



LA VARIABILITE CLIMATIQUE ET SON INFLUENCE SUR LES RESSOURCES EN EAU DANS LA PARTIE SEPTENTRIONALE DU MOYEN ATLAS MAROCAIN: CAS DES CAUSSES DE SEFROU ET DE L'ANOCEUR

CLIMATIC VARIABILITY AND ITS INFLUENCE ON WATER RESOURCES IN THE NORTHERN PART OF THE MIDDLE ATLAS MOROCCAN: THE CASE OF THE SEFROU AND THE ANOCEUR CAUSSES

EL FELLAH IDRISSE B.¹⁻⁴, CHERAI B.², HINAJE S.³, MEHDI K.⁴

¹ Laboratoire des Sciences de la Vie et de la Terre, Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation, El Jadida, Maroc.

² Département des Sciences de la Vie et de la Terre, Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation, Tanger-Tétouan- Al Hoceima-, Maroc.

³ Laboratoire de Géo-Ressources et Environnement, Université Sidi Mohammed Ben Abdallah, Faculté des Sciences et Techniques, Fès-Saïs, Maroc.

⁴ Laboratoire Géosciences Marines et Sciences du Sol, Université Chouaib Doukkali, Faculté des Sciences, El Jadida, Maroc.

fellahbouhsine@yahoo.fr

RESUME

Les ressources en eau et leur répartition spatio-temporelle sont forcément liées aux variabilités climatiques. Dans le but de visualiser les manifestations des changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau superficielles et souterraines dans les causses de Sefrou et de l'Anoceur qui font partie du Moyen Atlas septentrional marocain, nous avons procédé à l'analyse et l'étude statistique de longues chroniques des données climatiques (1930/31-2014/2015 et 1968/69-2014/15) de cinq stations météorologiques représentatives de la zone d'étude. L'approche adoptée comporte : (1) critique et comblement des données lacunaires, (2) l'analyse de la variabilité climatique

et hydrologique (sources et Oued Aggay) interannuelle en se basant sur le calcul des indices pluviométriques et hydrologiques annuels pour une longue période ; (3) l'application de la méthode de CUSUM et d'Emberger, (4) la corrélation entre les débits et les précipitations.

On a pu constater que la zone d'étude a subi des changements climatiques remarquables. Les périodes humides ont été plus fréquentes de 1930/31 Jusqu'à 1977/78. La série 1968/69 - 2014/15 se distingue par la succession de trois périodes : période humide (1968/69-1977/78), période sèche (1978/79-2007/08) et période qui semble normale (2008/09-2014/15). La deuxième période sèche a été persistante et très sévère en particulier pour les années 1994/95, 1998/99, 1999/2000. Cette sécheresse s'est reprise entre 2011/12 et 2013/14, devient très sévère pour l'année 2015/2016. La succession des périodes de sécheresse ont provoqué la diminution des ressources en eau souterraines et superficielles des causses de Sefrou et de L'Anoœur.

Mots clés : Moyen Atlas septentrional – causses de Sefrou et de l'Anoœur – variabilités climatiques – précipitations – ressources en eau.

ABSTRACT

Water resources and their space-temporal distribution are inevitably linked to climatic variability. In order to visualize the manifestations of climate change and their impacts on surface and groundwater resources in the Sefrou and Anoœur causses that are part of the northern Atlas Middle moroccan, we have proceeded to the analysis and statistical study of long climatic data Chronicles (1930/31-2014/2015 and 1968/69-2014/15) of five meteorological stations representative of the study area. The approach adopted: (1) critical and filling of the incomplete data, (2) analysis of the climatic and hydrologic variability (sources and River Aggay) interannually based on the calculation of annual rainfall and hydrological indices for a long time; (3) The application of the CUSUM and the Emberger methods, (4) The correlation between debit and rainfall.

We have seen that the study area has undergone remarkable climate change. Wet periods were more frequent from 1930/31 up to 1977/78. The 1968/69-2014/15 series is distinguished by the succession of three periods: wet period (1968/69-1977/78), dry period (1978/79-2007/08) and period that appears normal (2008/09-2014/15). The second dry period was persistent and very severe especially for the years 1994/95, 1998/99, 1999/2000. This drought was recovering between 2011/12 and 2013/14, becoming very severe for the year

2015/2016. The succession of drought periods resulted in the reduction of groundwater and surface water resources in the Sefrou and Anoceur causses.

Key words: Northern Atlas medium Moroccan, Sefrou and Anoceur causses, climatic variability, rainfall, water resources.

INTRODUCTION

Le Maroc, à l'égard de tous les pays du pourtour méditerranéen et du sahel, est négativement impacté par les changements climatiques, qui sont manifestement exprimés par l'accentuation des phénomènes extrêmes tels que les inondations et la sécheresse. Les successions de périodes de sécheresses, en Afrique du nord et dans le pourtour méditerranéen, sont documentées dans les travaux de plusieurs chercheurs à savoir Esper et al. (2007) sur le Maroc, Xoplaki et al. (2000) en Grèce et Shaban (2009) à l'aide de différents indicateurs au Liban.

Le Maroc est caractérisé par une forte irrégularité du régime de précipitations aussi bien dans le temps que dans l'espace. Celle-ci a influencé le potentiel hydrique du Moyen Atlas, considéré pendant longtemps, le réservoir des ressources en eaux à l'échelle du pays. Ces ressources en eaux superficielles et profondes, sont aujourd'hui sujettes à d'importants bouleversements et deviennent insuffisantes pour répondre aux besoins agricoles, domestiques et industriels de la région.

Les causses de Sefrou et de l'Anoceur qui font partie du Moyen Atlas, par leurs situations géographique, leurs constitutions lithologiques et leurs structures, sont caractérisés par la présence d'importantes ressources en eau superficielles (lac ou "Dayet" Afourgagh, rivière ou "Oued" Aggay, source ou "Aïn" Regrag, Aïn El Ouata,...) et souterraines (nappe phréatique). Ces ressources connaissent depuis les années quatre-vingt une régression remarquable voir même le tarissement de plusieurs sources et lacs sous l'effet de la diminution des précipitations (El Fellah Idrissi, 2010). Le développement des activités d'agriculture et d'arboriculture fruitières dans ce secteur a également contribué à cette régression.

La zone d'étude connaît d'importants changements climatiques qu'il soit au niveau des températures, des précipitations ou des événements extrêmes (inondations ou sécheresse). La ville de Sefrou a été touchée plusieurs fois par des inondations, la plus catastrophique est celle du 25 septembre 1950 et qui a causé des dégâts humains et matériels. Les périodes de sécheresse notamment des années quatre-vingt se traduisent par la diminution des ressources en eau et

par conséquent des mouvements migratoires des populations rurales qui occupent les zones périphériques de la ville de Sefrou.

L'étude des données climatique est nécessaire à la visualisation des changements climatiques, à la compréhension des mécanismes intervenant dans l'alimentation de la circulation des eaux superficielles et souterraines, et l'évolution des ressources en eau.

L'objectif de ce travail est de :

- étudier les variabilités climatiques dans les causes de Sefrou et de l'Anoceur à partir des données météorologiques disponibles (précipitations et température) ;
- mettre en évidence les grandes tendances (sèches et humides) et les variations climatiques régionales qui caractérisent la zone étudiée au cours d'une longue période de 1930/31 à 2014/15 et de 1968/69 à 2014/15;
- montrer l'impact des variations climatiques sur les ressources en eau.

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le secteur d'étude, concerne deux unités structurales qui se situent dans la partie septentrionale du causse moyen atlasique. Il s'agit des causes de Sefrou et de l'Anoceur. Cette zone se situe à 20 km à vol d'oiseau au SE de la ville de Fès et à 46 km au NW de Boulemane, et limité au nord par la plaine de Saïss, à l'Ouest et au SW par le causse d'Imouzzer au Sud par le causse de Guigou et à l'Est par le moyen Atlas plissé (Fig.1)

Les causes de Sefrou et de L'Anoceur sont constitués essentiellement de terrains du Lias inférieur. Ces terrains sont représentés essentiellement par une puissante série carbonatée, généralement dolomitique. Cette couche aquifère renferme une importante nappe d'eau qui est retenue par un plancher imperméable constitué d'argilites rouges du Trias supérieur-Lias inférieur (Cousminer & Manspeizer, 1976 ; Biron & Courtinat, 1982 ; Baudelot et al., 1986 ; Sabaoui, 1987).

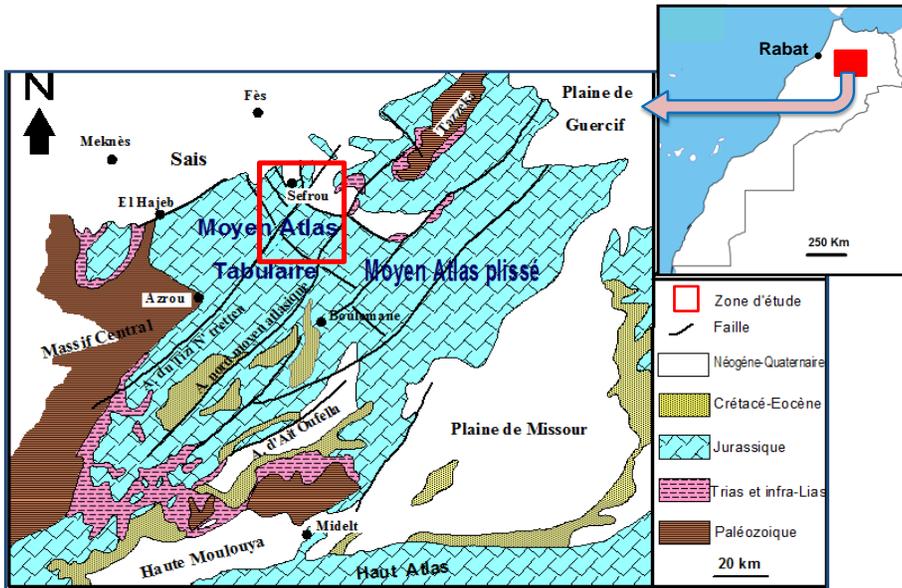


Figure 1 : Carte structurale du Moyen Atlas et situation du domaine d'étude (Carte géologique du Maroc au 1/1000 000 ; Hinaje, 2004 ; redessinée).

MATERIEL ET METHODES

Choix des données

Vue la nature topographique du secteur d'étude, qui se caractérise par un contraste des reliefs et l'importance de l'altitude en allant vers le Sud, on a fait recours à l'usage des données de cinq stations météorologiques : Sefrou, Fès Saïs, Azzaba, Imouzzer Kandari et l'Anoceeur (Fig.2 et Tab.1).

Les données de base des précipitations et des températures, ont été récapitulées de la station météorologique de Fès Saïs, de la Direction Provinciale d'Équipement (DPE) de Sefrou et de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de L'Anoceur. L'analyse de ces deux paramètres (P et T) pour les cinq stations, permettra par la suite une meilleure représentation spatiale du climat qui caractérise l'ensemble du secteur d'étude. Quant aux précipitations neigeuses, qui caractérisent les stations d'Imouzzer, de L'Anoceeur et de Sefrou, ne sont pas prises en considération à cause de l'absence de données qui quantifient les volumes d'eaux issues de ces précipitations.

Tableau 1 : Cordonnées des stations météorologiques utilisées.

Station	X	Y	Z
Sefrou	549,37	359,20	930
Azzaba	569,65	359,57	478
Anoœur	550	341	1345
Imouzzer	536	348	1450
Fès Saïs	538,2	370,3	569

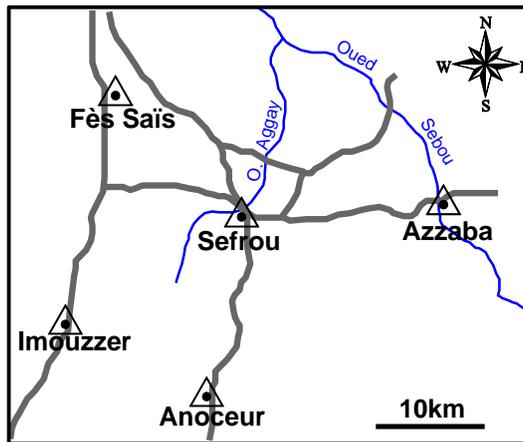


Figure 2 : Situation géographique es stations météorologique

Pour les cinq stations la période d’observation varie d’une station à l’autre (Tab.2). Cependant l’intervalle pris pour l’étude des précipitations pour ces stations est compris entre Septembre 1968 et Août 2015, ce qui est équivalent à une période de 47 années hydrologiques.

Tableau 2 : Séries des précipitations disponibles.

Stations	1930/31	1950/51	1970-71	1990/91	2010/11	2014/15
Fès Saïs	1930/31 – 2014/15					
Sefrou	1930/31– 2013/14					
Azzaba	1957/58 – 2013/14					
Imouzzer Kander	1930/31– 2001/02					
L’Anoœur	1968/69 – 2004/05					

Quant à la température, les cinq stations météorologiques sont caractérisées par l’indisponibilité de séries homogènes en ce qui concerne le choix de la période de référence. En effet, la période de fonctionnement de ces stations est variable d’une station à l’autre (Tab. 3), voir même incomplète.

Tableau 3 : Séries des températures disponibles.

Stations	1920/21	1940/41	1960/61	1980/81	2000/01	2014/15
Fès Saïs				1961/62 - 2014/15		
Sefrou	1923/24 - 1956/57			84/85-97/98		
Azzaba				1982/83-2003/04		
Imouzzer Kander	1930/31-1957/58					
L'Anoœur				1976/77-2002/03		

Pour l'étude de l'évolution des ressources en eau de la zone, en plus de l'Oued Aggay, nous avons aussi ciblé les sources qui sont soumis à des mesures mensuelles de leur débit comme Aïn Jorf, Aïn Regrag, Aïn El Ouata et Aïoun Snane. Les données des débits disponibles concernent la période de 1979 à 2004 pour l'Oued Aggay et 1984/85 à 2003/04 pour les sources. Ces données ont été récapitulées de la Direction Provinciale d'Équipement de Sefrou.

Méthodologie

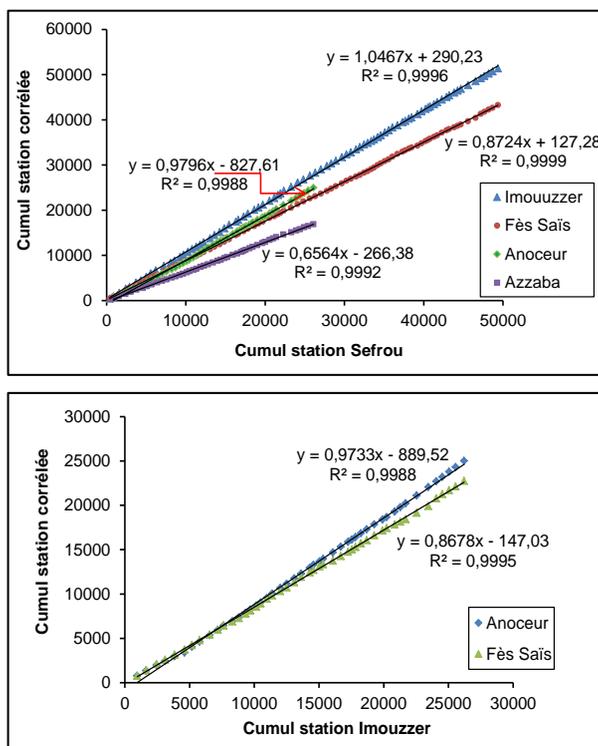
La démarche adoptée pour atteindre les objectifs de ce travail se base sur :

- la critique et l'homogénéisation des données pluviométriques par la méthode des doubles cumuls ;
- le comblement des lacunes dans les séries pluviométriques et de températures par la méthode de régression linéaire ;
- l'analyse de la variabilité climatique interannuelle on se basant sur la méthode du calcul de l'indice pluviométrique annuel pour une longue période allant de 1968/69 à 2014/15 ;
- l'application de la méthode de CUSUM, qui est issue de la méthode du simple cumul pour visualiser les grandes tendances climatiques (périodes de sécheresse / périodes humides) au cours de la période allant de 1930/31 à 2014/15 ;
- l'analyse de l'évolution des modules annuels de l'Oued Aggay et des sources on se basant sur la méthode du calcul de l'indice hydrologique annuel pour une longue période ;
- l'application de la méthode d'Emberger, qui permet de déterminer le cadre climatique propre pour chaque station, pour visualiser l'effet de la sécheresse (1978/79 – 2007/08) sur les étages bioclimatiques de la zone d'étude.

- la corrélation de la chronique des débits de l'Oued Aggay avec celle des précipitations afin d'évaluer la répercussion du climat sur les ressources en eau.

Critiques et homogénéisation des données pluviométriques

Avant l'analyse des données pluviométriques, une étape de critique des données est préalablement nécessaire, c'est-à-dire l'évaluation de leur qualité et de leur homogénéité temporelle. Pour cette raison, nous avons établi par le moyen de la méthode des doubles cumuls une vérification de l'homogénéité des totaux annuels des précipitations. La figure 3 montre que les points des graphes de double cumul s'ajustent en une seule droite. Aucun changement de pente significatif traduisant l'apparition d'une dérive n'apparaît quelle que soit la station considérée. On peut donc admettre qu'aucun dérèglement n'est survenu dans la mesure de la pluie durant la période d'observation (1968/69-2014/15).



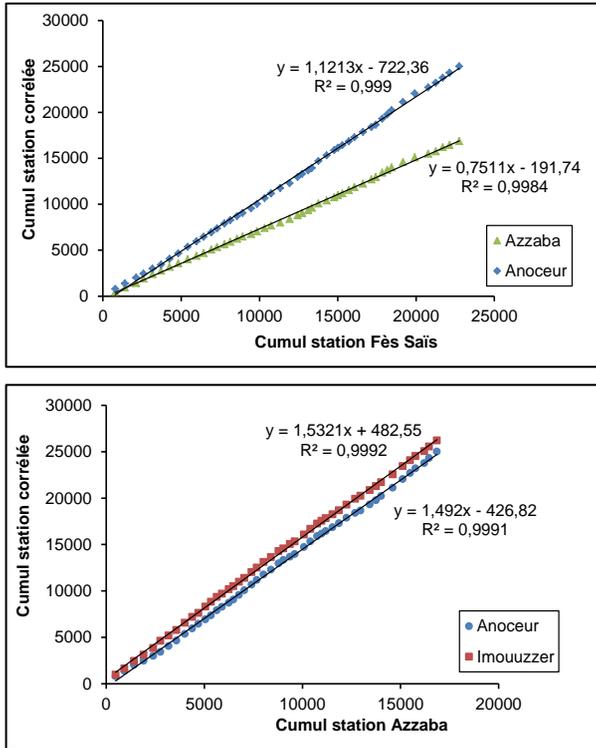
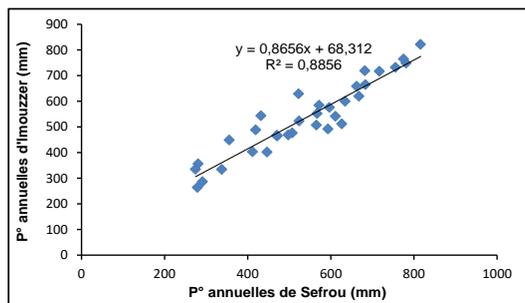
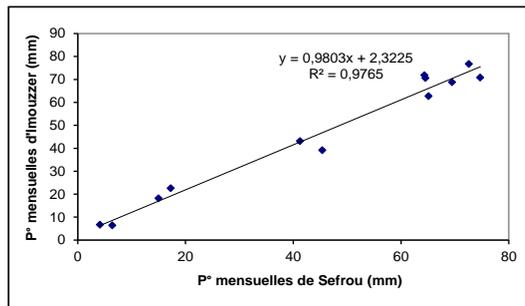
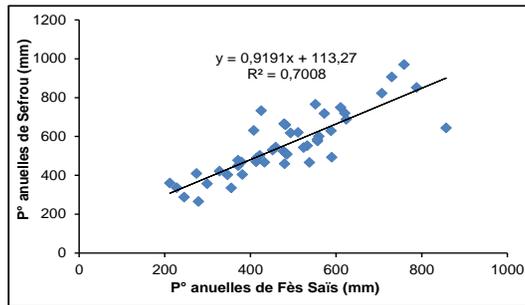
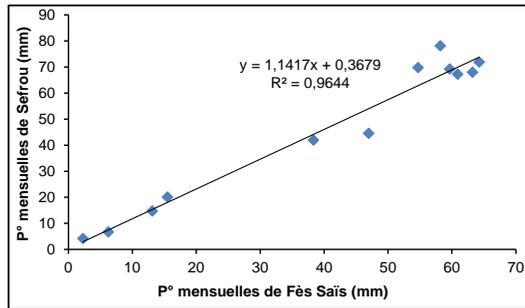


Figure 3 : Graphiques des doubles cumuls annuels (1930/31-2014/15 et 1968/69-2014/15) entre stations, droites de régression linéaire et coefficients de corrélations.

Comblement des données lacunaires

À l'exception de la station de Fès Saïs qui dispose d'une série pluviométrique complète, les autres stations présentent des séries qui montrent le manque de quelques mois voire même quelques dernières années. Pour résoudre ce problème on a procédé au comblement des lacunes des séries pluviométriques incomplètes par la méthode de régression linéaire, c'est-à-dire par corrélation avec la station la plus complète, la plus proche et qui montre de bon coefficient de corrélation. À partir de la droite de régression, on détermine les valeurs des précipitations annuelles et mensuelles qui manquent (Fig.4).



La variabilité climatique et son influence sur les ressources en eau dans la partie septentrionale du moyen Atlas marocain: cas des causses de Sefrou et de l'Anoecer

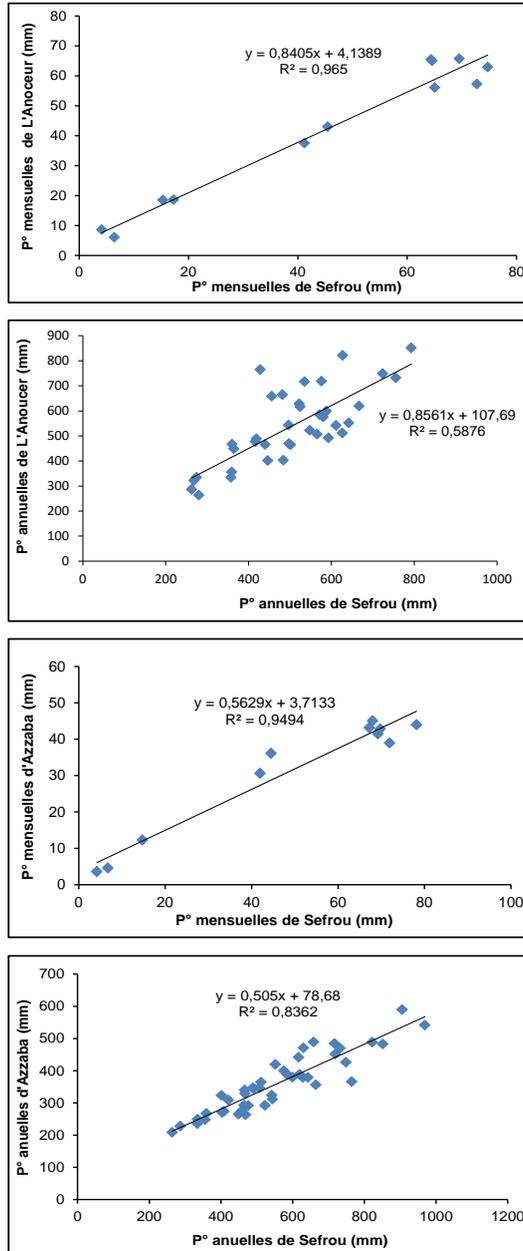


Figure 4 : Droites de régression linéaire et coefficients de corrélations obtenus pour les cinq stations.

Indices pluviométriques et hydrologiques

En vue de suivre les fluctuations des régimes pluviométrique et hydrologique de la région pendant la période d'étude, la méthode de l'indice pluviométrique (ou du débit) a été appliquée. Cette méthode a l'avantage de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires. Ainsi, pour chacune des stations pluviométriques (ou sources et Oued Aggay), un indice de la pluie (ou du débit) annuelle a été déterminé. Il se définit comme une variable centrée réduite exprimée par l'équation (Lamb, 1982 ; Nicholson et al. 1988) :

$$I_i = (X_i - \bar{X}) / \sigma$$

où I_i est l'indice de pluie (ou du débit) de l'année i , X_i la pluviométrie (ou débit) de l'année i , \bar{X} la pluviométrie (ou débit) moyenne annuelle sur la période (de référence) de 1968/69 à 2014/15 et σ l'écart-type de la pluviométrie (ou débit) sur la même période de référence.

Méthode de CUSUM

L'application de la méthode du CUSUM, qui est issue de la méthode du simple cumul, permet de tester si la moyenne est stationnaire sur la durée d'une chronique (Brunet – Moret, 1971; Lettenmayer, 1976), de vérifier l'homogénéité des chroniques des stations entre elles et d'illustrer les tendances humides et sèche du climat. La valeur C_j est calculée pour chaque année :

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

où x_i , \bar{x} et n correspondent respectivement à la pluie annuelle, la moyenne pluviométrique de la période étudiée et n le nombre d'année jusqu'à l'année i .

Ainsi la courbe de CUSUM obtenue représente le cumul des écarts à la moyenne, où les portions de droite à pente positive indiquent une tendance humide, et les portions de droite à pente négative traduisent une tendance sèche.

Méthode d'Emberger

Le climagramme d'Emberger associe en abscisse la rigueur hivernale basée sur la moyenne des minimas des mois les plus froids (m), et en ordonnée le quotient pluviométrique $Q=2000P/M^2-m^2$, où P est la pluviométrie annuelle moyenne, M la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud et m la moyenne des températures minimales du mois le plus froid. Ce climagramme identifie les différents étages bioclimatiques (humide, subhumide, semi-aride, aride, saharien).

RESULTATS ET DISCUSSION

Variation spatiale

Dans la zone d'étude, comme partout dans l'ensemble de la chaîne du Moyen Atlas, la répartition géographique de la pluviométrie dépend étroitement de l'altitude et de l'exposition des zones aux masses nuageuses provenant du NW. Bien que les cinq stations soient proches (séparés d'au plus 30Km), elles enregistrent des hauteurs de précipitations différentes liées à l'orographie, environ 200mm d'écart entre Azzaba et Imouzzer. En effet, la moyenne pluviométrique annuelle croît généralement, du Nord vers le Sud en direction des hautes altitudes. La moyenne annuelle est de 556mm à Sefrou, de 532mm à L'Anoceur, de 557mm à Imouzzer (1560m d'altitude), de 359mm à Azzaba (478m d'altitude) et de 482mm à Fès Saïs (569m d'altitude). Cette dernière station, en plus de sa représentativité pour la plaine de Saïs, elle peut représenter aussi les versants NW de la zone d'étude. Ainsi, à partir des résultats obtenus pour les cinq stations, on peut déduire que la pluviométrie moyenne pour le secteur étudié est de 497mm, pour la période comprise entre 1968/69 et 2014/15.

Variabilité interannuelle des précipitations

L'analyse de la variabilité des indices pluviométriques annuels au cours de la série 1968/69 à 2014/15, montrent une répartition hétérogène des intensités pluviométriques pour l'ensemble des stations. La figure 5 confirme l'irrégularité des pluies et met en évidence une diminution importante des apports depuis 1978/79. En effet, ce graphique montre trois différents découpages :

- la série 1968/69 - 1977/78 marque une période humide avec une moyenne pluviométrique pour l'ensemble de la zone atteint 610mm. Les années déficitaires étaient nom marquées (sauf les années 1971/72 et 1973/74 pour la station de L'Anoceur), par contre les années excédentaires étaient très fréquentes (les plus humide sont : 1968/69, 2008/09 et 2009/10).
- la période 1978/79 - 2007/08 était sèche où les années humides étaient très peu fréquentes et la moyenne pluviométrique de la zone est de 435mm, ce qui est équivalent à 30% de réduction de précipitations par rapport à la période précédente. Les années les plus sèches sont représentées par 1994/95, 1998/99, 1999/2000.

- la période 2008/09 - 2014/15 semble normale et se distingue par une alternance des années humides et années sèches avec une moyenne pluviométrique de la zone de 600mm.

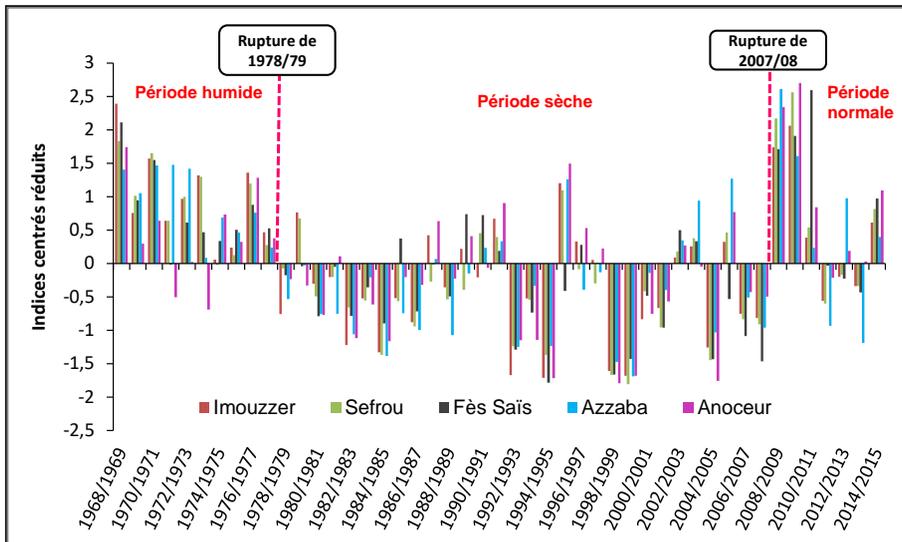


Figure 5 : Évolution interannuelle de la pluviométrie des cinq stations avec les indices centrés réduits des hauteurs pluviométriques annuelles (1968/69–2014/15).

Le recours à une série de données annuelles plus longue était indispensable pour caler et faire apparaître la situation pluviométrique de la série étudiée (1968/69 – 2014/15) sur une longue période (1930/31 – 2014/15).

L'examen du diagramme de CUSUMS des précipitations annuelles des cinq stations (Fig.6) montre que les séries pluviométriques traitées pour l'ensemble des stations, présentent majoritairement la même allure et le même découpage car elles sont soumises aux mêmes influences maritimes (flux NW). La principale rupture entre 1930/31 et 2014/15 est représentée par l'année hydrologique 1978/79 à partir de laquelle la sécheresse récente ou le déficit de la pluie commence à apparaître. Durant toute la période considérée, huit phases peuvent être distinguées (Tab.4) :

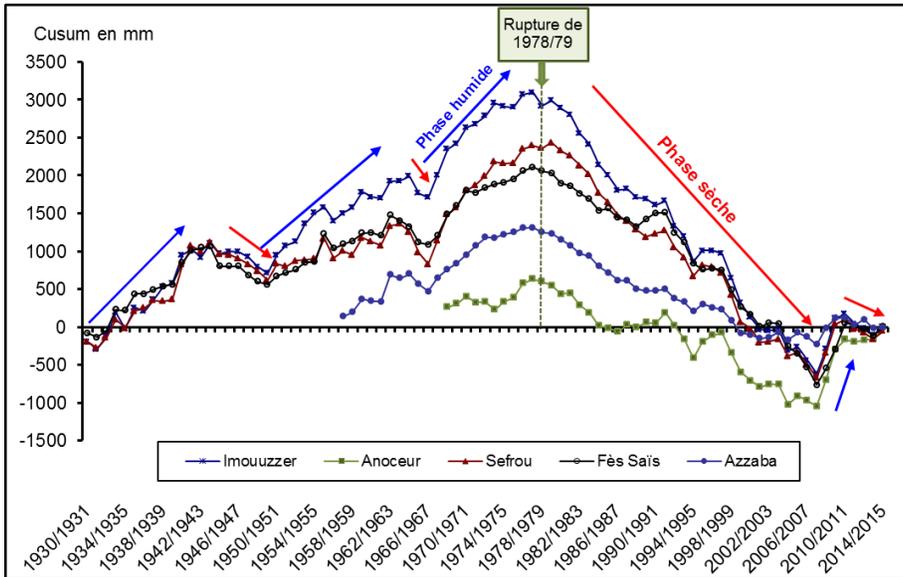


Figure 6 : CUSUMS des précipitations annuelles des cinq stations (1930/31–2014/15).

Tableau 4 : Découpage de la chronique des précipitations (1930/31 – 2014/15) des Causses de Sefrou et de L'Anoœur.

Période	Nombre d'années	Tendance climatique
1930/31 – 1943/44	14	Humide
1944/45 – 1949/50	6	Sèche
1950/51 – 1963/64	14	Humide
1964/65 – 1966/67	3	Sèche
1967/68 – 1977/78	11	Humide
1978/79 – 2007/08	30	Sèche
2008/09 – 2010/11	3	Humide
2011/12 – 2014/15	4	Sèche

Il est à noter qu'à l'intérieur de ces séries, des années exceptionnelles contraires à la tendance de chaque période peuvent apparaître (1934/35, 1956/57, 1961/62, 1995/96, 2008/09 et 2009/10).

Les périodes humides ont été plus fréquentes jusqu'à 1977/78, favorisant la reconstitution rapide des réserves hydriques et la recharge de la nappe aquifère. Tandis que la période sèche (1978/79 à 2007/08) ou la sécheresse récente a été persistante et très sévère surtout pour les années 1997/98 et 1998/99. Cette tendance chaude et sèche s'est reprise entre 2011/12 et 2014/15 en marquant la

continuité de la phase majeure de sécheresse commencée il y a plus de 35 ans (1978/79 – 2014/15). Ceci provoque la diminution des ressources en eau souterraines et superficielles dans la zone. Plusieurs auteurs comme Gille et al. (2000), Nejjar et al. (2000), Sary et Akdim (2000), et Obda (2004) insistent sur l'ampleur sans précédent de la sécheresse dans le Moyen Atlas par son aspect cumulatif des déficits sur près de 15 ans.

Variation saisonnière des précipitations

Dans la zone d'étude, la répartition des précipitations deviennent importantes au niveau des stations situées à hautes altitudes. Il est certain que l'hiver reste la saison la plus humide, suivie du printemps et ensuite de l'automne.

En ce qui concerne l'effet saisonnier, la sécheresse (1978/79-2007/08) au Causses de Sefrou et de l'Anoœur se caractérise essentiellement par une baisse de la pluviosité qui touche essentiellement les saisons d'hiver et du printemps avec une réduction respective de 33% et 38%. Par contre, la saison d'automne est non affectée, on constate une légère augmentation qui atteint 1.8% (Fig.7). L'été qui marque bien sûr la saison sèche, se caractérise par la prédominance des pluies liées essentiellement à la fréquence des orages locaux (El Fellah Idrissi, 2010). Ces derniers sont dus à la forte insolation au sol qui donne parfois naissance à des courants ascendants ce qui provoque la formation des précipitations orageuses (Isnard, 1958).

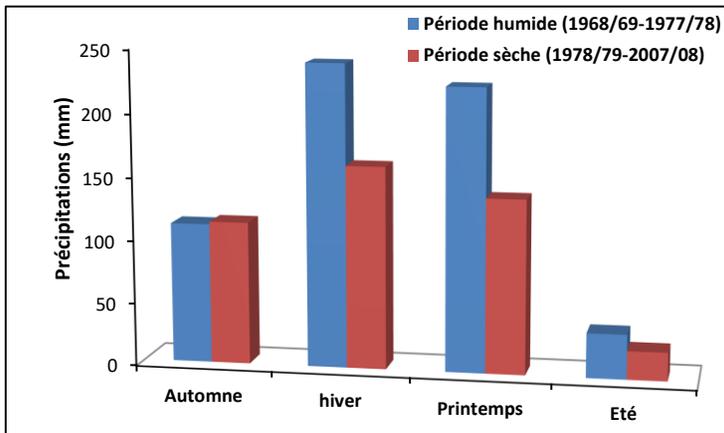


Figure 7 : Moyen des précipitations saisonnières des cinq stations pour les deux périodes humide (1968/69-1977/78) et sèche (1978/79-2007/08).

Variation des étages bioclimatiques

Afin de visualiser l'évolution des étages bioclimatiques de la zone dans le contexte de la variabilité climatique, nous avons appliqué la méthode d'Emberger pour la période humide (1968/69 - 1977/78) et la période sèche (1978/79 - 2007/08). Cette méthode nous a permis de constater que, pendant la période sèche, les projections des cinq stations de la zone d'étude ont subi une nette translation dans leurs positions au niveau des étages bioclimatiques (Fig. 8 et Tab. 5). Ce changement des étages bioclimatiques est matérialisé par la diminution des précipitations, l'abaissement de la température en hivers et l'augmentation de celle-ci pendant les autres saisons. Cette variation de température atteint 1°C d'écart en moyen entre les deux périodes humide et sèche.

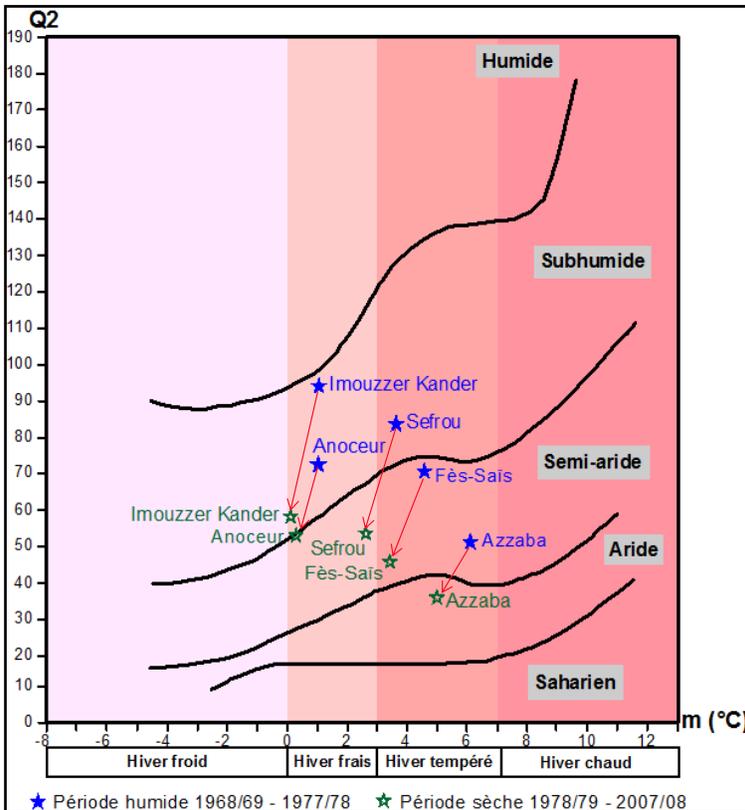


Figure 8 : Projection des stations étudiées dans le climagramme d'Emberger pour la période humide (1968/69-1977/78) et la période sèche (1978/79-2007/08).

Tableau 5 : Comparaison entre les étages bioclimatiques des stations pour les deux périodes humide (1968/69-1977/78) et sèche (1978/79-2007/08).

Stations	Période humide (1968/69-1977/78)		Période sèche (1978/79-2007/08)	
	Etage bioclimatique	Hiver	Etage bioclimatique	Hiver
Imouzzer Kander	Subhumide	Frais	Subhumide	Frais
Anoceur	Subhumide	Frais	Semi-aride	Frais
Sefrou	Subhumide	Tempéré	Semi-aride	Frais
Fès Saïs	Semi-aride	Tempéré	Semi-aride	Tempéré
Azzaba	Semi-aride	Tempéré	Aride	Tempéré

IMPACT DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES EN EAU

Régression du débit de l'Oued Aggay

Le réseau hydrographique de la zone d'étude est constitué par Oued Aggay qui draine un bassin versant d'une superficie de 318 km² (El Fellah Idrissi, 2001). Ce bassin versant est situé à cheval sur la partie Occidentale du causse de Sefrou et la partie méridionale de la plaine de Saïs. En aval de la ville de Sefrou, l'Oued Aggay s'étend vers le NE et forme par la suite un affluent de l'Oued Sebou.

L'évolution des indices centrés réduits des modules annuels d'Aggay montre une régression de l'écoulement depuis l'année 1979 (Fig.9). Un écart de 405 m³/s entre le plus fort débit (687 m³/s en 1979) et le plus faible débit observé (282 m³/s en 1995). Vers la fin des années 70 le débit était de l'ordre de 850 l/s en 1968, après les années 80 ce débit connaît une régression et sa moyenne pour la période de 1980 à 2003 ne dépasse pas 390l/s, ce qui signifié que le débit d'Aggay est soumis, entre autres causes, aux aléas climatiques matérialisés par la sécheresse (1978/79-2007/08).

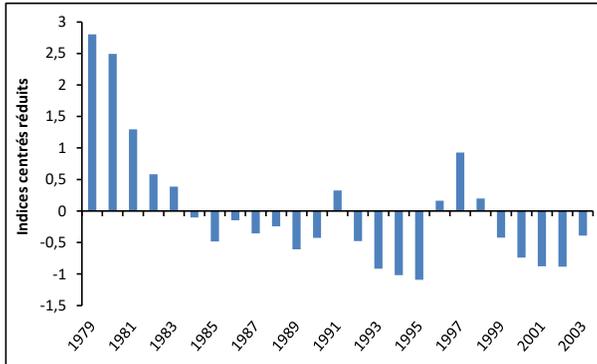


Figure 9 : Variation interannuelle des indices centrés réduits des modules annuels de l'Oued Aggay (1979 à 2003).

La corrélation entre les débits et les précipitations annuelles pour la série hydrologique s'étalant de 1984/85 à 2003/04, montre qu'il existe un synchronisme entre ces deux paramètres (Fig. 10). En effet, le débit de l'Oued Aggay est sensible à la variation des précipitations au niveau du bassin versant. Il est important pendant les périodes humides et faible en périodes sèches. Une exception est marquée pendant l'année 2000/01 où le débit reste en régression continue malgré l'augmentation des précipitations durant cette année. Ceci peut être dû à la répercussion de la sévérité de l'année 1999/2000 qui était très sèche (264 l/s).

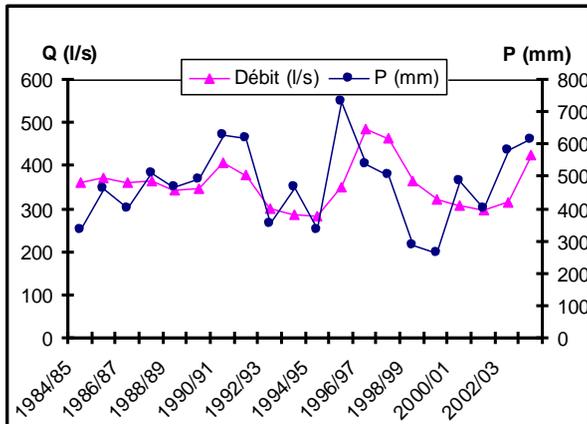


Figure 10 : Corrélation entre les débits moyens annuels de l'Oued Aggay et les précipitations annuelles (1984/85 – 2003/04).

Dans une étude qui concerne le haut Sebou, Qadem (2015) montre que le débit annuel de l'Oued Sebou (principal cours d'eau qui draine la partie septentrionale du Moyen Atlas), suit les tendances des séries pluviométriques humides et sèches. Le CUSUM de débit de L'Oued Sebou pour la période 1957/58-2009/10 met en évidence 3 séries distinguées (Fig. 11 et Tab. 6). Ces séries sont conformes au découpage qu'on a déterminé pour la chronique des précipitations 1930/31- 2014/15.

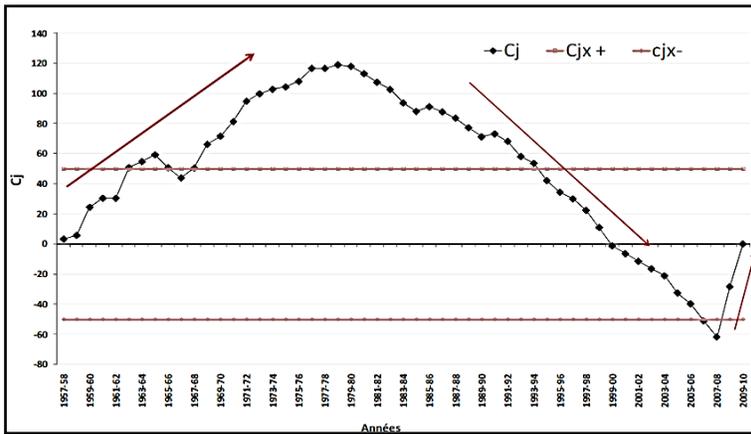


Figure 11 : CUSUM des modules annuels à la station d'Azzaba 1957/58-2009/2010 (Qadem 2015).

Tableau 6 : Découpage de la chronique des débits (1957/58-2009/2010) de l'Oued Sebou à la station d'Azzaba en périodes homogènes (Qadem 2015).

Période	Moyenne m ³ /s	Ecart-type	Nombre d'année	Diagnostic
1957/58– 1978/79	22,93	7,12	21	Humide
1979/80-2007/2008	11,26	3,79	28	Sec
2008/2009-2009/10	48,54	/	2	Humide

Abaissement de débit des Sources

L'évolution des indices centrés réduits des modules annuels des sources Regrag, Jorf, Sname et El Ouata, montre une tendance générale à la baisse depuis l'année hydrologique 1984/85 (Fig. 12). La source Jorf connaît des tarissements à partir de l'année 1999/2000 qui était sèche (280mm à Anocour) et qui est précédée par une autre année très sèche (1998/99 263mm). Cette baisse est une conséquence

directe de la réduction des apports et de l'exploitation excessive de la nappe par l'intermédiaire des forages et des centaines de puits (El Fellah Idrissi, 2010). Ceux-ci traduisent l'effet accentué de la sécheresse (1978/79 - 2007/08) où le déficit des précipitations était plus important.

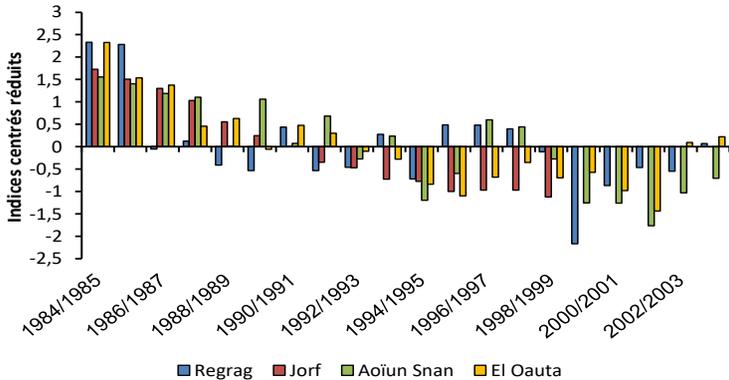


Figure 12 : Évolution interannuelle des indices centrés réduits des modules annuels des sources Regrag, Jorf, Aoiun Snan et El Ouata (1984/85-2003/04).

Régression de la superficie du lac Afourgagh et assèchement du lac Aguelmam-L'Anoceur

L'analyse des photographies aériennes de l'année 1962, montre que :

- le lac d'Aguelmam-L'Anoceur occupe une superficie très importante avant son assèchement et sa disparition complète après la fin des années 90 (Fig13).
- le lac Afourgagh, occupe une superficie dépassant les 30 hectares et assure l'alimentation de l'Oued Afourgagh qui constituait un drain permanent durant toute l'année. Elles révèlent aussi l'existence d'importantes zones marécageuses qui se situent le long de l'Oued Afourgagh (Fig.14). Ces zones reflètent en effet, l'affleurement de la nappe à la surface à cette époque (El Fellah Idrissi, 2010).

Les sources qui existaient à la bordure du lac Afourgagh sont complètement taries. Actuellement, ce lac qui ne possède ni sources d'alimentation (sauf les eaux de pluies) ni exutoire comme jadis, a subi un rétrécissement (superficie moins de 3 hectares) et tend lui aussi vers la disparition, ce qui a provoqué l'interruption de la relation qui existait entre le lac et l'Oued qui ne coule qu'en période de grandes averses.

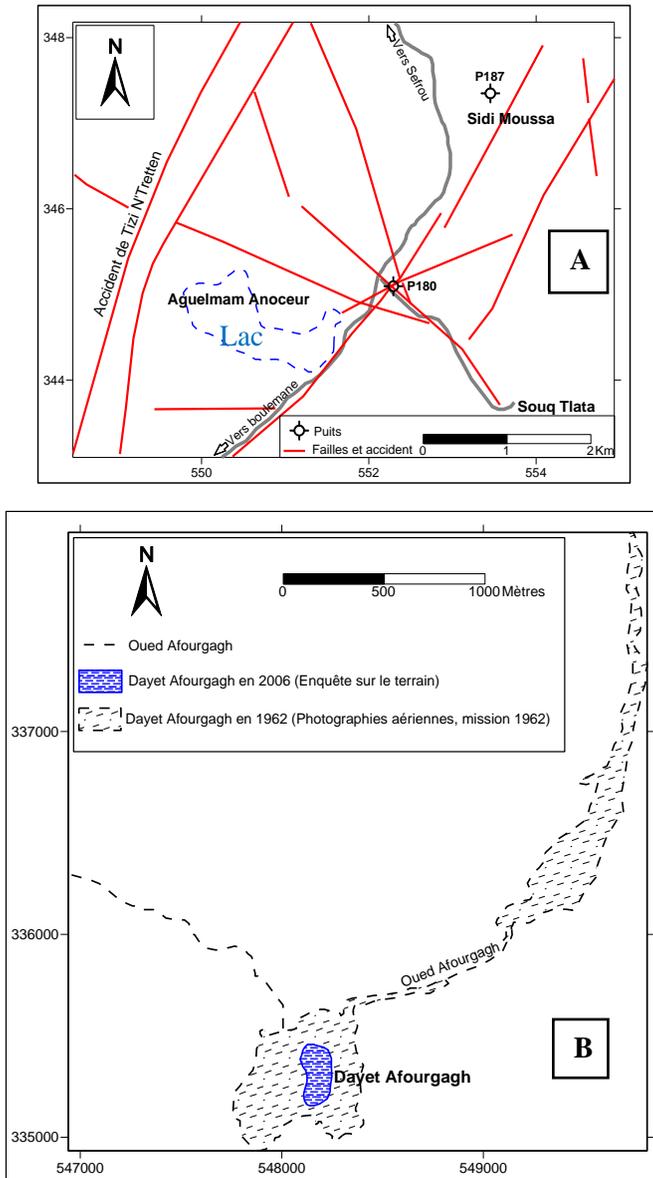


Figure 13 : Cartes schématiques montrant l'étendu du lac Aguelmam-L'Anoœur en 1962 (A) et la régression de la superficie de Dayet Afourgagh entre 1962 et 2006 (B) (en 2008, le lac est entièrement disparu) (El Fellah Idrissi, 2010).

Cependant la régression et le tarissement des ressources en eau (lac Afourgagh, lac Aguelmam - L'Anoceur et sources), témoignent de l'abaissement du niveau piézométrique de la nappe. Cette baisse est due à la longue période de sécheresse qu'a connu le Maroc (de 1978/79 à 2007/08 et jusqu'à nos jours), et à la surexploitation de la nappe par le creusement de plusieurs puits destinés à l'irrigation d'une centaine d'hectares d'agriculture et d'arboriculture.

CONCLUSION

L'étude des variabilités climatiques par le biais de méthodes statistiques et l'analyse des données climatiques et hydrologiques, est une piste scientifique prometteuse pour en savoir plus sur la caractérisation et l'évolution du climat et des ressources en eaux au Maroc. La gravité de la sécheresse, commence à être constatée même dans les régions montagneuses de valeur hydrique importante au Maroc et qu'on pensait jusqu'à récemment qu'elles sont épargnées et à l'abri d'un tel phénomène. Les causses de Sefrou et de L'Anoceur qui font partie du Moyen Atlas septentrional sont des cas qui confirment cette constatation.

L'analyse des données thermo-pluviométriques des stations météorologiques étudiées nous a permis de constater que la zone a subi des changements climatiques. En effet, la série 1968/69 - 2014/15 se distingue par la succession de trois périodes : période humide (1968/69-1977/78), période sèche (1978/79-2007/08) et période qui semble normale (2008/09-2014/15). Au cours de la période sèche, la zone a subi des changements des étages bioclimatiques matérialisés par la diminution des précipitations, l'abaissement de la température en hivers et l'augmentation de celle-ci pendant les autres saisons. Cette variation de température atteint 1°C d'écart en moyen entre les deux périodes humide et sèche. Ces variabilités climatiques ont influencé les ressources en eau de la zone (Oued Aggay, lac Afourgagh, lac d'Aguelmam-L'Anoceur et la nappe phréatique) qui connaissent une régression remarquable pendant la période sèche (1978/79-2007/08).

Tous ces résultats significatifs, attestent clairement de forts impacts des changements climatiques sur les ressources hydriques de la zone d'étude. En effet, la succession des années sèches dans le Maroc, pourraient donc créer un écart défavorable entre la demande croissante en eau et les ressources en eau disponibles. Ainsi la situation des réserves hydriques devient préoccupante, et des mesures d'adaptation avec les variabilités climatiques, de rationalisation et de gestion durable des ressources en eau, devront être prises pour faire face aux effets des changements climatiques qui pourraient aggraver les impacts négatifs

de la pénurie d'eau et de sa disparité spatiotemporelle sur le développement socioéconomique du pays.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAUDELLOT S., COLIN J.P., OUARHACHE D. (1986). Le niveau sédimentaire associé aux basaltes triasiques sur la bordure septentrionale du causse d'El Hajeb (Maroc) : données palynologiques et micropaléontologiques (Ostracode). *Revue de Paléobiologie de Genève*, Vol. 5, n° 2, pp.281-287.
- BIRON P. E. & COURTINAT F. (1982). Contribution palynologique à la connaissance du Trias du Haut Atlas de Marrakech, Maroc, *Geobios*, n°15, pp.231-235.
- BRUNET – MORET Y. (1971). Étude de l'homogénéité de séries chronologiques de précipitation annuelles par la méthode des doubles masses. *Cahiers ORSTOM*, série hydrologie, Vol. VIII, n° 4, pp. 3-33.
- COUSMINER, H. L., MANSPEIZER W., (1976). Triassic pollen date Moroccan High Atlas and incipient rifting of Pangea as middle Carnian, *Science*, Vol. 191, Issue 4230, pp.943-945.
- EL FELLAH IDRISSE B. (2001). Etude hydrologique et aménagement du bassin versant de l'Oued Aggay. Projet de stage de lière année de D.E.S.A, Fac. Lett. Sci. Hum. Sais, Fès.
- EL FELLAH IDRISSE B. (2010). Influence de la tectonique cassante sur les caractéristiques hydrogéologiques des aquifères triasico-liasiques et apport de l'hydrochimie à l'étude des eaux souterraines dans les causses de Sefrou et de L'Anoeur (Moyen Atlas septentrional, Maroc). Thèse de Doctorat National. Univ. Sidi Mohamed Ben Abdellah, FST Fès. 238p.
- ESPER J., DAVID F., ULF B., ANNE V., JURG L., ELENA X., (2007). Long-term drought severity variations in Morocco. *Geophysical research letters*, Vol. 34, Issue 17, L17702, doi:10.1029/2007GL030844.
- GILLE E., NEJJARI A., FRANÇOIS D. (2000). Le lac Aguelmam Sidi Ali (Moyen Atlas Marocain) : une évaporamétrie naturel. In *Mosella 2000*, t. xxv, Université de Metz, n° 3-4, pp.37-54
- HINAJE S., (2004). Tectonique cassante et paléochamps de contraintes dans le Moyen Atlas et le Haut Atlas central (Midelt-Errachidia) depuis le Trias jusqu'à l'actuel. Thèse Doc. Etat, Univ. Rabat, 363p.
- IZNARD H., (1958). La répartition saisonnière des pluies au Maroc. *Annales de Géographie*, Vol..67, n°359, pp.39-42.
- LAMB P.J. (1982). Persistence of sub-Saharan drought. *Nature*, Vol.299, pp.46-47.
- LETTENMAYER d. p. (1976). Detection of trends in water quality data from records with dependant observation. *Water resources research*, Vol.12, Issue 5, pp.1037-1046.

- NICHOLSON S.E., KIM J., HOOPINGARNER J. (1988). Atlas of African rainfall and its interannual variability. Édit. Department of Meteorology, Florida State University Tallahassee, Floride, USA, 237 p.
- NEJJARI A., GILLE E., FRANÇOIS D. (2000). L'apport des longues séries et la caractérisation de la sécheresse récente du nord du Moyen Atlas (Maroc). In Mosella 2000, t. xxv, Université de Metz, n° 3-4, pp.55-69.
- OBDA KH. (2004). Indigences extrêmes des écoulements des oueds méditerranéens : cas des oueds Nekor au Rif et du Haut Sebou au Moyen Atlas. Thèse de doctorat d'Etat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Fès, Maroc, 422p.
- QADEM A. (2015). Quantification, modélisation et gestion de la ressource en eau dans le bassin versant du haut Sebou (Maroc). Thèse de Doctorat. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah et université de Lorraine, 358p.
- SABAOUI A. (1987). Structure et évolution alpine du Moyen-Atlas septentrional sur la transversale Tleta des Zerarda –Merhraoua (Sud Ouest de Taza, Maroc). Thèse 3° cycle, Toulouse, 189 p.
- 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, pp.121-138.
- SHABAN, A. (2009). INDICATORS AND ASPECTS OF HYDROLOGICAL DROUGHT IN LEBANON. WATER RESOURCES MANAGEMENT, VOL. 23, ISSUE 10, PP.1875–1891, DOI:10.1007/S11269-008-9358.
- XOPLAKI E., LUTERBACHER J., BURKARD R., PATRIKAS I., MAHERAS P., (2000). Connection between the large-scale 500 hPa geopotential height fields and precipitation over Greece during wintertime, Climate Research, Vol. 14, n°2, pp.129–146.