



HAL
open science

Les sécheresses saisonnières dans le haut bassin de l'Oum-er-Rbia (Maroc central) : aspects et fréquences

Moulay-Driss El Jihad

► To cite this version:

Moulay-Driss El Jihad. Les sécheresses saisonnières dans le haut bassin de l'Oum-er-Rbia (Maroc central) : aspects et fréquences. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 2003, 14 (3), pp. 157-167. hal-00681425

HAL Id: hal-00681425

<https://hal.science/hal-00681425>

Submitted on 21 Mar 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SCIENCE ET CHANGEMENTS PLANÉTAIRES

SECHERESSE

VOLUME 14
NUMÉRO 3
JUILLET-AOÛT-SEPTEMBRE 2003

Notes de recherche

Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère
sur la croissance de jeunes plants de *Casuarina glauca* Sieb.

Ali Albouchi, Zoubeir Béjaoui, Mohamed Hédi El Aouni

Étude comparative de bonification de sols salés sous conditions naturelles
et sous irrigation et drainage en milieu semi-aride

Mohamed Hachicha, Claude Cheverry, Ali Mhiri

Étude préliminaire de la dynamique des dunes continentales
dans le Sud-Est marocain (Tafilalt, Maroc)

Lahcen Kabiri, Larbi Boudad, Abdelkader Krimou, Abdeslam Khardi, Lhassan Elmrani

Étude de cas

Les sécheresses saisonnières dans le haut bassin de l'Oum-er-Rbia (Maroc central) : aspects et fréquences

Moulay Driss El Jihad

Note méthodologique

Diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie

Halima Kadi-Hanifi

Impact de la mise en défens sur la régénération et la richesse floristique
des parcours en milieu aride tunisien

Ali Ferchichi, Saad Abdelkebir

Note technique

Optimisation d'un réseau de microirrigation

Lakhdar Zella, Ahmed Kettab

Méthodes et techniques

Réalisation de la carte nationale de sensibilité
à la désertification par télédétection

Azzedine Oussedik, T. Ifène, A. Zegrar



Prix au numéro :
21 € pays du Nord
11 € pays du Sud

ISSN 1147-7806



Agence
universitaire
de la
Francophonie

Cahiers d'études et de recherches francophones

Les sécheresses saisonnières dans le haut bassin de l'Oum-er-Rbia (Maroc central) : aspects et fréquences

Aspects and frequencies of seasonal droughts in the Upper basin of the Oum-er-Rbia (central Morocco)

Moulay-Driss EL JIHAD

Laboratoire ICoTEM (EA n° 2252),
MSHS, Université de Poitiers.
d.eljihad@yahoo.fr

Résumé

Au Maroc, la contrainte de la sécheresse dans les régions montagneuses est souvent ignorée. Les sécheresses qu'a connues le Maroc depuis 1980 nous rappellent que ces régions ne sont pas épargnées par des déficits en eau importants, surtout pendant la saison estivale. Le but de cette étude est d'exposer la répartition et la fréquence spatio-temporelles des sécheresses saisonnières dans une région de moyenne montagne. L'étude a été menée à partir des données thermo-pluviométriques de deux stations caractéristiques du haut bassin de l'Oum-er-Rbia, à savoir Khénifra et Ouiouane, représentatives respectivement de la Meseta et du Causse moyen-atlasique (Maroc central). Deux méthodes ont été utilisées pour étudier les caractéristiques des sécheresses intra-annuelles : le rapport P/T et le bilan hydrique.

L'approche annuelle du rapport $P < 2T$ ne révèle aucune corrélation significative entre précipitations annuelles et nombre de mois secs ; ce qui souligne la mauvaise répartition mensuelle des précipitations méditerranéennes. A l'échelle saisonnière, le rapport montre que la sécheresse estivale est régulièrement présente chaque année ; sa longueur varie d'une année à l'autre. La sécheresse peut également affecter accidentellement d'autres saisons de l'année. Les deux types de sécheresses (estivale et accidentelle) affectent aussi bien la Meseta que le Causse, mais leur intensité et leur longueur décroissent avec l'altitude.

Les résultats obtenus à partir du bilan hydrique diffèrent de ceux du rapport $P=2T$, en ce sens que les premiers font ressortir la sécheresse sous forme du manque d'eau hypothéquant la croissance des végétaux, c'est-à-dire l'eau nécessaire pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle. Par ailleurs, le bilan hydrique exprime les différences hydro-spatiales entre Khénifra et Ouiouane. Celle-ci, à l'inverse de Khénifra, fournit l'essentiel des eaux qui, en s'infiltrant partiellement dans le Causse en hiver, contribuent largement au soutien de l'écoulement estival de l'Oum-er-Rbia.

En définitive, les deux méthodes se recoupent et se complètent pour souligner l'influence de l'altitude sur la répartition spatio-temporelle des sécheresses intra-annuelles.

Mots clés : Bilan hydrique ; Sécheresse ; Pluviométrie ; Hydrologie.

Summary

In Morocco, the constraint of the drought in mountainous areas is often ignored. The droughts Morocco has known since 1980 remind us that these regions are faced with important water deficits, especially during the summer season. The purpose of this study is to explain the spatio-temporal distribution and the frequency of the seasonal droughts in a mid-mountain area. The study was based on the thermo-pluviometric data of two typical stations of the Upper basin of the Oum-er-Rbia, namely Khénifra and Ouiouane, representative of the Meseta and the Middle-Atlas Causse (central Morocco), respectively. Two methods were used to study the characteristics of the intra-annual droughts: the P/T ratio and the water balance.

The yearly approach of the $P < 2T$ ratio does not reveal any significant correlation between the annual rainfall and the number of dry months, a fact which underlines how bad the monthly distribution of the Mediterranean precipitation is. At the seasonal scale, the ratio shows that summer drought is regularly present every year, its duration varying from one year to the other. The drought may also accidentally affect in other seasons the year. Both types of droughts (summer and accidental) affect the Meseta as much as the Causse, but their intensity and their duration decrease with the altitude.

The results derived from the water balance differ from those derived from the ratio $P = 2T$, in the sense that the former identify the drought as the lack of water restricting the growth of vegetables, namely the water necessary to satisfy potential evapotranspiration. Besides, the water balance expresses the hydro-spatial differences between Khénifra and Ouiouane. The latter, unlike Khénifra, provides the majority of the waters which, by partially infiltrating into the Causse in winter, widely contribute to the support of the summer flow of the Oum-er-Rbia.

Finally, both methods agree and complement each other to show the influence of altitude on the spatio-temporal distribution of intra-annual droughts.

Key words: Water balance; Drought; Rainfall; Hydrology.

Le Maroc a subi depuis le début des années 1980 de longues sécheresses qui ont mis en évidence la fragilité de ses ressources en eau. Ces sécheresses ont eu des conséquences néfastes sur la satisfaction des besoins en eau de tous les secteurs socio-économiques, en particulier agricoles, et sur la préservation des écosystèmes terrestres et aquatiques. La variabilité inter-annuelle des précipitations méditerranéennes n'est plus à démontrer [1, 2, 3, 4, 5]. Il est question, dans cette étude, de traiter uniquement des sécheresses à l'intérieur de l'année.

En milieu méditerranéen, la sécheresse estivale est un fait original et régulier. Elle est caractérisée par une absence quasi-générale des précipitations et une hausse des températures. Suivant les auteurs, cette sécheresse est dite saisonnière ou structurelle. De brefs déficits de pluies peuvent frapper également les mois de la saison froide ; il s'agit de sécheresses accidentelles [1, 6]. A l'inverse de la sécheresse estivale, les petites sécheresses hivernales sont dues plus à l'absence occasionnelle des précipitations qu'aux températures qui sont généralement basses. Elles sont très peu étudiées, bien qu'elles revêtent une grande importance quant au bon (ou mauvais) déroulement des campagnes agricoles. Dans cette étude, nous qualifierons la sécheresse de l'été tout simplement d'estivale. Saisonnière en tant qu'adjectif désignera les sécheresses, qu'elles soient estivales ou hivernales (accidentelles).

La présente étude vient enrichir les connaissances jusqu'alors lacunaires sur les sécheresses intra-annuelles, trop souvent abordées plus sous l'éclairage d'une analyse globalisante de leurs impacts que sous une approche de leurs fréquences spatio-temporelles [3, 4, 5, 7, 8, 9]. Elle intéresse un espace géographique à caractère montagneux, largement inscrit dans le Moyen-Atlas (Maroc central), principal château d'eau du Maroc. Cette montagne et ses bordures demeurent exclues (à l'image des autres montagnes du Maroc) des stratégies étatiques de développement économique qui sont tournées vers les grandes plaines. Celles-ci ont développé des grands périmètres irrigués (Tadla, Doukkala, Gharb...) grâce aux abondantes ressources en eau des montagnes atlasiques. L'importance de cette manne hydrique dépend des précipitations et de leur répartition saisonnière. Cette répartition joue un rôle important dans la régularité et la disponibilité des ressources en eau. C'est dans cet esprit que ce travail se propose d'étudier les sécheresses intra-annuelles.

Les stations météorologiques choisies pour cette étude appartiennent au haut bassin versant de l'Oum-er-Rbia (3420 km²). Ce bassin de moyenne montagne englobe deux principales entités géographiques différentes (figure 1) : le Causse moyen-atlasique et la Meseta. Ces deux milieux sont joints par le Dir (piémont). Khénifra (Z=850 m), station caractéristique de la Meseta, dispose de données complètes. Par contre, Ouiouane (Z=1635 m), station du Causse, présente des séries de précipitations mensuelles entachées de quelques lacunes (années : 1961, 1965, 1971, 1972, 1980) et les températures n'y sont mesurées qu'occasionnellement. Pour établir une certaine homogénéité dans l'analyse des sécheresses saisonnières entre les deux stations retenues, nous avons eu recours à la méthode de régression linéaire pour combler les lacunes pluviométriques de Ouiouane à partir des données de Khénifra. La corrélation statistique mensuelle entre les deux stations est généralement significative, surtout pour les mois de la saison pluvieuse qui concentrent la part importante des lacunes. Pour les températures, vu la relative régularité de leur cycle annuel, elles ont été

complétées par les données fiables de la station d'Ifrane, située à la même altitude que Ouiouane, à 46 km au nord de celle-ci.

A partir d'une chronique normale de 30 ans (1961/1990), constituée de précipitations et températures mensuelles afférentes aux deux stations météorologiques citées ci-dessous, deux méthodes vont servir à décrire le phénomène de la sécheresse saisonnière : le rapport P/T et le bilan hydrique.

En combinant les valeurs mensuelles des précipitations exprimées en millimètres (P) et des températures exprimées en degrés centigrades (T), le botaniste H. Gaussen a défini le mois sec biologiquement par un simple rapport $P < 2T$ [10]. Conçu pour le milieu méditerranéen, celui-ci permet de déterminer la longueur de la saison sèche et de la distinguer de la saison humide ($P > 2T$). Si l'aridité traduit une pénurie permanente en eau propre à un espace spécifique (déserts et assimilés), la sécheresse, par contre, renvoie à un risque du manque d'eau limité dans le temps. Le rapport $P < 2T$ caractérise cette sécheresse que les géographes-hydrologues qualifient de sécheresse hydrologique, c'est-à-dire celle qui affecte les nappes et les rivières. Au début de la saison sèche, cette sécheresse est précédée par les sécheresses atmosphérique et pédologique, définies par d'autres rapports similaires, mais avec des températures proportionnellement amplifiées [1, 6, 11]. Il est à noter que, dans le texte qui suit, P et T en majuscule désignent les moyennes, et en minuscule (p , t) les données réelles.

Qu'est-ce que le bilan hydrique ? Le bilan hydrique correspond à un cycle partiel de l'eau (un cycle souvent annuel). Il prend en compte les variations de la réserve utile du sol agronomique et les excédents qui induisent le ruissellement, mais il exclut l'écoulement fluvial et les ressources profondes qui concernent le bilan hydrologique. Si ce dernier intéresse le circuit intégral de l'eau dans un hydrosystème tel que le bassin versant, le bilan hydrique s'applique seulement à l'échelle stationnelle en fournissant des indications sur l'eau précipitée, évapotranspirée (potentiellement et réellement), ruisselante et la réserve utile. Les relations établies entre ces indicateurs à l'échelle mensuelle (pas de temps retenu dans cette étude) renseignent bien sur les concepts d'abondance hydrique (après reconstitution de la réserve utile) ou de sécheresse pédologique de chaque mois. La sécheresse pédologique, qui résulte de l'épuisement de la réserve utile, traduit un état où les besoins en eau des plantes ne sont plus satisfaits naturellement [6, 12].

1- L'approche statistique de la sécheresse ($p < 2t$).

Le tableau I montre le régime mensuel de la sécheresse ($p < 2t$), par année particulière, à Khénifra et Ouiouane. Nous remarquons que toutes les années présentent un nombre de mois secs supérieur ou égal à 1 mois (Ouiouane) et 4 mois (Khénifra). Le tableau II et la figure 2 classent les années selon le nombre de mois secs. A Khénifra, sur une fourchette de 4 à 9 mois secs par an, ce sont les années à cinq, six et sept mois secs qui sont les plus fréquentes (80 %). A Ouiouane, sur une fourchette de 1 à 7 mois secs par an, ce sont les années présentant de deux à six mois secs qui sont les plus fréquentes (90 %).

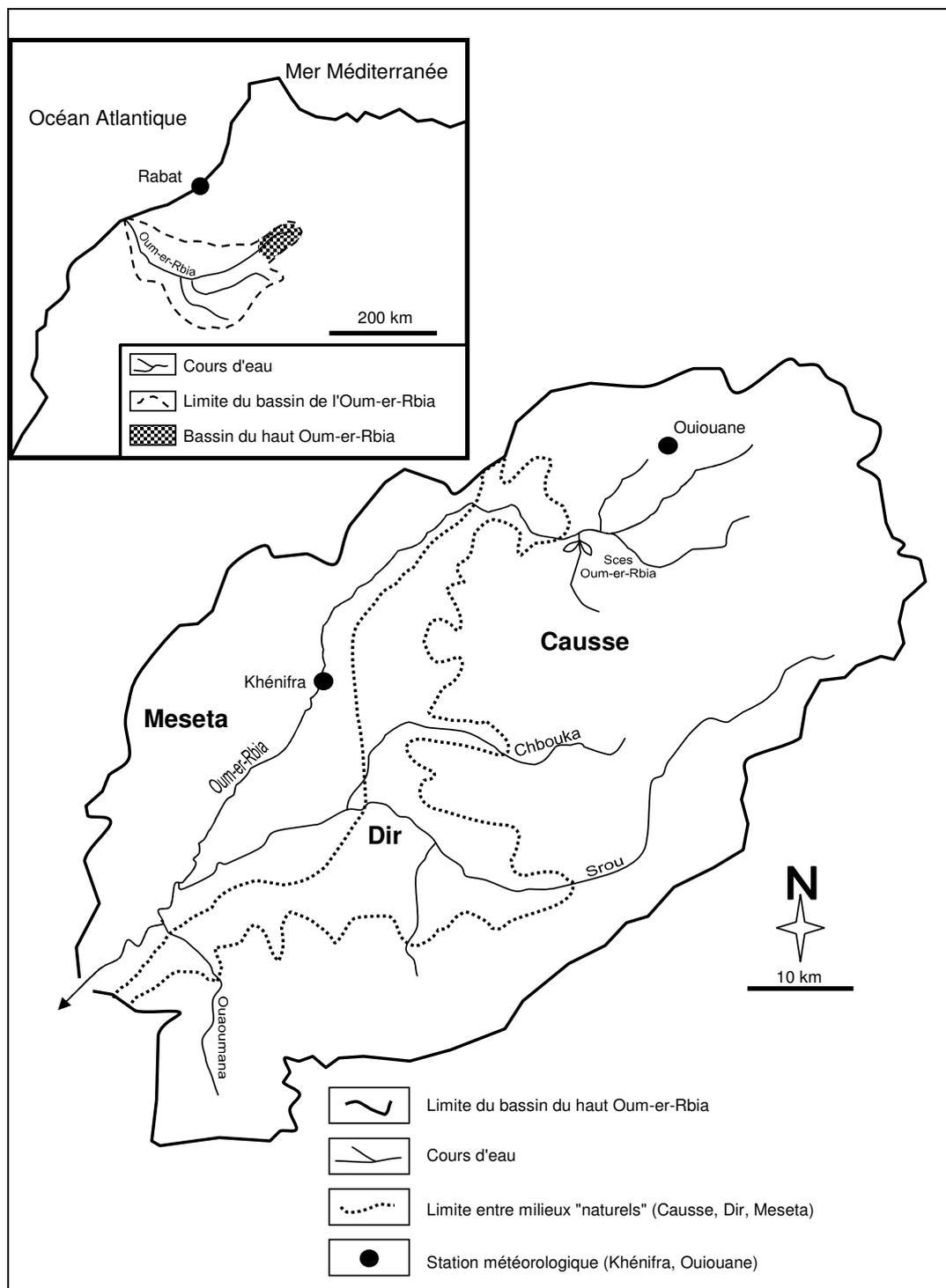


Figure 1. Haut bassin versant de l'Oum-er-Rbia : milieux "naturels" et stations météorologiques étudiées.

La variabilité inter-annuelle des précipitations apparaît nettement. Les valeurs extrêmes sont comprises dans un rapport de 1 à 3,9 à Khénifra et de 1 à 4,4 à Ouiouane. La tendance générale est à la recrudescence des années à faible pluviométrie au cours de la deuxième moitié de la série étudiée. Cette évolution est accompagnée d'une relative augmentation du nombre de mois secs, surtout à Ouiouane qui rivalise, de 1980 à 1985, en nombre de mois secs avec Khénifra, aussi bien au niveau annuel qu'au niveau de la saison estivale (tableaux I et III). Cette évolution est-elle liée à l'hypothétique réchauffement de la planète dû à l'effet de serre ? Les incertitudes du « Global change », soulignées par de nombreux chercheurs [2, 12, 13, 14, 15], sont encore plus grandes lorsqu'on descend à une échelle locale réduite. Il est difficile de déduire d'une chronique restreinte de mesures thermo-pluviométriques (30 ans) une quelconque évolution du climat local qui n'est d'ailleurs pas exclue.

Tableau I. Régime mensuel de la sécheresse $p < 2t$ à Khénifra [K] et Ouiouane [O] de 1961 à 1990, (les cases grisées renvoient aux mois secs communs aux deux stations).

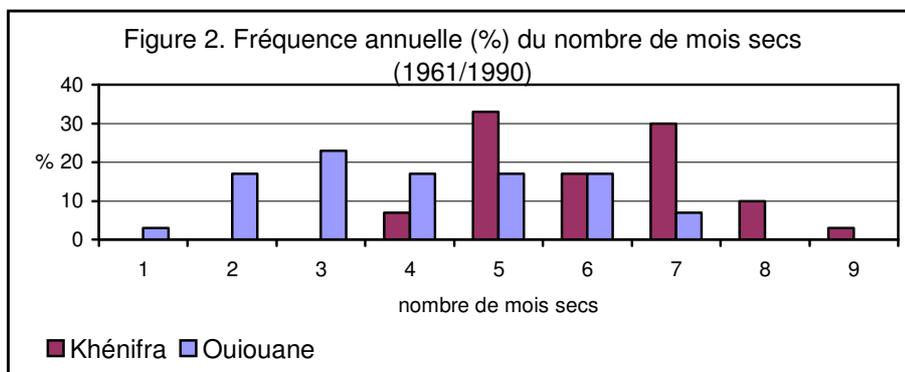
année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1961		K		K			K-O	K-O	K	K		
1962					K	K	K-O	K-O	K			
1963			K-O			K-O	K-O	K	K-O	K-O		
1964	K				K-O	K-O	K-O	K-O	K-O	K-O		
1965					K-O	K-O	K-O	K-O		K		
1966				K-O	K	K-O	K-O	K-O	K-O			K-O
1967	K		K			K	K-O	K-O	K			
1968	K				K	K	K-O	K	K-O	K-O		
1969					K		K-O	K	K	K		
1970		K		K	K-O	K	K-O	K-O	K	K	K	
1971						K	K-O	K-O	K-O	K		
1972				K		K	K-O	K-O	K-O			
1973					K		K-O		K-O	K		
1974					K-O		K-O	K-O	K-O	K	K-O	K-O
1975						K	K-O	K-O	K-O	K-O		
1976							K-O	K-O	K-O		K-O	
1977			K	K	K	K-O	K-O	K-O	K			
1978			K		K	K	K-O	K	K-O	K-O	K	
1979				K	K	K-O	K-O	K-O	O		K	K
1980					K	K-O	K-O	K-O	K-O	K-O		K-O
1981					K	K-O	K-O	K-O	K-O		K-O	
1982						K-O	K-O	K-O	K-O	K-O		
1983	K-O			K-O	K	K-O	K-O	K-O	K-O	K-O		
1984	K-O	K-O				K-O	K-O	K-O	K-O	K-O		K
1985			K			K-O	K-O	K-O	K-O	K-O		
1986					K-O		K-O	K-O	K-O			K
1987			O	K	K	K-O	K-O	K-O	K	K-O		
1988			O	K	K	K-O	K-O	K-O	K-O			K-O
1989					K-O	O	K	K	K	K		
1990		K-O				K	K-O	K-O		K		

Tableau II. Fréquence annuelle du nombre de mois secs $p < 2t$ à Khénifra et Ouiouane (1961/1990).

nombre de mois secs	Khénifra		Ouiouane	
	nombre d'années	%	nombre d'années	%
1	0	0,0	1	3,3
2	0	0,0	5	16,7
3	0	0,0	7	23,3
4	2	6,7	5	16,7
5	10	33,3	5	16,7
6	5	16,7	5	16,7
7	9	30,0	2	6,6
8	3	10,0	0	0,0
9	1	3,3	0	0,0
total	30	100	30	100

Tableau III. Précipitations annuelles, nombre annuel et de la saison estivale (mai à octobre) de mois secs $p < 2t$ à Khénifra et Ouiouane de 1961 à 1990.

année	Khénifra			Ouiouane		
	précipitations annuelles (mm)	nombre annuel de mois secs	nombre de mois secs de la saison estivale	précipitations annuelles (mm)	nombre annuel de mois secs	nombre de mois secs de la saison estivale
1961	447	6	4	790	2	2
1962	946	5	5	1713	2	2
1963	1156	6	5	2071	5	4
1964	696	7	6	1240	6	6
1965	576	5	5	938	4	4
1966	432	7	5	784	6	4
1967	592	6	4	780	2	2
1968	782	7	6	1650	3	3
1969	799	5	5	1618	1	1
1970	717	9	6	991	3	3
1971	953	5	5	1228	3	3
1972	565	5	4	1130	3	3
1973	712	4	4	1250	2	2
1974	534	7	5	858	6	4
1975	684	5	5	1160	4	4
1976	983	4	3	1341	4	3
1977	644	7	5	1038	3	3
1978	594	8	6	1139	3	3
1979	734	7	4	1219	4	4
1980	509	7	6	725	6	5
1981	298	6	5	605	5	4
1982	616	5	5	795	5	5
1983	362	8	6	468	7	5
1984	331	8	5	519	7	5
1985	480	6	5	866	5	5
1986	547	5	4	734	4	4
1987	639	7	6	1005	5	4
1988	453	7	5	625	6	4
1989	831	5	5	1292	2	2
1990	506	5	4	963	3	2



1-1- Une faible corrélation entre précipitations annuelles et nombre de mois secs.

La corrélation entre précipitations annuelles et nombre de mois secs au niveau de chaque station dégage des coefficients (R) négatifs médiocres : -0,37 et -0,50 respectivement à Khénifra et Ouiouane. Ceci signifie qu'aucune relation significative n'existe entre les deux variables. Le calcul des coefficients de détermination (R^2) montre que seulement 14 et 25 % des années, respectivement à Khénifra et Ouiouane, ont soit de fortes précipitations avec un nombre faible de mois secs ou inversement (d'où, dans les deux cas, le signe négatif des coefficients de corrélation). Le complément à 100 % de R^2 constitue les années qui dérogent à cette règle. Dans ce qui suit, nous présentons quelques exemples de ces années.

A Khénifra, la catégorie des années à 6 mois secs est surprenante puisqu'elle englobe les deux années extrêmes de la série étudiée (tableau IV) : 1963 et 1981. L'année 1963 fut l'année la plus arrosée avec 1156 mm, et pourtant elle enregistre 6 mois secs ; ceci en raison de la mauvaise répartition des pluies dans l'année : quatre mois (janvier, février, mai et décembre) ont concentré des totaux copieusement respectivement de 206, 219, 151 et 415 mm, ce qui représente déjà 86 % du total annuel. On peut rapprocher de cette analyse l'année 1978 qui, avec 8 mois secs, se trouve paradoxalement dans le troisième quintile avec 594 mm. Il en est de même de 1970 (717 mm, quatrième quintile), seule année présentant une saison sèche quasi continue de 9 mois allant de février à novembre, interrompue par mars. L'année 1981, quant à elle, est la plus sèche de la série avec 298 mm et seulement six mois secs ; la raison en est que la plupart des mois sub-secs ont connu des précipitations à peine supérieures au double de leurs températures.

A Ouiouane, l'année pluvieuse de la série étudiée, à savoir 1963 (2071 mm), enregistre cinq mois secs. Le caractère sec apparent de cette année n'est pas compatible avec son total pluviométrique annuel. Comme pour la station de Khénifra, la cause est que trois mois humides (janvier, février et décembre) ont concentré un total de 1499 mm, soit plus de 72 % du total annuel. Par ailleurs, l'année 1967 (780 mm) se trouve dans le

deuxième quintile (moins arrosé) avec seulement deux mois secs. Encore s'agit-il de mois sub-secs qui sont exclus de la saison sèche.

Entre Khénifra et Ouiouane, on constate une bonne corrélation entre leurs précipitations annuelles respectives ($R=0,90$; $R^2=81\%$). Les deux stations appartiennent à une même région climatique ; elles sont distantes de 37 km à vol d'oiseau, avec un dénivelé de 800 m environ. En revanche, les correspondances sont très mauvaises entre leurs mois secs respectifs ($R=0,47$; $R^2=22\%$), car ceux-ci dépendent de la répartition saisonnière des pluies propre à chaque station. En définitive, ce n'est pas tant la valeur des précipitations annuelles que leur mauvaise répartition, au cours d'une même année, qui conditionne le nombre de mois secs et, partant, l'apparition d'une ou de plusieurs sécheresses saisonnières.

Tableau IV. Les précipitations annuelles à Khénifra et Ouiouane classées par ordre croissant et le nombre de mois secs ($p<2t$) correspondant (1961/1990).

quintile	Khénifra			Ouiouane		
	année	précipitations (mm)	nombre de mois secs ($p<2t$)	année	précipitations (mm)	nombre de mois secs ($p<2t$)
1	1981	298	6	1983	468	7
	1984	331	8	1984	519	7
	1983	362	8	1981	605	5
	1966	432	7	1988	625	6
	1961	447	6	1980	725	6
	1988	453	7	1986	734	4
2	1985	480	6	1967	780	2
	1990	506	5	1966	784	6
	1980	509	7	1961	790	2
	1974	534	7	1982	795	5
	1986	547	5	1974	858	6
	1972	565	5	1985	866	5
3	1965	576	5	1965	938	4
	1967	592	6	1990	963	3
	1978	594	8	1970	991	3
	1982	616	5	1987	1005	5
	1987	639	7	1977	1038	3
	1977	644	7	1972	1130	3
4	1975	684	5	1978	1139	3
	1964	696	7	1975	1160	4
	1973	712	4	1979	1219	4
	1970	717	9	1971	1228	3
	1979	734	7	1964	1240	6
	1968	782	7	1973	1250	2
5	1969	799	5	1989	1292	2
	1989	831	5	1976	1341	4
	1962	946	5	1969	1618	1
	1971	953	5	1968	1650	3
	1976	983	4	1962	1713	2
	1963	1156	6	1963	2071	5
moyenne	-	637	-	-	1051	-

1-2- Des régimes variés de sécheresses saisonnières.

L'étude du régime mensuel du rapport $p < 2t$ consiste à déterminer la saison où la sécheresse intervient. Le tableau I montre que la saison sèche peut déborder au-delà de l'été pour affecter non seulement les mois des saisons de transition (printemps et automne), mais aussi les mois d'hiver. Par conséquent, la période sèche peut être continue ou tranchée en plusieurs séquences selon les années. Trois régimes sont à distinguer : régime mono-modal, régime bi-modal et régime tri-modal (tableau V). La fréquence des années avec une seule saison sèche (régime mono-modal), qui survient en été et débordant souvent sur les saisons de transition, est de 20 % à Khénifra contre 46,7 % à Ouiouane. Les années à plusieurs périodes sèches, indifférentes aux saisons, sont dominées à Khénifra par celles qui présentent un régime bi-modal, soit 60 % contre seulement 33,3 % à Ouiouane. Les années à régime tri-modal présentant une fréquence de 20 %, aussi bien à Khénifra qu'à Ouiouane. On constate que ces trois régimes, qui caractérisent la répartition des sécheresses intra-annuelles, enregistrent une variabilité inter-annuelle importante.

Tableau V. Types de régime annuel de la sécheresse $p < 2t$ à Khénifra et Ouiouane (1961/1990).

régime	Khénifra		Ouiouane	
	nombre d'années	%	nombre d'années	%
mono-modal	6	20,0	14	46,7
bi-modal	18	60,0	10	33,3
tri-modal	6	20,0	6	20,0
total	30	100	30	100

En conséquence, en moyenne, aucun mois de l'année n'échappe à la sécheresse aussi bien à Khénifra qu'à Ouiouane, mais pas avec la même fréquence (tableau VI, figure 3). Celle-ci révèle un maximum de juillet, qui est respectivement de 100 et 97 % à Khénifra et Ouiouane, suivi de près par août avec 97 et 80 %, ensuite vient septembre avec 90 et 67 %. Nous remarquons alors que les fortes fréquences de la sécheresse concernent les mois de l'année qui coïncident avec la période estivale. Le renouvellement perpétuel des situations anticycloniques pendant la saison chaude, dû à l'étalement important des hautes pressions subtropicales, engendrent une stabilité atmosphérique et une sécheresse quasi générale. L'aggravation de cette sécheresse est liée aussi à la nature des vents qui prédominent en cette saison. Il s'agit des vents continentaux et chauds du sud-est (chergui) qui représentent en moyenne 15 à 20 % du total annuel (une trentaine de jours). Ces vents entraînent un degré hygrométrique faible et une évapotranspiration forte. Seules les pluies d'orages, surtout dans le Causse moyen-atlasique, viennent parfois rafraîchir le temps.

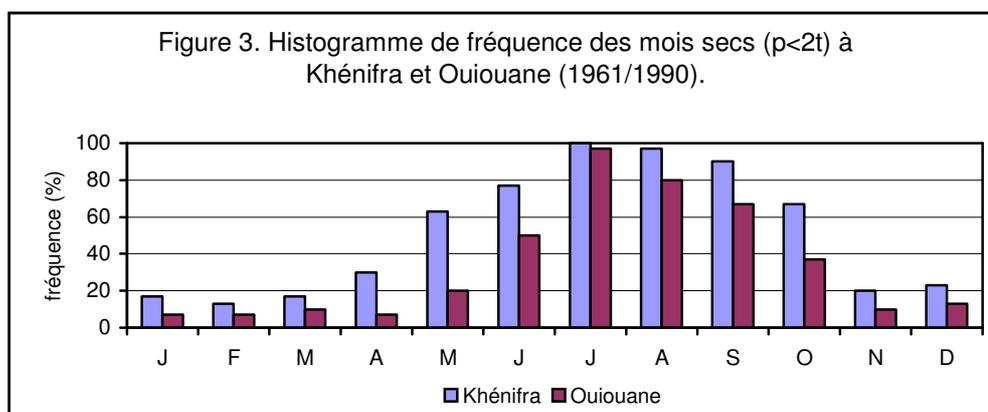


Tableau VI. Fréquence mensuelle de la sécheresse $p < 2t$ à Khénifra et Ouiouane (1961/1990).

station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Khénifra	nombre de cas	5	4	5	9	19	23	30	29	27	20	6	7
	fréquence (%)	17	13	17	30	63	77	100	97	90	67	20	23
	moyenne ($P < 2T$)												
Ouiouane	nombre de cas	2	2	3	2	6	15	29	24	20	11	3	4
	fréquence (%)	7	7	10	7	20	50	97	80	67	37	10	13
	moyenne ($P < 2T$)												

Les régimes probables des précipitations mensuelles schématisent bien cette sécheresse estivale (tableau VII). Les différentes fréquences révèlent une nette chute des précipitations pendant la saison sèche. Le décile supérieur (10 %, c'est-à-dire une année sur dix) chute jusqu'à 17 et 35 mm en juillet respectivement à Khénifra et Ouiouane. Les mois allant de juin à septembre peuvent recevoir des chutes très médiocres ou nulles ainsi que le prouvent les deux déciles inférieurs (80 et 90 %). Les valeurs du coefficient de variation dénotent une variabilité inter-mensuelle des précipitations estivales (tableau VII). Le maximum est centré sur août (2,14) à Khénifra et sur juillet (1,40) à Ouiouane. Une variabilité estivale aussi marquée s'explique, d'une part, par le déficit pluviométrique qui rappelle une caractéristique phare du climat méditerranéen et, d'autre part, par les pluies orageuses, parfois considérables, qui caractérisent cette saison.

La singularité de la saison estivale est également traduite par sa longueur. Celle-ci n'est pas toujours continue. Un mois pluvieux qui interrompt momentanément la sécheresse estivale peut amortir son impact, bien que les précipitations soient vite évaporées et absorbées par les sols desséchés. Toutefois, l'absence de cette interruption peut aggraver l'intensité de la sécheresse et, partant, son impact néfaste sur les ressources en eau et la vie végétale. Par conséquent, il nous paraît intéressant de déterminer la fréquence des successions de

mois secs. Pour pouvoir évaluer cette fréquence, il a fallu borner la saison estivale. Ainsi, avons-nous scindé l'année en deux saisons de longueurs égales : la saison pluvieuse (novembre à avril) et la saison estivale ou sèche (mai à octobre). La longueur de la saison estivale a été prise égale dans les deux stations étudiées pour assurer une meilleure analyse comparative (tableau VIII, figure 4). On note à Khénifra une fréquence assez élevée des années caractérisées par 6 mois secs successifs, soit 23,3 % contre 3,3 % à Ouiouane. A Khénifra, certaines années ont connu le prolongement de ces mois au-delà de la saison estivale. Les années à 5 mois secs successifs représentent 36,7 % à Khénifra contre 16,7 % à Ouiouane, et celles avec 4 mois respectivement 26,7 % et 20 %. Il est à noter qu'à Ouiouane les années présentant 2 et 3 mois secs successifs sont pléthoriques en comparaison avec Khénifra. Ceci s'explique par la fréquence importante à Ouiouane de courtes sécheresses estivales, scindées ou écourtées par des mois orageusement pluvieux.

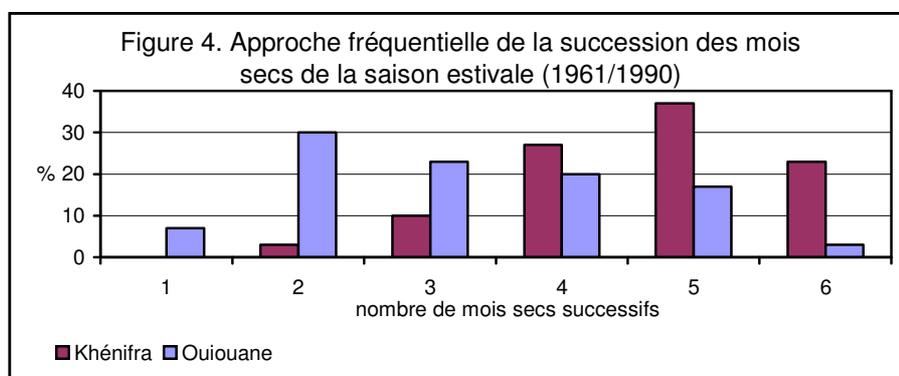
Tableau VII. Les régimes probables (en mm) et les coefficients de variation (CV) des précipitations mensuelles (1961/1990).

station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Khénifra	10 %	206	219	142	202	83	78	17	36	39	140	166	200
	20 %	155	140	118	170	64	58	9	16	29	95	137	160
	50 %	66	79	66	71	27	17	2	4	14	26	65	73
	80 %	22	37	38	22	10	3	0	0	4	13	33	13
	90 %	11	19	15	12	9	2	0	0	2	1	15	9
	CV	0,90	0,75	0,78	0,84	0,92	1,12	1,75	2,14	1,00	1,02	0,68	0,94
Ouiouane	10 %	338	333	285	339	154	71	35	73	79	221	322	276
	20 %	270	257	217	262	104	45	25	48	45	108	233	202
	50 %	88	127	101	115	51	30	4	19	15	46	104	130
	80 %	32	81	37	39	23	10	0	2	2	17	46	31
	90 %	14	37	23	25	15	4	0	0	0	13	14	3
	CV	0,96	0,70	0,94	0,79	0,83	0,73	1,40	1,23	1,15	1,03	0,84	1,10

Tableau VIII. Approche fréquentielle de la succession des mois secs de la saison estivale (mai à octobre) à Khénifra et Ouiouane (1961/1990).

nombre de mois secs successifs	Khénifra		Ouiouane	
	effectif d'années	%	effectif d'années	%
1	0	0,0	2	6,7
2	1	3,3	9	30,0
3	3	10,0	7	23,3
4	8	26,7	6	20,0
5	11	36,7	5	16,7
6	7	23,3	1	3,3
total	30	100	30	100

Concernant la saison froide, Khénifra enregistre un minimum unique en février avec 13 %, suivi de près par janvier et mars avec 17 % chacun. A Ouiouane, le minimum est commun à trois mois à savoir janvier, février et avril avec 7 % chacun. La sécheresse anormale des mois de la saison froide est due à une fréquence relative de situations anticycloniques aléatoires. Cette sécheresse hivernale semble basculer d'un mois à l'autre et est plus brève qu'en saison chaude (1 à 2 mois) ; d'où l'expression du « petit été » hivernal de R. Lambert [16]. La cause en est que les situations anticycloniques hivernales, génératrices du temps sec et froid, sont moins persistantes que les temps stables et chauds d'été, donc plus vite bousculées par les perturbations pluvieuses.



En considérant les régimes probables des précipitations mensuelles (tableau VII), les différentes fréquences de la saison pluvieuse montrent des totaux mensuels aussi copieux que faibles. Le décile supérieur (10 %) tournent autour de 200 mm à Khénifra et 300 mm à Ouiouane, alors que le décile inférieur (90 %) chute respectivement jusqu'à 8 et 3 mm. La saison pluvieuse manifeste une faible dispersion des pluies inter-mensuelles en comparaison avec la saison estivale, le coefficient de variation minimal varie de 0,68 à Khénifra (novembre) à 0,70 à Ouiouane (février).

La fréquence des successions de mois secs pendant la saison froide (novembre à avril) révèle que les mois secs isolés l'emportent sur le reste qui ne dépasse guère 2 mois et dont la fréquence de la succession est faible. En 30 ans, Celle-ci s'est produite 5 et 2 fois respectivement à Khénifra et Ouiouane (tableau I). De tels enchaînements de mois hivernaux secs renforcent les inconvénients de la sécheresse estivale.

Généralement, les fréquences mensuelles de la sécheresse sont relativement plus faibles à Ouiouane (Causse) qu'à Khénifra (Meseta), station plus basse de près de 800 m par rapport à Ouiouane qui jouit, du fait de l'altitude, de l'importance des précipitations et de l'adoucissement des températures. Toutefois, le rapport $P < 2T$ montre que Khénifra et Ouiouane ont une saison sèche estivale moyenne de quatre mois chacune, de

juin à septembre (tableau VI). En termes de fréquence, mai et octobre enregistrent à Khénifra plus de 50 % de mois secs, respectivement 63 et 67 % ; et pourtant ils ne sont pas secs en moyenne selon le rapport $P < 2T$. Inversement, le mois de juin à Ouiouane est sec selon le rapport $P < 2T$, mais seulement avec une fréquence de 50 %. L'ajustement des précipitations et des températures mensuelles au rapport $P < 2T$ n'est pas suffisant. Seule une représentation graphique de ce rapport permet de préciser la longueur de la saison sèche moyenne. Celle-ci frôle les 5 mois à Khénifra contre une centaine de jours à Ouiouane. Cette précision provient du fait que les intersections des courbes P et T se produisent au niveau des mois sub-secs (ou sub-humides), c'est-à-dire les mois où les écarts absolus entre P et 2T sont faibles (mai et octobre pour Khénifra, juin et septembre pour Ouiouane). La représentation graphique du rapport $P = 2T$ permet aussi, par l'appréciation des écarts entre les courbes P et T, d'avoir une idée de l'intensité de la sécheresse ou de l'humidité des mois. L'approche fréquentielle rend encore cette idée plus explicite, en soulignant et quantifiant les risques potentiels de sécheresse propres à chaque mois de l'année (tableau VI, figure 3).

Bien qu'il soit d'une utilisation facile, surtout du point de vue graphique, le rapport $p < 2t$ est loin de refléter la réalité du phénomène de la sécheresse. La température ne traduit qu'approximativement l'évapotranspiration potentielle qui, en plus de celle-là, dépend d'autres paramètres climatologiques. Ceci nous conduira à étudier les bilans hydriques qui font de la confrontation des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle le principal critère pour déterminer les sécheresses saisonnières dans leur intensité et leur impact sur l'hydrologie.

2- Les contrastes des bilans hydriques moyens.

La seule considération des pluies et des températures mensuelles exprime imparfaitement l'ampleur de la sécheresse, car il faut considérer aussi l'effet de l'évapotranspiration potentielle qui conditionne le rythme saisonnier de la quantité d'eau disponible pour l'écoulement. Les précipitations et l'évapotranspiration potentielle constituent deux variables comparables, car elles s'évaluent en hauteur d'eau. Ceci dit, elles sont évidemment plus évocatrices que les définitions reposant sur le rapport P/T qui ne possède pas la moindre justification mathématique, puisqu'il établit le lien entre des grandeurs de nature différente. En outre, le rapport P/T ne tient pas compte de la réserve en eau utile du sol qui intervient surtout au début de la saison sèche pour retarder son apparition. Les bilans hydriques tiennent compte de ce paramètre qui rythme l'ampleur du déficit hydrique et, partant, de la contrainte de la sécheresse [6, 15, 17].

L'évapotranspiration potentielle (ETP) n'est pas mesurée dans le haut bassin de l'Oum-er-Rbia. Ainsi, l'avons-nous estimée. Le choix de la formule dépend des données disponibles au niveau des stations étudiées. Parmi les formules simples et peu exigeantes en paramètres, citons celle de C.W. Thornthwaite qui intègre seulement la température mais sous-estime gravement l'évapotranspiration potentielle. Il y a aussi celle de H.F. Blaney et W.D. Criddle, utilisée largement par les agronomes pour évaluer la demande en eau des

plantes, mais nécessitant, outre la température, la détermination d'un coefficient qui dépend de la culture irriguée, la période d'irrigation et le milieu.

La formule la plus crédible est celle qui exige, pour son calcul, plusieurs paramètres spécifiques, généralement non mesurés au niveau des deux stations étudiées. Parmi les formules combinées, indiquons celles de H.L. Penman et de L. Turc. La première est plus précise, mais exigeante en paramètres climatiques spécifiques, tels que la vitesse du vent, la tension de la vapeur d'eau, le flux énergétique, l'albédo de la surface du sol, etc. La seconde (utilisée ici) introduit la température, la radiation solaire, l'ensoleillement et l'humidité de l'air. Elle est meilleure que celle de Thornthwaite bien qu'elle pêche légèrement par défaut.

Nous aurions voulu établir les bilans hydriques mensuels des années particulières, mais la formule de L. Turc exige la prise en compte, entre autres paramètres, de la durée mensuelle réelle d'ensoleillement. Toutefois, celle-ci n'est pas mesurée dans le haut bassin de l'Oum-er-Rbia. De ce fait, nous nous sommes contentés d'établir les bilans hydriques moyens de Khénifra et Ouiouane en admettant que leurs durées d'ensoleillement correspondent respectivement à celles de Kasba-Tadla (Z=500 m) et d'Ifrane (Z=1635 m). Ces deux stations sont situées respectivement à 70 km au sud-ouest de Khénifra et à 46 km au nord de Ouiouane.

La formule de Turc est la suivante : $ETP \text{ mm/mois} = 0,4.(I_g+50).(T/T+15).K$

T : température moyenne mensuelle (T=0 on a ETP=0).

K : facteur correctif égale à 1 si l'humidité relative H>50%. Pour H<50%, $K=1+(50-H/70)$.

I_g : radiation solaire globale du mois sur une surface horizontale exprimée en cal./cm²/jour. Elle peut être estimée par la formule suivante en utilisant le taux d'ensoleillement F ($F=S_r/S_t$) :

$$I_g = I_o (0,18+0,62.S_r/S_t).$$

S_r : durée réelle moyenne mensuelle d'ensoleillement.

S_t : durée astronomique mensuelle.

I_o : radiation solaire directe en l'absence de l'atmosphère.

I_o et S_t ne dépendent que de la latitude et sont donnés par des tables.

Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle sont confrontées mois par mois avec les précipitations, les autres paramètres du bilan sont déduits systématiquement (tableau IX, figure 5).

2-1- Un déficit hydrique annuel plus marqué à Khénifra qu'à Ouiouane.

A l'échelle annuelle, on remarque que l'évapotranspiration potentielle est plus importante à Khénifra qu'à Ouiouane : 1554 contre 1013 mm, ceci s'explique par les différences thermiques entre la Meseta et le Causse. Par conséquent, le déficit hydrique (DH=ETP-ETR) est disproportionné entre les deux stations, il est deux fois plus important à Khénifra qu'à Ouiouane : 921 contre 431 mm. C'est le manque d'eau nécessaire pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle, c'est-à-dire les besoins en eau des plantes.

Tableau IX. Les bilans hydriques de Khénifra et de Ouiouane (1961/1990).

Khénifra	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
P	81	85	79	84	36	25	4	14	19	46	75	89	637
T	9,2	10,7	12,5	13,9	17,4	22,8	27,9	27,6	24,3	18,4	13,8	10,5	17,4
P<2T													
ETP	47	66	89	113	156	202	246	226	178	118	64	49	1554
P<ETP													
BC	34	19	-10	-29	-120	-177	-242	-212	-159	-72	11	40	-917
DPC			-10	-39	-159	-336							
RU	85	100	90	66	19	3	0	0	0	0	11	51	
ΔRU	34	15	-10	-24	-47	-16	-3	0	0	0	11	40	
SH	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
DH	0	0	0	5	73	161	239	212	159	72	0	0	921
ETR	47	66	89	108	83	41	7	14	19	46	64	49	633

Ouiouane	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
P	143	152	125	137	65	30	10	26	27	68	135	133	1051
T	2,9	4,3	6,3	9,2	11,2	16,6	22,3	21,4	15,9	11,4	7,4	4,1	11,1
P<2T													
ETP	23	38	51	80	101	138	176	153	113	76	40	24	1013
P<ETP													
BC	120	114	74	57	-36	-108	-166	-127	-86	-8	95	109	+38
DPC					-36	-144	-310	-437					
RU	100	100	100	100	67	22	4	2	0	0	95	100	
ΔRU	0	0	0	0	-33	-45	-18	-2	-2	0	95	5	
SH	120	114	74	57	0	0	0	0	0	0	0	104	469
DH	0	0	0	0	3	63	148	125	84	8	0	0	431
ETR	23	38	51	80	98	75	28	28	29	68	40	24	582

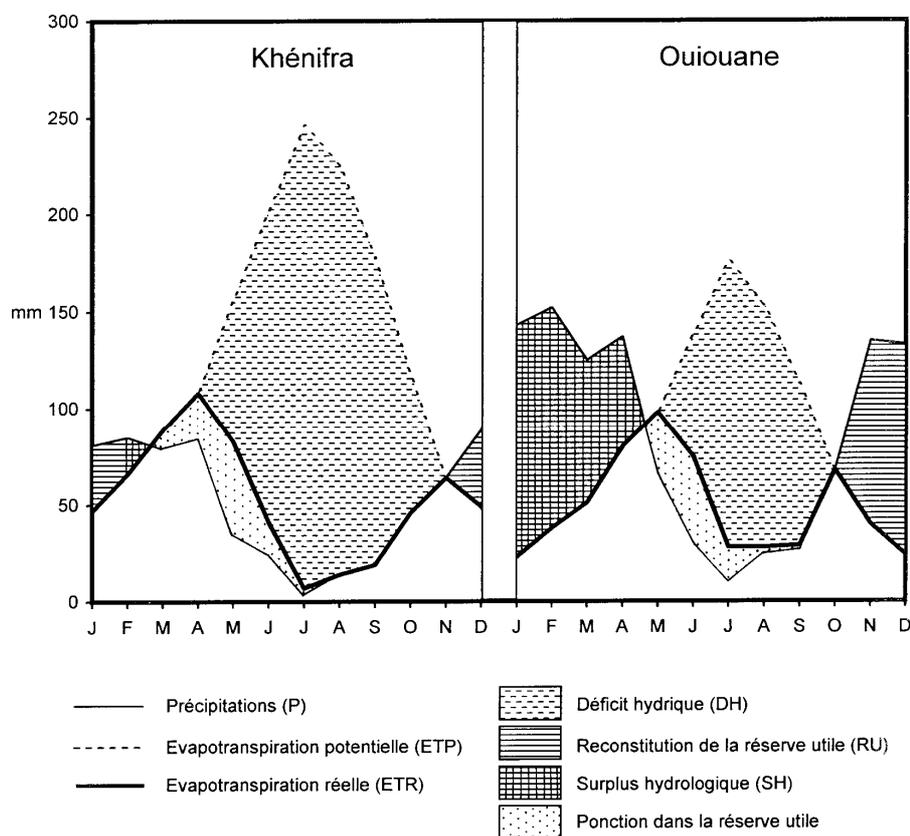
- P : précipitations en mm.
T : températures en degrés centigrades.
ETP : évapotranspiration potentielle en mm (formule de L. Turc).
BC : bilan climatique en mm (P-ETP).
DPC : déficit pluviométrique cumulé en mm.
RU : réserve utile en mm (évaluée selon abaque de J.P. Trzpit).
ΔRU : variation de la réserve utile en mm.
SH : surplus hydrologique en mm (P-ETR).
DH : déficit hydrique en mm (ETP-ETR).
ETR : évapotranspiration réelle en mm.

L'évapotranspiration réelle, qui traduit l'eau effectivement prélevée par voie atmosphérique, est relativement stable aussi bien à Khénifra (633 mm) qu'à Ouiouane (582 mm). La confrontation de l'évapotranspiration réelle et des précipitations renseigne sur le surplus hydrologique (SH=P-ETR) alimentant l'écoulement sous toutes ses formes. Le surplus hydrologique est quasiment nul à Khénifra (4 mm), alors que Ouiouane présente une quantité considérable (469 mm). C'est dire que l'Oum-er-Rbia, allogène à la Meseta semi-aride, est alimenté par le Causse moyen-atlasique bien arrosé. L'ensemble du haut bassin de l'Oum-er-Rbia (3420 km²) fournit un débit moyen annuel de l'ordre de 30 m³/s. Il est à souligner que les bassins

versants adjacents contribuent partiellement à ce débit par le biais des transferts occultes, en particulier à partir du haut bassin du Sebou [18].

2-2- Des contrastes saisonniers des bilans hydriques entre la Meseta et le Causse.

A l'échelle saisonnière (mensuelle), la lecture du bilan hydrique annuel dégage quatre phases qui se succèdent. La première est la période hivernale d'écoulement où les précipitations sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle. La deuxième caractérise l'épuisement des réserves du sol, au printemps et en été où l'évapotranspiration potentielle est supérieure aux précipitations. La troisième dégage une période de déficit en fin de saison végétative. La quatrième traduit la phase de reconstitution des réserves du sol qui précède la reprise de l'écoulement.



A partir de novembre, les précipitations l'emportent sur l'évapotranspiration potentielle aussi bien à Khénifra qu'à Ouiouane. Le sol reçoit plus d'eau qu'il n'en perd et tend, par conséquent, à reconstituer ses réserves utiles plafonnées dans notre analyse à 100 mm, valeur communément retenue au Maroc pour des raisons qui tiennent plus à la qualité relativement médiocre des sols qu'à la quantité des précipitations annuelles. La réserve utile se reconstitue plus rapidement à Ouiouane (décembre) qu'à Khénifra (février). La cause en est que les apports et les prélèvements mensuels ne se produisent pas dans les mêmes proportions aux deux stations ; les rapports P/ETP de novembre et décembre sont respectivement de 1,17 et 1,82 à Khénifra contre 3,37 et 5,54 à Ouiouane (tableau X). Les faibles précipitations automnales à Khénifra (5 à 8 mm/j) sont à la merci de l'évapotranspiration et des sols encore desséchés.

Tableau X. Typologie hydro-climatique mensuelle de la sécheresse et de l'humidité à Khénifra et Ouiouane (1961/1990).

station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Khénifra	P/T	8,8	7,9	6,3	6,0	2,1	1,1	0,1	0,5	0,8	2,5	5,4	8,5
	P/ETP	1,72	1,29	0,89	0,74	0,23	0,12	0,02	0,06	0,11	0,39	1,17	1,82
		SH	SH	SH	SH	SS	S	HS	HS	S	SS	SH	SH
Ouiouane	P/T	49,3	35,3	19,8	14,9	5,8	1,8	0,4	1,2	1,7	6,0	18,2	32,4
	P/ETP	6,22	4,00	2,45	1,71	0,64	0,22	0,06	0,17	0,24	0,89	3,37	5,54
		HH	HH	H	SH	SH	SS	HS	S	SS	SH	H	HH

saison		type de sécheresse	P/T	P/ETP	DH (mm)	F=p<2t (%)
saison humide	HH	mois hyper-humide	P≥30T	P/ETP≥4	DH=0	F<10
	H	mois humide	30T>P≥15T	4>P/ETP≥2	DH=0	10≤F<20
	SH	mois sub-humide	15T>P≥3T	2>P/ETP≥0,5	DH≤30	20≤F<50
saison sèche	SS	mois sub-sec	3T>P≥1,5T	0,5>P/ETP≥0,20	30<DH≤100	50≤F<60
	S	mois sec	1,5T>P≥0,8T	0,20>P/ETP≥0,10	100<DH≤170	60≤F<85
	HS	mois hyper-sec	P<0,8T	P/ETP<0,10	DH>170	F≥85

Le temps bref de la reconstitution de la réserve du sol à Ouiouane s'explique par l'abondance des précipitations qui permettent une longue phase de saturation qui dure 5 mois contre seulement un seul à Khénifra, moins arrosée que Ouiouane. Ainsi, toute pluie arrivant de surcroît aboutit-elle à l'écoulement ou à l'infiltration ; et ce sera, compte tenu de la longueur de cette phase, plus importante en Causse qu'en Meseta. En s'inspirant des travaux de J. Mounier [17, 19], nous avons établi une typologie hydro-climatique générale des mois qui s'articule autour des deux grandes saisons de l'année, variables suivant la station (tableau X). Les mois hyper-humides et humides (P/ETP≥2) sont au nombre de 5 à Ouiouane alors que Khénifra n'enregistre aucun. Le Causse, malgré la longueur de la phase de la saturation, est dépourvu d'écoulement superficiel pérenne du fait du caractère filtrant des calcaires. Il renvoie les eaux de ses nappes karstiques sur les abords (Dir et vallées atlasiques) où elles ressurgissent sous forme de sources alimentant des cours d'eau qui débouchent sur la Meseta. Par contre, dans celle-ci, au substratum imperméable (argile et schiste),

l'écoulement superficiel étant prédominant en l'absence de régulateur naturel (réserves souterraines) ; le réseau hydrographique est beaucoup plus sensible au régime des précipitations. L'écoulement oscille entre les crues violentes et l'absence d'eau. Khénifra n'enregistre que des mois sub-humides de novembre à avril ($2 > P/ETP \geq 0,5$). De ce fait, la Meseta n'est pas à même de fournir abondamment et régulièrement de l'eau à son réseau hydrographique. L'Oum-er-Rbia et ses principaux affluents, qui parcourent en partie la Meseta, continuent à être alimentés par les nappes souterraines importantes du Causse. Pour l'ensemble du haut bassin de l'Oum-er-Rbia, le débit moyen des mois les plus chauds et les moins arrosés de l'année, à savoir juillet et août, est respectivement de 16 et 15 m³/s [18, 20, 21].

A Khénifra, dès mars, avec l'établissement du rapport $P < ETP$, l'évapotranspiration s'exerce aux dépens de la réserve utile du sol (à peine reconstituée en février) qui s'épuise complètement en mai. A Ouiouane, la restitution de la réserve utile commence tardivement, au mois de mai qui débute la saison estivale avec $P < ETP$, pour s'épuiser en juin. Un déficit énorme apparaît alors, surtout dans la Meseta (Khénifra) qui enregistre 2 mois hyper-secs ($P/ETP < 0,10$) contre un seul à Ouiouane. Ce déficit dure jusqu'à la fin d'octobre qui marque le dernier mois de la saison estivale avec $P < ETP$.

Conclusion.

L'approche fréquentielle du rapport $p < 2t$ permet de souligner le risque de sécheresse propre à chaque mois. La saison estivale est la saison sèche la plus distinguée chaque année. Les autres saisons peuvent également connaître la sécheresse, mais d'une manière occasionnelle et moins durable que la sécheresse estivale. Les bilans hydriques moyens confirment ce constat. Ils distinguent bien la sécheresse estivale par rapport aux sécheresses accidentelles de la saison froide qui s'annulent en moyenne. Au niveau des mois réels, la comparaison entre $p = 2t$ et bilan hydrique serait faussée par les reports hydriques inter-mensuels. Arrêt et reprise des précipitations d'une part, et rétention-restitution pédologiques d'autre part, provoquent des déphasages entre la sécheresse au niveau du sol ($p < 2t$) et la sécheresse dans le sol telle qu'elle a été traduite par le bilan hydrique (épuisement total ou partiel de la réserve utile).

Le rapport $P < 2T$ estime la sécheresse hydrologique estivale, alors que le bilan hydrique fait ressortir cette sécheresse en termes de déficit hydrique (DH) hypothéquant la croissance des plantes. En moyenne mensuelle, la confrontation des deux méthodes ($P = 2T$ et bilan hydrique) montre que la réserve utile (RU) du sol arrive à la phase finale de son épuisement avec l'établissement de $P < 2T$. C'est dire que la RU commence son épuisement avant la réalisation de ce rapport. Après la saison de $P < 2T$, un mois (octobre) s'écoule avant que la RU ne commence à se reconstituer. On remarque que l'épuisement total et début de reconstitution de la RU marquent un léger décalage par rapport aux bornes de la saison estivale $P < 2T$ (tableau IX). Ainsi, faudrait-il amplifier la proportion des températures ($P < 3T$) pour fixer le début et la fin de la saison sèche en termes pédologiques [11]. Cet ajustement ressort bien du rapprochement des résultats issus des deux méthodes (tableau X). Un intervalle de fréquences (F) propre à chaque type de sécheresse a été dégagé. Le

seuil séparateur entre saison humide et saison sèche est fixé au niveau de 50 %. L'intensité de la sécheresse s'aggrave d'autant plus que ce pourcentage augmente ; que le rapport P/ETP s'éloigne de 0,5 pour se rapprocher de 0 ; que le DH est supérieur à 30 mm, seuil au-dessus duquel les cultures et l'économie herbagère commencent à éprouver des difficultés.

Les sécheresses estivales et accidentelles affectent aussi bien le Causse que la Meseta, mais leur intensité et leur longueur décroissent avec l'altitude. La sécheresse estivale (3 à 5 mois) ne constitue pas une contrainte majeure pour les cultures, surtout les cultures pluviales et annuelles (blé, orge), si les autres saisons de l'année ont reçu des précipitations supérieures aux seuils saisonniers de déficit pluviométrique (stresse hydrique) propres aux phases de développement d'une culture dans un milieu précis. D'autres seuils pluviométriques (hivernaux) conditionnent les disponibilités en eau pour l'alimentation humaine, la réussite des cultures irriguées de l'été, ou encore la préservation des écosystèmes terrestres et aquatiques. Pour tous ces secteurs, le risque réel provient soit de l'étalement et la persistance de la sécheresse estivale, soit de la sécheresse plus ou moins avérée des autres saisons de l'année [1, 22].

Bien qu'il ne soit pas situé dans un espace de pénurie (on est en plein château d'eau du Maroc !), le haut bassin de l'Oum-er-Rbia est confronté aux problèmes du manque d'eau, surtout pendant la saison chaude et les années sèches, aussi bien au niveau des centres urbains généralement déficitaires, qu'au niveau de l'irrigation qui est faible. L'eau du haut bassin de l'Oum-er-Rbia, globalement abondante mais mal répartie, est généralement considérée comme domaniale et, de ce fait, elle est destinée en priorité à l'irrigation des cultures d'exportation des grandes plaines atlantiques [23]. Dans le haut bassin de l'Oum-er-Rbia, l'irrigation (7200 ha en année pluvieuse), concentrée essentiellement dans le Dir et les basses vallées atlasiques, est loin de peser lourd dans l'économie locale. En dehors de quelques faibles droits d'eau anciens, l'utilisation des eaux des sources et des rivières est soumise à une autorisation administrative (avec redevance) difficile à obtenir [18].

Au-delà des considérations politiques et juridiques que revêt l'utilisation de l'eau du haut bassin de l'Oum-er-Rbia, seules une maîtrise et une utilisation rationnelle de l'eau peuvent apporter une solution à la sécheresse quelle que soit sa nature.

Références

1. Rognon P. Sécheresse et aridité, leur impact sur la désertification au Maghreb. Montrouge, *Sécheresse* 1996 ; 4 : 287-297.
2. Douguédroit A. Climat du bassin méditerranéen. In : Le climat, l'eau et les hommes, *Presses universitaires de Rennes*, 1997 : 251-280.
3. Bensari A. La sécheresse et la variabilité inter-annuelle des précipitations au Maroc. Rabat, *Eau et Développement* 1987 ; 3 : 5-9.
4. Cote M, Legras J. La variabilité pluviométrique inter-annuelle au Maroc.- Rabat, *Revue de Géographie du Maroc* 1966 ; 10 : 19-30.

5. Gravier J, Weisrock A. Un exemple d'accident climatique, la sécheresse des années 1975-1984 au Maroc. In : climat et risques naturels, *Association Française de Géographie Physique*, Paris, 1987 : 139-148.
6. Vigneau J-P. *L'eau atmosphérique et continentale*. Paris : SEDES, 1996 ; 192 p.
7. Belkheiri A, Comte J-P, El Khabote A, et al. Bilan de cinq années de sécheresse au Maroc. Rabat, *Eau et Développement* 1987 ; 3 : 10-26.
8. Lahlou A. Analyse de la sécheresse qui a sévi de 1980 à 1985 au Maroc, cas de la région de Fès. Université de Fès, *Revue de la Faculté des Lettres* 1990 ; 6 : 7-26.
9. Laouina A. La sécheresse au Maroc et dans les pays riverains du Sahara, aspects climatiques. Rabat, *Revue de Géographie du Maroc* 1982 ; 6 : 13-36 (en arabe).
10. Bagnouls F, Gaussen H. Les climats biologiques et leur classification. Paris, *Annales de Géographie* 1957 ; 355 : 193-220.
11. Lambert R. *Géographie du cycle de l'eau*. Toulouse : Presses universitaires du Mirail, 1996 ; 439 p.
12. Lamarre D, Pagney P. *Climats et sociétés*. Paris : Armand Colin, 1999 ; 272 p.
13. Sécheresse (revue). *Les sécheresses de par le monde*. Montrouge, 1995 ; 1 (numéro spécial) ; 158 p.
14. Delannoy H. Remarques sur la Climatologie de la façade atlantique ibéro-marocaine au sud de 40° N. In : Le climat, l'eau et les hommes, *Presses universitaires de Rennes*, 1997 : 301-317.
15. Vigneau J-P. *Géoclimatologie*. Paris : Ellipses, 2000 ; 334 p.
16. Lambert R. *Recherches hydrologiques dans le sud-est du bassin garonnais*. Université de Toulouse 2, Thèse de doctorat d'Etat, 1975, 2 tomes ; 750 p.
17. Mounier J. *Les climats océaniques des régions atlantiques de l'Espagne et du Portugal*. Université de Rennes 2, Thèse de doctorat d'Etat, 1977 (reproduction université Lille 3, 1979), 3 tomes ; 1221 p+246 p.
18. El Jihad M-D. *L'eau dans le haut bassin versant de l'Oum-er-Rbia (Maroc), ressources, utilisations et conflits*. Université de Poitiers, Thèse de doctorat, 1999 ; 606 p.
19. Mounier J. Aspects et fréquences de la sécheresse en Bretagne. *Revue de Géographie de Lyon* 1977 ; 2 : 167-176.
20. Bentayeb A, Leclerc Cl. Le Causse moyen-atlasique. Rabat, *notes et mémoires du service géologique du Maroc* 1977 ; 231, tome 3 : 37-66.
21. Combe M, Ferré M, Thauvin J-P. Meseta centrale et Meseta côtière. Rabat, *notes et mémoires du service géologique du Maroc* 1975 ; 231, tome 2 : 147-171.
22. Yacoubi M, El Mourid M, Chbouki N, Stockle C-O. Typologie de la sécheresse et recherche d'indicateurs d'alerte en climat semi-aride marocain. Montrouge, *Sécheresse* 1998 ; 4 : 269-276.
23. El Jihad M-D. L'eau de la montagne et le pouvoir étatique au Maroc, entre le passé et le présent. Paris, *Annales de Géographie* 2001 ; 622 : 665-672.