

**Evolution du régime pluviométrique et hydrométrique du bassin versant  
du Srou (Moyen Atlas, Maroc)**

**Evolution of the pluviometric and hydrometric mode of the drainage basin  
of Srou (Middle Atlas, Morocco)**

K. ELBOUQDAOUI<sup>1</sup>, S. HAIDA<sup>2</sup>, O. ABOULABBES<sup>3</sup>, L. BENAABIDAT<sup>4</sup>,  
M. ZAHRAOUI<sup>5</sup> & A. OZER<sup>6</sup>

**Abstract:** This work aims to characterize the hydrological fluctuations of Srou basin (SB) drainage. The SB is located at the south-west of the central Middle Atlas, in the province of Khénifra. It extends on a area of about 1443 km<sup>2</sup>.

A statistical study of the pluviometry carried out by ten pluviometric stations localised on the level of the SB drainage and its immediate surroundings, shows irregular precipitation in the time and space. The monthly and annually evaluation of the precipitation was carried out. In fact, the analysis of a series of precipitations and liquid flows at the station Chacha n Amellah located at the downstream of the sector of this study gives the fluctuations in the hydrological regime. The dry and wet states of the oued Srou drainage basin were obtained by characterizing the evolutionary tendency and the intensity and the duration of overdrawn or surplus periods. The results show a correlation between these two pluviometric parameters, and the analysis of the results reveals a general tendency to draining.

Key words: Srou, drainage basin, flows, rainfall, drought

**Résumé:** Le présent travail se propose de caractériser les fluctuations hydrologiques du bassin versant du Srou, qui se situe au sud-ouest du Moyen Atlas central, dans la province de Khénifra, et s'étend sur une superficie d'environ 1443 km<sup>2</sup>.

L'étude de la pluviométrie par le biais d'une dizaine de stations pluviométriques localisées au niveau du bassin versant du Srou et dans ses environs immédiats, montre des précipitations irrégulières dans le temps et dans l'espace.

L'évaluation de l'impact de la variabilité des précipitations sur les volumes d'eau écoulés amène à étudier l'évolution des précipitations mensuelles et annuelles. De ce fait, l'analyse d'une série de précipitations et des débits liquides à la station Chacha n Amellah située à l'aval du secteur d'étude est effectuée pour saisir les fluctuations du régime hydrologique et la détermination des états sec et humide du bassin versant du Srou, en caractérisant la tendance évolutive par l'intensité et la durée des périodes déficitaires ou excédentaires. La corrélation entre ces deux paramètres pluviométriques est forte dans leur évolution annuelle. L'analyse des résultats fait apparaître une tendance générale à l'assèchement.

Mots clés: Srou, bassin versant, débits, précipitations, sécheresse.

---

<sup>1</sup> Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat-Maroc

<sup>2</sup> Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences, Département de Géologie, Kenitra-Maroc

<sup>3</sup> Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé-Maroc

<sup>4</sup> Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Fès-Maroc

<sup>5</sup> Université Mohamed V, Faculté des Sciences, Département de Géologie, Rabat-Maroc

<sup>6</sup> Université de Liège, Faculté des Sciences, Unité de Géographie physique, Géomorphologie et Télédétection, Liège-Belgique

## INTRODUCTION

Les événements pluvieux dans le bassin versant du Srou se caractérisent par une forte variabilité annuelle et interannuelle. Au cours des vingt dernières années, la région a connu plusieurs périodes de sécheresse.

La sécheresse est un phénomène complexe touchant plusieurs domaines tels que : la réduction des terres arables, le rendement des cultures, la diminution des eaux souterraines et superficielles, l'alimentation en eau potable, l'humidité du sol et le niveau des eaux stockées dans les barrages, d'où la difficulté d'en donner une définition satisfaisante. HEATHCOTE (1973), cité par BERGAOUI (2001), avance qu'il y a autant de définitions de sécheresse qu'il y a de formes d'utilisation de l'eau.

De nombreuses activités économiques dépendent de la variabilité climatique, notamment la sécheresse, qui entraîne diverses conséquences sur l'environnement.

Les informations sur les séquences sèches et humides, sur le début, la fin et la durée de ces périodes sont fort souhaitables dans plusieurs domaines pour la planification des activités et la prévention des catastrophes.

Des travaux antérieurs réalisés au Maroc montrent une plus longue persistance de la sécheresse à l'intérieur du pays que dans les zones côtières (MEKO, 1985).

L'analyse des sécheresses au Maroc (SAFI, 1990), montre que celles-ci ont généralement une dimension régionale et couvrent rarement la totalité du pays, comme ce fut le cas pour les années 1944-45 et 1982-83 (LE GOFF, 1985, cité par YACOUBI, 2001), ainsi que l'année 1994-95. STOCKTON (1984), cité par YACOUBI (2001), indique que les stations qui présentent une faible corrélation pluviométrique entre elles, ont cependant montré une certaine cohérence durant la séquence sèche 1980-1983.

Une étude plus récente d'une série pluviométrique relative à 13 stations synoptiques réparties sur toutes les régions climatiques du Maroc, a été réalisée par le Ministère des Travaux Publics en 1997, citée par YACOUBI (2001), montre 11 périodes de sécheresse climatique dont l'extension a été généralisée à la majeure partie du pays : 1904-1905, 1917-1920, 1930-1935, 1944-1945, 1948-1950, 1960-1961, 1974-1975, 1981-1984, 1986-1987, 1991-1993 et 1994-1995.

L'étude de HAIDA *et al.* (1999) sur le bassin versant du Sebou montre que les séquences sèches sont plus étendues dans l'espace et plus persistantes dans le temps que les séquences humides.

L'objectif de ce travail est d'exposer la répartition et l'évolution spatio-temporelle des périodes sèche et humide intra- et inter-annuelles, de caractériser et de retracer la variabilité climatique du bassin versant du Srou (Moyen Atlas, Maroc).

Cette étude s'appuie sur des données pluviométriques de plusieurs stations situées au sein du bassin versant et dans ses environs immédiats et sur des volumes d'eau écoulés à l'exutoire du bassin.

### ZONE D'ETUDE:

Le bassin versant du Srou se situe au sud-ouest du Moyen Atlas central, dans la province de Khénifra (Fig. 1), entre 32°35' et 33° de latitude nord et 5°05' et 5°50' de longitude ouest. Il est limité à l'ouest par le massif central hercynien, au nord par le Causse d'Ajdir et au sud-est par la plaine de la haute Moulouya.

L'oued Srou est l'un des affluents de l'oued Oum Erbia. Il prend naissance à une altitude de 2300 m environ et s'écoule du nord-est vers le sud-ouest. Son principal affluent, l'oued Chbouka, se trouve sur sa rive droite.

Le bassin versant occupe une superficie de 1443 km<sup>2</sup>. Il offre un caractère montagneux et les altitudes y sont comprises entre 700 et 2350 m (Fig. 2).

L'étude d'une série pluviométrique (1975/76 à 2000/01) d'une dizaine de stations pluviométriques localisées au niveau du bassin versant du Srou et dans ses environs immédiats (Fig. 2), montre des précipitations irrégulières dans le temps et dans l'espace. La moyenne

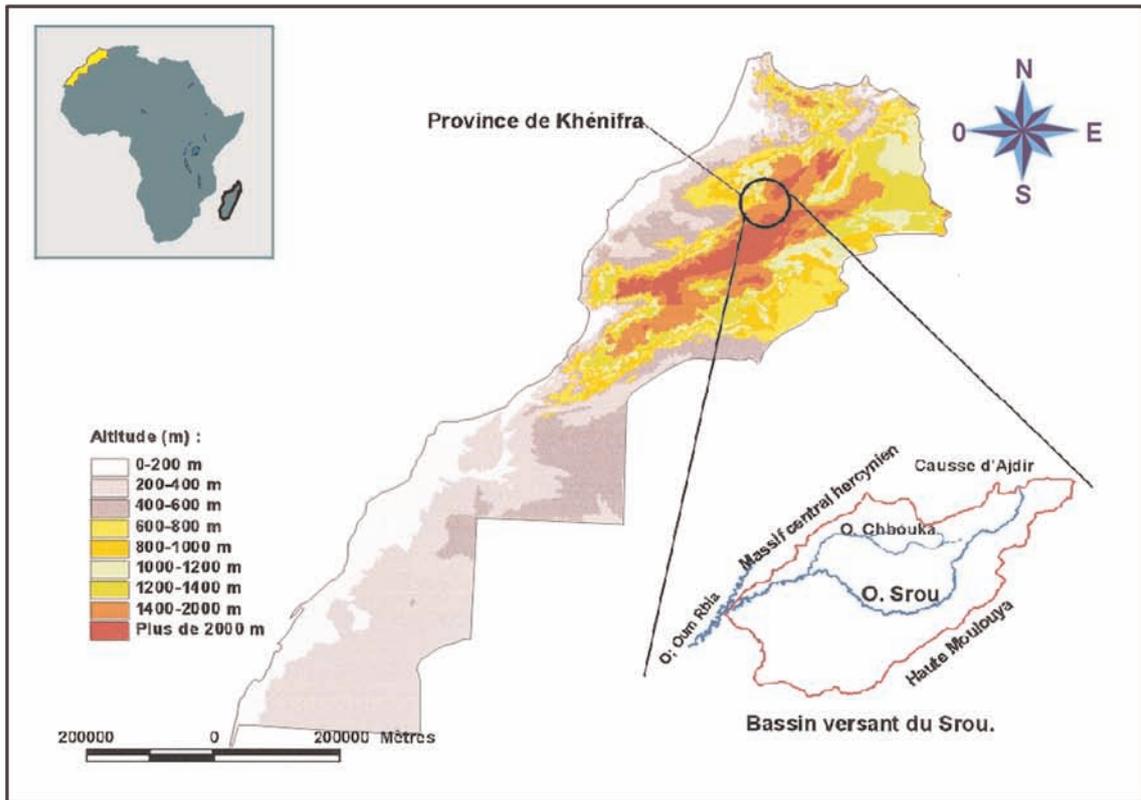


Fig. 1: situation géographique du bassin versant du Srou

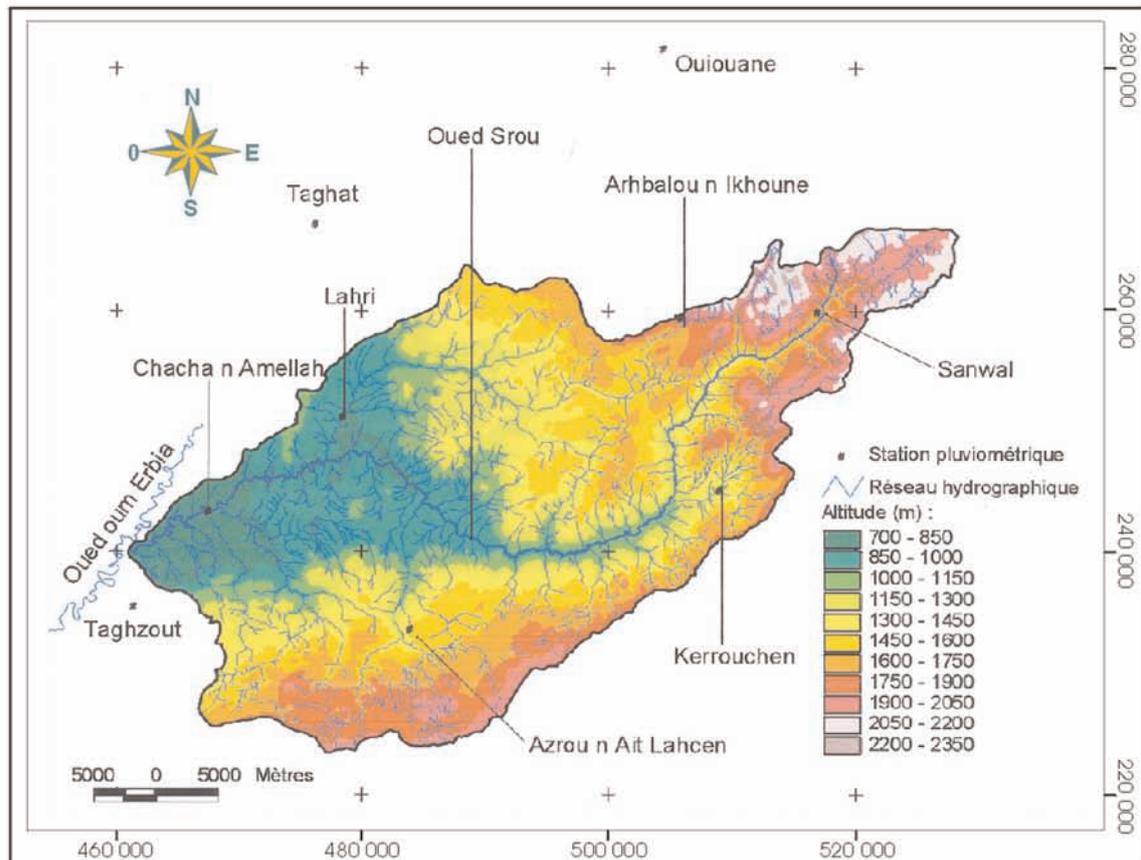


Fig. 2: situation des stations pluviométriques



Photo 1: Confluence de l'oued Srou avec l'oued Oum Rbia ; Province de Khénifra, Maroc.  
(photo : K.Elbouqdaoui)



Photo 2 : paysage aux environs de la confluence de l'Oued Srou avec l'Oued Oum Rbia  
(photo : K.Elbouqdaoui)

annuelle, de l'ordre de 612 mm, atteint un maximum en 1995/96 avec des quantités dépassant 700 mm et des minimums en 1982/83 et 1994/95 de l'ordre de 300 mm. La température moyenne annuelle à la station de Taghat (1982/2001) est de 18 °C, avec un maximum mensuel de 29 °C enregistré en juillet et août et un minimum de 9 °C enregistré en janvier.

On passe, de l'ouest à l'est, d'un climat de basse montagne semi-aride à hiver frais à un climat de moyenne montagne sub-humide à hiver froid.

## METHODOLOGIE

L'analyse de la tendance évolutive pluviométrique et hydrométrique se base sur l'étude des paramètres mensuels et annuels relatifs à la température, aux précipitations et aux débits liquides sortant du bassin.

Les données pluviométriques utilisées ont été collectées auprès des services régionaux du Ministère de l'Équipement à Khénifra, de la Direction de l'Hydraulique à Béni Mellal et des services du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification à Rabat.

Dans le but d'évaluer la tendance évolutive des différentes stations, une analyse des données pluviométriques a été effectuée sur une série d'observations allant de 1975/76 à 2000/01. Les caractéristiques des différentes stations sont données dans le tableau I. Les précipitations sont enregistrées avec des pluviographes dans l'ensemble des stations, alors que la température n'est relevée qu'au niveau de la station Taghat. Les volumes d'eau écoulés à la surface sont relevés à la station Chacha n Amellah qui se situe à l'exutoire du bassin versant du Srou. Elle contrôle une superficie de 1400 km<sup>2</sup> soit pratiquement la totalité du bassin étudié (1443 km<sup>2</sup>).

Tab. I: Caractéristiques des différentes stations pluviométriques.

<i>Station</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z/m</i>	<i>Période d'observation</i>	<i>Nombre d'années</i>	<i>Précipitations moyennes (mm)</i>
<i>Arhbalou n Ikhouane</i>	506,000	259,800	1800	1975/76-2000/01	26	813,8
<i>Azrou n Ait Lahcen</i>	484,000	233,500	1475	1975/76-1997/98	23	588,9
<i>Chacha n Amellah</i>	467,500	243,250	736	1975/76-2000/01	26	471,6
<i>Kerrouchen</i>	508,500	246,000	1350	1975/76-2000/01	26	575,9
<i>Lahri</i>	478,500	251,125	835	1975/76-2000/01	26	616,7
<i>Ouiwane</i>	504,500	281,500	1635	1975/76-2000/01	26	836,1
<i>Sanwal</i>	517,000	263,000	2000	1975/76-2000/01	26	571,5
<i>Taghat</i>	476,220	266,940	873	1975/76-2000/01	26	550,1
<i>Taghzout</i>	461,850	235,350	720	1975/76-2000/01	26	485,2

Le travail se base sur l'utilisation de plusieurs indices de sécheresse choisis pour leur facilité d'utilisation et leur efficacité en terme de suivi de la progression de la sécheresse et de l'évaluation des fluctuations climatiques, qui a été démontrée dans plusieurs travaux de recherches : HOUCINI (2002), BERGAOUI (2001), HAIDA *et al.* (1999), PROBST (1989).

L'évaluation de la sécheresse mensuelle a été caractérisée selon la méthode de BAGNOULS et GAUSSEN (1957), qui définit les mois secs par le rapport ( $P < 2T$ ) en utilisant les valeurs mensuelles des précipitations (P) exprimées en millimètres et les températures (T) exprimées en degré Celsius.

Le déficit pluviométrique à l'échelle de l'année et les grandes tendances, l'ampleur de la sécheresse et l'intensité ont été évalués en utilisant l'indice de pluviosité ( $I_p$ ), l'indice de l'écart à la moyenne ( $E_m$ ) (LE GOFF 1985, cité par YACOUBI) et l'indice standardisé de précipitation (SPI), (Mc KEE *et al.* 1993).

L'écart à la moyenne ( **$E_m$** ) est la différence entre la hauteur des précipitations annuelles ( $P_i$ ) et la hauteur moyenne annuelle des précipitations ( $P_m$ ) :  **$E_m = P_i - P_m$** . On parle d'année déficitaire (sèche) quand la pluie est inférieure à la moyenne et d'année excédentaire (humide) quand la moyenne est dépassée.

Les années peuvent être très déficitaires ou très excédentaires. L'ampleur de la sécheresse a été définie comme étant la somme des années détectées sèches ou très sèches.

Une année sèche est une année ayant reçu une précipitation inférieure à la moyenne. Une année très sèche est une année ayant reçu des précipitations inférieures à la moyenne des années sèches.

L'intensité de la sécheresse est définie comme étant le rapport du déficit cumulé à sa durée.

L'indice de pluviosité ( **$I_p$** ), est le rapport de la hauteur des précipitations annuelles à la hauteur moyenne des précipitations :  **$I_p = P_i / P_m$** . Une année est humide quand  $I_p > 1$ , et sèche quand  $I_p < 1$ . L'indice de l'écart proportionnel à la moyenne ( **$I_{pm} = I_p - 1$** ) est utilisé pour situer une pluviométrie dans une longue série de relevés pluviométriques.

L'indice standardisé de précipitation (**SPI**) a été développé en 1993 par Mc KEE, N.J. DOESKEN & J. KLEIST de l'Université de l'Etat du Colorado, pour la détermination des déficits pluviométriques pour une période donnée.

**$SPI = (P_i - P_m) / \text{Ecart type}$** , avec  $P_i$  : précipitations mensuelles et  $P_m$  : précipitations moyennes mensuelles. La sécheresse se caractérise par un SPI négatif et se termine quand il devient positif.

Cet indice à l'avantage de pouvoir déterminer le déficit hydrique à l'échelle des saisons et à l'échelle de l'année.

Les intervalles des valeurs du SPI pour identifier les anomalies des précipitations sont les suivants:

- $> +2.0$  extrêmement humide
- de  $+1.99$  à  $+1.5$  humide
- de  $+1.49$  à  $+1.0$  modérément humide
- $+0.99$  à  $-0.99$  normal
- de  $-1.0$  à  $-1.49$  modérément sec
- de  $-1.5$  à  $-1.99$  sec
- $< -2.0$  extrêmement sec

Un autre indice a été utilisé pour caractériser la variabilité de l'écoulement superficiel qui a affecté le secteur d'étude. Il se base sur les données du volume d'eau écoulé à l'exutoire du bassin, depuis 1975/76 jusqu'à 2000/01. La variabilité est estimée à partir des débits liquides moyens annuels à la station Chacha n Amellah sur l'oued Srou.

La méthode adoptée dans ce travail est celle utilisée par PROBST (1989) pour la Garonne (France) et par HAIDA *et al.* (1999) pour le Sebou (Maroc). Elle permet de distinguer les grandes périodes humides et sèches, en utilisant les écarts ( $E_c$ ) des débits moyens annuels ( $Q_{ma}$ ) au débit moyen interannuel ( $Q_{mi}$ ), afin d'identifier les fluctuations du régime d'écoulement.

$$E_c (\%) = (Q_{ma} - Q_{mi}) / Q_{mi} \times 100$$

L'écart est positif pour les années humides et il est négatif pour les années sèches. Ensuite, les données annuelles hydrométriques ont été corrélées avec les données pluviométriques correspondant à la même période, afin d'évaluer les tendances évolutives des deux paramètres.

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

### Evolution des précipitations

#### *Méthode de H. Gaussen*

L'analyse fréquentielle mensuelle à la station Taghat (1982/2002) selon la méthode (P<2T) de BAGNOULS et GAUSSEN (1957), permet de mettre en évidence les mois secs et humides.

Les années agricoles (allant de septembre à août au Maroc) les plus déficitaires par rapport à la moyenne sont 1982/83 (223,7 mm) et 1994/95 (255,8 mm). Les années les plus excédentaires correspondent aux années 1995/96 (1117 mm) et 1996/97 (790 mm).

Les précipitations ont été importantes pendant les mois de janvier et de février et ont atteint leur minimum et une certaine stabilité pendant les mois de juillet et août. On note des mois secs en dehors des périodes estivales.

L'analyse des résultats montre que les mois secs s'étalent de mai à octobre avec des fréquences variables (Tab. II), et que les années qui présentent 6 et 7 mois secs sont les plus fréquentes (Tab. III).

Tab. II: Fréquence des mois secs (P<2T) à la station Taghat pour la période 1982/2001.

<i>Taghat</i>	<b>Sept.</b>	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Déc.</b>	<b>Jan.</b>	<b>Fév.</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>	<b>Juillet</b>	<b>Août</b>
<i>Fréquence (%)</i>	90	68	32	32	21	26	32	37	68	79	100	100
<i>Nombre de cas</i>	17	13	6	6	4	5	6	7	13	15	19	19

Tab. III: Fréquence annuelle du nombre de mois secs (P<2T) à la station Taghat pour la période 1982/2001.

<i>Nombre de mois secs</i>	<i>Nombre d'années</i>	<i>Fréquence (%)</i>
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	3	16
5	1	5
6	5	26
7	7	37
8	2	11
9	1	5
<i>Total</i>	19	100

### *Ecart à la moyenne (Em)*

L'indice de l'écart à la moyenne (Em) a été utilisé pour l'évaluation du déficit pluviométrique sur une série d'observations allant de 1975/76 à 2000/01. On note une importante fluctuation des périodes sèches et humides avec une forte tendance à la sécheresse.

La période de sécheresse la plus longue qui affecte la majorité du bassin, s'étale de 1980/81 à 1994/95, avec quelques intercalations d'épisodes humides qui ont des durées comprises entre 1 et 4 années selon les stations.

On note, soit un excédent de pluie, soit un déficit, sur des durées plus ou moins longues et avec des intensités variables (Tab. IV et V).

Tab. IV: Caractéristiques de la période sèche pour les différentes stations (1975/2001).

<i>Stations</i>	<i>Nombre de séquences*</i>	<i>Durée (an)</i>	<i>Déficit cumulé (mm)</i>	<i>Intensité** moyenne (mm)</i>
<i>Arhbalou n Ikhouan</i>	6	13	2746	211
<i>Azrou n Ait Lahcen</i>	6	13	1464	113
<i>Chacha n Amellah</i>	5	15	1134	76
<i>Lahri</i>	5	16	1966	123
<i>Kerrouchen</i>	8	12	1795	150
<i>Ouiouane</i>	5	13	2828	218
<i>Sanwal</i>	6	14	2085	149
<i>Taghat</i>	4	15	1829	122
<i>Taghzout</i>	6	13	1500	115
<i>Moyenne</i>	6	14	1927	142

\* Intervalle d'années successives sèches.

\*\* L'intensité moyenne de la période sèche est définie comme étant le rapport du déficit cumulé à sa durée.

Tab. V: Caractéristiques de la période humide pour les différentes stations (1975/2001).

<i>Stations</i>	<i>Nombre de séquences*</i>	<i>Durée (an)</i>	<i>Déficit cumulé (mm)</i>	<i>Intensité** moyenne (mm)</i>
<i>Arhbalou n Ikhouan</i>	6	13	2746	211
<i>Azrou n Ait Lahcen</i>	6	10	1464	146
<i>Chacha n Amellah</i>	5	11	1587	144
<i>Lahri</i>	4	10	1966	197
<i>Kerrouchen</i>	7	14	1795	128
<i>Ouiouane</i>	5	13	3631	303
<i>Sanwal</i>	6	12	2058	172
<i>Taghat</i>	4	11	1829	166
<i>Taghzout</i>	6	13	1500	115
<i>Moyenne</i>	5	12	2064	176

\* Intervalle d'années successives humides.

\*\*L'intensité moyenne de la période humide est définie comme étant le rapport de l'excès cumulé à sa durée.

L'intensité moyenne des précipitations à l'échelle du bassin, montre un déficit moyen de la série étudiée de 142 mm pour la période sèche et un excédent moyen de 176 mm pour la période humide.

#### *Ampleur de la période sèche et de la période humide*

L'analyse des résultats issus de l'indice de l'écart à la moyenne (Em), a permis de mettre en évidence parmi les séquences sèches et humides, celles qui sont très déficitaires et très excédentaires. Ces dernières ont été définies comme étant la somme des années détectées sèches ou très sèches par rapport à la moyenne annuelle des années sèches.

L'analyse des résultats révèle des périodes sèches, relatives à la période 1975/76 à 2000/01, plus persistantes que les périodes humides.

Les périodes sèches et très sèches montrent des durées moyennes de 14 ans, soit 54 % de la série étudiée (Tab. VI). Alors que les durées moyennes humides et très humides, calculées de la même façon, sont de l'ordre de 12 ans, soit 45 % (Tab. VII).

Tab. VI : Durée des périodes sèches dans les différentes stations (1975/2001).

<i>Stations</i>	<i>Nombre d'années sèches</i>	<i>Fréquence %</i>	<i>Nombre d'années très sèches</i>	<i>Fréquence %</i>	<i>Période d'observations</i>
<i>Arhbalou n Ikhouan</i>	6	23	7	27	1975/2001
<i>Azrou n Ait Lahcen</i>	6	26	7	30	1975/98
<i>Chacha n Amellah</i>	9	35	7	27	1975/2001
<i>Lahri</i>	8	31	8	31	1975/2001
<i>Kerrouchen</i>	6	23	6	23	1975/2001
<i>Ouiouane</i>	8	31	5	19	1975/2001
<i>Sanwal</i>	9	35	5	19	1975/2001
<i>Taghat</i>	8	31	7	27	1975/2001
<i>Taghzout</i>	5	19	8	31	1975/2001
<i>Moyenne</i>	7	28	7	26	

Tab. VII : Durée des périodes humides dans les différentes stations (1975/2001).

<i>Stations</i>	<i>Nombre d'années humides</i>	<i>Fréquence %</i>	<i>Nombre d'années très humides</i>	<i>Fréquence %</i>	<i>Période d'observations</i>
<i>Arhbalou n Ikhouan</i>	10	39	3	12	1975/2001
<i>Azrou n Ait Lahcen</i>	8	35	2	9	1975/1998
<i>Chacha n Amellah</i>	6	23	5	19	1975/2001
<i>Lahri</i>	8	31	2	8	1975/2001
<i>Kerrouchen</i>	8	31	6	23	1975/2001
<i>Ouiouane</i>	8	31	5	19	1975/2001
<i>Sanwal</i>	5	19	7	27	1975/2001
<i>Taghat</i>	6	23	5	19	1975/2001
<i>Taghzout</i>	8	31	8	19	1975/2001
<i>Moyenne</i>	7	27	5	18	

### Indice de pluviosité (Ip)

L'analyse des précipitations reçues dans le bassin pour la période 1975/76 à 2000/01, par l'indice de pluviosité « Ip », montre des résultats similaires à ceux obtenus par l'indice de l'écart à la moyenne (Em). Il a permis de situer les séries étudiées et de regrouper les grandes tendances climatiques.

On note une succession d'épisodes secs et d'épisodes pluvieux (Tab.VIII), les années de sécheresse communes à l'ensemble des stations sont : 1880/81, 1982/83, 1983/84, 1986/87, 1992/93, 1994/95 et 2000/01.

Les années les plus excédentaires correspondent aux années 1995/96 et 1996/97, qui enregistrent des quantités très supérieures à la moyenne, à l'exception de la station de Kerrouchen (cf. note en bas du tableau IX) pour l'année 1996/97. On constate que les épisodes secs se répètent généralement après des intervalles de 1 à 5 années humides selon les régions. Les stations de Lahri et de Ouiuane enregistrent le nombre maximal d'années successives déficitaires, qui est de 7 depuis 1980/81 pour Lahri et depuis 1982/83 pour Ouiuane. La tendance générale est une baisse des précipitations, ce phénomène touche la majorité du bassin, même les zones qualifiées de sub-humides.

Tab. VIII : Evolution du régime pluviométrique annuel des différentes stations estimé à l'aide de l'indice de pluviosité (Ip) et de l'écart à la moyenne (Em).

	<i>Arhbalou n Ikhouan</i>	<i>Azrou n Ait Lahcen</i>	<i>Chacha n Amellah</i>	<i>Lahri</i>	<i>Ouiuane</i>	<i>Sanwal</i>	<i>Taghat</i>	<i>Taghzout</i>	<i>Kerrouchen</i>
1975/76	H	S	H	H	H	H	H	H	S
76/77	H	H	H	H	H	S	H	H	H
77/78	H	H	H	H	H	H	H	H	H
78/79	H	H	H	H	H	H	H	H	H
79/80	H	S	H	H	H	S	H	H	H
80/81	S	S	S	S	S	S	S	S	S
81/82	H	S	S	S	H	H	H	S	H
82/83	S	S	S	S	S	S	S	S	S
83/84	S	S	S	S	S	S	S	S	S
84/85	S	S	S	S	S	S	S	S	H
85/86	S	H	H	S	S	H	S	H	H
86/87	S	S	S	S	S	S	S	S	S
87/88	H	H	H	H	S	S	S	H	H
88/89	S	S	S	H	S	H	H	S	H
89/90	H	S	H	S	H	H	H	H	H
90/91	H	H	H	H	H	S	S	H	H
91/92	S	S	S	S	H	S	S	H	S
92/93	S	S	S	S	S	S	S	S	S
93/94	S	H	S	S	H	S	S	H	H
94/95	S	S	S	S	S	S	S	S	S
95/96	H	H	H	H	H	H	H	H	H
96/97	H	H	H	H	H	H	H	H	S
97/98	H	H	S	H	H	H	H	S	S
98/99	S		S	S	S	H	S	S	S
99/2000	H		S	S	S	H	S	S	H
2000/01	S		S	S	S	S	S	S	S

Abréviations : S : année sèche, H : année humide, case vide : manque de données.

## Indice standardisé de précipitation (SPI)

La caractérisation de la sécheresse par l'indice « SPI », confirme le caractère récurrent du phénomène déterminé par les indices de sécheresse Em et Ip, avec une meilleure précision et caractérisation du phénomène, mettant en évidence les grandes tendances évolutives durant la période analysée. Il a fait apparaître :

- des périodes à tendance sèche dont l'extension a été à peu près généralisée à l'échelle du bassin qui sont : 1982/83, 1984/85, 1992/93, et 1994/95, les années les plus déficitaires et les plus communes pour l'ensemble des stations sont : 1982/83 et 1994/95,
- des périodes à tendance humide affectant tout le bassin : 1995/96 et 1996/97, à l'exception de la station de Kerrouchen en 1996/97.

Pour le reste, le phénomène est plus ou moins ressenti. L'indice SPI montre que la durée maximale séparant les deux sécheresses généralisées enregistrées en 1982/83 et 1994/95 est de 11 ans (Tab.IX). La durée de la sécheresse varie selon les régions d'une année à huit. On peut dire que la sécheresse n'est pas un phénomène homogène, elle s'étend sur des périodes différentes, avec une intensité variable, elle affecte également des zones ayant diverses caractéristiques topographiques et climatiques. On note des périodes de sécheresse aussi bien dans les zones semi- arides sud-ouest que dans les zones nord-est à climat sub-humide.

Tab. IX : Caractérisation de la sécheresse par l'indice (SPI) des différentes stations pluviométriques.

SPI	Arhbalou n Ikhouan	Azrou n Ait Lahcen	Chacha n Amellah	Lahri	Ouiouane	Sanwal	Taghat	Taghzout	Kerrouchen*
1975/76	TH	MS	N	TS	TH	N	TH	N	TS
76/77	N	N	N	MS	TH	TS	N	MH	TH
77/78	MH	N	TH	TH	TH	N	TH	TH	TH
78/79	TH	TH	N	N	TH	N	MS	N	S
79/80	TH	TS	TH	TH	N	H	TH	TH	TH
80/81	N	TS	TS	TS	TS	N	TS	TS	TS
81/82	N	TS	H	N	S	TH	N	TH	MS
82/83	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS
83/84	N	S	N	TS	TS	TS	TS	TS	N
84/85	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	N
85/86	TS	N	MH	MS	TS	N	N	MH	TH
86/87	TS	N	TS	N	TS	TS	N	TS	TS
87/88	N	MH	N	N	TS	TS	N	TH	S
88/89	TH	MH	N	TH	N	TH	TH	N	TH
89/90	H	TS	TH	MH	N	TH	H	N	TH
90/91	TH	TH	TH	TH	MH	N	N	TH	TH
91/92	TS	TH	N	TH	MH	MH	MH	TH	TH
92/93	TS	TS	TS	TS	S	TS	N	TS	TS
93/94	TS	N	MS	N	H	TS	N	N	TH
94/95	TS	TS	TS	S	MS	TS	TS	TS	TS
95/96	TH	MH	TH	TH	TH	TH	TH	TH	TH
96/97	TH	TH	TH	TH	TH	TH	MH	MH	TS
97/98	TH	TH	N	TH	TH	TH	TH	N	TS
98/99	N		MS	TS	TS	TH	TS	TS	TS
99/2000	N		MS	TS	N	TH	TS	S	H
2000/01	TS		N	TS	TS	TS	TS	N	TS

TH : très humide, H : humide, MH : modérément humide, N : normale, MS : modérément sèche, S : sèche, TS : très sèche

\* La station de Kerrouchen présente souvent des comportements différents dus probablement au microclimat de la région (sub humide froid) et à la quantité de neige reçue dans la région et qui n'a pas été prise en compte avec les quantités de précipitations liquides utilisées dans les différentes équations

En suivant l'évolution de l'indice SPI durant la période étudiée, nous avons pu estimer qu'en terme de fréquence cette méthode indique un pourcentage moyen de 41 % d'années sèches dont 34 % représente une sécheresse extrêmement élevée, contre 35 % d'années humides et 24 % d'années normales (Tab. X), les périodes déficitaires sont plus étendues dans l'espace et plus persistantes dans le temps que les périodes excédentaires.

Tableau X : Fréquence (%) de l'indice de sécheresse (SPI) à l'échelle du bassin du Srou.

SPI	Très humide (> +2)	Humide (1,99 à 1,5)	Modérément humide (1,49 à 0,99)	Normale (+0,99 à -0,99)	Modérément sèche (-1 à 1,49)	Sèche (-1,5 à - 1,99)	Très sèche (<-2)
<i>Arhbalou n Ikhouan</i>	31%	3%	3%	27%	0%	0%	35%
<i>Azrou n Ait Lahcen</i>	22%	0%	9%	26%	4%	4%	35%
<i>Chacha n Amellah</i>	23%	3%	3%	35%	12%	0%	23%
<i>Kerrouchen</i>	39%	3%	0%	8%	3%	8%	39%
<i>Lahri</i>	31%	0%	3%	19%	8%	3%	35%
<i>Ouiouane</i>	27%	3%	8%	15%	3%	8%	35%
<i>Sanwal</i>	31%	3%	3%	23%	0%	0%	39%
<i>Taghat</i>	23%	3%	8%	31%	3%	0%	31%
<i>Taghzout</i>	27%	0%	8%	31%	0%	3%	31%

<i>Moyenne</i>	28%	2%	5%	24%	4%	3%	34%
----------------	-----	----	----	-----	----	----	-----

Afin de déterminer les épisodes secs et leur impact sur l'écoulement, l'analyse de la variabilité climatique sur base de la méthode de GAUSSEN (1957) et des indices de pluviosité, de l'écart à la moyenne et du SPI, reste à compléter par une analyse des fluctuations du régime d'écoulement.

### Evolution des débits

L'étude des débits annuels à l'exutoire du bassin permet de caractériser les variations au cours de la période d'étude (Fig. 3), avec un minimum enregistré en 1994/95 et un maximum en 1995/96, le débit passe respectivement de 1,3 m<sup>3</sup>/s à 18,1 m<sup>3</sup>/s. La période allant de 1980/81 à 1994/95 enregistre la plus grande baisse de débit par rapport à la moyenne interannuelle (7,1 m<sup>3</sup>/s).

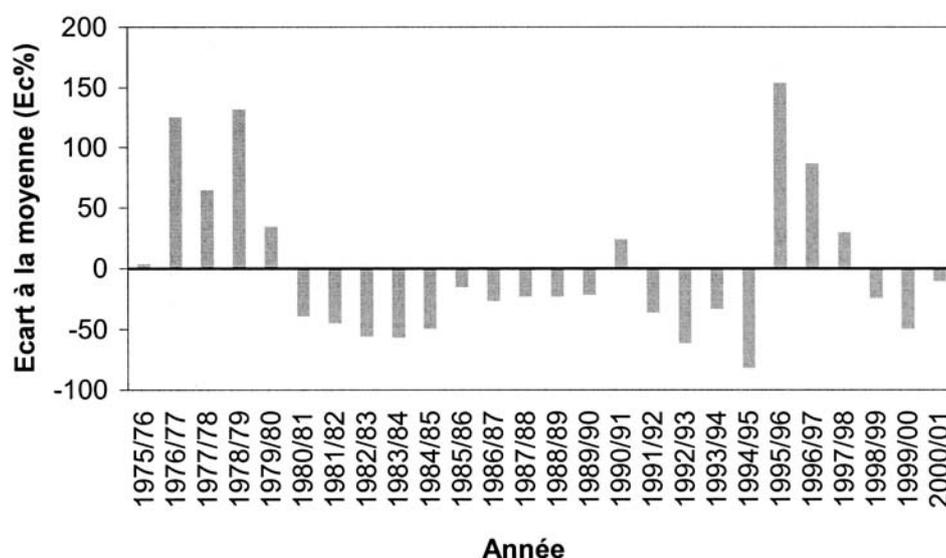


Fig. 3: Variabilité hydrométrique à la station Chacha n Amellah (1975/2001).

La caractérisation des séquences déficitaires et excédentaires a amené à subdiviser la période de mesures en 3 intervalles selon l'état sec ou humide, ce qui a permis d'estimer une tendance à la réduction du débit par rapport au débit moyen annuel ( $7,1\text{m}^3/\text{s}$ ) et par conséquent une diminution des ressources en eau disponible.

Les plus grandes baisses de débits sont enregistrées au cours des périodes suivantes :

- 1980/81 à 1989/90
- 1991/92 à 1994/95
- 1998/99 à 2000/01

Les plus grandes augmentations de débits sont enregistrées au cours des périodes suivantes :

- 1976/77 à 1979/80
- 1995/96 à 1997/98

On note une importante fluctuation du régime d'écoulement. Sur une série d'observations de 26 ans, l'analyse des résultats indique une réduction des débits avec 17 années déficitaires et 9 années excédentaires.

La distinction des années sèches et des années très sèches a été faite par comparaison au seuil de la sécheresse qui est défini par la moyenne annuelle des années déficitaires.

Les résultats montrent 35 % d'années sèches de la série d'observation et 31 % d'années très sèches contre 19 % d'années humides et 15 % d'années très humides (tableau XI). Ainsi on peut conclure que les années sèches (66 %) sont plus persistantes dans le temps que les années humides (34 %). Ce qui semble indiquer que la sécheresse pluviométrique se trouve amplifiée au niveau des débits.

Tab. XI : Fréquence des périodes sèches et humides du régime d'écoulement à la station Chacha n Amellah (1975 à 2001).

	<i>Année sèche</i>	<i>Année très sèche</i>	<i>Année humide</i>	<i>Année très humide</i>	<i>Total</i>
<i>Nombre d'années</i>	9	8	5	4	26
<i>Fréquence (%)</i>	35	31	19	15	100

Tab. XII: Précipitations moyennes annuelles des stations du bassin du Srou.

Année	Arhbalou n Ikhouan	Azrou	Chacha n Amellah	Kerrouchen	Lahri	Sanwal	Moyenne annuelle des précipitations du bassin du Srou (mm)
1975/76	850,8	525,8	521,0	431,5	577,1	648,1	592,4
76/77	1007,0	690,0	638,0	847,1	735,0	427,4	724,1
77/78	889,2	628,5	701,6	764,3	769,3	578,3	721,9
78/79	1180,1	978,8	628,0	605,1	744,4	735,5	812,0
79/80	833,2	552,4	626,7	726,6	724,6	640,6	684,0
80/81	816,0	433,3	322,0	452,6	351,9	544,7	486,7
81/82	918,1	402,0	448,4	616,6	568,8	723,5	612,9
82/83	613,0	330,2	289,8	404,0	359,3	461,7	409,7
83/84	735,8	459,4	365,3	466,0	442,3	428,2	482,8
84/85	758,2	457,5	417,2	592,5	498,1	463,6	531,2
85/86	401,1	683,6	498,9	687,9	544,0	610,7	571,0
86/87	506,0	564,9	391,7	472,3	558,7	439,3	488,8
87/88	882,0	640,0	474,8	585,6	642,3	482,4	617,9
88/89	785,6	542,1	375,6	636,8	732,6	688,7	626,9
89/90	856,4	496,9	504,0	599,1	606,1	845,9	651,4
90/91	834,3	689,8	518,3	725,0	689,0	527,9	664,1
91/92	525,1	562,0	431,1	515,0	595,1	507,4	522,6
92/93	479,5	412,9	250,6	346,1	451,6	267,0	367,9
93/94	375,8	653,6	416,6	724,1	603,9	301,2	512,5
94/95	564,5	451,5	261,4	405,4	423,9	341,4	408,0
95/96	1672,2	599,3	801,9	1064,4	1486,4	732,5	1059,5
96/97	919,8	716,5	634,8	468,4	958,4	756,2	742,3
97/98	1516,3	1073,0	435,3	417,1	651,5	849,8	823,8
98/99	566,1		391,4	378,3	457,2	813,0	521,2
99/2000	910,2		417,0	682,4	430,3	664,6	620,9
2000/01	763,1		500,7	358,8	433,6	379,1	487,1
<b>Moyenne</b>	813,8	588,9	471,6	575,9	616,7	571,5	606

Tab. XIII: Précipitations moyennes annuelles des stations du Srou et débits moyens annuels enregistrés à la station Chacha n Amellah (1975 à 2001).

Année	Moyenne des précipitations (mm) des stations du bassin du Srou	Débit (m <sup>3</sup> /s)	Lame d'eau écoulée (mm)
1975/76	592,4	7,39	166,3
1976/77	724,1	16,04	360,9
1977/78	721,9	11,72	263,7
1978/79	812,0	16,53	371,9
1979/80	684,0	9,60	216,0
1980/81	486,7	4,34	97,7
1981/82	612,9	3,91	88,0
1982/83	409,7	3,15	70,9
1983/84	482,8	3,08	69,3
1984/85	531,2	3,60	81,0
1985/86	571,0	5,98	134,6
1986/87	488,8	5,24	117,9
1987/88	617,9	5,47	123,1
1988/89	626,9	5,45	122,6
1989/90	651,4	5,53	124,4
1990/91	664,1	8,82	198,5
1991/92	522,6	4,55	102,4
1992/93	367,9	2,72	61,2
1993/94	512,5	4,76	107,1
1994/95	408,0	1,29	29,0
1995/96	1059,5	18,08	406,8
1996/97	742,3	13,29	299,0
1997/98	823,8	9,23	207,7
1998/99	521,2	5,41	121,7
1999/00	620,9	3,57	80,3
2000/01	487,1	6,39	143,8
<b>Moyenne</b>	606	7,12	160

## Relation précipitations - débits.

La comparaison des précipitations moyennes annuelles des six stations pluviométriques localisées dans le bassin du Srou (Tab. XII) et des débits moyens annuels enregistrés à la station Chacha-n-Amellah, situé vers l'aval du bassin (Tab. XIII) pour la même période (1975/76 à 2000/01), a permis de mettre en évidence une bonne corrélation entre le régime de l'oued et celui des précipitations avec un coefficient de détermination de 0,7432 (Fig. 4).

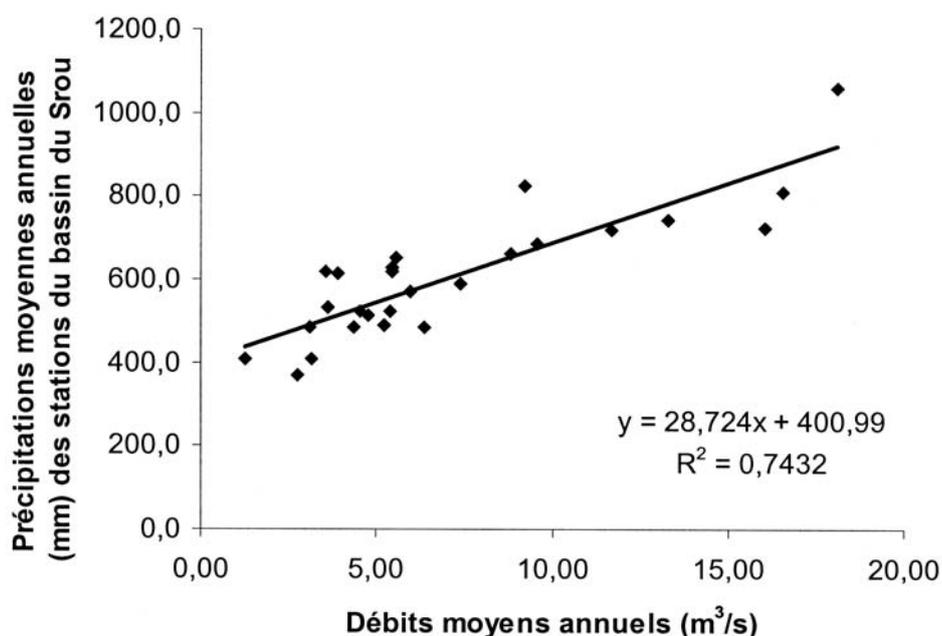


Fig. 4 : Relation entre les précipitations annuelles enregistrées dans le bassin du Srou. et les débits moyens annuels à la station Chacha n Amellah (1975/2001).

On note une variabilité annuelle très importante pour cette période, entre l'année 1994/95 la plus sèche (1,3 m³/s) et l'année 1995/96 la plus pluvieuse (18,1 m³/s). Les débits sont très faibles pour les années qui ont enregistré des précipitations inférieures à 500 mm. La durée de la sécheresse pluviométrique est de 14 ans ; pour la même période, la sécheresse hydrométrique est plus importante (17 ans).

Les périodes d'années humides successives sont courtes. En effet, elles ne dépassent guère cinq années.

Les débits annuels (de septembre à août) de l'oued Srou enregistrés pour la période 1975/76 à 2000/01, à la station Chacha n Amellah, indiquent une hauteur d'eau moyenne annuelle de 160 mm. Étant donné que les précipitations moyennes annuelles enregistrées dans le bassin, relatives à la même période d'observation, sont de 606 mm, on peut en déduire que la perte d'eau : évaporée, infiltrée, maintenue dans le sol, ou utilisée pour l'irrigation, est de 446 mm soit 73 % des précipitations. On peut conclure que le déficit pluviométrique est plus amplifié au niveau des volumes d'eau écoulés à la surface.

## CONCLUSION

La présente étude a permis de mettre en évidence les principales fluctuations du régime pluviométrique et hydrométrique, et de retracer les tendances, sur base des données des précipitations de 9 stations pluviométriques et des débits mesurés à l'exutoire du secteur d'étude (1975/76 à 2000/01).

La méthode de BAGNOULS et GAUSSEN montre que les années qui présentent 6 et 7

mois secs sont les plus fréquentes dans la région. La sécheresse peut se produire à l'échelle de l'année comme elle peut s'étaler sur une ou plusieurs années.

Les indices de l'écart à la moyenne (Em), de pluviosité (Ip) et de l'indice (SPI) ont permis de visualiser et de subdiviser la série d'observation en plusieurs intervalles selon l'état sec ou humide et de caractériser l'ampleur des périodes sèches et humides et leur intensité.

La comparaison des périodes déficitaires déterminées par les différentes méthodes semble indiquer les mêmes tendances évolutives à l'échelle du bassin. Elle montre des résultats globalement similaires, avec une tendance à l'assèchement.

La caractérisation des séquences sèches et humides par la méthode de l'écart à la moyenne (Em) et de l'indice de pluviosité (Ip) montre une fréquence de 54 % d'années sèches, l'indice (SPI) donne 41 %, alors que l'écart à la moyenne des débits donne des résultats plus élevés (66 %). Il apparaît donc que les déficits hydrométriques sont plus accentués que ceux pluviométriques.

L'analyse des résultats des différents indices de sécheresse montre, qu'en plus de ses facilités d'utilisation, le SPI donne une caractérisation de la sécheresse plus précise par rapport aux autres indices. La corrélation des précipitations et des débits moyens annuels à la station Chacha n Amellah est très significative, avec un coefficient de détermination de 0,7432, entre le régime de l'oued et celui des précipitations.

L'analyse des fluctuations climatiques sur base des données pluviométriques et des débits montre :

- une forte corrélation dans l'évolution annuelle des précipitations et des volumes d'eau écoulés à la surface,
- une persistance des écoulements superficiels, malgré la sévérité d'autres facteurs dans la région tel que la température et par conséquent l'évapotranspiration,
- des débits en réduction au cours des années où les précipitations sont inférieures à 500 mm,
- que la sécheresse pluviométrique est plus amplifiée au niveau des écoulements superficiels,
- que les séquences sèches sont plus persistantes et plus étendues que les séquences humides,
- que la sécheresse est un phénomène récurrent,
- que les années déficitaires dont l'extension est à peu près généralisée à l'échelle du bassin sont : 1980/81, 1982/83, 1983/84, 1984/85, 1986/87, 1992/93, 1994/95, 2000/01,
- que les années les plus excédentaires ont eu lieu en : 1977/78, 1995/96 et 1996/97.

A partir de la relation précipitations-débits, on peut conclure que les mesures des débits effectuées à l'exutoire du bassin du Srou, peuvent être utilisées comme indicateur des fluctuations hydrologiques et qu'elles reflètent bien la tendance évolutive de l'ensemble du bassin.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERGAOUI M., 2001. Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : cas du bassin versant de Siliana en Tunisie. *Science et changement planétaire / Sécheresse* 12 : 205-213.
- BAGNOULS F. & GAUSSEN H., 1957. Les climats biologiques et leur classification. *Annales de Géographie*, 355 : 193-220.
- HAIDA S., PROBST J.L., AIT FORA A. & SENOUSSE M., 1999. Hydrologie et fluctuation hydroclimatique dans le bassin versant du Sebou entre 1944 et 1994. *Science et changements planétaires . Sécheresse*, 10 : 221-226.

- HOUCINI A., 2002. Caractérisation agro-climatique de la sécheresse et contribution à l'élaboration d'une application SIG pour son suivi spatio-temporel à l'échelle de la région. Mémoire de 3<sup>e</sup> cycle en Agronomie, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 85 p.
- Mc KEE TB, DOESKEN NJ. & KLEIST J. 17-22 January 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. Preprints, 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology. Anaheim CA. 179-184.
- MEKO D.M., 1985. Temporal and Spatial Variation of Drought in Morocco. In: Drought, Water Management and Food Production, Conférence Proceedings, Agadir, Morocco, pp. 55-82.
- PROBST J.L., 1989. Hydroclimatic fluctuation of some European rivers since 1800: Historical change of large alluvial rivers: Western Europe. G. Petts Ed, John Willey and sons, Ch 3, 41-55.
- SAFI H., 1990. Essai sur l'économie de la sécheresse au Maroc (1493-1986), passé présent et perspectives. Thèse Université Mohamed V, Rabat, Maroc, 190 p.
- YACOUBI M., 2001. Vers la définition d'une méthode d'alerte à la sécheresse, généralisable au contexte semi-aride marocain. Thèse de doctorat es-sciences agronomique, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 191 p.



