurs de SAR plus élevées que celles obtenues en été. Cela peut se traduire par la dissolution des sels par les précipitations (notamment les gypses), l'infiltration des eaux de ruissellement et le retour à la nappe des eaux d'irrigation chargées en sels.

Conclusion

Dans ce travail, nous avons évalué la qualité des eaux de puits exploitées en irrigation dans la région d'Ain Témouchent. Cette question revêt une grande importance du fait des problèmes que connaît la région, en raison de la forte demande résultant des activités agricoles. Les eaux souterraines constituent une ressource importante pour l'irrigation. Cependant, leur valorisation doit être réalisée en tenant compte des effets sur le sol, la nappe et sur la santé humaine. Aussi, une grande attention doit être prise pour les zones côtières avoisinantes où l'infiltration d'eau de mer contribue à accentuer le risque de salinité de l'eau d'irrigation.

Les résultats de notre étude ont révélé une salinité de l'eau faible à modérée pour les puits étudiés. L'eau peut donc être utilisée pour l'irrigation sans risque pour le sol et les cultures. Par ailleurs, dans cette étude, deux facteurs peuvent être tenus pour responsables de la salinité : i) la nature de certaines roches, en particulier des marnes gypsifères, ii) les conditions climatiques, caractérisées par une période hivernale pluvieuse (favorable à la dissolution des roches) et par une période estivale sèche et chaude (ce qui induit une forte évapotranspiration et par conséquent une augmentation de la concentration des éléments dissous).

Références

- [1] A. Douaoui, T. Hartani, Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chéliff : Actes du troisième atelier régional SIRMA (Nabeul, Tunis), Édité. CIRAD, Montpellier, (2007) 1-5.
- [2] A. Rouabhia, L. Djabri, L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma Labiod, Larhyss Journal 8 (2010) 55-67.
- [3] A. Ziane, Cartographie des états de surface et évaluation des risques de la salinisation des sols de la plaine du bas Cheliff par couplage entre la télédétection et le modèle numérique de terrain, Mém de magister, Université Chlef, 2013.
- [4] FAO, Water Quality for Agriculture, FAO Irrigation and Drainage, Rev. 1, FAO, Rome (1985) 1-29.
- [5] K. Eloumlouki, R. Moussadek, A. Zouahri, H. Dakak, M. Chati, M. El amrani, Étude de la qualité physico-chimique des eaux et des sols de la région Sous Massa (Cas de périmètre Issen), Maroc, J. Mater. Environ. Sci. 5 (S2) (2014) 2365-2374.
- [6] L.Gouaidia, O. Guefaïfia, A. Boudoukha, M. Laidhemila, C. Martin, Évaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation, Varia 2012 - Physio-Géo - Revues.org 6 (2012) 141-160.
- [7] M. Ben Abbou, F. Fadil, M. El Haji, Évaluation de la qualité des cours d'eau de la ville de Taza utilisés dans l'irrigation des cultures maraîchères (Maroc). Journal of Applied Biosciences 77(2014) 6462-6473.
- [8] M. L. Ndiaye, H.R. Pfeifer, S. Niang, Y. Dieng, M. Tonolla, R. Peduzzi, Impacts de l'utilisation des eaux polluées en agriculture urbaine sur la qualité de la nappe de Dakar (Sénégal) Vertigo, 10 (2010) 1-18.
- [9] N. Morin, La qualité de l'eau d'irrigation : Un facteur à ne pas négliger : Maîtrise en science du gazon.1-4. www.asgq.org
- [10] P. Perez, La gestion du bassin de la Murray-Darling : un risque écologique et un enjeu économique. Serge Marlet, Pierre Ruelle. Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irrigués) sur une Maîtrise des Impacts Environnementaux de l'Irrigation, Montpellier, France. Cirad - IRD - Cemagref, (2003)1-9.

Evolution du bioclimat de la steppe en Algérie occidentale

Benabadji Noury1, Mezouar Khadidja2

*Professeur, Faculté SNV/STU, Université de Tlemcen BP 119 (Tlemcen 13000) Algérie,
E-mail :benabadji.n@gmail.com*

*Doctorante, Faculté SNV/STU, Université de Tlemcen BP 119 (Tlemcen 13000) Algérie,
E-mail :Mezouarmed1@gmail.com*

Résumé

Les résultats obtenus sur les diverses stations météorologiques, calculés à partir des précipitations atmosphériques et des températures de la région concernant particulièrement les indices bioclimatiques (indice de sécheresse, diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen 1953, indice de continentalité, Q₂ Climagramme pluviothermique d'Emberger 1942, etc...) semblent indiquer une tendance à la sécheresse qui s'accroît entre les deux périodes d'observation (1913-1938 et 1980-2010). L'étude nous a montré l'existence d'un gradient pluviométrique décroissant tendant vers une aridité croissante. On relève une élévation de la durée de sécheresse qui passe de 08 à 10 mois et plus, de même qu'on observe également des déplacements des stations sur le climagramme pluviothermique d'Emberger vers des étages plus secs (arides et sahariens).

Mots clés : indices bioclimatiques, sécheresse, stations météorologiques, steppe, Algérie occidentale.

Bioclimat evolution of the steppe in occidental Algeria

Abstract

The obtained results on different meteorological stations, calculated from atmospheric precipitations and from the area's temperatures regarding specially bioclimatic indices (indice of continentality, ombrothermic diagrams of Bagnouls and Gaussen 1953, Q₂ The Emberger pluviothermic climatogram 1942, etc...) show that there is a tendency to drought which is accumulated between the two phases of the observation (1913-1938 and 1980-2010). The bioclimatic study showed us that there is a decreasing pluviometric gradient tending toward increasing aridity from north to south. We reports an elevation of the drought's period which pass from the 08 to 10 months and more, as far as we observed also the displacement of stations on the Emberger pluviothermic climatogram to dried floors (arid and saharien).

Key words: bioclimatic indices, dryness, meteorological stations, steppe, occidental Algerian

Introduction

Assez bien étudiés les caractères et les particularités du climat et du bioclimat méditerranéen affichent son trait fondamental qui est celui de la sécheresse estivale [1], et il est inutile parfois de s'y attarder longuement [2]. Néanmoins, tous les climatologues admettent qu'il peut être plus ou moins accusé, mais il y a toujours un contraste très net entre les saisons les plus froides, qui sont humides, et la saison chaude, l'été est toujours sec. De nombreux travaux sur la climatologie et la bioclimatologie ont été menés sur l'Algérie en général et sur l'Oranie en particulier, signalons certains d'entre eux comme : [3], [4], [5], [6], et plus récemment : [7], [8], [9], pour ne citer que ceux-là. Ces auteurs reconnaissent l'intégration du climat algérien au climat méditerranéen. L'Ouest algérien en général et la zone steppique particulièrement semblent connaître des changements climatiques (une question devenue banale nos jours). Ces changements ou péjorations climatiques trouvent leur origine dans l'amplification anthropozoogène (surpâturage, cultures).

La steppe de l'Algérie occidentale se trouve sous ambiance méditerranéenne avec une saison estivale (saison sèche et chaude) qui peut parfois s'étaler sur plus de 07 mois dans l'année. La région comprend-elle de grandes variabilités climatiques entre deux périodes (25 années et 30 années) ? Pour tenter de répondre à cette question notre étude axée essentiellement sur l'évolution du bioclimat se propose de comparer les indices bioclimatiques (indice de continentalité, diagrammes ombrothermiques, Q_2 pluviothermique d'Emberger) obtenus à partir des données climatiques (précipitations et températures) de 1913 – 1938 publiées dans le climat de l'Algérie" par Seltzer [3] d'une part et les données actuelles (1980-2010) publiées par l'Office National de la Météorologie d'autre part. C'est ainsi que nous avons fait appel aux postes météorologiques suivants :El-Aricha,Mekmen Benamar,Mecheria,El-Kreider,El-Bayadh.

I. Méthodologie

I.1. Site géographique (Tableau I)

Regroupant l'ensemble des stations météorologiques, la région se trouve en Algérie occidentale, au Sud de la wilaya de Tlemcen et se caractérise par les plaines steppiques (partie méridionale de l'Atlas Tellien). La région s'allonge au nord avec une longitude de 1°16' ouest et une latitude de 34°12' Nord, par contre au Sud elle s'étend sur 0°46' est de longitude et 33°58' de latitude nord.

Tableau I : Données géographiques des 05 stations météorologiques

Stations	Longitudes	Latitudes Nord	Altitudes (m)
El-Aricha	1°16'Ouest	34°12'	1100
Mekmen Benamar	1°10'Ouest	33°58'	1200
Mecheria	0°46'Est	33°33'	1170
El-Kreider	1°16'Ouest	34°09'	988
El-Bayadh	0°04'Est	33°41'	1310

I.2. Paramètres et indices bioclimatiques

I.2.1. Ecarts thermiques

Le minima thermique "m" exprime le degré et la durée de la période critique des gelées [9]. Sauvage [10] souligne également l'importance pour la végétation de la valeur $m = -3^{\circ}\text{C}$ en dessous de laquelle débute le repos hivernal. Le maxima thermique "M" peut constituer un facteur limitant pour les plantes. La moyenne des températures maximales du mois le plus chaud "M" varie avec la continentalité.

I.2.2. Amplitude thermique et indice de continentalité

Concernant la station du Sud, Benabadi et Bouazza [7] affirment que « les steppes algériennes sont encadrées par les isothermes « m » -2°C et 6°C . Ces basses températures expliquent l'absence de certaines espèces dont la vie est liée aux hivers tempérés ».

La classification thermique des climats proposée par Debrach [11] s'exprime par l'amplitude $M - m$:

- Climat insulaire : $M - m < 15^{\circ}\text{C}$;
- Climat littoral : $15^{\circ}\text{C} < M - m < 25^{\circ}\text{C}$;
- Climat semi continental : $25^{\circ}\text{C} < M - m < 35^{\circ}\text{C}$;
- Climat continental : $35^{\circ}\text{C} < M - m$.

I.2.3. Diagrammes ombrothermiques Bagnouls et Gausson (1953)

Les diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gausson [12] permettent de comparer l'évolution des valeurs des températures et des précipitations à l'aide de deux courbes respectives ; leur intersection détermine la durée de la saison sèche. L'échelle adoptée pour les pluies est double de celle adoptée pour les températures.

1. 2. 4. Climagramme pluviothermique d'Emberger

Emberger a mentionné qu'un climat ne peut être caractérisé si à la valeur du Q_2 ne vient pas s'ajouter celle de « m » [9]. Ce qui permet aux stations météorologiques de même Q_2 d'être différenciées par leurs valeurs de « m ». Le Q_2 nous a permis de localiser nos stations sur le climagramme d'Emberger [9], cet auteur a mis au point un zonage du bioclimat méditerranéen du plus sec vers le plus humide en combinant les données climatologiques et celles de la végétation. Aussi, les moyennes des minima sont directement en relation avec les étages de végétation (zonation altitudinale).

$$Q_2 = 2000P / M^2 - m^2$$

(P : précipitations moyennes annuelles en mm., M : moyenne des maxima thermiques du mois le plus chaud en °Kelvin,, m : moyenne des minima thermiques du mois le plus froid en °Kelvin).

2. Evolution du bioclimat (Tableaux 2 et 3)

2.1. Indice de continentalité (M-m)

La région d'étude est cadrée par les amplitudes oscillant entre 33.37°C (Mekmen Benamar) et 35.76 °C (El-Kreider) au cours de l'ancienne période (1913-1938) puis entre 33.79°C (El-Bayadh) et 39.37°C (Mekmen Benamar) pour la période récente (1980-2010). La continentalité semble s'accroître durant la période récente (1980-2010). Cet indice connaît la semi-continentalité pour l'ensemble des stations (3/5) lors de la période ancienne (1913-1938). Seules les stations d'El-Kreider (35.76°C) et d'El-Bayadh (35.30°C) enregistrent une certaine tendance vers la semi-continentalité. Cette dernière trouve son explication certainement dans la situation méridionale qu'elle occupe. Pendant la période récente (1980-2010) presque l'ensemble des stations (4/5) présentent un climat continental (M-m > 35°C). Nous pouvons dire que la continentalité augmente entre les deux périodes de référence, le maximum de l'indice de continentalité passe de 35.76°C à 39.37°C soit une augmentation de 3.61°C et peut confirmer cependant son appartenance au climat continental.

2.2. Climagramme pluviothermique d'Emberger (Q_2)

L'observation de ce climagramme pluviothermique d'Emberger montre généralement un déplacement significatif des stations météorologiques vers le côté droit laissant apparaître une légère élévation du minima thermique (m). Le quotient pluviothermique varie considérablement entre les stations météorologiques (de 11.6 à 27.87). Mekmen Benamar et El-Aricha affichent les valeurs les plus faibles (11.6 et 15). Les autres stations montrent des valeurs assez élevées notamment pour Mecheria (22.13), El-Kreider (25.62) et El-Bayadh (27.87). Le Q_2 à El-Aricha chute significativement de 27.56 (période 1913-1938) à 15 (période 1980-2010). Cette station se déplace de l'étage bioclimatique semi-aride inférieur à hiver froid (1913-1938) vers l'étage aride inférieur à hiver froid (1980-2010). A Mekmen Benamar le Q_2 chute de 14.65 (période 1913-1938) à 11.6 (période 1980-2010), une baisse peu significative. Cette station se déplace de l'étage bioclimatique aride inférieur à hiver frais (1913-1938) vers l'étage saharien supérieur à hiver frais (1980-2010). Mecheria voit son Q_2 accusé une baisse peu significative de 29.99 (période 1913-1938) à 22.13 (période 1980-2010). Son déplacement s'effectue de l'étage bioclimatique aride inférieur à hiver frais (1913-1938) vers l'étage aride moyen à hiver frais (1980-2010). A El-Kreider le Q_2 montre une légère élévation de 20.05 (période 1913-1938) à 25.62 (période 1980-2010). Cette station se déplace de l'étage bioclimatique aride inférieur à hiver frais (1913-1938) vers l'étage aride moyen à hiver frais (1980-2010). Au niveau de cette dernière station d'El-Bayadh, le Q_2 chute sensiblement de 31.97 (période 1913-1938) à 27.87 (période 1980-2010). Cette station méridionale qui était dans l'étage bioclimatique aride moyen à hiver froid durant la période ancienne (1913-1938) se retrouve durant la période récente (1980-2010) dans l'étage aride supérieur à hiver frais. Ces différents déplacements des stations des étages bioclimatiques semi-arides légèrement humides vers les autres étages encore plus secs (aride et saharien) sont le témoin d'une tendance à l'aridification entre les deux périodes de référence.

2.3. Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gausson

Les saisons sèches caractérisent ces différentes stations d'observation. Celles-ci s'étalent sur 06 voir même 12 mois dans certains cas. La surface comprise entre les deux courbes montre des sécheresses à périodes relativement courtes pour la plupart d'entre elles, elles sont comprises entre 05 et 08 mois lors de la période ancienne (1913-1938). La sécheresse la plus courte s'affiche à El-Bayadh (05 mois), elle est légèrement élevée et dure six mois à Mecheria et El-Aricha. La plus longue sécheresse en revanche s'observe à El-Kreider (08 mois), cette station se trouve au centre de la steppe tout à fait au milieu, sur le Chott E-Chergui. L'examen des diagrammes ombrothermiques de la période récente (1980-2010) permet de remarquer des sécheresses nettement plus longues que celles de la période ancienne qui varient entre 08 et 12 mois dans l'année. Cette sécheresse dure respectivement 08 et 09 mois pour les stations de Mecheria et El-Aricha, 11 mois pour El-Bayadh et 12 mois dans les autres stations de Mekmen Benamar et El-Kreider. Cette durée de sécheresse élevée sur ces dernières stations s'explique par l'influence des vents du Sud (chaud). Une nette accentuation de la sécheresse est relevée sur cet espace steppique entre l'ancienne période et la récente.

Tableau 2 : Données climatiques de 1913 à 1938

	Hiver (mm)	rintemps (mm)	Eté (mm)	Automne (mm)	P(mm) annuelle	« M » (°C)	« m» (°C)	M-m (°C)	Q ₂
	80.60	87.50	43.70	85.10	296.80	35.60	-1.5	34.1	27.56
Mekmen Benamar	36.43	39.58	17.93	49.02	142.96	36.02	2.65	33.37	14.65
Mecheria	74	86	27	106	293	35.10	1.50	33.60	29.99
El-Kreider	53	68	23	64	208	34.99	-0.77	35.76	20.05
El-Bayadh	93	89	34	110	326	33.5	-1.8	35.30	31.97

Tableau 3 : Données climatiques de 1980à 2010

Stations	Hiver (mm)	Printemps (mm)	Eté (mm)	Automne (mm)	P(mm) annuelle	« M » (°C)	« m»	M-m	Q ₂
El-Aricha	42.48	48.49	7.75	61.05	168.77	36	-1	37	15.70
ekmen Benamar	19.64	31.27	12.68	56.91	120.30	37.34	2.60	39.37	11.82
Mecheria	69.96	74.22	14.94	72.70	231.62	37.80	2.03	35.37	22.13
El-Kreider	74	100.09	26.1	67.87	268	35.98	0.4	35.58	25.62
El-Bayadh	72.61	94.86	33.46	73.32	274.25	33.59	-0.2	33.79	27.87

3. Conclusion

Selon Seltzer [3], l'augmentation des pluies d'Ouest en Est est due au passage de vents au Nord de la Tunisie. La saison hivernale affecte et perturbe davantage l'Est algérien, la position géographique de l'Atlas marocain et du Sud de l'Espagne en revanche la réduit à l'Ouest du pays. Deux saisons distinctes apparaissent à travers l'exploitation des données climatiques, la première longue et sèche, la deuxième brève et humide. Les effets de l'été xérothère sont atténués par une humidité relative dont l'action n'est pas à négliger en particulier pour l'installation d'espèces xérophiles. Cette étude de l'évolution du bioclimat a intéressée certains chercheurs notamment les phyto-écologues, ils ont mis en évidence la détermination du bioclimat à partir de la présence d'espèces végétales. Certains chercheurs ont souvent corrélé le bioclimat aux groupements végétaux notamment ceux de *Stipa tenacissima* L. de *Artemisia herba-alba* Asso., du *Lygeum Spartum* L. d' *Atriplex halimus* L., etc.... Une grande variation entre l'ancienne période (1913-1938) et la période récente (1980-2010) se dégage à partir de l'analyse bioclimatique effectuée. L'aire de cette steppe semble toutefois accuser une régression verticale vers un bioclimat plus aride.

Références

1. P. H., Daget – Un élément actuel de la caractérisation du monde méditerranéen : le climat-naturel, Montpellier : H-S : (1980): 101-126.
2. P. Quézel – Definition of the Mediterranean region and the origin of its flora. In Gomezcampo. Edetion Plant conservation in the Mediterranean Area, Tunk, Dordrecht, (1985): 9-24.
3. P. Seltzer – Le climat de l'Algérie. Carte hors texte Institut terre et physique du globe. Fascicule Scientifique, Carbonel. Alger 1946, 219 p.
4. M. Chaumont et C. Paquin – Carte pluviométrique de l'Afrique au 1/500000. Alger, (1971) Société Histoire Afrique du Nord.
5. S. Aime – Etude écologique de la transition entre les bioclimats sub-humides, semi-arides et arides dans l'étage thermo-méditerranéen du Tell Oranais (Algérie nord occidentale). Thèse Doctorat Es-Sciences Université Aix-Marseille III, 1991. 185p. + Annexe.
6. P. Quézel et M. Barbero – Variations climatiques au Sahara et en Afrique sèche depuis le pliocène : enseignements de la flore et de la végétation actuelle. Bulletin d'écologie, (1993) 24: 191-202
7. N. Benabadji et M. Bouazza – Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à *Artemisia herba-alba* Asso. Dans l'Oranie (Algérie occidentale). Revue Sècheresse. 11 (2000) 2 : 117-123.
8. A. Hirche A. Bougnani et M. Salamani – Evolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes. Revue Sècheresse (2007) 18 (4) : 314-320.
9. L. Emberger – Une classification biogéographique des climats. Travaux Laboratoire Botanique Géologie Service Botanique Montpellier, 1955, 7: 3-43.
10. Ch. Sauvage – Recherches géobotaniques sur le chêne liège au Maroc. Thèse. Doctorat Montpellier. Travaux Institut Scientifique Cherifien (1960) Série botanique : 21- 462.
11. J. Debrach – Notes sur les climats du Maroc occidental, Maroc médical, (1953) 32 (342) 1122-1134.
12. F. Bagnouls et H. Gaussen – Saison sèche et indice xérothermique. Bulletin Société Histoire Naturelle Toulouse (88) (1953): 3-4 et 193-239.

Variabilité pluviométriques et changement climatique dans le bassin supérieur d'Oum Er-Rbia (1934-2010) (Région Beni Mellal – Khenifra)

Lahlou Nadia¹, El Ghachi Mohamed²

1-Doctorante, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Béni Mellal-Maroc-nadialahlou889@yahoo.fr -

2-Professeur habilité, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Béni Mellal-Maroc - elghachi_mohamed@yahoo.fr

Résumé

Le thème du climat ces dernières années, est devenu l'un des problèmes environnementaux les plus importants et les plus graves, qui préoccupent toutes les nations du monde. Le Maroc, comme les autres pays, n'a pas été épargné de ces changements, qui se sont intensifiés au cours des dix dernières années. Dans ce contexte, nous allons essayer d'étudier et de suivre le développement temporel et spatial, comme un indicateur hydrologique, pour étudier l'impact du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique dans le bassin supérieur d'Oum Er-Rbia.

La présente étude, consiste à analyser les variations des événements pluvieux, à travers une analyse statistique des données pluviométriques, fournies par la station de Kesba Tadla, comme la plus ancienne station climatique dans le bassin, pour une chronique de 77 ans (1934-2010). Au niveau méthodologique, nous nous appuyons sur une série d'outils et de méthodes statistiques. L'objectif principal, est d'extraire l'ensemble des informations qui peuvent nous renseigner sur les caractéristiques pluviométriques de cette période, de déterminer les tendances pluviométriques, d'extraire les variabilités et identifier les extrêmes pluviométriques.

Tout ceci, afin de suivre, de comprendre et de déterminer la nature de l'impact du changement climatique et des actions anthropiques (Barrages), sur le fonctionnement hydrologique dans le bassin supérieur d'Oum Er-Rbia.

Mots clés : variabilités climatiques – approches statistiques – bassin supérieur d'Oum Er-Rbia – station Kesba Tadla.

Rainfall variability and climate change in the Oum Erbia catchment (1934-2010) (Beni Mellal-Khenifra region)

Abstract

The theme of climate in the last few years has become one of the most important and serious environmental problems that concern all the nations of the world. Morocco, like the other countries, has not been spared from these changes, which have intensified over the last ten years. In this context, we will try to study and monitor temporal and spatial development, as a hydrological indicator, to study the impact of climate change on hydrological function in the Oum Erbia catchment.

The present study consists of analyzing the variations of rainy events, through a statistical analysis of rainfall data, provided by the station of Kesba Tadla, as the oldest climatic station in the basin, for a Chronicle of 77 Years (1934-2010). At the methodological level, we will rely on a series of statistical tools and methods. The main objective is to extract all the information that can inform us about the rainfall characteristics of this period, to determine the pluviométriques tendencies, to extract the variability and to identify the extremes Rainfall.

All this, in order to follow, understand and determine the nature of the impact of climate change and anthropogenic actions (dams), on the hydrological functioning in the Oum Erbia catchment.

Key words: Climatic variability – statistical approaches – Oum Erbia catchment – Kesba Tadla Station.

Cinq axes ont été empruntés pour l'analyse de cette série pluviométrique des précipitations pluviométriques annuelles et mensuelles. Dans un premier temps, l'analyse statistique a été réalisée sur les précipitations pluviométriques annuelles de la station de Kesba Tadla afin d'identifier ou non d'éventuelles tendances dans la série. Ensuite une approche anuelles et mensuelles classique a été envisagée en travaillant sur plusieurs indicateurs des précipitations pluviométriques, fournies par la station de Kesba Tadla (1934 - 2010).

1. Test de CUSUM (1934-2010):

La méthode de « CUSUM » (François, Gille et Zumstein, 1993), est une méthode statistique qui a pour objectif, de déterminer l'hétérogénéité interne de la série étudiée, en se fondant sur la définition d'un intervalle de confiance (bande passante C_j). La méthode de « CUSUM », repose sur le calcul de :

$$C_j = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})$$

En effet, le calcul de la bande passante, se fait à partir de :

$$C_j = \pm S (u\sqrt{N} / 4 + u^2/2\sqrt{2} + u^3/8\sqrt{N})$$

Avec :

S : Ecart-type ;

N : Nombre de valeur dans la série ;

U : Variable de « Gauss » (pour une probabilité choisie de 95% soit « u » fixé à 1.96) ;

Les valeurs calculées de « c_j », ont permis de fixer le rail de l'homogénéité qui prend en considération, la variation de l'écart type et de la moyenne. Il apparaît qu'il ya a 95 chances sur 100 de se tromper et à déclarer la série homogène. Au final, on note l'hétérogénéité de la série, par l'alternance de séquences sèches et humides. (El Ghachi.M.2007)

2. Analyse des apports pluviométriques annuels :

Nous avons utilisé les données des précipitations pluviométriques annuelles de la station de Kesba Tadla, qui est la station la plus ancienne dans le bassin supérieure d'Oum Er-Rbia, pour une chronique de 77 ans (1934-2010).

3. Les entrées pluviométriques à l'échelle mensuelle :

Cette analyse a pour but, d'avoir une idée sur la distribution des pluies dans la station de Kesba Tadla à l'échelle mensuelle, de déterminer les variations des volumes précipités, et l'extraction des valeurs maximales enregistrées lors de la période d'étude, qui va de 1934 jusqu'en 2010.

4. L'indice de l'écart à la moyenne (E_m) :

C'est l'indice le plus utilisé, pour estimer le déficit pluviométrique à l'échelle annuelle. L'écart à la moyenne, est la différence entre la hauteur des précipitations annuelles (p_i) et la hauteur moyenne annuelle des précipitations (p_m). Il met en évidence, la succession de période d'années sèches et d'années humides plus ou moins marquées :

$$E_m(\%) = (p_i - p_m / p_m) * 100$$

Avec :

E_m : écart à la moyenne ;

P_m : module pluviométrique moyen ;

P_i : totale de l'année considérée.

5. Analyse fréquentielle des précipitations pluviométriques annuelles :

D'un point de vue méthodologique, cette étude fréquentielle caractéristique passe d'abord, par l'arrangement des valeurs de pluies, par ordre croissant, en donnant à chaque variable son rang dans la série :

Ensuite, nous calculerons les fréquences expérimentelles à partir de la formule suivante :

$$F = (r - 0.3) / (N + 0.4)$$

Avec :

r : le rang de chaque valeur ;

N : l'effectif de l'échantillon.

II. Résultats (Station Kesba Tadla 1934-2010) :

I- La méthode de « CUSUM » un test statistique détectant tendances et ruptures d'homogénéité des données pluviométriques de la station de Kesba Tadla (1934-2010).

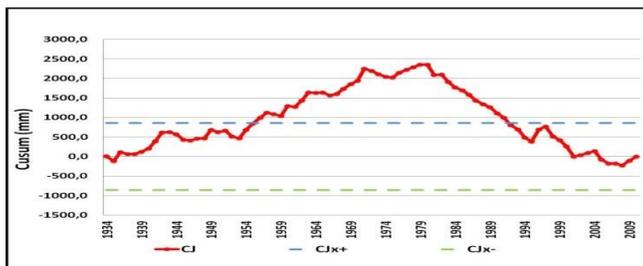


Figure 1 : « Cj » sur les années (1934-2010)

Tableau n° 1 : Découpage de la chronique des pluies de la station Kesba Tadla (1934-2010), en périodes homogènes :

	Moyenne mm	Ecart-Type	Nombre d'année	Diagnostic	Carac-climatique
1934-1954	417	119	20	Série homogène	Semi - humide
1955-1970	463	100	15	Série homogène	Humide
1971-1977	425	146	6	Série homogène	Humide
1978-1993	288	94	15	Série homogène	Sèche
1994-2010	344	156	16	Série homogène	Semi - Sèche

Trois séries ont une tendance « humide et semi humide » : 1934-1954 semi humide, 1955-1970 et 1971-1977 humide, dont les moyennes sont supérieures à 400 mm, et deux séries ont une tendance « sèche et semi sèche » : 1978-1993 et 1994-2010, avec des moyennes inférieures à 400 mm, l'année la plus humide de la chronique (1934-2010) est 1980 et la plus sèche 2008. Cette chronique contient donc de manière générale, des années dites « humides » et des d'autres dites « sèches ».

2. Analyse des apports pluviométriques annuels :

Sur un échantillon de 77 ans, 38 années dépassent la moyenne (384 mm), tandis que 39 années sont en dessous de la moyenne. Les précipitations annuelles, connaissent une variabilité, et l'écart entre le maximum (703 mm) et le minimum (114 mm), atteint 589 mm.

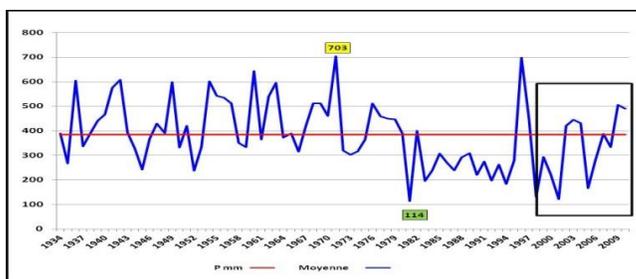


Figure 2 : précipitations pluviométriques annuelles de la station Kesba Tadla par rapport à la moyenne (1934-2010)

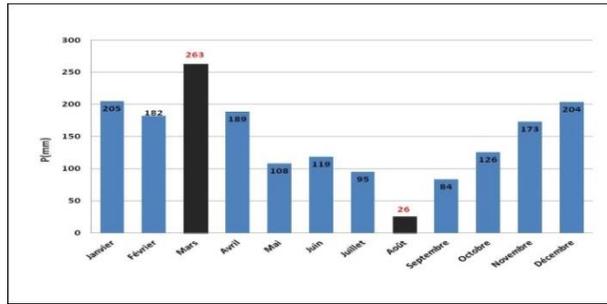


Figure 3 : les maximums des précipitations pluviométriques mensuelles de la station Kesba Tadla (1934-2010)

L'analyse des précipitations pluviométriques maximales mensuelles pour la période 1934-2010, (Fig.3), met en évidence une variabilité pluviométrique mensuelle. Les maximums pluviométriques, sont enregistrés en automne et en hiver, l'écart entre le maximum et le minimum, atteint 237 mm, ce qui montre clairement, le contraste pluviométrique entre l'hiver et l'été.

3- L'écart à la moyenne annuelle : station Kesba Tadla (1934-2010) :

L'écart à la moyenne annuelle des précipitations dans la station de Kesba Tadla, a défini un équilibre entre le nombre d'années sèches et humides, avec 39 humides et 38 années sèches (Fig.4) :

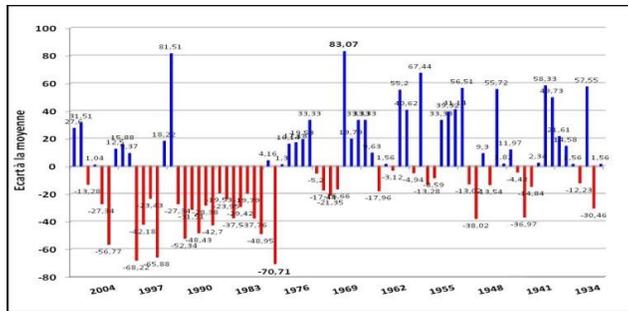


Figure 4 : L'écart à la moyenne des précipitations pluviométriques annuelles de la station Kesba Tadla (1934-2010)

4- Analyse fréquentielle des précipitations pluviométriques annuelles de la station Kesba Tadla (1934-2010) :

Selon la répartition des précipitations pluviométriques annuelles à la « loi Normal », nous constatons une organisation des hauteurs pluviométriques, en cinq paquets (Fig.5) :

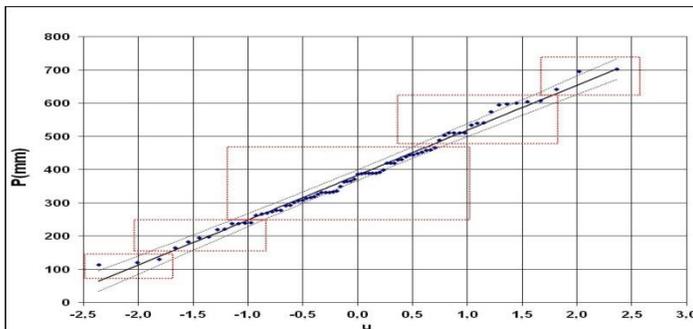


Figure 5 : Ajustement des précipitations pluviométriques annuelles de la station Kesba Tadla (1934-2010)

- 1^{er} paquet : regroupe 3 années qui sont les plus humides (1960-1971-1996), caractérisées par des valeurs pluviométriques très fortes.

- 2^{ème} paquet : se compose de 15 années humides, avec des précipitations pluviométriques élevées dépassant la moyenne de 384 mm.
- 3^{ème} paquet : regroupe 46 années, 32 années humides et 14 semi-humides.
- 4^{ème} paquet : se compose de 10 années, considérées comme une période « semi-aride » par rapport au reste des périodes.
- 5^{ème} paquet : composé de 3 années, qui sont des années sèches, représentant donc, les années moins vulnérables en termes de ressources en eau.

5- Calcul des périodes de retour des précipitations pluviométriques annuelles de la station de Kesba Tadla :

D'après les valeurs obtenues, (Tab.2), on note que la moyenne de la période (1934-2010) (384 mm) correspond à une fréquence 1/2 (Tab.2), que ce soit en loi Normal ou en indice de « CUSUM ». La valeur la plus faible de la chronique (69 mm), correspond à une fréquence de 1/100.

Tableau n° 2 : périodes de retour pour les précipitations pluviométriques de la station de Kesba Tadla, selon la loi Normal (1934-2010) :

Fréquence	Vers le sec					1/2	Vers l'humide				
	1/100	1/50	1/20	1/10	1/5		1/5	1/10	1/20	1/50	1/100
Période de retour	100 ans	50 ans	20 ans	10 ans	5 ans	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Station Tadla	69	106	162	211	270	384	498	558	607	662	699

La valeur maximum (699 mm), correspond à une fréquence de 1/100. L'écart pluviométrique entre une année humide de fréquence 1/5 et une année sèche de même fréquence, atteint 228 mm et il augmente avec les autres fréquences.

Conclusion

Il est important de comprendre que l'analyse de cette station pluviométrique, considéré comme la station la plus ancienne et la plus longue en terme d'enregistrement des données pluviométriques dans le bassin étudié, nous donne une idée très précis sur l'évolution de ces apports pluviométriques dans le deuxième plus grand bassin du Maroc, sont évalués à 3 249 Mm3/an, variant entre un maximum de 7700 Mm3 et un minimum de 1.300 Mm3.

Grâce à cette étude, les effets de la variabilité du climat sur le bassin supérieur d'Oum Er-Rbia dans le contexte des changements climatiques, ont causé des interférences humaines dans le bassin, par la construction d'un ensemble de barrages, qui ont joué un rôle important dans la gestion et la mobilisation des ressources en eau, ainsi qu'un rôle stratégique dans la réduction des phénomènes d'inondation et d'étiage.

Références

[1] L. Amraoui, l'évolution hivernale des températures de surface en relation avec les pressions atmosphériques et les vents de surface en Afrique Nord-Ouest et le proche océan pendant la période 1950-2008, Géographia Technica, Numéro spécial, pp: 41-46 (2009).

[2] D. François, E. Gille, J.F. Zumstein, Analyse des séries chronologiques et applications aux données hydroclimatiques. In : Griselin M.(ED) l'eau, la terre et les hommes. P.U.Nancy.pp, 137-146.

[3] N.Lahlou, M. El Ghachi, les ressources en eau mantagnards marocaines sous la situation climatique actuelle : cas du bassin d'Assif Gzgef, Haut Atlas Central (Région Béni Mellal-Khenifra).International Journal for Environment & Global Climat Change, Vol 2, Issue 4, 2014.

[4] M. El Ghachi, F.Z.Morchid, Analyse des tendances pluviométriques dans la ville de khénifra dans un contexte de variabilité climatique. Revue, J.Mater.Environ.Sci.6 (11)(2015)ISSN 2028-2508.

[5] M. El Ghachi, la seille : un système fluvial anthropisé (Lorraine, France) Tome I, Thèse nationale, Université Paul verlaine de METZ, France, 344p.

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

Évaluation des ressources en eau sous les pressions de l'humanité et des changements climatiques

Mireille Sophie Kissezounnon (Université de Lomé - Togo), Euloge Kossi Agbossou
La discrimination du genre dans GIRE pour l'agriculture dans la Basse Vallée de l'Ouémé : cas d'Adjohoun au Bénin

El-Aaraby Abdelaaziz (Faculté des Lettres et des Sciences Humaines –Sais-Fès - Maroc)
L'impact des changements climatiques et les mutations sociales sur les ressources en eau dans les oasis marocaines- le cas des oasis de Zagora(Maroc)

Omar Elahcene (Université Ziane Achour, Djelfa - Algérie), Mohamed Yacine Bendjedou, Abdelali Terfous, Sylvain Ouillon, Boualem Remini, Abdellah Ghenaimn, Zohir Boulkenafet
Production et exportation des sédiments en suspension à différentes échelles et lors des événements des crues. Cas de l'Oued Haddad, Algérie.

Farès Nini (Université Salah Boubnider de Constantine 3, - Algérie) Azeddine Mebarki
Efficiéce de distribution de l'eau potable à l'échelle de quelques communes du Nord-Est Algérien

Luc Descroix (IRD, LMI PATEO, UMR PALOC IRD/MNHN-Sénégal), Laurent Kergoat, Manuela Grippa, Honoré Dacosta, Moussa Malam Abdou, Aida Diongue-Niang, Françoise Guichard, Laetitia Gal, Cécile Dardel, Jean-Pierre Vandervaere, Ibrahim Mamadou
Paradoxes hydrologiques au sahel : ou en est-on ?

Mostafia Boughalem (Université Ain Temouchent - Algérie), Rabiaa Bachir Bouyejra, Meriem Bachir Bouyejra, Hafida Boucherit
Risque du SAR dans l'eau de puits destinée à l'irrigation dans la région d'Ain Témouchent- Algérie

Benabadji Noury (Université de Tlemcen - Algérie)
Evolution du bioclimat de la steppe en Algérie occidentale

Lahlou Nadia (Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Béni Mellal – Maroc) El Ghachi Mohamed
Variabilité pluviométriques et changement climatique dans le bassin supérieur d'Oum Er-Rbia (1934-2010) (Région Beni Mellal – Khenifra)

