

**ETUDE D'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR
LES RESSOURCES HYDRIQUES DU BASSIN VERSANT DE
L'OUERGHA (RIF – MAROC)
IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON WATER RESOURCES OF
THE OUERGHA WATERSHED (RIF, MOROCCO)**

Siham BOUKRIM. Dpt de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques. Fès.
Maroc

Nezha SADKAOUI. Dpt de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques. Fès.
Maroc

Abderrahim LAHRACH. Dpt de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques.
Fès, Maroc

Abdelali CHAOUNI. Dpt de Géologie, Faculté pluridisciplinaire de Taza. Maroc

RESUME : Le bassin versant de l'Ouergha étendu sur 7300 km² sur le versant Sud rifain est la région la plus pluvieuse du Maroc. Cependant, l'imperméabilité de ses terrains formés essentiellement de marnes Crétacé empêche le développement des ressources en eau souterraines. Pourtant, ses eaux de surface sont vulnérables à plusieurs contraintes naturelles et anthropiques. L'étude d'impact des changements climatiques met en évidence un réchauffement annuel de 0,15 °C et un déficit pluviométrique annuel d'environ 4 mm observé de 1982/83 à 2007/08 qui forme la période hydrologiquement la plus sèche qu'a connu le bassin de l'Ouergha. La comparaison entre les deux périodes : 1957/58-1970/71 et 1970/71-2007/08 montre une diminution des débits des oueds suivant la baisse des pluies. La réduction de ces débits a entraîné des déficits hydrologiques considérables oscillant d'une station à l'autre de 40,8% à 49,5%. Le rapport entre la lame d'eau tombée et celle ruisselée montre un déficit d'écoulement de 368 mm. Le coefficient de ruissellement de 49,4% indique que 50% de la pluie n'a pas ruisselé mais est sûrement évaporée et évapotranspirée puisqu'elle ne peut pas s'infiltrer. Cette situation critique que subissent les ressources en eau du bassin versant de l'Ouergha, exige une bonne gestion pour minimiser la pénurie surtout avec l'accentuation de la sécheresse météorologique.

Mots clés : Changements climatiques, eau, rupture, bassin de l'Ouergha, Rif, Maroc.

ABSTRACT: The Ouergha watershed covers an area of 7300 km² at the Southern side of Rif Mountains. It is the rainiest area of Morocco. The impermeability of its land formed mainly of Cretaceous marls prevents it

from having valuable groundwater resources. However, the water surface of this basin is vulnerable regarding several natural hazards and anthropogenic activities. The study focuses on the impact of climate change highlighted by a warming of 0.15 °C/year and a rainfall deficit of about 4 mm/year, observed since 1982 to 2008; period characterized by the driest years in the Ouergha watershed. The comparison between the two periods: 1957/58-1982/83 and 1982/83-2007/08 shows that the decrease in stream flow follows the same direction than the changes in rainfall. These water flows gauged at the Ouergha stations show a considerable increase of the hydrological deficits ranging from 40.8% to 49.5% from one station to another. The relationship between rainfall and water runoff shows a flow deficit of 368 mm. The runoff coefficient of 49.4% indicates that nearly 50% of this water does not flow but must be mainly evaporated and evapotranspired since it cannot penetrate underground. This critical situation of the water resources in the Ouergha watershed requires good management to minimize shortages especially with the increasing of meteorological drought.

Keywords: Climate Change, Water, Ouergha watershed, Rif, Morocco.

Abréviations :

P : précipitation

T : température

IPij: pluie de l'année i de la station j

PJmoy : la pluie moyenne de la station j .

ABHS : Agence du Bassin Hydraulique de Sebou

ΔP : différence de pluviométries enregistrées en deux stations voisines

INTRODUCTION

Le XXe siècle a été le siècle le plus chaud des 1000 dernières années, et la décennie la plus chaude est celle des années 1990. Par ailleurs, d'ici la fin de ce siècle, il est prévu que la température moyenne au sol augmente de 1,5° à 4°C globalement. Ce réchauffement du système climatique est sans équivoque (IPCC, 2007). Le niveau des mers devrait, quant à lui, s'élever de 15 à 95 cm.

Les observations effectuées sur tous les continents et dans la plupart des océans montrent qu'une multitude de systèmes naturels sont touchés par ces changements climatiques régionaux, en particulier par la hausse des températures (IPCC, 2007). Les plus vulnérables face à ces changements climatiques seront les pays en développement qui auront besoin de 75 à 100

milliards de dollars par an entre 2010 et 2050 pour s'y adapter, selon une étude de la Banque Mondiale publiée le 30 septembre 2009.

Face à cette réalité avérée du changement climatique, il est désormais incontournable d'aborder cette problématique sous deux angles complémentaires : d'une part la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et d'autre part l'anticipation des conséquences avec la mise en place d'actions d'adaptation pour minimiser les impacts et réduire la vulnérabilité des territoires et des acteurs concernés.

Le changement climatique et ses effets ont jusqu'à présent principalement été abordés sous l'angle global, à partir de l'évaluation de l'évolution des grands paramètres (températures, précipitations...) qui déterminent l'équilibre climatique de la planète.

Dans la zone méditerranéenne et en particulier en Afrique du nord, le secteur des ressources en eau est parmi les plus vulnérables à la variabilité du climat ce qui rend l'évolution de la ressource dans le cadre du changement climatique une question préoccupante pour la plupart des pays de la zone. Le Maroc n'est pas exclu de cette préoccupation surtout que la ressource en eau est d'une valeur socio-économique certaine (Driouech *et al.*, 2010).

Ce changement climatique au Maroc, se manifeste par une fréquence accentuée des temps secs et un déséquilibre du régime de précipitation dont les répercussions sont néfastes sur les ressources en eau des bassins versants.

Le bassin de l'Ouergha, régularisant presque le tiers des eaux superficielles du Maroc (Senoussi *et al.*, 1999), est un site pilote pour l'étude d'impact des changements climatiques qui forment un vrai risque menaçant les ressources hydriques, surtout dans les régions dépourvues d'eaux souterraines comme dans le cas de ce bassin.

Le présent travail a pour objectif de mettre en lumière les changements climatiques et d'étudier leur impact sur les ressources en eau dans le bassin de l'Ouergha qui draine le plus grand aménagement hydraulique au Maroc, ceci par une étude statistique, illustrative et comparative entre deux périodes.

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin versant de l'Ouergha couvre 7300 km² dans le Maroc Nord atlantique, il occupe l'essentiel du versant Sud atlantique de l'arc rifain (limite noire de la Fig.1).

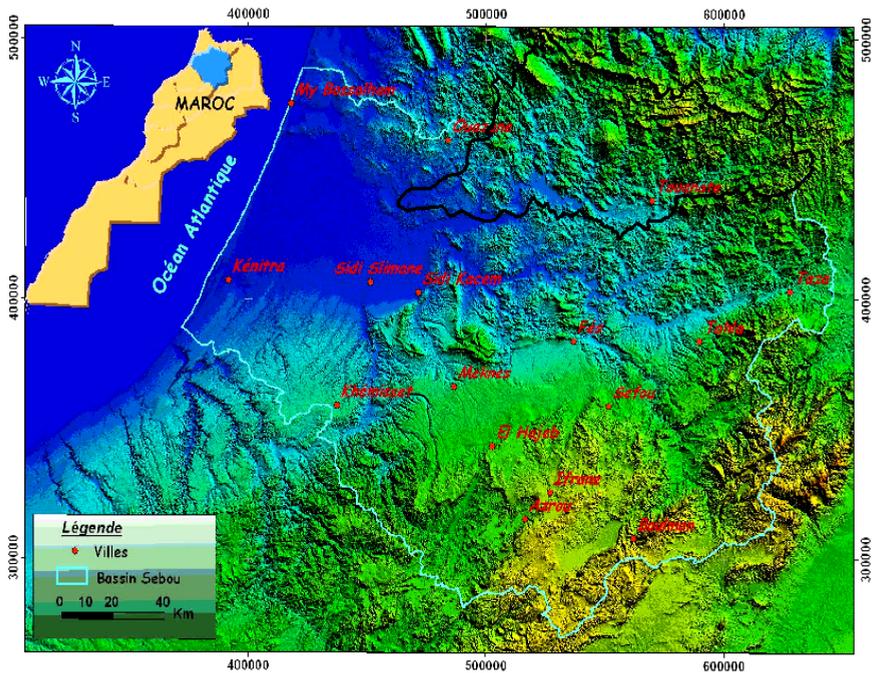


Fig.1. Situation géographique du bassin versant de l'Ouergha (ABHS 2006).

Le substratum du bassin est formé essentiellement par des argiles et des marnes Crétacé empêchant l'infiltration des eaux météoriques. Le bassin de l'Ouergha a pour indice de forme 1,6 ; avec 3 grandes zones topographiques distinctes : de haute altitude (> 1500 m) ; d'altitude moyenne (de 500 à 1500 m) ; collines et plaines des vallées (< 500 m).

Son climat est de type méditerranéen où se succèdent une saison sèche estivale et une saison pluvieuse hivernale.

La situation géographique privilégiée de la montagne rifaine, sur laquelle le bassin versant de l'Ouergha s'étend sur sa majeure partie, lui offre une flore riche et très variée (chênes, oliviers, céréales, cèdre).

Le réseau hydrographique du bassin versant de l'Ouergha s'écoule sur une longueur d'environ 1486 km, les principaux affluents de l'Ouergha sont les oueds S'ra, Amzaz, Aoulay et Aoudour.

Le bassin renferme quatre barrages, de l'amont vers l'aval : Asfalou, Bouhouda, Sahla et Al Wahda.

PARAMETRES CLIMATIQUES

La température moyenne annuelle enregistrée est de l'ordre de 19°C (à partir de 1982/83).

Les plus fortes valeurs d’humidité sont enregistrées en Décembre et Janvier (>80%), par contre elles ne dépassent pas 55% aux mois du Juillet et Août. L’humidité moyenne annuelle est de 71,7% ce qui permet de classer le bassin d’Ouergha comme une zone humide. L’évapotranspiration potentielle varie de 22 mm (Janvier) à 162 mm (Août). L’évaporation mensuelle prend ses valeurs maximales de Juin à Septembre, alors qu’elle atteint en Décembre et en Janvier les valeurs les plus faibles.

L’indice d’aridité de Martonne et l’indice pluviométrique de Moral sont de l’ordre de 31 et de 1,87, ce qui qualifie le bassin d’Ouergha de zone subhumide à humide.

L’indice xérothermique de Gaussen (Fig. 2) montre que la période humide s’étend de Novembre à Mars. Le mois le plus humide est Décembre où l’écart entre les deux pics est maximal.

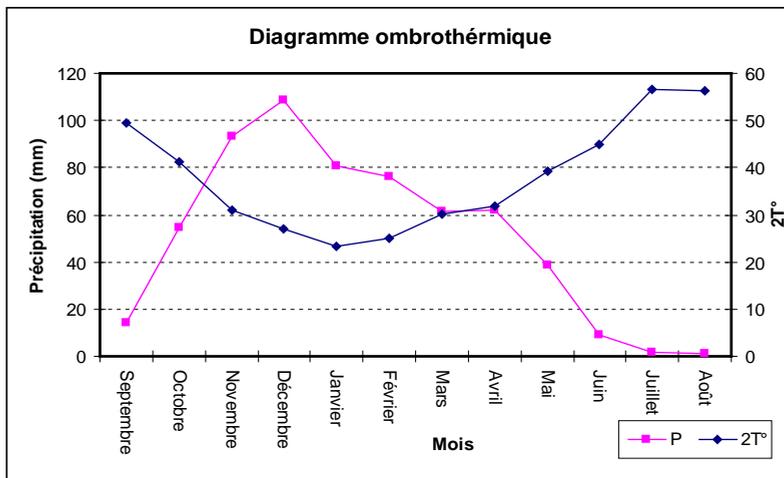


Fig.2. Diagramme ombrothermique de Gaussen pour le bassin d’Ouergha

L’indice de pluie, sans échelle, simple à calculer, donne la possibilité de comparer la pluviométrie dans le temps et l’espace et aide à déceler d’éventuelles anomalies.

Sa formule est :

$$I_{Pij} = P_{ij} / P_{J \text{ moy}} \tag{1}$$

Le tracé de la carte des indices de pluies (Fig.3), en ayant recours aux caractères géographiques locaux permet de distinguer les zones pluviométriquement homogènes (Lebourgeois *et al.*, 2001).

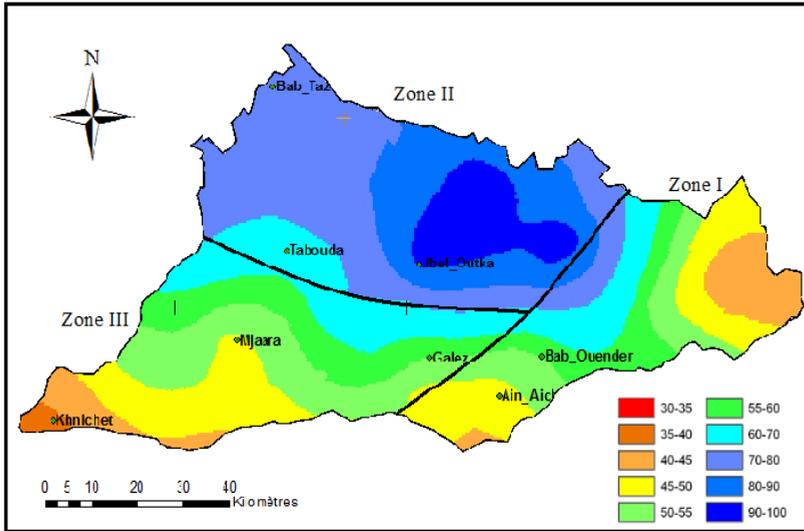


Fig.3. Carte des indices pluviométriques et limites entre les zones homogènes.

MISE EN EVIDENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Pour mettre en évidence les changements climatiques que connaît une région, l’analyse de la pluviométrie et des températures mesurées dans les différentes stations météorologiques se fait généralement par périodes bornées par des années bien définies (Morel, 1995).

Choix des stations représentatives

Les trois critères d’appréciation de la qualité d’un réseau pluviométrique sont : la répartition, la densité et la durée. Le réseau appelé doit être spatialement homogène pour ne pas favoriser une région particulière, les stations doivent alors couvrir le bassin de l’amont à l’aval.

Pour que ces stations assurent des interprétations aussi correctes que possible, le choix porte sur celles qui enregistrent les périodes de mesures les plus longues (de 25 à 50 ans).

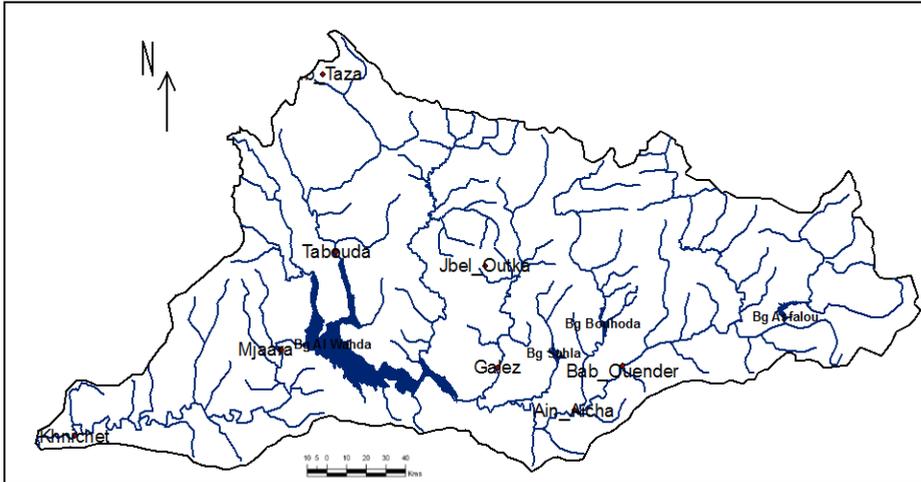


Fig.4. Situation des barrages et des stations pluviométriques, hydrologiques et thermiques sur le bassin d'Ouergha

Traitement des données disponibles

Les données collectées de l'ABHS afin d'effectuer cette étude ne sont pas toujours organisées de la façon désirable, ni continues dans le temps pour approcher réellement du climat vécu. Pour corriger et combler les lacunes de mesures d'une station, on fait appel aux stations environnantes, deux formules sont adoptées selon la différence de leurs pluviométries moyennes annuelles ($\Delta P < \text{ou} > 10\%$).

Test d'homogénéité des données

Les séries climatiques sont composées des données climatiques réelles et de ruptures artificielles dues à des modifications des conditions de mesure. Ces ruptures peuvent être du même ordre de grandeur que le signal climatique réel. La correction de ces ruptures artificielles est nécessaire avant d'entreprendre toute étude, notre test d'homogénéité est basé sur la méthode cumulative, qui consiste à représenter la série de données annuelles cumulées relatives à chaque station, les résultats obtenus (tendance linéaire) montrent que les précipitations mesurées au niveau des stations choisies sont homogènes.

Evolution des précipitations

Nous étudions l'évolution de la pluviométrie annuelle enregistrée aux stations du bassin (Tabouda, Galaz, Bab Ouender, Ouertzagh, Bab Taza, Mjaara, Jbel Outka, Pont Sker, Rhafsay, Galaz).

Pour illustrer les résultats, un graphe présentant la variation de la moyenne annuelle de toutes les stations ainsi que l'évolution de leurs maximums et minimums en fonction du temps est tracé (Fig.5).

Une nette tendance vers la diminution est clairement observée pour la moyenne et les minimums, mais les maximums restent élevés.

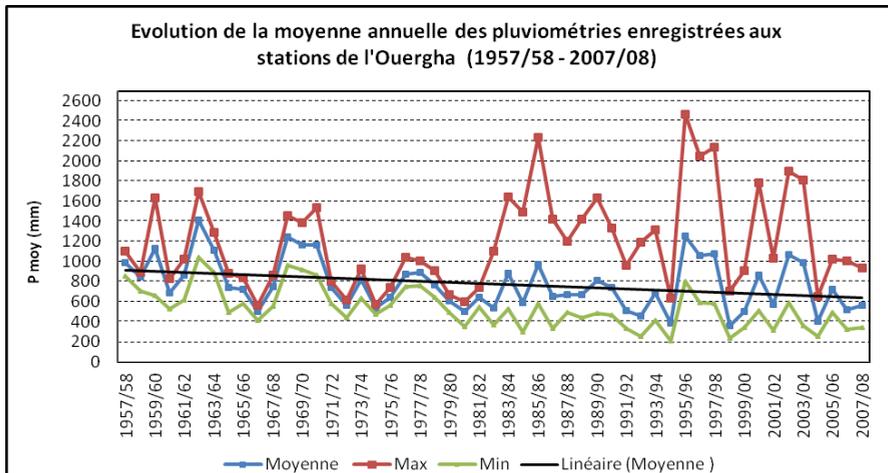


Fig.5. Evolution de la pluviométrie annuelle sur le bassin de l'Ouergha

Tests statistiques de détection de ruptures sur les séries chronologiques de pluviométrie

L'application des tests de détection de rupture a été réalisée pour analyser les séries chronologiques des précipitations annuelles en utilisant celles des stations ayant les plus longues séries pluviométriques (Rhafsay, Bab Ouender, Mjaara, Ouertzagh, Pont Sker) ainsi que la moyenne (la moyenne de la pluviométrie annuelle de toutes les stations).

Une rupture dans une série chronologique peut être assimilée à un changement dans la loi de probabilité de la série à un instant donné, le plus souvent inconnu (Singla *et al.*, 2010).

Ces tests sont proposés par le logiciel Khronostat (1998) développé par l'IRD (Lubes-Niel *et al.*, 1998) téléchargeable gratuitement, il propose plusieurs tests statistiques. Le choix a porté sur ceux qui permettent de déterminer des dates de ruptures : méthode non paramétrique de Pettitt, méthode Bayésienne de Lee et Heghinian, et la segmentation de Hubert (Lubès *et al.*, 1994).

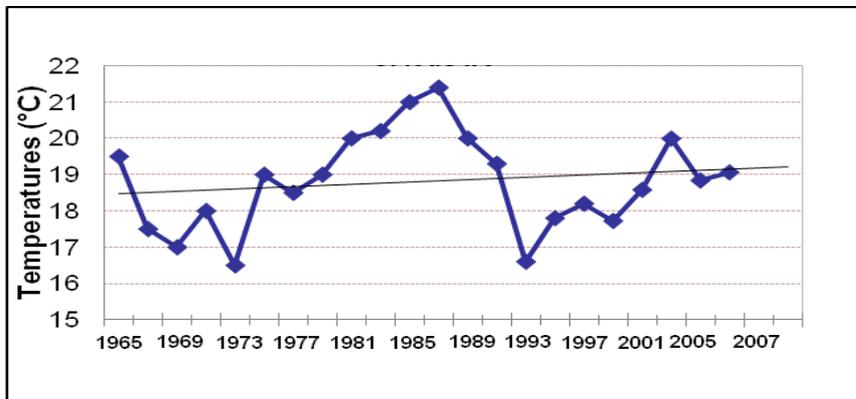
Les résultats ont montré que le bassin versant de l'Ouergha a connu une forte rupture en 1970 détectée par tous les tests statistiques (Tableau.1).

Tableau 1. Ruptures détectées par les tests de Khronostat

Stations	Pettit	Lee et Heghinian	Hubert
Rhafsay	1978	1970	1970
Bab Ouender	1978	1970	1970
Mjaara	1978	1970	1970
Ouertzagh	1970	1970	1970 et 1994
Pont Sker	1978	1970	1970
La moyenne	1970	1970	1970

Evolution des températures

L'évolution des températures enregistrées à l'Ouergha (au niveau de Ouertzagh, Hajria et Mjaara) depuis 1965 (Fig.6) montre clairement une tendance vers un réchauffement estimé d'environ 0,15°C.

**Fig.6.** Evolution des températures annuelles sur le bassin de l'Ouergha.Mise en évidence de la sécheresse météorologique

Pour suivre la sécheresse météorologique, l'évolution des écarts à la moyenne des pluies annuelles enregistrées au niveau des 8 stations étudiées (fig.7) est suivie. Deux périodes se dégagent :

- une période de forte pluviosité (fig.5) avec dominance des années humides de 1957/58 jusqu'au 1970/71 (fig.7) ;
- une période de faible pluviosité (fig. 5) avec dominance des années sèches négativement à partir de 1970/71 (fig.7).

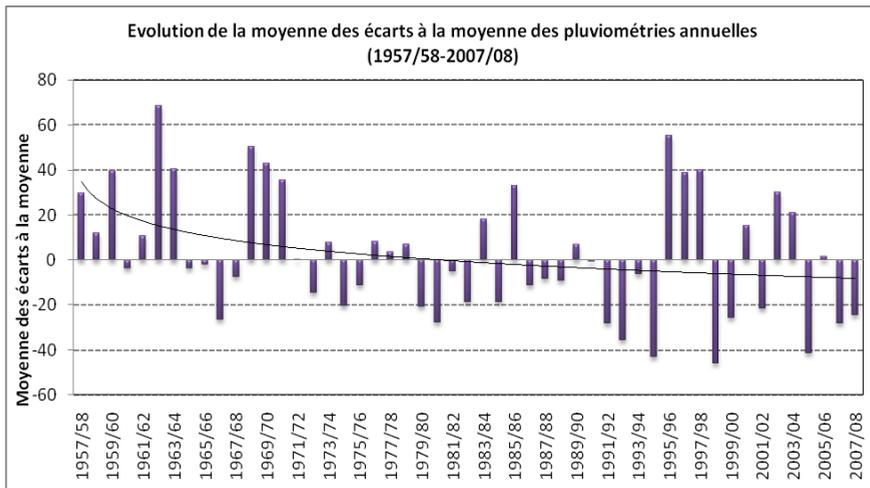


Fig.7. Evolution des écarts à la moyenne de la pluviométrie de l’Ouergha

Evolution de la sécheresse météorologique

Le suivi de la sécheresse est réalisé par la comparaison du nombre d’années sèches et humides (fig.8), qui montre une dominance des années de sécheresse pendant la deuxième période.

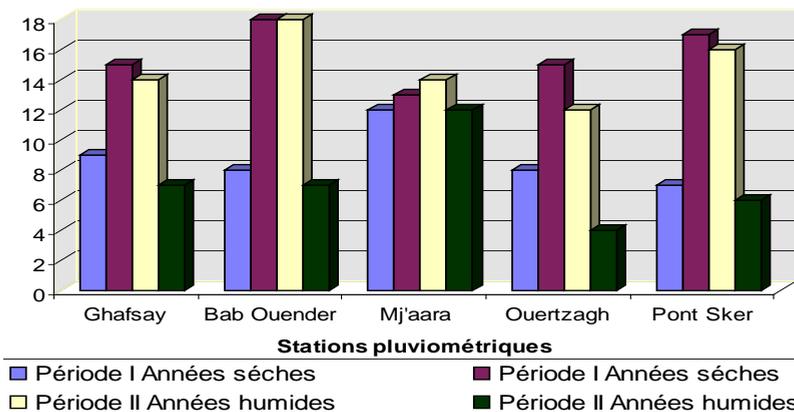


Fig.8 Suivi de la sécheresse météorologique entre deux périodes à partir de 1957/58

La régression pluviométrique et l’atténuation de la sécheresse météorologique auront un impact négatif sur l’écoulement et les ressources en eau au bassin versant de l’Ouergha.

Déficit pluviométrique

La comparaison entre les lames d'eau tombées durant les deux périodes (par 3 méthodes : moyenne arithmétique, polygones de Thiessen et carte des isohyètes) a montré un déficit pluviométrique durant la deuxième période de 93 mm.

IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RESSOURCES HYDRIQUES

Mise en évidence du déficit hydrologique entre deux périodes

Les débits moyens annuels jaugés au niveau des stations de l'Ouergha ont été réduits par des déficits hydrologiques considérables oscillant entre 40,8 et 49,5%.

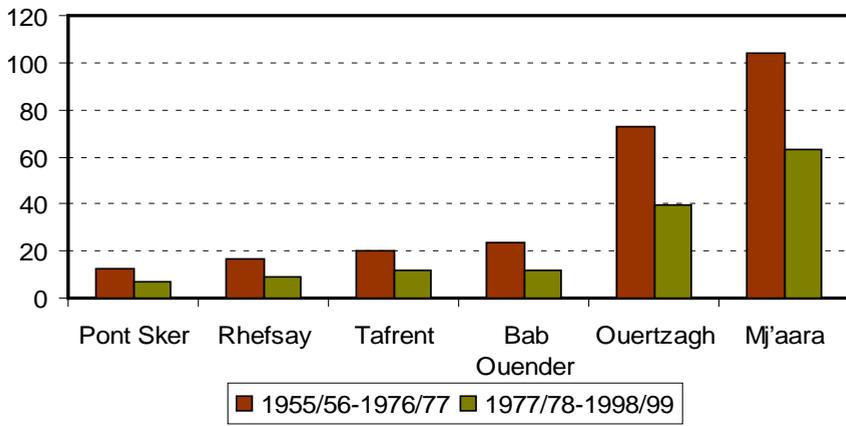


Fig. 9. Débits moyens interannuels entre deux périodes

Cette diminution des débits (Fig. 9) pourrait être liée à la régression des pluies, corroborée par la bonne corrélation entre débits et pluies enregistrées au niveau des stations hydro-pluviométrique du bassin (Tableau 2) :

Tableau 2. Coefficients de corrélation entre les pluies et les débits annuels

Stations	Bab Ouender	Ain Aicha	Galaz	Tabouda	Mj'aara
r	0,83	0,86	0,82	0,85	0,88

Mise en évidence de la sécheresse hydrologique sur le bassin de l'Ouergha

Nous étudions la variabilité des débits annuels afin de distinguer les années excédentaires des années déficitaires (Medjerab, 2005).

La figure 10 montre une abondance des années hydrologiquement déficitaires (58%) par rapport aux années excédentaires.

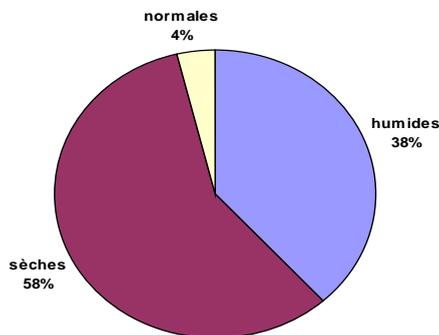


Fig.10. Pourcentage des années déficitaires (1982/83-2007/08)

Lame d'eau écoulee et déficit d'écoulement de la période sèche

La lame d'eau écoulee de la période sèche varie de 189 mm (station Bab Ouender) à 569 mm (station Galaz).

Le rapport entre lame d'eau tombée et ruisselée durant la période sèche, montre un déficit d'écoulement de 368 mm, le coefficient de ruissellement de 49,4%. Ce qui montre que 50% d'eau n'ont pas été écoulés mais surement évaporés et évapotranspirés.

CONCLUSION

L'étude du changement climatique sur le bassin versant de l'Ouergha a été réalisée par analyse statistique et cartographique des données collectées auprès de l'ABHS après leur traitement et homogénéisation. On a pu déduire que les températures enregistrées sur le bassin évoluent suivant une tendance positive de 0,15°C qui a entraîné une plus forte évaporation et évapotranspiration, confirmée par un coefficient de ruissellement de 49,5%, indiquant que presque la moitié des eaux de pluie ont été évaporées.

L'étude de l'évolution de la pluviométrie enregistrée depuis 1956/57 ainsi que des ruptures des séries chronologiques a mis en lumière deux périodes météorologiquement distinctes :

une période humide avec une forte pluviométrie (1956/57 - 1970/71),

et une autre période sèche et de faible pluviométrie (1970/71 à 2007/08), durant laquelle 58% de la période sont des années sèches avec un déficit pluviométrique de 3,75 mm/an, qui a causé un déficit hydrologique de 40,8% à 49,5% et un déficit d'écoulement de 15,35 m³.

Le réchauffement climatique et la régression pluviométrique s'ajoutent aux conditions intrinsèques du bassin de l'Ouergha (notamment l'imperméabilité des terrains et l'absence de réservoir d'eau souterraine) pour augmenter sa vulnérabilité à la pénurie d'eau.

Cette situation critique oblige à adapter des bonnes méthodes de gestion des eaux météorologiques en tant que seule source d'eau au niveau de ce bassin versant.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABHS (2006) *Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau (PDAIRE) du bassin hydraulique de Sebou*. Agence du Bassin Hydraulique de Sebou, Mission I, 129 p.
- Driouech, F., Mahé, G., Déqué, M., Dieulin, C., El Heirech, T., Milano, M., Benabdelfadel, H. & Rouché, N. (2010) Evaluation d'impacts potentiels de changements climatiques sur l'hydrologie du bassin versant de la Moulouya au Maroc. In: *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources* (Proc. of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010), IAHS Publ. 340, pp.561-567.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Khronostat (1998) *Logiciel d'analyse statistique de séries chronologiques*. ORSTOM Ed. Paris. <http://www.hydrosciences.org>.
- Lebourgeois, F., Granier, A. & Bréda, N. (2001) *Une analyse des changements climatiques régionaux en France entre 1956 et 1997 : réflexions en termes de conséquences pour les écosystèmes forestiers*. INRA, EDP Sciences, pp. 733-754.
- Medjerab, A. (2005) *Etude pluviométrique de l'Algérie nord- Occidentale « Approche statistique et cartographique automatique »*. Thèse de doctorat en climatologie, Université Houari Boumediene, Algérie, 705 p.
- Morel R. (1995). La sécheresse en Afrique de l'Ouest. *Revue géographie de Lyon, Sahel*, vol.70, n° 3 4, pp. 215-222.
- Senoussi, S., Agoumi, A., Yacoubi, M., Fakhraddine, A., Sayouty, E.H., Mokssit, A. & Chikri, N. (1999) Changements climatiques et ressources en eau du bassin versant de l'Ouergha (Maroc). *Hydroécol. Appl.*, Tome 11, pp. 163-182.

Singla, S., Mahé, G., Dieulin, C., Driouech, F., Milano, M., El Guelai, F.Z. & Ardoin-Bardin, S. (2010) Evolution des relations pluie-débit sur des bassins versants du Maroc. *In: Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources* (Proc. of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010), IAHS Publ. 340, pp.679-687.

&&&