

LA NOTION DE VULNERABILITE ET LE RISQUE DE DESERTIFICATION SUR LES HAUTS-PLATEAUX (MAROC ORIENTAL)

Abderrahmane EL HARRADJI

Professeur à l'Université Mohammed Premier, Oujda

elharradji@yahoo.fr ; a.elharradji@ump.ac.ma

Résumé: La désertification est un risque majeur qui menace les terres fragiles, principalement définies dans les régions arides. Les Hauts-Plateaux de l'est marocain paraissent largement uniformes, avec une aridité bien affirmée. Cependant, la diversité des paysages, qui est induite par des conditions locales différenciées, permet de nuancer les différentes contrées en fonction de leur degré de sensibilité, vis-à-vis de la dégradation. L'analyse des caractéristiques de la désertification, en tant que processus et état, ne montre pas que la vulnérabilité de ces terres est très corrélée avec la sensibilité physique, mais que le phénomène est plutôt étroitement lié au rôle des activités humaines. Il en découle que la vulnérabilité des écosystèmes est en réalité anthropogène, quels qu'en soient les caractéristiques environnementales.

Mots-clés : Hauts-Plateaux du Maroc oriental, risque de désertification, vulnérabilisation.

Abstract: Desertification is a major risk threatening fragile lands, mainly defined in drylands. The High-Plateaus of eastern Morocco seem largely uniform, with a well-affirmed aridity. However, landscape diversity, induced by differentiated local conditions, makes the nuance between the different areas, according to their degree of sensitivity when facing degradation. The analysis of desertification features, as a process and a state, does not show that the vulnerability of these lands is highly correlated with physical sensitivity, but rather that the phenomenon is closely related to the role of human activities. It follows that the vulnerability of ecosystems is in fact anthropogenic, regardless of the environmental characteristics.

Keywords: High-Plateaus in eastern Morocco, risk of desertification, increased vulnerability.

ملخص: يعتبر التصحر من المخاطر الرئيسية التي تهدد الأراضي الهشة، ولا سيما في المناطق القاحلة. وتبدو الهضاب العليا في شرق المغرب متجانسة إلى حد كبير، مع قحولة ملحوظة، ومع ذلك، فإن تنوع المشاهد، الناجم عن التباين على مستوى الظروف المحلية، يبعث على تصنيف المناطق المختلفة وفقاً لدرجة حساسيتها للتدهور. إن تحليل خصائص التصحر، وهو حالة وسيرورة، لا يظهر أن عطوبية هذه الأراضي مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالهشاشة الطبيعية، بل يؤكد أن هذه الظاهرة مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بدور الأنشطة البشرية. ويترتب على ذلك أن عطوبية النظم البيئية هي في الواقع من صنع الإنسان، بغض النظر عن خصائص الأوساط البيئية.

Introduction

Malgré la diversité de leur paysages, les Hauts-Plateaux du Maroc oriental constituent une unité morphologique largement unie, qui n'est disséquée que partiellement dans ses rebords ouest et nord-ouest, et très localement dans leur lisière méridionale. La diversité morphologique est principalement due à la vigueur du relief (altitude absolue et relative, morphostructure), à l'exposition, et à la localisation (zonalité et continentalité). Ainsi, la combinaison de ces différents facteurs géographiques est traduite par la physionomie naturelle des paysages, aussi bien sur le plan géomorphologiques qu'au niveau des composantes

biogéographiques. Mais les aspects et l'ampleur de la dégradation des terres n'est pas expliquée par la fragilité naturelle.

1. Les conditions du milieu physique et la notion de stabilité

Les reliefs accidentés des Hauts-Plataeux, donc aux versants remarquablement pentus, s'étendent le long du talus bordier au nord et au nord-ouest, et autour des masses localement rehaussées. Il s'agit plus particulièrement du massif de Debdou-Mekkam au nord-ouest, du plateau du Rekkam qui lui fait continuité vers le sud-ouest, du dôme de Tendirara au centre, et du demi-Horst de Jbel Lakhdar au sud. Sur ces reliefs, l'altitude et/ou l'exposition selon les cas, favorisent une majoration locale des précipitations et une baisse des températures. Cette combinaison s'exprime par une végétation naturelle plus fournie, qualitativement et quantitativement, bénéficiant d'un bilan hydrique nettement amélioré par rapport aux zones plates et déprimées qui restent steppiques et largement monotones.

Ces conditions physiques exposent des prédispositions naturelles différenciées, face aux processus de la dégradation. Deux enseignements sont à tirer de cet état. Le premier est que ces différents milieux sont longtemps conservés en équilibre, avant d'avoir subi des perturbations qui s'avèrent d'une récurrence indéniable. Le deuxième enseignement est que la stabilité en jeu concerne des héritages en adaptation avec tous les aléas de la dynamique environnementale naturelle.

2. L'état des lieux et les facteurs de la dégradation des terres

Sur les ressauts orographiques initialement forestiers, les sols issus d'une pédogénèse remarquable, quoique héritée, soutiennent la végétation en symbiose. Dans les milieux steppiques du reste des Hauts-Plateaux, avec des sols surtout d'apport sous formes de nappes alluviales ou colluviales, l'équilibre des écosystèmes n'est pas moins assuré, dans son état climacique, non perturbé. Paradoxalement, certaines contrées forestières affichent des stades de dégradation plus avancés que ceux de certains secteurs steppiques qui paraissent mieux conservés. Ainsi, la notion usuelle de la sensibilité physique à la dégradation ne semble pas efficiente, pour l'interprétation, l'évaluation, et la prévention de la désertification.

Cette aire qui s'étend entre le domaine méditerranéen au nord et le domaine saharien au sud, sur une distance de moins de 200 km, est balayée en alternance par les influences des deux obédiences climatiques. Qu'elles soient cycliques ou aléatoires, ces influences font partie des constantes écosystémiques habituelles, auxquelles s'ajoutent les grands aléas, à savoir les sécheresses persistantes, la pluviosité diluvienne, les vents torrides, ainsi que les vagues de froid et de neige. Les conséquences de ces vicissitudes ne sont point à comptabiliser pour la dégradation des terres, du fait qu'elles sont internes à la dynamique environnementale. La conclusion qui en découle est que les vrais facteurs de la dégradation sont à rechercher du côté des activités humaines.

3. Aspects et causes de la désertification sur les Hauts-Plateaux

La désertification est tout d'abord un processus évolutif, qui mène tôt ou tard à un état de modification profonde des paysages et de leurs dynamiques. Ainsi, l'on peut en simplifier la définition comme étant « *l'apparition de paysages désertiques sous une ambiance climatique non désertique* ». Ces paysages qui s'apparentent à ceux des déserts ne résultent donc pas d'une évolution du climat, mais plutôt d'un changement autre, affectant la dynamique de l'environnement local. Sans s'attarder sur cette question, il est donc concluant de remarquer que les transformations en question s'expliquent par des changements qualitatifs et quantitatifs dans les systèmes d'utilisation des terres. Les aléas naturels, tels que les

variations climatiques, peuvent expliquer l'exacerbation de certains processus, tout au plus. Le défrichement, le surpâturage et les labours abusifs sont les principales actions à incriminer en toute évidence (El Harradji A., 1993 ; 1997 ; 20019 a et b). L'idée qui se dégage du constat à établir, est de privilégier l'hypothèse d'une vulnérabilisation anthropogène, plutôt que celle d'une vulnérabilité naturelle, comme le montre la carte de l'indice de sensibilité à la désertification (Fig. 1).

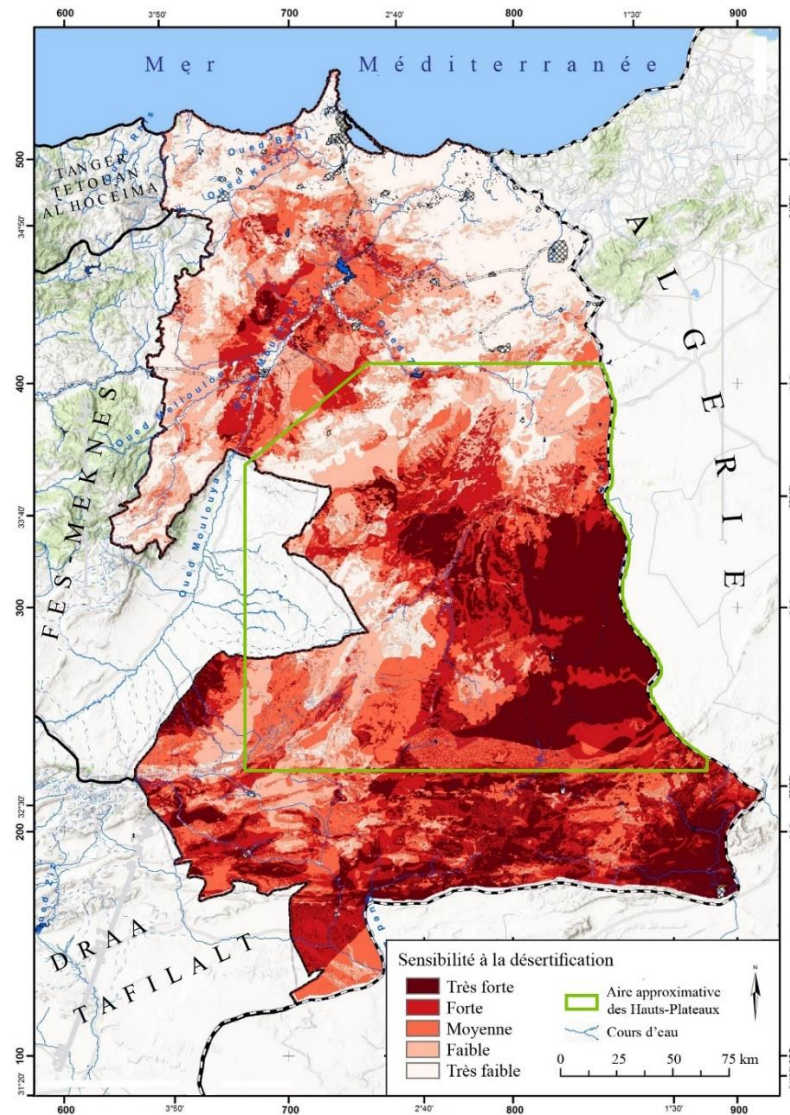


Fig.2 : Carte de l'indice de sensibilité à la désertification. (Adapté de : SBAI A., EL HARRADJI A., MOUADILI O. et HAOUAS A. 2017, en arabe).

4. La désertification comme état et processus : les facteurs du risque

Sur ces vastes territoires, la dégradation des terres, à travers laquelle s'exprime le concept « désertification » est un état et un processus. Dans une même contrée, la réalité du terrain montre des états de dégradation plus ou moins avancés, selon les cas. Cette différenciation met en exergue la vitesse des processus en actions, tout en impliquant l'historique de l'exploitation des ressources et des territoires. Chaque terroir a sa propre histoire, qui mêle un certain degré de fragilité avec les actions subies au fil du temps de l'échelle humaine. Cette perception met ainsi en évidence l'existence d'un risque, encouru par l'enjeu principal qui n'est rien d'autre que les terres.

Les terres sont qualifiées de « proie », selon certains auteurs (Puigdefabregas. 1995), face à l'Homme qui en est le prédateur. Sous cette perception, il faut entendre par « terres » un ensemble de ressources vitales naturellement renouvelables, en l'occurrence, le sol, l'eau et la végétation (Katyal & Vleck 2000). L'analyse du fonctionnement de la dégradation sur les Hauts-Plateaux montre que toutes les terres en courent le risque. La notion de celui-ci implique la formule :

$$\text{Risque} = \text{aléa} \times \text{vulnérabilité}$$

En décortiquant cette formule, il s'avère que l'aléa seul ou la vulnérabilité seule, ne sont pas censés exprimer le risque. L'étude des différents milieux, en terme de dégradation, stabilité / instabilité, révèle que tous ces territoires, aussi différents soient-ils, ont vécu un équilibre stable sous leur climax jusqu'à une époque récente. Ainsi, ni vulnérabilité (naturelle), ni aléa (naturel) n'ont réussi à rompre l'équilibre des écosystèmes en présence. Par conséquent, la récurrence de la dégradation révèle que les actions humaines perturbantes peuvent être considérées à la fois comme facteur de vulnérabilisation et comme facteur de l'agressivité de l'aléa, si ce n'est l'aléa lui-même. Ainsi, en dehors des actions humaines, la variabilité climatique ne produit pas de perturbations durables, même sous les ambiances franchement arides. Or, ce sont les perturbations durables, au-delà du seuil de la résilience, qui dégradent.

Ce fait est nettement observable sur le terrain : un même site affiche deux états opposés, à savoir dégradé et non dégradé, alors que les conditions abiotiques sont les mêmes. Il est même remarquable qu'en terme de biomes, la dégradation peut s'avérer très avancée, voir irréversible en forêt, aux conditions théoriquement moins fragiles, alors que la stabilité reste étonnante en steppe, qui devraient être plus sensibles (El Harradji A., 2005 ; 2019b).

L'alfa constitue une espèce marqueur dans le gradient écologique des biomes arides méditerranéens. Comme le disait L. Emberger (1933 ; in 1971, p. 70) avec sagesse, elle disparaît où le désert (saharien) commence, évidemment à la lisière méridionale du biome steppique. Mais au nord, sa limite avec le biome forestier (méditerranéen) reste transitoire. Etant une espèce invasive, cette graminée gagne du terrain autant que la forêt recule, soit entièrement, soit en clairières ou en composition mixte. Mais en cas d'une dégradation radicale qui anéantit le sol, l'alfa n'est plus capable de coloniser les aires défrichées. Cette substitution irréversible fut naturelle avec l'aridification progressive du climat, alors qu'elle est indirectement anthropogène sous l'ambiance actuelle. La nappe alfatière climacique s'avère en adaptation fragile, car elle ne peut se régénérer que dans les étages les plus favorisés (El Harradji A., 2019b).

Ce constat met l'accent sur l'existence de gradients de sensibilité, qui dépendent certes de l'étagement des conditions climatiques, qui s'expriment à travers l'étagement des paysages. Mais il s'agit là d'une sensibilité, non pas primordialement à l'aléa naturel, mais surtout aux actions humaines. En outre, il faut noter que l'étagement en question n'est pas exclusivement latitudinal, mais il est également altitudinal, jusqu'à surplomber le désert proprement dit. La proximité de celui-ci ne s'engage nullement comme facteur de sensibilité, ou autrement dit de vulnérabilité. Depuis la fin de l'optimum climatique holocène, auquel succéda l'aridification en cours depuis 4000-5000 ans, les influences sahariennes continuent toujours à épargner les îlots forestiers méditerranéens d'altitude aux portes du désert, en l'occurrence, les montagnes de Jebel Maiz, Jbel Grouz, et surtout Jbel Soffah (El Harradji A., 2018 ar). En outre, le voisinage immédiat du désert n'augmente pas forcément la vulnérabilité des terres. (Fig. 2).

A l'opposé, la forêt aux cimes subhumides du nord-ouest des Hauts-Plateaux subit une étonnante désertification, sous ses aspects les plus spectaculaires : apparition et exacerbation de l'érosion hydrique et éolienne des sols, donnant des surfaces rocailleuses dépourvue de végétation, malgré l'importance quantitative des précipitations. Localement, on peut même observer l'ensablement, quoique, éphémère, alimenté par les nappes alluviales et les sols nus sous déflation occasionnellement active. Ces formes de dégradation affectent les ressources dans leur existence, dans la durabilité de leur utilisation, en plus de l'altération des fonctions environnementales qu'elles assurent (El Harradji A., 2007 ; 2018 ar).

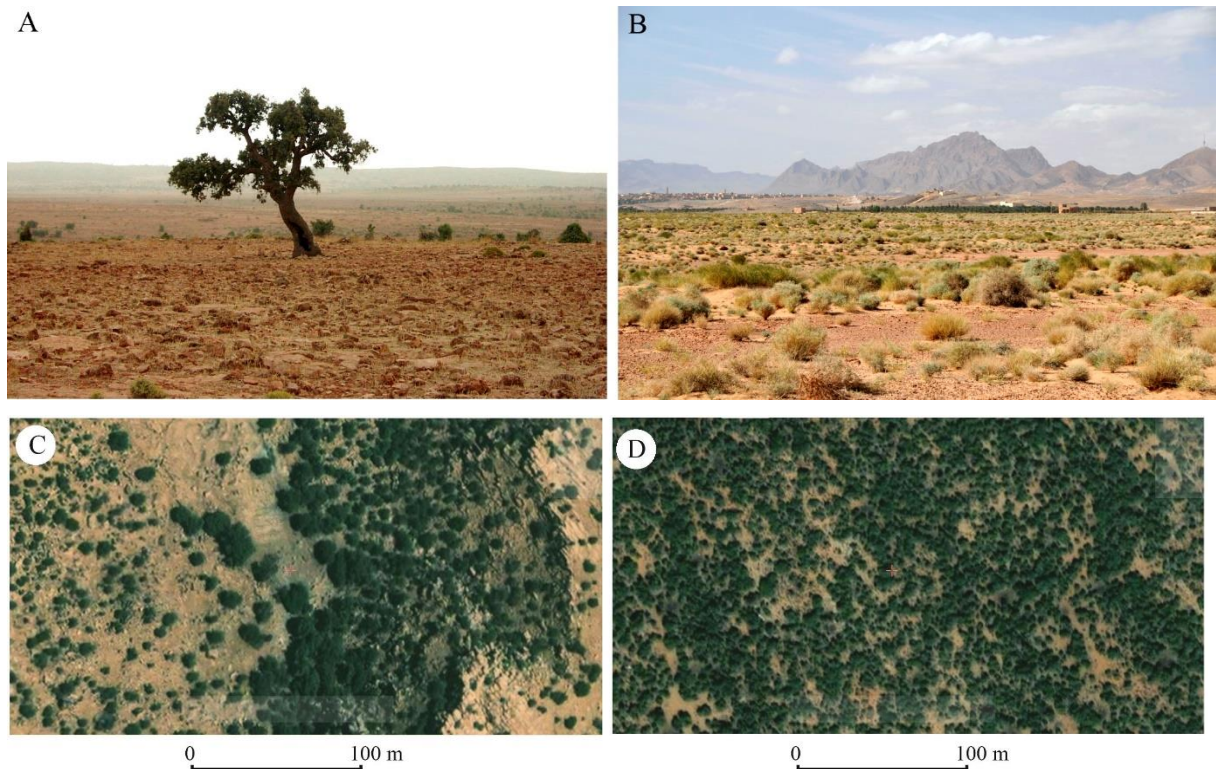


Fig. 2. Au NW des Hauts-Plateaux, A : chênaie désertifiée ; D : chênaie préservée.

Au SE, milieu préservé près de Figuig ; C : bois de J. Soffah ; B : steppe au N de l'oasis.

Conclusion

Les études élaborées sur la désertification sont surtout focalisées sur la sensibilité des territoires à ce fléau, et rarement à l'état d'avancement du phénomène, notamment dans le cadre de la modélisation. En effet, la menace du risque de désertification semble justifier cette approche, mais le risque en question est souvent mal appréhendé.

Partant du constat que le risque est fonction de l'aléa et de la vulnérabilité, le constat qui se dégage à travers l'étude du phénomène de la désertification sur les Hauts-Plateaux du Maroc Oriental fait état des remarques suivantes :

- L'aléa, théoriquement défini dans l'environnement naturel, se voit secondé, voire remplacé par les actions humaines (inadéquates) ;
- La vulnérabilité, qui est en principe liée aux enjeux, n'est pas forcément représentée par la fragilité qui est exprimée par la prédisposition (naturelle) des terres à être affectées par la dégradation ; loin de là, elle est souvent provoquée par les humains qui en subissent eux-mêmes les conséquences ;

-Les enjeux qui affrontent le risque de désertification sont directs et indirects, à savoir respectivement les terres en termes de durabilité de ses ressources, et les populations humaines et animales en termes de sécurité de leur viabilité.

Les enseignements à tirer de cette analyse sont multiples. Tout d'abord, il faut noter que la désertification est en réalité tributaire des comportements humaines vis-à-vis des terres, indifféremment du degré de la fragilité naturelle qui n'est pas déterminant. Par ailleurs, les variations et les événements climatiques ne sont pas non plus déterminants dans l'occurrence de la dégradation des terres (El Harradji A., 2016 ar). Il en résulte que toute action de lutte contre la désertification doit se baser sur la maîtrise des implications humaines, en les encadrant davantage, avec des pratiques conservatrices. En outre, les perspectives annoncées par les différents scénarios des fluctuations des températures ne sauraient avoir une signification pour le phénomène de la désertification. Ce constat semble valide, d'autant plus que seule la sécheresse, qui est un phénomène imprévisible, intervient réellement, sachant bien que son rôle se limite à l'aggravation des perturbations causées par la mauvaise utilisation des terres.

Bibliographie

- EL HARRADJI, A., (1993) : "Morphodynamique, activités anthropiques et environnement dans le Massif de Debdou-Mekkam, (Maroc Oriental)"; actes du symposium "Dynamique de l'environnement en Afrique"; 2e Congrès des Géographes Africains, Rabat, 19-25 avril 1993, pp. 103-112.
- EL HARRADJI A. 1994-1997: "Aménagement, érosion et désertification sur les Hauts-Plateaux du Maroc Oriental"; International Symposium on "Human impact in mediterranean environments, soil erosion; process and quantification"; Morocco, 9-15 october, 1994, Méditerranée, tome 86; n° 1.2, pp 15-23; Aix En Provence (1997).
- EL HARRADJI A. 2005 : " Mécanismes et processus de la désertification du milieu forestier semi-aride/subhumide sec de la Gaâda de Debdou (Hauts Plateaux du Maroc Oriental)", 6th International Conference on Geomorphology : Geomorphology in Regions of Environmental Contrasts, (IAG), Zaragoza, 7-11 sept. Abstracts volume ; p. 182.
- EL HARRADJI A. 2018. Les ressources en eau dans la région de Debdou, entre le fait naturel et l'effet anthropique. Colloque de Debdou sur les ressources en eau, 17 février 2018 ; édité par l'association Ibn Khaldoune ; pp. 29-47 (en arabe).
- EL HARRADJI A. 2019a : Water management and risk of desertification in Saharan margins of Eastern Morocco. Geocology and Desertification, from physical to human factors; International Symposium in memory of Juan Puigdefabregas, Almeria, Spain, 20-22 February 2019. Abstract 1 page + poster [Ecodesert].
- EL HARRADJI A. 2019b : Morphodynamique et Environnement au Nord-Ouest des Hauts-Plateaux de l'Est Marocain : De la Dynamique Naturelle des Paysages à la Désertification. Thèse Doct. Etat., UMP, Oujda, 646 p.
- KATYAL (J. C.) et VLEK (P. L.G.) Desertification – Concepts, Causes and Amelioration. Bonn, ZEF (Bonn University) 2000, 73 p.
- PUIGDEFABREGAS, J. (1995). Desertification: Stress beyond resilience, exploring a unifying process structure. *Ambio* (Sweden). pp. 311-313.
- عبد الرحمان الحرادجي 2016: تدهور الأراضي و"التغيرات المناخية" في الهضاب العليا الشرقية المغربية وهوامشها الصحراوية، مقارنة مشهدية. ندوة: دينامية المنظومات البيئية والمجتمعية وقابلية التربة للتكيف مع التغير المناخي؛ الملتقى الوطني الرابع للجغرافيين المغاربة 23-24 دجنبر 2016، الرباط. (20 ص. تحت الطبع).
- عبد القادر اسباعي وعبد الرحمان الحرادجي وعمر موديلي وعبد الإله حواس 2017: تصنيف الحساسية البيئية للتصحّر بالجهة الشرقية ندوة "المخاطر الهيدرولوغيا والمخاطر الجيومورفولوجية في شمال شرق المغرب، الحوادث والهشاشة والتهينة"؛ 26 دجنبر 2017، وجدة. ص. 90-102.
- عبد الرحمان الحرادجي (2018): تدهور الموروث الطبيعي في الهامش الصحراوي للجهة الشرقية (إقليم فجيح) بين الهشاشة الطبيعية وبين التعطيب البشري. جريدة "فجيح – الجنوب الشرقي". العدد 140؛ ص. 11-12.

SECHERESSE ET VULNERABILITE DES CEREALES D'AUTOMNE EN BOUR: ETUDE DU BILAN AGROCLIMATIQUE DANS LA PLAINE DU GARET (NORD-EST DU MAROC)

JAHID Mimoun. FLSH –Meknès (Maroc). Jahid.mimoun@gmail.com

RÉSUMÉ: De l'analyse statistique des pluies annuelles de la plaine du Garet, située à cheval entre Mont-Arrouit et Tistoutine, découle une succession d'années sèches et d'années humides en se basant sur l'approche méthodologique des écarts à la moyenne en %:

$$\bar{e}_x \text{ (relatif)} = \frac{\bar{e}_x}{\bar{x}}$$

, indice majeur pour la caractérisation de la sécheresse atmosphérique. En outre, la sécheresse de ces années est marquée par un ou deux degrés d'intensité distincts : i) forte sécheresse où le cumul pluviométrique sur 12 mois consécutifs se limite dans l'intervalle $[-2\sigma - \sigma]$; ii) sécheresse intense où le total des pluies demeure inférieur à -2σ ($[<-2\sigma]$). D'autre part, l'analyse des composantes du bilan agroclimatique mensuel vrai, a permis de

ETR

révéler des déficiences hydriques notables ($\frac{ETR}{ETP} < 1$), synonymes de sécheresse agroclimatique. En fait, ces types de sécheresse ont des retombées immédiates non seulement sur les rendements catastrophiques des céréales pluviales, mais aussi sur le social, l'environnement et sur certains secteurs économiques (tourisme, industrie, cultures irriguées, production d'hydroélectricité...). Pour remédier à cet aléa climatique, un plan d'aménagement hydro-agricole a été recommandé en zones bour et partiellement réalisé dans le cadre de l'ensemble de l'aménagement de la basse-Moulouya (Triffa, Zebra, Bou-Areg et Garet). À cela s'ajoute que la construction de nouveaux barrages en amont du bassin versant de la Moulouya s'impose avec force et acuité.

Mots clés : Sécheresse, vulnérabilité, céréales d'automne, bour, bilan agroclimatique, aménagement hydro-agricole, **Garet** (Nord-Est du Maroc)

Drought and vulnerability of cereals of autumn in "bour": a study of the agroclimatic results in the plain of "Garet" (north-east of Morocco).

Abstract: Out of the statistics analysis of annual rainfalls in the plain of "Garet", located between "Mont- Arrouit" and "Tistoutine", follows a succession of droughty years and humid years based on the methodological approach of the average difference in %:

$$\bar{e}_x \text{ (relatif)} = \frac{\bar{e}_x}{\bar{x}}$$

, a major index to the atmospheric drought characterization. Moreover, the drought of these years is characterized by one or two distinct degrees of intensity: i) the high and serious drought or the accumulation of total rainfall relating to 12 consecutive months is limited in an interval of $[-2\sigma - \sigma]$; ii) an intense drought where the total amount of rainfall remains inferior to -2σ ($[<-2\sigma]$). On another hand, the analysis of the components of the real annual agroclimatic results has given way to reveal notable rain differences ($\frac{ETR}{ETP} < 1$), similar to agro climatic drought. Actually, these forms of drought have immediate consequences, not only on the catastrophic yield of rain period, but also on the social situation, the environment and on a certain economic sectors (tourism, industry, irrigated cultivations, hydropower production ...) To bring remedy to this climatic hazard, a hydro-agricultural planning program was recommended in "bour" areas, and partly carried out as part of the general planning of the low- Moulouya (Triffa, Zebra, Bou-Areg et Garet). To this planning, the building of new dams in the upstream of the basin pourinf of the Moulouya is badly needed with a lot of force and acuity.

Keywords: Drought, vulnerability, autumn Cereals, bour, Agro-climatic results, Hydroagricultural Planning, "Garet" (North-East of Morocco).

INTRODUCTION

Notre problématique porte sur la sécheresse et la vulnérabilité des céréales d'automne (blé dur, blé tendre et orge) dans la plaine du Garet (Nord-Est du Maroc). Ainsi, notre recherche consiste à résoudre cette équation qui regroupe deux termes fondamentaux : sécheresse et vulnérabilité des céréales dans une relation systémique et dynamique, tout en essayant d'apporter des solutions efficaces et efficientes aux contraintes naturelles imposées par les sécheresses atmosphérique et agroclimatique à l'environnement des céréales tout en aggravant leur vulnérabilité. Face à cette situation épineuse, un plan d'aménagement hydro-agricole vise actuellement la reconversion du système d'irrigation par aspersion en irrigation localisée au goutte à goutte (13 500 ha) dans la plaine du Garet.

OBJECTIFS DE TRAVAIL

Notre recherche consiste à présenter :

- ❖ l'aspect physique de la région d'étude et de sa station météorologique ;
- ❖ la caractérisation de la sécheresse atmosphérique (aléa) et de son degré d'intensité ;
- ❖ l'analyse du bilan agroclimatique de l'année sèche et de ses répercussions sur les céréales d'automne (vulnérabilité) ;
Ainsi, le risque de sécheresse = Aléa x Vulnérabilité ;
- ❖ l'aménagement hydro-agricole.

Présentation de la région d'étude et de sa station météorologique

- Cadre géographique

Le cadre géographique de la basse-Moulouya (y compris la plaine du Garet (Nord-Est du Maroc), est représenté par la carte du relief (figure 1) dans laquelle sont répartis les massifs montagneux et les plaines.

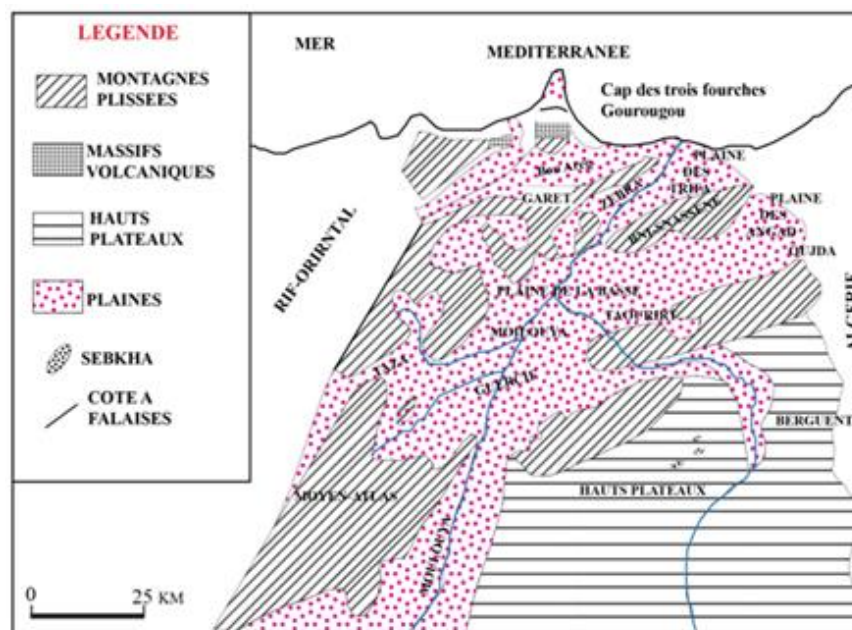


Figure 1: Relief du Nord-Est du Maroc (y compris la basse - Moulouya) importance des surfaces planes : plaines et plateaux

- Situation de la station météorologique

La localisation de la station météorologique du Mont-Arrouit est donnée dans la figure 2; ses coordonnées géographiques (X, Y), son réseau et son altitude (Z) (en m), sont représentés dans le tableau 1.

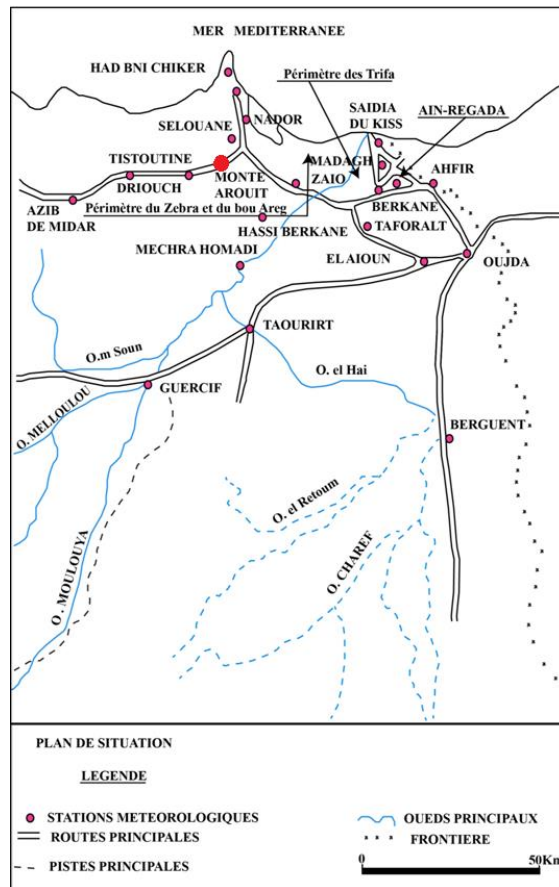


Figure 2: Localisation des stations météorologiques au Nord–Est du Maroc

Tableau 1: Coordonnées géographiques de la station de Mont-Arrouit, son réseau et son altitude (en m)

station	Réseau	X	Y	Z(en m)
Mont-Arrouit	ONI	3° 02'	35°02'	180

MÉTHODOLOGIE

Pour caractériser la sécheresse atmosphérique, nous avons appliqué la formule des écarts à la moyenne en % :

$$\bar{e}_x(\text{relatif}) = \frac{\bar{e}_x}{\bar{x}}$$

Pour l'évaluation du degré d'intensité de sécheresse, nous avons élaboré une échelle dans laquelle sont délimités les deux intervalles dont le premier $[-2\sigma - \sigma]$ indique la forte sécheresse et le second $< -2\sigma$ exprime une sécheresse intense.

En ce qui est de l'analyse du bilan agroclimatique, nous avons adopté la formule de Blaney et Criddle (1950) pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP). Celle-ci se calcule de manière ci- après :

$$Et_{(mm)} = \frac{K}{100} (45,7t + 813)P$$

Dans laquelle

$$K = Kc \times Kt$$

À cela s'ajoute la réserve utile (RU) qui est calculée par l'équation suivante :

$$RU = Da \cdot \% \text{ terre fine} \cdot \% Cr \cdot P$$

RESULTATS ET DISCUSSION

La sécheresse

Le risque de sécheresse s'exprime par le produit de l'aléa (probabilité d'occurrence d'un événement dommageable dans une période donnée) et de la vulnérabilité (conséquence de cet événement dommageable sur les cultures, l'environnement...).

Risque de sécheresse = Aléa \times Vulnérabilité.

Ainsi, l'identification de cette sécheresse ayant pour base la formule des écarts à la moyenne en % :

$$\bar{e}_x(\text{relatif}) = \frac{\bar{e}_x}{\bar{x}}$$

Le résultat final de la variabilité spatio-temporelle des pluies annuelles est donc explicité dans le graphique propre à la station du Mont-Arrouit (figure 3).

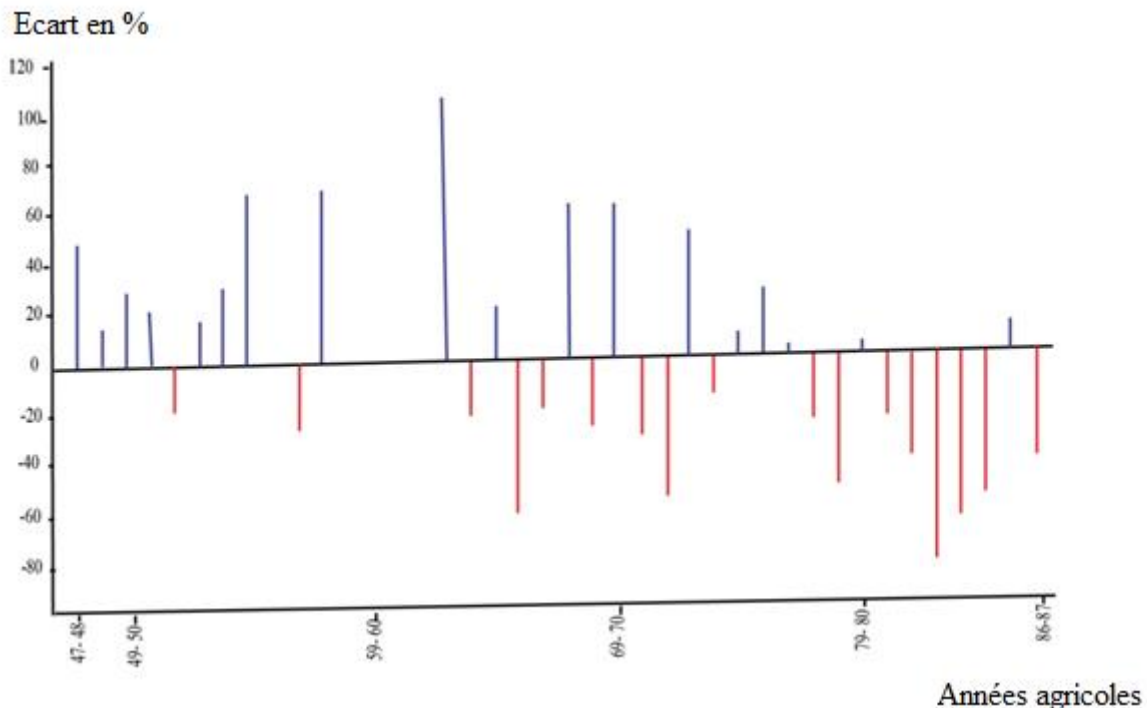


Figure 3: Les hauteurs de pluie à la station du Mont-Arrouit. Ecarts à la moyenne en %. Période (1947- 1948/ 1986-1987)

À propos du degré d'intensité de sécheresse, nous avons élaboré une échelle qui est délimitée par deux intervalles :

- ❖ $[-2\sigma - \sigma]$ qui traduit une forte sécheresse ;
- ❖ $< -2\sigma$ qui désigne une sécheresse intense.

Suivant ces deux intervalles de l'échelle proposée, le résultat est réparti comme suit :

- ❖ à Mont-Arrouit, la forte sécheresse se situe dans l'intervalle $[32,6 \text{ mm} - 151,4 \text{ mm}]$ et la sécheresse intense dans l'intervalle où les valeurs sont inférieures à 32,6 mm.

Notons que la station météorologique de Mont-Arrouit a connu seulement une forte sécheresse, mais épargnée de la sécheresse intense ($< 32,6 \text{ mm}$).

Vulnérabilité des céréales face à la sécheresse

En matière de vulnérabilité des céréales vis-à-vis de la sécheresse agroclimatique, elle est déduite du bilan agroclimatique de l'année sèche et notamment de la déficience hydrique

$\frac{ETR}{(ETP - ETR)}$ et/ou $\frac{ETR}{ETP}$.

En effet, ce déficit d'évapotranspiration soulève concrètement les situations dans lesquelles se trouvent les céréales :

* lorsque le rapport $\frac{ETR}{(ETP - ETR)} \geq 1$, cela traduit que les céréales apparaissent en conditions optimales ;

* en revanche, quand $\frac{ETR}{(ETP - ETR)} < 1$ et que $P < ETP$, l'ETR occupe une fraction de l'ETP.

Dans ce cas, les céréales deviennent vulnérables à la sécheresse, et l'apport en eau par irrigation demeure inéluctable, sans quoi la production de la matière sèche tend à se réduire considérablement.

Le résultat du bilan agroclimatique relatif à la station de Mont-Arrouit laisse apparaître que le déficit hydrique se manifeste tout au long des stades phénologiques de croissance des céréales (figure 4).

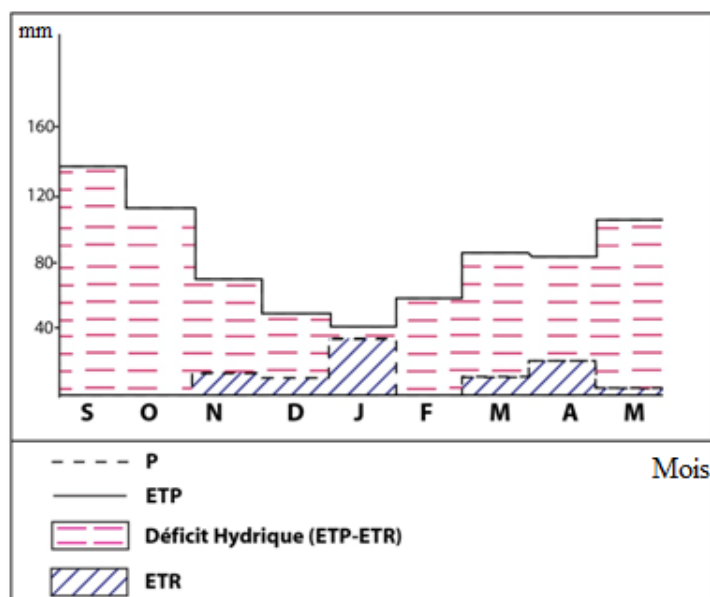


Figure 4: Bilan agroclimatique de l'année sèche 1983-1984 à "Mont-Arrouit"

Conséquent, les rendements moyens annuels des céréales ont vocation à diminuer notablement au cours de l'année sèche dans la plaine du Garet.

Soulignons que nous avons choisi deux années-types représentatives des rendements : l'une humide (1985-86), l'autre à forte sécheresse (1983-84) (Tableau 2).

Tableau 2: Rendements moyens de l'orge, du blé tendre et du blé dur (en qx/ha) à "Mont-Arrouit" (CMV122)

Années	Céréales	Superficie semée en ha	Superficie récoltée en ha	Rendement en qx/ha
		BOUR	BOUR	BOUR
1985 - 1986	Orge	-	3800	19,6
1983 - 1984		1200	590	5
1985 - 1986	Blé tendre	-	210	21
1983 - 1984		55	45	3
1985 - 1986	Blé dur	-	275	25,9
1983 - 1984		85	65	1

Aménagement de la plaine du Garet

Confrontées à cette situation délicate (baisse significative des rendements), les céréales pluviales exigent un plan d'aménagement hydro-agricole basé actuellement sur l'irrigation par aspersion. Ce plan prévoit aussi la reconversion de 13500 ha, occupés actuellement par différentes cultures qui sont irriguées par aspersion, en irrigation localisée au goutte à goutte (économie d'eau d'irrigation) dans la perspective d'un développement durable de la plaine en question.

CONCLUSION

L'analyse des pluies annuelles nous a permis de caractériser la sécheresse atmosphérique qui se manifeste suivant son degré d'intensité (faible sécheresse, forte sécheresse, sécheresse intense) dans la plaine du Garet.

Certes, cette analyse nous a révélé que le Garet a connu une faible et forte sécheresse, mais il est épargné de la sécheresse intense.

D'autre part, le bilan agroclimatique mensuel de l'année sèche nous a permis de dévoiler la vulnérabilité des céréales d'automne face à ce phénomène aléatoire tout en nous

ETR

basant sur la déficience hydrique (**ETP**) et/ou **ETP - ETR**.

A cet effet, il devient indispensable de recourir à l'aménagement hydro-agricole dans la plaine du Garet (irrigation artificielle par aspersion et au goutte à goutte). Tout cela dans la perspective d'un développement durable de la plaine en question.

Références bibliographiques

- BOUCHET (R.J.), 1964, Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole. L'eau et la production végétale, INRA, Paris, pp.152-232.
- BROCHET (P.) et GERBIER (N.), 1972. Une méthode pratique de calcul de l'évapotranspiration potentielle, Annales agronomiques, Vol.23, n°1, pp.31-49.
- COSANDY (C.M.), 1970, Recherches sur les bilans hydriques mensuels, Thèse de 3^{ème} cycle, Paris, Sorbonne.
- JAHID (M.), 1992, Climats et bilans de l'eau. Etude des bilans agroclimatiques et de leurs conséquences sur les céréales d'automne dans le Nord-Est du Maroc. Thèse de Doctorat (nouveau régime). Université de Paris 10, Nanterre.
- MATHIEU (C.) et RUELLAN (A.), 1987, Evolution morphologique de sols irrigués en région méditerranéenne semi-aride : l'exemple de la basse-Moulouya (Maroc), Cah. ORSTOM, Serv. Pédol., Vol XXIII, n°1, pp. 3-25.
- O.M.V, Octobre 1965, Aménagement et mise en valeur de la basse-Moulouya, CND, Rabat.
- O.N.I, Décembre 1962, Rapport sur l'aménagement de la rive gauche de la basse-Moulouya, CND, Rabat.
- PASKOFF (R), 15^{ème} année, Janv-Mars 1962, l'aménagement de la basse vallée de la Moulouya (Maroc oriental), Cah. d'Outre Mer, n°57, pp. 89-91, Bordeaux.
- STUDER (R.), 1961, Méthode de détermination des réserves hydriques des sols, Ann., Agron., t.12, INRA, Rabat, pp.599-608.
- TROIN (J.F.) et al. 2002, Maroc, Régions, pays, territoires, Maisonneuve et Larose, Paris.

GENESE ATMOSPHERIQUE DES RISQUES CLIMATIQUES AU MAROC (CAS DES PLUIES EXCEPTIONNELLES D'AUTOMNE)

JANATI IDRISSE Abdelhamid

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. Faculté des Lettres et Sciences

Email: abdelhamid.janati@gmail.com

Résumé: Au cours de la saison automnale l'activité cyclonique au-dessus de l'Atlantique Nord s'installe d'une manière progressive. Les hautes pressions dynamiques subtropicales (Açores et anticyclone Nord-Africain) se rétractent de plus en plus vers le Sud. Cette dynamique est en relation avec le balancement saisonnier de ces noyaux qui suivent le mouvement apparent du soleil entre les tropiques du cancer et du capricorne. En altitude, l'advection de l'air polaire vers les basses latitudes est à l'origine des instabilités atmosphériques qui peuvent prendre des aspects thermodynamiques orageux ou cycloniques avec frontogénèse selon l'ampleur de la circulation vers le sud. Nous allons d'abord expliquer la nature des circulations cycloniques durant la saison automnale pour chaque mois. Ensuite nous essaierons de faire une étude de cas afin d'expliquer la genèse atmosphérique de quelques situations pluvieuses intenses dont les dégâts peuvent être qualifiés de catastrophes vues les dommages humains qu'elles ont laissés. Cette contribution sera l'occasion d'approcher les aspects atmosphériques qui génèrent des temps perturbés responsables de pluies intenses durant la saison d'automne marquée par des contrastes thermiques importants entre les masses d'air au sein d'un système cyclogénétique.

Mots clés : Circulation atmosphérique, cyclogénèse, intensité pluviométrique, crues, inondation

Introduction

Les pluies automnales sont souvent marquées par leurs intensités au Maroc. Leur arrivée au début de la circulation pluvieuse au sein du climat méditerranéen où l'ambiance chaude primait encore dans ces zones après le passage de la saison estivale, peut engendrer des risques climatiques préjudiciables. Les contrastes thermiques importants entre les couches de la troposphère inférieure et moyenne renforcent les ascendances thermodynamiques et convergentes de l'air au sein des cyclogénèses. Durant ces dernières décennies, les pluies automnales au Maroc se sont intensifiées si on prend en considération les quantités journalières reçues dans plusieurs régions et qui peuvent parfois être qualifiées de records. Il est fort probable que la tendance vers le réchauffement climatique actuel est responsable de cette exceptionnalité pluvieuse. L'air étant plus chaud se chargeant de plus en plus d'humidité et absorbe plus de chaleur latente océanique qui se trouve à l'origine des pluies intenses au sein des systèmes perturbés, ce qui constitue un risque hydro climatique néfaste pour les zones fragiles et vulnérables.

L'information pluviométrique employée dans cette étude émane de plusieurs origines dont l'agence hydraulique du Sebou, les sites internet comme le site français météoiel.com, les cartes isobariques d'altitudes et de surface sont issues du site métrologique spécialisé allemand wetter3 et les images satellites sont issues du site américain ncdc.noaa.gov. La recherche bibliographique sur internet a été utile pour collecter des informations sur certains cas d'étude, ce qui a permis de compléter les données statistiques.

1. Caractéristiques de la circulation cyclonique en automne

L'apparition progressive de l'air polaire dans la troposphère moyenne dans le cadre d'une circulation méridienne conduit à la création des états de convection et d'instabilité atmosphérique qui se manifestent selon l'intensité de la descente froide par la constitution des

foyers orageux sur les montagnes ou des cyclogenèses locales au voisinage atlantique ou méditerranéen du Maroc.

1.1. Circulation cyclonique à caractère orageux en Septembre

Le mois de septembre représente le début de l'advection froide en altitude vers le sud, au sein des masses tropicales dominantes avec le renforcement des cellules anticycloniques dynamiques sur les latitudes méditerranéennes. Les descentes froides sous forme de coulées ou de gouttes moins intenses en cette période de l'année, s'effectuent depuis le continent européen selon une provenance NE, (Fig.1) puisque les pressions restent renforcées avec la circulation de l'air tropical à des latitudes plus élevées. Généralement, la zone de contact entre les deux cellules anticycloniques (Açores et celles du Nord de l'Afrique) est le lieu privilégié de l'écoulement polaire. En plus, l'extension anticyclonique étant bien installée sur l'ouest européen oblige l'advection polaire de s'effectuer généralement à partir de la zone sibérienne en empruntant l'Est européen pour finalement atteindre le Maroc depuis le secteur NE. Au sol, l'instabilité orageuse est accentuée par une remontée forcée de l'air tropical chaud sur les versants SE des montagnes atlasiques.

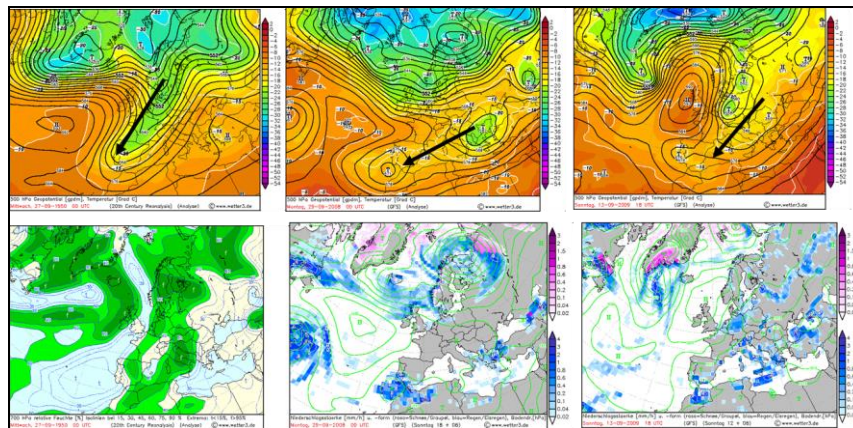


Fig. 1 Cartes du géopotential 500 hPa et de Surface des situations orageuses (D à G) du 27-9-1950/29-9-2008/13-9-2009

1.2. Circulation cyclonique marquée par des situations de blocage en octobre

Suite au déplacement vers le Sud du mouvement apparent du soleil vers l'hémisphère Sud, l'apport calorifique diminue dans l'hémisphère nord et le déficit thermique commence à s'accroître dans la zone polaire. Dans ces conditions, les poussées froides en altitudes s'effectuent plus vers le sud en réponse au besoin d'échanges thermiques entre les masses polaires et intertropicales (Fig. 2).

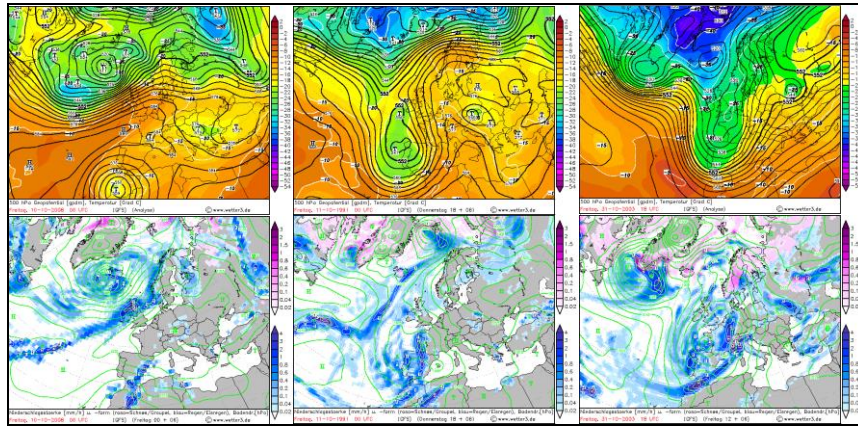


Fig. 2 Cartes du géopotential 500 hPa et de Surface des situations cycloniques (D à G) du 10-10-2008/11-10-1991/31-10-2003

Ainsi les circulations méridiennes très lentes et profondes du courant jet subtropical peuvent individualiser des gouttes froides (-20°) et parfois elles sont bloquées par les cellules anticycloniques des Açores ou méditerranéennes. Les ondulations froides peuvent maintenant emprunter des couloirs barométriques orientés N-S ou NO-SE. En raison soit du relâchement anticyclonique où de l'ampleur de la poussée polaire vers le sud. L'importance et la force de la dépression au sol dépendent de l'intensité et de l'ampleur de la coulée polaire.

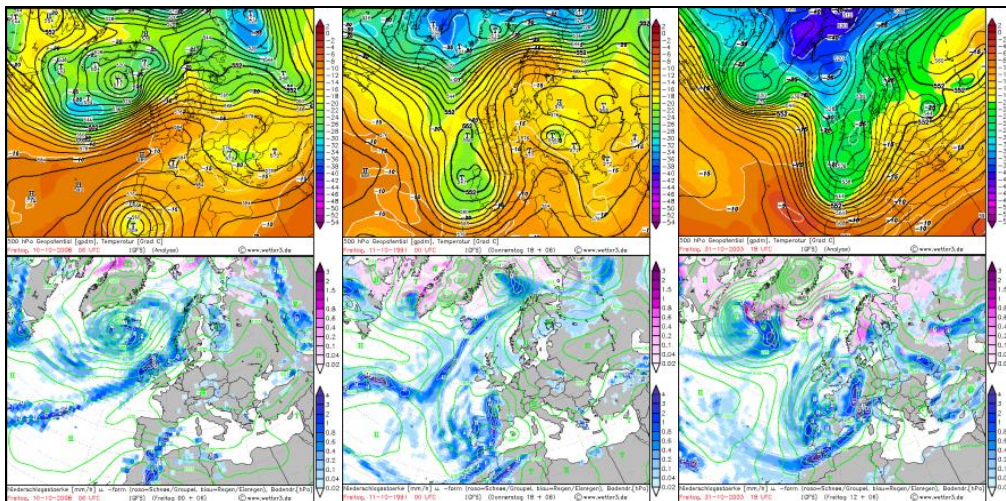


Fig. 2 Cartes du géopotential 500 hPa et de Surface des situations cycloniques (D à G) du 10-10-2008/11-10-1991/31-10-2003

1.3. Circulation cyclonique méridienne lente en novembre

En novembre, les ondulations du courant général d'ouest vers le sud devenant plus large spatialement car les vents d'ouest augmentant de vitesse l'activité cyclonique méridienne s'organisent en vallées froides et crêtes chaudes. En raison du retrait anticyclonique subtropical vers le sud, les gouttes, les coulées ou les vallées froides adoptent tous les secteurs nordiques pour atteindre le Maroc (Fig.3). Généralement, les masses d'air perturbées accompagnant les dépressions mises en place au sol peuvent présenter des caractéristiques thermiques différentes selon la position et le lieu de l'advection froide en altitude. Plus positionné vers le sud au voisinage du Maroc, le flux venant du secteur SO est à l'origine d'un temps pluvieux plus doux. Si le talweg de la vallée est orienté NO-SE sur le Maroc, le flux sera responsable de l'installation d'un temps perturbé plus frais. Cependant, si la vallée est plus décalée à l'Est les masses d'air humides sont de provenance N à NE, ce qui sera favorable au chutes de températures du fait que le flux perturbé traverse le continent européen pour

intéresser notre pays. Néanmoins, les contrastes thermiques restent plus élevés entre l'air polaire et l'air tropical aux latitudes marocaines du fait que l'advection froide s'effectue dans un environnement plus chaud. Ce facteur explique l'accroissement des intensités pluviométriques au cours de ce mois.

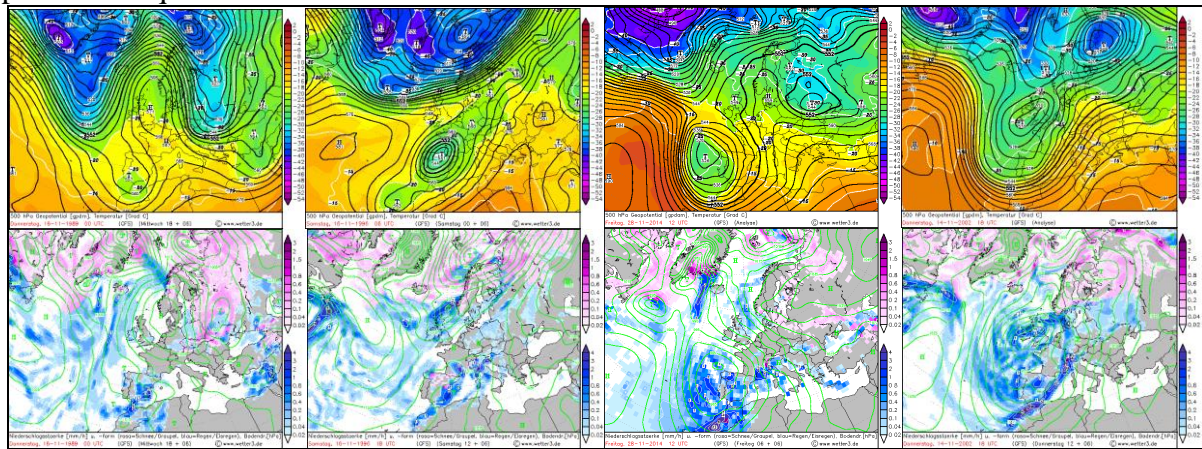


Fig. 3 Cartes du géopotential 500 hPa et de Surface des situations cycloniques (D à G) du 16-11-1989/16-11-1996/28-11-2014/14-11-2002

2. Analyse de situations pluviométriques extrêmes à risque hydro-climatique

L'exceptionnalité des pluies d'automne est approchée à travers la genèse atmosphérique de types de situations intenses. Les exemples suivants concernent trois régions au Maroc: le Nord méditerranéen (Tanger, EL Houseima, Nador), le Sud-Est (Errachidia) et le Sud-ouest, Agadir, et Sidi Ifni.

2.1. Analyse d'événements pluviométriques en septembre

Les exemples cités plus haut sont des situations orageuses qui ont produit des catastrophes mémorables comme celles de 1950 à Sefrou où la ville a été inondée par une lame d'eau de 6m par la crue de l'oued Agay faisant une centaine de victimes; 108 mm de pluies ont chuté en l'espace de 4h sur les montagnes atlasiques environnantes. Pendant la journée du 13-9-2009 en après-midi, 122 mm se sont abattues sur la ville d'Immouzer Kander et pendant l'après-midi, ce qui a gonflé rapidement le débit temporaire de l'oued El Himmer et inondé les quartiers Hay Lalla Souhaina et Hay El Fath.

Plus récemment, nous citons comme exemple la situation atmosphérique du 8-9-2019 qui est marquée par un temps orageux au Sud-Est marocain sur la région d'Errachidia. Cette instabilité atmosphérique est due à une advection polaire de faible importance (-10°) en altitude (Fig. 4) qui a été capable de faire onduler les isohypses de pression. En surface sur le Maroc, la dépression saharienne située près du Maroc se trouve élargie vers l'Espagne en raison de cette activité orageuse instable créée par la présence de l'air froid en altitude.

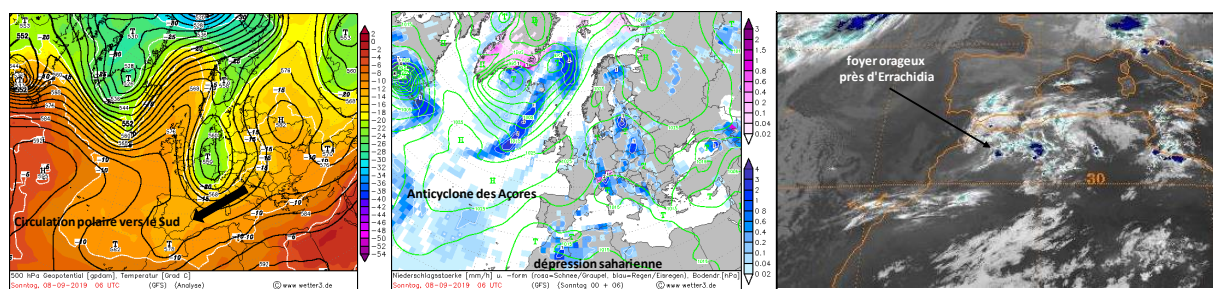


Fig. 4 Cartes atmosphériques du géopotential 500 hPa et du sol et image du Météosat-11 de la journée du 8-9-2019 à 6 TU

Suite à ce temps orageux à l'origine des précipitations intenses et bien localisées sur le Haut Atlas, l'oued Demchane, affluent de l'oued Ziz, est rentré en crue rapidement en coupant la route vers Errachidia. Un autocar voulant traverser la route a chaviré et est tombé dans les flots où plus de 28 personnes ont périés lors de cette catastrophe.



Photo.1 et 2. Renversement d'un autocar lors de la crue de l'oued Demchane près d'Errachidia

2.2. Cas de cyclogenèses locales en octobre

Du 9 au 10 octobre 2008, une descente froide polaire s'est effectuée vers le Maroc. Au sol, l'anticyclone des Açores orienté NE-SW, achemine un air plus saturé et plus frais issu de la Méditerranée. La dépression saharienne dirige un air plus chaud vers le Maroc. Le 10 octobre, la goutte froide d'altitude (-20°) crée une instabilité orageuse à l'Est du Haut et Moyen Atlas. Au sol, s'effectue une ondulation cyclonique sur le Maroc où les vents d'Est soufflaient fortement, ce qui montre le caractère très instable du temps. L'instabilité s'est intensifiée et les orages sont devenus plus menaçants. Les nuages instables se sont développés essentiellement sur le Sud-Est, l'Oriental, le Rif occidental et central et le Moyen Atlas comme on peut le constater d'après l'image satellite (Fig. 5).

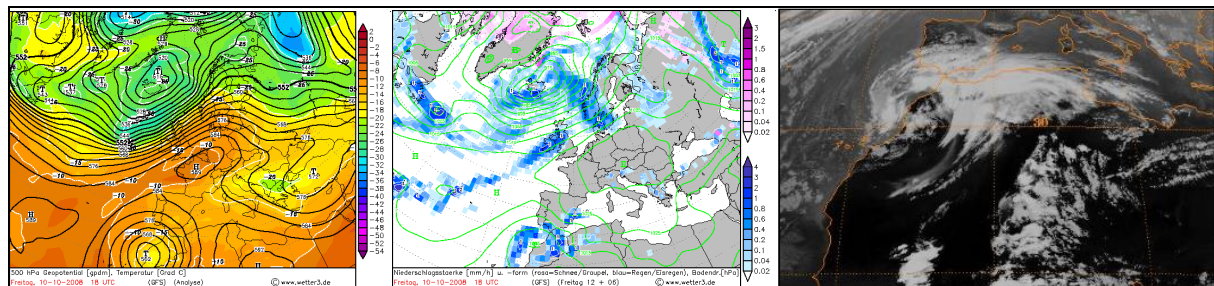


Fig. 5 Cartes atmosphériques du géopotiel 500 hPa et du sol et image du Météosat-9 de la journée du 10-10-2008 à 18TU

Le 10 octobre 2008, les pluviomètres ont enregistré sur la côte méditerranéenne : 71 mm à Al-Hoceima, 67 mm à Nador et 51 mm à Tétouan. Sur les régions Est et Sud-Est, les quantités des pluies ont été beaucoup plus importantes: 100 mm à Figuig, 82 mm à Zaouit Sidi Hamza, 70 mm à Gourrama, 62 mm à Bouarfa. Le 11 octobre à Tanger, les chutes ont atteint 81 mm, car le flux perturbé venant du Sud-Est n'a pu affecter cette ville que le jour suivant. Cependant, les zones littorales atlantiques du Maroc ont été épargnées puisqu'elles n'ont affiché que des traces de pluie (Janati. I, 2010).

Le 23 octobre, une goutte détachée de la coulée polaire s'est trouvée isolée dans l'air tropical chaud. Sous l'effet du blocage anticyclonique, l'ondulation cyclonique en surface sur le pays a aspiré de l'air chaud du Sud. Celui-ci, en traversant les côtes méditerranéennes, s'est fortement chargé d'humidité. Les nuages en cumulus instables ont arrosé la péninsule

tangitaine où les précipitations journalières ont affiché, le 24 octobre, des records historiques; 199,5 mm à Tanger aérodrome, 129 mm à Al-Hoceima, et 94 mm à Tétouan. La même situation se trouve également à l'origine des pluies exceptionnelles à Nador qui a reçue 123 mm le 27 octobre.

2.3. Etude de l'épisode pluviométrique de novembre 2014

Le 20 novembre, une coulée froide méridienne s'est établie depuis le 20 novembre entre deux cellules anticycloniques, d'où l'installation d'une zone dépressionnaire au Sud-ouest du Maroc. Le 21 et le 22, il est tombé 176mm à Ighrem et 177mm à Nougdal sur l'Anti Atlas. La descente de la goutte froide le 23 novembre sur les îles Canaries a créé un minimum barométrique à l'est près des côtes marocaines. La ville d'Agadir affectée par des masses d'air ondulantes et régénérées sur l'Atlantique a reçue 80 mm de précipitations. Le 27/11/2014, une importante décharge polaire (Fig. 6) s'est effectuée vers les côtes marocaines.

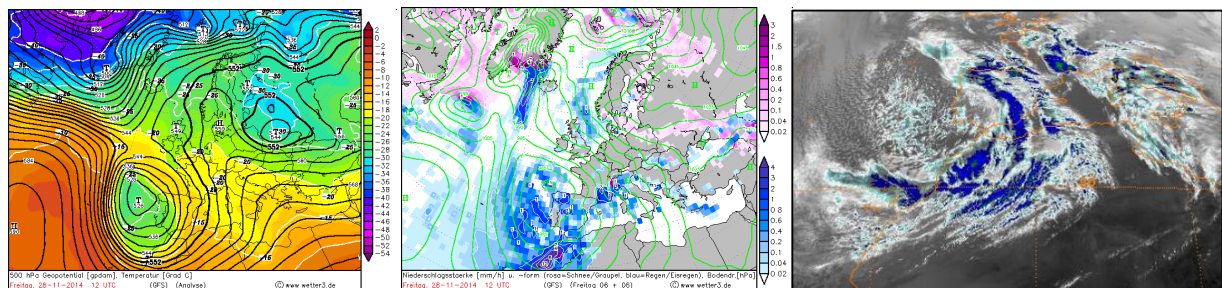
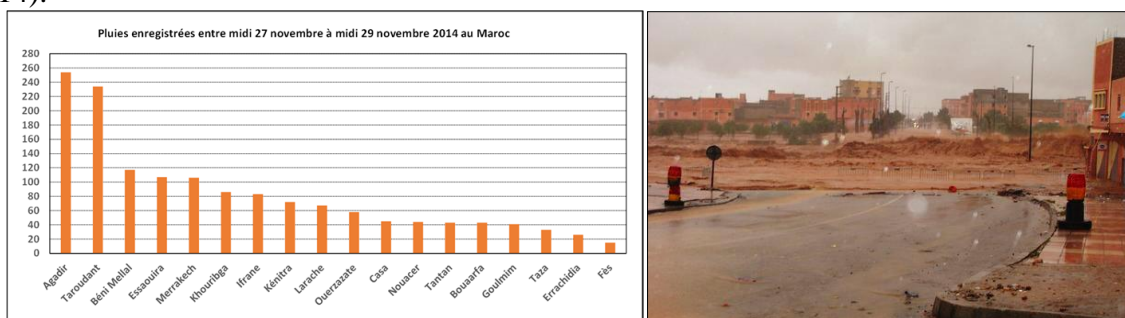


Fig. 6. Cartes atmosphériques du géopotiel 500 hPa et du sol et image du Météosat-10 de la journée du 28-11-2014 à 12TU

D'où le creusement d'un fort minimum barométrique centré sur les îles madères supporté en altitude par une goutte froide -20° au sein d'une ondulation méridienne vers le sud du jet subtropical. Cette première dépression qui s'est maintenue plus au nord a arrosé la ville d'Essaouira avec 79mm et Safi 73 mm. La 2^{ème} dépression très creuse à 985 hPa s'est déplacée plus au Sud. Les pluies diluviennes issues du passage d'un front chaud et froid ont inondé le Sud-ouest du Maroc. Les abats d'eau sont considérables. L'événement pluviométrique de fin novembre 2014 reste gravé dans les mémoires en raison des pertes humaines et matérielles causées par des inondations brutales dans les deux villes de Guelmim et Sidi Ifni. Le graphique en dessous (Fig.7) montre les cumuls pluviométriques totalisés le 27 et le 28 novembre ; plus de 250 mm à Agadir et 220 mm à Taroudant. Il faut rappeler, que ces inondations ont eu de lourdes conséquences : 47 personnes ont perdu la vie dans les provinces du sud et les dommages ont été évalués à plus de 6 milliards de dirhams (Dahman Saidi. A 2014).



**Fig. 7 Cumul pluviométrique du 27 et 28 novembre 2014
Photo. 3 Débordement de l'oued Oum Laachar à Goulmim**

Conclusion

Les pluies d'automne sont marquées par leur forte intensité journalière en particulier sur les régions montagneuses. Elles sont dues à des temps perturbés supportés en altitude dans la plupart des cas par des gouttes d'air froid qui s'individualisent au voisinage du Maroc. Leur intensité semble s'accroître en raison du réchauffement climatique actuel (augmentation de l'évaporation au sein des océans plus chauds). Les risques engendrés par des événements pluvieux sont préjudiciables pour les zones urbanisées situées auprès des cours d'eau.

De l'analyse des cartes synoptiques on a pu déterminer les situations atmosphériques correspondantes aux jours pluvieux automnaux les plus exceptionnelles relevées dans l'archivage des données. Elle nous a aussi donné l'occasion de suivre les étapes de la genèse des événements pluvieux étudiés. A travers la recherche bibliographique et l'analyse des données, nous avons mis l'accent sur l'exceptionnalité pluviométrique des cas étudiés et les dégâts matériels et humains engendrés après le passage des situations perturbées extrêmes. Ces dégâts pèsent lourdement sur le plan économique, ce qui nécessite une gestion des risques climatiques basée sur la prévision, la prévention et l'application ferme des textes de lois sur la protection des zones inondables.

Bibliographie

- CHKHAMI K, JANATI IDRISSE A, (2018) - Comportement hydrologique et genèses des crues inondables dans le bassin versant de l.O. Ouerghra- (Maroc). Revue Espace et Développement. N 1. p17-35. Rabat.
- DAHMAN SAIDI. A (2014) - Inondations au Maroc en 2014: Quels enseignements tirés de Guelmim et Sidi Ifni- Publiée par Zurich insurance Group. Zurich. Suisse. 37 pp.
- JANATI IDRISSE (A), GARTET (J), GARTET, (A) DAOUD (A) (2015) - Changement climatique et spatialisation du régime pluviométrique dans le bassin du Sebou (Maroc)- livre de publication dans les actes du colloque international Eau et Climat, regards croisés Nord Sud. Faculté Saïs Fès le 27-28 novembre 2013.
- JANATI I A (2010) - Situations pluviométriques extrêmes en 2008-2009 et impacts engendrés au Maroc- *Revue Géomaghreb* n° : 6. pp 105 -119.
- جناتي إدريسي عبد الحميد (2017) - التراجع المطري والموارد المائية في عالية مشرع بلقاصيري- منشورات كلية الآداب والعلوم الإنسانية سايس- فاس، 301 صفحة، فاس.

DETERMINATION ET CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE DES TERRITOIRES A L'EROSION HYDRIQUE, ET IMPORTANCE DE LA LUTTE BIOLOGIQUE. CAS DU SOUS BASSIN VERSANT DE OUED IFRAN AFFLUENT DE OUED BEHT-MAROC.

El-Arbi AIT YACINE, Fatiha OUDIJA, Youssef OUADJANE, Brahim BENZOUAGH, Ali ESSAHLAOUI et Laila NASSIRI

Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, B.P. 11201, Zitoune, Meknès, Maroc.

yacine.eddt@gmail.com

RÉSUMÉ: L'érosion hydrique des sols est un problème commun des pays méditerranéens et particulièrement du Maroc. La modélisation et cartographie des zones vulnérables à ce type d'érosion sont d'une grande importance dans les plans d'aménagement des territoires et essentiellement des bassins versants. Ce travail a pour objectif de faire une étude qualitative de la vulnérabilité des sols à l'érosion dans le sous bassin versant de Oued Ifran et d'établir une carte synthétique des degrés de risque. La méthode utilisée consiste à définir les principales facteurs de l'érosion (topographie, lithologie, érodabilité du sol, couvert végétal et formes d'érosion existant sur le terrain) et par la suite à procéder à leur pondération. Cela fait appel à un ensemble de données (MNT, Géologie, images Landsat 8, et autres..) en utilisant SIG et télédétection. Les résultats obtenus ont permis de distinguer quatre classes de vulnérabilité à l'érosion (faible, moyenne, forte et très forte) dont les zones fortement vulnérables couvrent plus de 60% du bassin en question. L'analyse des résultats des facteurs causaux permet de déduire que le facteur végétal et le facteur durable sur lequel on peut agir dans les interventions de lutte contre l'érosion.

Mots-clés : érosion hydrique du sol, bassin versant, vulnérabilité, couvert végétal, SIG, lutte biologique, Maroc.

DETERMINATION AND MAPPING OF THE VULNERABILITY OF TERRITORIES TO WATER EROSION AND IMPORTANCE OF BIOLOGICAL CONTROL .CASE OF THE SUB-BASIN OF OUED IFRAN TRIBUTARY OF WADI BEHT-MOROCCO

ABSTRACT: Soil erosion is a common problem in the Mediterranean countries and especially in Morocco. Modeling and mapping the vulnerable areas to water erosion are of great importance in the development plans of territories and mainly of watersheds. This work aims to make a qualitative study of the vulnerability of soils to erosion in the sub-basin of Oued Ifran and establish a synthetic map of the erosion risk levels in this basin. The method consists in defining the main causal factors of erosion (slope and exposure, lithology, soil erodibility, vegetation cover and forms of existing erosion in the field), and subsequently proceed to their weighting. This uses a set of data (DEM, Geology, Landsat 8 images, and others ...) using GIS and remote sensing. Results allows to distinguish four classes of erosion vulnerability (low, medium, high and very high), where the highly vulnerable areas cover more than 60% of study area. The analysis of results of the causals factors makes it possible to deduce that the vegetation cover factor is the sustainable factor that we must use in the interventions to erosion control.

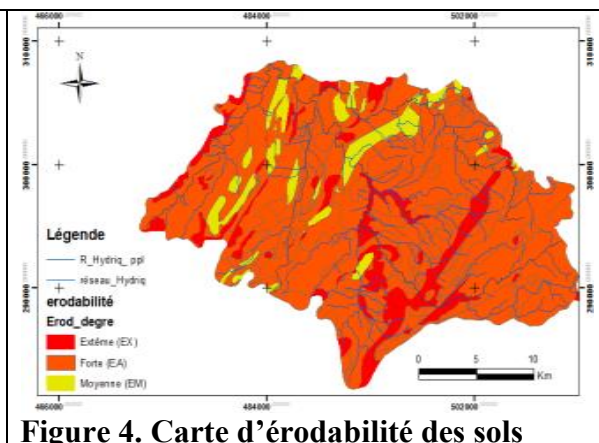
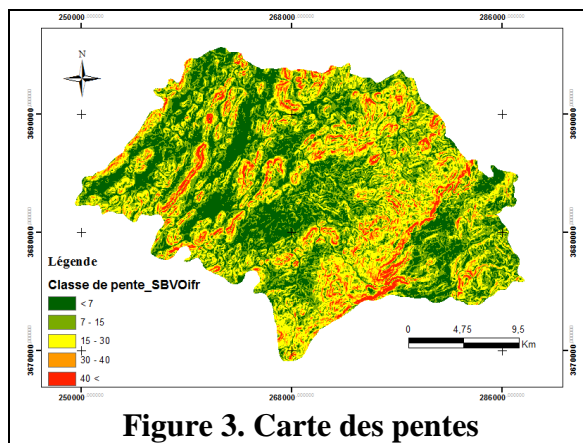
Keywords: Water soil erosion, watershed, vulnerability, vegetation cover, SIG, biological control, Morocco.

2. MATERIEL ET METHODES

La méthode utilisée dans ce travail a été synthétisée à partir des études approfondies sur le phénomène de l'érosion notamment le modèle qualitative PAP/CAR (PAP/CAR, 1998), et le modèle empirique RUSLE (Wischmeier, 1978) qui sont les plus utilisés dans le contexte Méditerranéen. Ces deux modèles s'entrecroisent dans le fait qu'ils définissent communément trois principaux facteurs, en plus des facteurs propres à chaque modèle. Notre travail consiste à définir les principaux facteurs mis en jeu dans l'érosion hydrique et de procéder à leur pondération. La réalisation de ce travail fait appel à un ensemble de données et matériel : le modèle numérique du terrain (MNT de la zone d'étude) issue d'une image satellitaire ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM), de résolution 30m, téléchargée à partir du site de la NASA (<https://www.nasa.gov/topics/earth/features/20090629.html>) et via un logiciel SIG a été utilisé pour synthétiser la carte des pentes. La carte de la résistance des matériaux a été élaborée à partir de la carte lithologique synthétisée de la carte géologique du Maroc au 1/1000000. La carte d'érodabilité a été élaborée par la superposition de la carte des pentes et de la carte de résistance des matériaux. Les cartes d'occupation du sol et celle de protection du sol par le couvert végétal ont été obtenues grâce à NDVI extrait d'une image Landsat 8 et par exploitation des cartes d'aménagement des forêts. La carte des formes d'érosion a été élaborée sur la base des documents d'aménagement des bassins versants et par des visites sur le terrain. Après avoir élaboré les cartes des facteurs, nous avons procédé à la pondération en donnant à chacun des facteurs mis en jeu le poids qui lui correspond.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La carte des pentes a été synthétisée à partir de la MNT modèle numérique du terrain et à l'aide d'un logiciel SIG.



L'analyse des résultats des tableaux attributaires relatifs à l'érodabilité du sol montre que 80% de la zone d'étude est à forte érodabilité du sol et que 13% sont extrêmement érodable.

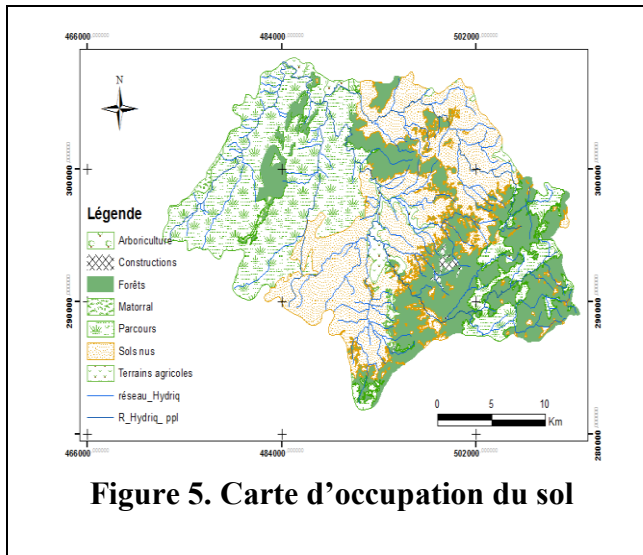


Figure 5. Carte d'occupation du sol

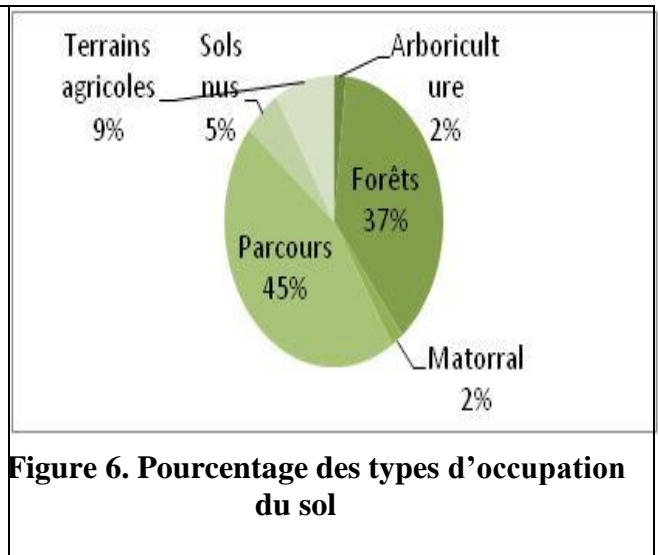


Figure 6. Pourcentage des types d'occupation du sol

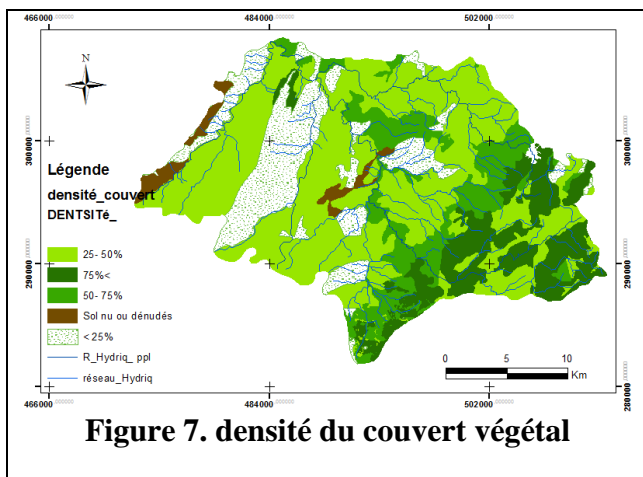


Figure 7. densité du couvert végétal

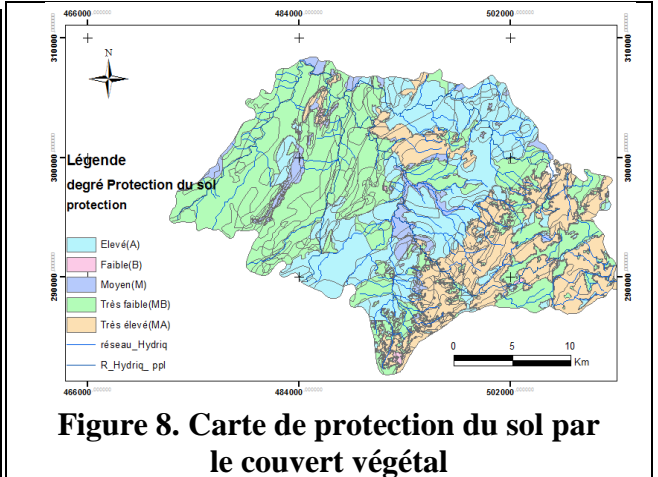


Figure 8. Carte de protection du sol par le couvert végétal

L'analyse des résultats relatifs à l'occupation du sol, montre que 37% de la zone d'étude sont des forêts et que 45% sont des terrains de parcours (figure 6). Ce résultat se répercute sur la carte de protection du sol du sol qui, après analyse, montre que plus de 40% des sol du sous-bassin étudié sont à faible protection contre l'érosion, et qu'environ le 1/3 de la surface étudiée présente une protection relativement élevée grâce à la présence des forêts et de l'arboriculture.

L'analyse des résultats du tableau attributaire relatif aux classes de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique montre que plus de 60% de la zone d'étude présente une vulnérabilité élevée à très élevée à l'érosion hydrique. L'érosion hydrique du sol est présente parfois même en milieu forestier cela s'explique par la combinaison des facteurs à leur états extrêmes (pente et érodibilité) en plus de la dégradation du couvert forestier par les activités anthropiques (mutilation d'arbres, prélèvement de bois, surpâturage défrichement des forêts pour labours etc.). L'analyse des résultats permet de constater que le degré de vulnérabilité du sol à l'érosion est positivement proportionnel aux facteurs de pente et d'érodibilité du sol, et il est négativement proportionnel à celui du facteur couvert végétal et sa densité surtout dans les zones de combinaison des facteurs à leurs niveaux extrêmes.

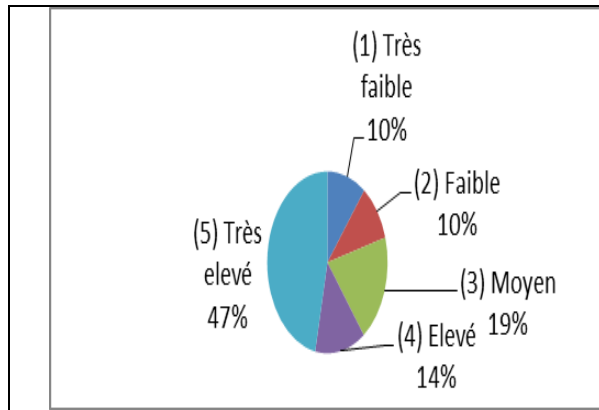


Figure 9. Pourcentages des classes de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique

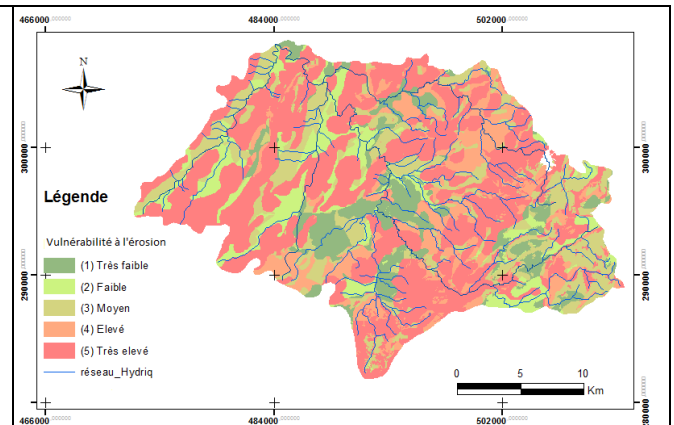


Figure 10. Cartes de Vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique

La superposition de la carte des formes d'érosion existantes sur le terrain élaborée sur bases des études d'aménagements forestiers et par des visites de validation sur le terrain a montré que l'érosion hydrique des sols dans la zone étudiée se manifeste par différents processus de l'érosion dominée par l'érosion en nappe et l'érosion linéaire (51%) suivi par l'érosion ravinante (25%).

La lutte contre l'érosion hydrique du sol s'impose aujourd'hui plus que jamais et nécessite une mobilisation particulière de tous les acteurs. Elle constitue une mesure parallèle indispensable aux solutions proposées par le Gouvernement face au stress hydrique menaçant le Maroc (construction des Barrages). A ce propos, il est certes que les mesures de lutte contre ce phénomène se fait en agissant sur chacun des facteurs causaux (par les techniques mécaniques et physiques, par un bon travail du sol, par l'amendement des sol, par végétalisation etc.) en vue d'atténuer son ampleur, mais vu que la maîtrise de la plus part de ces facteurs sur de vastes entendue s'avère très difficile et très couteuse, voire même impossible parfois, dans certains cas et pour certains facteurs (changement climatique imprévisible). Devant ces défis, le facteur qui s'avère le plus prometteux et sur lequel on doit focuser dans les interventions de lutte c'est le facteur végétal, c'est ce qu'on appelle la lutte biologique contre l'érosion.

Cette mesure de lutte doit se traduire surtout par plantation de végétaux autochtones à caractère pérenne pour assurer le succès souhaité. Les études socio-économiques relatives à la lutte biologique contre l'érosion ont montré que cette mesure de lutte est économiquement viable, techniquement efficace et elle est même rentable à moyen et à long terme. De plus elle peut générer directement des revenus (DRS fruitière, DRS forestière, plante aromatiques et médicinales (PAM)), ou peut constituer la base d'une activité génératrice de revenus (AGR) pour les populations. De ce fait la lutte biologique contre l'érosion répond aux normes

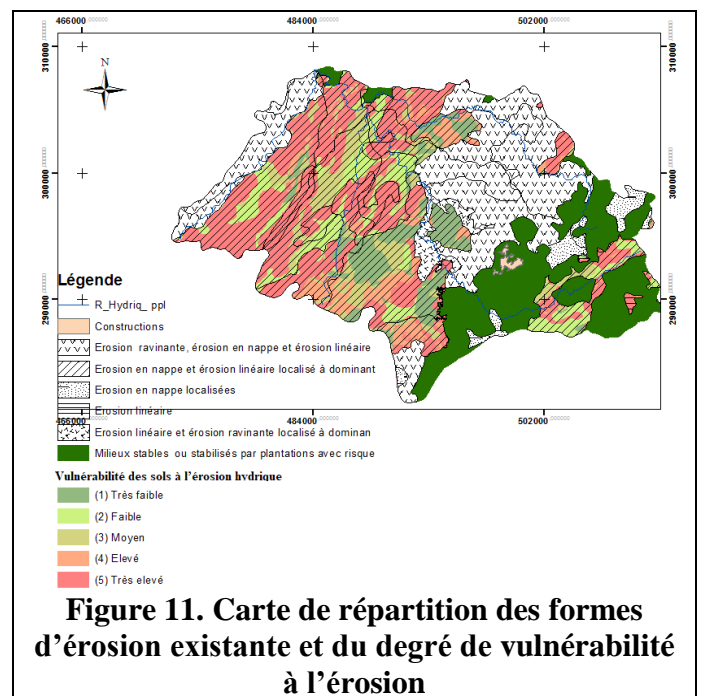


Figure 11. Carte de répartition des formes d'érosion existante et du degré de vulnérabilité à l'érosion

environnementales, économique et sociale et constitue un élément viable et efficace d'aménagement du territoire dans le cadre de développement durable.

CONCLUSION

L'étude de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans le sous bassin versant de l'oued Ifran par détermination et intégration des principaux facteurs agissant sur ce phénomène et via SIG montre que ce SBV est exposé à une érosion active et que plus des 60 % de la surface du sous bassin sont classés à forte vulnérabilité à l'érosion qui se manifeste par différentes formes. La nécessité d'intensifier les mesures de lutte s'impose de plus en plus surtout avec les changements climatiques qui sont devenus une réalité qui s'aggrave d'une année à l'autre. La lutte biologique contre l'érosion s'avère la meilleure mesure qui répond aux normes environnementales, économique et sociale et constitue un élément efficace d'aménagement du territoire dans le cadre de développement durable.

Références bibliographique:

- AIT YACINE E., ESSAHLAOUI A., OUDIJA F., MIMICH K., NASSIRI L. (2019). Assessment of Soil Erosion by (RUSLE) Using Remote Sensing And GIS. Case Of Watershed Of Beht in Upstream Of Ouljat Sultan Dam (Morocco). V14, N° 9 May 2019.
- AIT YACINE E., OUDIJA F., NASSIRI L., ESSAHLAOUI A. (2019). Modélisation et cartographie des risques d'érosion hydrique du sol par l'application des SIG, Télédétection et directives PAP/CAR. Cas du bassin versant de Beht;(Maroc). European scientific journal. V15 n°12, P259.
- HAITAMI, M. (2017). Problématique de l'Eau Au Maroc : l'heure est à l' action. Le Matin, Maroc, pp. 1–12. Retrieved from (<https://epaper.lematin.ma/lematin/special/eau-au-maroc/2017/10/16/.../page-5.html>)
- HCEFLCD. (1996). P.N.A.B.V. Retrieved February 5, 2019, from <http://www.eauxetforets.gov.ma/fr/text.aspx?id=1070&uid=83>
- Michard, A. (1976). *Eléments de Géologie Marocaine*, 408.
- PAP/CAR (PAP/PAM/PNUE). (1998). PAP/CAR: Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes. Split, Croatie.
- Wischner W. H. and Smith D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.
- WRI, 2019. RELEASE: Updated Global Water Risk Atlas Reveals Top Water-Stressed Countries and States (<https://www.wri.org/news/2019/08/release-updated-global-water-risk-atlas-reveals-top-water-stressed-countries-and-states>).

THE MORPHOLOGICAL CONSEQUENCES OF THE STORM OF 1 MARCH 2018 ON A HIGHLY ANTHROPIZED BEACH: THE CASE OF AGADIR BAY

M'hamed NMISS¹, M'hamed AMYAY¹, Nadia ATIKI², Hasna TNOURJI²

1: Université Sidi Mohamed Ibn Abdellah (LAGEA-DD). Nmiss.mhamed@gmail.com

2 : Université Ibn Zohr, FLSH, Agadir.

Abstract: Storms are universal, highly energetic events that occasionally affect coastlines and often result in rapid morphological responses and rapid impacts. These morphological consequences are obvious at the level of loose coastlines (beaches, high beach dune, estuaries, mouths...) they are essentially beach erosion, destruction of infrastructures, creation of micro cliffs... etc. Indeed, Morocco does not escape this process, it has affected by this scourge at the winter time when marine weather conditions are favourable to the genesis of storms. The purpose of this contribution is to study the storm of 1 March 2018 that hit the Moroccan coast, exposing the case of Agadir Bay. This storm has different morphological consequences, which have sometimes proved to be serious, especially on the coast of the Bay of Agadir, due to a strong anthropization. The morphological response of Agadir beach to high energy marine weather events has allowed us to identify three distinct areas: a stable area to the north, protected by the port complex, which promotes a hydrodynamic calm situation, an area strongly influenced by the storm effect, and a third area less affected to the south.

Keys word: Storms, coastlines, beaches erosion, hydrodynamic calm, Agadir bay.

LES CONSEQUENCES MORPHOLOGIQUES DE LA TEMPETE DU 1 MARS 2018 SUR UNE PLAGE FORTEMENT ANTHROPISEE : LE CAS DE LA BAIE D'AGADIR.

Résumé: Les tempêtes sont des événements universels, très énergétique affectant de temps en temps les littoraux et entraînent souvent des réponses morphologiques rapides et des impacts considérables. Ces conséquences morphologiques sont visibles au niveau des littoraux meubles (plages, dune de haute de plage, estuaires, embouchures...). Ils s'agissent essentiellement d'érosion de la plage, destruction des infrastructures, création des microfalaises...etc. En effet, le Maroc n'échappe pas à cet aléa, il est affecté par ce fléau en d'hiver quand les conditions météo-marines sont favorables à la genèse des tempêtes. Cette contribution met l'accent sur la tempête du 1 mars 2018 qui a touché la côte marocaine, en exposant le cas de la baie d'Agadir. Cette tempête a eu des conséquences morphologiques différentes qui se sont avéré parfois grave surtout au niveau du littoral de la baie d'Agadir du fait d'une forte anthropisation. La réponse morphologique de la plage d'Agadir aux événements météo-marins de forte énergie nous a permis de déterminer trois secteurs distincts : un secteur stable au Nord, protégé par le complexe portuaire engendrant une situation de calme hydrodynamique, un secteur fortement influencé par l'effet de la tempête, et un troisième secteur moins touché au sud.

Mots clés: Tempêtes, plages, microfalaise, anthropisation, baie d'Agadir, hydrodynamique.

Introduction

Storms, high intensity and low frequency marine weather events (Bruzzi, C and Provansal, M, 1996), result from the combination of several phenomena whose effects combine to raise the level of a sea, agitated by large waves, well above its usual level (Paskoff, R 2006). Indeed, these phenomena cause instantaneous changes in the coastal environment and can cause severe erosion of sandy beaches. Their effects can be disastrous with a radical change in coastal morphology that can take years or even decades to return to the original pre-shock morphology.

The sandy Atlantic beaches of central western Morocco have suffered in recent years from the occurrence of marine weather events - storms - during the winter. Their multi-year repetition raises problems of the relationship between modal functioning and extreme phenomena in the morphological evolution of the coast. Certainly, the beach of Agadir is a concrete example of this phenomenon. In January 2014, it experienced a series of storms that disrupted its coastal morphology of varying degrees (Aouiche, I. 2014). The evolution of this coastal space is linked to the combination of complex natural and anthropogenic factors (gate and tourist developments, the demographic explosion, the linear urbanization of the beach, a complex hydrodynamic system, the concretization of the border dune... etc).

This contribution presents the morphological response of Agadir beach to the storm of March 1, 2018. It aims to study mainly the marine weather conditions of its genesis and the impacts generated on the different sectors of the beach based on an analysis of spatial data.

Presentation of the study area

Located on the Atlantic coast of Morocco between parallels $30^{\circ}22'0''$ N and $30^{\circ}25'0''$ N of northern latitudes and $9^{\circ}36'0''$ W and $9^{\circ}39'0''$ W of western longitudes, Agadir beach is a transition zone between a rocky coast in the north (Western High Atlas) and a sandy, low, rectilinear coast of vast extent (Souss and Chtouka plains) in the south (Fig 1). It is subjected to a semi-arid to arid climate where rainfall does not exceed 238 mm by means of the Agadir station. The prevailing winds in the area are W and NNW winds. They are factors that generate storms during winter.

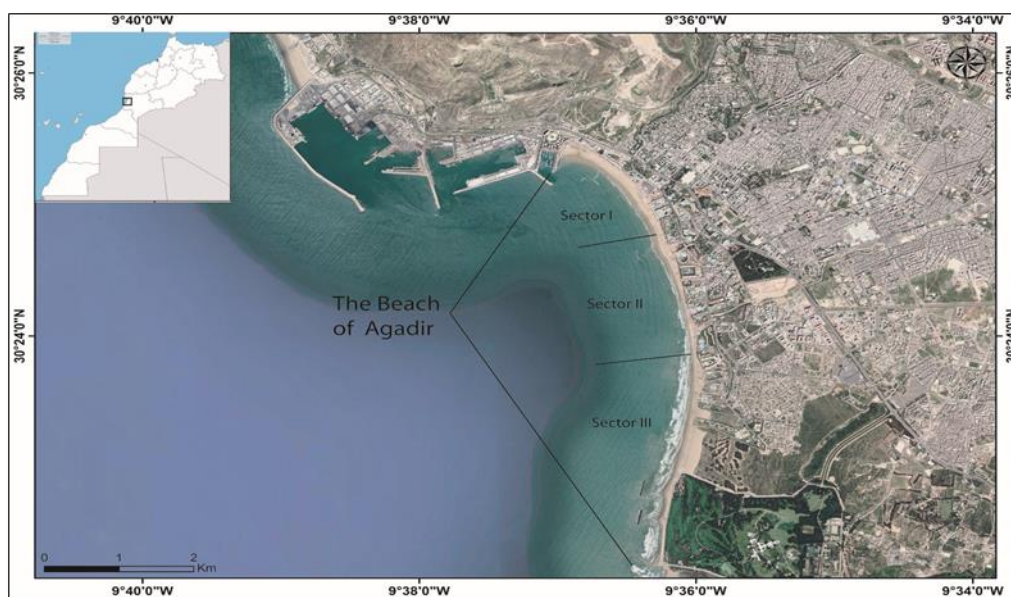


Fig.1: Geographical location of Agadir beach on the Atlantic coast of Morocco.

Agadir beach is subject to a very complex hydrodynamic regime. The swell results from a distant barometric depression and is unrelated to local winds. The waves have a NW and N direction with an average significant height of 2-3 m and an average period of 10S (fig 2).

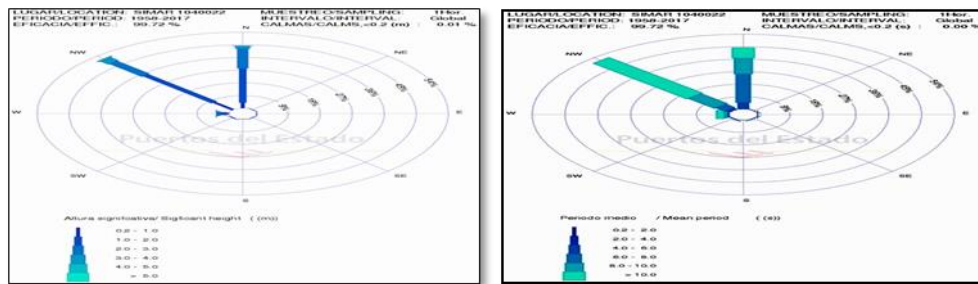


Fig. 2: The daily forecasts managed by the SIMAR Spanish border authorities. On the left the significant wave height and direction; on the right the average wave period.

Methods and data

Methodologically, studies that address the impact of storms on intertidal beaches have been based mainly on various approaches and methods (beach profiles, differential DTMs of bottoms and coastlines, macrotidal bathymetry, etc.) Brunel, C 2010. Indeed, this study focuses on the morphological consequences of the storm of 1/03/2018 and aims to study first the response of Agadir beach to high energy marine weather events.

The methodology adopted consists of studying, among other things, the meteorological and marine conditions of the genesis of the storm under study and its impact on coastal morphology. A follow-up of the meteorological situation of the storm's passage is possible thanks to the synoptic weather maps available on the site (<http://www1.wetter3.de/>). Spatial data are also of primary importance in assessing extreme events since they make it possible to track changes made by a storm within a beach before and after the passage of the event. The basic data used are Google Earth images of pre-storm and post-storm dates (Table 1).

Type of document	Before the storm	After the Storm
Google Earth images	- 09/02/2018	- 26/03/2018

Tab 1: Spatial data used in the study of the 1/03/2018 storm.

The weather and marine conditions of the genesis of the storm of 1/03/2018

To characterize the morphological consequences of the storm 01/03/2018 on Agadir beach, it is necessary to study as a priority, the marine weather conditions of its genesis based on the meteorological and oceanographic forecasts available on the site (www.windguru.cz/) (wind speed, wave height, wave periods, wave direction...) based on weather models. Actually, the relationship between modal functioning and extreme phenomena appears clearly in the data collected, whose storm is identified by its own weather and marine characteristics (Tab1). The station studied is that of Agadir Bay (lat: 30.39, lon: -9.6, alt: 31 m) by the model GFS 27 (Global forecast system) which is a weather model with a resolution of 27Km.

Analysis of marine weather data illustrating the storm event (Table 2) reveals a change in coastal hydrodynamic conditions at the time of the storm. Really, the maximum wind speed is 20 knots or 37.04 Km/h with a SW-NE direction. Wave height had recorded a maximum level of 5.4 m with a period of 15 to 16s. However, these recorded values are similar to those obtained by the daily forecasts managed by the Spanish border authorities of SIMAR point 1040022 (coordinates 30,500 N, -10,000 E) which recorded peaks in wave heights and its period Fig(4).

GF5 27 km	Vitesse du vent (noeuds)				Direction du vent				Vagues (m)				Direction des vagues				Période des vagues (s)				Pluie (mm/3h)			
	00h	06h	12h	18h	00h	06h	12h	18h	00h	06h	12h	18h	00h	06h	12h	18h	00h	06h	12h	18h	00h	06h	12h	18h
24.02.2018	6	8	5	5	←	←	↑	↑	1.4	1.4	1.3	1.2	↘	↘	↘	↘	13	13	12	12				
25.02.2018	7	10	9	9	←	←	↑	↑	1.3	1.4	1.6	1.9	↘	↘	↘	↘	11	11	14	16				
26.02.2018	5	9	12	7	←	←	↑	↑	2	2.3	2.7	2.6	↘	↘	↘	↘	15	15	14	13			4.7	
27.02.2018	4	5	6	4	←	←	↑	↑	2.5	2.5	2.4	2.2	↘	↘	↘	↘	13	14	14	13				
28.02.2018	8	6	15	13	←	←	↑	↑	2.3	3.2	4	4.2	↘	↘	↘	↘	14	15	16	15				12.5
01.03.2018	20	19	14	9	←	←	↑	↑	4.3	5	5.4	4.9	↘	↘	↘	↘	15	15	14	14	6.7	4.4	2.7	0.6
02.03.2018	5	7	4	4	←	←	↑	↑	4	3.2	2.7	2.4	↘	↘	↘	↘	14	13	13	12	0.4			
03.03.2018	5	7	6	11	←	←	↑	↑	2.4	2.3	2.6	2.6	↘	↘	↘	↘	11	11	12	12	0.4		1.4	5.9
04.03.2018	3	9	10	7	←	←	↑	↑	2.3	2.5	3.1	3	↘	↘	↘	↘	12	11	12	12			1.5	0.3
05.03.2018	4	5	7	7	←	←	↑	↑	2.7	2.5	2.5	2.4	↘	↘	↘	↘	12	12	12	11	0.4	0.4	0.5	1.1

Tab (2): marine weather forecasts of hydrodynamic conditions on the beach (source: www.windguru.cz).



Fig.3: the significant wave height and its period at the time of the storm of 01/03/2018

In addition to marine weather data, the reading of weather maps illustrating the meteorological situation allowed us to analyze and explain the climate variability that our study area may experience before and during the storm's passage. However, the time map shows the time observed at a close, limited and very precise time (most often 6h and 18h UTC coordinated universal time (Ben Brahim, Y 2016). Indeed, the geographical area covered by these maps covers Western Europe - the NE Atlantic - the Western Mediterranean and the Maghreb representing the winter season, at 00:00 UTC Fig(5). The pressure field is characterized by a vast low pressure domain concentrated on the NE of the Atlantic Ocean. It has a well-dugged depression of less than 970 hpa north of the Azores Islands (situation 27/02/2018). Then, this low gradually broke out towards the Moroccan Atlantic coasts (situation 28/02/2018) to settle at the time of the storm near Western Europe (situation 01/03/2018). The ground pressure fields coinciding with the storm is 1005 hpa. Although this value has been found to be normal, their morphological consequence on a highly anthropized beach - the case of Agadir - is obvious.

Morphological consequences of the storm of 1/03/2018 on the beach of Agadir

The major morphological changes induced by the storm on Agadir beach differs from one sector to another. We have determined 3 main areas based on the damage and radical changes that the morphology of the coast affects. Fig 1

Sector I: it is located at the bottom of the Bay of Agadir, it is protected to the north by the port complex which is somehow destroyed by the strong swells of the N - NNW. Indeed, this shelter situation plays a crucial role in protecting this sector from stormy events and thus

promotes the creation of a hydrodynamic calm situation. The effect of the storm of 01/03/2018 remains insensitive in this sector thanks to this situation.

Sector II: This sector is the most affected by the storm of 01/03/2018 due to its exposure to N-NNW swells on the one hand and the absence of coastal protection works (breakwaters) on the other hand. The passage of the marine weather event in this area had left their mark on the coastal morphology that underwent a radical change manifested by alarming coastal erosion. Indeed, the impacts of the storm were evident in some areas and others. As a result, the impacts are mainly located on the foreshore and the aerial beach, from which it suffers an estimated total erosion of more than 2 m (picture 1).

Sector III. It is located south of the beach, this area is also attacked by the storm, but this time of intermediate degree of those above. The impact of this high energy marine weather event remains limited to the creation of micro cliffs attesting to the level reached by the sea.

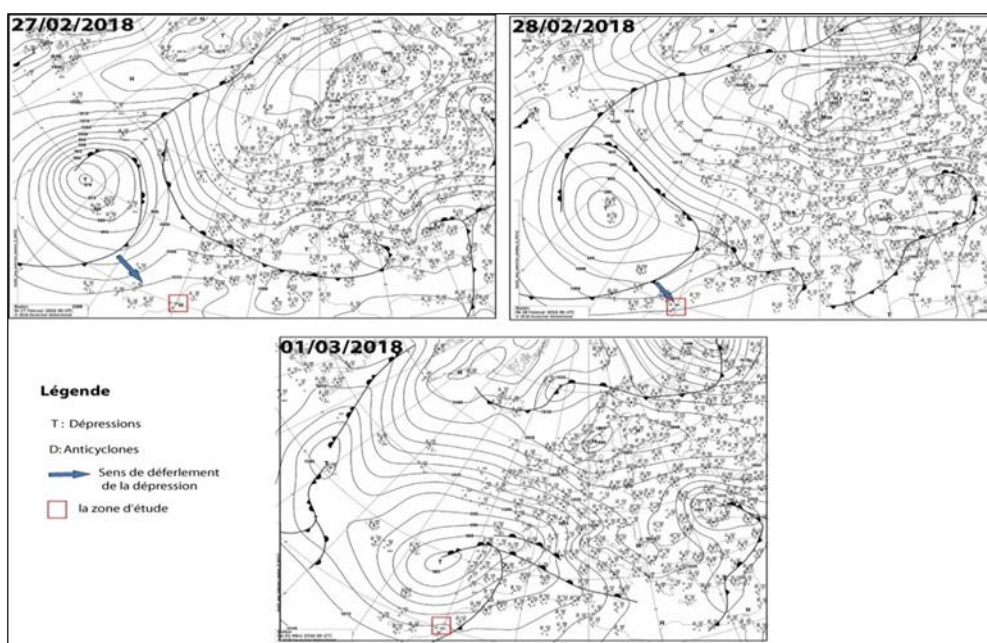


Fig.4: The meteorological situation on the ground showing the conditions of the storm's genesis.



Picture 1: Blatant coastal erosion of Agadir beach



Picture 2: The creation of micro cliffs within the beach following the passage of the storm

The anthropization of Agadir beach, and the total destruction of the high beach dune that has been replaced by a cornice are the main causes of these harmful morphological modifications of the coast following the passage of a storm.

The use of spatial data also allowed us to determine the morphological impacts of the storm in this area in a more distinct way. Indeed, the comparison of two different beach situations; before and after the storm makes it possible to detect the morphological consequences at a distance. On Google Earth images, we note that this sector was well equipped with parasols and tourist equipment in front of the hotels (Beach club and Mediterranean club) before the storm and their disappearance after the storm passed (fig 1).



Fig 5: The impacts of the storm on tourism infrastructure and facilities to sector 2.

Conclusion

The morphological consequences of storms have proved to be more damaging on sandy beaches in semi-arid to arid environments that are highly anthropized. Indeed, the case of the storm of 01/03/2018 is only one concrete example of these extreme phenomena that occur on the coasts during winter. Unusual wave heights and wind speeds are generated by the phenomenon. The morphological response of Agadir beach to high energy marine weather events differs from one coastal sector to another. We have actually identified 3 main areas; a northern area protected by the port complex and therefore, it is in a situation of shelter and hydrodynamic calm. A median sector (sector 2) strongly influenced by the effect of the storm, from which it undergoes a radical change in its coastal morphology exacerbated by a strong erosion of the beach. And a third meridian sector (sector 3) less affected by the storm, which contributes to the creation of micro cliffs and an invasion of sand towards the air beach.

Bibliography

- AOUICHE I, OMDI F.Z, DAOUDI L, ANTHONY E.J, SEDRATI M, 2014: Réponse d'une plage fortement anthropisée en milieu semi-aride à une série de tempêtes (cas de la baie d'Agadir, Maroc atlantique) XIIIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil P 215-224.
- BEN BHAIM, Y 2016 : carte du temps : lecture, analyse et élaboration. (application sur le climat du Maroc.
- BRUNEL, 2010 : évolution séculaire de l'avant côte méditerranéenne française. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille I- université de Provence. 470 p.
- BRUZZI, C et PROVANSAL, M, 1996 : impacts morphosédimentaires des tempêtes sur les côtes de Provence. Quaternaire, 7, (2-3), 1996, p. 129-137.
- PASKOFF, R 2006 : les littoraux : impacts des aménagements sur leur évolution. Armand colin, 259 p.

IMPACTS ET FORMES D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE: CAS DU LITTORAL DES KEBDANA

SAIDI Abdelouahid¹, SBAI Abdelkader², BOUABDALLAH Mostafa², BAHKAN Mimoun², EL MAHDAOUI Mimoun³

1) Faculté Polydisciplinaire Taza. 2) Université Mohamed 1^{er}. Oujda
3) Université Sultan Moulay Slimane, Beni Mellal

RESUME: Des aléas climatiques générés par l'augmentation de la température mettent en danger l'avenir des zones côtières. Les phénomènes néfastes causés par ce genre de risque suscitent de sérieuses préoccupations chez les sociétés humaines et de profondes discussions au sein de la communauté scientifique (les gouvernements, les ONG, les centres d'études et les institutions de recherche scientifique). Dans ce sens, le littoral des Kibdana, situé au nord est du Maroc, est exposé sérieusement à ce risque.

Les renseignements et les informations récoltés ont été présentés d'une part sous forme de cartes pour montrer l'impact de ce risque et d'autre part sous forme de figures graphiques pour envisager les formes d'adaptation adoptées par la population envers ce phénomène. Afin de réaliser ces objectifs, nous avons élaboré des cartes pour déterminer les zones ayant une vulnérabilité très élevée et nous avons aussi mené des enquêtes auprès de la population au fur et à mesure qu'elle constitue un pouvoir de proposition dans l'aire d'étude. A partir de là, les résultats obtenus constituent le sujet de cette présente communication.

Mots clés : Aléas climatiques, Vulnérabilité, Adaptation, Littoral des Kibdana, Maroc nord-est.

Impacts and forms of adaptation to climate change: the case of the Kibdana coast

Abstract: Climatic hazards generated by the increase in temperature endanger the future of coastal areas. The harmful phenomena caused by these kinds of risks raise serious concerns in human societies and deep discussions within the scientific community (governments, NGOs, research centers and scientific research institutions). In this sense, the Kibdana coastline in the north east of Morocco is seriously exposed to this risk.

The information gathered were presented on the one hand in the form of maps to show the impact of this risk and on the other hand in the form of graphical figures to consider the forms of adaptation adopted by the population towards this phenomenon.

In order to achieve these objectives, we have drawn up maps to determine the areas with a very high vulnerability and we have also conducted surveys among the population as it becomes a power of proposition in the area of study. From there, the results obtained constitute the subject of this present communication.

Key words: Climatic hazards, Kibdana littoral, Adaptation, Vulnerability, Northeastern Morocco.

Introduction

Le groupe intergouvernemental pour l'évolution du climat suppose que l'élévation de niveau de la mer est en moyenne de 60 cm pour le XXI siècle (GIEC, 2007). Ceci est dû à l'augmentation des températures qui est à l'origine des risques qui font régresser des plages, perturber des traits de côtes et du transport sédimentaire. Les risques liés à ce changement climatique se font également sentir dans le littoral de Kibdana au Nord-Est du Maroc. Les potentialités culturelles, hydriques, halieutiques et environnementales tout au long de ce littoral seront affectées dans leurs disponibilités et leurs durabilités. Pour confronter ces risques, les agriculteurs et les pêcheurs s'engagent à surmonter les enjeux de ces changements

par des pratiques d'adaptation. Cette stratégie concerne également l'Etat qui doit intervenir à travers des mesures et des actions au niveau juridique et par des opérations et des travaux d'aménagement.

I. Présentation de la zone d'étude

Situé en contact avec la mer Méditerranée et la lagune de Nador et entre la plaine de Bou Arg à l'ouest et la basse Moulouya à l'est, le littoral des Kebdana présente une association d'unités morphologiques (montagne, piémont, plaine, dunes : Figure 1).

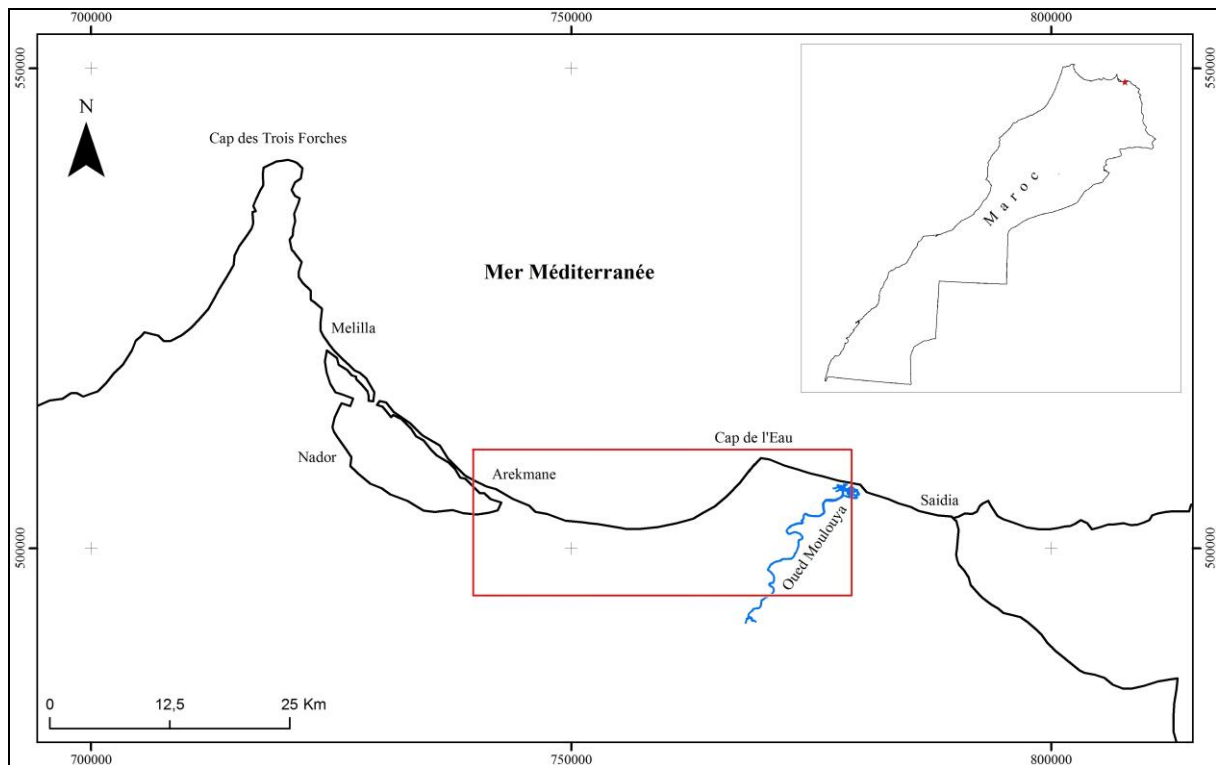


Figure 1. Situation du littoral des Kebdana sur le littoral méditerranéen est du Maroc

Ce littoral s'étend sur des écosystèmes importants comportant des falaises rocheuses, des couvertures végétales, des dunes, des plages sableuses et des marécages. Il connaît une urbanisation accélérée et présente des potentialités aussi bien culturelles qu'halieutiques : il abrite de nombreux points d'embarquement non aménagés et un port moderne à Cap de l'Eau. Son domaine agricole comporte des terrains irrigués et des terrains en Bour (Figure 2).

Cette zone littorale appartient au climat méditerranéen semi-aride à hiver tempéré caractérisé par l'irrégularité de ses précipitations dans le temps. Parfois, des événements pluvieux exceptionnels surviennent après une longue sécheresse estivale. Nous citons par exemple en 2004 les trois journées du 13 /14/15/ mars qui ont enregistré à Cap de l'Eau 145 mm, soit 57,8 % du volume annuel. En 2007, les deux journées du 9 et 10 novembre ont enregistré à Arekmane 202 mm, soit 38 % du volume annuel. Les données thermiques des stations (Nador, Arekmane) montrent que la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 17,4 °C et varie de 12,3°C pendant la période hivernale à 24°C au cours de la période estivale.

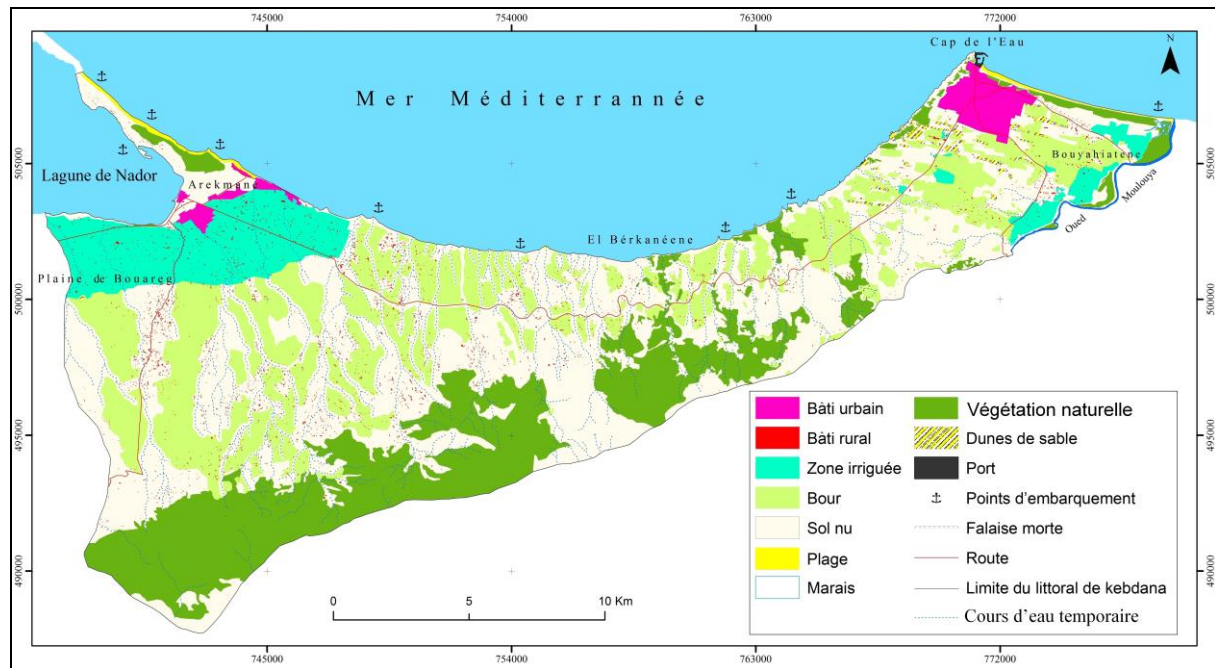


Figure 2. Mode d'occupation du sol dans le littoral de Kebdana (Source : photo aérienne de 1958 : échelle : 1 /20000, Cartes topographiques à 1/25000 (feuilles de Cap de l'Eau, Arekmane, Berkanène)

II. Méthode de travail et résultats

Une enquête de terrain a été réalisée auprès des pêcheurs artisanaux, des agriculteurs de Bour et d'irrigation, des éleveurs et des professionnels du tourisme. Dans ce contexte, nous avons traité 300 fiches (150 à Arekmane, 100 à Cap de l'Eau, 50 fiches dans la commune de Berkanène). Les fiches ont été interprétées à l'aide du logiciel Sphinx et sous Excel. L'utilisation des SIG a été nécessaire pour produire les cartes à partir des photos aériennes.

Les résultats obtenus présentent un ensemble de mesures d'action servant à développer une stratégie d'adaptation telles qu'elles sont conçues par la population enquêtée contre les effets négatifs engendrés par le réchauffement climatique.

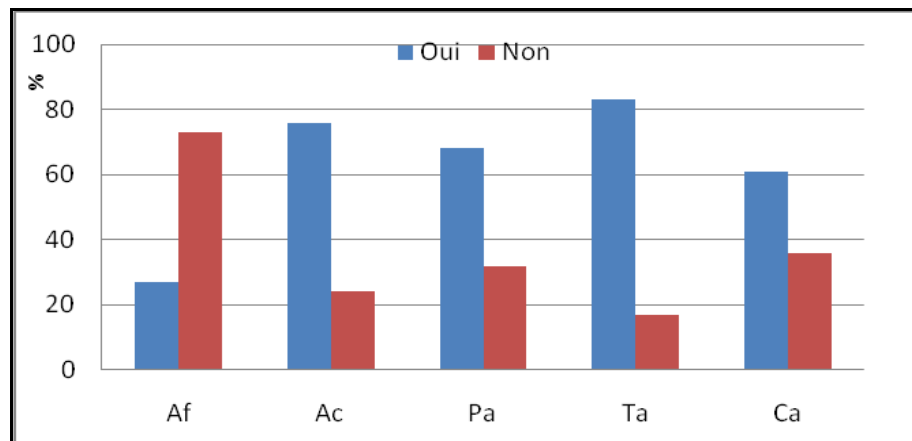
III. Aspects des changements climatiques (Agriculture et pêche maritime)

L'augmentation de la quantité du sel de l'eau et l'abaissement de niveau piézométrique dans la nappe phréatique sont deux indicateurs montrant le changement du climat selon 90% des agriculteurs. Certains agriculteurs travaillant dans des parcelles irriguées dans la plaine côtière irriguée à Cap de l'Eau ont constaté que les eaux salines poussées par les courants marins gagnent les eaux douces de la partie inférieure d'oued Moulouya depuis l'édification du pont de la rocade méditerranéenne (enquête du terrain).

Ces remarques confirment les résultats des prélèvements que nous avons effectués à plusieurs points justes à côté d'Oued Moulouya. Il s'agit d'une prédominance d'ion salins : le Sodium au niveau des cations (entre 960 mg/l et 1060 mg/l) et le Chlore au niveau des anions (entre 1249mg/l et 1499mg/l) à savoir que les normes moyennes pour les deux indices sont respectivement 115 mg/l et 750mg/l pour les deux indices (Saidi, 2017).

L'accès aux ressources hydriques devient de plus en plus délicat. La carence en eau douce a suscité de vifs conflits entre les agriculteurs en l'absence de toute forme d'intervention de l'Etat. Les cultivateurs se plaignent de l'augmentation des prix de l'eau

utilisée pour l'irrigation, car l'Etat ne fournit aucun appui substantiel en faveur des petits agriculteurs pour développer leurs projets et améliorer leur rendement (Figure 3).



Af : Accès facile ; Ac : Accès coûteux ; Pa : Problèmes entre les agriculteurs
Ta : Augmentation des tensions Ca : Concurrence entre les agriculteurs

Figure. 3. Problèmes relatifs à la gestion de l'eau (Source : Enquête du terrain)

Les agriculteurs de Bour sont obligés de faire réduire la superficie cultivée en blé tendre et en maïs entre les deux années 1984 et 2014 (Figure 4). Presque 54% des interrogés interprètent ce recul à l'abaissement du nombre des jours pluviaux et le retard de ses premières gouttes et aussi à l'exode rural qui a frappé violemment les zones Bour. En revanche, les superficies céréalières sont converties en superficies d'oliveraie, d'amanderaie dans des zones irriguées.

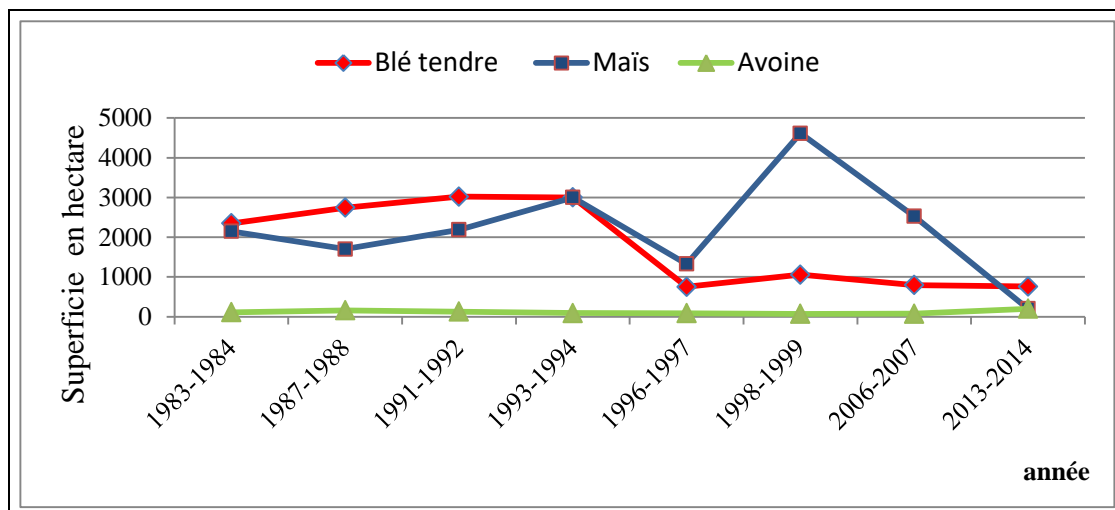


Figure.4. Evolution des superficies des trois céréales principales entre 1983 et 2014 dans la partie ouest du littoral des Kebbana. (Source des données statistiques : Office Régional de Mise en Valeur Agricole de la Moulouya / Berkane)

Les pêcheurs opérant dans la pêche artisanale et industrielle ont constaté que l'élévation du niveau de mer a induit la régression et par conséquent, leurs revenus mensuels et annuels ont connu une réduction notable. Cette régression des stocks halieutiques est le résultat de l'absence d'une loi organisant les épisodes de repos biologique (Figure 5).

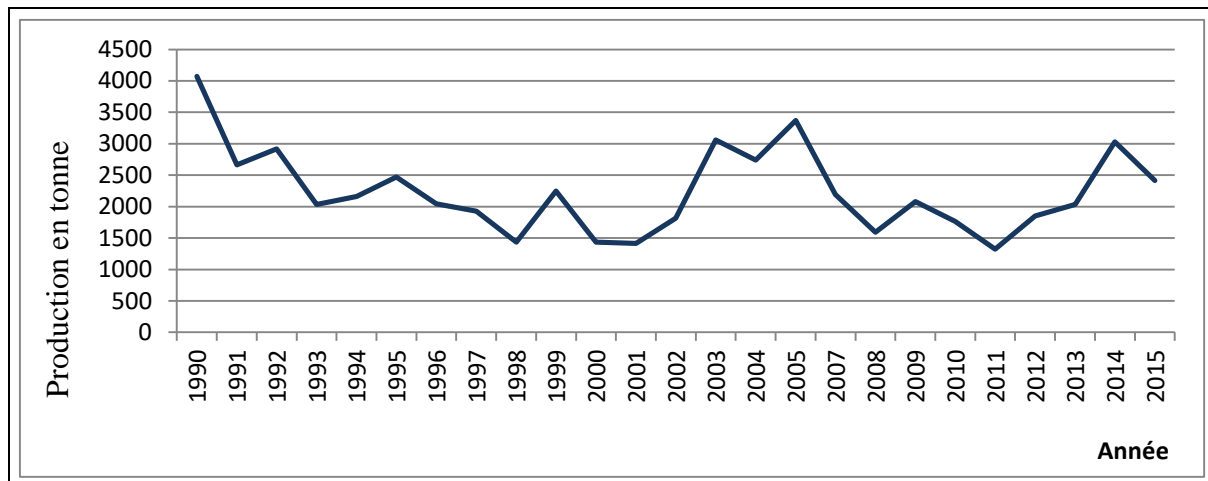


Figure 5 : Evolution de la production halieutique au port de Cap de L'Eau (Source des données statistiques : Office de la Pêche Maritime de Ras Kebdana).

IV. Domaines d'adaptation et de protection

Les agriculteurs demandent l'abandon des mauvaises pratiques de l'irrigation (segua ; canal d'irrigation à ciel ouvert), car ce système rudimentaire implique d'importantes pertes en eau par évaporation et infiltration. La population locale demande l'intervention de l'Etat pour résoudre le problème de la rareté de l'eau en partageant d'une façon équitable les eaux et en sanctionnant ceux qui violent ces règles. Les agriculteurs préfèrent se renseigner sur les mesures d'adaptation pour atténuer les effets néfastes liées au réchauffement climatique.

Ces cultivateurs (95% des interrogés) ont apporté leur soutien aux nouvelles techniques d'irrigation localisée, car celles-ci améliorent le rendement de l'agriculture et les revenus des petits agriculteurs. En outre, ils l'ont considérée comme une méthode optimale pour valoriser les ressources en eau. Toutefois, ils ont exprimé leurs réserves envers cette technique car elle satisfait spécifiquement les besoins des parcelles dont la superficie est moins de 5 hectares et exclut celles de plus de 5 hectares.

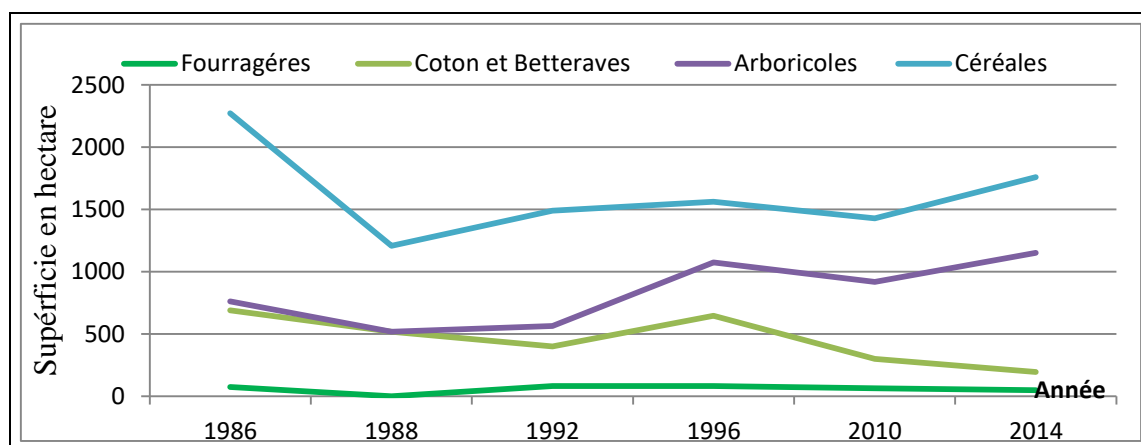


Figure 6. Evolution des superficies des cultures agricoles entre 1986 et 2014 (Source des données statistiques : Office Régional de Mise en Valeur Agricole de la Moulouya / Berkane)

En fait, les agriculteurs de la plaine irriguée de Bouyahiatene et de Bouareg (Figure.2) ont remplacé la betterave sucrière par des céréales et des légumes (Figure 6). Les nouvelles techniques utilisées par les cultivateurs (64 %) s'intéressent à exercer la rotation agricole, la culture sèche (orge, blé dur) et le repos agricole pour affronter la pénurie en eau et en main

d'œuvre. Au niveau de l'aménagement, les enquêtées ont proposé sur le bord de mer un aménagement qui fait adapter les activités du tourisme balnéaire aux normes de la gestion intégrée (Figure7).

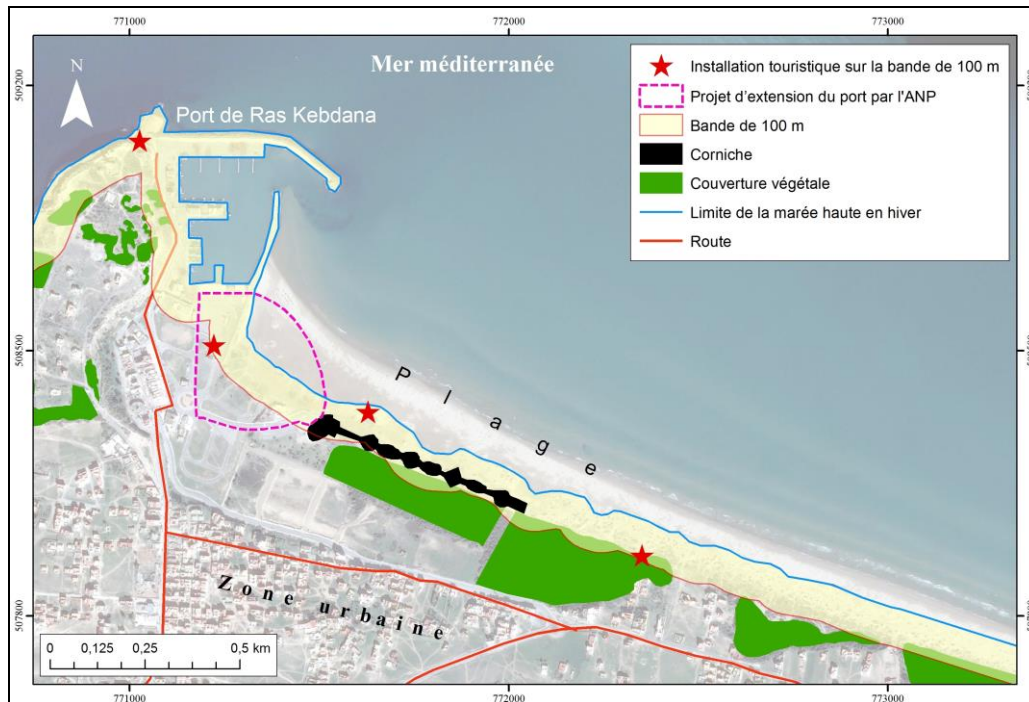


Figure.7. Vulnérabilité de la côte de Cap de l'Eau à l'activité touristique

Conclusion

Les aléas liés aux changements climatiques risquent de déstabiliser l'équilibre fragile des ressources du milieu naturel et le cadre socio-économique dans l'aire d'étude. D'après l'enquête, l'agriculture pluviale et les activités de la pêche artisanale sont plus sensibles au changement climatique que l'agriculture irriguée et la pêche industrielle. A partir de là, il s'avère important d'adopter deux méthodes : la principale méthode s'appuie sur les formes d'adaptation pour les agriculteurs et les éleveurs ; la seconde est celle qui vise la protection de ceux qui habitent au bord de la mer.

Références bibliographiques

- GIEC/IPCC, (2007) - Groupe de travail du GIEC. Quatrième Rapport d'évaluation, Bilan 2007 des changements climatiques, les bases scientifiques physiques. Résumé à l'intention des décideurs. 25p.
- RAPPORT, (2015) - Evolution de la production halieutique. Office de la Pêche Maritime de Ras Kebdana.
- SAIDI A. 2017 – Le littoral des Kebdana (Nord-est du Maroc) : Modelé et dynamique actuelle. Thèse de doctorat. Université Mohamed Ier. FLSH, Oujda, 458 p.
- OFFICE Régional de Mise en Valeur Agricole de la Moulouya / Berkane, (2014). Service de la production agricole annuelle. Recensement général, campagnes : 1984-2014.

EVALUATION DU RISQUE D'INONDATION ET DE LA VULNERABILITE URBAINE PAR DES MODELISATIONS HYDRAULIQUES 1D ET 2D: CAS DU BASSIN DE MELILLA-BENI ANSAR

Najat AMARJOUF, Mostafa OUIJDI

Laboratoire Géosciences Appliquées (LGA), Faculté des Sciences, Université Mohamed Premier, Oujda. amarjoug_najat@yahoo.fr

RÉSUMÉ: Aux moments des crues, l'inondation provoquée par le débordement des cours d'eau traversant une zone urbaine constitue un danger majeur pour la vie humaine. Les eaux ruisselées sont incapables de s'infiltrer dans un sol bétonné, elles s'accumulent et paralysent toutes les circulations terrestres (routes, chemins de fer). Le bassin Melilla-Béni Ansar héberge des agglomérations de fortes populations et il est traversé par des cours d'eau torrentiels et éphémères. Les quartiers riverains de ces cours d'eau sont les plus vulnérables aux eaux des inondations chargées souvent des sédiments. En octobre 2008, le Maroc a connu une inondation catastrophique engendrant d'énormes dégâts matériels et de lourdes pertes humaines. L'objectif de cette étude est de réaliser des modélisations hydrauliques numériques uni et bidimensionnelle de cette inondation exceptionnelle qui a touché le bassin Melilla-Béni Ansar. Des cartes synthétiques de la vulnérabilité et du risque à l'inondation ont été réalisées à la base de l'étude d'aléa. Ces modélisations hydrauliques ont permis d'élucider le risque du débordement des oueds de ce bassin.

Mots-clés : Bassin versant, Inondation urbaine, Vulnérabilité, Modélisations hydrauliques.

URBAN FLOOD RISK AND VULNERABILITY ASSESSMENT BY 1D AND 2D HYDRAULIC MODELLING: THE CASE OF THE MELILLA-BENI ANSAR CATCHMENT

ABSTRACT: Flooding caused by overflowing watercourses crossing an urban area is a major danger to human life. The runoff water is unable to infiltrate concrete ground; it accumulates and paralyzes all land traffic (roads and railways). The Melilla-Beni Ansar catchment is home to agglomerations with large populations and is crossed by torrential and ephemeral creeks. Neighbourhoods bordering these creeks are the most vulnerable to floodwaters, which are often laden with sediment. In October 2008, Morocco experienced a catastrophic flood causing enormous material damage and heavy loss of life. The objective of this study is to carry out one- and two-dimensional digital hydraulic modelling of this exceptional flood, which affected the Melilla-Beni Ansar catchment. Synthetic maps of the vulnerability and risk of flooding were produced as the basis of the hazard study. These hydraulic models made it possible to elucidate the risk of the overflow of the watercourses in this basin.

Keywords: Catchment, Urban flooding, Vulnerability, Hydraulic modelling.

INTRODUCTION

L'extension de l'urbanisation limitrophe des cours d'eau redouble le risque d'inondation puisqu'elle accroît la vulnérabilité des secteurs inondables (VALY, 2010). Les sols bétonnés des villes limitent fortement la capacité d'infiltration des eaux dans le sol, favorisant le ruissellement des eaux de surface au cours des épisodes pluvieux. La vulnérabilité à l'inondation est la mesure des dommages rapportés à l'intensité de l'aléa. Elle

est évaluée à partir de différentes informations concernant le type d'occupation des sols et divers autres facteurs d'ordre socio-économiques. La vulnérabilité de la population à un aléa donné est analysée et évaluée à l'aide d'indicateurs sociaux (méconnaissance d'aléa, préjudice corporels) ou d'indicateurs économiques (dommages structurels, pertes fonctionnelles), (TANGUY, 2012). Les constructions vulnérables aux inondations sont évaluées à l'aide de méthodologies spécifiques en fonction de l'âge et la qualité de telles constructions (JOUSSEAUME et MERCIER, 2009).

Sous un climat méditerranéen semi-aride, les cours d'eau sont éphémères et ne sont dynamiques que lors les jours pluvieux. Les bassins versants sont torrentiels et peuvent générer des crues soudaines (CAMARASA & SEGURA, 2001). Suite aux changements climatiques les cours d'eau éphémères semblent survenir rarement. De plus, la croissance démographique encourage la population à s'installer dans des plaines vulnérables aux inondations. En automne 2008, le Maroc est affecté par des inondations inhabituelles dues à des chutes de pluies diluviennes. Les inondations du 26 et 27 octobre 2008 sont considérées parmi les plus dévastatrices et les plus meurtrières dans la région du Rif. Notamment, Les oueds du bassin Melilla-Béni Ansar qui ont été en pleine énergie durant cette crue.

Cette étude vise à simuler l'aléa d'inondation dans le bassin de Melilla-Béni Ansar par des modélisations hydrauliques en utilisant les logiciels HEC-RAS 1D et Iber 2D. L'évaluation de la vulnérabilité à l'inondation est strictement limitée aux dommages structurels causés par l'inondation 2008 (routes, maisons, écoles et bâtiments administratifs). La carte du risque établie est classée selon la densité de l'occupation des sols et les routes endommagées.

1. Description de la zone d'étude

Le bassin de Melilla-Béni Ansar est soumis à un climat méditerranéen semi-aride, souvent irrégulier avec des précipitations annuelles moyennes de 350 mm (CARLIER, 1971; BARATHON, 1987; SBAI, 1992). La zone urbaine du bassin de Melilla-Béni Ansar est traversée par cinq cours d'eau provenant du massif de Gourougou, dont les plus importants sont oued Medouar qui débouche à l'enclave de Melilla et oued Arroyo la Mezquita qui traverse la zone frontalière entre Melilla et la ville de Béni Ansar. Au sud du port de Nador, se trouvent deux petits oueds qui se jettent dans la lagune de Marchica (oued Akhandouk et oued Châabat Akhandouk).

Avant la construction du port de Nador sur la partie marécageuse de Marchica, en 1978, oued Ouchen débouchait directement dans la lagune de Marchica. Suite au comblement de la partie marécageuse de ladite lagune, cet oued se trouve aujourd'hui sans exutoire vers la mer et déverse directement dans le port de Nador. Notons que Oued Ouchen provoque souvent de graves inondations lors de fortes pluies (AMARJOUF et *al.*, 2014). Le couvert végétal est limité juste en amont du bassin de Melilla-Béni Ansar. L'occupation des sols est condensée sur le littoral du bassin Melilla-Béni Ansar permettant aux citoyens de profiter des opportunités d'échanges commerciales entre le continent et la mer (Figure 1).

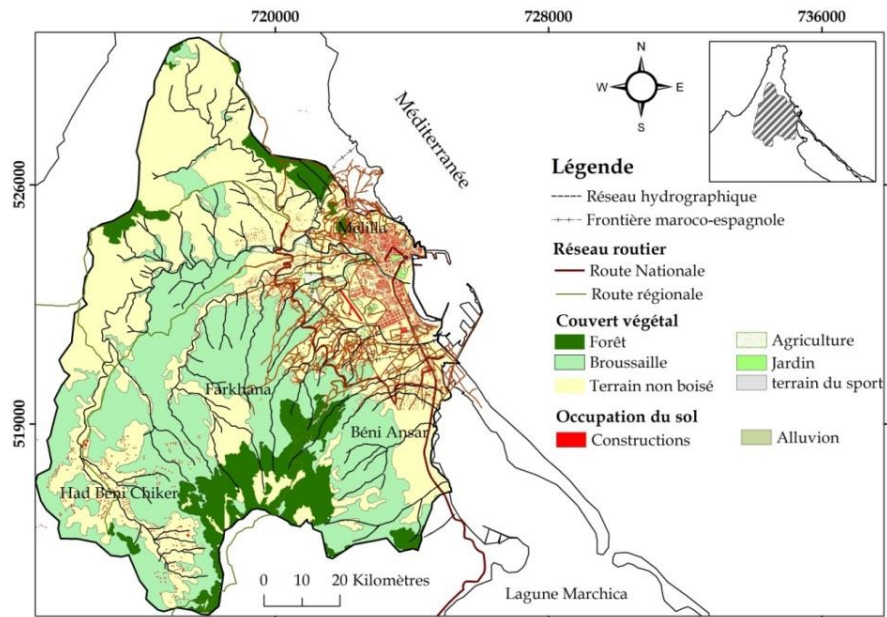


Figure 1. Occupation du sol dans le bassin de Melilla-Béni Ansar (AMARJOUF, 2018)

2. MATERIEL ET METHODES

Nous avons utilisé les logiciels HEC-RAS 1D et Iber 2D pour simuler l'inondation d'octobre 2008 qui a touché le bassin Melilla-Béni Ansar. Les oueds étudiés sont oued Arroyo La Mezquita, oued Ouchen et oued Akhandouk, car ces oueds ont enclavé la région pendant des heures et ont engendré des dégâts matériels significatifs. Une cartographie qualitative de la vulnérabilité à l'inondation a été réalisée en se basant sur le diagnostic du terrain. Notons que l'inondation de l'année 2008 n'a pas causé de pertes humaines dans la zone étudiée. Les dommages structurels importants recensés sont la dégradation des routes et l'enclavement des quartiers pendant plusieurs heures.

La construction d'un modèle hydraulique nécessite des données topographiques décrivant le lit d'une rivière, ses affluents et sa plaine inondable, ainsi que des informations sur tous les processus externes qui affectent le ruissellement (débit, coefficient de Manning) (AMARJOUF et al., 2019).

Le logiciel HEC-RAS 1 D est conçu pour effectuer des calculs hydrauliques unidimensionnels pour un réseau complet de canaux naturels et/ou construits (USACE, 2010). La figure 2 résume les étapes suivies lors de cette modélisation hydraulique.

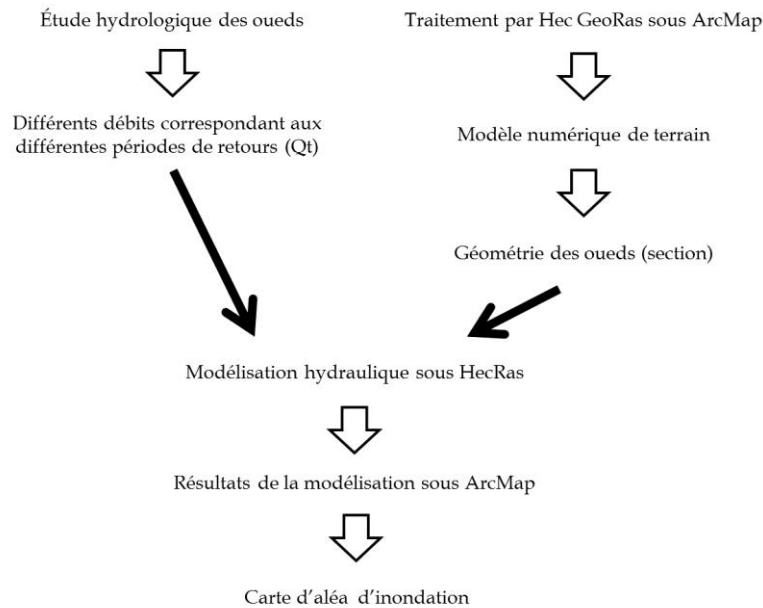


Figure 2. Étapes de modélisation d'aléa d'inondation avec le logiciel HEC-RAS et HecGeoRAS (AMARJOUF, 2018)

Le logiciel Iber 2D est destiné à la modélisation bidimensionnelle des cours d'eau. Il permet de réaliser des cartes hydrodynamiques et morphologiques d'une rivière donnée. Les étapes de la modélisation bidimensionnelle sous le logiciel Iber 2D sont résumées dans la figure ci-dessous.

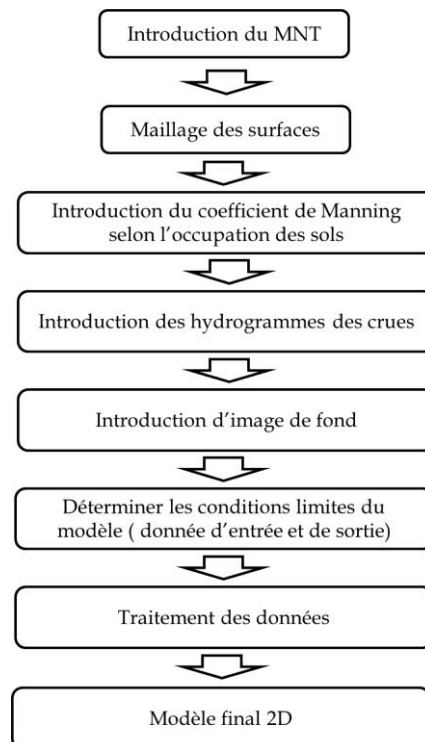


Figure 3. Étapes de modélisation bidimensionnelle sous le logiciel Iber 2D (AMARJOUF, 2018)

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La figure 4 est une carte synthétique d'aléa de l'inondation obtenue par les deux modélisations utilisant les logiciels HEC-RAS 1D et Iber 2D. Cette figure montre que l'aléa

est fort au niveau des plaines inondables et au niveau de l'axe du chenal des trois oueds étudiés (oued Arroyo La Mezquita, oued Ouchen et oued Akhandouk).

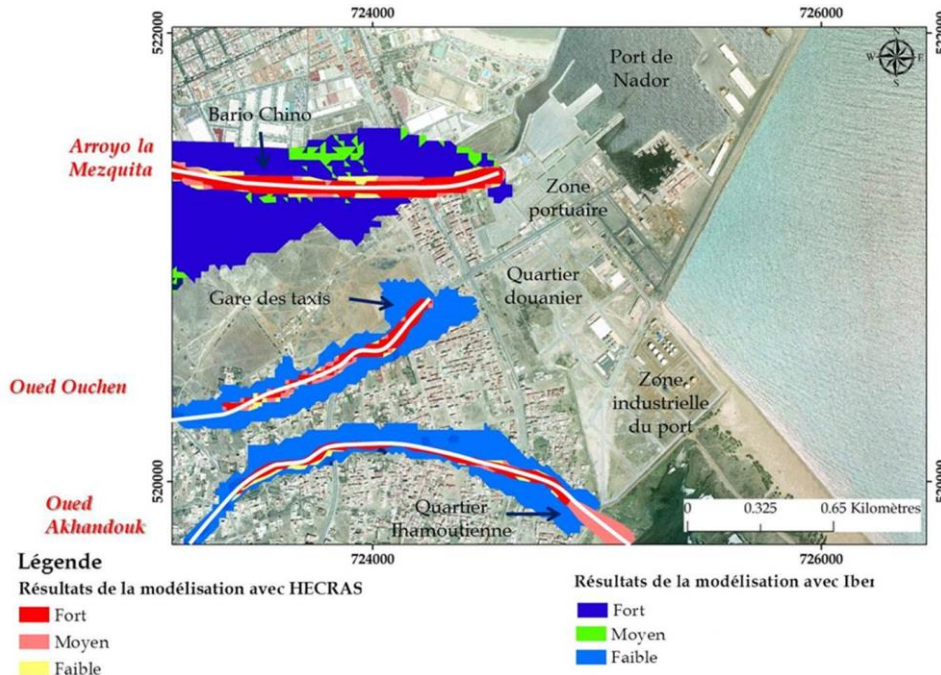


Figure 4. Carte d'aléa d'inondation dans la zone urbaine du bassin de Melilla-Beni Ansar (AMARJOUF, 2018)

La zone urbaine du bassin de Melilla-Béni Ansar est recouverte des sols bétonnés caractérisés par une très faible infiltration de l'eau. Les principaux milieux exposés au danger de l'inondation sont les routes et les quartiers limitrophes des oueds (Figure 5). Les inondations d'octobre 2008 n'ont pas causés uniquement des dégâts matériels dans les zones immergées par l'eau, mais ils ont engendré également des pertes financières importantes à cause du blocage des moyens de transport (terrestre, marin et aérien). Les quartiers limitrophes des cours d'eau (Barrio Chino, quartier Ihamoutienne,...) sont moyennement vulnérables aux inondations. Au fur et à mesure qu'on s'éloigne des cours d'eau la vulnérabilité aux inondations devient faible.

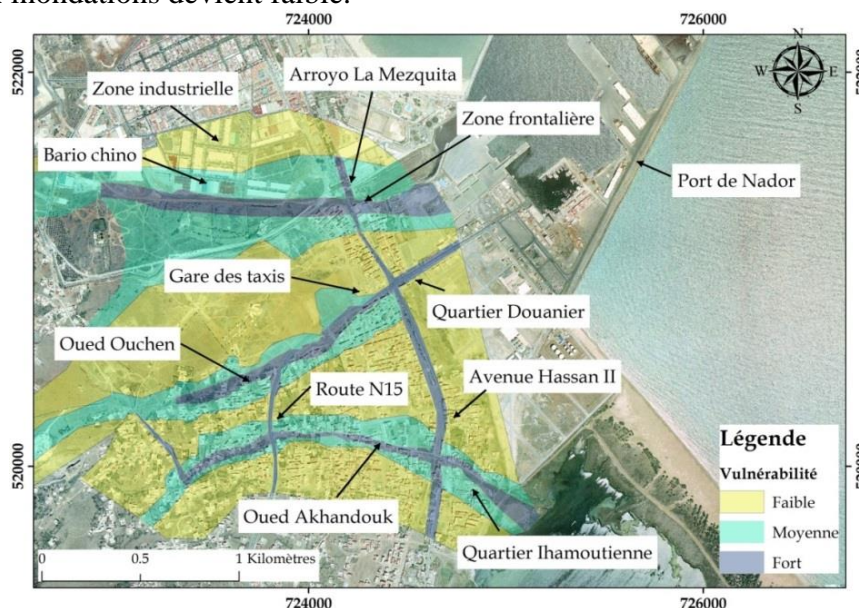


Figure 5. Carte de vulnérabilité à l'inondation dans la plaine du bassin de Melilla Beni Ansar (AMARJOUF, 2018)

La figure 6 est une carte synthétique des deux modélisations hydrauliques 1D et 2D et du diagnostic des terrains inondables. Elle résume les trois degrés du risque d'inondation dans les quartiers traversés par les trois oueds (oued Arroyo La Mezquita, oued Ouchen et oued Akhandouk). Le danger est fort près des quartiers et des zones goudronnées imperméables.

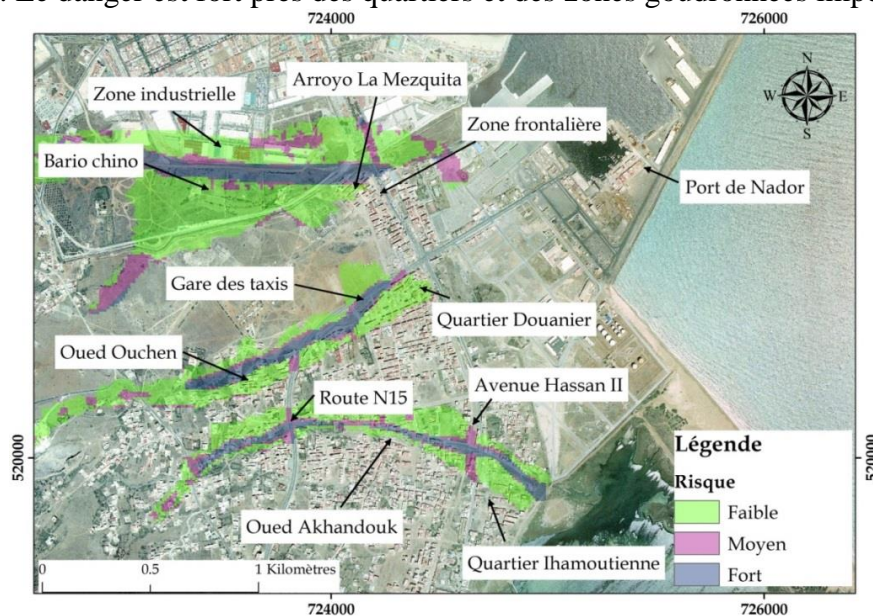


Figure 6. Carte du risque d'inondation du bassin de Melilla Béni Ansar (Amarjoug, 2018)

CONCLUSION

Nous avons présenté une étude théorique de l'inondation catastrophique de l'année 2008 qui a touché la zone urbaine du bassin Melilla-Béni Ansar (province de Nador). Cette étude est basée sur des simulations numériques utilisant les logiciels HEC-RAS 1D et Iber 2D. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence les cartes d'aléa de vulnérabilité et du risque aux inondations dans la zone étudiée. Les zones urbanisées de ce bassin est la zone la plus vulnérable aux inondations. Ces résultats sont compatibles avec les différentes informations recueillies sur le terrain. Pour protéger le bassin Melilla-Béni Ansar contre les risques d'inondations, on doit accorder des aménagements hydrauliques appropriés et prévoir des dimensionnements des ouvrages d'art existants.

Références bibliographiques

- AMARJOUF N., OUJIDI M., PINHEIRO L. M., HAMMADI A., & REZQI H., (2016). Assessing the spatial and temporal volumes of siltation with a historical approach: Application in Nador's harbor (Morocco). *Thalassas international Journal*. N°32, 51–64.
- AMARJOUF N., HAMMADI A., OUJIDI M. & REZQI H., (2014). Sedimentological, geochemical, and morphoscopic characterization of sediments from Nador Harbor (Morocco). *Bulletin de l'Institut Scientifique de Rabat. Section Sciences de la Terre* N°36, 1-11.
- AMARJOUF N., OUJIDI M., MEIJER D. & KLOP W. (2019): Evaluating ephemeral watercourse discharges by hydrologic-hydraulic modelling: application to the Kert River basin, Morocco, *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 1-11. <https://doi.org/10.1080/09715010.2019.1646166>.
- AMARJOUF, N., (2018). "Interactions entre crues-ruissellements et aménagements de territoire et leurs impacts sur les versants Nord de la péninsule de Guelâaya : Cas de la baie de Melilla Béni Ansar et la baie de Betoya." (Maroc Nord Oriental). Thèse de Doctorat, Faculté des sciences, Université Mohamed Premier, Oujda. 302.

- BARATHON, J.J., (1987). Les vents et leurs régimes dans le bassin du Rif oriental : l'exemple de la station météorologique de Nador – Taouima. *Climat, la montagne, l'homme*. (Le) Mélange géographiques offerts à Pierre ESTIENNE, 65, 17-23.
- CAMARASA BELMONTE, A. & SEGURA BELTRAN, F., (2001). Flood events in Mediterranean ephemeral streams (Ramblas) in Valencia region, Spain. *Catena*, 45, 229–249.
- CARLIER P., (1971). Plaines du Gareb et du Bouareg. Ressources en eau du Maroc : Tome 1. Domaines du Rif et du Maroc oriental. Notes et Mémoires du Service Géologique. 167-180.
- JOUSSEAUME, V., MERCIER, D., (2009). Évaluer la vulnérabilité architecturale de l'habitat en zone inondable : L'exemple du Val nantais, Risques et environnement, recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés. L'Harmattan, 199-214.
- SBAI, A., MOUSAOUI, F., AND OUALIT, N., (1992). Les régimes des vents au Maroc oriental. *Méditerranée*, 4, 45-52.
- TANGUY M., (2012). Cartographie du risque d'inondation en milieu urbain adaptée à la gestion de crise analyse préliminaire. Thèse doc. Institut national de la recherche scientifique. Centre Eau Terre Environnement. Québec. Canada.103 p.
- USACE., (2010). US army corps of engineers: HEC-RAS river analysis system. User's Manuel. Hydrologic engineering center. 510 p.
- VALY J., (2010). Croissance urbaine et risque inondation en Bretagne. Université Rennes 2; Haute Bretagne. France, 544p.

NAPPE PHREATIQUE DE CHTOUKA : VULNERABILITE ET STRATEGIE DE PROTECTION

Hasna TNOURJI¹, Nadia ATIKI¹, Brahim OUAHMAN¹ et Hicham IRIFI²

^{1/} Université Ibn Zohr, Équipe de Recherche : Géographie, Aménagement, Démographie & Développement. Agadir, Maroc.

^{2/} Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, LAGEA-DD, Sais-Fès, Maroc.

Courriel: Tnourjhasna@gmail.com

RÉSUMÉ: Les nappes phréatiques sont l'une des ressources naturelles les plus vulnérables au Maroc, notamment dans les zones arides où les eaux superficielles sont exposées aux fortes évaporations. La zone de Chtouka, objet de la présente étude, se situe au centre ouest marocain et dispose d'une nappe phréatique qui constitue la principale ressource en eau et joue un rôle primordial dans le développement socio-économique. Néanmoins, cette zone connaît un important épuisement des réserves en eau souterraine. En effet, la surexploitation agricole et la réduction des apports renouvelables suite à la succession des années de sécheresse, représentent les défis majeurs de la gestion des ressources en eau souterraine dans la plaine des Chtouka.

L'étude de la vulnérabilité de la nappe de Chtouka à l'échelle spatiale montre que celle-ci encourt une triple menace exprimée en trois zones fragiles : une zone menacée par l'intrusion marine, une zone exposée à une baisse piézométrique accrue et une zone menacée par la pollution. Cette vulnérabilité est apparue à cause de l'accroissement de la demande en eau d'irrigation, notamment dans le périmètre moderne privé.

Devant cette situation alarmante, la contractualisation de l'utilisation des ressources en eau souterraine devient une nécessité et représente la solution convenable pour valoriser et protéger la nappe phréatique contre l'intrusion marine et la surexploitation agricole.

Mots-clés : Nappe de Chtouka, eaux souterraines, vulnérabilité, surexploitation, stratégie.

CHTOUKA WATER TABLE: VULNERABILITE AND PROTECTION STRATEGIE

ABSTRACT: Groundwater is one of the most vulnerable natural resources in Morocco, especially in arid areas where surface waters are often dry. Regarding our study area, which is located in the western center of Morocco, the Chtouka water table is the main water resource and plays a key role in socio-economic development. Nevertheless, this situation is accompanied by a significant depletion of groundwater supplies. Indeed, over-exploitation and the reduction of renewable inputs following the succession of drought years are the major constraints of the management of groundwater resources in the Chtouka plain.

The study of the vulnerability of the Chtouka water table shows three fragile areas; an area threatened by marine intrusion, an area threatened by the pedestrian drop and an area threatened by pollution. This vulnerability has arisen as a result of the increased demand for irrigation water, particularly in the modern private perimeter.

In the face of this alarming situation, the contracting of the use of groundwater resources is becoming a necessity and represents the appropriate solution to enhance and protect the water table from marine intrusion and over-farming.

Key-words: Chtouka water table, groundwater, vulnerability, over-exploitation, strategy.

INTRODUCTION

La gestion des ressources en eau constitue aujourd'hui l'un des objectifs stratégiques les plus importants dans la région de Souss-Massa pour protéger les nappes phréatiques (Souss et Chtouka) contre la surexploitation agricole et la succession des années de sécheresse. Ces nappes représentent les principales ressources en eau dans la région et jouent un rôle primordial dans son développement socio-économique. Plus de 80% des exportations de tomates marocaines et plus de 40% des exportations d'agrumes sont ainsi produites du Souss Massa.

Pendant les dernières décennies, la nappe phréatique de Chtouka montre un déséquilibre entre offre et demande en eau qui s'est traduit par un surpompage des ressources souterraines et un déficit annuel de la nappe de l'ordre de 60Mm³. La croissance de l'usage des forages et puits dans le périmètre privé, notamment au Nord de la nappe, est responsable d'une surexploitation intensive des eaux souterraines engendrant le risque d'intrusion marine de plus en plus marqué sur le littoral.

La nappe de Chtouka présente une ressource naturelle vulnérable et très exploitée. Cela contribue à orienter les politiques publiques vers la gestion durable des eaux souterraines. Dans ce contexte, les grands investisseurs ont accepté de s'engager dans le projet de "Contrat de nappe" à condition que l'Etat s'engage à prospecter les eaux souterraines profondes et à développer le projet de dessalement pour les secteurs privés dans la plaine de Chtouka. La présente étude a pour objectif d'identifier les zones les plus vulnérables dans la nappe de Chtouka et définir la stratégie adoptée pour la gestion des ressources en eau souterraine.

1. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La nappe phréatique de Chtouka s'étend sur une superficie de 1390 Km² environ, entre 30° à 30°10' de latitude Nord, et entre 9°20' à 9°40' de longitude Ouest. Elle se trouve en marge de la zone bioclimatique semi-aride à arides (figure 1). Ceci est dû à la présence d'un courant adoucissant de l'Océan atlantique et d'une barrière montagneuse de l'Anti-Atlas constituant une protection contre les influences désertiques.

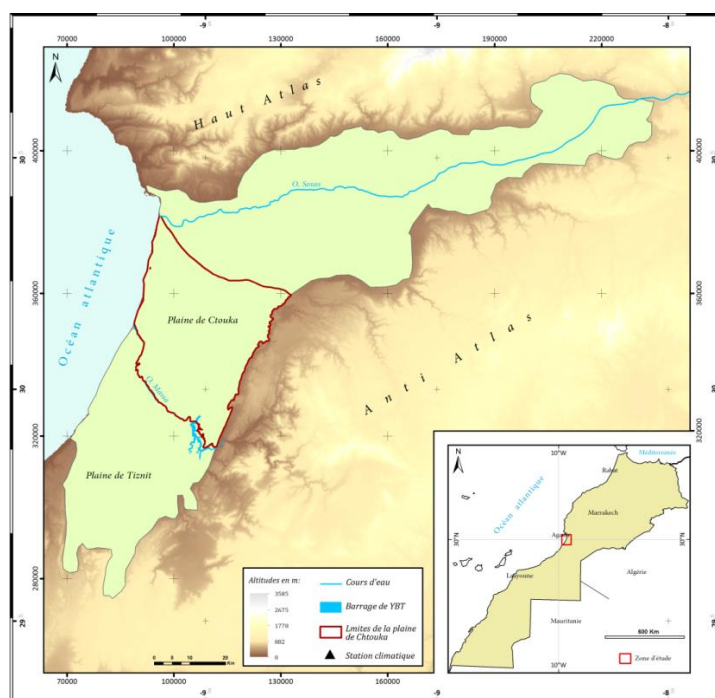


Figure 1. Situation géographique de la nappe phréatique de Chtouka

2. METHODE DE TRAVAIL

La méthode adoptée pour déterminer les zones vulnérables dans la nappe phréatique de Chtouka est basée sur les données fournies par l'Agence du Bassin Hydraulique de Souss-Massa (ABH-SM), que ce soient les zones à forte baisse piézométrique ou celles assujetties à l'intrusion marine ou celles exposées à la pollution azotée. En revanche, concernant les données exploitées pour déterminer la stratégie de la gestion des ressources en eaux souterraines, on a fait recours à celles de l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Souss Massa (ORMVA-SM), l'ABH-SM complétées par des prospections sur le terrain d'étude.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

La nappe phréatique de Chtouka connaît, depuis les années 90, un déficit très important évalué à 60Mm^3 , équivalent de deux fois et demi ses ressources renouvelables (40Mm^3). Ceci est dû essentiellement à l'accroissement des superficies irriguées et du surpompage, notamment dans la partie Nord de la nappe. Ce déficit risquerait d'engendrer des problèmes néfastes tels que l'invasion des eaux marines vers la nappe. C'est pourquoi les plans d'aménagement hydro-agricole ont pour objectif de réduire l'intensification du pompage par l'amélioration des techniques d'irrigation et la création du projet de dessalement des eaux de mer.

3.1. La vulnérabilité de la nappe de Chtouka

L'étude de la vulnérabilité de la nappe de Chtouka montre trois zones fragiles ; une zone menacée par l'intrusion des eaux salines, une zone menacée par la baisse piézométrique et une zone menacée par la dégradation de la qualité des eaux souterraines (figure 2).

- **Zone menacée par l'intrusion marine:** elle s'étend sur la quasi-totalité de la frange littorale entre l'embouchure de l'oued Souss et celle de l'oued Massa où le niveau de la mer est en dessus du niveau piézométrique. Celui-ci est marqué par la présence de dôme piézométrique au Nord, variant entre -20 et 0m. Cela provoque une avancée de biseau salé à l'intérieur des terres et par conséquent une dégradation de la qualité des eaux souterraines.

Par ailleurs, l'étude de la variation de la conductivité électrique et la teneur des chlorures montrent des valeurs élevées pour les puits/forages localisés approximativement de la bande côtière. Ils varient respectivement, entre 1300 et $3000\mu\text{S}/\text{cm}$ et entre 300 et $760\text{mg}/\text{l}$. Cela peut être expliqué par les échanges de bases ayant eu lieu entre les eaux marines et la fraction fine des sédiments constituant l'aquifère et aussi par la dissolution des carbonates, notamment au niveau de l'aquifère côtier d'Agadir (Tagma T., 2011).

- **Zone menacée par la baisse piézométrique:** elle est située principalement au Nord-Est où la nappe est touchée par un rabattement excessif de son niveau piézométrique. Celui-ci se traduit par l'accroissement des prélèvements en eau souterraine qui dépasse $660\text{m}^3/\text{j}/\text{puits}$. L'état piézométrique entre 1990 et 2014 montre une très forte régression du niveau de la nappe de 50m à 70m (de 70 à 20m, 30 à -20m, 60 à -10m...), soit un rythme annuel d'environ 2m (Tnourji H., 2017), tandis que la profondeur varie entre 155 et 244m.
- **Zone menacée par la pollution:** la figure 2 montre que la zone la plus vulnérable à la pollution se situe au centre de la plaine (secteur irrigué de Toussous), dont la teneur en nitrates enregistrée est très élevée, de l'ordre de $184\text{mg}/\text{l}$. Ceci s'explique par

l'utilisation intensive des fertilisants agricoles (les engrais azotés) et par le mode d'irrigation qui favorise l'infiltration d'eau chargée en sels et en nitrates vers la nappe.

Si ces trois zones sont plus vulnérables à la surexploitation agricole dans la nappe phréatique de Chtouka, la zone du Sud-Est, en revanche, est influencée par le substratum schisteux où les conductivités indiquent des valeurs de l'ordre de $3000\mu\text{S}/\text{cm}$.

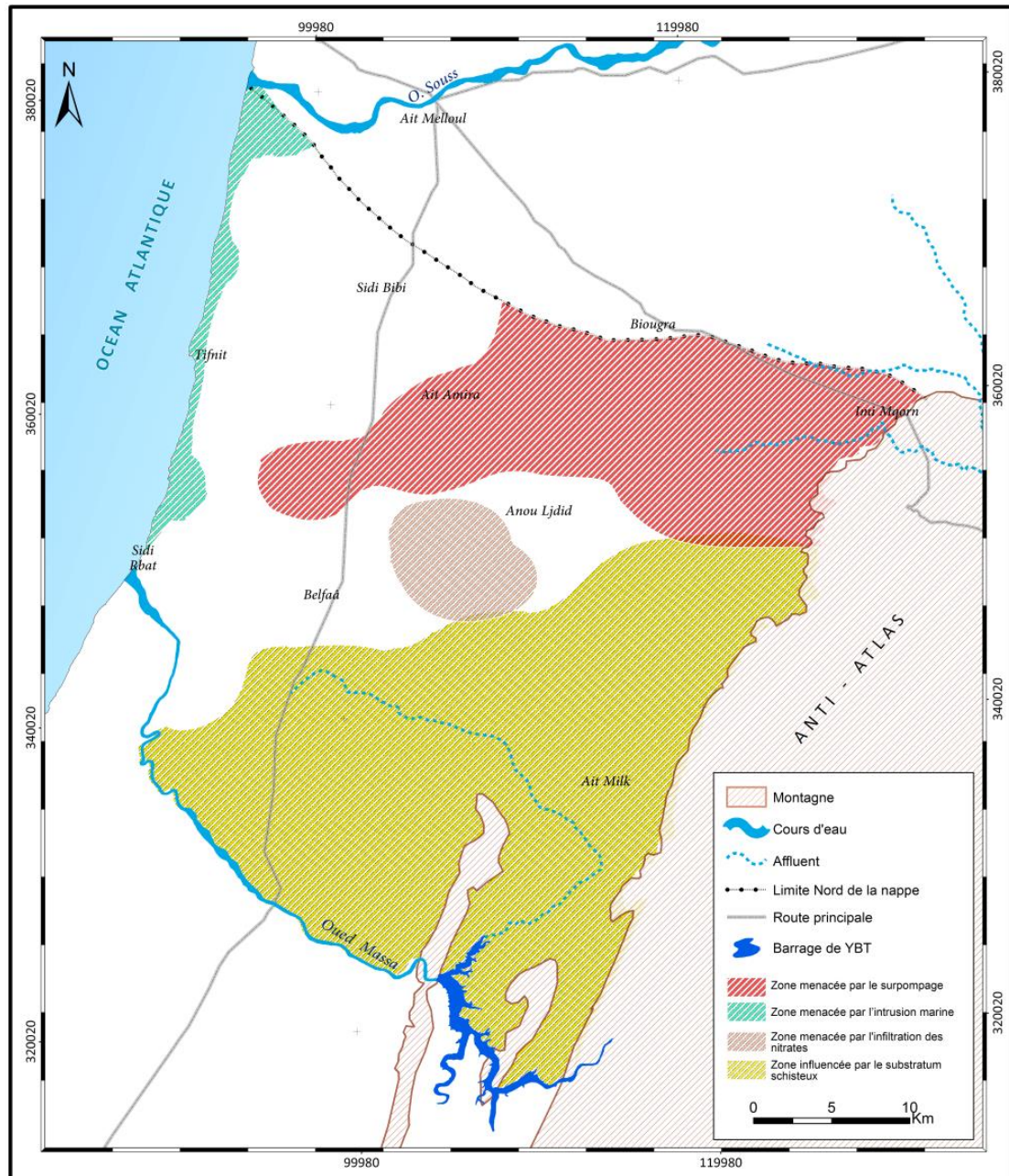


Figure 2. Vulnérabilité de la nappe phréatique de Chtouka

3.2. Stratégie de protection de la nappe phréatique de Chtouka

L'accroissement de la demande en eau d'irrigation ($70\text{Mm}^3/\text{an}$) et le risque de l'intrusion des eaux marines suite à la succession des périodes de sécheresse depuis les années 70, constituent des contraintes majeures à la gestion des ressources en eau souterraine dans la

plaine de Chtouka. En effet, une stratégie est nécessaire pour la préservation de la nappe phréatique à court terme.

Dans ce cadre, l'ABH-SM a décidé, après la réalisation des études approfondies grâce à un modèle mathématique hydrodynamique d'économie et de valorisation de l'eau souterraine la mise en œuvre d'un partenariat public privé (PPP) pour le dessalement de l'eau de mer pour l'irrigation. Ces dispositions font l'objet du contrat de nappe qui régit les engagements des différentes parties intervenant dans le secteur de l'eau dans le bassin hydraulique du Souss-Massa.

- **Généralisation de l'irrigation localisée pour le maraîchage:** la figure 3 montre que le pourcentage des exploitations agricoles équipées par cette technique était très limité en 1996, à peine 6%. Alors que le pourcentage des exploitations équipées par le mode d'aspersion et gravitaire était quasiment élevé, présentant respectivement 57% et 37%. Cependant, à partir de 2003, la superficie équipée par l'irrigation localisée montre une évolution remarquable, passant de 57% en 2003 à 80% en 2017. Cela montre l'importance des efforts déployés par les autorités locales dans le cadre de la gestion des ressources en eau par l'encouragement des agriculteurs à remplacer les techniques d'irrigation traditionnelles (immersion et aspersion) par l'irrigation localisée dont le but était d'équiper 30 000ha dans les secteurs de Souss-Massa à l'horizon 2012. Actuellement, la zone équipée par ce mode s'élève à 6 000ha dans le périmètre public de Massa et à 7 286ha dans le périmètre moderne privé.

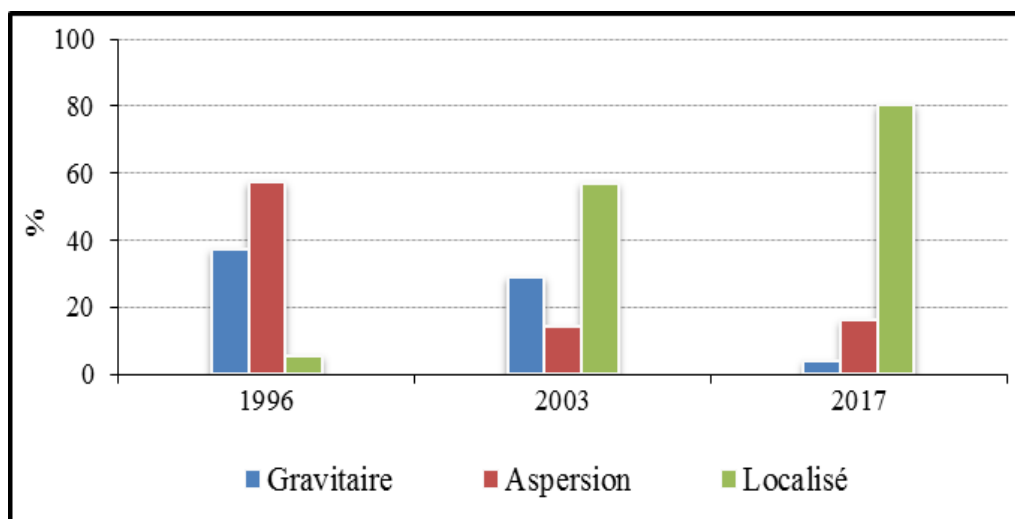


Figure 3. Répartition de la superficie irriguée selon le mode d'irrigation

- **La mise en œuvre du projet de dessalement d'eau de mer pour l'irrigation:** ce projet s'inscrit dans le cadre du Plan Maroc Vert. Il prévoit pour les périmètres de Chtouka d'assurer les besoins en eau d'irrigation par l'eau dessalée estimée à 70Mm³/an, et qui devrait permettre à la nappe phréatique de retrouver un bilan équilibré.

Le réseau de distribution principal de ce projet est installé prioritairement dans le périmètre moderne privé où l'extension des espaces irrigués est très élevée (figure 4). Il s'agit des exploitations de cultures à forte valeur ajoutée (production des primeurs) pour l'exportation internationale. En effet, face à la surexploitation de cette nappe et son rabattement continu, l'utilisation de l'eau dessalée à l'irrigation permettrait de poursuivre le développement agricole dans la région tout en sauvegardant les ressources en eau souterraine de la nappe.

CONCLUSION

La mise en œuvre des politiques publiques en collaboration avec les autorités locales (ABH et ORMVA...) pour la gestion des ressources en eau souterraine, contribue d'une manière significative à réduire la pression agricole sur la nappe phréatique de Chtouka. Ainsi, les objectifs de contrat de nappe consistent à contrôler le creusement de nouveaux puits/forages, l'expansion des superficies irriguées et les prélèvements illicites d'eau. En outre, il a également comme objectif le renforcement des mesures d'économie de l'eau et des mesures de contrôle d'utilisation des eaux souterraines à l'aide de la mise en place des compteurs, le respect des conditions de Cota, l'utilisation des techniques d'irrigation localisée, etc.

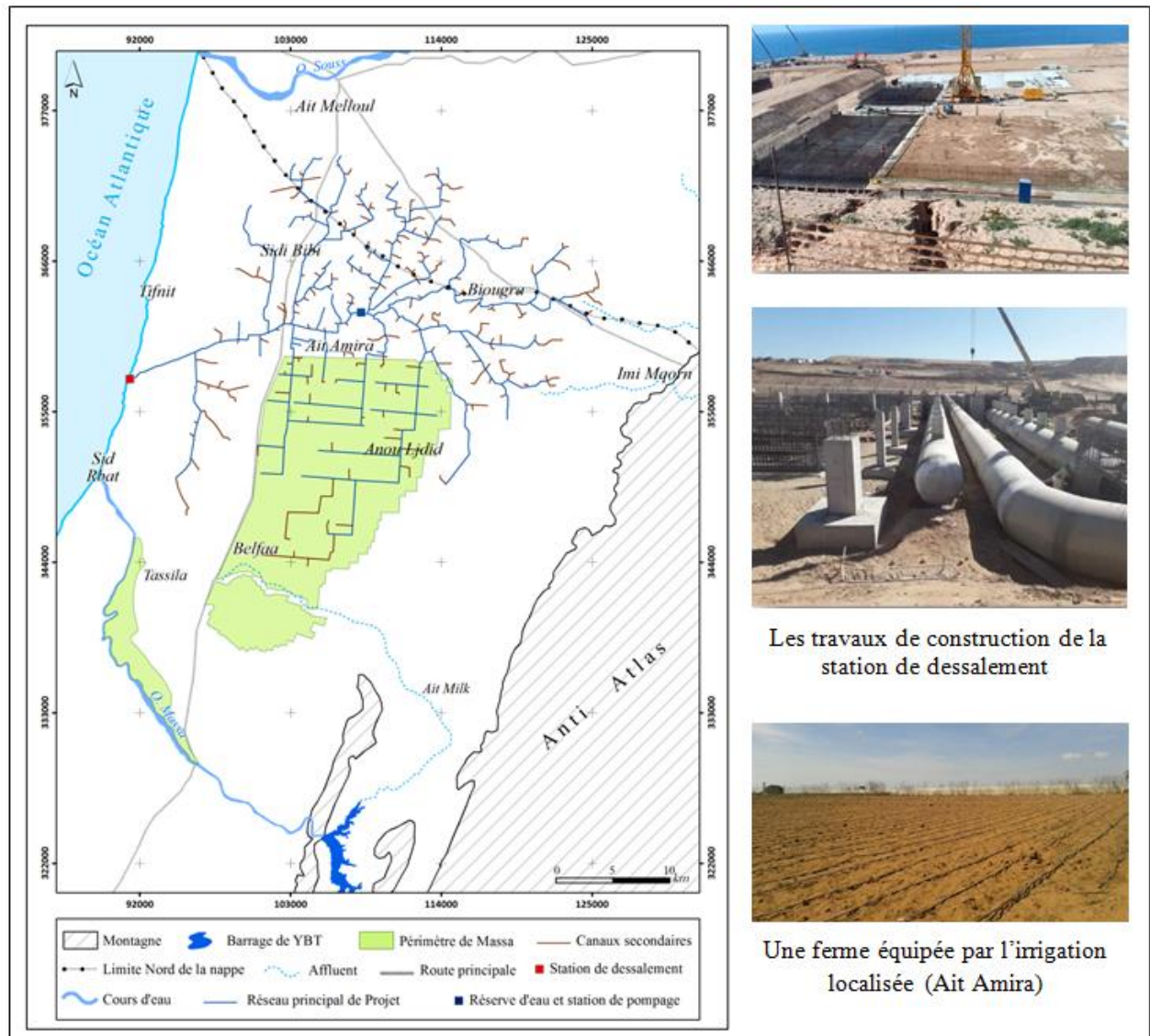


Figure 4. Réseau de distribution de l'eau dessalée pour l'irrigation dans la plaine de Chtouka

BIBLIOGRAPHIE

- TAGMA T., (2011) : « Ressources en eau souterraine de l'aquifère du Souss-Massa: étude de la qualité et de la vulnérabilité », *Thèse de Doct. Nation. FS. Univ. Ibn Zohr. Agadir.* 120p
- TNOURJI H., ATIKI N., OUAHMAN B., (2016) : « Dégradation de la nappe phréatique des

Chtouka ». *Comm. orale. 1^{ère} Journée Nationale de l'Eau. 22-23 Mars 2016.FS. Agadir, Univ. Ibn Zohr.*

TNOURJI H., ATIKI N., OUAHMAN B., OUAMMOU A., (2017) : «Impact de la variabilité pluviométrique sur l'évolution spatio-temporelle de la nappe de Chtouka (Centre-ouest du Maroc)» *Geomaghreb n° 13*. pp. 1-14

TNOURJI H., (2019) : « Baisse piézométrique de la nappe phréatique de Chtouka entre l'impact de la variabilité pluviométrique et l'exploitation agricole : Etude géographique des composantes et relations », *Thèse de Doct.Nation. FLSH. Univ. Ibn Zohr. Agadir.* 286p.

VARIABILITÉ PLUVIOMÉTRIQUE, DÉTECTION DE RUPTURES ET DE TENDANCE DANS LE MOYEN-ATLAS SEPTENTRIONAL CAS DU SOUS-BASSIN VERSANT DE L'OUED DE BOUHELLOU

M.Afenzar¹, M. Abahrour¹, R. Addou², H. Achiban² et M. Dahmane¹

1- Laboratoire Dynamique, Espace, Patrimoine et Développement Durable FPT

2- Laboratoire d'Analyses Géo-Environnementales, d'Aménagement et de Développement Durable FLSH Sais

E-mail : miloud.afenzar@usmba.ac.ma Tél : 06-11-31-31-38

Résumé : La présente étude porte sur une partie drainée par l'oued Bouhellou, bassin versant de Sebou, moyen atlas septentrional. Elle a pour objectif d'étudier la variabilité pluviométrique, détecter les différentes ruptures et montrer les tendances générales des précipitations. Cette étude est fondée sur les séries chronologiques des précipitations cumulées annuelles. Pour mener ce travail les méthodes statistiques de de Mann-Whitney (Pettitt, 1979), la statistique de Buishand (1982, 1984) et le test de Mann-Kendall ont été utilisés.

Les résultats obtenus ont montré que la zone d'étude a été touchée par une grande fluctuation pluviométrique, ainsi, par une alternance des périodes humides et sèches. Ainsi, seulement la série de données de Tahala qui a subis une rupture significative, alors que la série pluviométrique de station de Bab Boudir et de Taza considèrent stationnaire. La tendance générale des séries est vers la baisse pour les deux dernières stations sauf à Tahala. Les résultats de test de Man-Kendall confirment les résultats des tests précédents.

Mots-Clés : Variabilité climatique, ruptures, tendance, Moyen-Atlas septentrional

CLIMATE RAINFALL VARIABILITY, BREAK IDENTIFICATION AND TRENDS IN THE MIDDLE ATLAS CASE OF NORTHERN WATERSHED OF THE OUED BOUHELLOU

Abstrat: The present study concerns a part drained by Oued Bouhellou, watershed of Sebou, middle atlas north. Its objective is to study the rainfall variability, to detect the different breaks and to show the general precipitation trends. This study is based on time series of cumulative annual precipitation. To carry out this work the statistical methods of Mann-Whitney (Pettitt, 1979), Buishand's statistic (1982, 1984) and the Mann-Kendall test were used.

The results obtained showed that the study area was affected by a large fluctuation of rainfall, thus alternating wet and dry periods. Thus, only the Tahala dataset that has undergone a significant break, while the rainfall series of Bab Boudir and Taza station consider stationary. The general trend of series is down for the last two stations except Tahala. Mann-Kendall's test results confirm the results of previous tests.

Mots-Clés: Climate variability, ruptures, trend, Northern Middle Atlas.

Introduction

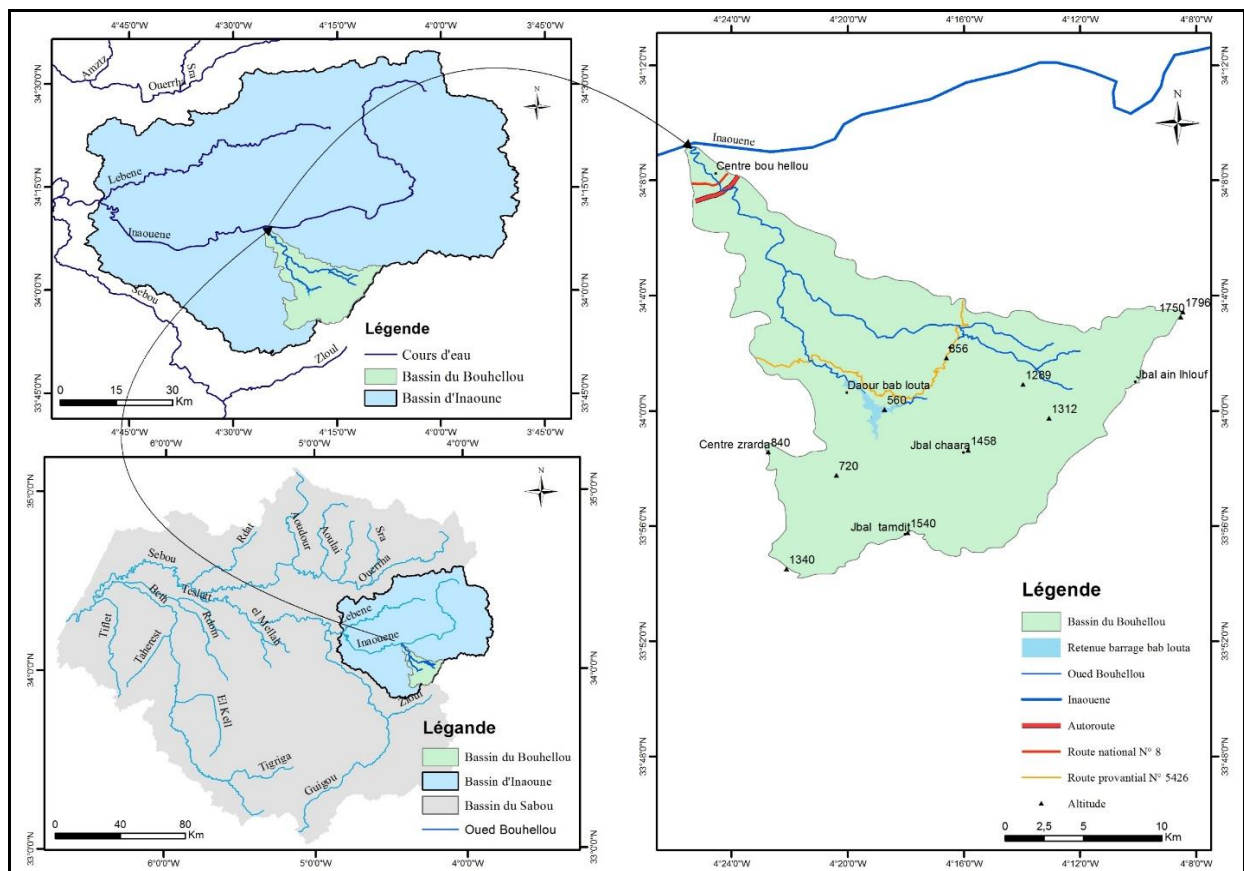
Le Maroc vu sa situation géographique dans le bassin méditerranéen est caractérisé par une importante fluctuation interannuelle des précipitations. L'étude de cette variabilité a donc un intérêt particulier pour la recherche scientifique et pour les gestionnaires des ressources en eau. En effet, cette variabilité a une influence directe sur le bilan hydrique et par la suite peut perturber l'écoulement habituel des cours d'eau.

La question qui se pose est quelle tendance suit le système pluviométrique actuel au niveau de la zone. Pour répondre à cette problématique. Des approches statistiques ont été appliquées sur les séries des données des précipitations. Cette analyse statistique est une étape très importante pour identifier les variations des éléments hydro-climatiques (H. lubés-Niel et al 1997).

Zone d'étude

Le sous-bassin versant de l'Oued Bouhellou, s'étend sur une superficie de 311,38 Km². Il se situe entre les parallèles 33°53' et 34°09' N et entre les méridiens 4°07' et 5°22' W. Il s'agit d'un affluent de l'Oued Inaoune, sous-bassin de Sebou. Il ne présente que 0,75 % de la surface totale du bassin versant du Sebou qui s'étale sur 40 000 km². (Figure N°1)

Sur le plan administratif, le sous-bassin versant de l'Oued Bouhellou est situé dans la région Fès-Meknès et chevauche sur les Communes rurales: Bouhellou, Matmata, Smià, Bouchfaa, Zrarda et Bab Boudir.



Carte n° 1 : La situation géographique de la zone d'étude

Le sous-bassin versant de l'Oued Bouhellou draine deux unités structurales, le moyen Atlas plissée et le moyen Atlas tabulaire. Dans sa partie Sud-Ouest la ligne de partage des eaux est bien visible, sous forme des crêtes presque linéaires. Il est limité par la première ride de moyen Atlas plissés, tandis que dans la partie septentrionale traverse l'autoroute Fès-Taza, la ligne du chemin de fer et la route nationale n°6 pour rejoindre l'Oued Inaoune.

Données utilisées

Pour l'étude de la variabilité climatique, identification de ruptures et tendance ; il est nécessaire d'avoir un réseau de stations météorologiques suffisant pour couvrir une grande partie de la zone d'étude. La majeure partie des données collectées, proviennent des services des eaux et forêts, de la direction provinciale de l'agriculture et de l'agence du Bassin hydraulique du Sebou (ABHS). Nous avons essayé de collecter le maximum possible des données sur les quatre stations. Le choix des stations est basé sur les critères suivants : la durée d'observation, l'importance des lacunes et la position géographique par rapport au bassin

Méthodes statistiques

Les analyses statistiques visant la détection des ruptures ont été menées avec le logiciel KhronoStat de l'Institut de Recherche et de Développement (IRD). Une rupture peut être définie comme un changement dans la loi de probabilité des variables d'une série chronologique à un moment donné souvent inconnu. Une telle rupture marque une modification du régime pluviométrique (Singla *et al.*, 2010). Le test de Pettitt (1979) est un test statistique non-paramétrique, Il dérive du test de MANN-WHITNEY. L'absence de rupture dans une série chronologique (X_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N , les séries chronologiques (X_i) $i=1$ à t et $t+1$ à N appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable U_t, N définie par :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

Où $D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$, avec $\text{sgn}(X) = 1$ si $X > 0$, 0 si $X = 0$ et -1 si $X < 0$

Quand l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant t définissant le maximum en valeur absolue de la variable U_t, N .

Le test de Buishand (1982, 1984) est dérivé d'une formulation originale donnée par Gardner (1969), c'est une approche statistique paramétrique, suppose une distribution normale des données de la série chronologique testée, une non autocorrélation et constance de la variance de part et d'autre du point de rupture éventuel. Ce test est robuste au niveau de la détection des points de changement en milieu des séries, cependant, il ne permet pas l'estimation de la date exacte de la rupture.

L'analyse des tendances pluviométriques est une étape primordiale pour comprendre la direction de l'évolution du climat d'une région donnée. Le test de tendance le plus connue est celui, non-paramétrique, de Mann-Kendall (Mann, 1945, Kendall, 1975). Ce dernier permet d'étudier la présence ou non d'une tendance dans une série hydrométéorologique donnée. Le test de Mann-Kendall fournit un niveau de signification assez important, de 5%. Dans ce test l'hypothèse nul H_0 « absence de tendance » est acceptée si la P est inférieure à 0.05. Pour une

tendance dite significative au seuil de 5%, la valeur de P doit dépasser ± 1.96 . Le test de la tendance de Mann-Kendall et réalisé à l'aide d'extension XLSTAT intégré dans l'Excel 2016.

Résultats et discussions

Les variations interannuelles de la pluviométrie aux stations de Taza, Tahala et Bab Boudir sont caractérisées par une alternance des épisodes humides et secs. La standardisation des données montrent, en générale, une période de sécheresse commencée depuis 1975 jusqu'au début des années 1990. Après, un retour de pluie a été observé depuis la fin des années 1990 et s'étale à 2011, avec une forte variabilité des précipitations d'une station à une autre.

Au niveau de la station de Bab Boudir, on constate une forte alternance entre les phases sèches et humides en fonction des précipitations liquides et solides. (Figure.2)

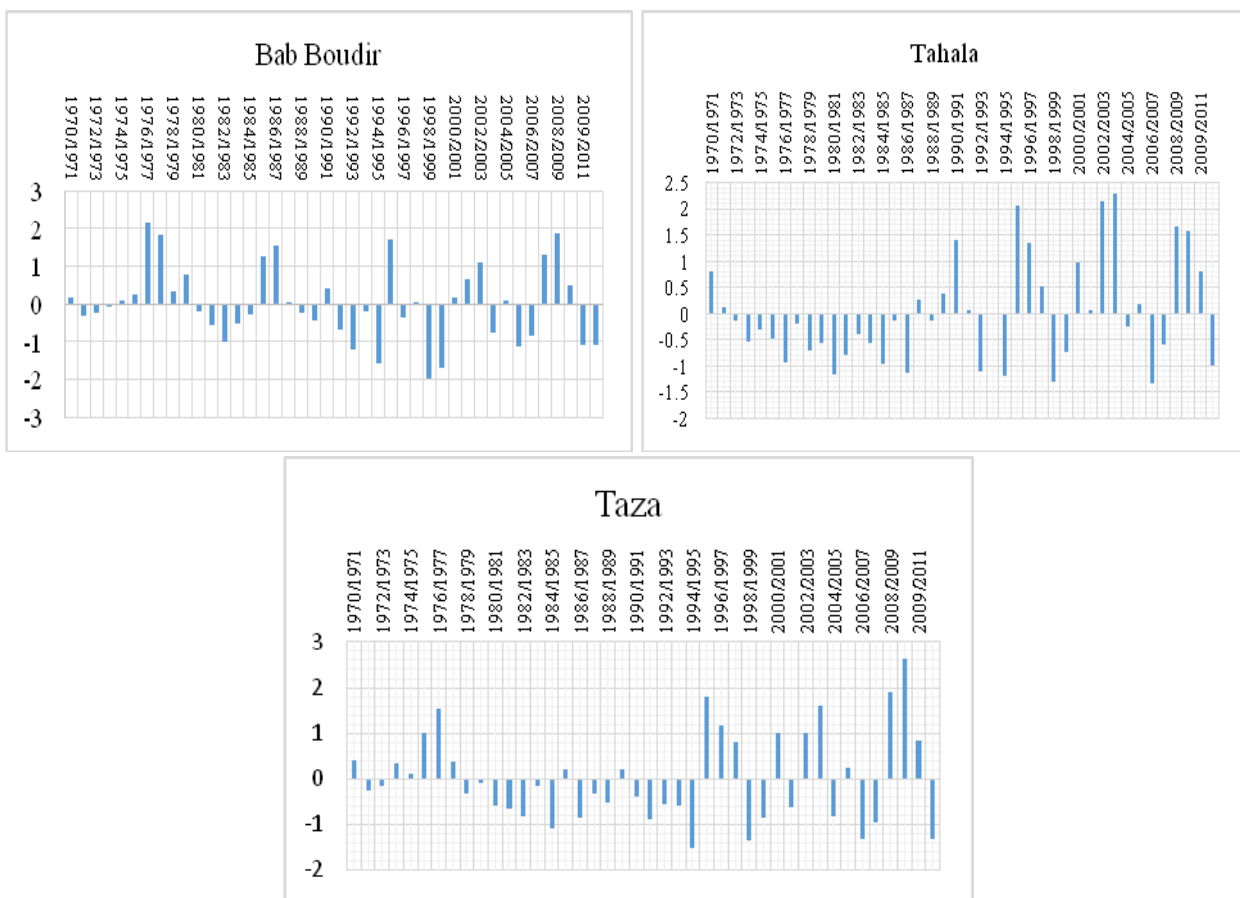


Figure 2 : Les résultats de l'indice standardisé des précipitations pour les stations étudiées

Cet aspect de diminution des précipitations cumulées annuelles est observé au niveau de la présentation graphique des résultats de test de Buishand appliqué sur les trois séries choisies. Ainsi, seulement les données de Tahala présentent une rupture significative en 1994. Cette dernière a une significativité faible, 10%. Cependant, il ressort que ce point de changement de 1994 se trouve également au niveau de la série de Taza malgré son non significativité statistique. Les mêmes résultats et la même allure de données ont été signalés par le test de Pettitt. Comme nous avons déjà avancé, les précipitations neigeuses sont les plus abondantes au niveau de la station de Bab Boudir. Pour cela, peut-être, il ne présente pas le même aspect de tendance que les deux autres stations.

Après la rupture de 1994, on constate qu'au niveau des deux stations une augmentation de la moyenne interannuelle. L'excès de pluie varie d'une station à une autre selon le degré de significativité du point de changement. En effet, la station de Tahala présente la valeur maximale de l'excès de 121 mm. Ce chiffre est calculé entre les deux sous-séries de 1970-1994 et 1995 – 2011 (Tableau 1).

Tableau 1 : les moyennes interannuelles calculées entre avant et après la rupture pour les stations traitées

Station	Période d'observation	Moyenne	Moyenne avant la rupture	Moyenne après la rupture	Excès de pluie
Bab Boudir	1970/2011	1052	1006	1113	107
Tahala	1970/2011	587	535	656	121
Taza	1970/2011	594	552	635	83

Dans un milieu très vulnérable face à la forte variabilité climatique comme le Maroc, l'analyse des tendances pluviométriques dans une région a une importance primordiale. Cette étape est également essentielle pour prévoir les futurs changements probables du système hydrologique ainsi que le comportement des ressources en eau à ces variations. Sauf pour la station de Tahala qui présente une tendance vers l'augmentation non significative des cumules annuelles de la pluie au seuil de 5%, avec un $P = 1.3$, les deux autres stations ont subi une diminution. Cette diminution est le résultat de l'impact des années de sécheresse, 1970 – 1990 sur la tendance générale de la série (Figure N°4).

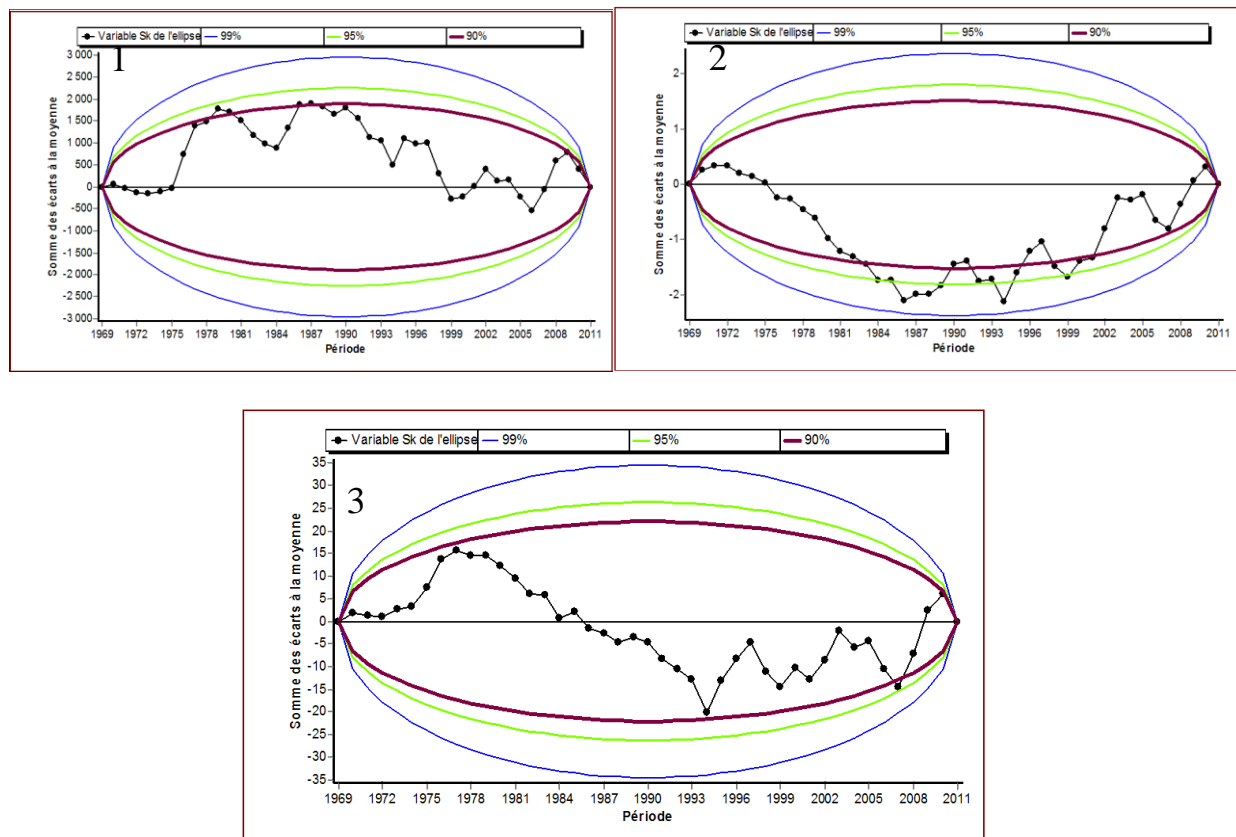


Figure N° 4 : La présentation graphique du test de Buishand pour les séries de trois stations utilisées dans cette étude : 1 : Bab Boudir, 2 : Tahala et 3 : Taza

Conclusion

L'analyse statistique des séries chronologiques des données pluviométriques en utilisant des approches de détection de ruptures et de tendances fournit une idée globale sur le climat d'une région donnée. Ainsi, ces dernières sont des outils performants pour identifier la variabilité climatique. Mais, pour détailler une comprendre le système climatique dans sa totalité, il doit avoir des données sur tous les éléments du climat avec un certain nombre de point suffisant et des enregistrements fiables.

Références bibliographiques

- BOUKRIM S. 2011 : Etude d'impact des changements climatiques sur les ressources hydriques du bassin versant de l'Ouergha (rif – Maroc) revue scientifique et technique n°19.
- CARBONNEL et al. 1985 : La sécheresse au Sahel d'Afrique de l'Ouest. Une rupture climatique dans les séries pluviométriques du Burkina Faso (Ex. Haute Volta) C.R. Acad. Sci., Paris, 301, Ser. II., pp. 941-944.
- FOSSOU R. ET AL 2015 : Variabilité climatique et son impact sur les ressources en eaux souterraines : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro au centre est de la cote d'ivoire (Afrique de l'ouest) Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°21, March 2015, pp. 87-110
- GARDNER L.A.,1969: On detecting changes in the mean of normal variâtes. Ann. Math. Statist, 40,116-126.
- KENDALL Man 1975: Rank correlation methods, Charles griffin, London lettenmaier d.p. (1988). multivariate nonparametric tests for trend in water quality, water resources bulletin, 24, 505-51.
- LUBES H. ET AL. 1994: Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques. Etude bibliographique." Programme ICCARE. Rapport n°3. ICCARE. ORSTOM, Montpellier, France. Juin 1994.
- Mann. H. B WHITNEY.D. R., 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. Ann. Math. Statist, 18(1), pp.50–60
- PETTITT A. 1979: A non-parametric approach to the change point problem, Applied Statistics, 28, 126-135

L'ANALYSE HYDROMETEOROLOGIQUE DES CRUES DANS LE BASSIN VERSANT DE SEBOU

Khalid CHKHAMI et Abdelhamid JANATI IDRISSE

Laboratoire des études géo-environnementales et aménagement et le développement durable (LAGEA-DD), Université Sidi Mohamed Ben Abdellah .Faculté des lettres Sais Fès.

Khalidchkhami@gmail.com

Résumé: L'objectif de cette étude est d'analyser la dynamique hydrométéorologique des crues et sa distribution dans le bassin versant de Sebou afin d'apprécier les risques d'inondation dans la basse vallée de l'oued Sebou et de ses affluents. Les crues inondables provoquant des dégâts matériels et humains ont laissé des séquelles sur les populations sinistrées. Ce qui exige la détermination des périodes de retour des débits extrêmes, et l'importance des crues dans le bassin. En effet, nous nous sommes basés sur l'approche statistique à travers l'étude des débits maximums instantanés. Les résultats obtenus indiquent une augmentation des débits extrêmes dans les stations étudiées qui ont donné de nombreuses crues dans les sous-bassins de Sebou.

Mots clés: Dynamique hydrométéorologique, Crues inondables, Bassin de Sebou.

HYDROMETEOROLOGICAL ANALYSIS OF FLOODS IN THE SEBOU WATERSHED

Abstract: The objective of this study is to analyse the hydrometeorological dynamics of flooding and its distribution in the Sebou watershed in order to estimate the flood risk in the lower valley of the Sebou river and its tributaries. The flood-prone floods are causing property and human damage and have left an aftermath for the affected populations. This requires the determination of the return periods of the extreme flows, and the extent of the floods in the basin, indeed, we based ourselves on the statistical approach through the study of the instantaneous maximum flows. The results obtained indicate an increase in extreme flows in the stations studied, which resulted in numerous floods in the Sebou sub-basins.

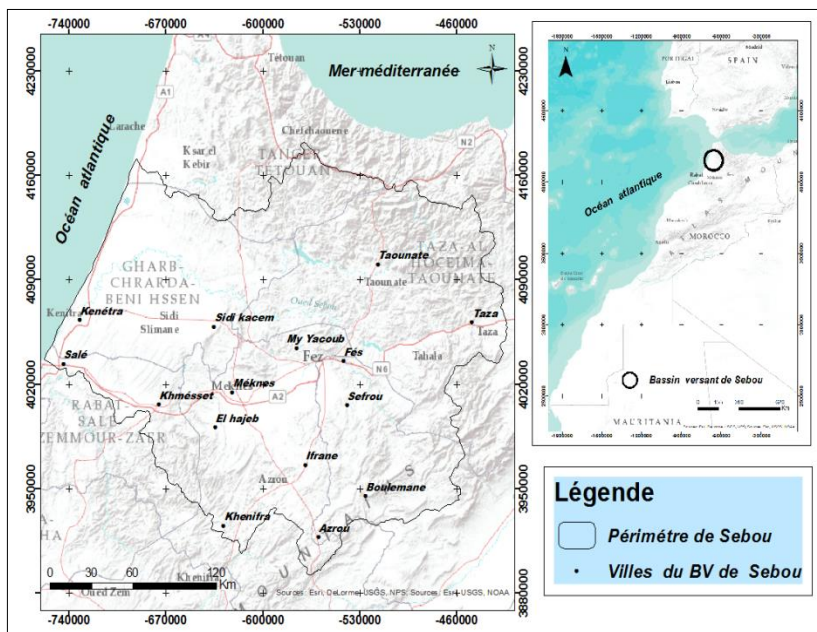
Keywords: *Sebou Basin, Hydro-meteorological dynamics, Floodplain*

Introduction

Les crues inondables sont des intumescences hydrologiques dont les répercussions sont néfastes sur l'économie des pays. Le bassin du Sebou, de par ses caractéristiques climatiques, topographiques et lithologiques, monopolise 29 % des ressources en eau du Maroc en drainant un système hydrologique marqué par un écoulement irrégulier et torrentiel, principalement sur la chaîne du Rif, ce qui provoque des inondations néfastes sur les centres urbains près des oueds, ainsi qu'une submersion d'une grande partie de la plaine du Gharb. La situation géographique du bassin, l'intensité des averses et les fortes pentes des versants montagneux sont associées à la prédominance du substrat shisto-marneux rifain à faible rétention et sont à l'origine de ces phénomènes hydrologiques extrêmes, dont les crues et les inondations.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin versant du Sebou occupe, au Nord-Ouest du Maroc, une superficie de 40503 km² soit environ 5,5 % du territoire national. Ses limites s'inscrivent entre le méridien -3°et -6° Ouest, et 33^{ième} et 35^{ième} parallèles au Nord. Il est limité au Nord par les bassins versants de Loukkos et des bassins côtiers méditerranéens, à l'Est par le bassin de la Moulouya, et au Sud par le bassin de Bou Reguerag et d'Oum Er-rabia. L'oued Sebou prend naissance à **600** km en amont du bassin. Son cours d'eau est subdivisé en trois tronçons: le Haut Sebou qui prend sa source dans le Moyen Atlas et collecte ensuite les eaux des oueds Inaouene et Beht, le Moyen Sebou rejoint par l'Ouergha qui est le plus important affluent du bassin et le bas Sebou qui débouche dans l'Océan Atlantique (*Gharb*) (AHBS. 2010).



Carte 1. Situation géographique du bassin versant de Sebou.

2. MÉTHODES ET MATÉRIELS

Le présent travail nécessite la mise en œuvre d'une méthode pluridisciplinaire, qui s'appuie tout d'abord sur une large lecture bibliographique, touchant les différentes problématiques liées aux risques hydrométéorologiques. Ensuite, les données hydroclimatiques proviennent des fichiers de l'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou. Ainsi, l'étude de fréquence des débits instantanés permet de savoir la quantité maximale qui peut se produire une fois selon des durées définies comme 2, 5, 10, 20, 25,50 et 100 ans. À ce sujet, nous avons utilisé la loi d'E-J .Gumbel qui s'ajuste très bien avec ces phénomènes hydrologiques exceptionnels. Celle-ci a été appliquée à partir de la méthode graphique (Gumbel.E.J, 1957). Puis nous avons essayé d'expliquer les causes météorologiques qui ont été à l'origine des crues et des inondations dans le bassin de Sebou.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 La crue dans les débits maximaux instantanés

L'étude des débits instantanés est importante pour étudier des cas hydrologiques extrêmes (*Crues*). À travers l'analyse des données fournies par les stations étudiées entre 1980/81et 2011/12, ces données hydrométriques nous ont permis d'apporter les observations concernant la variation des débits instantanés qui peut donner une idée sur les débits extrêmes pendant les années de forte hydraucité. Celles-ci sont considérées comme des années inondables dans les différents oueds du bassin versant de Sebou (Tab. n° 1) :

• **Dans le Haut Sebou** : la station d'Azzaba (1983/84-2011/12) contribue de façon différente dans le système d'écoulement de l'oued Sebou. Dès le niveau quinquennal, nous avons pour une période de retour de 50ans, 1405.4 m³/s. De même, si au niveau centennal, on a une probabilité d'atteindre 1624.8 m³/s. Ceci est lié d'une part aux flux d'Ouest-Nord et Nord pendant la période froide et des activités d'advection lors de la période chaude (les orages). Et d'autre part à la zone karstique caractérisée par la perméabilisation des formations géologiques et la régularisation d'écoulement pendant la saison froide.

• **À l'oued Inaouene** : la station de Bab Marzouka (1980/81-2006/07) située dans une zone intermédiaire entre le Prérif et le Moyen Atlas contribue de façon différente dans le système d'écoulement de l'oued. Au niveau cinquantennal, on peut enregistrer une fois 1167.3 m³/s. Le Rif semble la partie la plus généreuse des apports d'eau. Ceci est lié aux flux d'Ouest-Nord et Nord. Au contraire, le Moyen Atlas est une zone karstique caractérisé par la perméabilisation des formations géologiques et la régularisation d'écoulement pendant la saison froide. Mais le débit centennal à la station apparaît moins élevé au cours de la saison froide qui touche 1336.8 m³/s.

• **À l'oued Ouergha** : les fréquences, et les valeurs correspondantes aux périodes de retour retenues dans le tableau, indiquent clairement la supériorité des crues d'Ain Aicha (1980/81-2010/11) et de Bab Ouender (1980/81-2006/07) dans le bassin versant de l'Ouergha. Dès le niveau quinquennal, nous avons une période de retour de 5ans, 1614.9 m³/s à Ain Aicha et 670.6 m³/s à Bab Ouender. De même, au niveau cinquantennal, on a une probabilité qui a atteint 3501.6m³/s à Ain Aicha et 1299.3 m³/s à Bab Ouender. Ces dernières valeurs restent plus au moins inférieures à la crue maximale réellement enregistrée à cet affluent, car en effet, le volume d'eau de 4050.1 m³/s à Ain Aicha est presque une crue centennale, 4050.1 m³/s à Bab Ouender. Le Rif apparaît comme la partie la plus productive des apports d'eau et connaît des fréquences de retour des valeurs des crues plus élevées. Ceci est lié à la sensibilité des mois aux maximas pluviométriques apportés par des flux d'Ouest-Nord et Nord-Ouest bien chargés par l'humidité atlantique. À titre d'exemples, nous pouvons citer la crue du 18/12/1993: (2260 m³/s), du 24/12/1996: (2176.02 m³/s) et du 30/11/2011: (2344.9 m³/s) à la station d'Ain Aicha.

• **Au Moyen Sebou, Beht et Gharb**, la station Azibe Soltane (1980/81-2006/07) a enregistré un débit instantané assez élevé. Au niveau quinquennal, nous avons une période de retour de 5 ans: 440.1 m³/s et une période de récurrence de 50 ans: 819.5 m³/s et une période de 100 ans: 929.8m³/s. La situation climatique dans le Moyen Sebou se caractérise par l'influence de continentalité qui entraîne une diminution des pluies, même si elle est influencée aussi par des situations perturbées de Nord-Ouest. La station d'Oueljet Soltane (1990/91-2011/12) au niveau de l'oued Beht qui prend naissance dans le Moyen Atlas, contribue de façon différente dans le système d'écoulement de l'oued. Au niveau cinquantennal, on peut enregistrer un débit instantané de 916.5m³/s et au niveau centennal le débit s'élève à 1025.5m³/s. Le Moyen Atlas est la partie la plus productive des apports d'eau. Ceci est lié aux flux d'Ouest-Nord et Nord et la spécificité de la zone karstique perméable régule l'écoulement pendant la saison froide.

Le débit instantané dans la plaine du Gharb à la station de Mechrâa Belksiri (1981/82-2011/12), apparaît très élevé, car c'est une zone de collecte des apports d'eau du bassin, ce qui contribue à l'augmentation du débit de l'oued Sebou au niveau de la plaine. Les crues sont plus volumineuses et ont une période de retour de 50 ans est de 2328.5m³/s. La crue centennale est plus élevée, elle est de 2640.5 m³/s. Les situations atmosphériques dominées

sur le bassin versant de Sebou, les éléments physiographiques et hydrologiques favorables ont contribué à un écoulement très important au niveau de la station de Mecherâa Belksiri, pendant les saisons hivernales le 01/02/1987 : (1690 m³/s), le 31/12/1995 : (1214,47 m³/s et le 11/03/2011 : (1135,63 m³/s).

On peut noter que le débit de l'oued Sebou au niveau de la station Azibe Soltane et Mechrâa Belksiri est fréquemment influencé par les opérations des écrêtements de débit du barrage Driss 1^{er} et Al Wahda. Les crues dont les débits instantanés et leurs probabilités de retour se présentent comme suit :

Tableau 1. Crue maximale de l'oued Sebou et de ses principaux affluents.

Temps de retour	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Azzaba	294.1	650.3	886.2	1112.5	1405.4	1624.8
Ain Aicha	724.6	1614.9	2204.3	2769.8	3501.6	4050.1
Bab Ouender	374	670.6	867	1055.4	1299.3	1482
Bab marzouka	309	584.2	766.4	941.1	1167.3	1336.8
Azibe soltane	261	440.1	558.6	672.3	819.5	929.8
M Belksiri	748.7	1255.2	1590.5	1912.2	2328.5	2640.5
O Soltane	346.4	541.4	658.6	771	916.5	1025.5

3.2. Analyse météorologique des crues remarquables de Moyen et Haut Sebou

La situation météorologique de la crue du 13/01/1996 (Fig. n°1 et Tab.n°2) a atteint un débit maximum instantané de 332.6 m³/s. Elle est déterminée par un temps de montée très court de 2 h, et un temps de baisse de 8 h. Cela est expliqué par la perméabilité et la fissuration des formations calcaires (Surtout du Cénomano-turonien), qui couvrent une surface plus importante du bassin du Haut Sebou. Ces formations amortissent par infiltration, la puissance potentielle des crues. Pour la crue de la station de Dar Al Arsa, son débit est caractérisé par l'irrégularisation du système hydraulique des barrages de l'amont (Barrage Allal Fassi) ; son écrêtement provoque des crues comme celle du 13 et 14/01/1996. L'hydrogramme montre que c'est une crue simple caractérisée par une seule montée du niveau d'eau suivie d'une descende de ce niveau. Nous notons aussi un débit de pointe de 224.7 m³/s, avec un temps de montée rapide de l'ordre de 14 h et un temps de baisse de 6 h. C'est donc une crue violente qui a rapidement atteint son débit de pointe.

Tab.2. Caractéristique de la crue du 13 /01 /1996.	Azzaba	Dar Al Arsa
Débit de pointe en m ³ /s	332.6	224.7
Débit de basse avant en ³ /s	118.3	29
Débit moyen en m ³ /s	180.5	93.1
Coefficient de pointe	1.84	2.41
Temps de basse en h	8	6
Temps de montée en h	2	14

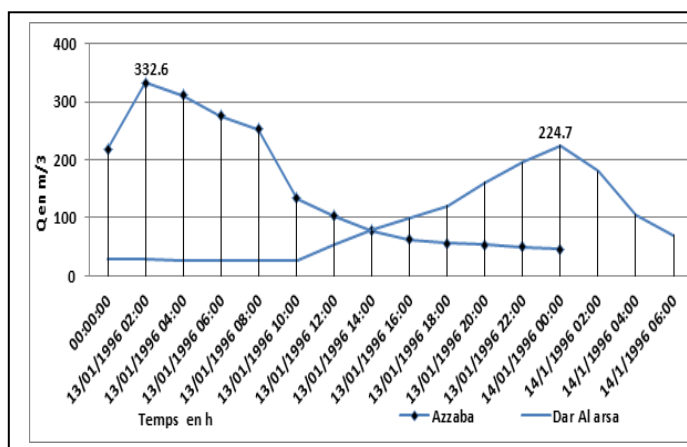


Figure 1. Hydrogramme de la crue de janvier 1996

La situation météorologique responsable de la genèse de cette crue du 13 janvier 1996 (Fig. n°2) est le résultat d'une situation météorologique issue du Nord atlantique qui descend progressivement vers le Sud en constituant des isohyètes un peu resserrées à 1005 hPa. Le type de temps responsable de cette crue est celui des pluies de fronts polaires liées à des dépressions qui se déplacent vers les basses latitudes.

Le 12/01/1996 à 12 UTC, une dépression en provenance du Nord atlantique creuse sa direction vers le Nord du Maroc pendant les jours suivants (13-14 janvier). Le courant Jet (552 dam) forme des grandes ondulations accompagnées de coulées froides très profondes qui aident la dépression atlantique (1005hPa). Cette coulée froide occupe le Nord du Maroc. Elle a provoqué des chutes de pluies notables : 33 mm à Ait Khabache, 35mm à Azzaba, 32mm à Ain Timdrine et 33.3mm à El merse durant cette période. En haute montagne, les valeurs sont certainement plus élevées. Ces pluies ont généré le plus grand événement hydrométéorologique jamais observé dans le bassin du Haut Sebou.

Les températures sont plus basses au Moyen Atlas; entre 5°C et 20 °C au sein des vallées de Sebou. La durée de ce type de temps pluvieux reste 2 jours (de 12 et 13 janvier 1996) avant le renforcement de l'anticyclone subtropical des Açores (1025 hPa le 14 janvier 1996 à 00 UTC).

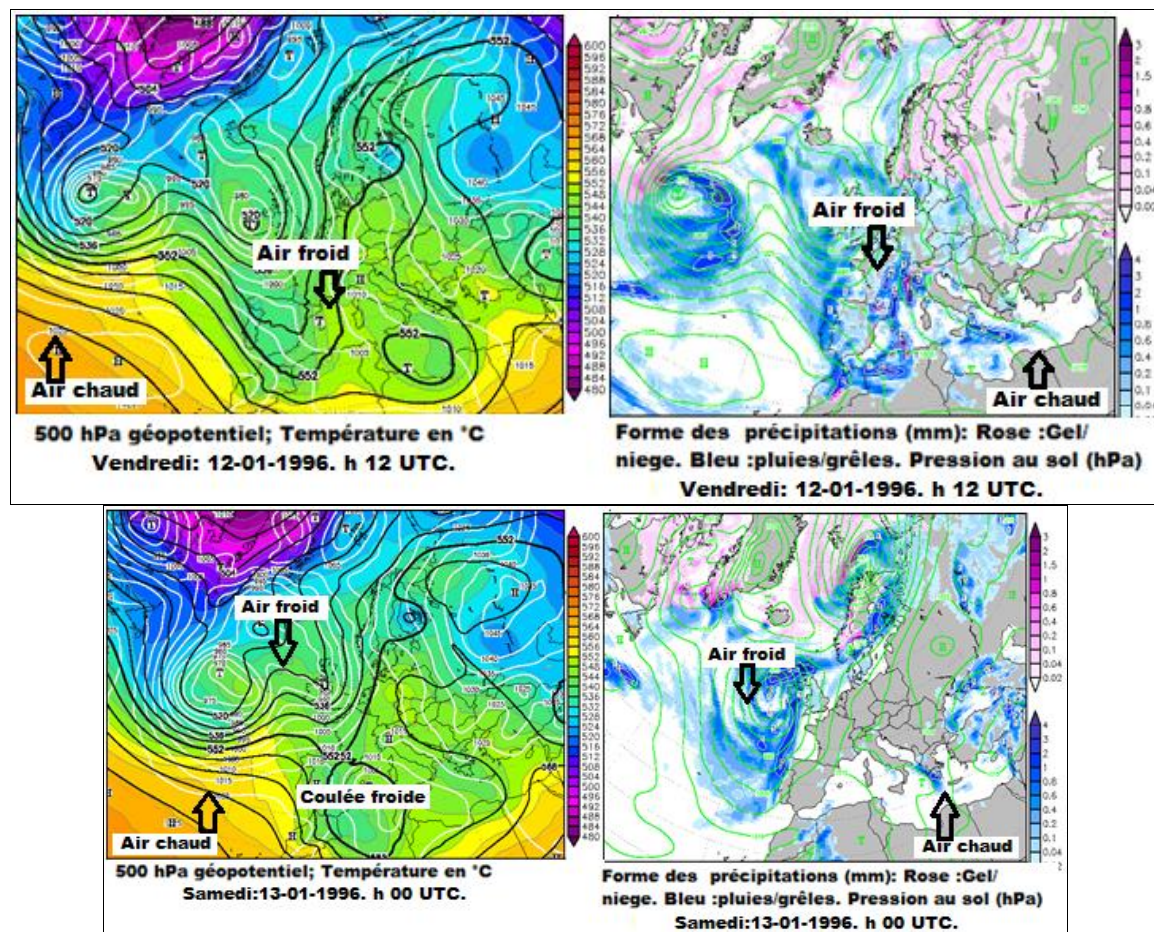


Figure 2. La genèse météorologique des crues 13 janvier 1996

Conclusion

La première observation que nous avons tirée de ce travail, est que le régime exceptionnel de l'oued Sebou et de ses principaux affluents a essentiellement une très grande irrégularité interannuelle. Les débits journaliers dépendent presque exclusivement d'hiver autant que l'importance des averses en provenance du Nord-Ouest. En effet, les mois d'écoulement

élevés, notamment novembre, janvier et février sont, en trente-deux ans d'observation, les mois les plus riches en crues. Alors que les apports des débits extrêmes enregistrent à Ain Aicha 4387,1m³/s, à Bab Marzouka 1820 m³/s en mars 2010, à Oueljet Soltane 1640m³/s en décembre 1988, et à Azzaba 2340 m³/s en septembre 2008. Tous ces débits des crues sont liés aux averses dans l'amont du bassin versant de Sebou.

Les crues de l'oued Sebou et de ses principaux affluents se manifestent le plus souvent en saison hivernale et printanière. Leurs caractéristiques et leurs évolutions dépendent de la durée, de l'intensité et de la répartition spatiale des pluies journalières ainsi que de l'état des différents réservoirs avant le début des pluies.

L'étude de quelques cas particuliers de crues a permis de montrer l'origine météorologique de chaque crue dans le bassin. Alors que les situations atmosphériques responsables des crues sont multiples. Le même type de situation peut donner naissance à des crues différentes aussi bien par leurs caractéristiques que par leur volume. L'ensemble des crues du Sebou est constitué de crues simples et de crues complexes. Etant donné que les causes principales sont les averses dont bénéficie le bassin versant. L'hétérogénéité de celui-ci, comme sa surface importante, l'inégalité de la répartition spatiale des pluies sont supposées être les plus responsables de la complexité des crues.

Bibliographie

- AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DU SEBOU (2010) : Evénements hydrologiques des mois de décembre 2009 et janvier 2010. Royaume du Maroc.
- BOBEE, B. (1999): Extreme flood events valuation using frequency analysis: a critical review. Houille Blanche 54 (7-8), 100-105.
- CHKHAMI. Kh et JANNATI IDRISSE. A (2018) : le comportement hydrologique et genèse des crues inondables dans le bassin versant de l'Ouergha (Maroc). Revue : Espace et Développement ; les ressources territoriales entre fragilité et perspectives de durabilité. Coordinatrice : Jamila SAIDI ; janvier 2018.
- CHKHAMI. Kh (2019) : les crues et les inondations dans le bassin versant de Sebou : Genèse, fréquence et impact sur la plaine du Gharb. Projet de la thèse au cours d'élaboration, CED : Langues, patrimoine et aménagement spatiale. Faculté des lettres Fès – Sais.
- GUMBEL E.(1956) : Méthodes graphiques pour l'analyse des débits de crues. La Houille blanche. Nov.1956, pp.709-717.
- EL GAROUANI, A et al (2006) : Relation entre hydrologie et climat dans le bassin versant de l'Oued Inaouène (pré-Rif marocain); Climate Variability and Change-Hydrological Impacts (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, November 2006), IAHS Publ. 308, 2006.
- EL MIZANI. F (2006): Contribution à l'étude des ressources en eaux dans le bassin versant de l'Inaouène. (Maroc septentrional). Doctorat de la faculté des sciences et techniques Fès.
- JANNATI IDRISSE, A (2010) : Les crues de l'oued Ouergha et Oued Lébène (Maroc) et leurs prévisions. Actes de colloque en hommage au professeur Driss Fassi : Systèmes environnementaux et Prospective : approche et cas de figure Pub de la faculté des lettres et des sciences humaines Sais –Fès.
- REMENIERAS. G. (1986) :L'hydrologie de l'ingénieur. Eyrolles. Paris, 456 p.
- ROUDANI, S (2013): Inondation et aménagement de la municipalité de l'oued Amlil. Mémoire de fin d'étude du Master en géographie: Aménagement, valorisation des ressources territoriales: prévention et gestion des risques environnementaux. FLSH. Sais-Fès.
- PARDE M. (1961) : "Sur la puissance des crues en diverses parties du monde". Géographia Ano VIII, Zaragoza, Espagne, 1961, 296 p.

EROSION HYDRIQUE DANS LE BASSIN VERSANT DE LA MOULOUYA (MAROC ORIENTAL) ET IMPACT SUR L'ENVAISEMENT DES BARRAGES

SBAI¹ Abdelkader, MOUADILI¹ Omar, HLAL¹ Mohamed, BOUABDALLAH¹ Mostafa et SAIDI² Abdelouahid

¹Université Mohamed Ier, Département de géographie
60000, Oujda, Maroc. Sbaiabdelkader59@gmail.com

²Faculté Polydisciplinaire Taza

Résumé: Le bassin versant de la Moulouya présente des risques d'érosion hydrique élevés. Les barrages édifiés sur ce cours d'eau perdent chaque année, par envasement, un volume d'eau d'environ 10Mm³. Ce taux inquiétant montre que l'érosion hydrique peut entraver le développement socio-économique du bassin si des mesures de protection des sols et de lutte contre l'envasement ne sont pas prises.

Cette étude contribue à définir les zones les plus menacées par l'érosion hydrique afin de les protéger en priorité. À l'aide d'un SIG et l'équation universelle des pertes en terre (USLE), nous avons dressé la carte des pertes en terre. Le modèle adopté détermine les pertes en terre, à partir de l'érosivité de pluie, l'érodibilité des sols, l'inclinaison et la longueur de la pente, la couverture du sol et les pratiques antiérosives. Les origines possibles des dépôts alluvionnant les barrages sont liées aux produits d'altération des formations carbonatées du Secondaire ainsi qu'aux formations meubles du Tertiaire et du Quaternaire. Les modalités du transport des dépôts de berges du réseau de la Moulouya, se font principalement par suspension. La dégradation spécifique, au niveau du bassin versant de la Moulouya, est estimée à 214 t/km²/an. L'intensité des précipitations, les pentes fortes et le déboisement sont à l'origine de ces pertes.

Mots - clés: Erosion hydrique, bassin versant, dégradation spécifique, envasement des barrages, Moulouya, Maroc

WATER EROSION IN THE MOULOUYA WATERSHED (EASTERN MOROCCO) AND IMPACT ON SILTATION OF DAMS

Abstract: The Moulouya watershed presents high risks of water erosion. The dams built on this river lose each year, by siltation, a volume of water of about 10Mm³. This worrying rate shows that water erosion can hinder the socio-economic development of the basin if soil protection and siltation measures are not taken.

This study contributes to defining the areas most threatened by water erosion in order to protect them as a priority. Using a GIS and the Universal Earth Loss Equation (USLE), we mapped soil losses. The adopted model determines soil loss, from erosivity of rainfall, soil erodibility, inclination and slope length, soil cover, and erosion control practices.

The possible origins of the deposits alluviating the dams are related to the products of alteration of the carbonate formations of the Secondary as well as to the Tertiary and Quaternary formations. The modalities of the transport of deposits of banks of the network of Moulouya, are mainly by suspension. The specific degradation in the Moulouya watershed is estimated at 214 t / km² / year. Precipitation intensity, steep slopes and deforestation are responsible for these losses.

Keywords: Water erosion, watershed, specific degradation, siltation of dams, Moulouya, Morocco

Introduction

Dans le bassin de la Moulouya, l'érosion hydrique présente un risque élevé. Elle permet l'envasement des barrages et des pertes importantes en volumes d'eau estimées annuellement à 10Mm^3 . Cette étude vise à mettre en relief les zones les plus menacées par l'érosion hydrique afin de les protéger en priorité. La méthode suivie à cet effet est basée sur l'équation universelle de perte en sols (USLE) de Wichmeir et Smith. Elle permet le calcul des pertes en terres du bassin de la Moulouya.

I. Cadre géographique général

Long de 520 km, l'oued Moulouya prend sa source dans le Haut Atlas à 2000 m d'altitude et draine le plus grand bassin versant du Maroc (57500 km^2). Ce bassin se situe dans la Région de l'Oriental du Maroc (Fig.1). Il présente une grande diversité de caractéristiques morphologiques, climatiques et socio-économiques.

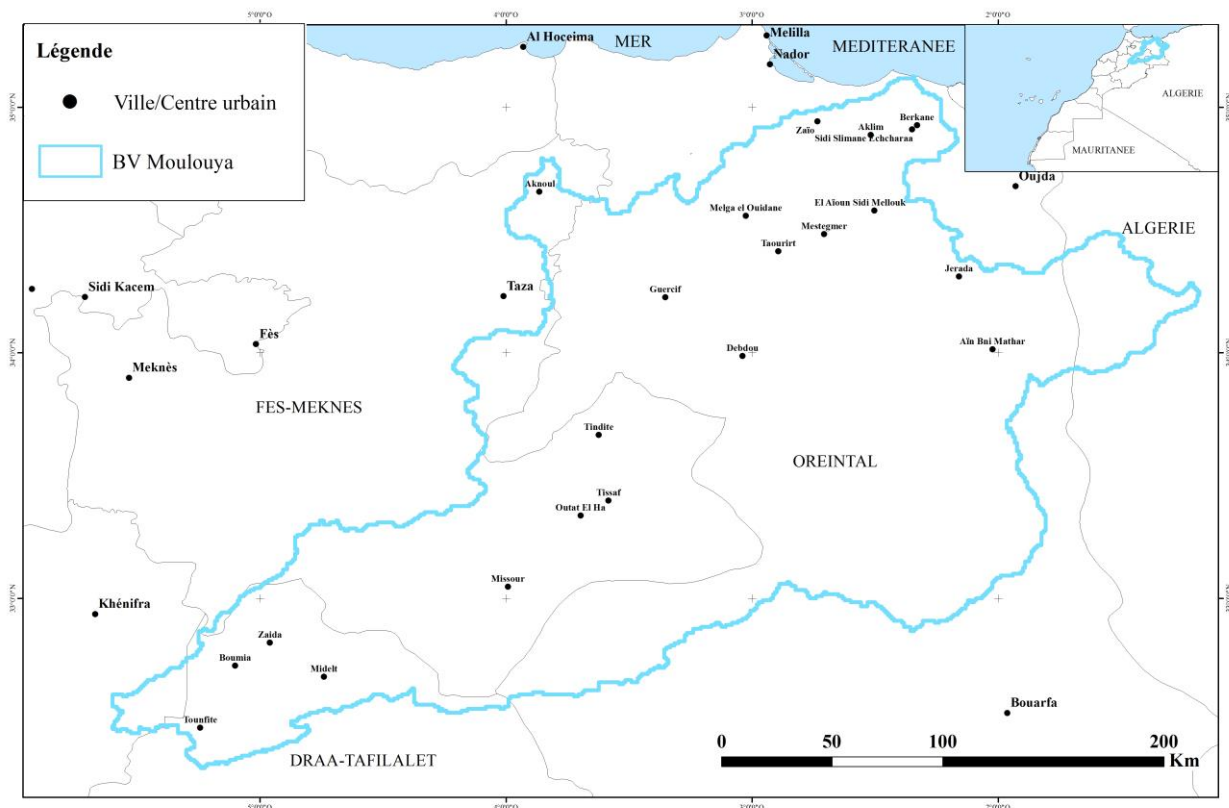


Fig.1. Carte de localisation du bassin de la Moulouya

I.1. Un relief massif et accidenté

Des zones montagneuses jeunes d'altitude importante (Rif oriental, Moyen Atlas plissé, Beni Bou Yahi, Beni Snassen, Haut Atlas) et des plateaux élevés (Hauts plateaux, chaîne de Jerada) enserrant de larges plaines: Moyenne Moulouya, bassin de Guercif, couloir de Taourirt-El Aïoun, plaines méditerranéenne.

Les chaînes montagneuses situées à l'intérieur du bassin de la Moulouya sont assez élevées et culminent à 1839m pour les Ben Bou Yahi, 1535 m pour les Beni Snassen, et 1726 m pour la chaîne de Jerada. 18 % du bassin versant dépassent 1500 m d'altitude et 11 % sont inférieurs à 500 m.

Les plaines de la Moulouya sont de grandes cuvettes remplies de dépôts détritiques. Elles s'échelonnent depuis 1500m dans la partie amont de la Moulouya jusqu'à 400-500m dans le bassin de Taourirt-Guercif. La plaine côtière des Trifa est également constituée de matériaux détritiques quaternaires.

I.2. Cadre géologique et géomorphologique

Le Moyen et le Haut Atlas et les montagnes situées à l'intérieur du bassin sont à dominance calcaire (Lias et Jurassique supérieur surtout). Les roches sédimentaires (calcaires, marnes, grès et conglomérats) occupent 97 % de la surface du bassin versant, alors que les roches magmatiques et métamorphiques n'en couvrent que 3 % (Fig.2).

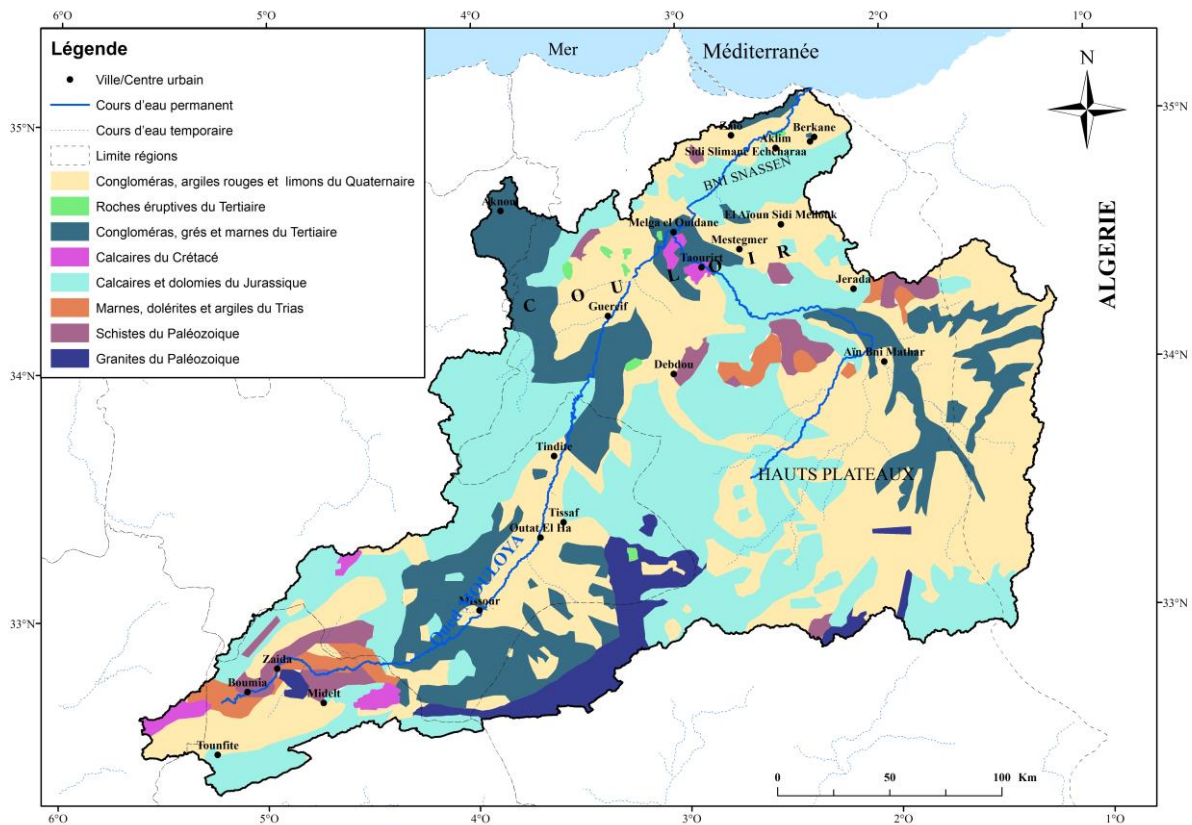


Fig.2. Carte lithologique du bassin de la Moulouya

I.3. Un climat méditerranéen aux saisons différenciées

Le bassin de la Moulouya constitue une région particulièrement aride, située loin des influences atlantiques humidifiantes et adoucissantes et derrière l'écran montagneux formé par l'Atlas et le Rif. Le climat devient de plus en plus sec et aride à mesure que l'on se dirige vers le sud.

Le total pluviométrique atteint plus de 300 mm en moyenne par an au nord et sur les zones de montagne, alors qu'au sud, son niveau varie entre 200 et 300 mm par an. Le climat du bassin est caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers frais, les précipitations se limitant à la période hivernale.

I.4. Une végétation diversifiée

Le bassin de la Moulouya dispose d'une forêt naturelle dont la superficie est estimée en 2008 à 2,5 millions d'hectares, soit environ 29% de la superficie totale des forêts nationales. La nappe alfatière couvre l'essentiel de ces forêts, soit 2.2 millions d'hectares. L'aridité accusée du climat, explique le caractère globalement pauvre du couvert végétal qui se présente sous deux formes principales: d'un côté, des formations forestières naturelles, plus ou moins dégradées, localisées sur certains versants de montagnes relativement arrosés où dominant largement le chêne vert et le thuya; de l'autre, des formations steppiques, s'étendant surtout à travers les espaces arides du centre et du sud de la Région, où dominant l'alfa et l'armoïse.

La croissance de la population ainsi que la demande élevée sur les terres cultivables ont entraîné un processus de défrichement des terres de parcours, peu aptes à l'agriculture à cause des contraintes climatiques.

I.5. Un réseau hydrographique important à écoulement perturbé

L'oued Moulouya constitue de loin le principal cours d'eau de la région de l'Oriental. Son flux moyen est estimé à un milliard de m³ par an. Il a un régime d'autant plus irrégulier qu'il traverse des régions montagneuses plus humides et de vastes plateaux et plaines semi-désertiques. Les débits lors des crues peuvent dépasser 6000 m³/s dans la basse Moulouya.

Trois grands barrages ont été édifiés dans ce bassin pour subvenir aux besoins de la région en matière d'eau potable, d'irrigation et de production d'électricité.

- **Barrage Machraâ Hammadi** : Construit en 1956 sur la Moulouya d'une hauteur de 56 m, il a un volume de retenue de 6,6 millions de m³ (42 millions de m³ au départ).

- **Barrage Mohammed V** : Cet ouvrage mis en service en 1967 avec une hauteur de 64 m, est le plus grand réservoir d'eau de la région avec un volume de retenue de 411 millions m³ (760 millions de m³ au départ).

- **Barrage Hassan II**: Son volume de retenue varie entre 109 et 270 millions m³ avec un débit de 710 m³/seconde pendant la période pluvieuse et 450 m³/seconde durant l'été.

I.6. Population et occupation des sols

La population du bassin de la Moulouya dépasse 800000 habitants selon le Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2014. La bordure méditerranéenne a un peuplement important et une densité élevée.

La superficie totale des terres irriguées est de l'ordre de 110 784 hectares, soit 9% de la superficie totale des terres agricoles (La Région de l'Oriental. Monographie générale, 2015). La partie nord, composée essentiellement de terres irriguées appartenant à la province de Berkane, constitue la première zone agricole de la région (plaine des Trifa). Les autres terres irriguées se trouvent dans les autres plaines de la région et à proximité de certaines agglomérations urbaines (Guercif, Taourirt...). Quant aux terres agricoles en Bour, elles s'étendent sur de vastes superficies dépassant les 635.000 hectares. Dans les régions arides du bassin, l'élevage sur des parcours naturels constitue la seule source de revenu agricole possible pour la population de ces régions.

Les techniques culturales constituent un facteur anthropique important pouvant réduire ou accélérer l'érosion.

Ces différents facteurs conduisent à une érosion intense du bassin versant de la Moulouya. Les apports de matières solides arrivant dans les barrages ont été estimés à 10Mm³ par an.

II. Erosion dans le bassin versant de la Moulouya

Les formes de la dynamique actuelle dans le bassin de la Moulouya sont dominées par l'érosion hydrique. Cette érosion est responsable de la perte des quantités importantes en sol et leur dépôt dans les barrages. Elle est régie par la nature des formations géologiques et surtout les formations superficielles quaternaires, la nature du sol, le degré de pente, l'orientation des versants et le type d'utilisation des sols.

II.1. Outils et méthode de travail

L'approche quantitative a été adoptée pour estimer la perte en sol en utilisant l'équation universelle pour calculer l'ampleur de la dégradation des sols (Wischmeier et Smith, 1978). Des mesures sur le terrain à l'aide du simulateur de pluie de type RAMP ont été également faites (Roose, 1996).

L'équation universelle de la perte en sol (Wischmeier et Smith, 1978), s'écrit comme suit:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

- A (t/ha/an) : Perte en sol par unité de surface et par an,
- R : Indice de pluie caractérisant l'agressivité climatique,
- K : Facteur d'érodabilité du sol,
- LS : indice combinant l'effet de la longueur L de parcelle et de la pente S,
- C : Indice des pratiques culturales,
- P : Indice d'aménagement anti-érosif.

II.2. Résultats et discussion

Après avoir calculé les différents facteurs adoptés dans l'équation universelle de perte en sol, nous avons calculé les superficies des terres érodées (Fig.3).

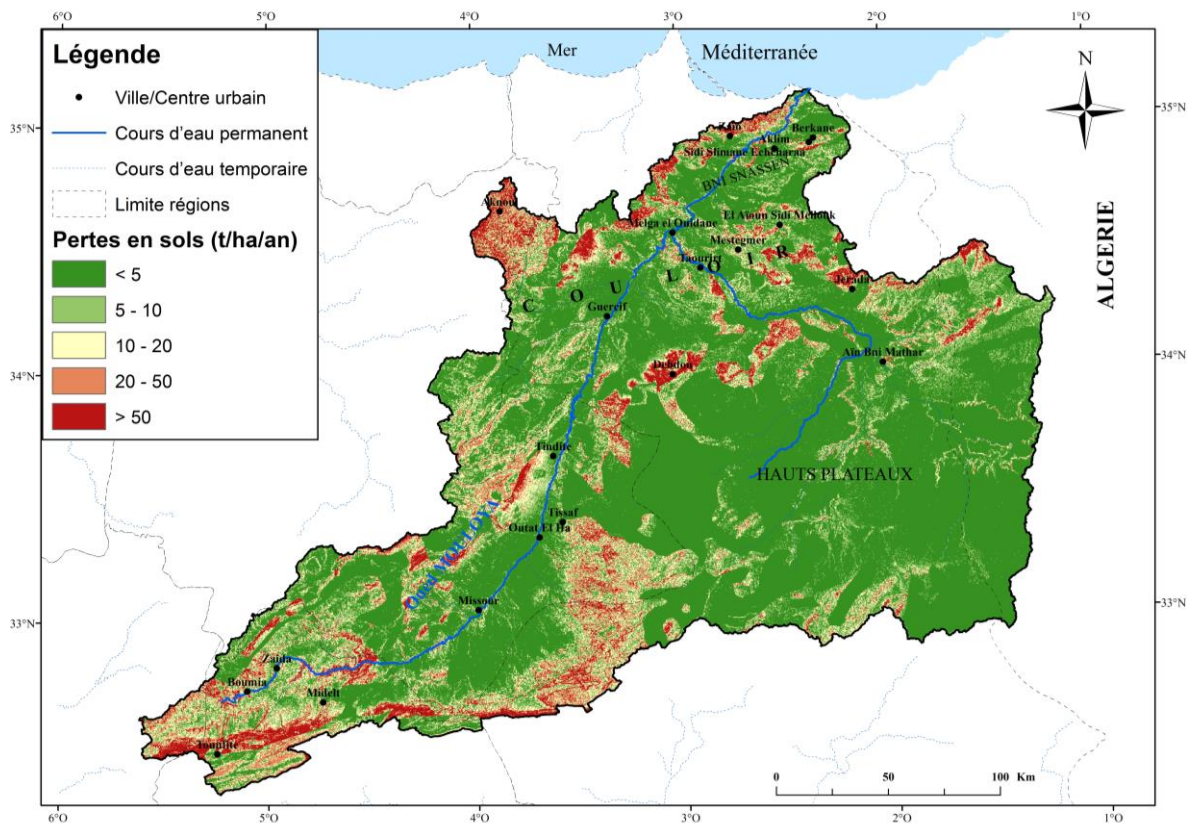


Fig.3. Carte d'érosion des sols (A)

A partir de la figure 3, nous avons essayé d'extraire la quantité de perte en sol en la divisant en cinq catégories en fonction de la nature et de la structure morphologique du terrain d'étude, puis nous avons dressé un tableau qui indique la quantité des catégories de perte en sol.

Tabl.1. Quantités et superficies de pertes en sol

Classe	Perte en sol (tonnes/ha/an)	Quantité en tonnes/an	Pourcentage	Superficie en km ²	Pourcentage
Très faible	< 5	751086	8%	39398	65%
Faible	5 - 10	695067	8%	7968	13%
Moyenne	10 - 20	934785	10%	5639	9%
Forte	20 - 50	1515485	17%	4279	7%
Très forte	>50	5145537	57%	3119	5%
		9041960	100%	60402	100%

A partir du diagnostic des manifestations de l'érosion et de sa quantification par la modélisation et par des mesures directes sur le terrain, nous constatons que la dégradation a atteint des niveaux complexes et avancés. Les matériaux enlevés varient de 0,02 à 29,05 tonnes par hectare.

Les zones à forte érosion représentent 7398 km² sur un total de 60402 km² ; elle est estimée à plus de 6660000 tonnes par an. 74% des matériaux enlevés ne sont répartis que sur 12% de la superficie du bassin. La dégradation spécifique moyenne du sol dans le bassin est estimée à 13,5 tonnes/ha/an. Il a été constaté que la forte et très forte érosion règne dans les zones de hautes altitudes. Les valeurs d'érosion sont relativement élevées au nord-ouest (bassin de Msoun), dans les calcaires marneux créacés au sud-est de Outat El Haj, dans la Haute Moulouya (région de Midelt) et dans certaines plaines au centre. Ceci est principalement dû aux fortes pentes, à la rareté du couvert végétal, à la nature du sol et au système d'utilisation des terres. Les quantités de sol érodé (inférieures à 10 tonnes/ha/an) représentent 16% de la superficie du bassin. Elles sont estimées à plus de 1446153 tonnes par an réparties sur 78% du bassin. Ceci est dû principalement à la platitude du terrain, aux faibles précipitations et aux activités agricoles.

Les précipitations excessives et violentes, le déclin et la dégradation de la couverture végétale ainsi que la surexploitation des pâturages et de l'agriculture contribuent à accroître la vulnérabilité et à accélérer le développement de la dynamique de l'érosion hydrique dans le bassin de la Moulouya.

Le sol se détériore constamment en raison de la nature rocheuse de la région et des conditions naturelles de la sécheresse, aggravées par les systèmes inadéquats d'exploitation et de dégradation humaines. Les mutations récentes de l'occupation des sols modifient la répartition spatiale des zones d'alimentation en sédiments (Sbai et Ghzal, 2007).



Photo 1. Glissement au bord de la falaise d'oued El Ard en aval du bassin d'oued El Abed.
Le 17 septembre 2017

L'observation sur le terrain montre clairement que les travaux agricoles dans la zone d'étude ont une production très faible. Les agriculteurs essaient de gagner plus de terrain au détriment du couvert végétal qui joue un rôle important dans la fourniture de fourrage au bétail et dans la protection du sol contre l'érosion hydrique et éolienne. Cette extension dans les endroits inappropriés cause de l'érosion.



Photo 2. Extension de l'espace agricole et son aménagement par épierrage, ce qui contribue à l'érosion. Le 1er août 2017, route nationale n°19. Plaine de Tafrata.

En essayant d'analyser le rôle des facteurs anthropiques dans l'activité de la dynamique actuelle, le suivi des modes d'utilisation des sols, le rôle des projets de l'État dans la gestion de ces ressources et leurs impacts sur l'environnement, nous constatons certaines des actions entreprises par l'État au niveau de la région, telles que la mise en place de réserves pastorales et la plantation d'arbustes fourragers, dans le but d'atteindre plusieurs objectifs au niveau environnemental, social et économique.

Ce qui est intéressant, c'est que les formes de dégradation se poursuivent en l'absence d'une approche globale prenant en compte les besoins et les exigences de la population rurale, dont l'absence dans les projets et programmes de développement constitue un tournant majeur pour les composantes naturelles et leur importance pour la préservation des ressources naturelles et leur durabilité.

Les processus d'érosion intenses dans le bassin de la Moulouya expliquent les forts taux d'envasement des barrages de Mechrâa Hammadi (1958) et Mohamed V (1967) et se répercutent sur l'irrigation de la basse Moulouya et sur l'alimentation en eau potable des principales villes et centres urbains du nord-est du Maroc.

L'évolution de l'envasement du barrage Mohamed V depuis 1967 montre que la retenue a fait l'objet d'une sédimentation croissante à des vitesses variables et à un rythme moyen de 10.8 Mm³/an, soit une perte de capacité de 67 %. La figure 4 illustre l'évolution temporelle de l'envasement et montre que pendant la période 1994-2011 la vitesse de l'envasement accuse un certain ralentissement. Depuis sa mise en service en 1967 le barrage a accumulé près de 487 millions de m³ de dépôts et a connu une perte de capacité de 67,1 %.

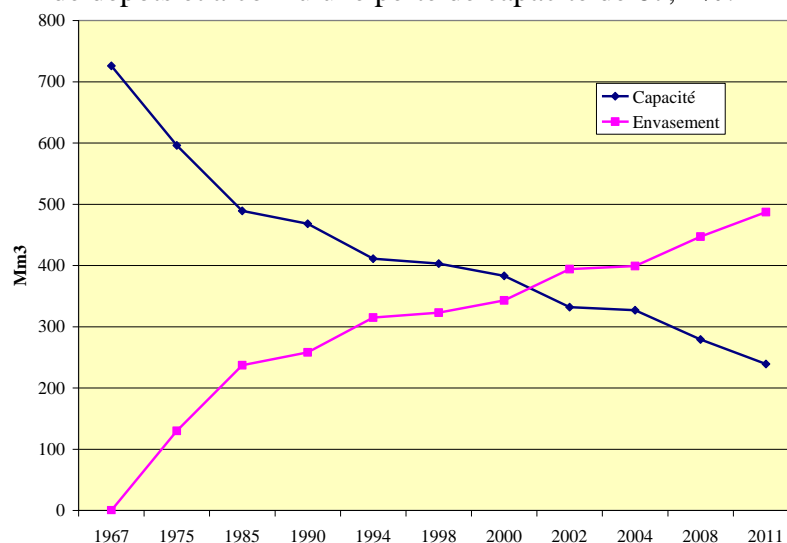


Fig.4. Evolution de l'envasement du barrage Mohamed V

Conclusion

L'étude des diverses formes d'érosion dans le bassin de la Moulouya montre qu'il connaît une forte activité morphodynamique. Le ruissellement se développe dans le bassin, sur toutes les classes de pente, et est étroitement lié à la nature de l'exploitation inappropriée du milieu naturel fragile. L'érosion hydrique conduit au ravinement et à l'extension latérale des vallées, ce qui contribue à la suppression de parties importantes de la surface.

Ainsi, dans cette étude, nous avons tenté d'évaluer la quantité de perte en sol par l'équation universelle de Wischmeier et de réaliser des mesures directes sur des parcelles expérimentales afin de pouvoir montrer l'ampleur de la dynamique érosive actuelle dans cette zone. Les observations de terrain montrent que le transport des dépôts par les différents cours d'eau, affluents de la Moulouya, se fait essentiellement par suspension. Ce mode de transport peut affecter les particules inférieures 400 μm . La fraction restante est transportée par saltation. Ces sédiments sont piégés chaque année dans les retenues de barrages et expliquent les pertes importantes de volumes d'eau.

Il reste nécessaire de rechercher les perspectives de cette dégradation et de suivre son évolution en ce qui concerne les ressources locales et le facteur humain qui est un facteur de déséquilibre actuel du milieu.

Bibliographie

- EL HANNANI, M, TAÏBI, A-N et BOUMEAZA, T (2014). Dynamique morpho-paysagère du bassin versant moyen de l'oued Moulouya et impact sur l'envasement des barrages (Maroc). Colloque international en hommage à Gérard MOGUEDET : Eau, milieux et aménagement Une recherche au service des territoires. Presses de l'Université d'Angers, 2014. P.31-43.
- ROYAUME DU MAROC. Ministère de l'Intérieur. Direction Générale des Collectivités Locales (2015) - La Région de l'Oriental. MONOGRAPHIE GENERALE. 2015. 66p.
- SBAI, A et GHZAL, M (2007) - Dégradation des parcours et érosion dans le couloir d'El Aioun - Taourirt (Maroc nord-est). Colloque National: Taourirt – Oued Za – la Kasbah. Histoire, espace et développement. 8-9 Mai 2007. Province de Taourirt. Travaux du Colloque. Collection Etudes & Séminaires. P.169-182 (en langue arabe).
- WISCHMEIER W. H, SMITH D. D, (1958) - Rainfall enegy and its relationship to soil loss. Trans. AGU 39, pp285-291.

L'ÉROSION HYDRIQUE DANS LE PRERIF ORIENTAL : CARTOGRAPHIE ET EVALUATION QUANTITATIVE (CAS DU BASSIN DE L'OUED LARBAA- MAROC)

ARARI K¹, TRIBAK A¹, AMHANI Z¹, ABAHROUR M² et El Ommal M¹.

1 - LAGEA-DD, FLSH - Sais, Route d'Imouzzer, BP.59, Université Sidi Mohamed ben Abdellah Fès, Maroc.

Email : Khalid.arari.geo@gmail.com - abdellatif.tribak @usmba.ac.ma

2-Laboratoire DEPF2D, Taza, Faculté polydisciplinaire de Taza, Maroc.

Résumé: Le bassin versant de l'oued Larbaâ, située au Nord de Taza, constitue un milieu fragile et vulnérable où l'érosion hydrique est à l'origine d'énormes pertes en terres et une production excessive de sédiments. La fragilité des matériaux, essentiellement marneux, et leur sensibilité à l'érosion révèlent autant plus d'importance que la plupart des terrains sont dénudés et directement exposés aux processus érosifs. L'objectif du présent travail est d'une part, la cartographie et l'étude diachronique de l'occupation du sol pour la période située entre 1984 et 2017, et d'autre part d'estimer les pertes en sol au sein du bassin par l'application du modèle RUSLE. La confrontation des paramètres a permis de déduire la carte d'érosion, à partir de laquelle il ressort que le phénomène d'érosion touche l'ensemble du bassin à des niveaux différents en fonction des types d'occupation. La moyenne des pertes en sol enregistre 90 t ha⁻¹ an⁻¹ dans les terrains incultes, 27,5 t ha⁻¹ an⁻¹ au sein des terrains labourés, 22,7 t ha⁻¹ an⁻¹ pour l'arboriculture fruitière, et finalement 13,7 t ha⁻¹ an⁻¹ dans les terrains boisés ; les pertes moyennes, pondérées à la surface, sont de l'ordre de 45 t ha⁻¹ an⁻¹.

Mots-clés: Erosion, Quantification, RUSLE, Prérief, Maroc.

WATER EROSION IN THE ORIENTAL PRERIF: MAPPING AND QUANTITATIVE ASSESSMENT (CASE OF THE WADI LARBAA BASIN - MOROCCO)

Abstract: The Wadi Larbaâ watershed, located in the north of Taza, made up of a fragile and vulnerable environment where water erosion is the reason of enormous soil loss and an excessive production of sediment. The fragility of the materials, mainly marl soil, and their sensitivity to erosion are all more important than the most barren land which is directly exposed to erosion processes. The main objective of this study is to illustrate on the one hand, the mapping and the diachronic study of the land use for the period between 1984 and 2017, and on the other hand to estimate the soil loss within the basin using the RUSLE model. The comparison of the parameters allowed to deduce the erosion map, from which it emerges that the phenomenon of erosion affects all the basins at different levels depending on the types of use. The average soil loss records 90 t ha⁻¹ year⁻¹ wasted land, 27.5 t ha⁻¹ year⁻¹ Agriculture (plowed) land, 22.7 t ha⁻¹ year⁻¹ for arboriculture / Olive trees , and finally 13.7 t ha⁻¹ year⁻¹ in reforestation and forest; average loss, surface weighted, is of the order of 45 t ha⁻¹ year⁻¹.

Keywords : Erosion, Quantification, RUSLE, Rif, Morocco

1. INTRODUCTION

Le bassin-versant de l'oued Larbaâ d'une superficie d'environ 280 km², est situé dans le Prérif oriental au nord du Maroc (Figure 1), il est caractérisé par une topographie accidentée dont les altitudes varient de 433 m et 1370 m (J.Azdem). Les formations géologiques sont constituées de terrains marneux tertiaires dans une structure marquée par des charriages (Leblanc 1979). Le climat local est caractérisé par de forts contrastes saisonniers avec des pluies brutales et concentrées entre novembre et mars. La densité humaine y est importante (51,80 habitants/km²) ; la plupart des versants sont totalement dénudés et subissent à des fortes pressions humaine notamment les versants qui sont situent à proximité de forêt d'Azdem (Bab Mrouj).

Ce milieu est soumis à une dynamique érosive intense dont les modalités sont très variées. Les pertes de terres y sont, par conséquent, énormes et alarmantes. Les données de la télédétection nous ont permis de suivre l'évolution de l'occupation des sols ayant pour but la compréhension de la distribution spatiale de l'érosion en fonction de la nature d'utilisation des terres. Par ailleurs, le modèle empirique RUSLE nous a permis d'évaluer les taux d'érosion sur l'ensemble du bassin, en fonction de la distribution de l'agressivité des pluies, l'érodibilité des sols, la topographie, l'utilisation des terres et les pratiques de gestion des cultures.

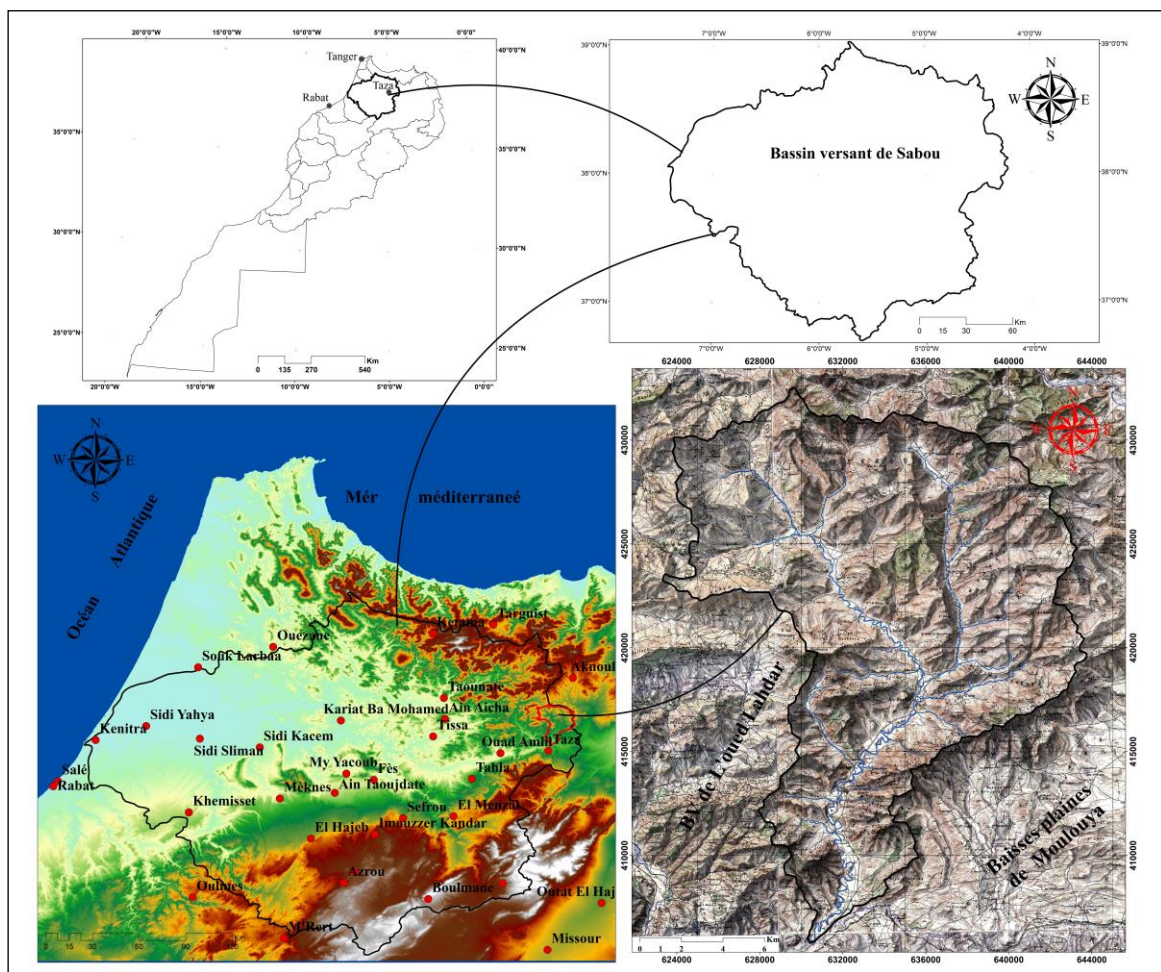


Figure 1. Situation géographique du bassin versant de l'oued Larbaâ.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Notre démarche repose sur l'utilisation des données de la télédétection pour une connaissance spatialisée des facteurs de différenciation de l'érosion (occupation du sol, importance du couvert végétal, ...) et sur l'usage du système d'information géographique (SIG) pour des opérations d'analyse et de modélisation des processus d'érosion.

L'identification de la variation spatiale et temporelle de l'utilisation des sols dans la zone d'étude, a été réalisée à partir de la classification des images satellite Landsat-5 TM et Landsat-7 ETM + (entre 1984 et 2017). Les données acquises sont traitées et analysées par le logiciel de traitement d'image Erdas Imagine 2014. Dans un premier temps, ces images ont été géoréférencées selon le système de projection de la zone nord de Merchich. Ainsi, nous avons réalisé un découpage des images en sélectionnant les parties correspondant à la même partie de l'espace à partir des coordonnées géographiques de notre zone d'étude. Ces prétraitements géométriques ont permis l'intégration de l'imagerie satellitaire dans le SIG de la zone concernée et l'exécution des analyses requises. De même, des opérations de mise en valeur et des combinaisons de canaux ont été faites pour améliorer le visuel de la qualité des images et d'augmenter la séparabilité des classes thématiques pour une bonne photo-interprétation.

Le modèle empirique RUSLE s'applique à la quantification des pertes en sol par érosion en nappes. C'est une fonction multiplicative des cinq facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique : agressivité climatique (R), érodibilité des sols (K), inclinaison et longueur de pente (LS), occupation des sols (C) et pratiques antiérosives (P) : $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$

La valeur de l'indice R utilisée pour le bassin de l'oued Larbaâ a été basée sur la formule de (Rango et Arnoldus 1987) et dérivée en utilisant les données pluviométriques disponibles dans la station Ain Boukellal, période (1977- 2015) pour une pluie annuelle moyenne de 393 mm. Le facteur d'agressivité des pluies est ainsi estimé à 65. La valeur K a été calculée à l'aide du nomogramme de Wischmeier et par sa formule, et en exploitant les résultats des analyses physico-chimiques issus des travaux de (Tribak 2000 et Tribak et al .2009) dans la zone étudiés. Les valeurs situées entre 0.23 et 0.54, révèlent, une nette fragilité des sols et leur forte sensibilité aux processus érosifs dans le bassin. Le Facteur topographique (LS), dépend à la fois de la longueur de pente et de l'inclinaison de la pente. Le calcul de facteur LS du bassin versant de larbaâ, est effectué à l'aide du logiciel Arc gis. Ce dernier utilise le MNT (Module Numérique de Terrain) pour calculer de degré de la pente, l'orientation et la longueur cumulative de la pente puis enfin calculer le facteur LS. La valeur du facteur C utilisée est basée sur les résultats des précédentes études similaires concernant certains bassins versants dans les montagnes du Rif (Tribak et al 2009), et aussi à l'aide d'images satellite, ainsi que des observations sur le terrain. La valeur la plus faible de 0.08 demeure dans les zones de forêts et reboisement, cependant les coefficients de 0.25 à 0.26 se localisent dans les aires couvertes par les cultures annuelles et l'arboriculture-fruitière. Le facteur P varie de 1 pour les zones sans conservation à 0,1 pour les terres fortement aménagées (Roose, 1996). En raison de l'absence des aménagements dans la zone d'étude, la valeur de 1 a été attribuée à l'ensemble des bassins.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

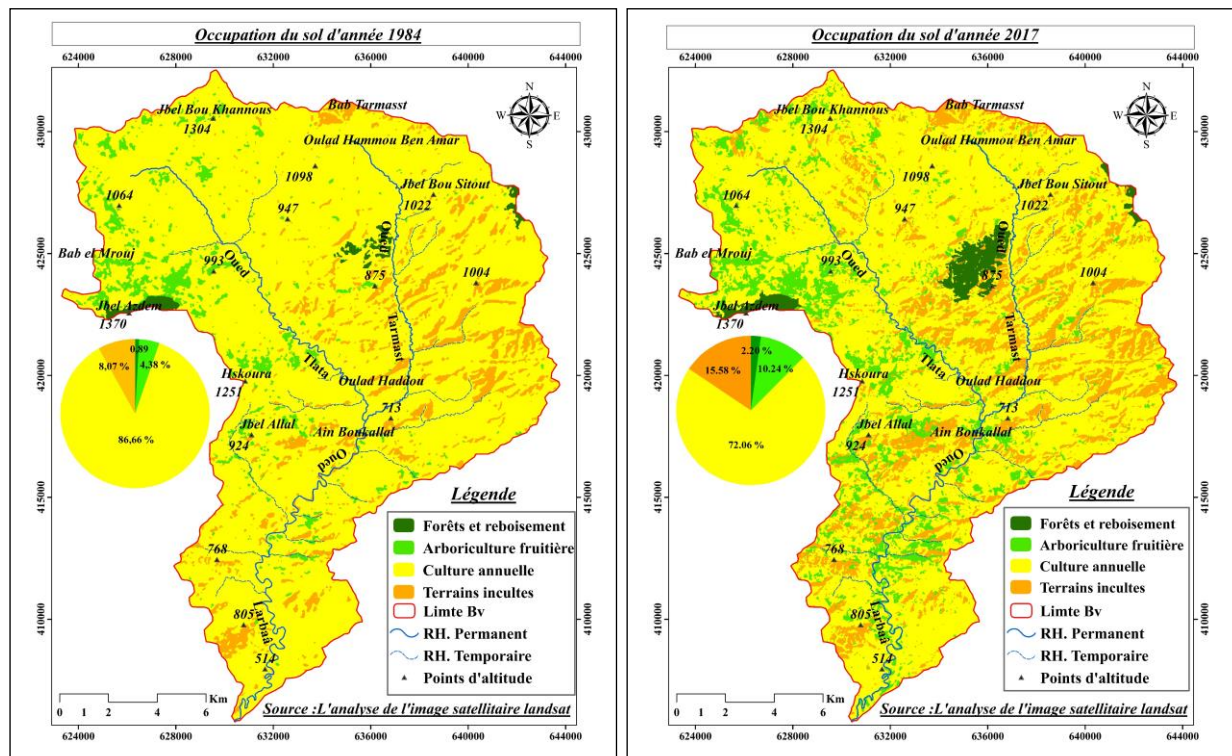


Figure 2. Evolution de l'occupation du sol dans la région de l'oued Larbaâ (1984-2017).

L'étude diachronique de l'occupation du sol révèle une modification de l'espace naturel avec un accroissement des zones d'arboriculture fruitière (+ 57,22%), une extension des sols fortement érodés (badlands et terrains incultes) (+48,24 %) et une réduction de zones de céréalicultures (-20,26 %). L'augmentation des zones d'arboriculture fruitière et reboisement sont justifiées lors de nos enquêtes sur le terrain par les témoignages des habitants qui confirment avoir entamé une opération d'implantation d'olivier encouragée par l'Etat durant les années 90 (DPA de Taza, 1997 et 2007).

L'extension actuelle de la surface des terres incultes et des badlands dans le bassin, s'explique par l'abandon de certains secteurs, qui constitue un phénomène récent lié aux mouvements migratoires au sein de la région qui laisse le sol sans protection. L'absence d'actions de protection et d'aménagement, fait que les parcelles abandonnées deviennent un lieu de prédilection pour les processus de ravinements et par conséquent, l'apparition de réseaux denses d'incisions qui évoluent en badlands.

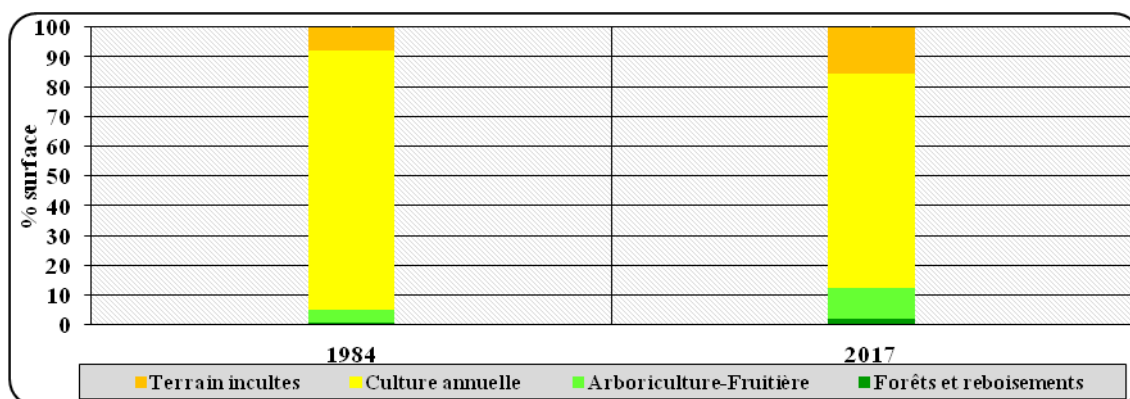


Figure 3. L'évolution des types d'occupation du sol dans le Bv de l'oued Larbaâ.

La superposition multiplicative des quatre couches thématiques représentant les facteurs de l'érosion sous format Raster, a permis l'obtention de la carte d'aléa d'érosion, exprimant la valeur d'érosion potentielle en t/ha/an par unité spatiale. Les cartes obtenues (Fig. 4) montrent la répartition des classes d'érosion au niveau du bassin versant de l'oued larbaâ ; avec une érosion faible $< 7 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$, une érosion modérée entre $7 \text{ et } 20 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$, alors qu'au-delà de 20, l'érosion est forte ($20 \text{ à } 35 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) à très forte ($> 35 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$). Cependant, les pertes moyennes sont de l'ordre de $45 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$. Dans les sous-bassins marneux des Oueds Telata et Tarmast, situés à l'amont du bassin l'Oued Larbaâ, les pertes moyennes pondérées par la surface sont respectivement de $61 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ / (Abahrour, 2009 ; Tribak et al. 2009) et $81 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (Tribak et al. 2015 ; Tribak et al. 2017). Dans l'oued El Mellah à Central Prerif, elles sont estimées à $34 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (El Laroussi et al. 2011).

A partir des cartes des pertes en sols (1984 et 2017), nous observons que les classes des pertes en sols moyennes annuelles attestent d'une grande fragilité de la partie Est et Nord-Est du bassin taillé essentiellement dans les marnes et les marnes gréseuses miocènes où les valeurs supérieures à $35 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ sont dominantes (figure 4). Ces dernières concernent environ 9556 hectares, soit 34,21 % de la superficie totale du bassin. Les faibles pertes en sol ($< 7 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) dominant surtout sur les versants de la rive droite du bassin et la plaine alluviale où sur des forêts- reboisements qui couvrent encore les terrains gréseux, affleurant largement dans ce secteur.

Les pertes moyennes pondérées déterminées par RUSLE par types d'occupation du sol varient entre (de $12,7 \text{ à } 13,07 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) comme valeur minimale dans les zones occupées par les Forêts-reboisement et (de $89,1 \text{ à } 90 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) comme valeur maximale enregistrée au niveau des terrains incultes (badlands). Ces derniers correspondent généralement à des régosols ou à des sols peu évolués d'érosion peu protégés et situés sur de fortes pentes. Les terrains occupés par les cultures annuelles (arables) manifestent également une forte susceptibilité à l'érosion avec des pertes annuelles de $26,80 \text{ à } 27,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$.

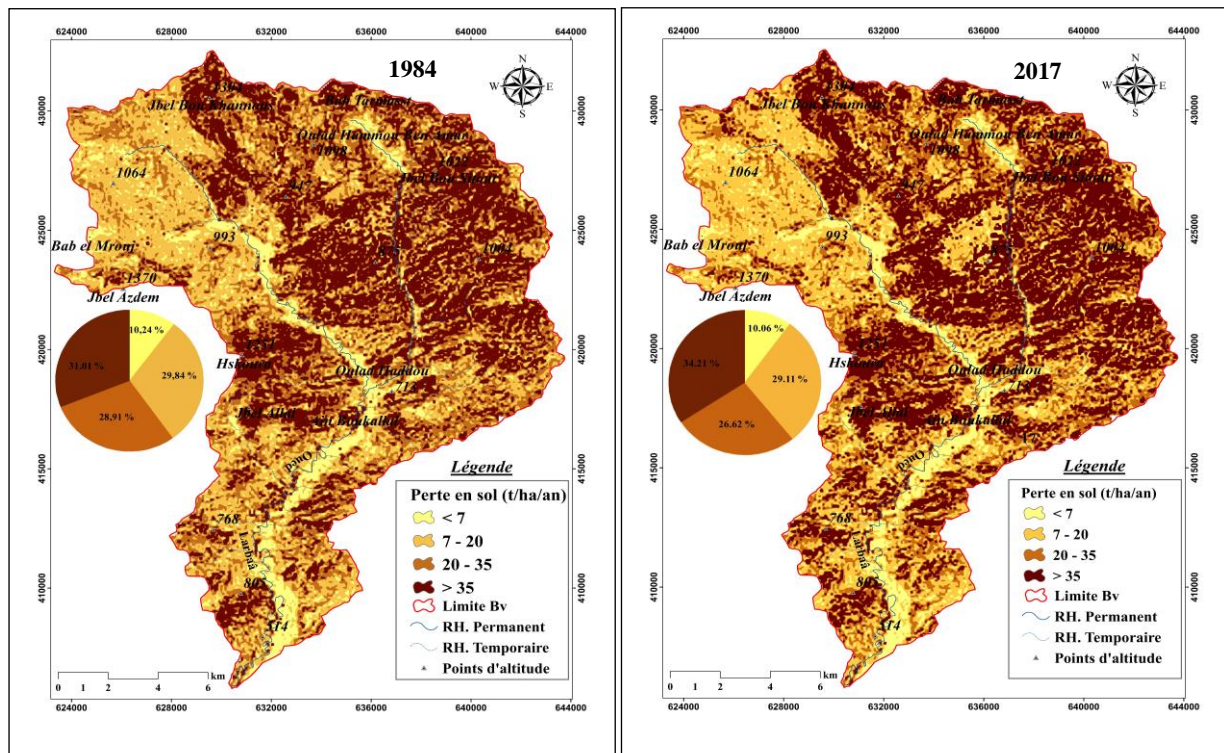


Figure 4. Cartes des pertes en sols estimées dans le bassin versant de l’oued Larbaâ.

Il est important de signaler que des quantités assez similaires ont été enregistrées au niveau de certaines rigoles d’érosion taillées sur des terrains de cultures au sein du sous bassin de l’Oued Tleta. Des essais de quantification basés sur les dimensions des incisions, montrent que les pertes, sur des sols peu évolués d’érosion en forte pente (entre 30 et 36°), sont estimées entre 45,6 et 140 t ha⁻¹/an⁻¹. Pour les mêmes conditions de pentes, les pertes se situent entre 53 et 134 t ha⁻¹/an⁻¹ sur des vertisols issus des marnes miocènes (Abahrour 2009; Tribk et al., 2012). De même, des testes de simulation de pluie montrent les valeurs élevées de turbidité sur les terres labourées par rapport à d’autres types d’occupation reflètent l’importance de l’érosion et de la production de sédiments à partir de ces terres, malgré les taux de ruissellement réduits. Les pertes sont estimées à 120 g / l en début d’automne 72,46 g / l au printemps et 69,61 g / l en hiver.

CONCLUSION

L’étude diachronique et la cartographie de l’occupation du sol à partir des données de télédétection d’une part, et l’évaluation quantitative de l’érosion hydrique dans le bassin versant de l’oued Larbaâ d’autre part, montrent une grande fragilité environnementale de ce milieu. Les sols et les formations superficielles issus de terrains essentiellement marneux manifestent une grande susceptibilité à l’érosion ; ceci est d’autant plus important que les fortes pentes sont totalement nues et mises en cultures. En effet, Le modèle RUSLE utilisé

pour la spatialisation de l'érosion montre que ce bassin est soumis à une forte érosion. Les pertes $> 35 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ occupent 34,21% ; elles correspondent surtout aux sols peu évolués qui caractérisent les fortes pentes dénudées. Cependant, les faibles pertes $< 7 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ ne concernent que 10,06 % de la superficie du bassin, correspondant à des terrains boisés ou des terrains en faible pente où dominent des cultures annuelles associées généralement à l'arboriculture. Il reste à signaler que le modèle utilisé, malgré ses limites, apporte une aide importante aux décideurs pour simuler des scénarios d'aménagement de la région et planifier des interventions de lutte contre l'érosion.

Références bibliographiques

- Abahrour, M. (2009). Contribution à l'évaluation quantitative de l'érosion hydrique dans le Prérif Oriental (Cas du bassin versant de l'Oued Teleta). (Thèse de doctorat en Géographie). FLSH Sais – Fès, 291 p. (Texte en Arabe)
- Aarari k, Tribak A, Amhani Z, Abahrour M, El Garouani A., 2016 : Apport de la Télédétection et du SIG pour le suivi spatio-temporel de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'oued Tarmast Taza (Maroc). Actes du colloque «utilisateurs du SIG, Maroc, Oujda les 22 et 23 novembre 2016 pp : 275281.
- El Aroussi, O., Mesrar, L., El Garouani., A., Lahrach, A., Benabidate, L., Akdim, B., Jabrane, (2011). Predicting the potential annual soil loss using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in the Wadi el malleh catchment (prérif, morocco). Present Environment and Sustainable Development, vol. 5, no.2, 2011: 5 – 15.
- Rango, A. and H.M.J Arnoldus. 1987. "Aménagement des bassins versants." *Cahiers techniques de la FAO* : 1-11.
- Roose, E. (1996). Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés de montagne. Réseau Erosion Bulletin n° 16, pp : 87-97.
- Tribak A., 2000 : L'érosion hydrique en moyenne montagne du Prérif oriental (Maroc). Etude des agents et des processus d'érosion dans une zone de marnes tertiaires. Thèse Doctorat d'Etat. 351 p
- Tribak A., El Garouani A., Abahrour M., 2009 : Evaluation quantitative de l'érosion hydrique sur les terrains marneux du Prérif oriental (Maroc) : cas du sous-bassin de l'oued Tlata ; Sécheresse ; 20 (4) : 333-337.
- Tribak, A., El Garouani, A., Abahrour, and M. (2012): Hydrous erosion in the catchment area of the wadilarbaa (Rif mountains, Morocco): agents, processes and modeling. Present Environment and Sustainable Development, Vol. 6, no. 2, 7 – 20
- TRIBAK A., ARARI Kh., ABAHROUR M., EL GAROUANI A. and AMHANI Z. (2015): Quantitative assesment of the hydric erosion and the deposition in marly catchment of the eastern Rif (Case of wadi Tarmast – Morocco). Annals of Valahia University. Geographical Series Tome 15/2015 Issues 2: 101-24, pp.: 101-111.
- Tribak, A., Abahrour, M., El Garouani, A., Arari, Kh. Amhani, Z. (2017). Evaluation quantitative de l'érosion hydrique dans un environnement montagnard méditerranéen : cas de quelques bassins marneux du Prérif oriental (Maroc), in Eau et climat en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, publication UMR IDDES-Rouen, p101 -112.

DEGRADATION DE L'INFRASTRUCTURE AUTOROUTIERE ET DYNAMIQUE DES VERSANTS : CAS DE L'AUTOROUTE FES – TAZA

EL MANSOURI S¹, GARTET J², LAAOUANE M³, FATTASSE H¹, LAHRICHI K¹

1- Laboratoire E3DH, FLSH Sais, Fès, USMBA, Maroc

2- Laboratoire E3DH, FPT, USMBA, Maroc

3- LAGEA-DD, FLSH - Sais, USMBA, Maroc.

Résumé : Le secteur étudié appartient à la région Fès-Meknès, il s'étend sur une surface de 990 Km² et une longueur de 126 Km. Cette zone est située dans l'une des régions qui se caractérise par leur fragilité. En effet de nombreux facteurs tant physiques qu'humains font de cette région une zone particulièrement érodée.

La lithologie et la disposition structurale favorisent la vigueur de l'érosion ; la plus grande partie du matériel de la zone est constituée de roches plus ou moins tendre telle que les marnes et les argiles, et qui constitue une proie facile pour l'érosion sous toutes ses formes.

Le régime pluviométrique est caractérisé par une grande irrégularité saisonnière et surtout annuelle, celle-ci favorise largement les processus d'érosion ainsi que les mouvements de terrain.

A ces facteurs physiques s'ajoute l'action de l'homme qui accentue plus l'effet du climat et du relief ; les occupations du sol provoquent des déséquilibres qui, généralement, à l'échelle humaine, passent inaperçus, mais lorsqu'une situation est à l'état d'équilibre précaire, la moindre intervention peut générer des désordres importants.

Mots Clés : Dynamique des versants, Glissement, érosion, instabilité, aménagement

DEGRADATION OF THE HIGHWAY INFRASTRUCTURE AND DYNAMICS OF THE SLOPES: CASE OF THE FES - TAZA HIGHWAY

Abstract: The studied sector belongs to the administrative division Fès-Meknes, it extends over a surface of 990 km² and a length of 126 km. This zone is located in one of the regions, which is characterized by its fragility. Indeed, many factors, both physical and human, make this region a particularly eroded area.

The lithology and the structural arrangement favor the vigor of the erosion; most of the material in the area is constituted of more or less soft rocks such as marls and clays, which are highly affected by erosion in all its forms.

The rainfall regime is characterized by great seasonal and especially annual irregularity, which largely favors erosion processes as well as land movements.

To these physical factors is added the action of human which increases the effect of climate and relief; land use causes unsteadiness which, on a human scale, generally goes unnoticed, but when a situation is in a precarious state of balance, the slightest intervention can generate significant disorders.

Keywords: slope dynamic, Landslide, erosion, instability, planning

INTRODUCTION

Le projet de l'autoroute Fès-Oujda s'inscrit dans le contexte national et international du réseau routier marocain, ainsi que dans le Schéma National d'Armature Autoroutier (S.N.A.A). Il constitue un élément important du réseau, car il a prolongé la liaison autoroutière Rabat-Fès, pour former à terme, un axe est-ouest très fort et structurant.

Le secteur étudié appartient au découpage administratif Fès-Meknès, il s'étend sur une surface de 990 Km² et une longueur de 126 Km. Cette zone s'étend sur des terrains caractérisés par leur fragilité. En effet de nombreux facteurs tant physiques qu'humains font de cette région une zone particulièrement fragile.

La nature fragile des terrains traversés, l'absence du couvert végétal protecteur, l'agressivité climatique et le mode de ruissellement de surface expliquent la des risques de déchaussement et d'instabilité de la chaussée par des mouvements de terrains dans cette zone préférentielle. Ce tronçon de l'autoroute étudié n'échappe pas à cette règle. De nombreux et volumineux sites ont été relevés pendant et après la fin des travaux de construction des terrassements et de construction de l'autoroute. De ce fait, pendant l'avancement des travaux, les constructeurs ont préconisé des solutions techniques pour atténuer l'ampleur de ces mouvements de terrain, susceptibles de menacer la stabilité de l'autoroute, de réduire sa longévité et d'accroître son coût d'entretien.

La lithologie et la structure favorisent l'érosion et les mouvements de terrains ; l'essentiel du matériel de la zone est constituée de roches tendres telles que les marnes et les argiles. Le régime pluviométrique est caractérisé par une grande irrégularité saisonnière et annuelle, à l'origine de l'accélération des processus de dynamique des versants.

A ces facteurs physiques s'ajoute l'action de l'Homme qui accentue davantage l'effet du climat et du relief ; les pratiques agricoles et les occupations du sol provoquent des déséquilibres sur les versants.

1- PROBLEMATIQUE

La construction de l'autoroute Fès-Oujda, qui traverse notre zone d'étude, est un projet de grande envergure. Elle a amélioré, tout d'abord, la sécurité routière en soulageant le trafic sur la route nationale 6 (RN6), caractérisée par son étroitesse, et elle contribue au développement économique, social et touristique de l'orienta et des communes qu'elle traverse. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que la construction de tel projet dans un milieu naturel où l'équilibre est précaire, pourra avoir des conséquences très néfastes sur la stabilité des versants et sur la pérennité de l'autoroute. Malheureusement, ces phénomènes sont rarement pris en considération dans les aménagements régionaux. Des raisons sociales, historiques et économiques l'emportent souvent sur la pérennité des infrastructures et sur le développement durable.

Dans l'analyse des différents facteurs responsables des mouvements de terrain et de l'érosion des sols, on a pris comme exemple représentatif le tronçon Taza-Bab Marzouka. Le choix de ce dernier est justifié par le fait qu'il est spectaculaire, proche de la ville de Taza, et nous les suivons depuis le début.

2- RESULTATS ET DISCUSSION

La pente aggrave des processus érosifs ; en fonction de son inclinaison, de sa longueur et de sa forme ; elle peut être, d'une part, directement impliquée dans l'origine des mouvements de terrain comme facteur d'instabilité. En effet, l'inclinaison des versants est un facteur d'instabilité incontestable qui permet aux forces d'attraction liées à la gravité de s'exercer facilement, en plus le redressement de la pente entraîne une accélération des processus dynamiques.

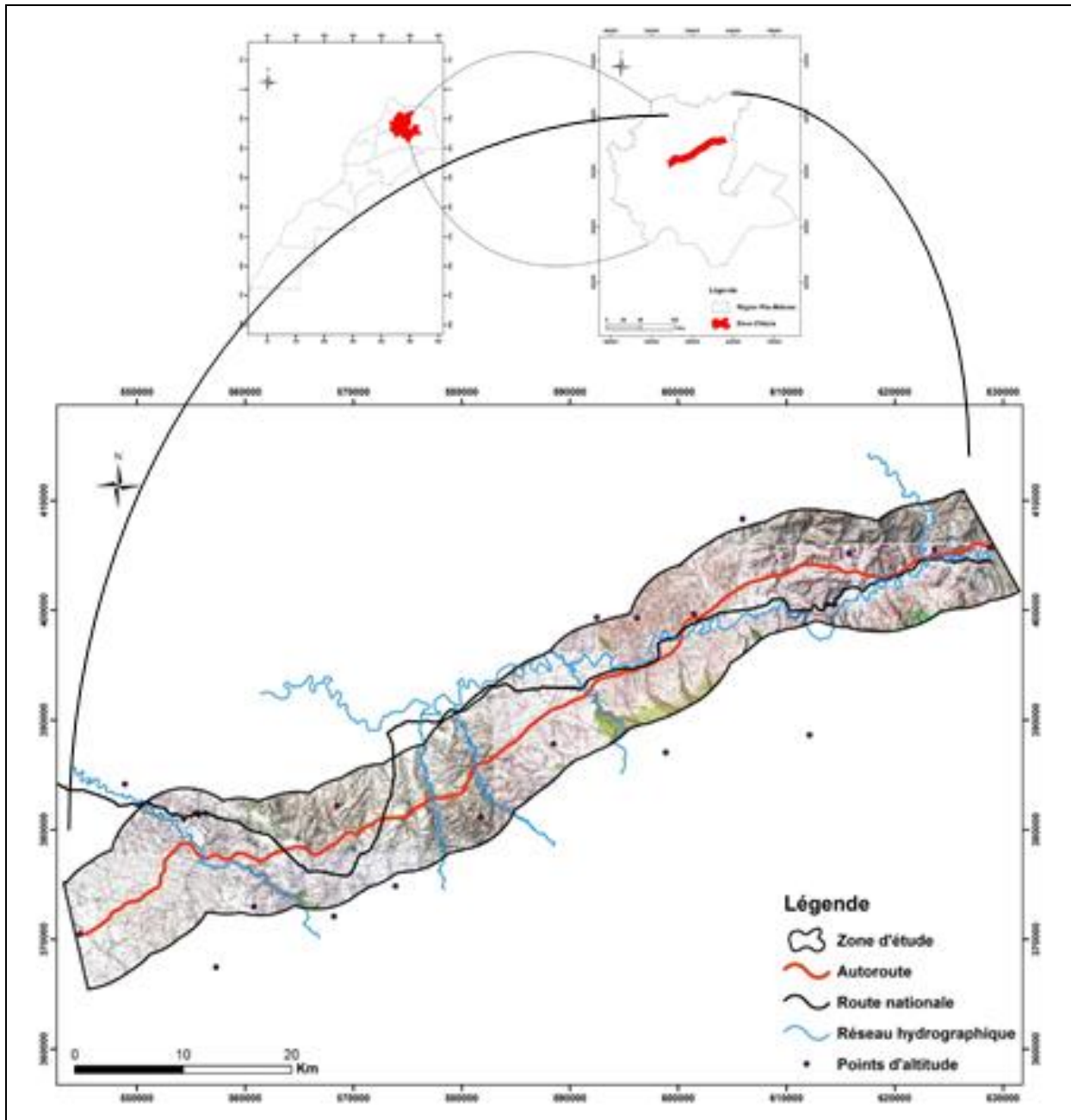


Fig. 1 - Localisation de la zone d'étude.

La Carte des pentes permet de différencier quatre classes de pente, d'importances distinctes.

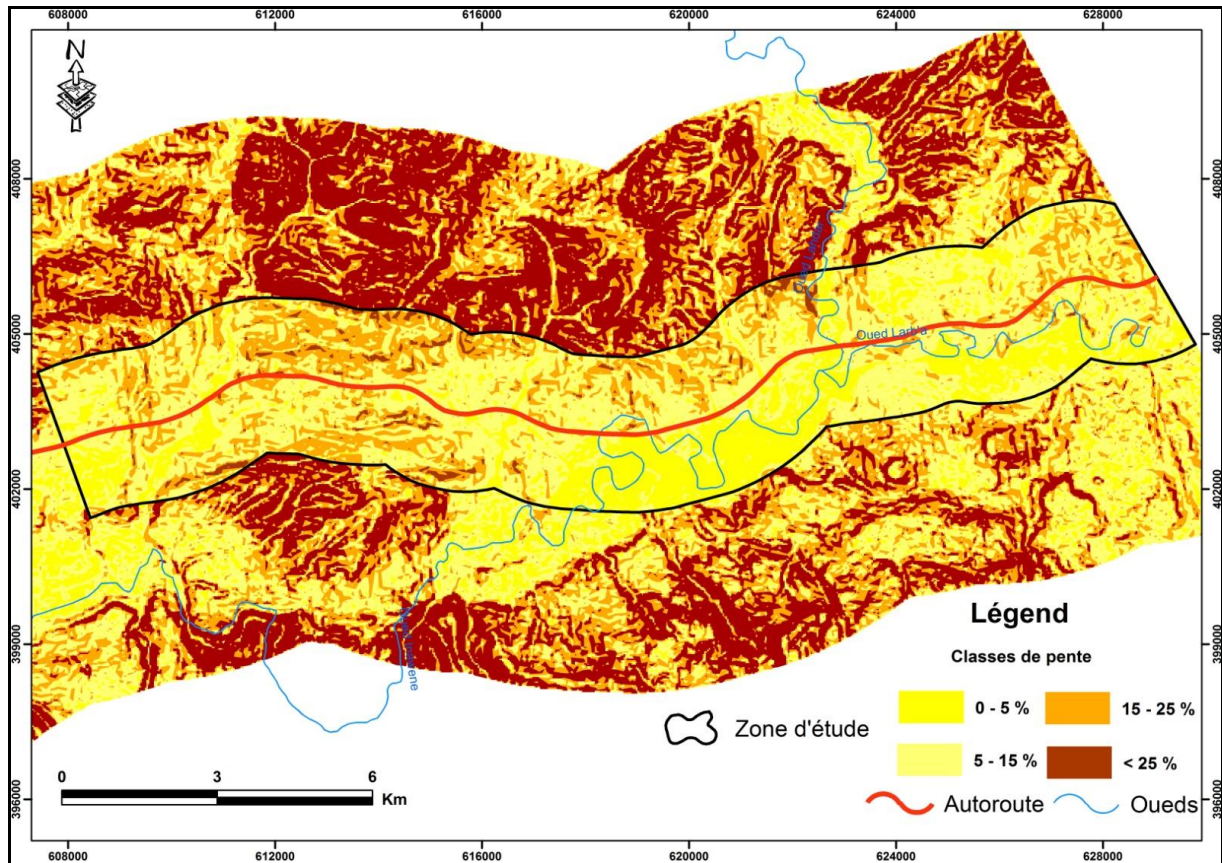


Fig. 2 - Carte des pentes dans la section Taza - Bab Marzouka

Les pentes faibles (entre 0 et 5 %) occupent environ 24 %, se limitent aux vallées de l'oued Inaouène et ses affluents Lahdar et Larbaâ. Les pentes moyennes (entre 5 et 15 %) occupent une superficie dominante avec une valeur d'à peu près 54 % de la superficie totale. Les pentes fortes (entre 15 et 25 %) occupent 21 % de la surface totale. Les pentes très fortes (< 25%) occupent 2,5% de la surface totale.

2.1 Le ravinement dans la zone d'étude

Les formes de ravinement sont l'ensemble des formes et processus engendrés par l'érosion et la dégradation des sols. La netteté de leurs contours (signe visible de leur autonomie) est soulignée par un contraste entre leurs flancs frais et dénudés (ou affleure la roche en place) et la surface du versant (couvert du sol, colluvions ou végétation). La dynamique des ravines est différente de celles du ruisseau pérenne (qui coule au fond de l'alvéole) et de celle de la surface du versant.



Photo 1 - Prolifération des formes d'érosion en forme de rigoles sur les versants marneux.



Photo 2 – Etapes d'évolution rigole - ravine - ravin et dessiccation des versants dans le Préfif.

Les formes linéaires de l'érosion correspondent aux formes les plus rencontrées dans la zone d'étude. L'érosion en rigole, en prenant de l'ampleur, évolue en ravines.

2.2 Erosion par les cours d'eau

L'érosion par les cours d'eau est liée surtout à la turbulence des eaux courantes qui accompli le travail érosif des cours d'eau. La turbulence est généralement active lors des crues spasmodiques et soudaines. L'érosion peut se manifester par le sapement des berges éboulement et ablation des fonds des chenaux. Il se produit également dans les ravins en formation lorsque l'eau du ruissellement attaque les assises du ravin. Ce type d'érosion est étroitement lié au volume et à la vitesse de l'eau, qui dépend de la pente et du débit.



Photo 3 – Aspect de dégradation des versants marneux par sapement des berges de l'oued Aghrouz

2.3 Les mouvements de masse

Les formes de mouvements de terrain sont abondantes sur les versants de la zone d'étude.

2.3.1 Glissement rotationnel

Ces formes de glissement rotationnel se prolifèrent dans cette zone en raison de l'existence des roches homogènes sans discontinuités géologiques apparentes, ou insuffisantes pour influencer la forme et la position de la surface de glissement, (Flageollet, 1988). Celle-ci prend généralement une allure concave, attestée par la rotation de la masse glissée vers l'amont des versants. Ces formes de glissement montrent une pente forte vers le haut et une pente aplatie vers le bas.

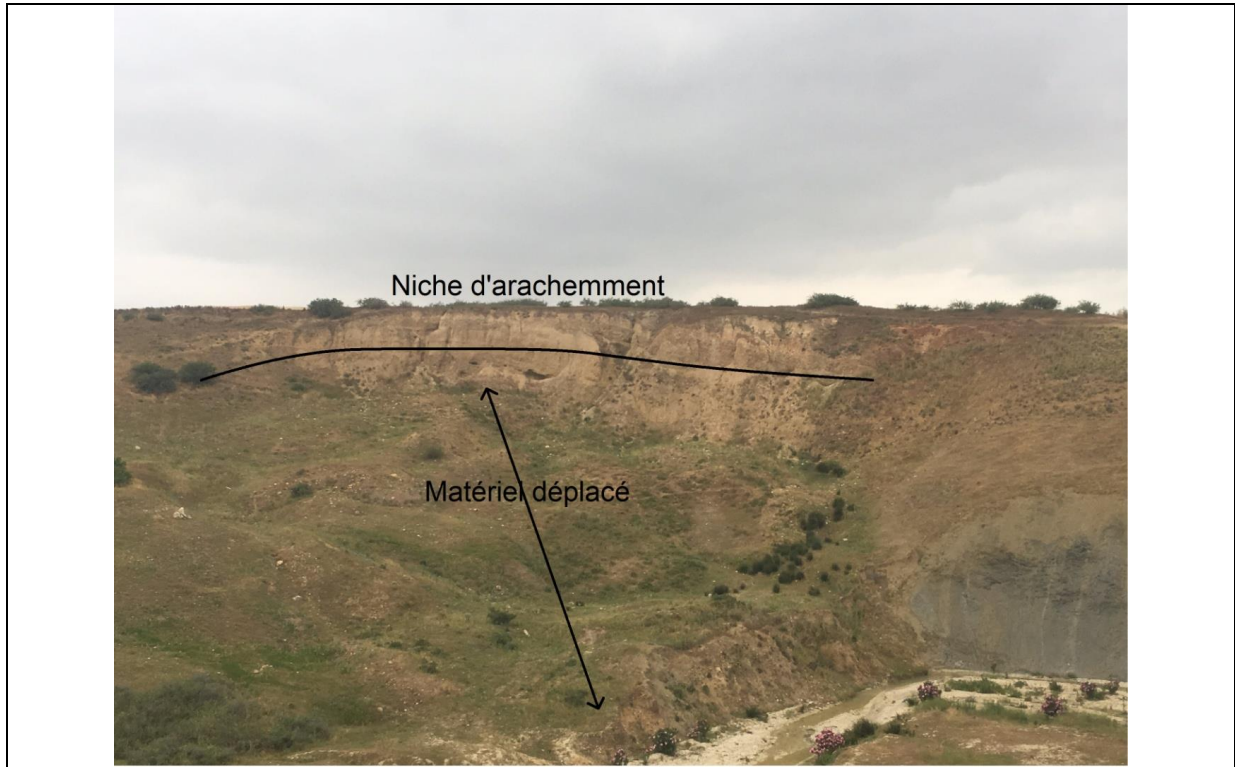


Photo 4 - Aspect de mouvement de terrain de type glissement rotationnel, entretenu par le sapement des berges et l'érosion du front de la longue de glissement.

2.3.2 Glissement boueux (mudslides)

Ces glissements boueux montrent des mouvements de masse dans lesquels des marnes et sols altérées et mélangés, finement sableux, avancent principalement par des glissements sur des surfaces de cisaillement sans surfaces basales bien individualisées. Ces masses se déplacent très lentement, et débouchent en bas de versants par des accumulations lobés ou allongés (Brusden, 1984 ; Hutchinson ; Bhandar, 1971 in Flageollet, 1988).

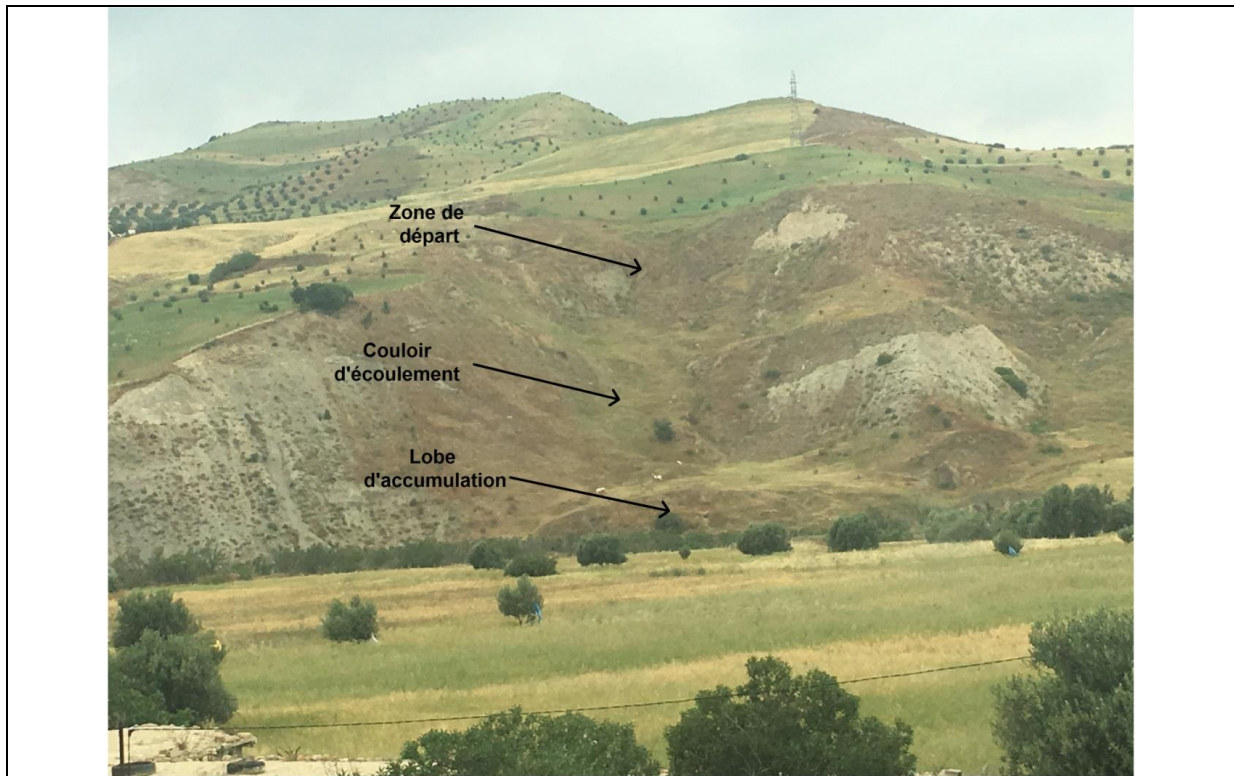


Photo 5 - Aspect de mouvement de terrain de type glissement boueux dans la zone d'étude

3- ACTION ANTHROPIQUE

Dans le Prérif au nord de Taza, où les versants sont en équilibre précaire, l'action de l'Homme interfère avec les processus naturels. Il perturbe leur fonctionnement et rompe cette stabilité fragile en réduisant le seuil de résistance des terrains. Il intervient surtout en modifiant des paramètres qui contrôlent directement ce type de morphogenèse : le couvert végétal, la rugosité de la surface, le ruissellement des eaux et les pentes des versants.

Les versants naturels sont rares dans le Prérif, limité aux versants abrupts et aux terrains abandonnés. La régression du couvert végétal, au profit de la culture des céréales et des oliviers, est de règle. Cette transformation de l'occupation du sol rend les versants plus vulnérables à l'action érosive de la pluie et du ruissellement, proliférant le ravinement et les mouvements de masse.

CONCLUSION

Le terrain d'étude montre l'abondance de formations marneuses tendres, caractérisant le complexe préfirain à structure charriée. Ces roches, sensibles à l'action de l'érosion pluviale et aux mouvements de terrain, sont aggravées par l'absence du couvert végétal, l'agressivité climatique et par la pression anthropique.

Les points noirs du tracé autoroutier Fès – Taza sont abondants. Ils se manifestent par le déchaussement de la chaussée, de l'instabilité des ouvrages d'art et de l'aggravation des processus morphogéniques. Les formes de dégradation des versants sont très diversifiées. Les formes linéaires de l'érosion correspondent aux formes les plus rencontrées dans la zone d'étude. L'érosion en rigole, en prenant de l'ampleur, évolue en ravines. L'érosion par les cours d'eau se manifeste par le sapement des berges et les éboulements. Les formes de mouvements de terrain sont abondantes. Les glissements rotationnels de surface de rupture concave et des rotations des masses. Ces formes de glissement montrent une pente forte vers le haut et une

penne aplatie vers le bas. Les glissements Boueux sont abondants, avec des formes de mouvements de terrain débouchant en bas de versants par des accumulations lobés ou allongés.

Ces formes de dégradation des versants expliquées par le comportement géotechnique des formations plastiques pré-rifaines sont fortement influencées par le bilan ruissellement / infiltration de l'eau dans ces environnements.

Les études d'impact préalables ont certainement pris en considération le développement économique de la zone traversée, la sauvegarde de l'environnement et l'optimisation du projet. Néanmoins, certaines sections de l'axe autoroutier sont déstabilisées et risquent de compromettre l'optimisation et la pérennité de ces aménagements structurantes.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- AKDIM B., LAAOUANE M., TAOUS A., OBDA KH., 2003 : Risque hydrologique dans la région de Taza (MAROC). Genèse, conséquences et problèmes d'aménagement. Geomaghreb n° : 1, pp : 47-46
- COQUE R., 1977 : Géomorphologie. Armand Colin. Paris
- DADOUCHE-ZEROUAL F., 2007 : Stabilité des talus en remblai sols mous. 25ème rencontre de l'AUGC, 23-25 Mai 2007, Bordeaux.
- DROUAUX C., PEYRON M., 2002 : Terrassements : remblais et couches de forme. CFTR-INFO N° 5, comité française pour les techniques routières. Bagnex Cedex France.
- EL FELLAH B., 1983 : Contribution à l'étude morphologique du Couloir de Taza. Bulletin de l'institut scientifique, Rabat, N° 7, pp : 72-79.
- FALEH A., SADIKI A., 2002 : Glissement rotationnel de Dhar El Harrag : exemple d'instabilité de terrain dans le pré-rif central (Maroc). Bulletin de l'institut scientifique, Rabat, N° 24, pp : 41-48.
- FLAGEOLLET J.C., 1989 : Les mouvements de terrain et leur prévention. Collection géographique. Edition Masson, Paris.
- LEBLANC D. (1975) : *Études géologiques du Rif externe oriental au Nord de Taza (Maroc)*. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, Rabat, vol. 281, 155 p.
- MOUHSSINE .M, TOUZANI. A, ZINOUNE. S ET MAHTAL. A : Terrassements sur terrains marneux sensibles aux glissements : cas des terrains et remblais autoroutiers entre Oued Amlil et Taza (Rif, Maroc). P. 61-80
- TRIBAK A., 2000. L'érosion hydrique en moyenne montagne du pré-rif oriental (Maroc) : étude des agents et des processus d'érosion dans une zone de marnes tertiaires. Thèse de doctorat d'état en géographie physique. Université Chouaib Doukkali, El Jadida. 351 pages.
- TRIBAK A., 2005 : Genèse et évolution de glissement complexes dans les séries marneuses pré-rifaines : cas du bassin de l'Oued Tarmast (Maroc). Geomaghreb, N°3, pp : 13-22.
- TRICART J., 1977 : Précis de géomorphologie. Tome 2 : géomorphologie dynamique générale. Edition C.D.U et SEDES, Paris. 345 pages.

VULNERABILITE ET RISQUES DE SUBMERSION MARINE AU NIVEAU DU LITTORAL DE SAIDIA – CAP DE L’EAU (MAROC ORIENTAL)

S.RAMDANI ; M.OUJIDI ; H.SABAR

Université Mohammed Ier, Faculté des Sciences, Laboratoire de Géologie Appliquée, Oujda

RÉSUMÉ: Le littoral est une zone qui constitue un état d'équilibre écologique et environnemental entre le continent et la mer. Il s'agit d'un espace varié qui connaît une densité urbaine et socio-économique qui abrite plusieurs infrastructures portuaires et stations touristiques qui par conséquent favorisent la fragilité et la vulnérabilité de ce premier. Or, le littoral de Saidia – Cap de l'Eau constitue un cas d'étude illustrant les différentes problématiques des risques naturels qui peuvent menacer un littoral de la façade méditerranéenne suite aux plusieurs facteurs climatiques, géologiques, environnementaux qui se chevauchent et leur conjonction avec des aléas et l'existence de forts enjeux et donnent naissance à des risques majeurs qui mènent à la destruction et la dégradation du littoral. Ainsi, l'érosion côtière et la submersion marine demeurent des problèmes desquels souffrent le littoral méditerranéen qui nécessitent d'être bien examinés et suivis afin d'en savoir comment y intervenir. Vraisemblablement, l'étude de vulnérabilité de submersion marine au niveau du littoral de Saidia – Cap de l'eau a montré l'existence d'un risque majeur qui par conséquent contribue à une certaine élévation des eaux le long dudit littoral qui est bien illustré dans la modélisation 2D de l'aléa réalisé sur Iber.

Mots-clés: Submersion marine, littoral, vulnérabilité, Iber, Saidia, Cap de l'eau.

VULNERABILITY AND RISKS OF MARINE SUBMERSION AT THE LEVEL OF THE SAIDIA – CAP DE L’EAU COAST (EASTERN MOROCCO)

ABSTRACT: the coastline is an area that constitutes a state of ecological and environmental balance between the continent and the sea. It is a diverse area with an urban and socio-economic density that shelters several port infrastructures and tourist resorts, which consequently favour the fragility and vulnerability of the former. However, the Saidia – Cap de l'Eau coastline is a case study illustrating the various problems of natural risks that can threaten a coastline of the Mediterranean coast due to several overlapping climatic, geological and environmental factors and their conjunction with hazards and the existence of high stakes and give rise to major risks that lead to the destruction and degradation of the coast. Thus, coastal erosion and marine submersion remain problems affecting the Mediterranean coastline and need to be properly examined and monitored in order to know how to intervene. Presumably, the marine submersion vulnerability study at the level of the Saidia – Cap de l'Eau coastline has shown the existence of major risks that consequently contributes to a certain water rise along the said coastline, which is well illustrated in the 2D hazard modelling carried out on Iber.

Keywords: marine submersion, coastline, vulnerability, Iber, Saidia, Cap de l'Eau.

INTRODUCTION

Tout d'abord, le Maroc est en effet exposé à une série d'aléas – qu'ils soient d'origine naturelle, industrielle ou humaine – aux conséquences socio-économiques potentiellement lourdes. Le pays présente un profil de risques hétérogènes marqué par des inondations quasi annuelles, des sécheresses de plus en plus fréquentes, des zones sismiques tant au Nord qu'au Sud, et un littoral exposé à l'érosion côtière et la submersion marine et même à un risque tsunami-gène. Divers facteurs favorisent l'augmentation de la vulnérabilité du littoral méditerranéen marocain à cause de la concentration des projets qui ont contribué à la dégradation de ce dernier. Car il s'agit d'un littoral qui s'étend sur 512km de la façade méditerranéenne de Cap Spartel à Saidia; une zone côtière qui connaît un développement démographique et économique qui participe à promouvoir toute la région Nord-Est du pays. Cette zone qui fait objet de notre étude présente un pôle d'attraction et d'investissement important d'intérêt national.

1. Description de la zone d'étude

La zone d'étude qui comprend Saidia - Cap de l'Eau, Province de Berkane, est située au Nord-Est du Maroc. Ce littoral s'étend sur 20km. Il est limité par la Méditerranée au nord, les monts d'Ouled Mansour/Plaine de Triffa au sud, l'Oued Kiss sur les frontières Maroco algériennes à l'est et les Kebdana à l'ouest. (Fig.1).



Figure 1 : carte de la situation de la zone d'étude

Actuellement, ce littoral est caractérisé par un climat méditerranéen assez contrasté, marqué par une aridité de plus en plus accentuée. La pluviométrie moyenne annuelle est de 320mm/an, et la température moyenne annuelle est de 17°C. Les houles les plus actives sur cette plage sont de directions Nord-Ouest et Nord-Est (Zourarah 1995). Leur interférence engendre une dérive littorale dominante avec un sens WNW-ESE.

L'aspect physique de cette côte est varié. Au niveau des plages, nous constatons le prolongement des sables fins formant une très belle plage. L'arrière côte est formée par des dunes sableuses consolidées de direction ouest-est. En outre, cette baie est recoupée en deux secteurs par Oued Moulouya qui est la source essentielle des sédiments que l'on trouve sur la plage. Au niveau de son embouchure, nous constatons l'existence du site d'intérêt biologique et écologique de la Moulouya (SIBE) qui s'étend sur 4500 Ha e qui présente un site naturel très riche en matière de biodiversité. Il abrite également des espèces faunistiques et floristiques très variées. Il est classé site RAMSAR pour la protection des zones humides. Juste à côté, précisément entre l'embouchure et Saidia s'étend la station touristique « Saidia Méditerranéa » sur 6km. Ainsi, la présence de la forêt de Tazagarte formait un superbe

paysage sur le long du littoral de Saidia-Cap de l'Eau. Il s'agit d'un espace vaste formé de plusieurs plantes sauvages et endémiques, vivant dans des conditions climatiques exclusives. Le reboisement de la forêt surtout par l'eucalyptus a eu lieu en 1951 par les colons français. Actuellement, elle est totalement rasée et remplacée par la station « Saidia Méditerranéa ». La superficie totale de la forêt avant sa dégradation était de 550ha. Mais maintenant, elle ne dépasse pas 21ha et se compose d'un mélange entre espace naturel et artificiel situé juste à côté de l'embouchure de la Moulouya. Au-delà de la côte, la topographie s'abaisse jusqu'à 2m formant ainsi une zone favorable au risque d'érosion côtière, inondation et submersion marine.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

La zone d'étude Saidia – Cap de l'Eau est assez vulnérable vue sa situation géographique et sa complexité géologique, climatique, et environnementale. Ce qui fait d'elle est un modèle intéressant pour une étude de risque et vulnérabilité de submersion marine.

Cette étude a été réalisée suivant un protocole scientifique approprié à ceci en utilisant plusieurs logiciels de traitement.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'élaboration des résultats faisant l'objectif de cette étude est subdivisé en 2 parties: la première partie sur ArcGIS, concerne un traitement des données à partir du MNT et l'image satellite en préparant l'occupation du sol et les fichiers de base pour réaliser la simulation. En outre, la deuxième partie concerne le prétraitement et le traitement des données de base sur Iber. Et par la suite, le calcul et la proposition des aménagements et préventions pour faire face à ce risque.

Les résultats obtenus s'agissent des différentes cartes de l'occupation du sol, la vulnérabilité de la zone d'étude, ainsi, que les cartes des différents paramètres qui évaluent le phénomène de submersion marine, à savoir: la profondeur, la vitesse, et l'élévation des eaux qu'on superpose pour avoir la carte d'aléa et de risque de submersion marine. Ces différentes cartes évaluent et montrent que le littoral de Saidia – Cap de l'Eau est menacé réellement par un risque de submersion marine remarquable qui nécessite d'être soigneusement étudié et suivi.

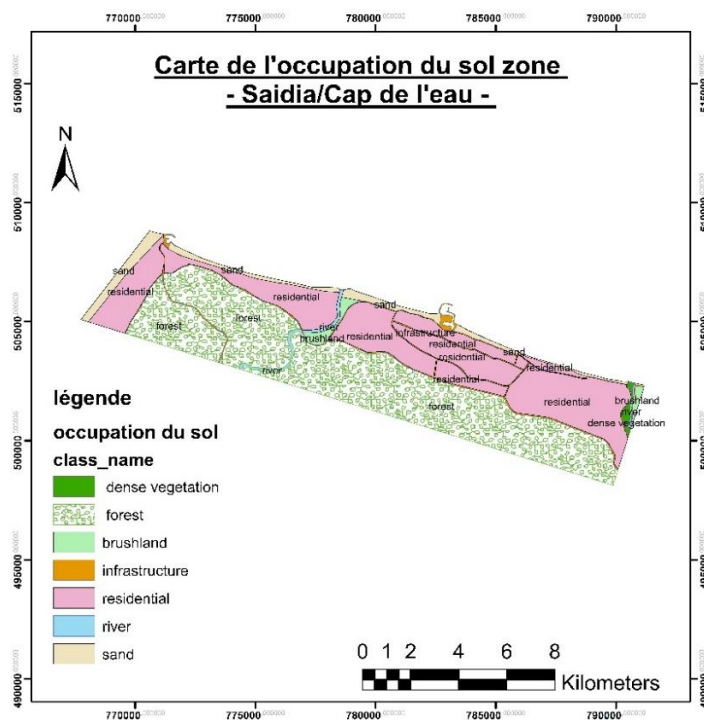


Figure 2 : Carte de l’occupation du sol de la zone de Saidia – Cap de l’Eau

La carte d’occupation du sol (fig.2) de la zone d’étude illustre une diversité de composantes; on remarque que tout près du littoral se concentre les résidences et les infrastructures telles que les le réseau routier, les bâtiments administratifs de la commune, la station balnéaire, et l’infrastructure portuaire, etc.

Ainsi, la forêt de Tazegraret formait jadis un superbe paysage de 550Ha le long du littoral de Saidia – Cap de l’Eau avant sa dégradation. Elle a été complètement rasée et remplacée par la station « Saidia Méditerranéa ». Actuellement, sa superficie ne dépasse pas les 21Ha et se compose d’un mélange entre espace naturel et artificiel situé juste à côté de l’embouchure de la Moulouya.

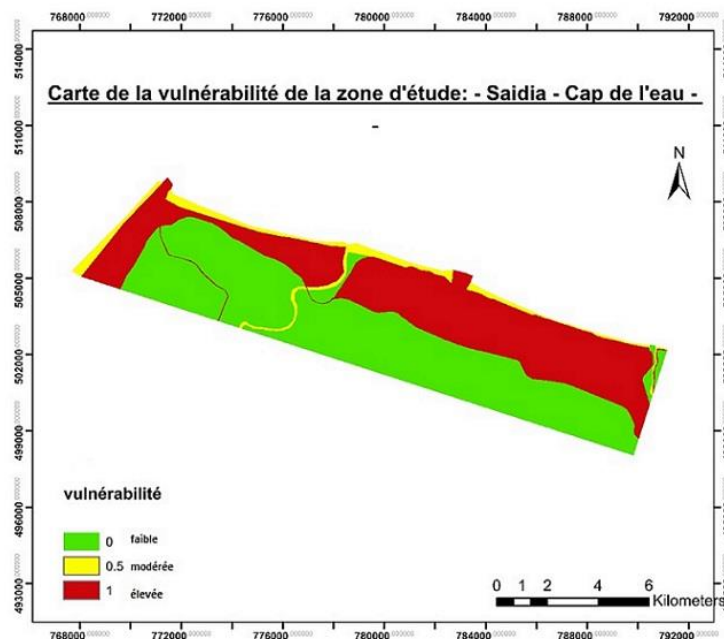


Figure3 : Carte de la vulnérabilité de la zone d’étude Saidia – Cap de l’Eau

La carte de vulnérabilité de la zone d'étude Saidia – Cap de l'Eau (fig. 3) montre que cette zone est recoupée en deux secteurs par Oued Moulouya qui est la source essentielle des sédiments que l'on trouve sur la plage. Au niveau de son embouchure, nous constatons l'existence du site d'intérêt biologique et écologique de la Moulouya (SIBE) qui s'étend sur 4500Ha et qui présente un site naturel très riche en matière de biodiversité en abritant également des espèces faunistiques et floristiques très variées. Le degré de vulnérabilité de cette zone est défini par le classement de ce site RAMSAR pour la protection des zones humides.

Le degré de vulnérabilité est élevé sur le littoral et tout près de la zone côtière là où se concentrent les différentes infrastructures et équipements de la Commune de Saidia – Cap de l'Eau ainsi que la présence du complexe touristique et résidentiel qui a été édifié au détriment de la forêt de Tazegraret qui a favorisé la vulnérabilité de la zone et le déséquilibre environnemental et écologique.

Plusieurs paramètres conditionnent le risque de la submersion marine, à savoir: la topographie du terrain, ainsi que l'hypothèse d'avoir une tempête type sur ce littoral qui aura comme résultat une élévation du niveau marin.

Lors de la réalisation de la modélisation 2D sur Iber, on a opté à utiliser les données d'une tempête, les hauteurs de vagues en fonction du temps qui avait menacé la Méditerranée. La figure ci-dessus illustre l'élévation des eaux (m) sur le littoral de Saidia qui varie entre 0.35m à 6m le long du littoral et que les eaux marines se débordent vers le continent en inondant une certaine superficie des alentours de la zone côtière.

4- AMÉNAGEMENTS ET PRÉVENTIONS

La protection et la réhabilitation des plages et des zones côtières sensibles et fragilisées doivent être une nécessité sur laquelle on doit veiller tout en conservant les zones humides et les écosystèmes côtiers dans le bassin méditerranéen. Ainsi, le cordon dunaire, qui s'étend entre les zones humides et les plages, représente la composante la plus importante dans la pérennité littorale.

Néanmoins, les études et les expertises qui ont été menées depuis longtemps attestent d'une déperdition plus ou moins importante selon les zones dues à différentes dégradations et agressions d'ordre anthropique et naturelle. Plusieurs interventions sur les sites les plus dégradés ont été préconisées afin de sauvegarder l'équilibre structurel de l'écosystème littoral.

Pour notre cas, on a choisi de remplacer le cordon dunaire existant auparavant qui était d'une hauteur de 3m par un mur de même hauteur le long du littoral afin de minimiser l'influence de l'érosion côtière, de la submersion marine et la dégradation des plages.

D'après les cartes élaborées après avoir fait un aménagement d'insertion d'un mur de 3m de hauteur qui remplacera le cordon dunaire naturel, on constate que l'aléa de submersion marine a été diminué ainsi que le risque face à ce phénomène a été carrément minimisé. Ce qui montre que le type d'aménagement choisi sera largement efficace pour faire face à ce type de risques naturels qui peuvent menacer cette zone.

Ceci nous mène à mettre en évidence les causes de la dégradation des plages de différents aspects, qu'il soit de l'érosion côtière, ou d'autres facteurs anthropiques qui amplifient la vulnérabilité du littoral et la fragilisation des plages. Ces facteurs impliquent la perturbation des zones littorales et une disproportion entre les apports et emports en sable. Les actions anthropiques ont généralement un rôle perturbateur dans le fragile équilibre sédimentaire des rivages marins. Ainsi, des travaux d'intérêt public déclencheur ou aggraver l'érosion sur des plages voisines.

CONCLUSION

Le risque de submersion marine impacterait le littoral de Saïdia-Cap de l'Eau, et aurait provoqué certains dégâts qui affecteraient généralement les points bas du littoral. Par conséquent, l'élévation du niveau de la mer, en lien avec le changement climatique du globe terrestre, vont certainement aggraver la récurrence de ce risque. En outre, dans ce rapport, on a essayé de mettre l'accent sur les causes et les conséquences et de souligner la vulnérabilité de cette zone qui a été évoquée suite à une augmentation des enjeux dans l'ensemble de l'occupation du sol en provoquant des dommages aux infrastructures, aux humains, et des impacts socio-économiques et environnementaux: salinisation, évolution des rivages par érosion et zones humides.

Références bibliographiques

- ALTIMIRA M. DA C. L, Risques d'inondation et submersion marine dans la ville de Luanda Angola (Afrique Ouest). Mémoire de Fin d'Etude. Master Spécialisé Géosciences de l'Environnement et Génie Civil, P135
- ALTIMIRA M. DA C. L, Oujidi M, Amarjouf N, (3^{ème} édition du colloque international des utilisateurs du SIG, Oujda 22-23 Novembre 2016) Apport de la modélisation 2D dans la cartographie préliminaire de l'aléa de submersion marine, cas de la côte de Luanda, Angola (Afrique Ouest), P27.
- Association des CESER de l'Atlantique (2015): Submersion marine et érosion côtière: connaître, prévenir, et gérer les risques naturels littoraux sur la façade atlantique. P76.
- BREILH J.F. (2014): Les surcotes et les submersions marines dans la partie centrale du Golfe de Gascogne: les enseignements de la tempête Xynthia. Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, P 225.
- EL FELLAH B., (2006): Les risques naturels au Maroc: Connaissances et perspectives. P10.
- ENERGIES 2050, FEMISE et Institut de la Méditerranée (2018): Les défis du changement climatique en Méditerranée. Rapport inédit, P 188.
- HANNOU E., (2003) Aménagement du territoire et développement du littoral : cas de la partie septentrionale du Maroc, P13.
- Institut Royal des Etudes Stratégiques (2014): Anticipation et gestion des risques d'évènements climatiques extrêmes et de catastrophes naturelles au Maroc. Rapport inédit.
- KUITSOU D., (2011) Concepts d'aléa, de vulnérabilité, de risque et de catastrophe, P14.
- LAOUINA A., DAKKI M., (2006) Le littoral marocain, milieux côtier et marin Diagnostic pour l'aménagement des zones humides du nord est du Maroc, Embouchure de la Moulouya, Institut Scientifique. Raba. P 30
- LASGAA H., BOUMEAZZA T., (2010) Le littoral méditerranéen du nord est du Maroc entre la dégradation du patrimoine naturel et nécessité de la gestion intégrée des zones côtières. P 18.
- MENIOUI M., (2008) Vulnérabilité des écosystèmes du Littoral Méditerranéen Oriental à l'élévation du niveau de la mer, Projet ACCMA, Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé. P44.
- MOUZOURI M., IRZI Z. (2011) : Évolution et morpho-dynamique de la plaine côtière de Saïdia (littoral méditerranéen du Nord-Est du Maroc) durant la période 1958-2006. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, n°33, pp. 65-76.
- NAKHLI S., GHAZI A. (2008) Quels outils pour un développement durable des zones cotières marocaines. Institut National d'Aménagement et d'Urbanisme (INAU). Centre d'Etudes et de Recherches en Aménagement et Urbanisme (CERAU), Maroc. P7.

LES ÉTIAGES DE L'OUED SROU : IDENTIFICATION, CARACTÉRISATION ET HÉTÉROGÉNÉITÉ (CAUSSE DE SROU, MOYEN ATLAS TABULAIRE, MAROC).

Ghadbane Omar¹, Elghachi Mohamed²

Université Sultan Moulay Slimane, Laboratoire dynamique des paysages et patrimoines, Avenu Ibn Khaldoun, B.P: 524, Beni Mellal, Maroc. Om.ghadbane@gmail.com.

RÉSUMÉ : Le bassin versant de l'oued de Srou, objectif de l'étude, fait partie du haut bassin de l'Oum Er Rbia, de superficie de 1307 km², dont les 2/3 sont couverts d'un substratum imperméable. Le sous-bassin de l'oued de Chbouka constitue leur affluent principal. Dans la présente étude, nous essayons de caractériser les débits d'étiage dans ce bassin, afin de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique des cours d'eau pendant la période des basses eaux. L'analyse des débits d'étiage est opérée à partir des QMNA (débit moyen mensuel le plus bas de l'année), il s'agit d'une valeur facile à extraire des « annuaires hydrologiques ». Ces valeurs permettent d'aborder les étiages de manière simple, sans traitement statistique compliqué à élaborer, et de représenter les débits plus indigents. En Europe, Le QMNA est une valeur réglementaire qui présente l'inconvénient d'être soumise à l'échelle calendaire. Les données utilisées sont issues des deux stations hydrométriques : la station de l'Elhri et la station hydrométrique de Chacha N'mallah pour la chronique 1976-2016.

Mots clés : Bassin versant de l'Oued Srou (Maroc)- Débits- Etiage- QMNA – Analyse.

CHARACTERIZATION LOW FLOW IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE: THE CASE OF WATERSHED OF THE WADI SROU (OUM ER RBIA MOROCCO).

ABSTRACT: In this study, we try to characterize low-water flow in the Oued Srou watershed, to better understand the hydrological functioning of the watercourse during the low water period. The analysis of low water flow is based on the QMNA (lowest monthly mean flow of the year), it is an easy value to extract from "hydrological yearbooks". These values make it possible to approach low flows in a simple way, without complicated statistical processing to elaborate, and to represent the most indigent flows. In Europe, QMNA is a regulatory value that has the disadvantage of being subject to the calendar scale. The data used are from two hydrometric stations: the Elhri station and the Chacha Nmallah hydrometric station for the 1976-2016 chronicles.

Keys words: Oued Srou watershed (Maroc)- Low flow- QMNA – Analyse.

INTRODUCTION

Les étiages se définissent comme des phénomènes naturels, saisonniers, résultant généralement d'un déficit de pluie plus ou moins long et plus ou moins sévère, susceptible de varier dans le temps et dans l'espace et entraînant une diminution du débit dans les cours d'eau (Garcia, 2016). Ce qui fait de la connaissance de la disponibilité de la ressource en eau pendant cette période une préoccupation majeure pour les gestionnaires et les décideurs politiques.

Les travaux sur les crues ont par le passé été prédominants dans l'analyse des extrêmes hydrologiques, mais les pressions sur la ressource en eau et les incertitudes liées au changement climatique suscitent depuis quelques années un intérêt croissant pour l'analyse des étiages (Lang, 2007).

L'objectif de cette étude est de caractériser les débits d'étiages du bassin versant de l'oued Srou (affluent de l'oued Oum er Rbia dans le moyen Atlas, Maroc) dans l'optique d'une meilleure gestion des ressources en eau dans le cadre du changement climatique.

1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de l'oued Srou est l'un des principaux affluents de l'oued Oum Er Rbia dans le Moyen Atlas central avec un sens d'écoulement du nord est vers le sud-ouest. Il s'étend sur une superficie de 1307 Km² entre les longitudes -5° 6' et 6° 50' ouest et la latitude 38° 4' et 39°1' nord. Le bassin est limité à l'ouest par le plateau central, au nord par le Causse d'Ajdair et au sud-est par la plaine de la haute Moulouya.

L'oued Chbouka, son affluent principal, se trouve sur sa rive droite. Le bassin présente une topographie qui se situe entre 700 m à l'aval et 2350 m à l'amont. Les formations géologiques vont du Paléozoïque au Quaternaire, se composent des calcaires sub-tabulaires crétacés, les calcaires dolomitiques liasiques, les basaltes doléritiques et les argiles rouges triasiques, les schistes, grès et quartzites paléozoïques (Elbouqdaoui, 2005).

Cette région est caractérisée par un climat méditerranéen qui se définit par des hivers tempérés et humides et des étés chauds et secs. La pluviométrie moyenne interannuelle de la période 1976-2016, enregistrée dans les deux stations pluviométriques situées à l'intérieur du bassin, est de l'ordre de 548,5 mm. Le débit moyen est l'ordre de 7,5 m³/s au niveau de la station de Chacha N'mallah et de 2,4 m³/s au niveau de la station d'aval Elhri.

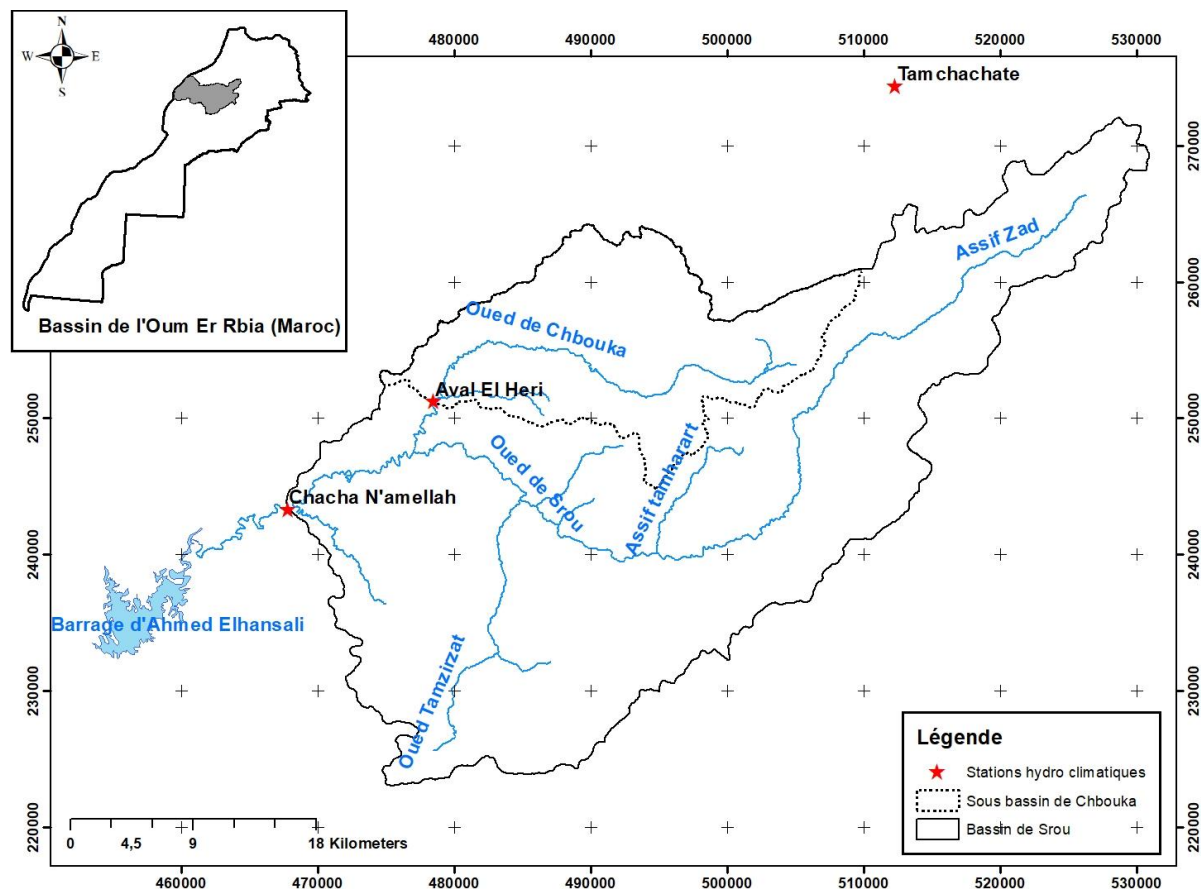


Figure 5: situation géographique du bassin versant de l'oued de Srou

2. Méthodologie

L'étude concerne la période d'étiages de l'oued Srou et son affluent oued Chbouka. Les données hydrométriques utilisées ont été mises à notre disposition par l'agence du bassin hydraulique de l'Oum Er Rbia (ABHOER). Elles concernent les débits mensuels des stations d'Aval Elhri et Chacha N'mallah (Tableau 1). Ces données couvrent la chronique 1976-2016 (41 ans).

Tableau 3: Stations hydrométriques

Stations	Altitude (Z)	Cordonnées	
		X	Y
Aval El Heri	830	478500	251200
Chacha N'Amallah	685	467800	243300

Différents indices ont été définis pour caractériser l'étiage. Dans le cadre de cette étude, les indices utilisés sont de la première catégorie (sévérité de l'étiage). Ces indices permettent d'identifier des seuils de débit en rapport avec la sévérité de l'étiage. La variable appliquée pour caractériser les étiages du cours d'eau du bassin versant de l'oued Srou est le QMNA. Il représente le débit moyen mensuel minimal enregistré pendant une année. Il est généralement utilisé (Catalogne, 2006 ; Lang, 2007 ; Gailliez, 2013 ; Garcia, 2016) il représente aussi la valeur réglementaire imposée par la loi de l'eau de 1992 en France. Dans un premier temps une analyse statistique a été appliquée afin de détecter l'évolution temporelle et spatiale de la variable. Ainsi, ont été appliqués les indices relatifs :

- Aux débits mensuels minimaux annuels associés à une période de retour (QMNA de périodes de retour 2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans et 50 ans) ;
- Aux seuils de vigilance (équation 1) et de crise (équation 2) (Lang, 2007) :

$$\text{Seuil de vigilance} = 1,1 \times \text{QMNA}_5 \quad (1) \quad \text{Seuil de crise} = 0,9 \times \text{QMNA}_5 \quad (2)$$

3. Résultats

Un étiage qui apparait pendant les périodes des basses eaux peut être qualifiée normal cependant un qui apparait pendant la phase des hautes eaux est un phénomène (Lang 2007).

Les étiages normaux dans la phase des basses eaux dans le bassin versant de l'oued Srou se produisent le plus souvent pendant les mois de l'août et de septembre comme la plupart des cours d'eau marocains. Durant la chronique d'observation (1976-2016) ; les étiages ont été produits ;

- En mois d'août avec plus de 58,5% au niveau de l'oued Srou et 65,9% au niveau du Chbouka.
- En mois de septembre avec 34,1% au niveau de l'oued Srou et 17% au niveau du Chbouka.
- En mois de juin et juillet avec moins de 7% pour les deux cours d'eau.

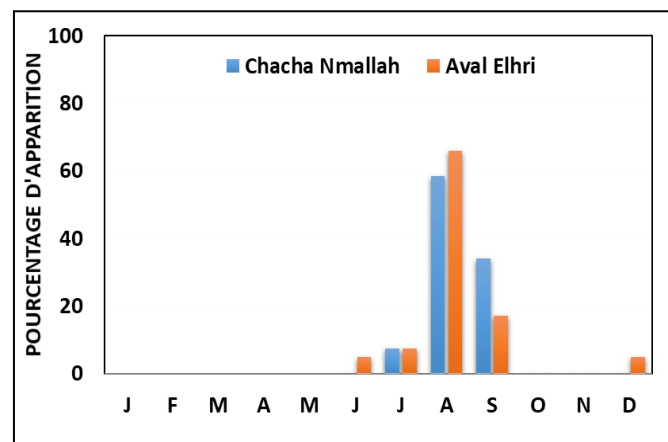


Figure 6 : Mois d'apparition des étiages

En effet, les cours durant ses mois ne sont alimentés que de la nappe, une absence totale des apports externes (pluviométrie) et une évapotranspiration intense provoquée par des fortes valeurs de température.

Une situation d'étiage anormale observée deux fois pendant le mois de décembre au niveau de l'oued Chbouka durant la chronique d'observation ; elle a été produite en décembre 2005 et décembre 1994. Ce qui est normal car les deux années sont des années sèches.

Les QMNA de la station Chacha N'mallah varient entre 4.04m³/s comme valeur maximale enregistrée en 1978 et 0.8 m³/s observé en 2008 avec un coefficient de variation de l'ordre de 53.63%. Au niveau de la station d'aval Elhri les valeurs des QMNA varient entre 2.5 m³/s comme valeur maximale enregistrée en 2010 et 0.26 m³/s comme valeur minimale, le coefficient de variation est de l'ordre de 48.61%. La variabilité observée est liée aux fluctuations de la pluviométrie observée dans le bassin durant la chronique.

Les années qui présentent des QMNA élevées sont des années humides, comme le cas de l'année 2010. La variabilité est moins apparente dans le bassin du Chbouka que celle enregistrées dans le bassin du Srou. Cela est dû à l'impact du substratum calcaire de Chbouka, qui garantit un écoulement régulier par rapport à celui du bassin du Srou qui est dans sa totalité imperméable et qui favorise les ruissèlements et les crues.

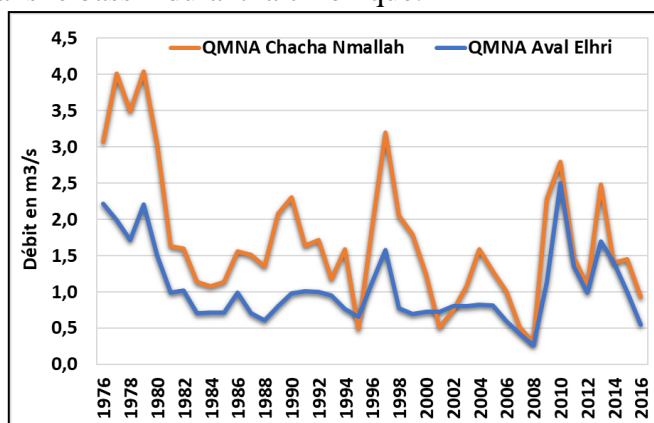


Figure 7: Variabilité des QMNA dans les stations d'Aval Elhri et de Chacha N'mallah (1976-2016)

L'analyse fréquentielle des QMNA a pour intérêt de quantifier le caractère plus ou moins exceptionnel d'un étiage. Abi-Zeid et Bobée (1999) ont réalisé une synthèse exhaustive des principales lois appliquées aux débits d'étiage. L'ajustement graphique des QMNA des stations de Chacha N'mallah et d'aval Elhri sur la période étudiée à la loi Log-normale semble satisfaisant. Les minimums absolus dans la station de Chacha N'mallah sont observés en 2008, 1995 et 2001. Alors qu'au niveau de la station d'aval Elhri sont observés en 2008, 2007 et 2016. Ces années sont des années de sécheresses dans tout le Maroc. La différence entre le Chbouka et le Srou réside dans la nature géologique. Le premier à un substratum calcaire perméable préserve de l'eau et le transmettre lentement. Alors que le deuxième est couvert des argiles et schistes imperméables favorisant ainsi les écoulements rapides en surfaces.

Les durées de retours des débits d'étiages des stations Chacha N'mallah et aval Elhri, évaluées à partir de la loi log normal sont représentées dans le tableau 2 à travers cinq périodes de retours (2, 5, 10, 20 et 50 ans).

Tableau 4: Périodes de retours

Fréquence	1/2	1/5	1/10	1/20	1/50
Période de retour	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
Aval Elhri (m3/s)	0,946	0,643	0,525	0,444	0,368
Chacha N'mallah (m3/s)	1,49	0,916	0,711	0,576	0,455

Le tableau 3 montre les seuils d'étiages calculés sur la base des QMNA de période de retours de 5 ans. Les seuils de vigilance et de crise qui correspondent respectivement à un niveau de prévention des problèmes de pénurie et à un niveau de préparation d'une éventuelle crise.

Tableau 5:Seuils de crises et de vigilances, période de retours 5 ans

Stations	Seuil de vigilance	Seuil de crise
Aval Elhri (m3/s)	0,71	0,57
Chacha N'mallah (m3/s)	1,01	0,82

Les seuils de vigilance varient entre 0,71 m³/s pour l'oued Chbouka et 1,01 m³/s pour l'oued Srou. Quant aux seuils de crise, ils fluctuent entre 0,57 m³/s au niveau de l'Oued Chbouka et 0,82 m³/s dans l'oued Srou.

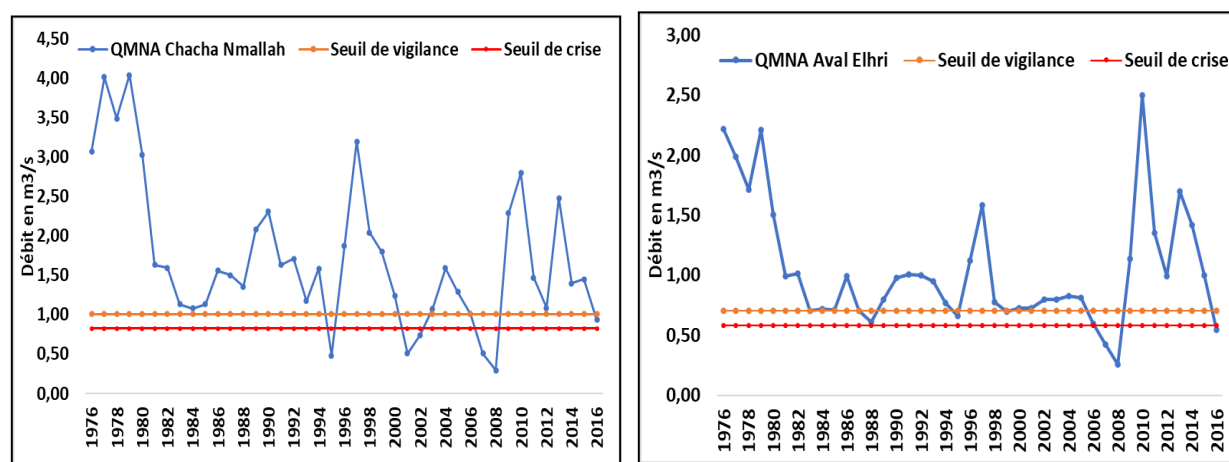


Figure 8:Application des seuils sur la chronique (1976-2016)

DISCUSSION

L'hétérogénéité de la répartition du QMNA dans le bassin versant de l'oued Srou est expliquée par l'irrégularité climatique et la nature géologique du substratum. En effet les précipitations dans le bassin versant connaissent une diversité spatiale et temporelle, ce qui influence directement les écoulements. La nature géologique calcaire du bassin versant de l'oued Chbouka garantie un écoulement un peu régulier par rapport au bassin de l'oued Srou, qui est composé d'une structure imperméable. Les couches calcaires perméables constituent des réservoirs massiques d'eau surtout dans la partie amont du bassin. Elle demande du temps pour se remplir pendant les périodes des hautes eaux et se vide lentement en période des basses eaux. Ce qui garantit un écoulement permanent et régulier des cours d'eau moyen atlasiques.

En étiage, la loi retenue pour le calcul des quantiles correspondant au QMNA est la loi log-normale (Lang, 2007 ; Catalogne, 2012 ; Garcia, 2016). Les quantiles enregistrés dans la station de Chacha N'mallah sont importants que celles de la station d'Aval Elhri. Ceci est normal parce que la station de Chacha contrôle le bassin entier y compris le sous bassin du Chbouka.

Le seuil de crise est dépassé dans la station d'Aval Elhri pendant les années 2006, 2007 et 2008. Au niveau de la station Chacha N'mallah la situation est plus grave, le seuil de crise est dépassé en 1994, 2001,2002, 2007 et 2008. Les débits de seuils de crise et de vigilance évalués montrent que l'oued Srou nécessite un suivi hydrologique beaucoup plus accentué en période d'étiage prononcé surtout dans les prochaines années.

CONCLUSION

Les résultats de la présente étude montrent une forte variabilité temporelle des débits d'étiages. Les seuils d'alerte (QMNA₅) varient entre 0,64 dans le bassin versant de l'oued Chbouka et 0,91 m³/s dans le bassin versant de l'oued Srou. Les seuils de crises estimés respectivement pour les deux bassins sont 0,57 et 0,82 m³/s. Ces débits de seuils ont mis en évidence la vulnérabilité du bassin versant de l'oued Srou, qui nécessite de ce fait un suivi hydrologique beaucoup plus poussé en cas d'une sécheresse hydrologique prolongée. Cependant, les seuls résultats d'une analyse statistique et probabiliste ne suffisent pas à déterminer la sévérité d'une situation d'étiage. Celle-ci est en effet dépendante des besoins humains qui définissent les niveaux de crise que la situation hydro-climatique elle-même. Il est donc important de prévoir des débits de consommation pour mieux adapter les ouvrages hydrauliques et prévenir les risques de pénurie d'eau.

BIBLIOGRAPHIE

- ABI-ZEID I., BOBEE B., 1999, "La modélisation stochastique des étiages : une revue bibliographique", Revue des sciences de l'eau, No.12-3, 459-483.
- CATALOGNE C. (2006), "Amélioration des méthodes de prédétermination des débits de référence d'étiage en sites peu ou pas jaugés". Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 235 p.
- ELGHACHI M (2007), " la seille : un système fluvial anthropisé (Lorraine ; France)". Thèse de doctorat, Metz, 338p.
- FLEIG A.K., TALLAKSEN L.M., HISDAL H., DEMUTH S., 2006, "A global evaluation of streamflow drought characteristics", Hydrology and Earth System Sciences, No.10, 535-552.
- GAILLIEZ S. (2013). "Estimation des débits d'étiage pour des sites non jaugés. Application en région wallonne". Dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique ; Université de Liège
- GARCIA F. (2016). "Amélioration d'une modélisation hydrologique régionalisée pour estimer les statistiques d'étiage" Hydrologie. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 222 p.
- ELBOUQDAOUI K. (2005). " Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc)". Geo-Eco-Trop. 25-36.
- LANG C. (2007). "Étiages et tarissements : vers quelles modélisations? L'approche conceptuelle et l'analyse statistique en réponse à la diversité spatiale des écoulements en étiage des cours d'eau de l'Est français", Université de Metz, 210 p.

DYNAMIQUE DES VENTS ET LEURS ROLES DANS LA REPARTITION DES DUNES DANS LA PLAINE DE SOUSS MASSA (CENTRE-OUEST DU MAROC)

Nadia ATIKI⁽¹⁾*, Hasna TNOURJI⁽¹⁾, M'hamed NMISS⁽²⁾, Abderrahman OUAMMOU⁽¹⁾

⁽¹⁾:Equipe de Recherche : « Géographie, Aménagement, Démographie, Développement ». FLSH. Université Ibn Zohr Agadir.

⁽²⁾: Laboratoire d'Analyse Géoenvironnementale, d'Aménagement et de Développement Durable (LAGEA-DD).FLSH. Université Sidi Mohamed Ibn Abdellah,

* Auteur correspondant. Adresse électronique : atikhasna@gmail.com

RESUME : Le vent est un facteur déterminant dans la répartition et le déplacement des dunes. En effet, de par sa vitesse et sa direction, il joue un rôle primordial dans la mise en place des dunes et constitue le moteur de leur dynamique. Dans cette note, on va exposer les caractéristiques des vents dans la plaine du Souss Massa (30° Nord) qui présente un milieu extrêmement fragile avec des ressources naturelles limitées et très dégradées.

L'objectif de cette étude est de déceler le rôle de la dynamique éolienne dans la répartition des accumulations dunaires et leurs orientations dans la plaine de Souss Massa. La méthode adoptée est basée principalement sur des modèles statistiques comprenant l'auto-corrélation (krigeage), c'est-à-dire les relations statistiques entre les relevés climatiques mesurés de chaque station étudiée. Par conséquent, les techniques géostatistiques -méthode de krigeage en autre- ont non seulement la capacité de produire une surface de prévision, mais elles peuvent aussi fournir des mesures quant à l'exactitude de ces prévisions. Cela nous a permis de connaître la relation mutuelle entre la dynamique des vents prédominants et la répartition des accumulations sableuses dans la zone d'étude.

Mots-clés : Dynamique, vent, Souss Massa, répartition, dune, Krigeage.

WINDS DYNAMICS AND THEIR INVOLVEMENT IN THE DISTRIBUTION OF DUNES IN SOUSS MASSA PLAIN(WEST CENTRAL MOROCCO)

ABSTRACT: Wind is a determining factor in the distribution and movement of dunes. Indeed, the speed and direction of it, play a primary role in the establishment of dunes, and are an engine of their dynamics. In this note we will expose the characteristics of the winds in the plain of Souss Massa (30° North) which presents an extremely fragile environment with limited and very degraded natural resources.

The objective of this study is to detect the role of wind dynamics in the distribution of dune accumulations and their orientations in the plain of Souss Massa. The method adopted is based mainly on statistical models including autocorrelation (kriging), that is to say the statistical relations between the measured climatic readings of each station studied. Therefore, geostatistical techniques (such as the kriging method) not only have the ability to produce a forecast surface, but they can also provide measurements of the accuracy of these predictions. This allowed us to know the mutual relationship between prevailing wind dynamics and the distribution of sandy accumulations in the study area.

Keywords: Dynamic, wind, Souss Massa, distribution, dune, Krigeage.

INTRODUCTION

Le vent est le facteur dynamique principal pour l'étude des formations dunaires et leur répartition dans l'espace. Malheureusement, dans les stations météorologiques de la plaine de Souss Massa, les mesures des vents sont souvent délaissées ou mal relevées. Par conséquent, des lacunes plus fréquentes dans les relevés météorologiques de la région étudiée concernent l'absence d'enregistrement de la direction et la force des vents. Cet article expose le rôle de la dynamique éolienne dans la distribution des dunes en relation avec la vitesse et les directions des vents dans la zone d'étude.

1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Au centre Ouest du Maroc (30 degrés Nord), la plaine de Souss Massa se présente comme un milieu naturel fragile. Il s'agit d'une zone de transition entre les latitudes tempérées et les latitudes chaudes caractérisées par l'aridité. Ce qui engendre un milieu fragile et une dégradation recrudescence des ressources naturelles. Par ailleurs, on note une surexploitation des ressources naturelles, à l'origine fragiles, ce qui induit davantage leur détérioration. La combinaison des facteurs naturels et anthropiques conduit à une certaine distribution spatiale et temporelle des dunes. Les facteurs climatiques interviennent par la rareté des précipitations, la succession des années de sécheresse et par la dynamique des vents. Le système dunaire de la plaine de Souss Massa (figure 1) s'est largement développé dans deux secteurs correspondant à l'Ouest au littoral atlantique et à l'Est au piémont anti-atlasique.

A l'Ouest (Chtouka-Ouest), le secteur du littoral met en évidence trois systèmes dunaires distincts (M. Barrada, 1996) :

- Le système du Souss qui s'étend sur la rive gauche de l'oued Souss, en forme de triangle dont la pointe s'avance sur 11km vers le Sud-est. Il est formé essentiellement par des dunes transversales et d'amas barkhaniques (barkhanes coalescentes).
- Le système dunaire du Nord de cap de Tifnit longe le littoral atlantique. Il est caractérisé par de basses falaises vives faisant suite à la plage. Le complexe dunaire de ce secteur est entièrement constitué d'une part, par des dunes plus ou moins consolidées et d'autre part, par des dunes transversales découpées par des couloirs de déflation prolongés par des essaims de barkhanes.
- Le système de Massa occupe la rive gauche de l'oued Massa dont les amas vifs sont très épais et continus à l'embouchure et escaladent le bas plateau. Ce système est formé pour l'essentiel par des barkhanes et des nebkhas.

A l'Est de la plaine des Chtouka, le système dunaire constitue des champs dunaires, d'accumulations sableuses et d'unités dunaires sporadiques. Il s'étend sur de vastes espaces sous forme d'un manteau épais fixé presque complètement par les cultures et le matorral d'arganiers. L'organisation et la répartition des dunes actuelles est la conséquence d'une part d'une dynamique éolienne très active remobilisant des quantités importantes de sable et d'autre part d'une dégradation anthropique du couvert végétal.

2. MATERIELS ET METHODES

L'étude des caractéristiques des vents (direction et vitesse) est essentiellement basée sur les relevés climatiques enregistrés par les différentes stations étudiées (Tableau 1). Malheureusement, les enregistrements concernant les vents dans la région étudiée sont très

limités, à cause de l'absence d'anémomètres dans la plupart des stations. La méthode adoptée repose sur l'analyse des relevés climatiques enregistrés par quelques stations météorologiques équipées d'anémomètres d'après les modèles statistiques comprenant l'auto-corrélation (krigeage), c'est-à-dire les relations statistiques entre les relevés climatiques mesurés de chaque station étudiée. Ainsi, l'outil de Krigeage nous a permis de créer une corrélation spatiale grâce au logiciel Arcgis.

Station	Altitude (m)	Distance (km)	Coordonnées		Source
			X	Y	
Agadir-Al Massira	61	17	9°25'	30°19'	http://www.wofrance.fr
Aïn Chaïb	80	35	9°14'	30°24'	Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Souss-Massa
Malk Zhar	72	13	9°33'	30°02'	Station météorologie de Malk Zhar
Taroudant	255	70	8°33'	30°28'	Agence du Bassin Hydraulique de Souss Massa

Tableau 1. Les stations météorologiques adoptées.

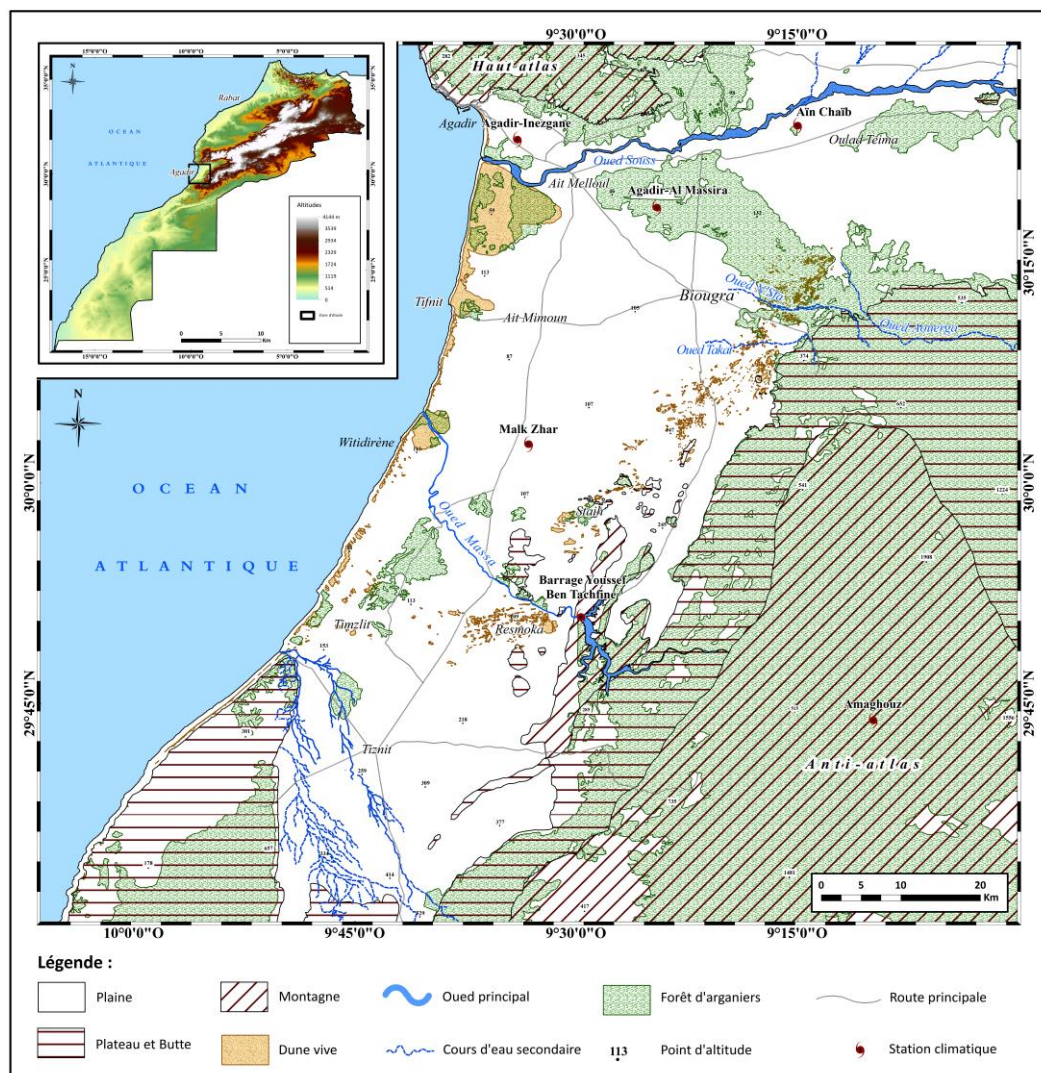


Figure 1. Répartition des empilements dunaires dans la plaine de Souss Massa et situation des stations météorologiques.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

D'après les statistiques concernant la fréquence et les directions des vents enregistrées à la station d'Agadir-Al Massira entre (1997-2016), les vents d'Ouest représentent 30% de l'ensemble des directions, viennent ensuite les vents d'Est et de Sud-ouest qui représentent chacun 18%. Cette prédominance des vents ouest à Agadir est due au fait que l'alizé maritime, de direction NNW à NW est dévié, à cet endroit, par l'Atlas atlantique et reprend une direction W-E (B. Adele, 1998). Par contre, les données de la station d'Aïn Chaïb (1972-1976), montrent que les vents du secteur nord-est représentent 39% de l'ensemble des directions, suivi des vents NW et SW qui enregistrent respectivement 31% et 10%. Les autres directions ont des fréquences faibles. L'analyse des directions des vents enregistrées par la station de Malk Zhar entre (1981-2016), montre la dominance des vents de NW qui représentent 82% de la totalité des directions. Les vents du SE et W atteignent respectivement 14% et 4%. Dans la station de Taroudant pour les périodes (1971-1976) et (1984-2001) les vents d'ouest atteignent 17% qui viennent après les vents d'WSW (33%). Les autres directions ont des fréquences assez faibles (Figure 2). Il s'avère donc que la fréquence du vent d'Ouest reste importante malgré la continentalité et l'éloignement du littoral. L'importance de ce vent à l'intérieur du pays, à Taroudant, est liée à l'influence topographique locale, à savoir la vallée de l'oued Souss qui canalise les vents d'Ouest vers l'intérieur (B. Adele, 1998). D'après la figure 3, on remarque dans la station d'Agadir-Al Massira, tout au long de l'année, que les vents d'Ouest sont dominants. Par ailleurs, le vent d'Est ou Chergui est fréquent généralement en automne, à la fin de l'hiver et au début du printemps. Ce vent s'accompagne de très fortes chaleurs et entraîne une baisse d'humidité relative de l'air. On note qu'il a un effet notable sur la végétation fixatrice des dunes, mais peut aussi orienter les nebkas en sens inverse de leur état habituel (M. Barrada, 1996). La station d'Aïn Chaïb, nous permet de constater la dominance des vents du NE et NW au printemps, l'été et l'automne. En revanche la fréquence de ces tendances diminue en hiver, l'autre direction dominante est celle des vents du SW. D'après les données enregistrées à Malk Zhar, on remarque la fréquence élevée des vents du secteur NW tout au long de l'année. Cependant, ces fréquences connaissent une diminution à la fin de l'automne et au début de l'hiver, période où les vents du SW prédominent. Enfin, la station de Taroudant est caractérisée par la dominance des vents du WSW et de l'ouest au printemps, en été et en automne, alors que cette fréquence connaît une nette diminution en hiver, qui se caractérise par les vents d'ENE et d'Est. Les vents efficaces dans la formation des dunes sont ceux dont la vitesse est supérieure à 3,3m/sec. La constance de la direction du vent et la durée jouent également un rôle important dans le transport des sédiments, c'est-à-dire qu'un vent faible soufflant pour une longue durée aura le même effet qu'un vent violent et de courte durée (R.A. Bagnold, 1951).

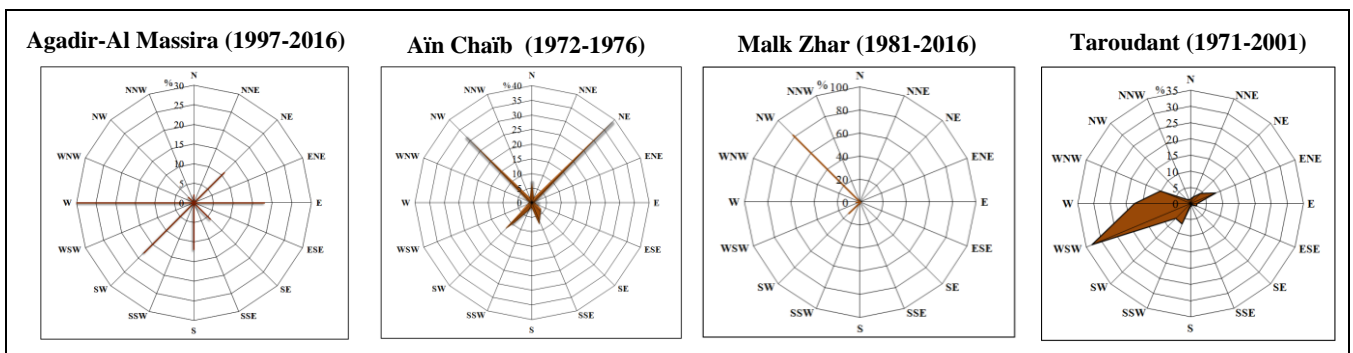


Figure 2. Direction des vents dominants dans le Souss Massa.

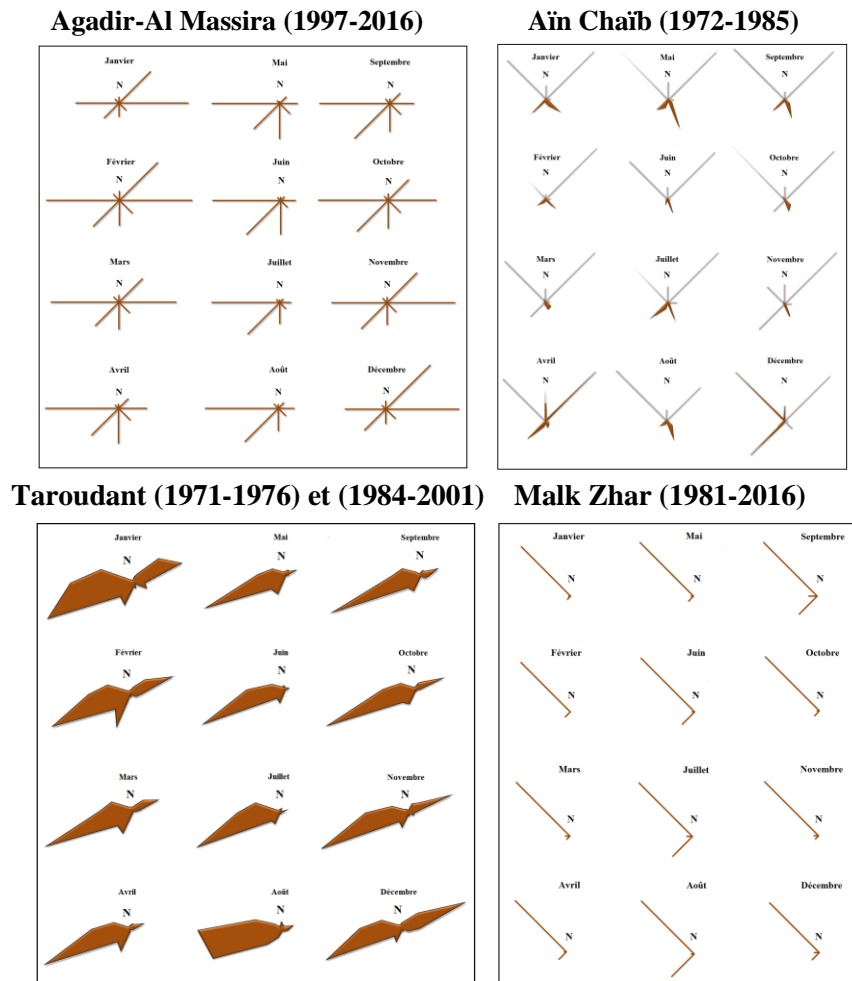


Figure 3. Fréquence des directions des vents dans le Souss Massa

Sur le terrain, on constate que la plaine de Souss Massa repose en majorité sur un substrat sableux sensible à l'érosion éolienne. L'ouverture de la plaine sur un large front océanique l'expose directement à l'influence des vents d'Ouest. D'après la figure 4, on remarque que la vitesse moyenne mensuelle du vent est très importante près de la côte (6,08m/s) en raison des alizés maritime dominants (NNW et NW). Alors que ces valeurs baissent progressivement vers l'intérieur du pays (0,12m/s). La vitesse des vents est relativement forte au printemps et en fin d'été car c'est les périodes où l'anticyclone des Açores connaît des déplacements vers le Nord favorisant un temps sec et chaud. Ce sont alors des vents d'Ouest et WSW qui sont responsables du remaniement des dunes (M. Barrada, 1996). D'autre part, les vitesses moyennes mensuelles des vents connaissent des changements remarquables selon les saisons de l'année. En janvier, les vitesses des vents dans les stations d'Agadir-Inezgane, Agadir-Al Massira et Malk Zhar atteignent 3,2m/s. En revanche dans la station de Barrage Youssef Ben Tachfine elle ne dépasse pas 2,4m/s et 0,59m/s à la station d'Amaghouz. La même remarque a été relevée à la station de Taroudant où la vitesse du vent est de 1,05m/s alors qu'à Aïn Chaïb elle n'est que de 0,07m/s. A partir de février, les vitesses moyennes des vents augmentent progressivement dans les stations de Malk Zhar, Agadir-Al Massira, Agadir-Inezgane, BYBT, Amaghouz, Aïn Chaïb et Taroudant et atteignent en Mai respectivement 6,08m/s, 3,55m/s, 3,65m/s, 2,36m/s, 1,16m/s, 0,12m/s, 1,55m/s. On constate donc que les

vitesse des vents ont une influence notable sur la répartition des dépôts sableux dans la plaine de Souss Massa.

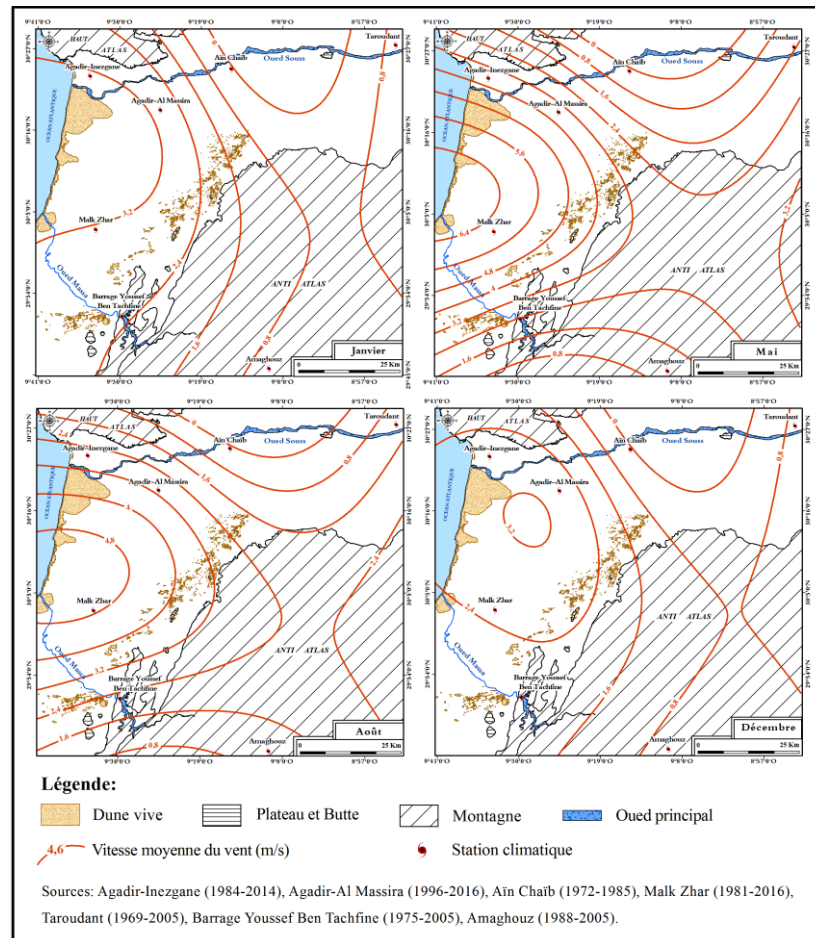


Figure 4. Vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s) dans le Souss Massa.

CONCLUSION : Dans la plaine de Souss Massa, les vents forts du secteur Ouest (Alizés maritime), sont responsable dans l'édification et le remaniement des constructions éoliennes littorales. Par contre, vers l'intérieur, au contrefort de l'Anti-Atlas, la vitesse du vent n'est efficace pour le remaniement des particules sableuses qu'à la fin du printemps et en été. En cette saison, les vents d'Ouest et WSW sont alors déviés par l'Anti-Atlas et prennent une direction franchement SW- NE qu'on retrouve dans les alignements dunaires. Par ailleurs, dans cette zone, l'origine du sable est locale puisqu'il est repris des affleurements gréseux hérités (Crétacé et moghrébien).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADELE, B. (1998): Genèse du système dunaire des Chtouka de l'Est (Maroc). Thèse de Doctorat (N.R), Université de Nancy II. 202p.
- ATIKI, N. (2018): L'anthropisation des systèmes dunaires de la plaine des Chtouka: Caractéristiques évolution et aménagement. Editions Univ. Européennes. Paris. 101p.
- ATIKI, N. (2019): Dynamique des systèmes dunaires de Souss-Massa: Anthropisation, enjeux environnementaux et impacts socio-économiques. Thèse Doc.F.L.S.H. Agadir. 303p.
- BAGNOLD, R.A. (1953): "Forme des dunes de sable et régime des vents. In actions éoliennes", Colloques intern. C.N.R.S., Alger 1951. PP. 23-32.
- BARRADA, M. (1996) : Evolution morphologique du littoral des Chtouka Ouest (Maroc) depuis l'Ouljien. Thèse de Doctorat (N.R). Université de Nancy II. 231p.

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'IMPACT DES ACTIVITES HUMAINES SUR LES RESSOURCES EN EAUX DANS LES REGIONS ARIDES D'ALGERIE (CAS DE CHOTT EL HODNA, ALGERIE)

Amel FERAHTIA¹, Mohammed Tahar HALILAT², Ettayib BENSACI¹, Djamel ANTEUR³

1. Université De M'sila. Faculté des Sciences. Département des Sciences de la Nature et de la Vie, 28000, M'sila, Algérie. amel.ferahitia@univ-msila.dz.

2. Université Kasdi Merbah-Ouargla, 30000, Ourgla, Algérie

3. Université de Taher Moulay, Faculté des Sciences. Département de Biologie. 20000, Saïda, Algérie

RESUME: Notre objectif est de réaliser une des premières estimations de la détermination des sources de pollution des eaux de la zone humide de Chott El Hodna (M'sila), dans cette étude on a essayé de faire une caractérisation physico-chimique des eaux de certains oueds qui déversent au niveau de ce Chott et de mettre en évidence l'impact de ces eaux sur cet écosystème aquatique.

Les analyses des eaux de cette zone montrent que la plupart des paramètres physico-chimiques dépassent les seuils des normes fixées par l'OMS et la FAO. Ils ont montré aussi que les oueds de cette région soumise à une forte pression qui affecte la qualité des eaux de cette zone humide.

D'une part on peut citer l'utilisation des nouvelles technologies de l'agriculture en serre intensive qui est basée sur les engrais phosphatés surtout dans la partie Nord de Chott (la pleine du Hodna), et d'autre part le rejet direct sans traitement préalable de l'eau domestiques et des rejets industriels chargés par des quantités élevées des éléments minéraux et matières organiques, particulièrement les agglomérations urbaine proche de Chott. Leur forte accumulation dans cette zone humide, rend l'impossibilité de sa biodégradabilité fournissent ainsi une prolifération microbienne intense influençant sans doute le maintien de cet écosystème aquatique et par conséquent sa biodiversité et son impact sur l'être humaine, la santé public, l'animal et le végétal.

Mots clés : zone humide, Chott EL Hodna, Analyses physico-chimiques, pollution, Oueds.

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'IMPACT DES ACTIVITES HUMAINES SUR LES RESSOURCES EN EAUX DANS LES REGIONS ARIDES D'ALGERIE (CAS DE CHOTT EL HODNA, ALGERIE)

ABSTRACT: Our objective is to make one of the first estimations of the determination of the sources of water pollution of the wetland of Chott El Hodna (M'sila), in this study we tried to make a physicochemical characterization of the waters of some oueds that dump at this Chott and to highlight the impact of these waters on this aquatic ecosystem.

Water analyzes in this area show that most physico-chemical parameters exceed the thresholds set by WHO and FAO. They also showed that the wadis of this area subjected to strong pressure, which affects the quality of water in this wetland. on the one hand, we can mention the use of new technologies in intensive greenhouse agriculture which is based on phosphate fertilizers, especially in the northern part of Chott (the full of Hodna), and on the other hand the direct discharge without treatment of domestic water and industrial discharges loaded with high quantities of mineral elements and organic matter, especially urban agglomerations close to Chott. Their strong accumulation in this wet zone, renders the impossibility of its biodegradability, thus provide an intense microbial proliferation influencing no doubt the maintenance of this aquatic ecosystem. No doubt the maintenance of this aquatic ecosystem and consequently its biodiversity and its impact on human beings, public health, animals and plants.

Keywords: Wetland, Chott El hodna, Physical chemical analyzes, pollution, oueds.

Introduction

L'eau constitue un élément essentiel dans la vie et dans l'activité humaine. C'est une composante majeure du monde minéral et organique. Elle participe à toutes les activités quotidiennes notamment domestiques, industrielles et agricoles, ce qui la rend un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution (Aouissi, 2009).

D'une manière générale, la qualité des eaux naturelles de surface peut résulter de contraintes naturelles et anthropiques, ainsi que de la gestion et l'économie de ces eaux. Ce sont là des facteurs à considérer pour améliorer ou même simplement conserver les sources d'eau sans les dégrader (Bouras *et al.*, 2010).

Comme tous les autres pays du monde, les eaux de surface de l'Algérie n'échappent pas au fléau de la pollution et l'activité humaine demeure la cause principale de la dégradation de la qualité des eaux de surface naturelle, par ailleurs, l'activité agricole surtout l'utilisation des engrais et des pesticides et la pollution domestique constituent aussi la cause de la pollution des eaux de surface (Bendjama, 2014). Ainsi la contamination métallique des écosystèmes présente des effets néfastes qui pourraient engendrer des situations critiques voir dangereuses affectant l'équilibre écologique de ces milieux.

Les écosystèmes aquatiques, notamment les écosystèmes lacustres ou zones humides, sites de notre étude, sont de plus en plus menacés par ce type de pollution ce qui engendre généralement des dégradations graves des différents compartiments qui les constituent (eau, faune et flore) et par conséquent une influence sur la santé publique.

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail consiste à déterminer la qualité physico-chimique et le degré de contamination des eaux de la zone humide de chott El Hodna, et ceci dans le but d'apprécier les sources de pollution, et leur impacte sur l'environnement et la santé publique. La région d'étude est caractérisée par une activité agricole importante nécessitant une utilisation excessive de fertilisants et d'engrais chimiques, elle reçoit aussi et quotidiennement les eaux des égouts, des rejets domestiques et des effluents d'élevage.

1. Description de la zone d'étude

Chott El Hodna fait partie d'une série de chotts qui se sont développés là où convergent les eaux provenant de l'atlas saharien au Sud et l'atlas tellien au Nord. (Figure 01).

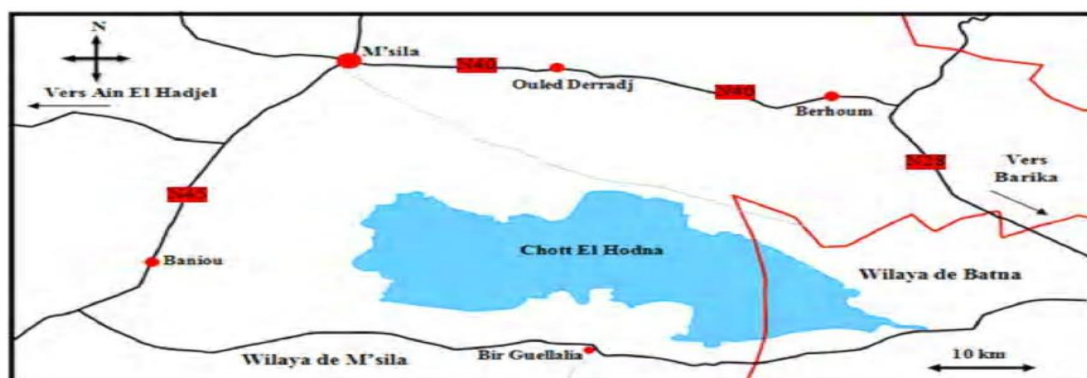


Figure 01: situation géographique de chott El hodna.

Le Chott El Honda est une surface d'épandage des crues, de forme elliptique constituant une zone humide salée de 77 Km de long et 19 Km de large, sa surface inondée est variable, mais ne dépasse jamais 80.000 ha. Son alimentation est assurée par au moins 22 cours d'eau principaux, auxquels il faut ajouter des sources d'eau douce. Il se met en eau uniquement en hiver, en été, il est sec et salé et des croûtes de sel couvrent toute son étendue. Le Chott joue le rôle d'exécutoire unique pour les eaux superficielles et d'exécutoire important pour les eaux souterraines.

2. Méthodologie

Pour déterminer les sources de pollution de la zone humide de Chott El Hodna, on a essayé de caractériser la qualité physico-chimique des eaux de certains oueds qui déversent au niveau du chott, ces oueds considérés parmi les principaux cours d'eau qui alimentent le chott surtout pendant la période pluvieuse. L'échantillon destiné à l'analyse doit prélever de façon à représenter le plus exactement possible le milieu d'où il provient, la concentration étant supposée être la même dans le milieu d'origine et de l'échantillon.

1. À l'aide d'un analyseur multi-paramètre de marque Consort la température (T), le potentiel hydrogène (pH), conductivité (CE), l'oxygène dissous (O2) et la salinité ont été mesurés sur place.

2. On a réalisé les analyses des autres paramètres physico-chimiques (Rs, TH, TDS, MO, Mg^{+2} , Cl^- , PO_4^- , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , Ca^{+2} , HCO_3^- , DBO_5) au niveau de laboratoires de département des sciences de la nature et de la vie de l'Université de M'sila sur les mêmes échantillons les quelles on a mesuré in site.

3. Résultats et discussions :

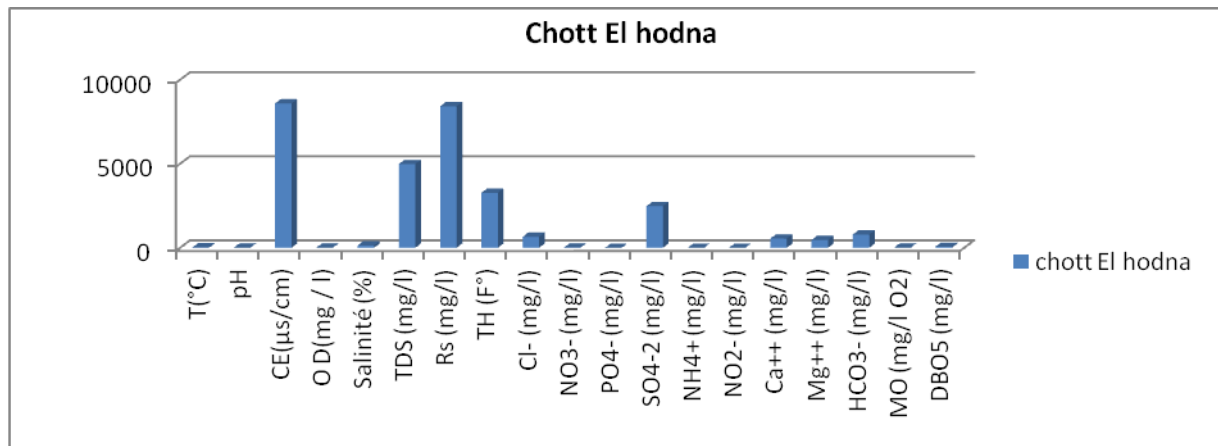


Figure 02: Représentation graphique de l'analyse physico-chimiques des physico-chimique des eaux chott El hodna

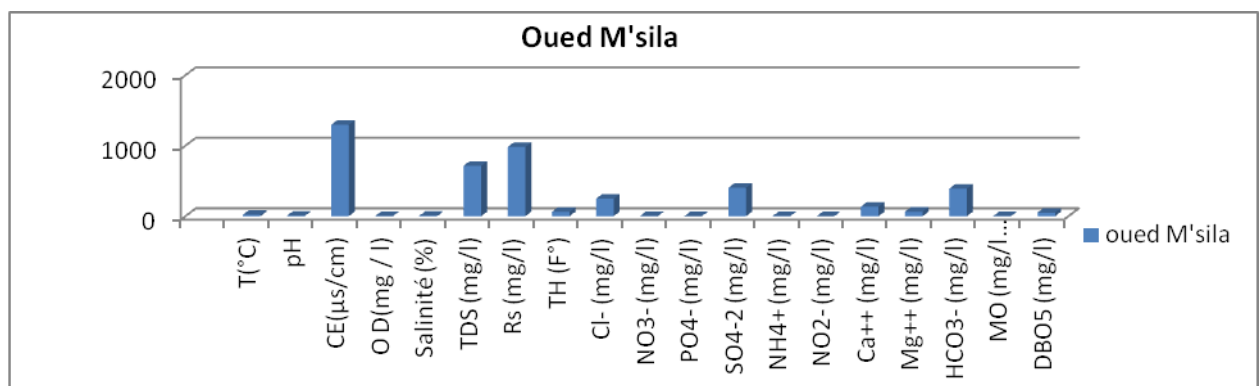


Figure 03: Représentation graphique de l'analyse physico-chimique des physico-chimiques des eaux De oued M'sila.

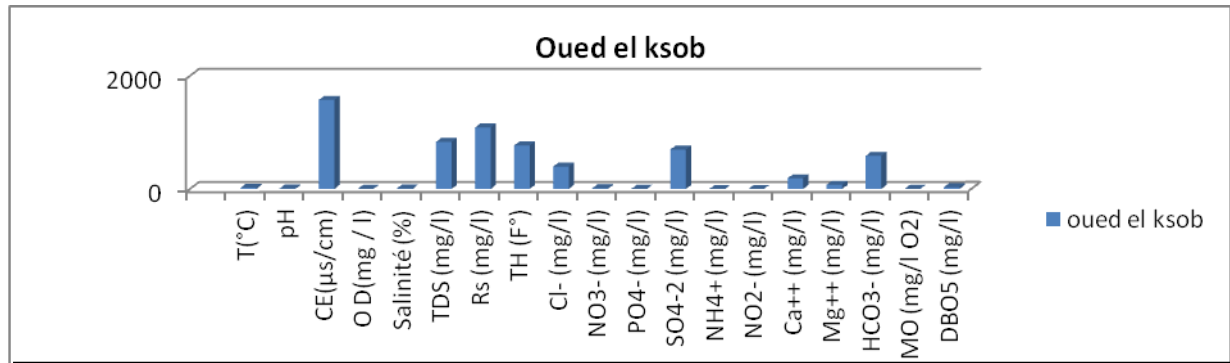


Figure 04: Représentation graphique de l'analyse physico-chimique des eaux d'oued El ksob.

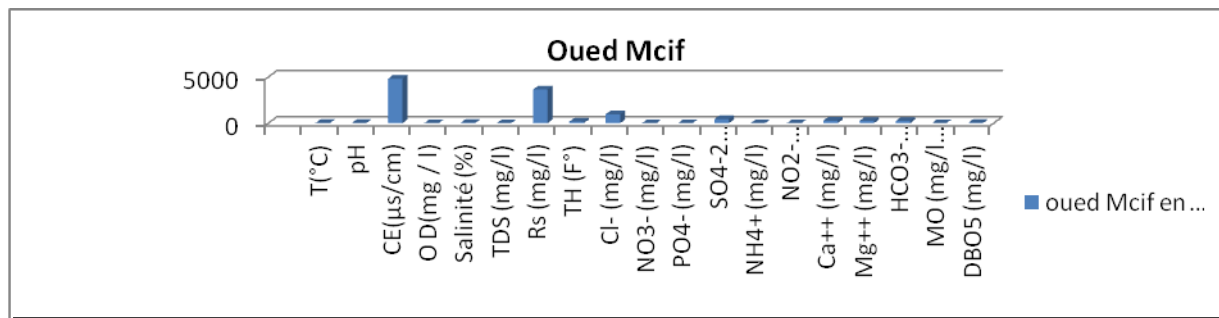


Figure 05: Représentation graphique de l'analyse physico-chimique des eaux d'oued M'cif en aval.

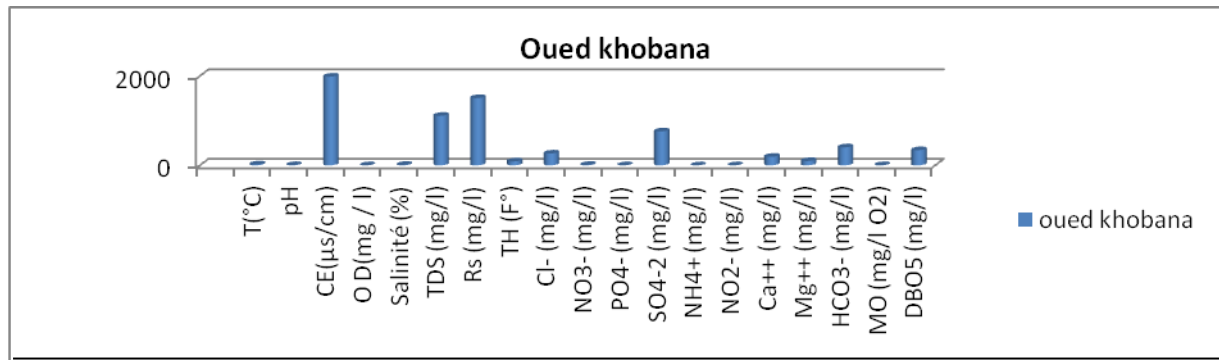


Figure 06: Représentation graphique de l'analyse physico-chimique des eaux d'oued khobana.

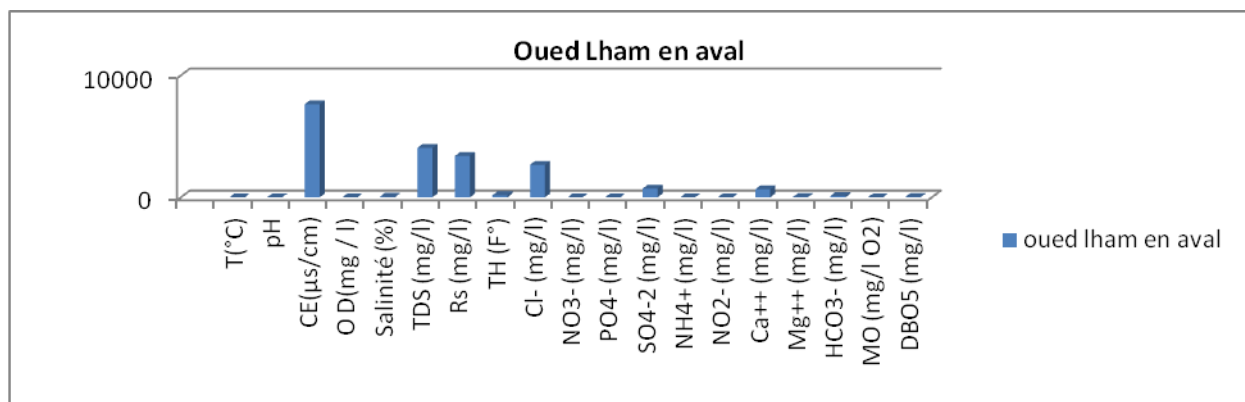


Figure 06: Représentation graphique de l'analyse physico-chimique des eaux d'oued El ham en aval.

La détermination de la qualité physico-chimique de l'eau de certain oued qui déversant au niveau de chott El Hodna nous a permis de situer le niveau de pollution et le degré de contamination de ces eaux par les différents éléments chimiques, les résultats que nous avons obtenus dans les différentes zones nous exposent des concentrations variables des éléments chimiques d'un site à l'autre. Elles présentent des valeurs dépassant les normes internationales de l'OMS et de la FAO, pour la plupart des paramètres physico-chimiques.

Les valeurs de la conductivité électrique sont élevées dans tous les oueds et aussi dans le Chott, indiquent une très forte charge d'éléments minéraux ; Cette surcharge peut être expliquée par l'élévation de la température et par le déficit de précipitation qui a permis de concentrer les sels minéraux des fertilisants. Elle peut aussi être expliquée par le versement des eaux usées même les déchets ménagers par les agglomérations qui se trouvent près de ces oueds.

Les grandes variations de salinité et de TDS entre les différentes sites due principalement à l'augmentation progressive de la température, cette dernière intervenant par le processus d'évapotranspiration qui peut favoriser la concentration des sels dans l'eau, ce qui évoque la relation entre la conductivité et le TDS (Debieche, 2002).

Pour l'ensemble des prélèvements, l'oxygène dissous présente des variations importantes d'un site à un autre, elle varie de 1.8 et 5.8. En général, les valeurs faibles de l'oxygène dissous due à la grande concentration de la matière organique et des nutriments qui favorisent le développement des bactéries et des germes pathogènes (Belghiti et al., 2013).

La présence d'ortho phosphate est probablement liée aux rejets des eaux usées et les rejets domestiques ou agricoles qui déversent directement aux ces oueds.

Nous avons remarqué des taux faibles des nitrates dans tous les oueds du chott ce qui peut être expliqué par deux processus ; le premier est la nitrification qui consiste en une oxydation de l'ammonium en nitrate par des bactéries nitrifiantes (Levéque, 2001) et le second est la dénitrification qui consiste à la réduction des nitrites en nitrates par des bactéries spécifiques. (Pelmont, 1995). Le taux faible de nitrates peut être aussi lié à l'assimilation et à la rétention de ces ions par les végétaux présents le long des oueds. (Widad, 2008).

Les teneurs des eaux des oueds en nitrites exposent des faibles variations, sauf oued M'sila, et au niveau de chott El hodna ce qui peut expliquer par la trop charge des eaux usées des oueds déversés dans cette zone humide, qui constitue l'exutoire principale dans la région du Hodna, à cause du manque d'une station d'épuration au niveau de la wilaya (Bensaci et al., 2014).

Les sulfates qui présentent des concentrations notables dues principalement à la nature de terrain, région agricole et qui reçoit les eaux usées et les rejets domestiques (pollution d'origine humaine ou animale).

Le calcium, le magnésium, le chlorure et les bicarbonates, sont principalement en relation avec la nature géologique, et due à la dissolution des formations gypseuses pendant les périodes de crues.

Les valeurs élevées de la DBO₅ dans les eaux des oueds de Chott El hodna, pourraient être expliqué par l'abondance de la matière organique, Par ailleurs, ces eaux sont classées comme de très mauvaises selon les normes de qualité des eaux de surface.

CONCLUSION

Dans notre travail sur la qualité physico-chimique des eaux des oueds de Chott El Hodna, dans le but de déterminer les principales sources de pollution de cette zone humide d'importance internationale dans une région aride à hiver tempéré, caractérisée par un hiver pluvieux et un été sec avec des perturbations partielles.

L'absence de toute surveillance des principaux affluents du déversement direct des rejets urbains dans les oueds de Chott El Hodna et l'utilisation des engrais en agriculture le

long du bassin versant rendent ces eaux très vulnérables à la pollution et par conséquence la dégradation de site et la perte de la biodiversité de cet écosystème.

Il est donc urgent de prendre des mesures de protection nécessaires pour préserver cette zone humide d'importance internationale afin de mieux conserver sa biodiversité et sa valeur écologique. Il est de même pour l'utilisation de l'eau pour l'irrigation des cultures avoisinantes de cette zone.

Références bibliographiques :

- AOUISSI A. (2010). *Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et des sources de la région de Guelma (Nord- Est) de l'Algérie*. Thèse Magister. Université Guelma, pp 129.
- AZZAOUI S., EL HANBALI M. ET LEBLANC M. (2002). *Cuivre, plomb, fer et manganèse dans le bassin versant du Sebou; sources d'apport et impact sur la qualité des eaux de surface*. Water qual. Res. J. Canada, Vol 37, N°4, pp773-784.
- Belghiti M.L., Chahlaoui A., Bengoumi D., El Moustaine R.(2013). *Etude de la qualité physico -chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio- quaternaire dans la région de Meknès (MAROC)*. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, Vol °14, pp 21-36.
- BENDJAMA A. (2014). *Variation de la qualité des eaux et sol et son impact sur le sol des zones humides de PNEK*, thèse de doctorat Universté Badji Mokhtar Annaba, p 02.
- BENSACI ETTAYIB, BENDJAMA SARAH, TELLI SARAH, REGUIG SARAH, ZOUBIRI ASMA, ET HOUHAMDI MOUSSA. (2014). *Contribution à l'étude de la pollution des eaux des zones humides des régions Arides d'Algérie*. International Journal of Environment & Water ISSN 2052-3408, pp 64.
- DEBIECHE T.H. (2002). *Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de Seybouse. Nord-Est Algérien*. Thèse Doctorat. Univ. Franche-Comté. p235.
- LEVEQUE C (2001). *Ecologie de l'écosystème à la biosphère*. Édition Dunod. Paris. pp 364,365.
- PELMONT J. (1995). *Bactéries et environnement, adaptation physiologique*. Édition Office des publications universitaires. p: 576.
- WIDAD A. (2008). *Degré de contamination des eaux de la mare Redjla (Taher- Jijel) par les nitrates: Détermination de la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau*. Thèse de Magistère. Université de Jijel. 102 p.

L'IMPACT DE LA DETERIORATION CLIMATIQUE ET DE L'INTERVENTION HUMAINE SUR LA FORMATION DES TRAVERTINS ACTUELS AU NIVEAU DU BASSIN VERSANT DE L'OUED TAZA

Lahrichi.K¹, Gartet.J², Tailassane.M³, Arari.K⁴

1-Laboratoire DEP2D, FLSH Sais, Fès - USMBA, lahrichi.kamal@gmail.com

2- Laboratoire DEP2D, FPT, Taza, USMBA. j.gartet@gmail.com

3- Univ. Mohamed V-Rabat. F L S H, tailamed2005@yahoo.fr

4-LAGEA-DD, FLSH - Sais, Université Sidi Mohamed ben Abdellah Fès, Maroc.

Résumé: Le site de Ras Elma dans le BV de l'oued Taza, par sa situation dans le Moyen Atlas plissé, s'inscrit dans le domaine méditerranéen. Son contexte bioclimatique se caractérise par la dominance du climat subhumide. Le site connaît des quantités des précipitations soutenues par l'effet du relief. Le couvert végétal se caractérise par la dégradation, néanmoins la forêt est encore réfugiée en altitude. La lithologie des terrains du bassin hydrogéologique est majoritairement composée par des alternances de bancs de calcaires et de calcaire-dolomitiques karstifiables.

La source de Ras Elma a permis l'accumulation des formations travertineuses de formes et de formations variables dans le temps et dans l'espace. Parmi les types des travertins qui existent, on y trouve les travertins de type laminés (objet de cette étude) avec une succession de doublets constitués chacun d'une lamine claire sparitique et microspartitique et d'une lamine sombre micritique. L'étude de cette dernière nous permet de connaître l'impact des changements climatiques et/ou de l'intervention humaine sur le débit de la source de Ras Elma. Ces changements auraient comme conséquence des modifications successives de l'épaisseur des lamines et l'importance de la travertinisation.

L'analyse de ces changements, l'application du strati-signal, à l'instar de la dendrochronologie pourrait mettre en évidence des changements dans l'importance de la travertinisation, indices plausibles des effets des éventuels changements climatiques et/ou actions anthropiques dans le BV de l'oued Taza au cours de l'accumulation de ces formations.

Mots Clé: Travertins, lamine, strati-signal, Oued Taza, Moyen Atlas.

The impact of climate deterioration and human intervention on the formation of current travertines in the watershed of Wadi Taza

Abstract: The site of Ras Elma in the BV of Oued Taza, with its location in the pleated Middle Atlas, is inscribed within the Mediterranean area. Its bioclimatic context is dominated by the subhumid climate. This site undergoes quantities of the precipitations informed by the effect of the relief. The vegetation cover is characterized by degradation although the forest is still protected in altitude. The lithology of the fields of the hydrogeological basin is made up mainly of alternating limestone and karstifiable limestone-dolomitic banks.

The source of Ras Elma has allowed the accumulation of travertinous formations, variable in time and space. The types of travertines include the laminate-type travertines (the focus of this study) with a succession of doublets each consisting of a clear sparitic and microspartitic laminate and a dark micritic laminate. The latter's study permits to find out the impact of climate change and / or human intervention on the flow of the source of Ras Elma. These changes would result in successive alterations in lamina thickness and the extent of travertinization.

The analysis of these changes, the application of strati-signal, like the dendrochronology makes it possible to show case changes in the significance of travertinization, plausible indices of the effects of possible climate change and / or human actions in the BV of Oued Taza throughout the accumulation of these formations.

Key words: Travertines, lamin, strati-signal, Oued Taza, Middle Atlas.

Introduction

La région de Taza et plus précisément la zone de Ras Elma s'est caractérisée par des formations de travertins qui sont jusqu'à présent en cours de construction. Mais seulement dans certains sites refuges, parce que la croissance de la pression anthropique avec son comportement illogique en fonction de la détérioration climatique joue un rôle défavorable pour la continuation de l'édification des travertins au centre de Ras Elma.

Par ailleurs, pour prédire le futur de la travertinisation en fonction du débit actuel de Ras Elma, on s'est basé primo sur l'analyse d'un faciès travertineux de type Laminé. Pourquoi ce type-là? C'est parce qu'il se compose de deux parties bien distinctes: une lamine claire et l'autre sombre, les deux se forment en un an, et secundo par un logiciel qui s'appelle starti-signal développé pour la première fois au sein de la thèse de M.Nidaye (2007), soutenue à la faculté des sciences de l'université de Genève.

1. Description de la zone d'étude :

Le bassin versant de Ras Elma se trouve au niveau de la région de Taza entre le Moyen Atlas au sud et les nappes du Pré-rif au nord. Il est limité à l'Ouest par l'oued Moukada et à l'Est par l'oued Dfali. Il s'étend sur la majeure partie de la montagne du Moyen Atlas plissé. Sa superficie est de 40,29km². Il se localise entre les latitudes (34°-34°15' Nord) et les longitudes (4°10'-4°30' ouest). Au site de Ras Elma, on a trouvé des faciès travertineux de type: travertin à empreinte d'arbre; faciès travertino-détritique et travertin laminé. Ce dernier constitue l'objet de cette étude.

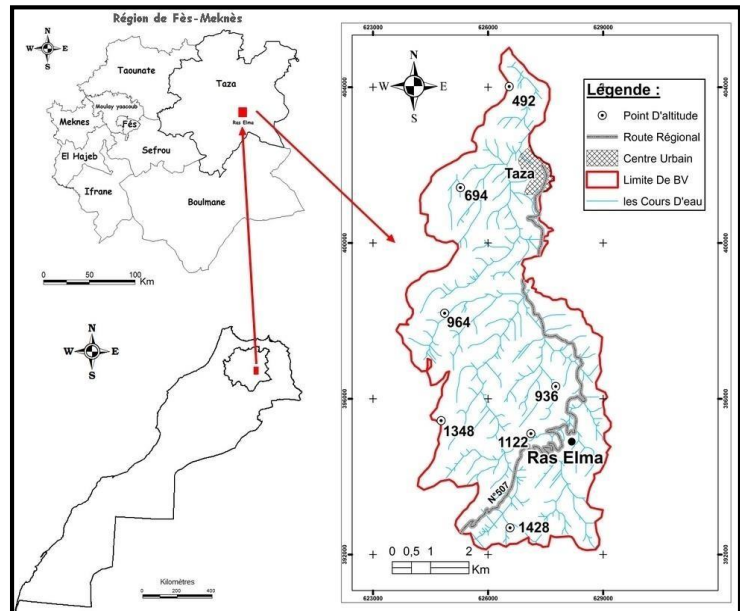


Fig.1. Localisation du BV de Ras Elma dans la province de Taza

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES :

Le travertin étudié a été analysé à l'aide d'une méthode semi-automatisée de comptage du nombre et l'épaisseur des lamines. Cette analyse de séquence laminée de travertin doit être effectuée sur un échantillon correctement positionné, polarisé et conditionné pour une analyse d'image.

L'acquisition d'image peut être effectuée sur le terrain ou au laboratoire à l'aide d'un appareil photo numérique offrant une haute résolution pour traiter et analyser l'image obtenue.

Le logiciel Strati-Signal est un logiciel d'analyse dédié au signal stratigraphique. Il s'appuie sur plusieurs modules qui sont: un module d'acquisition du signal, un module

d'analyse des données, un module d'analyse de cyclicité et un module d'analyse de corrélation stratigraphiques. Ce logiciel offre une méthode d'analyse semi-automatique de sédiments laminés qui se déroule en plusieurs étapes successives:

- Acquisition du signal brut par un balayage numérique des pixels le long de la séquence sédimentaire ;
- Transformation du signal brut en signal filtré par différentes méthodes semi-automatisées;
- Détermination automatique du nombre de lamines constituant la séquence.

Le travertin étudié par ce logiciel est de type laminé stromatolitique situé au bord de la route régionale 507, exactement près d'un pont. L'échantillon étudié a une épaisseur de 18 centimètre. Il présente une lamination de type alternée (Pentecost. 2005), avec une succession de doublets constitués chacun d'une lamine claire sparitique et d'une lamine sombre micritique.

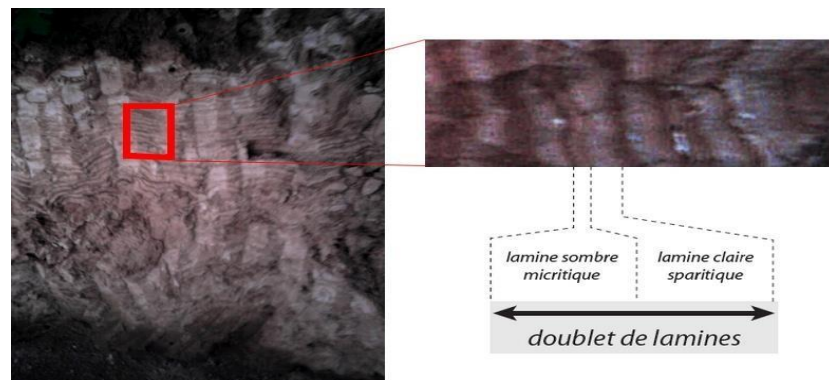


Fig. 2 : Travertin de type laminée étudiée

L'acquisition du signal est réalisée dans le sens de croissance des lamines des travertins.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1.Acquisition des données et d'un signal brut

La première étape de l'analyse consiste à extraire un signal représentatif de l'échantillon étudié, à travers l'analyse des variations de gris de chaque pixel de l'image (densité de gris) afin de faire ressortir l'alternance entre les lamines claires et les lamines sombres.

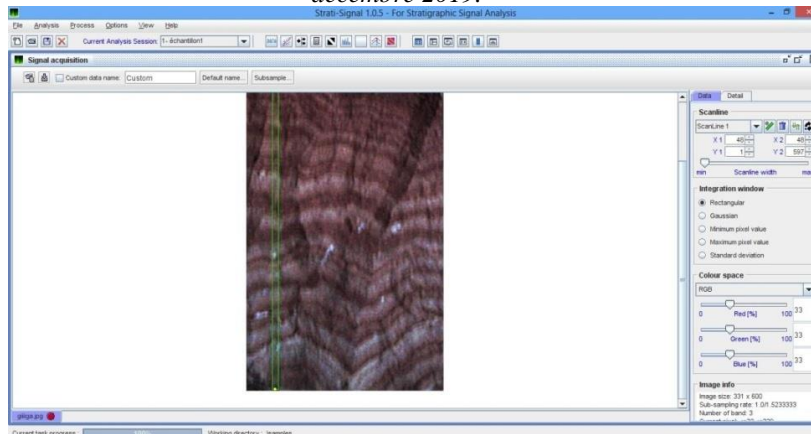


Fig.3. Acquisition du signal sur l'échantillon laminé (capture d'image depuis le logiciel strati-signal)

Le signal obtenu par l'analyse des variations des niveaux de gris le long de l'échantillon représente un signal brut (fig.4) qui doit ensuite faire l'objet d'un traitement afin d'extraire le véritable signal correspondant à la lamination claire et sombre du dépôt.

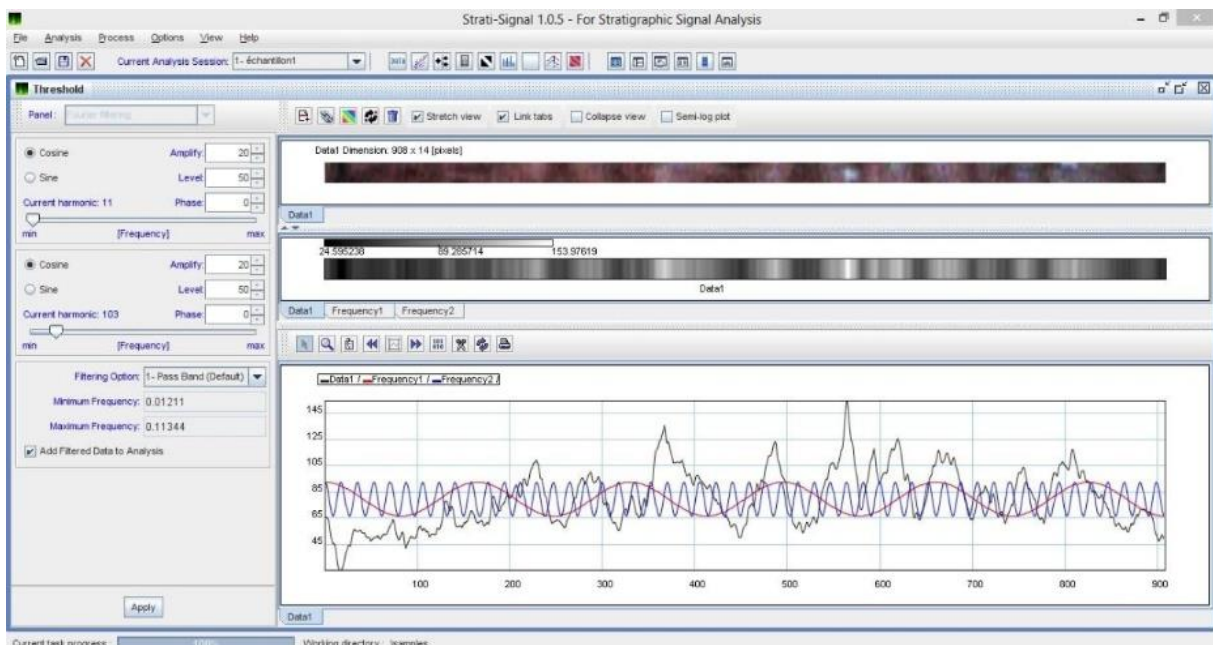


Fig.4. Signal brut obtenu par l'analyse des variations des niveaux de gris. Composante en rouge: basse fréquence; en bleu : haute fréquence; en noir : moyenne fréquence (Capture d'image depuis le logiciel strati-signal)

3.2. Transformation du signal brut en signal filtré

Le signal brut obtenu par l'analyse de la variation de la densité de gris le long de l'échantillon comprend plusieurs tendances qui composent ainsi le « signal complet » :

- une composante « basse-fréquence », qui correspond à la tendance générale du signal;
- une composante « moyenne-fréquence », représentant la lamination du dépôt;
- une composante « haute-fréquence », correspondant au « bruit » de l'analyse.

La transformation du signal brut en un signal filtré, à l'aide d'analyses de Fourier effectuées automatiquement par le logiciel, permet d'extraire la tendance générale (c'est-à-dire la composante « basse-fréquence ») et les fluctuations à haute-fréquence (bruit du signal, très

faible ici), afin de ne travailler que sur le signal représentant la lamination propre, c'est-à-dire la composante « moyenne-fréquence ».

Le signal filtré ainsi obtenu, correspond à la variation de la lamination, c'est-à-dire à la succession de lamines claires et de lamines sombres (Fig. 5). C'est à partir de ce signal filtré, et uniquement à partir de celui-ci, que le comptage des lamines ainsi que l'analyse de l'épaisseur de chacun des doublets de lamines doivent être effectués.

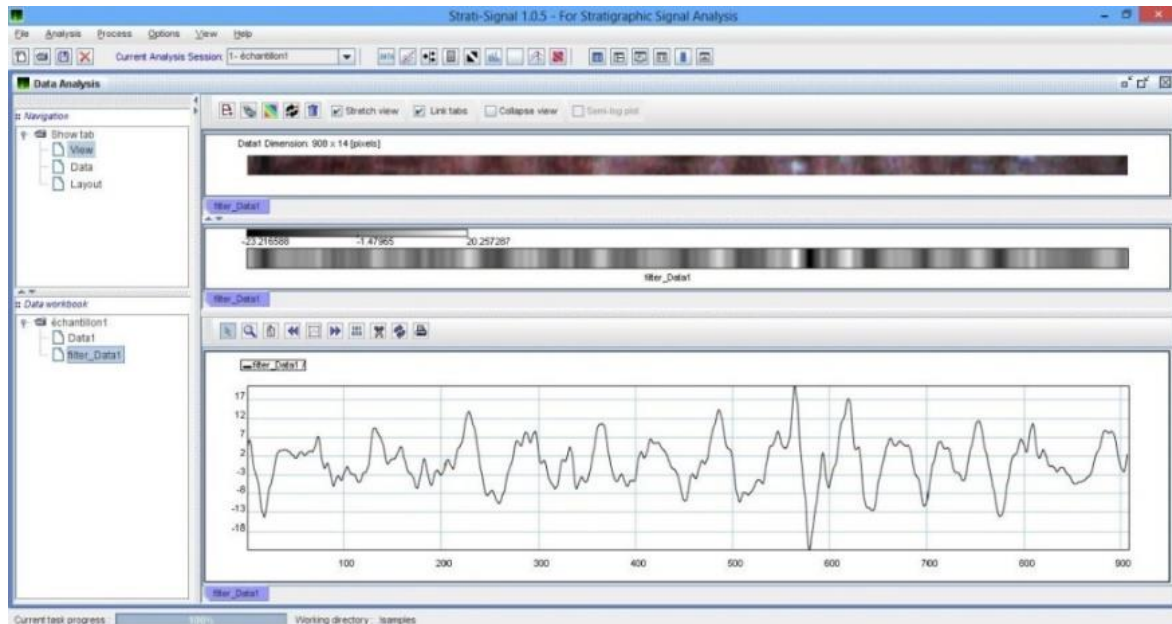


Fig.5. Signal filtré reflétant la lamination du travertin (capture d'image depuis le logiciel strati-signal)

3.3.Détermination du nombre de lamines

L'extraction du signal correspondant à la lamination du dépôt permet d'obtenir la courbe de variation de la densité de gris le long de la séquence faisant ressortir l'alternance entre les lamines claires et les lamines sombres.

A partir de cette courbe, il est possible de déterminer automatiquement le nombre de lamines claires et le nombre de lamines sombres qui constituent l'échantillon étudié.

Pour le cas de notre échantillon, il a été déterminé 21 lamines sombres micritiques et 21 lamines claires sparitiques (fig.6). Ce résultat correspond à un nombre de 43 doublets, chacun des doublets étant composé d'une lamine sombre/micritique et d'une lamine sombre/microsparitique.

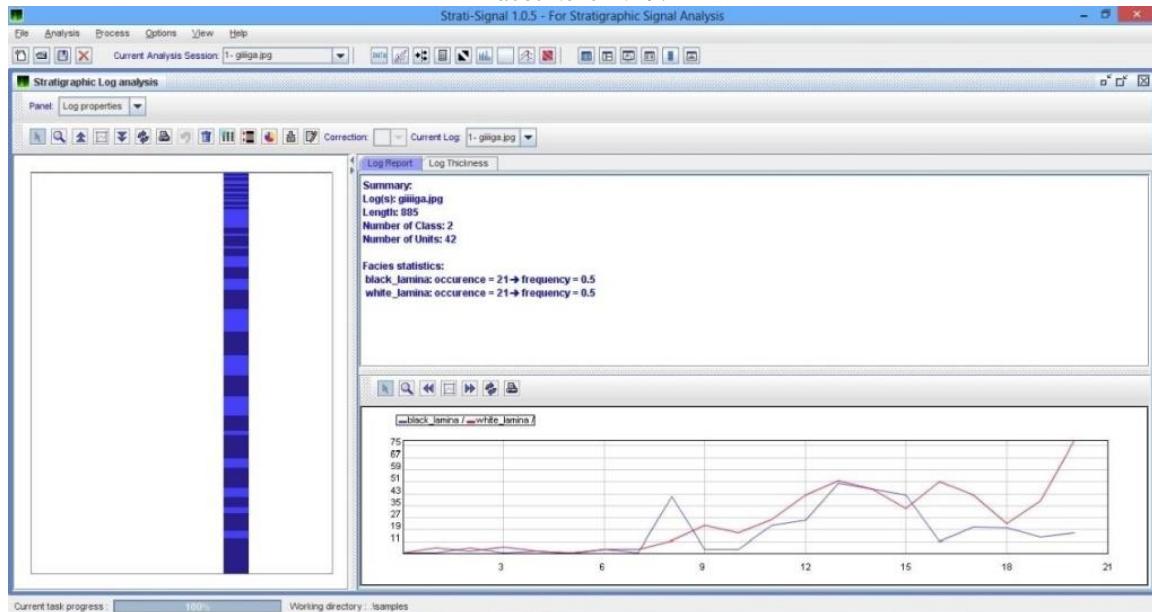


Fig. 6. Détermination du nombre de lamines claires et sombres pour l'échantillon étudié (capture d'image depuis le logiciel strati-signal)

Le caractère annuel de la lamination a été mis en évidence sur quelques sites mondiaux comme c'est le cas pour les dépôts du site de Shirokawa, au Japon et du site de Deinschwanger en Allemagne (J.Curie; 2013). Cette hypothèse de l'annualité des doublets de lamines a également été utilisée pour des études archéologique. En effet, le climat actuel de la région de Ras Elma en particulier les valeurs pluviométrique annuelle, montre clairement la saisonnalité forte des précipitations régionales; deux saisons se distinguent nettement, une saison humide et une autre sèche, une caractéristique typique d'un climat méditerranéen. Ce contraste saisonnier est à l'origine du contraste lithologique entre la lamine claire et la lamine sombre (c'est-à-dire entre la lamine microsparitique et la lamine micritique) observé dans le travertin étudié.

En acceptant l'hypothèse de l'annualité des doublets de lamines (un doublet est formé en un an), la séquence sédimentaire de l'échantillon étudié présentant un nombre de 21 ans doublets de lamines, correspond à une période de 21 années (1 doublet de Lamine = 1 ans ; 21 doublet de lamine = 21 ans).

CONCLUSION :

L'analyse de l'épaisseur des 21 doublets de lamines constituant l'échantillon (lamines claires et lamines sombres) montre une certaine variabilité (fig.7).

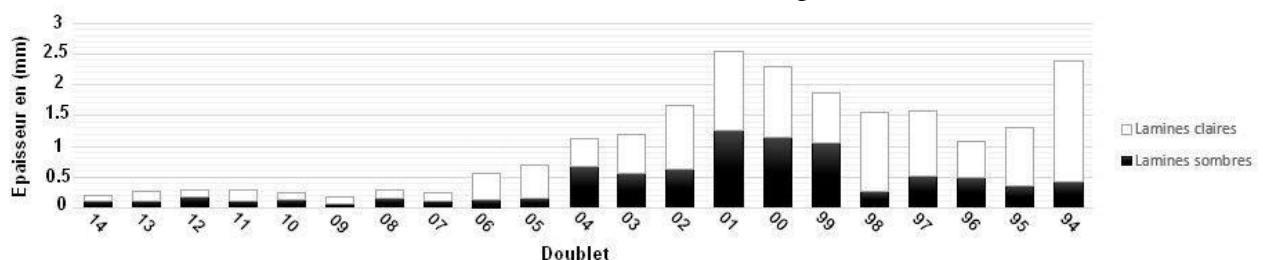


Fig. 7 : Variations d'épaisseur des lamines claires et sombres de L'échantillon étudié.

Les lamines claires ($\approx 0.71\text{mm}$) sont en moyenne plus épaisses que les lamines sombres (≈ 0.38). Il apparaît également que les variations d'épaisseur des deux types de lamines évoluent parallèlement, avec une amplitude similaire, évoquant une certaine cyclicité. Ces variations de l'épaisseur des doublets reflètent une variabilité de la précipitation du carbonate, qui en sus de la variation saisonnière période humide/période sèche, témoigne d'une certaine cyclicité hydrologique – variations du débit en lien avec les paramètres climatiques d'une part et d'autre part avec le taux d'utilisation d'eau par les populations locales. En effet, la figure 7 montre clairement que l'épaisseur des lamines est en régression, surtout à partir de l'année 2005 où on trouve que l'épaisseur des lamines ne dépasse pas 0.5mm par an et cela peut s'expliquer par l'intervention anthropique en premier degré car la séparation d'eau de Ras Elma entre l'Etat et la population locale a été faite en 2005.

Références bibliographiques :

- ADOLPHE, J.P., (1973): Contribution à l'étude des encroûtements carbonatés de l'aqueduc du Pont du Gard (France). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 277, D, 2329-2332.
- CASANOVA J., (1981): Etude d'un milieu stromatolitique continental. Les travertins plio-pléistacènes du Var. Thèse de 3ème cycle. Université Aix-Marseille 2.136p.
- CASANOVA, J., (1984): Genèse des carbonates d'un travertin pléistocène: interprétation paléocéologique du sondage Peyre I (Comprégnac, Aveyron); Géobios, 8, 220-225; 2pl.
- Gourari, L., (2001): Etude hydrochimique, morphologique, lithostratigraphique, sédimentologique et pétrographique des dépôts travertino-détritiques actuels et plio-quadernaires du bassin karstique de l'Oued Aggai (Causse de Sefrou, Moyen Atlas, Maroc). Thèse Doc. Etat, Fac. Sci. Dhar El Mehraz. Univ. Sidi Mohammed Ben Abdellah. Fès, 408p.
- NICOD J., (1986): Les cascades des barrages de travertins de l'Argens Supérieur (Var). Méditerranée. Vol.57. N°1-2. P.71-80.
- NICOD J., (1988): Barrages de travertins, marais et aménagements dans la haute vallée de l'Argens (Var). Méditerranée, vol. 57, n°1-2, p.73-87.
- OLLIVIER V et al. (2006): Evolution postglaciaire des environnements travertineux provençaux alpins: nouveau cadre chronologique, faciès et dynamiques morphosédimentaires. P.51-67.
- ORDONEZ S., et al. (1986): Pétrographie et morphologie des édifices tuffeux quaternaires du centre de l'Espagne. Méditerranée N°1.2 – 1986.

UTILISATION DE L'OUTIL GEOMATIQUE POUR L'ETUDE ET CARACTERISATION SPATIO TEMPORELLE DE LA SALINITE DES SOLS. CAS D'UN PERIMETRE IRRIGUE DANS LA WILAYA DE SAIDA ALGERIE

Djamel ANTEUR¹, Fatima BELHACINI², Amel FERAHTIA³

(1) Laboratoire « Eau et Environnement », Université de Saida *anteurdjamel12@gmail.com*

(2) Laboratoire écologie et gestion des écosystèmes naturelles université de Chlef

(3). Faculté des sciences. Université De M'sila.

RESUME: La restauration des sols salins et leur mise en valeur nécessitent des investissements très importants qu'il faut évaluer afin de justifier sur le plan de la rentabilité les investissements nécessaires pour les différentes phases (Oustani, 2006): L'élimination des excès de sels et la suppression de la source de sodium, l'utilisation des plantes résistantes à la salinité et la reconstitution de la fertilité par des amendements organiques et minéraux.

La démarche méthodologique de ce travail est basée sur des axes qui se révèlent dans deux principaux objectifs : Caractérisation et cartographie des différents états de la salinité cela permettra d'étudier les relations entre la salinité mesurée d'une part et les données de télédétection d'autre part.

La région d'étude présente un climat méditerranéen typique des Hautes Plaines Steppiques algériennes appartenant à l'étage bioclimatique aride à hiver frais et se caractérise par des sols peu profonds surmontés d'une dalle de calcaire.

L'outil géomatique (SIG et télédétection), nous a permis d'estimer et de cartographier le degré de salinité, à partir de la combinaison des mesures de terrain, de la conductivité électrique et de données d'images satellitaires. D'après les résultats obtenus, le degré de salinité moyen et le plus dominant pour l'année 2008 et 2017.

La carte de changement spatio-temporel réalisée révèle un léger changement avec évolution régressive et progressive faible, ceux-ci est peut-être dû à : un manque ou absence d'un réseau de drainage, ou à l'irrigation par des eaux saumâtres, ou à la qualité des sols steppiques.

Mots-clés : Télédétection, SIG, Salinité, périmètre irrigué, Saida, Algérie.

USE OF THE GEOMATIC TOOL FOR THE STUDY AND SPATIOTEMPORAL CHARACTERIZATION OF SOIL SALINITY CASE OF AN IRRIGATED AREA IN THE WILAYA OF SAIDA ALGERIA

Abstract: The restoration of saline soils and their enhancement requires very important investments that must be evaluated in order to justify the profitability of the investments necessary for the different phases (Oustani, 2006): The elimination of excess salts and the suppression of the source of sodium, the use of plants resistant to salinity and the reconstitution of fertility by organic and mineral amendments.

The methodological approach of this work is based on two main objectives: Characterisation and mapping of the different states of salinity, which will make it possible to study the relationships between measured salinity on the one hand and remote sensing data on the other.

The study region has a typical Mediterranean climate of the Algerian High Steppe Plains belonging to the arid bioclimatic stage with cool winters and is characterised by shallow soils overlaid by a limestone slab.

The geomatic tool (GIS and remote sensing), allowed us to estimate and map the degree of salinity, from the combination of field measurements, electrical conductivity and satellite image data. According to the results, the average and most dominant salinity level for the year 2008 and 2017.

The map of spatio-temporal change reveals a slight change with low regressive and progressive evolution, which may be due to a lack or absence of a drainage network, or to irrigation by brackish water, or to the quality of steppe soils.

Keywords: Remote sensing, GIS, Salinity, irrigated perimeter, Saida, Algeria.

INTRODUCTION

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (DURAND, 1983). Ils sont répandus dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de Relizane, sur les hautes plaines Sud de Sétif et de Constantine et aux bords des chotts.

Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Ouargla et au-delà (DURAND, 1983). D'après HALITIM (1988), dans les régions arides, les sols salés représentent environ 25% de la surface cartographiée. Soit 3,2 millions d'hectares (HAMDI, 1999). Les sols situés au Sud sont nettement plus sodiques que ceux du Nord (DAOUD, 1993).

La méthode basée sur les mesures de la conductivité électrique (CE) du sol est généralement acceptée comme la plus efficace pour la quantification de la salinité des sols (NOOMENE, H., 2011).

La cartographie de cette salinité à l'échelle de toute la plaine est difficile à établir car il faut prélever et analyser un nombre important d'échantillons afin d'arriver à une bonne estimation spatiale. La télédétection satellitaire, avec la quantité d'informations qu'elle offre et son champ de vision important, semble finalement être l'outil le plus approprié pour cartographier la salinité avec un nombre d'échantillons réduit. Néanmoins, la condition préalablement requise à son utilisation opérationnelle est une corrélation forte entre les données mesurées directement sur le terrain et celles déterminées par télédétection (METTERNICHT et ZINK., 2003).

1. Description de la zone d'étude

Le périmètre de *Dayet- Zeraguet* situé dans les Hautes Palines sud oranaises à 1050m d'altitude dans la commune d'*Ain Skhouna*, *daira d'El Hassasna*, au Sud-est de la wilaya de Saïda sur le bord 68,74 km Nord –Ouest d'Alger, s'étend sur une superficie de 2850 Km² (OPI 2014). Il est compris entre les coordonnées suivantes :

X1 : E.0° 40' 9,61806''

Y1 :N34° 35' 4189''

X2 :E.0° 46' 42,2476''

Y2 :N34° 39' 30,5139''

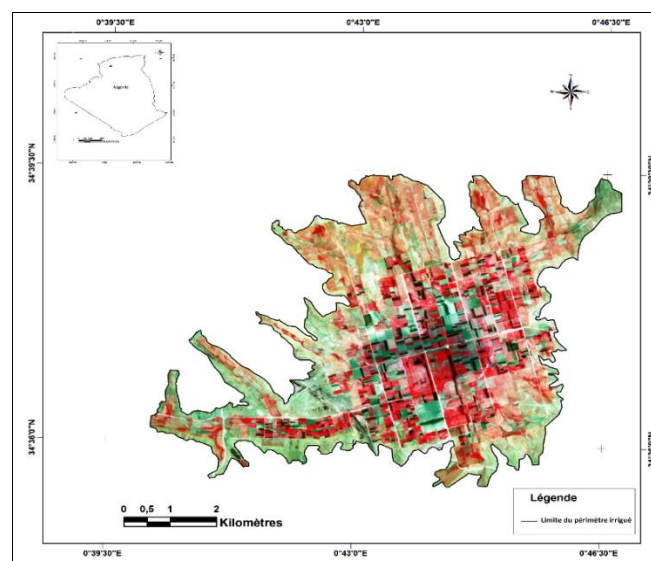


Figure n° 1 : Carte de localisation le périmètre de *dayet-Zeraguet*

2. MATERIEL ET METHODES

Les échantillons dont nous disposons ont été utilisés pour évaluer l'apport des images satellitaires dans la cartographie de la salinité en tenant compte de la relation existante entre la conductivité électrique et la teneur en sel des sols.

Mesure de la Conductivité électrique

La conductivité électrique dépend de la teneur en électrolytes (CL, CO₃²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺) à un autre trait caractéristique des sels, permet de les qualifier, et s'exprime Ms/ cm. Sa mesure permet d'obtenir rapidement, à l'aide d'un conductimètre, une estimation de la teneur globale en sels dissous de l'extrait aqueux d'une solution dont le rapport sol eau est de 1/5. L'interprétation a été faite à l'aide de l'échelle de salure des sols. La méthode utilisée pour la mesure de la conductivité électrique par **Extrait 1/5**.

Pour les besoins du travail qui est l'étude spatiotemporel de la salinité du sol du périmètre irrigué de Dayet Zraguet, deux images satellitaires sont mise en œuvre. Une première image acquise le 18/10/2008 par le capteur multispectral Landsat 7 ETM+ avec une résolution spatiale de 30m, et une deuxième acquise le 26/10/2017 par le capteur multipsectral Landsat 8 OLI (Operational Land Imager).

La figure ci-dessous présente une composition colorée des deux images du périmètre irrigué.

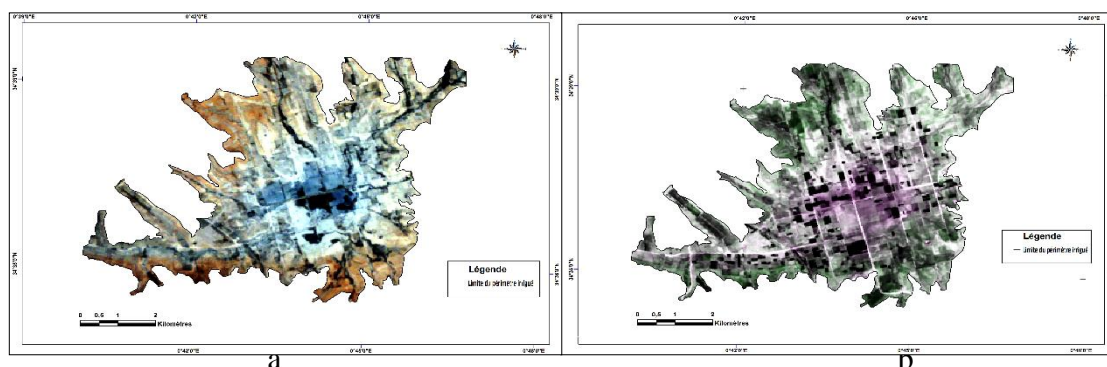


Figure 2 : Composition colorée des images satellitaires du périmètre irrigué : (a) image 2008 (b) image 2017

Indice de salinité IS_{vir} (IS visible infrarouge) :

Nous avons utilisé l'indice de salinité (IS) développé par (DOUAOUI et al 2006). Cet indice a montré son efficacité pour caractériser le degré de salinité. Le calcul de cet indice met en œuvre trois bandes spectrales : le Vert, le Rouge et le proche Infra Rouge. La formule suivante est utilisée pour obtenir ses valeurs :

$$IS_{vir} = 2 * V - (R + PIR)$$

On a utilisé l'indice de salinité calculé précédemment avec les valeurs de la conductivité mesurées au sol pour avoir une relation permettant la spatialisation de la conductivité à l'échelle du périmètre.

Une régression linéaire a été établie pour pouvoir par la suite établir une carte de la salinité des sols à partir des valeurs de l'indice de salinité IS_{vir} .

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

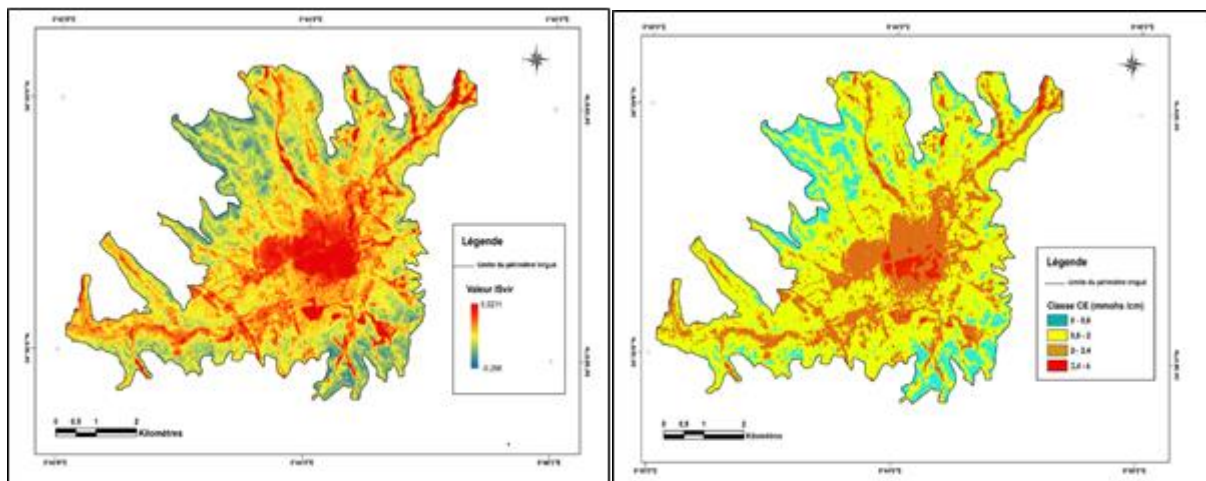


Figure n°3: Carte De L'indice de salinité de la zone d'étude (image satellitaire land SAT ETM 18/10/2008) (image satellitaire land SAT Oli8 du 26/10/2017)

Estimation de la salinité des sols par des images satellitaires

La figure suivante présente une nette corrélation entre les valeurs de la conductivité électrique mesurées au sol et les valeurs de l'indice de salinité calculé par la combinaison des bandes spectrales de télédétection avec un coefficient de corrélation R^2 de l'ordre de 0.74. Ce résultat très satisfaisant montre qu'il est possible d'estimer la salinité du sol en utilisant les données de télédétection multispectrale.

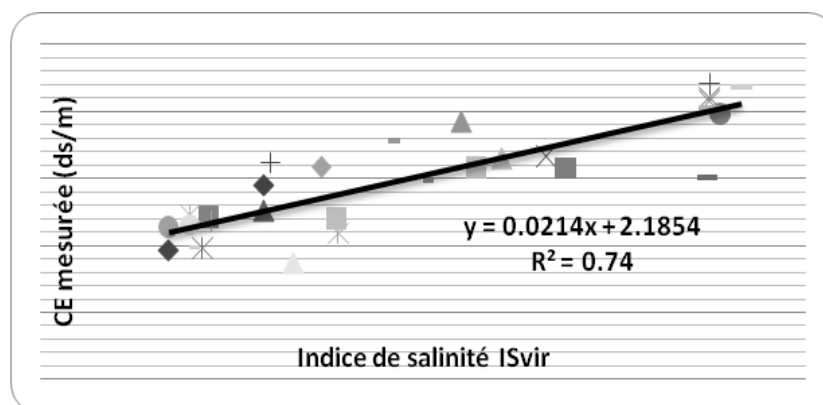


Figure n°5: Relation linéaire entre la conductivité électrique et l'indice de salinité

On se basant sur la relation linéaire obtenue entre la conductivité électrique mesurée et l'indice de salinité calculé (voir figure 5), nous avons pu estimer la conductivité électrique qui caractérise la salinité à l'échelle de tout le périmètre irrigué.

Après une reclassification des données estimées de la salinité (classification d'Aubert, 1978), nous avons obtenus des cartes qui sont présentées dans les figures suivantes)

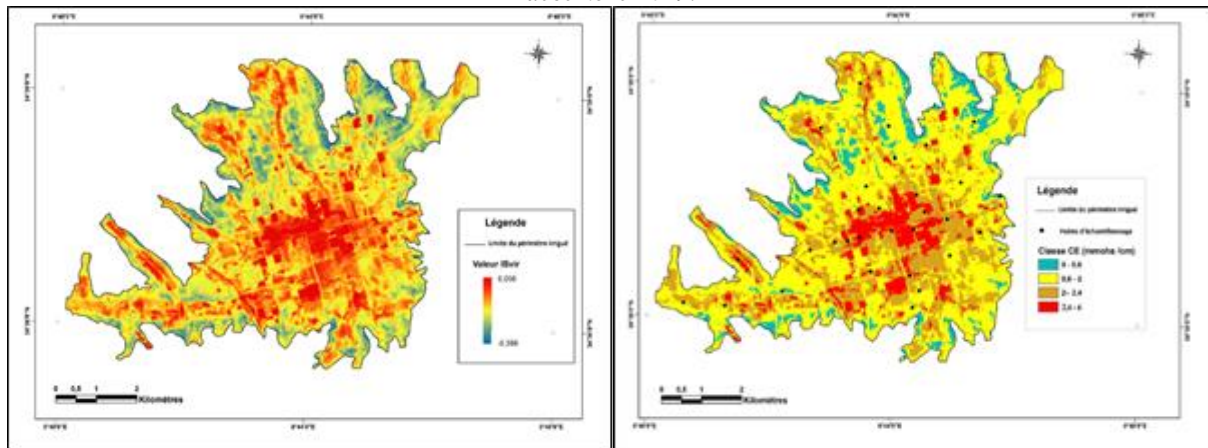


Figure n°6 : Carte des classes de salinité par télédétection 18/10/2008 et 26/10/2017

A l'aide du logiciel SIG (Arcgis), on a pu détecter le changement de salinité par simple soustraction des couches d'informations, présentant les classes de salinité des deux périodes étudiées (2008 et 2017).

De la carte de changement, le logiciel permet de calculer géométriquement les différentes classes de changement, il est à noter qu'il existe un faible changement progressif de ce phénomène de faible l'ordre de (9,749%), et un très faible pour le changement régressif.

Tableau. n°1 : Superficies des différents types de changement pour la période 2008 et 2017

Changement	Surface (ha)	Pourcentage
Régressive	142,265	3,723%
Stable	3306,400	86,527%
Progressive	372,549	9,749%

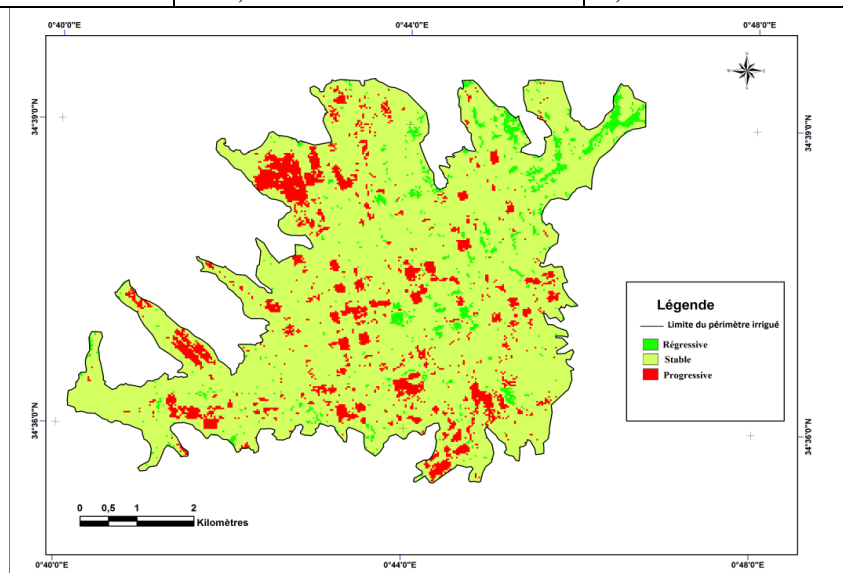


Figure n°7 : Carte de changement de la salinité entre 2008 et 2017

CONCLUSION

L'outil géomatique (SIG et télédétection), nous a permis d'estimer et de cartographier le degré de salinité, à partir de la combinaison des mesures de terrain de la conductivité électrique et les données d'images satellitaires. D'après les résultats obtenus, le degré de la salinité moyen et le plus dominant pour les deux périodes.

La carte de changement spatiotemporel réalisé a révélé un léger changement avec évolution régressive et progressive faible, ceux-ci peuvent être dus à : un manque d'un réseau de drainage, ou à l'irrigation par des eaux saumâtres, ou à la qualité des sols steppiques (sol peu profond surmonté d'une dalle de calcaire).

Références bibliographiques

- DAOUD, Y., 1993. Contribution à l'étude des sols des plaines du Chéouiff. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse Doct d'état, INA Alger, 233 p de
- DOUAOUI A., NICOLAS H., WALTER CH., 2006. Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. *Geoderma* 134 : 217–230.
- DURAND J.H., 1983. Les sols irrigables, étude pédologique. Edit. Imprimerie, Paris 339 p.
- DURAND J.H., 1983 : Les sols irrigables, Agence de coopération culturelle et technique. P.U. France, 190 p
- HALITIM A., 1988 : Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, 384 p
- HAMDI A., 1999. Saline irrigation and management for sustainable use In : Advanced Short Course on saline irrigation Proceeding, Agadir.152-227.salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèses doctorat d'état. INA. Alger, 193 p.
- METTERNICHT, G.I. & ZINCK, J.A.: *Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints*. *Remote Sensing of Environment*, 85(1), 1-20, 2003.
- NOOMENE, H., 2011. Etude de la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigué de Kalaat Landelous en Tunisie : Cas d'une parcelle de courge. Mastère de recherche en environnement. Faculté des lettres, des arts et des humanités Manouba, Tunisi, 120 pages.
- OUSTANI M., 2006. Contribution à l'étude de l'influence des amendements organiques sur les propriétés microbiologiques des sols sableux non salés et salés dans les régions Sahariennes (Cas de Ouargla) .Thèse Magister. Université .Ouargla. 187p.

LES FACTEURS ATMOSPHERIQUES DE L'ABONDANCE PLUVIEUSE DE L'ANNEE HUMIDE 2008-2009

Abdelhamid JANATI IDRISSE, Wissale SMIHI

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Laboratoire de l'Analyse Géo-Environnementale, d'Aménagement et de Développement Durable, 30400, Fès, Maroc. *wissale.smih@usmba.ac.ma*

RESUME: Le bassin versant du Sebou a connu des précipitations intenses pendant l'année 2008-2009. Celles-ci ont produit des inondations qui ont occasionné des dégâts matériels et humains importants, dont les répercussions sur l'infrastructure et les populations sinistrées ont été non négligeables. A travers cette étude, nous montrerons principalement le rôle primordial des facteurs atmosphériques responsables de l'abondance pluviométrique de cette année étudiée.

Mots-clés : Risque d'inondation – Abondance pluviométrique – Bassin versant du Sebou, Maroc nord-ouest.

THE ATMOSPHERIC FACTORS OF RAINY ABUNDANCE OF THE WET YEAR 2008-2009

ABSTRACT: The Sebou watershed experienced intense precipitation during 2008-2009. These produced floods which caused significant material and human damage, the repercussions on the infrastructure and the disaster victims were not negligible. Through this study, we will mainly show the primordial role of the atmospheric factors responsible for the pluviometric abundance of this studied year.

Keywords: Flood risk – pluviometric abundance– Sebou Watershed, Northwest Morocco.

INTRODUCTION

Le risque d'inondation se place en deuxième rang des risques naturels, mais il occupe en revanche le premier rang sur le plan de fréquence d'occurrence (MEDD, 2004).

Le bassin versant de l'Oued Sebou est l'un des plus grands bassins du Maroc, il renferme près du tiers de la ressource globale du pays. Largement ouvert à l'ouest sur l'Océan Atlantique, au nord à la méditerranée et au sud-est à la dépression aride, le bassin étudié connaît une variabilité climatique se manifeste par une forte pluviométrie à cause principalement de son climat méditerranéen à influence océanique.

Au cours de l'année 2008-2009, il a connu des pluies extrêmes qui ont engendré des crues et des inondations dans ses différents milieux. Ces dernières, ont engendrés des pertes humaines et naturelles. Ces phénomènes extrêmes peuvent compromettre le développement socio-économique des régions exposées à ce risque.

1. Description de la zone d'étude

Le bassin versant de l'Oued Sebou (figure 1), s'étendant sur une superficie d'environ 40.000 km², est situé entre les méridiens 3°50' et 6°40' W et les parallèles 33° et 35° N. Sur le plan administratif, le bassin comprend 15 préfectures et 8 provinces. Il comprend le 1/3 des ressources en eau de surface du Maroc. Il est drainé par l'oued Sebou qui prend ses sources dans le Moyen Atlas. En parcourant environ 500 km, il rejoint l'océan Atlantique près de Kenitra. La zone côtière du bassin s'étend sur 110 km et comprend des zones humides d'une importance internationale.

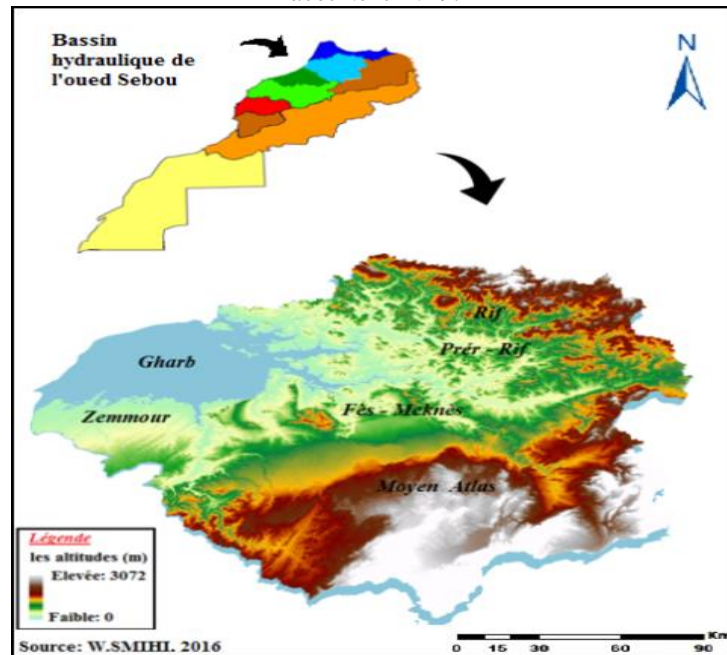


Figure 1: Situation géographique du bassin versant de l'oued Sebou

Le climat régnant sur l'ensemble du bassin est de type méditerranéen, à influence océanique. Cette influence se manifeste par des vents pluvieux du secteur ouest et des hauteurs de pluie qui décroissent en s'éloignant de la mer. A l'intérieur, Le climat devient plus continental. Les influences atmosphériques se combinent aux effets topographiques pour mettre en place des microclimats locaux où le froid, la neige et les pluies d'hiver s'opposent aux chaleurs et orages de l'été.

La pluviométrie moyenne du bassin est de 750 mm avec une grande variabilité spatiale allant de 400 mm sur le haut Sebou et les vallées encaissées de Beht à 1200 mm sur les hauteurs du Rif. Les chutes de neige, affectant le bassin, aient lieu entre novembre et mars et se produisent à une altitude au-dessus de 800 m (Ifrane, le haut atlas, ou le haut rif). L'évaporation annuelle moyenne est assez forte dans le bassin ; elle varie de 1600 mm/an sur les côtes à 2000 mm/an vers l'intérieur du continent.

2. METHODES

Pour expliquer les phénomènes pluviométriques extrêmes qui ont été provoqués pendant l'année humide 2008-2009, nous avons suivi la méthodologie suivante:

- Une lecture bibliographique ;
- Collecte des données statistiques (Climat, hydrologie...) ;
- Maitriser les outils statistiques qui permettent le traitement des données hydro-climatiques (pluies journalières de la station de Bâb Ouender en 2008-2009) et savoir les analyser;
- Analyse des cartes météorologiques;
- L'examen des cartes synoptiques au niveau de 500 hPa.

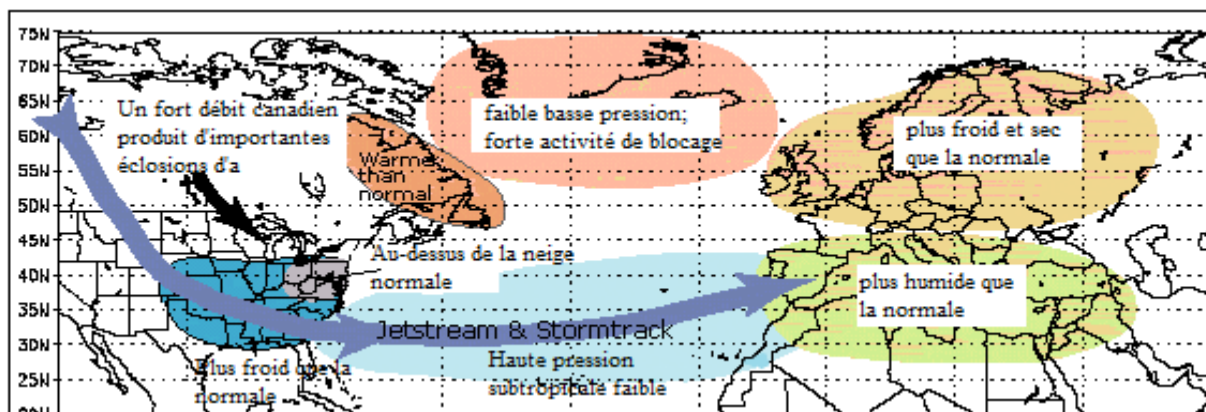
3. RÉSULTATS

Les pluies intenses produisent des graves inondations telles que celle qui a été provoquée le 28 septembre 2008. Ces pluies extrêmes trouvent leur explication dans les facteurs atmosphériques suivants:

✓ L'ONA (Oscillation Nord Atlantique) et les pluies dans le Bassin du Sebou

L'ONA est une variation naturelle du climat qui a des impacts importants sur le climat de l'Europe de l'ouest, le bassin méditerranéen et l'est de l'Amérique du Nord (Driouech.F, 2010). L'ONA a des effets bien plus importants en hiver qu'en été. Les précipitations du Maroc sont liées à certains modes majeurs de variation de la circulation atmosphérique. En hiver, quand le pays est le plus impliqué dans la circulation d'ouest, les précipitations sont influencées par les fluctuations de l'Oscillation Nord Atlantique négative qui correspond à un affaiblissement du gradient de pression méridional dans l'Atlantique Nord et à une diminution de l'intensité des vents d'ouest. L'axe du rail des dépressions est alors clairement méridien permettant le passage des perturbations atlantiques vers le sud de l'Europe et le bassin méditerranéen. Lors d'une NAO négative, le Jet-stream d'altitude est situé plus vers le sud que lors d'une NAO positive, c'est la raison pour laquelle l'Afrique du nord est plus humide que la normale (figure 2).

Figure 2: La position de Jet-stream lors du NOA négative (CASSOU.C, 2004)



✓ Efficacité des types du temps pluvieux (perturbés) en 2008-2009

La connaissance des types de flux perturbés est une démarche importante pour notre étude des risques d'origine climatique et surtout lors des pluies intenses qui engendrent des inondations catastrophiques au sein de notre bassin versant. Les intensités pluviométriques et les crues qui en découlent sont générées par des situations atmosphériques instables d'origines et de trajectoires différentes. Ainsi les configurations isobariques qui se succèdent sur le bassin chaque année influencent variablement le climat du bassin. L'exposition aux différents types de temps perturbés intervient pour favoriser une zone par rapport à une autre.

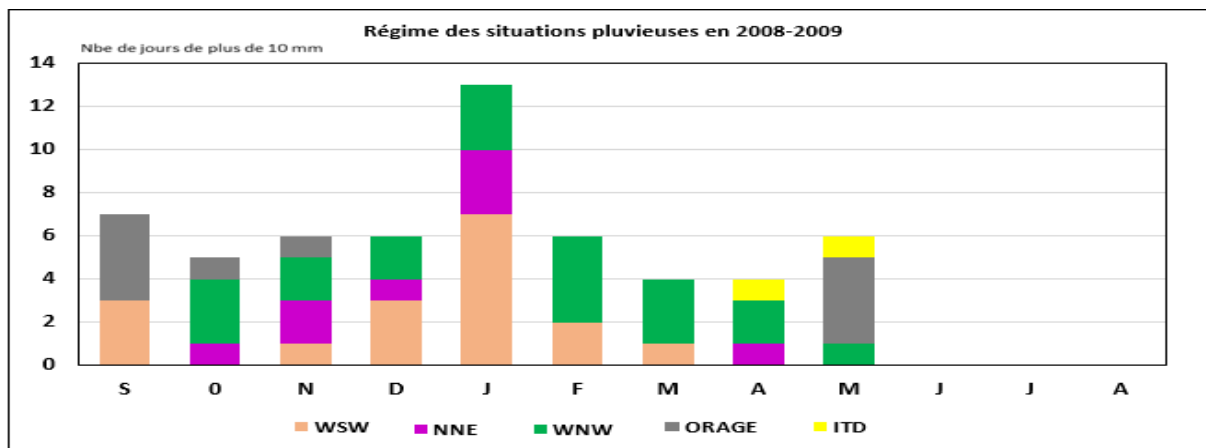
A l'examen des cartes synoptiques des champs de pression au niveau de la mer (500 hPa), nous avons recensé 217 situations atmosphériques perturbées constituent 70%, qu'ils étaient fréquents sur le bassin étudié durant l'année 2008-2009. Les mois de cette année ont connu des types de temps pluvieux avec une variation d'un mois à l'autre, où le premier constat que nous pouvons tirer d'après les figures 3 et 4 c'est la domination des flux d'W, en particulier WNW surtout en hiver à l'échelle de l'année qui sont les plus fréquents et constituent pratiquement 22% des flux perturbés avec une quantité précipitée de 453 mm marquée pendant 20 jours. Tandis que le type WSW représente 17% avec 580 mm durant 16. Cette abondance pluviométrique est due aux influences océaniques humides qui se propagent à l'intérieur du bassin. Viennent ensuite les flux perturbés d'origines orageuses qui ont représenté 14% où la quantité pluviométrique atteint 43 mm et le nombre des jours pluvieux atteignent 10 jours, la quantité considérable est celle qu'elle été enregistré en Novembre (9 m).

Concernant les flux NNE ont participé par 13% avec une quantité pluviométrique de 87 mm puisque les 8 jours sont connus des fortes averses. Enfin, le manque ou la rareté des flux perturbés thermodynamique non frontal qui constituent 3% et sa quantité pluviométrique de 38 mm. Elles engendrent des pluies très exceptionnelles tant par leur quantité que par leur intensité (Tribak.A, 2006).

Figure 3 : Le nombre des jours pluvieux en 2008-2009 à la station de Bâb Ouender

Type de temps perturbés	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	Total annuel
WNW			138	190	75	16	17	17					453
WSW				206	134	164	32	5	35	4			580
NNE			30	12	22	5	8	10					87
ORAGE	6	8	9					5	4	6	5		43
ITD							15	14	9				38

Figure 4 : Quantités pluviométriques (mm) associées aux types de temps perturbés en 2008-2009 à la station de Bâb Ouender



✓ **La situation climatique responsable des inondations de dimanche 28 septembre 2008**

Des inondations catastrophiques ont été provoquées le jour du dimanche 28 septembre 2008. Elles ont eu pour origine une situation climatique exceptionnelle touchant les régions septentrionales du Maroc. Selon Dr. Janati Idrissi (2010), ce phénomène est expliqué par la confrontation des masses d'air polaire (en provenance de la dépression d'Islande) avec les masses d'air continental chaudes (en provenance de l'anticyclone saharien). Ceci a favorisé la genèse d'une perturbation très remarquable. Cette dernière a causé des précipitations orageuses marquant notre zone d'étude durant la deuxième moitié du mois de septembre 2008. En effet, à partir du 17 septembre 2008, l'advection d'air froid du centre de l'Europe est à l'origine d'un minimum thermique et dynamique de valeurs au centre égales à 572 hPa et -15°C respectivement. Ce minimum s'est approché des côtes atlantiques marocaines en provoquant une baisse du champ dynamique et une advection thermique de l'ordre de -12° degrés sur le nord du royaume. Dès le 26 septembre 2008, une advection froide glissée du sud européen sur le versant méridional d'une crête chaude centré sur l'Atlantique nord est arrivée au voisinage du Maroc. Le 27 septembre 2008, une goutte froide (-16°) s'est isolée sur le golfe de Cadix créant une forte instabilité thermodynamiques responsables de nuages convectifs et orageux (www.wetter3.de).

Selon les données satellitaires du 27 septembre 2008 à 6h TU, les nuages régnant sur notre zone d'étude pouvaient générer des précipitations orageuses dont l'intensité horaire était estimée aux environs de 5 à 10 mm/heure. Ces cellules orageuses sont à l'origine de fortes précipitations qui ont caractérisé le bassin versant de l'oued Fès, surtout son amont, marqué par les ascendances orographiques. En effet, les précipitations journalières enregistrées dans les stations et postes pluviométriques du bassin ont été assez importantes (45 mm à Fès-ABHS, 27 mm à Sefrou, 14 mm à Ain Cheggag, 29 mm à Fès-Saïs...), mais pas exceptionnelles. Car, ces hauteurs pluviométriques journalières sont loin d'atteindre les pluies maximales journalières enregistrées dans les postes pluviométriques et stations climatiques. Donc, pourquoi ces précipitations de moyenne intensité ont-elles pu générer de telles inondations dans l'agglomération de Fès ? Pour répondre à cette question, il faut analyser ces précipitations à une échelle temporelle plus longue. En effet, durant les dix jours qui ont précédé les inondations du 28 septembre 2008, le bassin versant de l'oued Fès a reçu une grande quantité d'eau (figure 5).

Figure 5 : Précipitations journalières du 18 au 28 septembre 2008 (ABHS, 2008)

Hauteur pluviométriques journalières	Postes pluviométriques et stations climatiques					
	Fès ABHS	Sefrou	Ain Bettit	Ain Cheggag	Dar El Arsa	Fès Saïs
18/09/2008	4 mm	----	2 mm	4.70 mm	---	4 mm
19/09/2008	---	3.30 mm	16 mm	---	3 mm	---
20/09/2008	---	2.30 mm	---	13.30 mm	---	20 mm
21/09/2008	32 mm	16 mm	11 mm	10.80 mm	5 mm	8.8 mm
22/09/2008	2 mm	5 mm	---	---	1 mm	---
23/09/2008	---	---	---	---	---	---
24/09/2008	---	---	---	---	---	---
25/09/2008	3 mm	---	4 mm	---	---	1 mm
26/09/2008	3 mm	6.90 mm	7 mm	8.40 mm	4 mm	8.8 mm
27/09/2008	45 mm	27 mm	2 mm	14.30 mm	6 mm	27.9 mm
28/09/2008	---	20.80 mm	38 mm	24.80 mm	10 mm	34.2 mm
Total	89 mm	48 mm	80 mm	76 mm	29 mm	104 mm

Ces cumuls pluviométriques ont atteint 89 mm à Fès-ABHS, 48 mm à Sefrou, 80 mm à Ain Bettit, 76 mm à Ain Cheggag et 104 mm à Fès-Saïs en seulement 10 jours. Ces lames d'eau précipitées ont complètement saturé les sols du bassin versant de l'oued Fès et nous estimons que la majeure partie de cette lame d'eau précipitée avait tendance à ruisseler, ce qui a favorisé la concentration des écoulements et le remplissage des barrages de protection. Les orages du 27 septembre 2008 ont déclenché le débordement de ces derniers, malgré la tentative de les vider durant toute une semaine. Finalement, le dimanche 28 septembre 2008, la ville de Fès a été gravement inondée par les oueds Boufkrane, El Mehras, El Himmer, Ain Smen (BV Chekkou) et finalement l'oued Fès. On mentionne que la ville de Fès n'a pas reçu de précipitations le jour où elle a été inondée !

Les quartiers touchés directement par les inondations du 28 septembre 2008 sont :

- ☞ Le quartier Aouinat El Hajjaj et l'entrée de la médina (Bab Jdid) par la crue de l'oued Boufkrane ;
- ☞ Les quartiers Monfleuri 1, Monfleuri 2, Narjiss, Sidi Brahim et Lido par la crue de l'oued El Mehraz ;
- ☞ Les quartiers Lala Soukaina, El Merja, Hey Tazi, Zougha, Seghrouchni et le lotissement Ain Chekkef par la crue de l'oued El Himmer ;
- ☞ Les quartiers Anbra par la petite crue de l'oued Ain Chekkef et le lotissement Addoha par la grande crue de l'oued Ain Smen (BV oued Chekkou) ;
- ☞ Les quartiers industriels Eddoukarat, Hay Stitou et Douar MechraaKraym par la grande inondation de l'oued Fès.

CONCLUSION

A l'issu de cette étude, le bassin versant de l'Oued Sebou est caractérisé par une abondance pluviométrique qui est due essentiellement à sa situation Nord Occidentale sur la façade atlantique du continent africain. En outre, l'analyse synoptique au niveau 500 hPa de notre année abondante (2008-2009), montre que cette année a connu une grande efficacité des types de temps perturbés (NNE, WSW, WNW, orageux et thermodynamique) avec une part plus importante des types orageux automnaux.

D'un point de vue météorologique, ces précipitations proviennent presque toujours d'invasion froide des hautes latitudes qui génèrent des instabilités atmosphériques. En effet, elles trouvent leurs explications dans la circulation atmosphérique qui se manifeste par des configurations qui sont dépendantes des champs des pressions et plus particulièrement la configuration atmosphérique de l'ONA (Oscillation Nord Atlantique) dans sa phase négative. Ce qui a provoqué des inondations catastrophiques restant graver dans la mémoire des marocains.

Références bibliographiques

- CASSOU C, (2004). *Du changement climatique aux régimes de temps: l'oscillation nord-atlantique*, p24.
- DRIOUECH F, (2010). *Distribution des précipitations hivernales sur le Maroc dans le cadre d'un changement climatique: descente d'échelle et incertitudes*. Thèse de doctorat d'état, Université de TOULOUSE.
- EL GAROUANI & Tribak A (2006). *Relation entre hydrologie et climat dans le bassin versant de l'Oued Inaouéne (pré-Rif marocain)*, p 451.
- JANATI IDRISSE A, (2010). *Situations pluviométriques extrêmes et impacts engendrés au Maroc: cas de l'année 2008-2009*, Revue Géomaghreb, n°6, p106.
- LASRI M, (2014). *Les inondations menaçant l'agglomération de Fès: De l'étude hydrologique et du risque à la cartographie des dangers d'inondation*. Thèse de doctorat, FLSH. Fès.
- Ministère de l'Ecologie du Développement Durable. 2004 : Les inondations, p 2.
- SMIHI W. (2016). *Les situations climatiques d'humidité extrême: le comportement hydrologique et risque engendrés dans le bassin du Sebou*, mémoire de fin d'étude du Master, Faculté des lettres et sciences humaines Fès-Sais.
- Site internet: www.wetter3.de

TENDANCES DES PRÉCIPITATIONS DANS LA MOYENNE MOULOUYA SELON LES SCHEMAS NOUVEAUX DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Aziz Seghir

Université Sidi Mohamed ben Abd lah, LAGEA-DD, FLSH-Sais, Fès, Maroc. *seghiraziz@gmail.com*

RÉSUMÉ: Le changement climatique est l'un des défis majeurs de notre époque, le climat de la terre a considérablement évolué ces dernières années. Certains pays ont connu des vagues de chaleur, d'autres des hivers rigoureux et des chutes de neige inhabituelles. Dans ce contexte, les régions du nord-est du Maroc connaissent des changements climatiques exceptionnels dont les caractéristiques sont évidentes dans une grande hétérogénéité de conditions pluviométriques dès les années soixante-dix. Cette zone est spatialement liée à la moyenne Moulouya. C'est une zone caractérisée par une topographie hétérogène, ce qui rend la distribution et la répartition des précipitations inégale du fait de l'existence de barrières topographiques en interaction avec la fréquence des perturbations météorologiques pluvieuses.

Après avoir suivi la fréquence des turbulences météorologiques et comparé les précipitations moyennes sur deux périodes, il est apparu clairement que les précipitations avaient augmenté au cours des dix dernières années, en particulier dans la partie ouest de la zone d'étude. Ceci s'explique par les changements climatiques qui se sont manifestés par des modifications du cycle général météorologique, qui ont à leur tour contribué à la genèse des précipitations extrêmes qu'a connues la région ces dernières années (inondations graves à certains moments).

Mots-clés : changements climatiques, variation spatio-temporelle, cycle météorologique, inondation, moyenne Moulouya.

TRENDS IN PRECIPITATION IN THE MIDDLE MOULOUYA ACCORDING TO NEW SCHEMES OF CLIMATE CHANGE

ABSTRACT: Climate change is one of the major challenges of our time, the climate of the earth has changed considerably in recent years, some countries have experienced heat waves, others severe winters and unusual snowfall. In this context, the regions of northeastern Morocco are experiencing exceptional climatic changes whose characteristics are evident in a great heterogeneity of rainfall conditions since the seventies. This zone is spatially related to the middle Moulouya, and is characterized by a heterogeneous topography, which makes the distribution of rainfall unequal due to the existence of topographic barriers interacting with the frequency of rainy weather disturbances.

After tracking the frequency of weather turbulence and comparing the average rainfall over two periods, it became clear that precipitation had increased over the last ten years, particularly in the western part of the study area. After tracking the frequency of weather turbulence and comparing the average rainfall over two periods, it became clear that precipitation had increased over the last ten years, particularly in the western part of the study area. This is due to climatic changes that have occurred as a result of changes in the general weather cycle, which in turn have contributed to the severity of extreme rainfall experienced by the region in recent years (severe floods at times).

Keywords: climate change, spatio-temporal variation, meteorological cycle, flood, middle Moulouya.

INTRODUCTION

La partie centrale de la Moulouya est l'une des régions les plus sensibles au changement climatique et aux variations météorologiques soudaines. Toutes les données actuelles reflètent la sensibilité de cette région au déclin de l'humidité, de la végétation, des températures élevées et de l'exploitation, d'autant que sa position géographique permet également d'accroître sa sensibilité.

Aujourd'hui, le système des précipitations ne montre pas une tendance exacte de l'évolution au cours des 20 dernières années, mais les changements varient selon les régions et les saisons. Depuis 1980, une diminution significative des précipitations hivernales a été observée dans le sud de la région, contrairement à l'augmentation dans l'est. Pour le plateau de Debdo, situé entre deux systèmes climatiques similaires, -continental aride de type méditerranéen-, les précipitations sont plus faibles en hiver à cause de l'absence de l'arrivée des fronts pluvieux occidentaux et septentrionaux.

En général, après une comparaison des précipitations sur les 30 dernières années, il y a eu une légère augmentation des précipitations associée à des perturbations météorologiques soudaines et à des orages inhabituels pouvant être expliqués par des modifications des systèmes de pression atmosphérique et des mécanismes de circulation atmosphérique.

1. Description de la zone d'étude

Le domaine d'étude est situé dans la région centre-oriental du Maroc, entre la meseta orientale et les chaînons avant-rifains d'Est (les bassins d'Aïn Zohra et de Boubker) et les marges nord-est du Moyen Atlas, plus précisément dans la zone géographiquement encadrée par la plaine de Guercif et le plateau de Debdo jusqu'aux bordures Est de Taourirt (Fig.1).

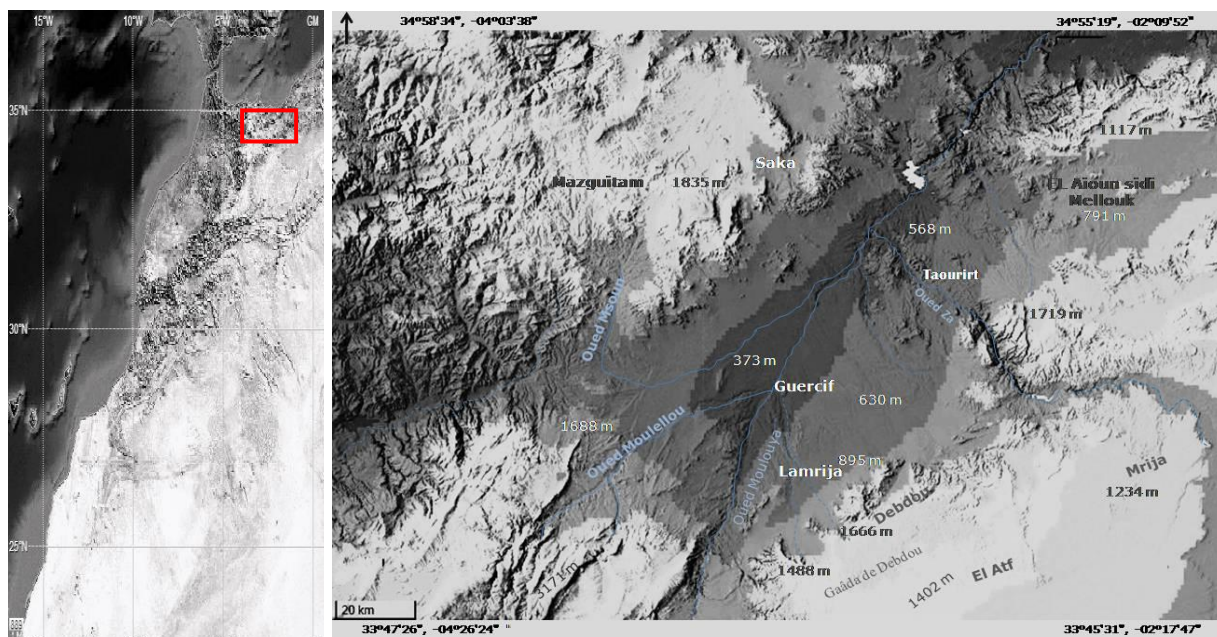


Fig.1. Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude est caractérisée par des composantes spatiales et environnementales différentes en raison de sa présence entre deux zones géographiques différentes en terme de relief et de climat. La partie orientale de la zone d'étude est caractérisée par un aspect climatique semi-aride et une hauteur topographique relativement élevée d'environ 1666 mètres. Tandis que la partie ouest se caractérise par un espace climatique sèche et des

irrégularités topographiques dont la hauteur ne dépasse pas 500 mètres. Elle comprend le bassin de Guercif et les cuvettes quasi fermées arides de Hassi Barkan et Saka.

Le périmètre étudié de la moyenne Moulouya est caractérisé par un climat de type aride à semi aride méditerranéen où la continentalité est nettement sentie au niveau des rigueurs hivernales et des fortes chaleurs d'été. Cette continentalité thermique s'explique par la position d'abri derrière le double écran montagneux du Rif et du Moyen Atlas qui barrent la route à l'humidité atlantique. Les chaînes des Kebdana et des Beni Snassen arrêtent les influences méditerranéennes et l'abaissement de la terminaison orientale du Haut Atlas permet la remontée vers le nord des influences sahariennes à travers les Hauts Plateaux (Troin, 2002). Les précipitations diminuent d'est vers l'ouest avec l'éloignement graduel de l'influence maritime et l'accentuation progressive de l'influence saharienne

2. MATERIEL ET METHODES

L'étude de la variation spatio-temporelle de la pluviométrie s'est faite en utilisant les différentes données des stations pluviométriques qui couvrent la zone d'étude de 1988 à 2018. Pour mieux comprendre les variations spatiales des précipitations dans ce bassin, nous avons utilisé les données de 25 stations. Ces stations sont réparties à des altitudes comprises entre 360 et 1650 m

Les précipitations sont généralement comprises entre 100 et 320 mm/an sur la majeure partie de la région étudiée. Elles atteignent 320 mm/an au niveau du plateau de Debdou et 150 mm/an au niveau du bassin de Guercif.

Dans le cadre de cette approche, nous avons utilisé la méthode de comparaison spatio-temporelle basée sur des données climatiques mensuelles et annuelles.

Nous nous sommes ensuite basés sur le suivi des conditions météorologiques les plus fréquentes dans la région et nous avons finalement essayé de réaliser deux cartes illustrant l'évolution du système de précipitations après la division de la période d'étude en deux phases (précipitations moyennes annuelles sur une période de 15 ans, comparées à la moyenne des 15 années opposés), sur la base du SIG.

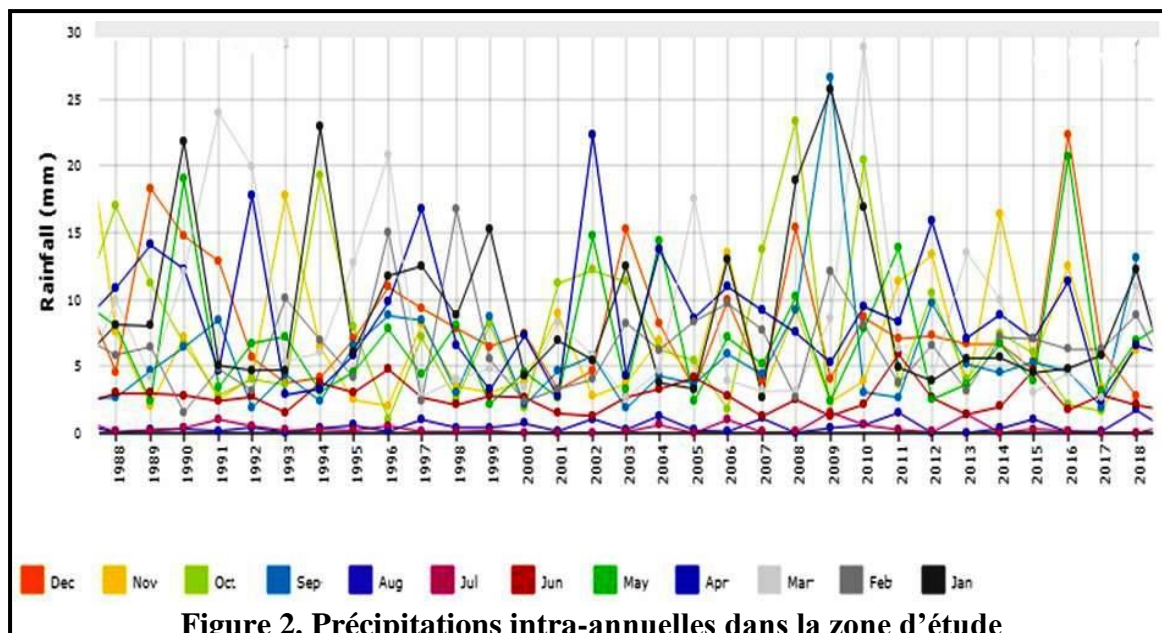


Figure 2. Précipitations intra-annuelles dans la zone d'étude

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le territoire de la zone étudiée est marqué par une grande hétérogénéité des conditions pluviométriques dès les années soixante-dix.

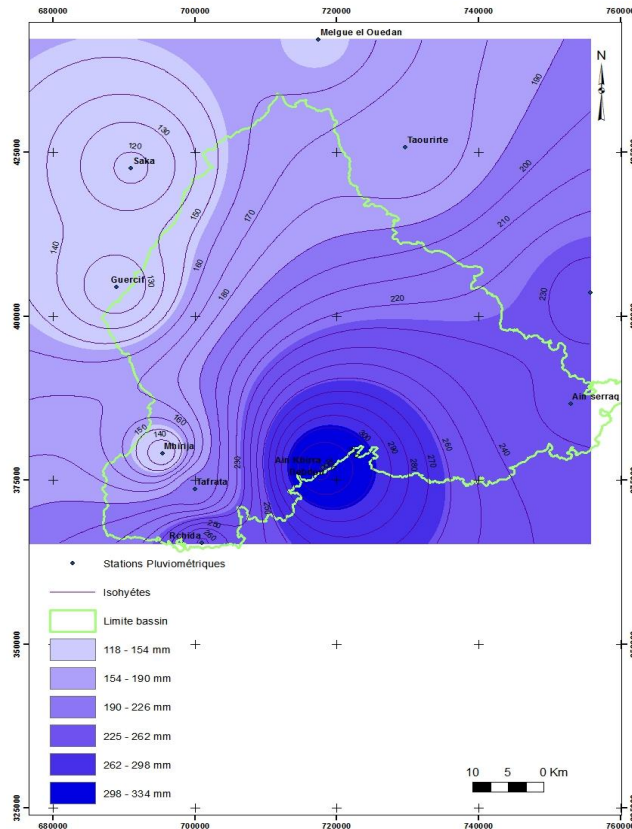


Figure 3. Carte des isohyètes de la période 1988-2004

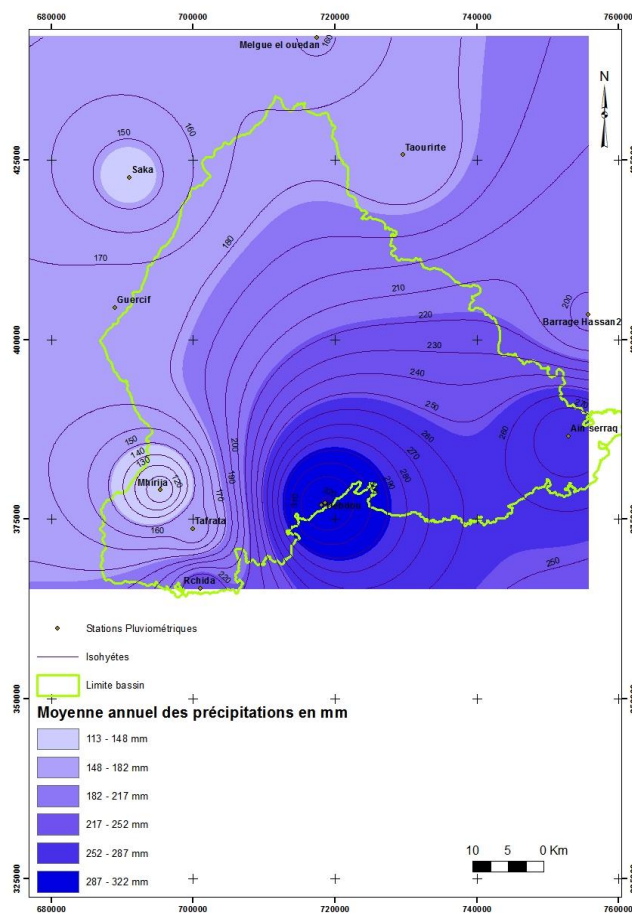


Figure 4. Carte des isohyètes de la période 2004-2018

L'examen de la carte (figure3) de la période 1988 – 2018, montre que la pluviométrie moyenne varie entre 324 mm dans la région de Debdou et 120 mm sur le pont de Saka et l'isohyète de 260 mm passe sur l'axe de Rchida. Ainsi la quasi-totalité de la plaine de Tafrata reçoit suffisamment 180 mm comme une moyenne annuelle des précipitations.

Dans l'état actuel, la pluviométrie moyenne annuelle augmente selon deux principales directions à savoir de l'Est vers l'Ouest et du Sud vers le Nord. Le réseau plus lâche des isohyètes sur la partie Ouest témoigne de la plus grande variabilité des précipitations.

La comparaison avec la carte de la figure 4 montre une baisse de 20 à 40 mm sur la zone Sud-Ouest et 30 à 40 mm dans le sud notamment la zone de Lamrija.

On note aussi d'après cette carte que la diminution de la pluviométrie a fait migrer les isohyètes du Sud vers le Nord. L'isohyète 280 mm qui était sur les régions de Debdou pendant la période 1988/2004 se trouve après la sécheresse des années 2000/2002 dans les endroits de Ain Serrag.

Cependant, on note globalement que la pluviométrie moyenne annuelle dans la zone de Guercif, a connu une augmentation sensible comme l'atteste la carte de la figure 4 qui montre le déplacement des isohyètes 180 mm vers l'Ouest. Ceci est remarquable aussi pour la station de Saka.

Ces migrations des isohyètes moyennes annuelles ont aussi eu pour conséquences des changements notables dans la circulation météorologique globale dans notre région dans laquelle on note une fréquentation des temps perturbés orageux du Nord au cours des dernières années. Cette situation a plutôt renforcé la pluviométrie de la moitié nord du pays tout en réduisant celle de la partie sud.

Au cours des trente dernières années, la variabilité a également été très forte dans notre région se traduisant par des déficits et des élévations de la quantité pluviométrique moyenne annuelle comme indiqué dans le tableau 1.

Tableau 1: Total de la régression pluviométrique moyenne annuelle dans la zone d'étude

Stations pluviométriques	Période 1978/1991	Période 1991/2008	Déficit pluviométrique	Régression pluviométrique en %
Debdou	323	303	20	6,2
Ain Lakbira	336,0	315,5	20,5	6,1
Ain Serrag	229,4	279,3	-49,9	-21,7
Rchida	261,7	228,7	33,0	12,6
Barrage Laghrass	233,5	198,8	34,7	14,8
Taourirte	172,2	173,6	-1,4	-0,8
Lamrija	157,1	132,8	24,4	15,5
Tafrata	193,7	153,5	40,2	20,8
Guercif	122,4	172,9	-50,5	-41,2
Saka	118,0	144,8	-26,8	-22,7
Melg El Ouidan	151,4	159,1	-7,8	-5,1
Belfarh	145,9	151,1	-5,2	-3,6

L'examen de ce tableau fait ressortir que les zones de l'Est et du Sud-Est du bassin ont connu un faible déficit pluviométrique: 6% pour la station de Debdou, Rchida et Ain Lkbra; 12% pour Rchida et 15% pour Lamrija, alors que les zones Ouest ont connu une augmentation sensible de la moyenne pluviométrique: -41% à Guercif; -22,7% à Saka, -5,1 à Melg El Oueda et -3,6 à Belfarh. Ceci se traduit par des précipitations extrêmes qu'a connues la région ces dernières années (inondations graves à certains moments).

CONCLUSION

Les échantillons climatiques construits d'après les observations passées permettent de prédire l'évolution du climat et de ses impacts sur l'environnement. Le changement du régime des pluies jusqu'au aujourd'hui indique une augmentation légère des précipitations, avec un changement plus marqué dans l'est de la région, mais l'accentuation des événements extrêmes comme les vagues de chaleur en été et l'intensité des sécheresses et les inondations causés par des tempêtes violentes pourrait avoir plus de conséquences pour le territoire étudié et les milieux voisines

Références bibliographiques

- ARRAJI, M., 1995: le climat du versant méditerranéen du Rif central. Maroc. Une géographie de la pluie: mécanismes pluviogènes et temps pluvieux. Thèse de doctorat. Université Toulouse Le Mirail, 334 p.
- BIDAULT G., 1959 : Notes sur le climat du Maroc oriental. – Maroc médical, 342: 1135-1145.
- EL BAYE, A., 1993: A propos des perturbations au Maroc et leur structure aérologique. Série: colloques et séminaires, 63, Rabat. Publications de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines.
- EL JANATI IDRISSE A., 2010: Situations pluviométriques extrêmes et impacts engendrés au Maroc, cas de l'année 2008-2009. *Geo-Maghreb* 2010 ; n°6 P 107.
- TROIN J-F., 2002 : Maroc, Régions, Pays, Territoires. Paris Maisonneuve et Larose, P 372.
- SBAI, A. et PETIT-RENAUD, G 1989: Les variations spatio-temporelles des précipitations au Maroc oriental : Application de l'Analyse en Composantes Principales. *Rev.Géogr.du Maroc*, vol.13 n°2, nouvelle série, P.27-40.
- SBAI A., F. MOUSSAOUI N. OUALIT. 1992: Les régimes des vents au Maroc oriental. *Méditerranée* 1992 76 pp. 45-52.

RISQUE D'INONDATION ET SON IMPACT DANS LE BASSIN EL MAASER (HAUT SEBOU, MAROC)

MAZOUZ El houssaine¹ & JANATI IDRISSE Abdelhamid²

Laboratoire D'Analyses Géo-environnementales, d'Aménagement et de développement durable

¹Chercheur en hydro-climatologie, LAGEA-DD, FLSH-Sais, Fès. m.lhoucine@gmail.com

²Enseignant chercheur, LAGEA-DD, FLSH-Sais, Fès abdelhamidjanati@yahoo.fr

Résumé: le bassin d'Oued El Mâaser, est l'une des zones les plus vulnérables aux risques climatiques grâce à ses caractéristiques géophysiques, atmosphériques et à la fragilité de son territoire. Ce bassin menacé par l'inondation, constitue une zone fortement anthropisée, et occupe un espace géographique très vulnérable, ce qui provoque des changements géomorphologiques importants au niveau de l'oued. L'exploitation croissante des ressources naturelles et l'extension non contrôlée de l'habitat accroissent le risque d'inondation qui devient de plus en plus dévastateur. Pour mener cette étude nous avons adopté une méthode basée sur une analyse des données hydro-pluviométriques à différentes échelles, supportée par un examen des caractéristiques aérologiques et géographiques du bassin. Nous avons dans ce sens effectué une étude de terrain suivie de travaux géomatiques et géostatistiques à l'aide du SIG. D'après l'étude climatique, nous avons constaté que le bassin est soumis à un climat semi-aride caractérisé par de fortes variations temporelles des précipitations. Le régime du nombre de crues est un régime à prédominance printanière, puisque le nombre de crues produites représente 46.2% à oued El mâaser (station El marse). Ces crues sont le résultat d'intenses pluies parfois à caractère orageux surtout en automne et en été. De ce fait, ce bassin est soumis aux dégâts d'inondations importants (cas de l'année 2008), ce qui représente une menace pour cette région vulnérable.

Mots clés : inondation, vulnérabilité, risque climatique, agressivité climatique.

FLOOD RISK AND ITS IMPACT IN THE EL MAASER BASIN (HAUT SEBOU, MOROCCO)

Abstract: The Oued el Mâaser basin is one of the most vulnerable zones in terms of climatic risks thanks to its geographical layout, and the effects of the atmospheric situations of its varied intensity seasonally for each year. This basin is strongly threatened by flooding, it constitutes a highly anthropized zone, and occupies a very vulnerable geographical space, which causes important geomorphological changes in Oued. The increasing exploitation of natural resources and the uncontrolled expansion of habitat imply increases the risk of flooding which becomes more and more devastating. The objectives of this study are to find effective solutions and strategies to combat this climate risk. We adopted a method based on an analysis of hydro-rainfall data at different scales, inventory of archaeological and geographical characters, also fieldwork related by surveys and genetic and geostatistical methods using SIG jobs and specialization of data. According to the climatic study, we found that the basin is subject to a semi-arid climate characterized by strong temporal variations of precipitation, the regime of the number of floods is a predominantly spring regime, since the number of foods produced represents 46.2% in Oued El Maser (El Marse station). These floods are the result of intense rains sometimes stormy character, especially in autumn and summer, the basin submitted significant damage case of the year 2008, El Mars station recorded 64mm. The flow recorded at the entrance of the Allal El Fassi dam reaches 2665m³/s.

Keywords: Inundation, vulnerability, climate risk, climate aggressivity.

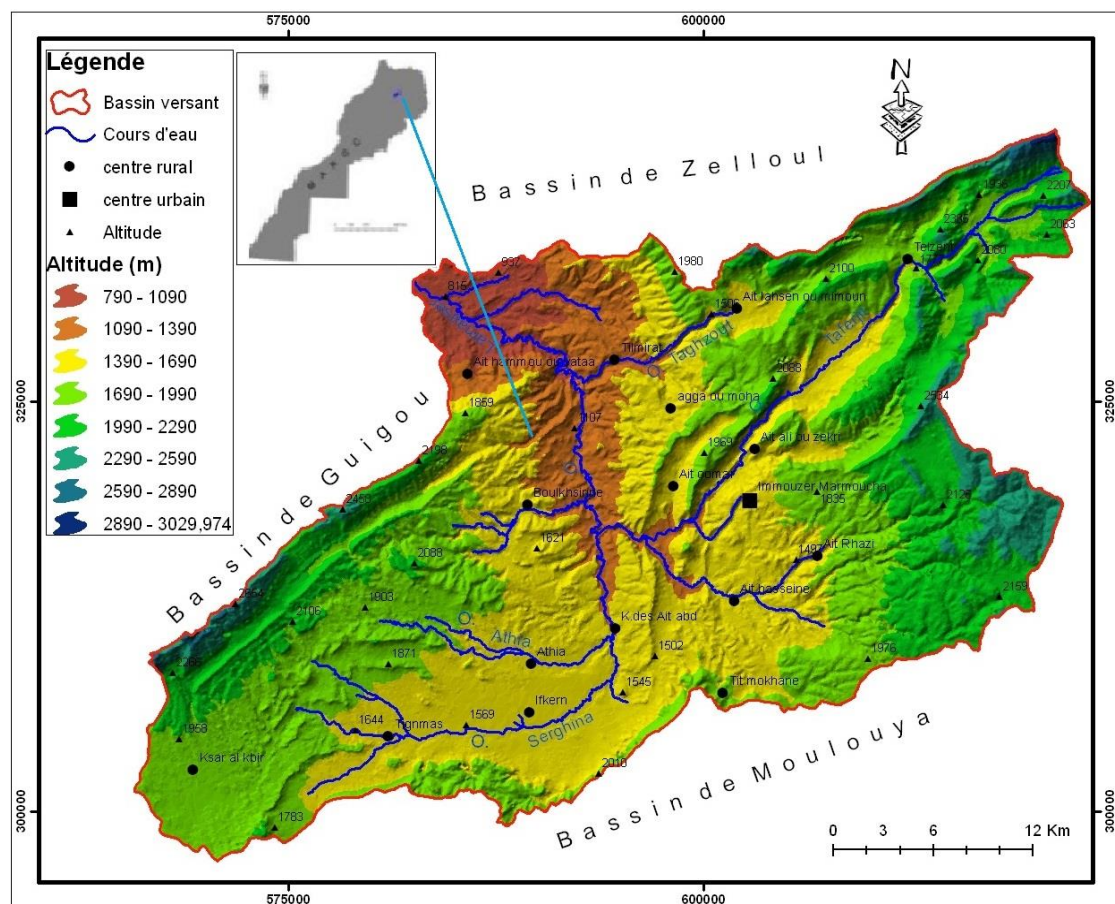
Introduction

Le bassin d'Oued El Mâaser, est situé dans le moyen atlas septentrional. Il est composé d'un relief marqué par l'alignement de crêtes montagneuses élevées encadrant une remarquable extension des synclinales. De ce fait on peut distinguer entre plusieurs sommets de la chaîne plissée moyen-atlasique, dépassant trois mille mètres dont Jbel Bou Iblane (3190m). Le bassin d'Oued el Mâaser, se caractérise par un climat méditerranéen semi-aride. L'hiver est relativement humide et très froid avec des précipitations neigeuses et un été chaud et sec. Les températures hivernales peuvent diminuer jusqu'à -15°C et atteindre 42°C pour les températures estivales.

La méthodologie adoptée dans ce travail s'appuie en premier lieu sur l'étude du facteur de l'agressivité des pluies basé sur l'indice de fourmier. Puis dans le cadre d'une approche statistique on a mené une étude fréquentielle des pluies journalières extrêmes afin de connaître leur probabilité de retour. Finalement nous avons essayé de connaître la genèse atmosphérique d'un événement pluviométrique inondable dans le bassin ; l'exemple choisi est celui du 30 aout 2019.

1. Description de la zone d'étude

Le bassin d'Oued el Mâaser, est une région montagneuse, constituée de cuvettes synclinales séparées par des lignes de crêtes où s'individualisent les plus hauts sommets : j. Tichoukt (2796 m), J. Bou Iblane (3190m), qui sont des rides anticlinales aigues dont l'ossature est composée de calcaires liasiques. Ces rides le plus souvent chevauchantes, laissent apparaître localement le Permo-trias (marne et argiles salifère). (Carte.1).



Carte n°1 : situation géographique d'Oued El Mâaser

Sur le plan administratif, la zone d'étude fait partie de la province de Boulmane, qui comprend des cercles de Serghina, Immouzer Marmoucha, Ait Bazza, Talzemt, Ait Almane et El Marse. La géologie est une étape incontournable, du fait de la relation existante entre le comportement hydrologique du bassin versant et la nature lithologique et la structure qui se trouve au sein de la zone d'étude.

2. Caractéristiques hydro-pluviométriques générales

Les précipitations dans le bassin de l'oued Maacer sont variables au sein de l'année ; elles sont de l'ordre de 133,1 mm en hiver et de 51,6 mm en été suite à une activité orageuse importante où la chute concentrée des averses sur le plan spatio-temporel, est accompagnée d'une grande amplitude thermique diurne-nocturne. L'évolution du débit de l'Oued el Mâaser à la station hydrométrique El marse, montre que la première décennie du 21ème siècle a enregistré des débits plus élevés que ceux des années 80 et 90. Dans la chronique étudiée (1981/2017), le débit maximum enregistré a atteint 4.96 m³/s en 2009-10, et le minimum est descendu à 0,06 m³/s en 1999-00. Le module annuel moyen ne dépasse pas 2.43m³/s, ce qui signifie une faiblesse des ressources en eau dans la zone étudiée.

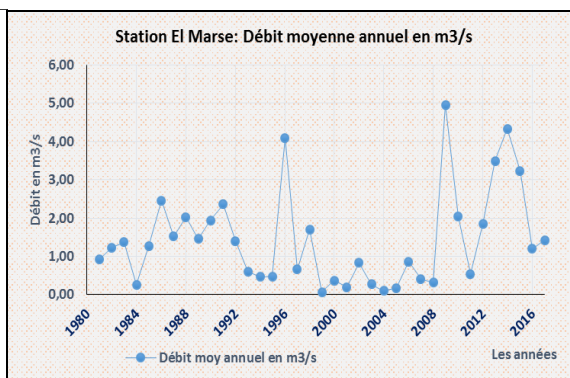
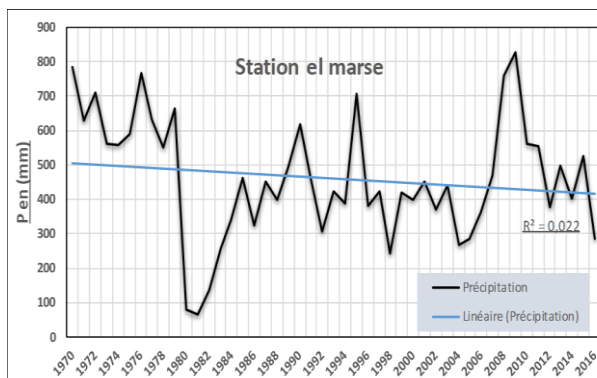


Fig n°2: Séries chronologiques des pluies annuels Fig n°3: Débit Hydrométrique Moyen annuel

3. Examen de l'agressivité climatique

Le facteur de l'agressivité des pluies est exprimé par l'indice de Fournier. Cet indice, est mis au point pour approcher l'agressivité climatique dans les pays méditerranéens. Sa fonction associe la précipitation moyenne du mois le plus pluvieux et la pluie moyenne annuelle de la station considérée. Il est exprimé par la relation :

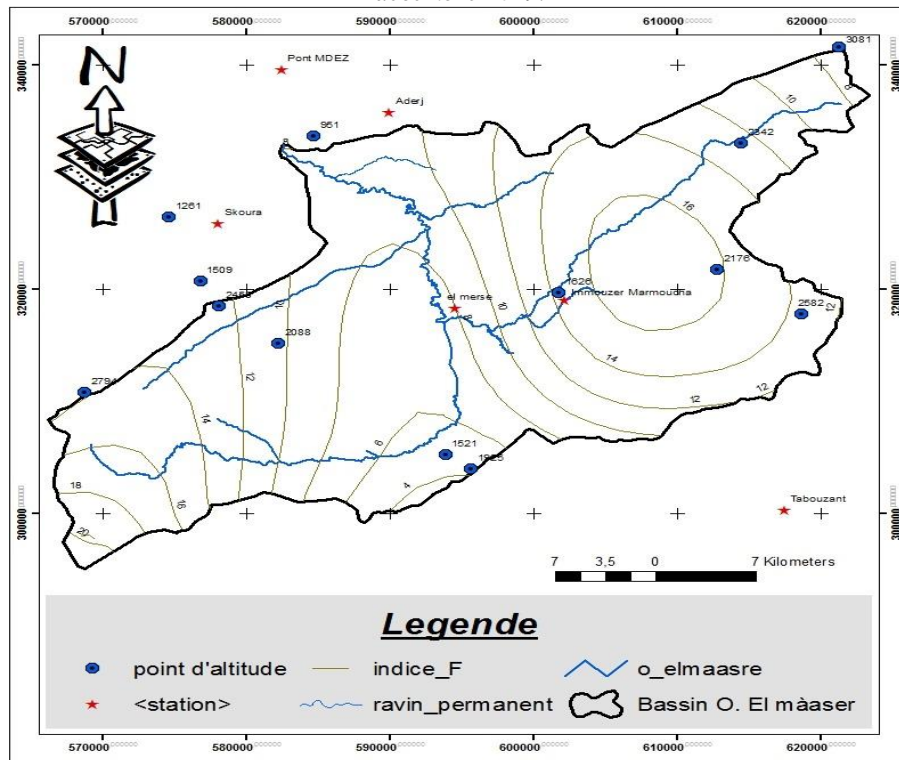
$$(1) \quad I.F = P_i^2/P$$

Où - I.F : Indice de Fournier

- P_i : Précipitation moyenne du mois le plus pluvieux en mm

- P : Précipitation moyenne annuelle en mm

La valeur de l'agressivité de la pluie et du ruissellement varie entre une valeur minimum de 70 et une valeur maximum de 165 (carte n°2).



Carte n° 2 : L'agressivité des pluies selon l'indice de fournier

4. Estimation des pluies maximales journalières

L'analyse fréquentielle d'une longue série de débits ou de pluies permet d'estimer le temps de retour d'une valeur particulière. A ce sujet nous avons opté pour une méthode statistique de probabilité qui s'applique bien aux phénomènes exceptionnels, il s'agit de la loi Gumbel dont l'équation s'exprime de la manière suivante:

$$F(x) = \exp(-\exp(-(x-a)/b)) \quad (1)$$

$$\text{Avec la variable réduite suivante : } U = (x-a)/b \quad (2)$$

Où a et b sont les paramètres du modèle.

A travers la méthode graphique (Figure n° 5) qui peut être réalisée grâce au programme Excel nous avons pu estimer les valeurs de retour inscrites dans le tableau n° 1.

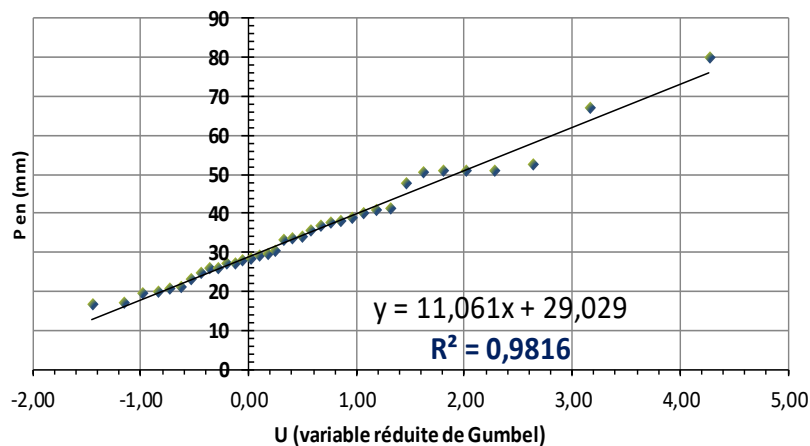


Figure n°5: Ajustement des pluies journalières maximales annuelles par la loi Gumbel (Station El Marse, 1982/83 – 2016/17)

D'après la distribution des pluies journalières maximales annuelles, il ressort que la série pluviométrique étudiée s'ajuste bien à la loi de Gumbel avec une marge d'erreur de 1 à 1,5%. Il faut noter qu'au niveau de la station El marse, l'incertitude devient élevée à partir des probabilités de non dépassement de 0,4 à 1,6. Cette variation est liée à l'estimation de la probabilité d'apparition des pluies maximales.

Tab n°1: valeurs pluviométriques journalières estimées selon certaines périodes de retours à la station El Marse

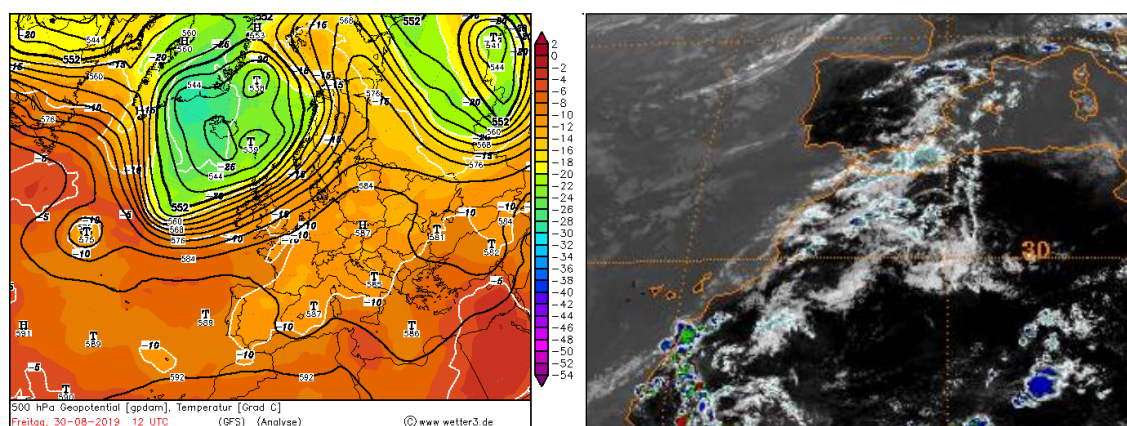
période retour	2	5	15	20	25	50	75	100
p non dépassé	0,50	0,80	0,93	0,95	0,96	0,98	0,99	0,99
variable u	0,36	1,49	2,7	2,97	3,2	3,9	4,3	4,6
F p de retour	33,0	45,4	58,3	61,5	64,0	71,7	76,2	79,4

D'après le tableau, il ressort que les précipitations exceptionnelles dans la zone sont celles qui dépassent 57mm, et qui peuvent se produire une fois dans une période de retour excédant 15 ans. C'est ainsi qu'on peut considérer la pluie de 30 aout 2019 comme un évènement exceptionnel qui avait engendré une crue importante de l'oued Maacer. Cependant ces valeurs sont plus faibles par rapport aux bassins rifains mieux exposés aux flux perturbés atlantiques ; au sein d'une période de retour centennale on ne peut enregistrer que seulement une valeur journalière maximale de 79,4 mm.

5. Genèse atmosphérique de la crue du 30 aout 2019

Les temps perturbés liés aux cyclogenèses locales automnales formées par les gouttes froides d'altitude sont les situations pluvieuses à craindre au niveau de l'amont du bassin El màaser. Les oueds issus du versant moyen-atlasique riverain, gonflent rapidement est charrient une quantité importante des eaux qui inondent les plaines. Ainsi, la zone d'étude a été confrontée maintes fois aux risques des crues engendrées par ces types de temps que nous allons analyser leurs genèses à travers l'exemple récent du 30/9/2019:

Le 30 aout une goutte froide (- 10°) s'est installée (figure n°6) créant ainsi une instabilité orageuse en zone montagneuse sous l'effet orographique et thermodynamique . Au sol, le Maroc se trouvait sous l'effet de la dépression saharienne qui semble plus dynamique car, les vents d'Est soufflaient fortement, ce qui montre le caractère très chaud et instable du type de temps.



Carte n° : 2 Géopotential à 500 Hpa au 30/8/2019 à 12 h TU et image satellite de Meteosat 11 (Fig. 6) du 30/8/2019 à 15 h TU.

Ce temps orageux est à l'origine de pluies intenses. Les crues issues des événements

météorologiques estival et automnal sont responsables des inondations qui ont touchées le bassin ces dernières années. Etant donné que la plupart des surfaces agricoles ne sont pas protégées, de nombreuses communes sont menacées par ce risque climatique. Les dégâts enregistrés au bassin en amont, ont touché une part importante des surfaces agricoles avec la submersion de quelques foyers limitrophes du lit majeur de l'oued Maacer, et la destruction de la route d'Almis marmoucha.



Planche Photos 1 ; 2: Submersion d'Oued El màaser date : 30 aout 2019

Conclusion

L'exposition des personnes et des biens face au risque d'inondations a augmenté dans le bassin de Maacer en raison des effets du réchauffement climatique et de l'occupation croissante des espaces inondables dans un milieu fragilisé par des pressions anthropiques males maîtrisées. Les intensités pluviométriques des dernières années (celles de l'année 2008 en particulier) ont eu un impact néfastes sur les phénomènes d'érosion et d'inondations répétées qui ont représenté un risque préjudiciable sur les biens agricoles des populations. Il s'avère donc nécessaire d'accélérer les mesures de protection, de conservation et de prévention afin d'atténuer ce risque sur la population, et ne pas attendre la manifestation d'une nouvelle catastrophe pour réagir inopinément contre ces menaces.

Malgré la complexité des mécanismes induisant le risque des crues dans la région, sa prévention et sa gestion sont un grand atout pour réduire les effets néfastes de ce phénomène. Comme principales recommandations nous pouvons insister sur :

- La disponibilité des informations sur ce type de risque.
- Le renforcement de la recherche appliquée dans ce domaine.
- La mise en place d'un système d'information et d'alerte en cas de crise.
- L'organisation des programmes de sensibilisation et de vulgarisation auprès des populations concernées.

Référence

- EL KHALKI. Y, (2000) : Contribution A L'étude Hydrologique De Quelques Sources Karstiques De Moyen Atlas : Ain Timadraine-Ouamender, MOSELLA, Tome xxv – n° 3 – 4,
- JANATI, I. A. (2010) - Situations pluviométriques extrêmes en 2008-2009 et impacts engendrés au Maroc. Revue Géomaghreb n° 6,
- Mazoz E. 2015. Régimes Pluvio-Hydrologiques du Haut Sebou (Maroc) et incidences des situations climatiques à risques dans le bassin- Thèse de doctorat, université sidi Mohamed ben Abdellah, Faculté Fès-Sais.

- Janati Idrissi A., 2005. Impact de la régression pluviométrique sur la fréquence, la durée et l'apport des crues dans le bassin du Sebou » in publication du colloque : aménagement du territoire et risques environnementaux. Fès Saïs, le 15-16 avril 2005.
- Sary M., Akdim B. 2000. La sécheresse hydrologique récente dans le bassin du haut Sebou (Moyen Atlas, Maroc). In Mosella 2000, T. XXV, n° 3-4,
- Projet de développement intégré des zones prioritaires du bassin versant Allal el Fassi ; Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Eaux et Forêts ; Février 2002.
- IPCC -Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change- (2007). The Physical Science Basis. Accessible at : <http://www.ipcc.un.org>.
- Janati Idrissi A., Gartet J., Gartet A. Daoud A., 2015. Changement climatique et spatialisation du régime pluviométrique dans le bassin du Sebou (Maroc)- livre de publication dans les actes du colloque international Eau et Climat regards croisé Nord Sud. Tenu à la Faculté Saïs Fès le 27-28 novembre 2013.

RESILIENCE ET FORMES D'ADAPTATION DES AGRICULTEURS FACE AUX RISQUES HYDRO CLIMATIQUES : LE SUD-EST DES DOUKKALA COMME EXEMPLE

Mohammed BOUDIAF*, Youssef EL AOUD* Hassan OUFRID**, Ahmed LAKRADE**
*Doctorant, FLSH El Jadida. **Enseignant chercheur, FLSH El Jadida

RESUME : Les aléas hydro-climatiques sont les plus grands défis auxquels les populations rurales dont les agriculteurs, peuvent être confrontées et qui peuvent en même temps, interpréter la façon dont l'homme gère son espace, puisque les risques demeurent également une composante interne de l'organisation d'un espace¹.

Comme dans l'ensemble des Doukkala, Le Sud-Est fait partie des espaces semi-arides, les précipitations y connaissent une grande variabilité (pour une série de 52 ans que nous avons étudiée: 123 mm comme minimal et 632.2 mm comme maximal) et les crues présentent un risque que la population locale a pu exploiter sa capacité d'invention en termes de techniques et savoir-faire local afin de s'y adapter.

L'objectif de cet article est de montrer comment les exploitants transforment le risque des crues en une ressource (complémentaire) dans le système agricole, en termes de mobilisation et gestion des eaux, par adoption de diverses techniques adéquates (locales et étatiques), tout en bénéficiant de la situation morphologique qui a produit une topographie contenant l'amont de Rhamna et l'aval de la plaine des Doukkala.

L'étude met en avant les risques hydro-climatiques qui pèsent sur l'espace étudié, ainsi que la mise en relief des formes d'adaptation permettant d'atteindre un niveau de résilience permettant de garantir un équilibre durable entre l'homme et son milieu.

Mots clés : Risques hydro-climatiques - eaux des crues- barrages collinaires- Techniques de mobilisation de l'eau - Sud-Est des Doukkala.

RESILIENCE AND ADAPTATION OF FARMERS TO HYDRO-CLIMATIC RISKS: THE SOUTH-EAST OF DOUKKALA AS AN EXAMPLE

ABSTRACT: The hydro-climatic hazards are the greatest challenge that rural populations can be confronted with, and which can at the same time interpret the way man manages his space, since the risks also remain an internal component an area organisation.

As in all of the Doukkala, the South-East is part of the semi-arid areas, the precipitation vary a lot (for a series of 52 years that we studied: 123 mm as minimum and 632.2 mm as maximum), and the floods present a risk that the local population has been able to exploit thanks to the capacity of the technical inventions and local knowledge in order to be able to adapt to the new condition

The purpose of this article is to show how farmers are transforming the risk of floods as (complementary) resource in the agricultural system, in terms of water mobilisation and management, by adopting various appropriate techniques (at local and state level), all taking advantage of the morphological situation that produced a topography containing the lover of Rhamna and downstream of the plain of Doukkala.

The study explain the hydro-climatic risks that affect the studied area, as well as highlighting of adaptations forms allowing to reach a level of resilience to ensure a sustainable balance between man and his environment.

Keywords: Hydro climatic risks - flood waters - dams hills - Water mobilisation techniques- South-East of Doukkala.

¹ : Beucher, Veyret, et Reghezza(2004), *Les risques*

Introduction

A l'instar de l'ensemble des Doukkala, le Sud-Est est la partie la plus vulnérable aux risques hydro-climatiques, tels que la variation spatio-temporelle accentuée des précipitations, les séquences de sécheresse plus fréquentes, et les crues brutales liées à des chutes pluviales concentrées, ce qui affecte l'activité agricole à tous les niveaux (productivité, rendement, nature des récoltes), et les conséquences socio-économiques qui en découlent.

Cependant, le Sud-Est ne pourra en aucun cas être considéré comme une entité fragile dépourvue des éléments de base du développement, autant qu'on peut le considérer comme un espace qui connaît des mutations et dynamiques spéciales, accroissant la capacité à engendrer les crises (résilience) grâce à la richesse culturelle matérialisée par un ensemble de savoir-faire, de pratiques, de connaissances et d'expériences qui façonnent l'identité de la population. Cette étude portera sur deux éléments principaux:

- Les risques hydro climatiques qui menacent la population locale.
- Les techniques d'adaptation adoptée transformant les risques en une ressource.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Cette étude est basée sur le travail de terrain qui nous a permis de collecter les données, après avoir contacté la population rurale locale pour relever les diverses d'adaptation adoptées pour surmonter les risques hydro climatiques ainsi que les cultures pratiquées.

L'analyse de cette étude a été effectuée sur l'ensemble des données pluviométriques couvrant une période de 52 ans de précipitations (1964/1965 à 2015/2016) de la station météorologique Khmiss Mettough pour montrer la variabilité pluviométrique annuelle.

En utilisant les SIG, nous avons réalisé des cartes thématiques (carte d'hypsométrie à partir du DEM) sous le logiciel Arc gis 10.4.1, ainsi que la carte des crues en se basant sur l'examen des cartes topographiques à l'échelle 1/25000 et l'image satellitaire de l'espace géographique étudiée (extraite du site USGS landsat7)

Nous avons utilisé la méthode dite Gausse $P \leq 2T^{\circ}C$ pour mettre en avant les mois secs.

2. DESCRIPTION DE L'ESPACE ETUDIE

L'espace géographique d'étude se situant au Sud -Est des Doukkala se caractérise par inclination topographique orienté SE au NW, et culmine à 694 m aux bordures de Rhamna.

En outre, cet espace fait partie de l'étage bio climatique semi-aride avec un régime pluviométrique variable au niveau spatio-temporel.

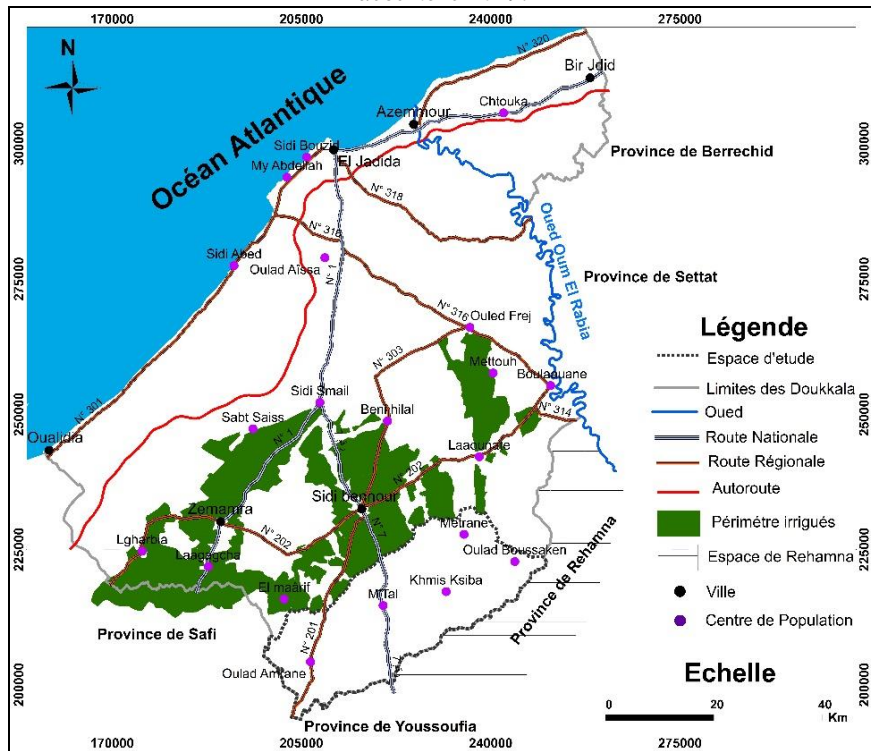


Fig 1 : localisation de l'espace géographique étudié

L'espace géographique d'étude se situant au Sud -Est des Doukkala se caractérise par inclination topographique orienté SE au NW, et culmine à 694 m aux bordures de Rhamna. En outre, cet espace fait partie de l'étage bio climatique semi-aride avec un régime pluviométrique variable au niveau spatio-temporel.

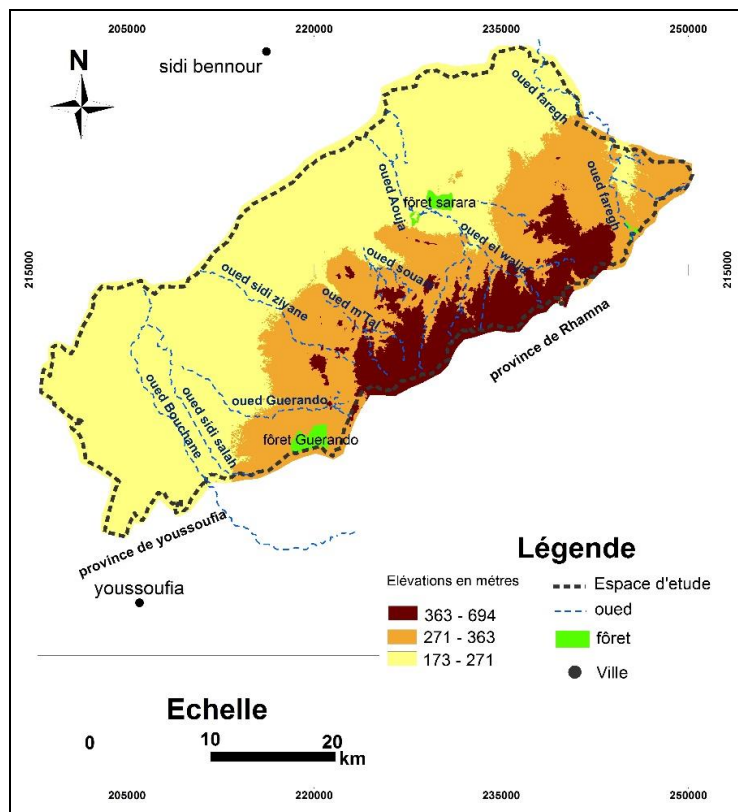


Fig 2 : Carte hypsométrique de l'espace étudié

D'après la carte si contre (fig. 2), on déduit que la direction de la topographie favorise le risque des crues.

Les terres agricoles sont de nature Bour considérées comme un espace d'interface entre Rhamna et Doukkala, qui se basent sur les eaux des crues provenant de l'amont vers l'aval à travers des ruisseaux saisonniers.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 : Les risques climatiques :

Il s'agit selon l'indice de Gaussen de la sécheresse climatique, 7 mois secs continus s'étalant du mois d'Avril jusqu'à Octobre, dont la saison estivale Juin-Juillet-Août est quasiment sèche avec des températures élevées, ce qui génère un besoin et déficit hydrique.

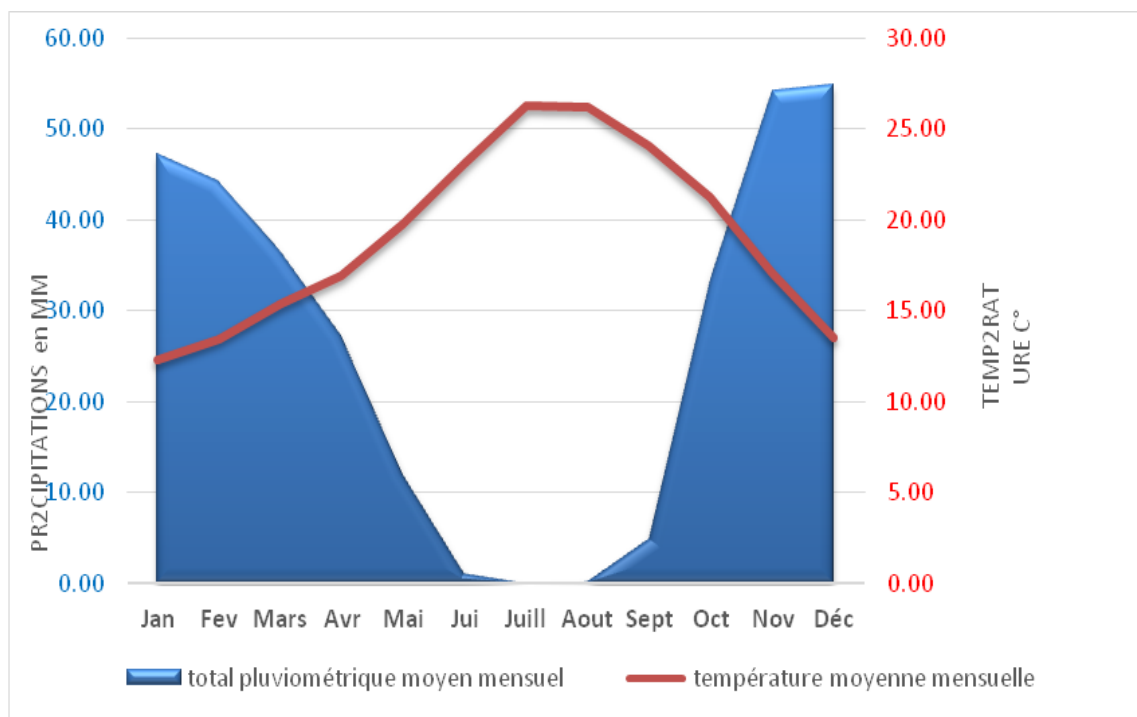


Fig. 3: Diagramme ombrothermique, station khmis Mettough(1964/1965-2015/2016)

Les agriculteurs avec lesquels nous avons fait notre enquête, nous ont informé que les précipitations peuvent être concentrées sur une courte durée sous forme d'averses violentes, ce qui provoque un ruissellement intense diffus par la topographie qui débouchent sur les Oueds (Oued El Aouja et Oued Bouchane) créant souvent des crues (Fig. 4).

3.2: Les risques hydriques

Les caractéristiques physiques, en l'occurrence l'orientation de la topographie, la faible perméabilité des sols combinés à l'intensité et la brutalité des chutes pluviométriques et des apports fluviaux font de notre milieu étudié un espace fortement vulnérable aux risques des crues.

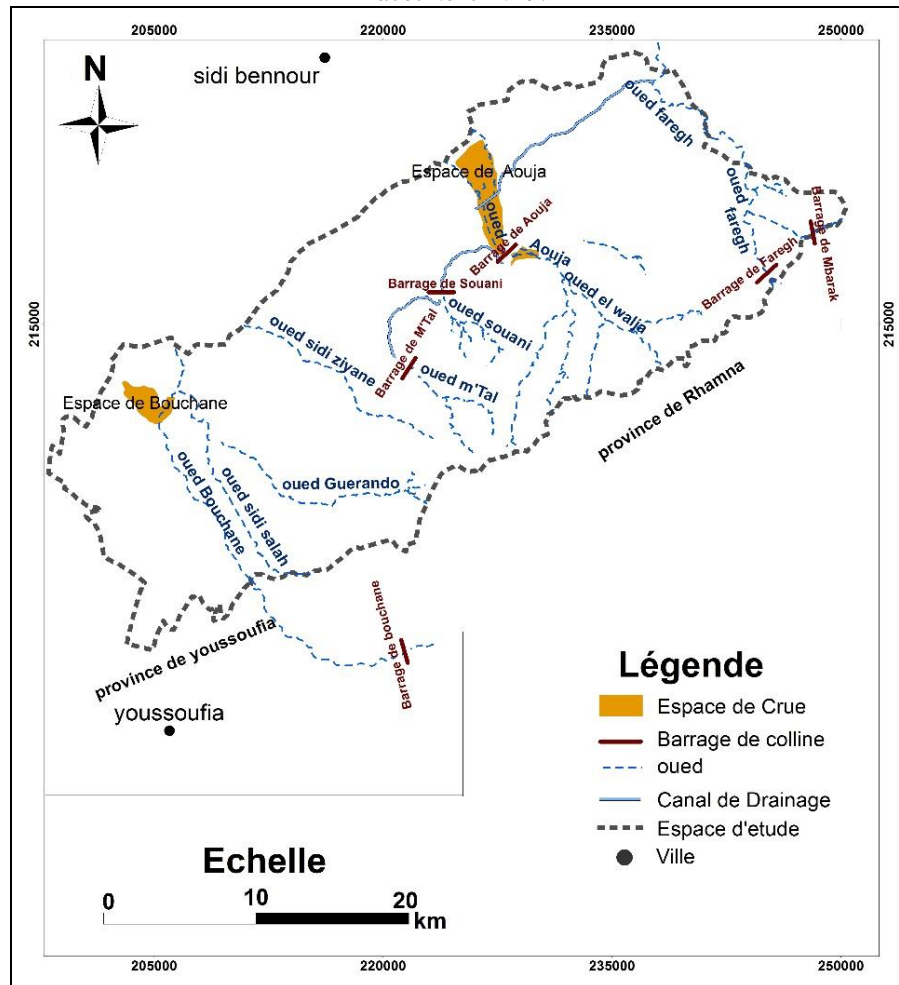


Fig 4 : sites des crues au Sud-Est des Doukkala

3.3 : Les formes d'adaptation

Les risques des crues causés par les apports fluviaux surtout, dans le bassin de l'oued El Aouja et Bouchane, jouent un rôle incontournable dans l'organisation et l'adaptation avec l'espace. Cependant, les agriculteurs ont adopté des techniques traditionnelles diverses et un savoir-faire en termes de gestion et mobilisation des eaux, ce qui leur a permis de transformer le risque en une ressource.

3.3.1 : Les techniques locales

"El Rabta" est une technique traditionnelle avec laquelle la population gère et mobilise les eaux, elle est caractérisée par des multiples formes et construite par des matériaux locaux divers. Cette technique sert à transformer les eaux des crues de l'oued vers les parcelles agricoles².

Les bénéficiaires distribuent le partage des eaux entre eux à tour de rôle « El Nouba » selon un usage locale collectif dit « El Aourf » pour éviter tout conflit susceptible.

²- العود يوسف (2014) " المجالات الفيضية بدكالة: نموذج فيض واد العوجة" بحيث لنيل دبلوم الماستر في الجغرافيا، تحت إشراف الأستاذ حسن العباسي، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة شعيب الدكالي، الجديدة، ص 26.



Planche photo1 : Technique " El Rabta"

Cette technique de gestion des crues a pour objectif de :

- Collecter des eaux servant de ressource dans le système agricole pour faire face aux sécheresses.
- Protéger les espaces irrigués (la plaine des Doukkala) contre les risques hydrologiques.

3.3.2: Les techniques étatiques « les barrages collinaires »

« Les barrages collinaires » constituent une ressource importante notamment dans un espace semi-aride, et qui ont un impact sur le niveau socio- économique et spatial.

Le gouvernement a construit 4 « barrages collines » dans le sud-est des Doukkala (barrage Aouja, Faregh, M'Tal, Souani)³ entre 1970 et 1990, qui ont deux objectifs:

- La protection en aval des Doukkala des risques des eaux des crues, ainsi que les espaces irrigués (la plaine).
- La mobilisation et la rétention temporaire des eaux des crues et leur transfert vers l'oued Oum Er-Rabia par un canal de drainage.

Le « barrage collinaire » de l'oued M'Tal est un meilleur exemple au niveau de la mobilisation et la rétention permanente des eaux. Il a été créé en 1970 sur une superficie de 38 Ha, avec une capacité de rétention de 474.0 m³ et un débit de 229 m³/s.

A l'aide des petits engins, l'ensemble des eaux des crues collectées sont dirigés vers les parcelles pour irriguer les cultures pratiquées (la luzerne, les oignons...)

Après le ressuyage d'eau dans les propriétés, les exploitons font recours à pratiquer des cultures de « El Bhira » comme les pastèques, la citrouille, les gourdes et le maïs, mais ces types de cultures sont souvent menacés par les risques de sécheresse.



Planche photo 2: Petit engin pour l'adduction d'eau vers les parcelles

³- العود يوسف، لكراد أحمد (2018) " الموارد المائية بدكالة: الندرة والتكيف وأشكال الاستغلال البشري – نموذج حوض واد أمطل" أعمال المؤتمر الأول أيام 25 و 26 أكتوبر 2016، بمدينة كلميم. طباعة ونشر سوس- أكادير نونبر، ص200

Conclusion

La prise en compte et la bonne perception des risques hydro-climatiques par la population locale apparaît comme un facteur décisif structurant de l'espace. C'est avec l'existence de ces aléas que les exploitants ont cherché à créer un système résilient grâce aux aménagements du gouvernement et les formes d'adaptation traditionnelles adoptées.

La problématique des risques hydro-climatiques dans un espace semi-aride nécessite l'intervention des différents acteurs territoriaux ainsi que la population locale pour une meilleure prévention et gestion des risques.

Bibliographie

- BEUCHER, Stéphanie, Yvette VEYRET, et Magali REGHEZZA. Les risques. Editions Bréal, 2004.
- BOISSIER L. 2013, La mortalité liée aux crues torrentielles dans le sud de la France : une approche de la vulnérabilité humaine face à l'inondation, Doctorat en géographie de l'Université Montpellier 3, 212 p
- LAGANIER R., 2015, La résilience organisationnelle : se préparer et faire face à la crise pp. 141-158, Résiliences : sociétés et territoires face à l'incertitude, aux risques et aux catastrophes, Sous la direction de Magali Reghezza-Zitt et Samuel Rufat, Collection Ecologie, ISTE éditions, 226 p.
- VEYRET Y., REGHEZZA M., 2005, « Aléas et risques dans l'analyse géographique », Annales des mines, p. 61-89.

محمد بوضياف، (2018)، "تدبير الأخطار، أحد المفاتيح الأساسية للتكيف مع المجال، جماعة أولاد احسين بدكالة نموذجاً، أعمال الندوة الدولية أيام 9 و 10 نونبر 2018، وجدة، بعنوان "المخاطر الطبيعية وتدبير التراب"

العود يوسف، لكراد أحمد (2018)، «الموارد المائية بدكالة: الندرة والتكيف وأشكال الاستغلال البشري – نموذج حوض واد أمطل» أعمال المؤتمر الأول أيام 25 و 26 أكتوبر 2016، بمدينة كلميم، بعنوان " التغيرات المناخية في المناطق الجافة والشبه الجافة، تحديات الحكامة وإستراتيجية التكيف والتخفيف" طباعة ونشر سوس- أكادير. نونبر، ص200

العود يوسف (2014) " المجالات الفيضية بدكالة: نموذج فيض واد العوجة" بحيث لنيل دبلوم الماستر في الجغرافيا، تحت إشراف الأستاذ حسن العباسي، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة شعيب الدكالي، الجديدة، ص 26.

**L'IMPACT DE LA SECHESSE ET DE L'INTENSIFICATION DE L'IRRIGATION SUR LES RESSOURCES EN EAU DANS LE MOYEN ATLAS TABULAIRE -CAS DE LA DEPRESSION D'AFOURGAGH-
EL-BOUHALI Abdelaziz¹⁻², AMYAY M'hamed¹, LEBAUT Sébastien², GILLE Emmanuel²
et COTONNEC Adeline³**

¹ Univ. Sidi Mohamed Ben Abdellah, FLSH Sais, Fès - Maroc. Labo : LAGEA-DD
abdelaziz.elbouhali@usmba.ac.ma,

² Univ. de Lorraine, Metz – France. Labo : LOTERR

³ Univ. Rennes2, Rennes – France. Labo : LETG – Rennes COSTEL

Résumé: La dominance dans le Moyen Atlas tabulaire des formations lithologiques à fort coefficient d'emmagasinement et à forte perméabilité combinée à des apports pluviométriques relativement abondants ont donné lieu à une certaine richesse en ressources en eau notamment souterraines. Celles-ci ont largement participé au développement des périmètres irrigués qui ont engendré des modifications environnementales, paysagères et sociales très profondes. En effet, l'évolution qu'a connue le Moyen Atlas durant les dernières décennies s'est traduite par l'extension de la superficie irriguée provoquant de profondes transformations dans la société traditionnelle (pastorale) en place. Des nouvelles techniques d'exhaure, de gestion et d'exploitation de la ressource en eau ont supplanté les modes traditionnels d'exploitation et d'usage des eaux.

Cette situation marquée par une forte cadence d'augmentation de la demande en eau conjuguée à une baisse des apports pluviométriques générée par la succession des années sèches a abouti à des impacts négatifs sur les réservoirs souterrains et a perturbé le système hydrologique régional (régression de la superficie des lacs et débit des sources).

La présente contribution expose la tendance d'évolution des précipitations dans le Moyen Atlas et l'ampleur des écarts à la moyenne des séries disponibles. Elle analyse le rôle de l'extension de l'irrigation dans l'amplification du déficit pluviométrique dans la dépression d'Afourgagh.

L'étude des mutations paysagères et la mise en évidence de l'ampleur de l'extension de la superficie irriguée et de sa quantification durant la période de 1985 à 2018 sont basées sur l'utilisation du SIG et l'application des méthodes de traitement des images. Les images satellites (Landsat 5 et Landsat 8 et Sentinel 2) constituent en fait une source importante des données relatives à l'évolution de l'occupation des sols.

Mots clés : dépression d'Afourgagh, ressources en eau, sécheresse, cultures irriguées, SIG, télédétection.

THE IMPACT OF DROUGHT AND INTENSIFICATION OF IRRIGATION ON WATER RESOURCES IN THE MIDDLE ATLAS TABULAR -CASE OF THE DEPRESSION OF AFOURGAGH-

Abstract: The dominance in the tabular Middle Atlas of lithologic formations with a high storage coefficient and high permeability combined with relatively abundant rainfall supplies have given rise to a certain wealth of water resources, particularly underground. These have largely contributed to the development of irrigated perimeters that have led to profound environmental, landscape and social changes. Indeed, the evolution of the Middle Atlas during the last decades has resulted in the extension of the irrigated area causing profound changes in the traditional (pastoral) society in place. New techniques of dewatering, management and exploitation of water resources have supplanted traditional modes of water use.

This situation, marked by a strong rate of increase in water demand combined with a drop in rainfall inputs generated by the succession of dry years, resulted in negative impacts on underground reservoirs and disrupted the regional hydrological system (regression of area of lakes and flow of sources).

The present paper exposes the trend of precipitation in the Middle Atlas and the magnitude of the average deviation of the available series. It analyzes the role of extension of irrigation in the amplification of the rainfall deficit in the Afourgagh depression.

The study of landscape mutations and the demonstration of the extension of the irrigated area and its quantification during the period from 1985 to 2018 are based on the use of GIS and the application of the methods of images processing. Satellite images (Landsat 5 and Landsat 8 and Sentinel 2) is an important source of data on the evolution of land use.

Key words: depression of Afourgagh, water resources, drought, irrigated crops, GIS, remote sensing.

Introduction

Au Maroc, les montagnes constituent une vaste partie du territoire national et sont le siège d'importantes richesses. Ces espaces ont connu au cours des dernières décennies des mutations et des transformations dont l'ampleur, les manifestations et les processus diffèrent d'une région à l'autre. L'évolution des conditions climatiques est un des facteurs qui ont conditionné ces bouleversements. Les pratiques et les actions anthropiques contribuent également au déclenchement des déséquilibres environnementaux et la mise en place de transformations paysagères et amplifient l'impact des facteurs naturels.

Dans Moyen Atlas tabulaire, la disponibilité des ressources en eau (sources, lacs, nappes souterraines...) et la fertilité des sols notamment dans les dépressions tectono-karstiques ont permis la mise en place de plusieurs périmètres irrigués d'étendues variables. Ainsi l'agropastoralisme associant l'élevage et la culture des céréales (blé, orge...) pratiquée en 'bour' a cédé la place à des exploitations modernes irriguées d'arboriculture et de maraichage.

Cette contribution, après un bref aperçu sur la méthodologie adoptée, met l'accent sur l'impact de la sécheresse dans la dépression d'Afourgagh, secteur relativement pourvu en ressources en eau et expose le rôle des pratiques anthropiques dans l'aggravation du déficit pluviométrique.

I. Localisation et traits géographiques de la zone d'étude

La dépression d'Afourgagh dépend administrativement, de la collectivité de Laanoucer (fig. 1). Elle se présente se forme d'une large dépression composée de plusieurs unités plus au moins fermés résultat de l'activité tectonique et des processus de dissolution. La zone est caractérisée par la dominance des formations lithologiques perméables et à fort coefficient d'emménagement (calcaires et dolomie du Lias) et une pluviométrie relativement abondante. Ces conditions favorisent la richesse en ressources en eau notamment souterraines.

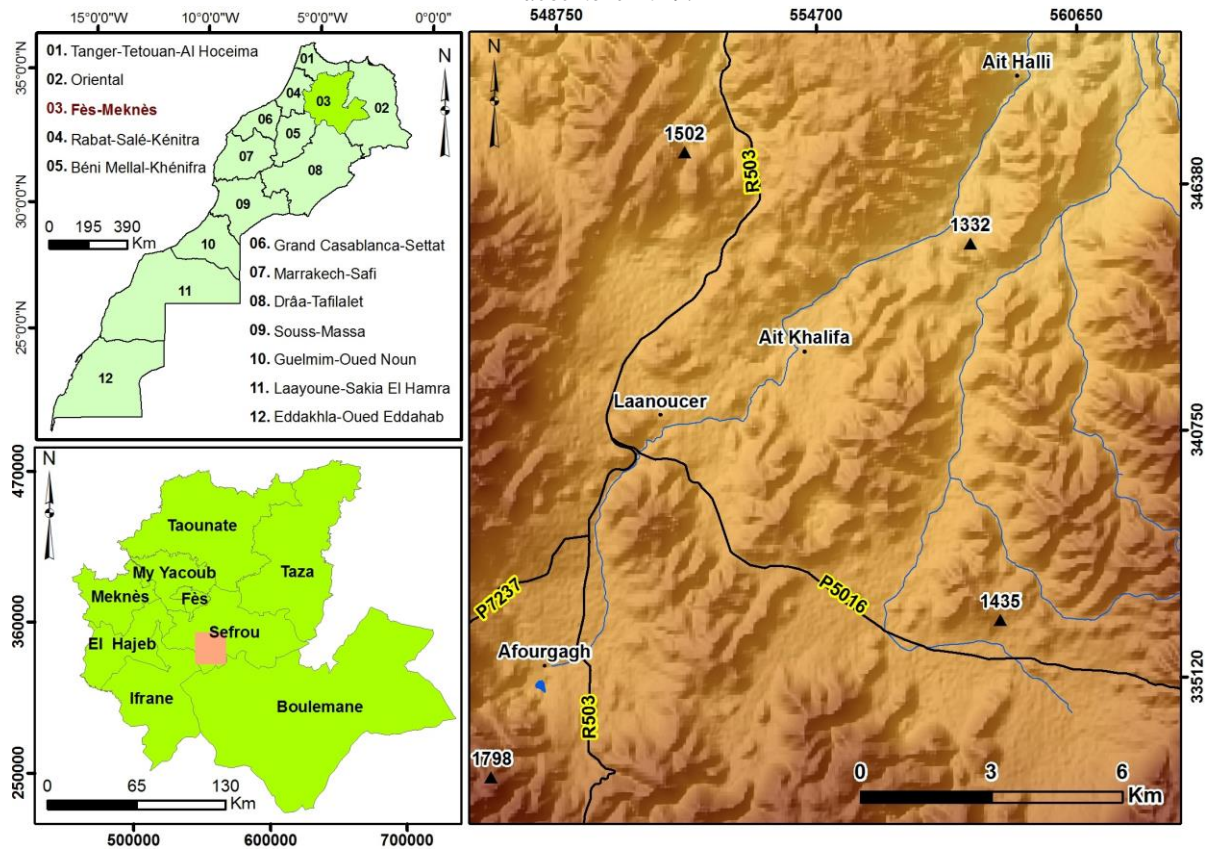


Figure 1 : Situation géographique et administrative de la zone d'étude

L'abondance des ressources en eau a contribué à l'installation de l'homme et ce depuis des millénaires comme l'attestent les différents vestiges archéologiques et historiques aux niveaux local et régional. Actuellement, l'augmentation remarquable du nombre de la population et l'introduction des pratiques modernes d'utilisation et d'exploitation des terres et des ressources en eau ont provoqué une dynamique rurale remarquable. Les extensions des périmètres irrigués et la pratique de cultures destinées à la commercialisation (pommes de terre, pommes, poires et cerises.) en sont les indicateurs.

II. Méthodologie et données

La mise en évidence de la sévérité de la sécheresse et l'extension de l'irrigation sont basées sur l'analyse des séries pluviométriques s'étalant sur plusieurs décennies et les couvertures cartographiques issues du traitement des images satellitaires multi dates.

L'analyse des séries pluviométriques par la méthode du « CUSUM »

Le CUSUM issu de la méthode du simple cumul (Brunet-Moret, 1971 ; Lettenmaier, 1976 in_Nejjari. A et al., 2000), permet de tester si la moyenne est stationnaire sur la durée d'une chronique. La valeur C_j est calculée pour chaque année comme indiqué ci-dessous :

$$C_j = \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})$$

Pour appliquer la méthode du CUSUM nous avons utilisé les données de la station de Fès qui se situe aux bordures du Moyen Atlas tabulaire. Le choix de cette station est dicté par la disponibilité d'une longue série de mesures, de 1914 à 2017. L'analyse d'une série pluviométrique qui dépasse un siècle (104 ans) nous a donné une vision claire sur la tendance d'évolution des hauteurs des précipitations. Pour vérifier l'homogénéité de la série

pluviométrique nous avons utilisé la méthode de segmentation de Hubert⁴ (Hubert et al., 1989).

Le traitement des images satellites

L'extraction des informations relatives à l'occupation du sol et le suivi de la superficie du lac d'Afourgagh sont basées sur la photo-interprétation des images CORONA et le traitement des images satellitaires (Landsat 5, Landsat 8 et Sentinel 2) multi-dates de 1972 à 2018 (Tableau 1).

Tableau 1 : Images utilisées

Satellite	Année	Mois	Jour	Path	Raw	Source	Résolution spatiale
CORONA KH-4B	1972	Mai	26	DS1101-2138DA020b		USGS	1,2m
			26	DS1101-2138DA020c			
Landsat 5 TM	1985	Mai	17	201	037	USGS	30m
		Aout	14	200	037		
	1998	Aout	02	200	037		
	2010	Aout	03	200	037		
Landsat 8 OLI	2018	Avril	19	200	037	USGS	30m
		Aout	09	200	037		
Sentinel 2	2018	Juillet	13	T30	SUB	ESA	10m
				T30	SUC		
				T30	STC		
				T30	STB		

III. La sécheresse une tendance marquant les décennies récentes

La méthode du simple cumul « CUSUM » permet de vérifier l'homogénéité des chroniques des stations. La courbe Cj (fig. 2) de la station de Fès illustre la tendance des années sèches et des années humides sur plus d'un siècle de mesure. La courbe du CUSUM et les résultats de la segmentation de Hubert (tableau 2) montrent que la période 1914 - 2017 est marquée par deux séries homogènes. La première s'étend de 1914 à 1979 où la courbe Cj atteint sa valeur maximale. La deuxième s'étale de 1980 à 2017 et se caractérise par une diminution très remarquable des valeurs de la courbe Cj. Il s'agit d'un changement brutal au niveau des quantités des précipitations. Durant cette période le Maroc a été affecté par une sécheresse très longue qui a perturbé les systèmes de production basés sur les précipitations (cultures en 'bour') et a provoqué la diminution des rendements, la dégradation des terres de pâturage, le tarissement des sources et l'assèchement des lacs.

⁴) La méthode de segmentation de Hubert a été appliquée par l'utilisation du logiciel « Khronostat ».

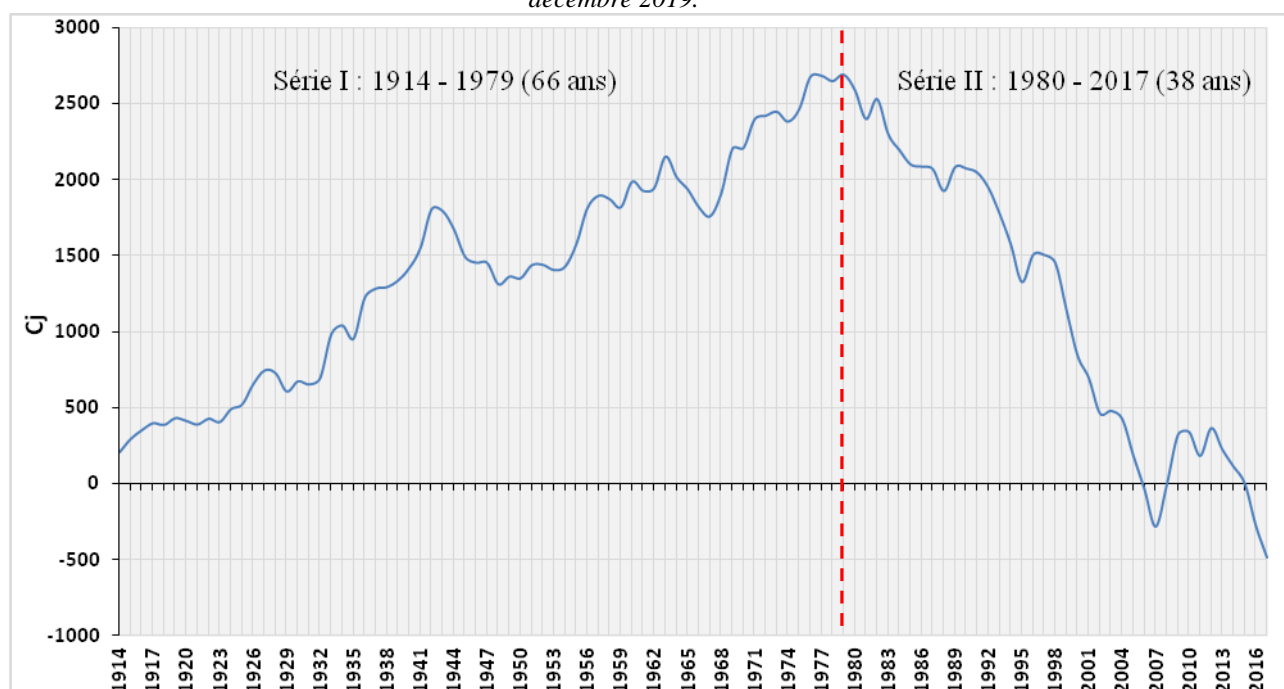


Figure 2 : CUSUM des précipitations annuelles (1914 – 2017) à la station de Fès

Tableau 2 : Résultat de la segmentation de Hubert des pluies annuelles de la station de Fès (1914-2017)

Début	Fin	Moyenne	Ecart Type	Nombre des années	Diagnostic
1914	2017	506,93	141,57	104	Série hétérogène
1914	1979	551,32	107,90	66	Série homogène
1980	2017	404,30	158,89	38	Série homogène

Au cours de la période (1980-2017) la station de Fès a enregistré une diminution progressive des précipitations annuelles. Une tendance du climat vers une sécheresse sévère s'installe provoquant la perturbation du système hydrologique régional. Cette sécheresse a accentué la pression des populations sur les ressources en eau. Elle a accru le recours à des pratiques modernes d'exploitation des terres et des eaux basées sur l'exhaure des eaux souterraines ce qui a accentué l'ampleur du déficit pluviométrique.

IV. L'intensification de l'irrigation facteur amplificateur du déficit hydrologique-

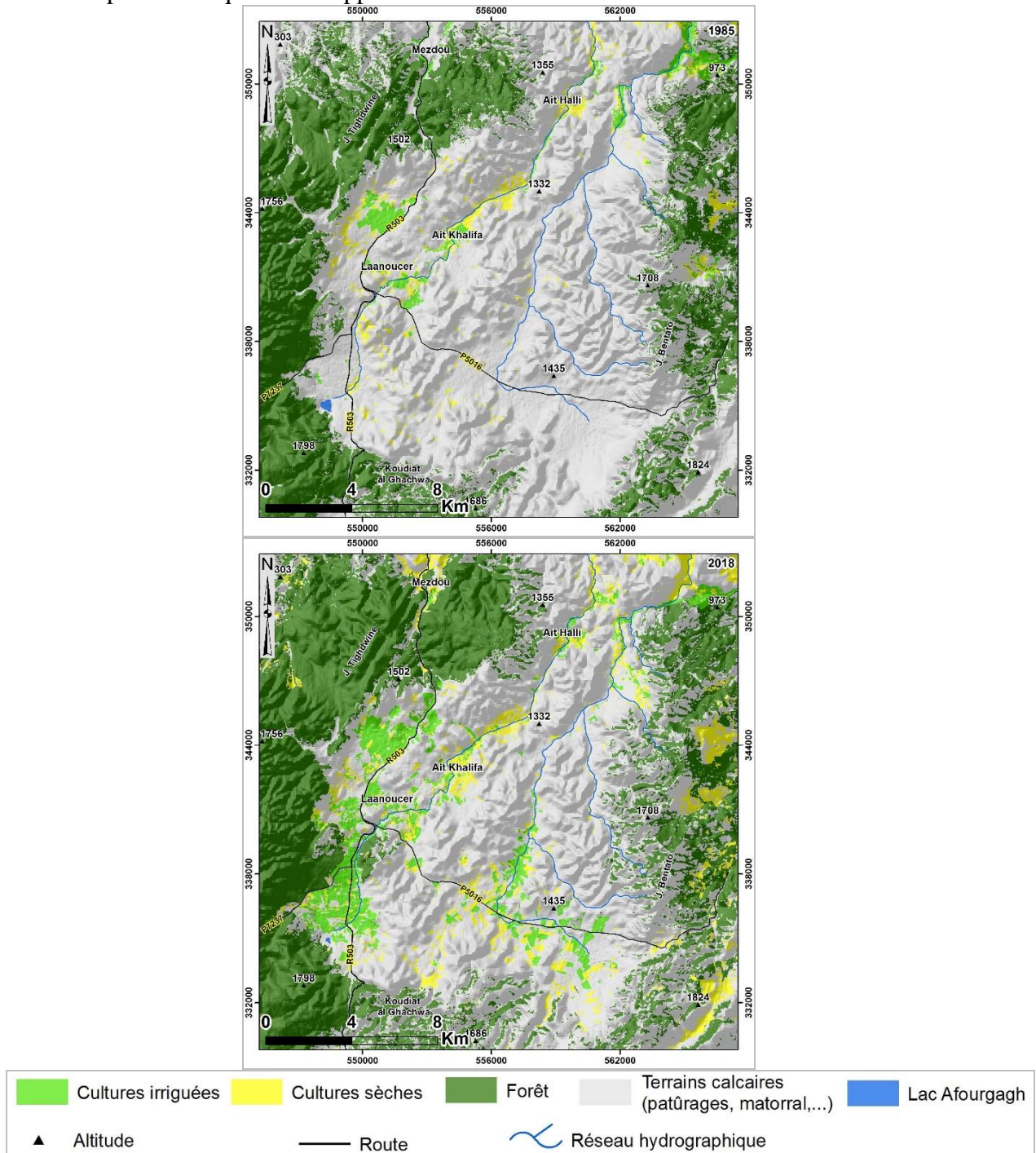
Le Moyen Atlas a été pendant longtemps un espace de pâturage (Jennan. L 1986, Tag. B. et Loew G 1996, Amyay. M et al., 2000). Depuis les années 1970 la société pastorale du Moyen Atlas s'est tournée vers l'agriculture et a développé des aires de cultures irriguées plus ou moins étendues. Dans ces zones -de pâturages- (piémonts et vallées intramontagnardes) les paysans et les villageois ont constitué des noyaux de sédentarisation et aménagé de petits espaces irrigués (Jennan. L 1986).

Dans la dépression d'Afourgagh l'abondance des ressources en eau notamment souterraines a contribué à l'essor d'une agriculture intensive basée sur l'irrigation (rosacées et maraichères) souvent au détriment des terrains de pâturage et terres des cultures en 'bour'. Le développement des pratiques modernes d'irrigation provoque une pression très forte sur les ressources en eau notamment souterraines.

« Sur les photographies aériennes de l'année 1962, la dépression d'Afourgagh comprend des terrains non cultivés, sans trace d'activité agricole permanente, ni découpage spatial quelconque et sans habitat construit en dur » (Amyay. M et al., 2000). Jusqu'à 1972

(images CORONA 1972) la dépression d'Afourgagh ne connaît pas de grands changements au niveau d'occupation des sols.

La comparaison entre la carte d'occupation des sols de 1985 et celle de 2018 (fig. 3) montre une extension flagrante des surfaces irriguées. Elles passent d'environ 850 ha en 1985 à 2730 ha environ en 2018. En 1985, les cultures irriguées occupaient les zones à proximité des cours d'eau et des sources. Par contre en 2018, l'irrigation s'étale dans les différentes zones de la dépression. Cela est lié au développement des techniques de creusement des puits et d'aménagement des terrains d'affleurement de roches carbonatées. La multiplication du nombre des puits associés à une exploitation non contrôlée des eaux souterraines achèvent le niveau piézométrique de la nappe vers une baisse très alarmante.



V. Les impacts de la sécheresse et l'intensification de l'irrigation sur les ressources en eau

La conjugaison des effets de la sécheresse et la surexploitation des ressources en eau notamment souterraines a abouti à la disparition des écoulements de surface et à une baisse très remarquable du niveau de la nappe dans la dépression d'Afourgagh. Cette situation se contraste avec celle qui régnait pendant les années 60 et 70. En effet, une abondance des ressources en eau superficielles est notable sur les photos aériennes de 1962 et les images CORONA de 1972. L'importance de l'extension des marécages témoigne de l'existence d'un niveau piézométrique de la nappe proche de la surface. L'évolution de la surface du lac d'Afourgagh reflète la régression des ressources en eau localement.

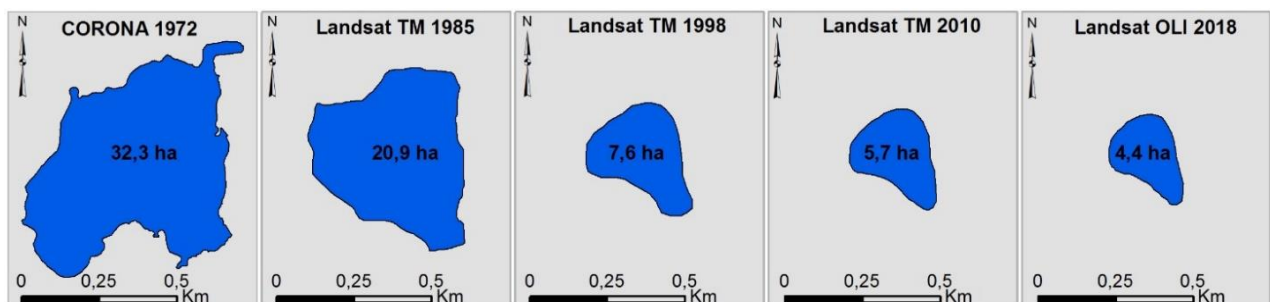


Figure 4 : Evolution du lac d'Afourgagh entre 1972 et 2018 (mois août)

La baisse généralisée du niveau piézométrique de la nappe phréatique dans la dépression d'Afourgagh entre 1972 et 2018 s'est traduite par un rétrécissement très remarquable de la surface du lac d'Afourgagh. En effet, la surface du lac s'étalait sur plus de 32 ha en 1985, mais actuellement elle ne dépasse pas 4 ha (fig. 4).

Conclusion

Dans la dépression d'Afourgagh, l'abondance des ressources en eau constitue un élément catalyseur pour le développement des périmètres irrigués. Actuellement, la baisse généralisée du niveau piézométrique de la nappe provoque une diminution alarmante des ressources en eau. Cette situation est liée à la combinaison de la sécheresse qui s'est installée depuis les années 80 et à l'intensification de l'exploitation des eaux des nappes souterraines par pompage qui amplifié les effets du déficit pluviométrique. Face à cette situation, l'intervention devient nécessaire pour améliorer les techniques d'irrigation, contrôler le pompage et le creusement des puits. De telles interventions sont en mesure de garantir une gestion efficace des ressources en eau et la durabilité des cultures irriguées.

Bibliographie

- AMYAY M., LAAOUANE M. ET AKDIM B. (2000). La pression anthropique sur les ressources en eau souterraine dans le Moyen Atlas. Exemple de la dépression d'Afourgagh. *Mosella*, T.XXV, n° 3-4, pp. 341-351.
- EL JIHAD M-D. (2016). Changement climatique et développement rural dans les montagnes du Moyen-Atlas et leurs bordures (Maroc). *Journal of Alpine Research, Revue de géographie alpine*, p. 1-18.
- HUBERT P., CARBONNEL J-P. ET CHAOUCHÉ A. (1989). Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest. *J. Hydrol* 10. P. 349-367.

- JENNAN L. (1986). Mutations récentes des campagnes du Moyen Atlas et de ses bordures, revue Méditerranée, troisième série, tome 59, 4. Villes et campagnes au Maroc. pp. 49-62.
- NEJJARI A., GILLE E. ET FRANCOIS D. (2000). Les longues chroniques pluviométriques et la caractérisation de la sécheresse récente au Nord du Moyen Atlas (Maroc). Mosella, T.XXV, n° 3-4, pp. 37-53.
- TAG B., LOEW G. (2000). Population et ressources en eau dans le bassin du Haut Sebou (Maroc). Mosella, T.XXV, n° 3-4, p. 289-303.