

**VARIABILITÉ CLIMATIQUE ET RESSOURCES EN EAU  
EN MILIEU SEMI-ARIDE : CAS DES BASSINS VERSANTS  
DES OUEDS CHEMORA, REBOA ET GUEISS  
(HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS, ALGÉRIE)**

**HAFIZA TATAR<sup>1</sup>, NORA REGAD<sup>2</sup>**

*Abstract*

An examination of data sets reconstructed by drought indices most commonly used in Algeria for monitoring and predicting drought years revealed a higher frequency and spatial extent of largest droughts that are now longer and frequent in their succession. Several periods of drought have been experienced being characterized by deficient rainfall and water supply. Dammed basins registered very low hydraulic values explained by the low water flow of the main wadi watershed El Gueiss, Chemora et Reboa. During dry periods, the water surface and, therefore, the stored volumes undergo a sharp decrease. It sometimes becomes difficult to satisfy the demand for water, particularly for agriculture. To better manage this situation, knowledge of climatic factors and characterization of drought by estimating indicators is essential.

**Keywords:** drought, meteorology, hydrology, water basin, semi-arid.

### **1. Introduction**

La sécheresse a toujours été présente dans l'histoire des pays du Maghreb. Des études menées l'ont suffisamment montré (Safi H., 1990, Agoumi A. & al., 1999, Meddi H., Meddi M., 2009 etc.). L'Algérie a connu dans le passé des périodes d'intenses sécheresses, comme ce fut le cas au début du 20<sup>ème</sup> siècle, entre 1910 et 1940. Le Maroc a été, également, marqué par les sécheresses des années 1940, ainsi que la Tunisie. Durant ces 30 dernières années, ces pays ont subi de plein fouet ce phénomène qui s'est manifesté par un déficit pluviométrique sur l'ensemble de la région. L'Algérie, dont une bonne partie du territoire est dominé par un climat aride et semi-aride, a plus souffert de cette péjoration pluviométrique récurrente et persistante, aux conséquences souvent dramatiques sur les conditions de vie de la population, notamment rurale. Son impact négatif sur le régime d'écoulement des oueds, sur l'alimentation de la nappe phréatique et sur le niveau de remplissage des barrages en constitue un des principaux aspects.

---

<sup>1</sup> Laboratoire LASTERNE, Université Constantine 1, Algérie, e-mail : hafizatatar@gmail.com

<sup>2</sup> Doctorante Eau et Aménagement, e-mail : Nora.regad@gmail.com

La sécheresse qui se caractérise par une réduction ou une mauvaise répartition, voir une absence des pluies dans une région donnée pendant une période de temps (Bootsma *et al.* 1996) est avant tout météorologique. Elle est ensuite hydrologique et agricole.

Le bassin versant « Hauts plateaux constantinois » situé dans sa majorité en zone semi-aride, a connu durant ces dernières décennies, les différentes manifestations de la sécheresse.

Le présent travail s'intéressera à l'analyse de cette sécheresse climatique à l'échelle annuelle, afin de suivre son évolution et de saisir son incidence sur les ressources en eau. Nous essayerons de la caractériser, de la quantifier et enfin d'étudier sa variation spatio-temporelle dans quelques sous bassins des Hauts plateaux constantinois (bassins versant de oued Gueiss, oued Chemora et oued Reboa). Nous adopterons les indices révélateurs de son degré d'intensité comme approche méthodologique afin d'identifier la relation sécheresse météorologique, sécheresse hydrologique dans les bassins versant en question. Nous analyserons l'évolution des précipitations (P) et des apports d'eau aux barrages, et ce à partir de données relevées par l'Agence Nationale des Ressources Hydroliques (ANRH).

## **2. Données et méthodes**

### ***2.1. Des bassins peu favorisés, et très irréguliers sur le plan pluviométrique***

Les sous bassins versant des « Hauts plateaux constantinois » sont dans leur majorité situés dans les étages bioclimatiques semi-arides à arides (200 à 400 mm/an de précipitations). Ils sont compris entre les latitudes 35°44' et 36° 15' Nord et les méridiens 05°57 et 7°80' Est (*Figure 1*). Les bassins élémentaires d'oued Chemora, d'oued El Gueiss et d'oued Reboa sont parmi les plus importants. A eux trois, ils représentent le volume le plus conséquent des écoulements des Hauts plateaux constantinois. Ils font partie de la zone de transition entre la montagne et la plaine qui s'allonge d'Ouest en Est au pied des Aurès. Cette zone renferme de grandes dépressions continentales salées appelées chotts et sebkhas. Elle est parcourue par un réseau hydrographique assez dense, à écoulement endoréique.

Les oueds Chemora, Reboa et El Gueiss alimentent ces sebkhas :

- L'Oued Chemora résulte de la jonction de deux affluents : Oued Reboa et Oued Soultz, qui drainent respectivement une superficie de 280.5 et 189.5 km<sup>2</sup>. Il reçoit sur sa rive gauche les Oueds de Taguedai et Amizraguen, il se perd après un trajet d'environ 30 km, dans les lacs salés des hautes plaines Constantinoises (de Sebkhet Djendli, Garâet Ank Djmel et Garâet Ettarf).
- L'Oued Reboa prend naissance à l'amont par la jonction de deux Oueds. Il traverse la vallée entre Draâ Charf et-Trab avec une orientation SW-NE, jusqu'à Draâ Ouled Makhoul où il change brusquement de

direction vers le Nord-Ouest pour recevoir Oued Morri sur sa rive gauche et reprend ensuite son orientation SW-NE pour confluer avec l'Oued Soultez à environ 3km. Ce dernier, coule à travers les plaines au Sud de Djebel Tagratine, avant de confluer avec l'Oued Reboa, il reçoit sur sa rive gauche l'Oued Guerguour, en aval de la ville de Timgad.

- L'oued Gueiss prend naissance à la cote 2177m au Dj Aidel au sud du bassin. Il coule suivant une direction S-N et reçoit sur ses rives gauche et droite ses principaux affluents, notamment les oueds Benber, Tarchin, Kerfadjja et Kebass.

La zone d'étude présente une topographie variée et régulièrement ordonnée, s'organisant selon une ligne qui forme une dorsale : les chaînons de l'Atlas Saharien au Sud, et à leurs pieds les hautes plaines, limitées au Nord par un nouveau bourrelet montagneux, les monts du Tell qui les isolent de l'influence maritime et constituent la limite septentrionale des Hauts plateaux constantinois.

Elle est circonscrite par les courbes de niveau 1200 m et 900 m et s'étale jusqu'aux rives des lacs salés avec une déclivité qui souvent ne dépasse pas les 8%. Les dépôts accumulés dans cette plaine sont composés dans l'ensemble, de sable, gravier et de limon, résultants de la charge solide des oueds qui perdent leur compétence avant d'atteindre les lacs salés.

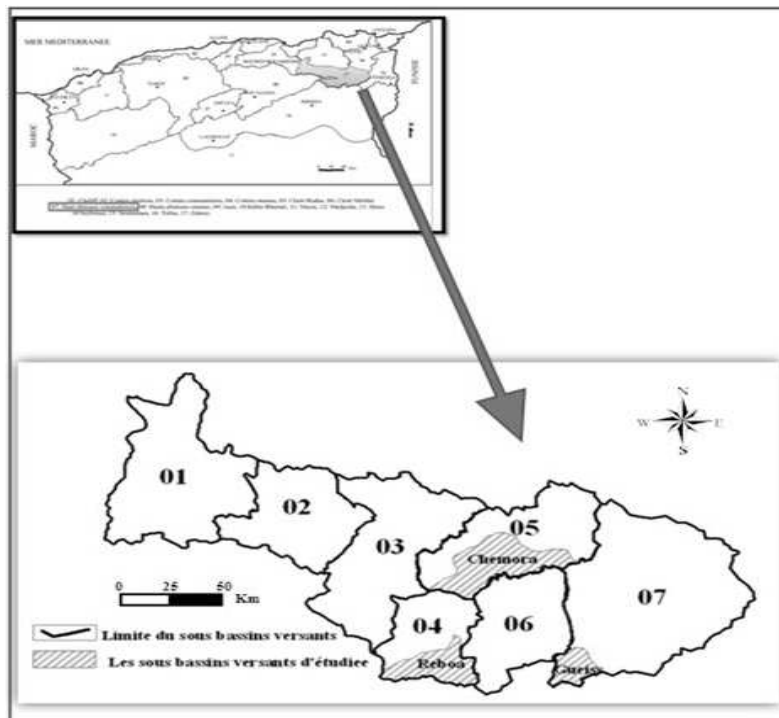


Fig. 1. Carte de localisation

Le climat de la région est caractérisé par une continentalité marquée compte tenu de la latitude et de la disposition Est-Ouest des reliefs qui limitent le passage vers l'intérieur du pays des influences méditerranéennes. Il est marqué par une faiblesse et une irrégularité des précipitations aussi bien au pas de temps mensuel, saisonnier qu'annuel. Il arrive même, et ceci de façon beaucoup plus fréquente, que plusieurs mois sans pluies, en dehors de la saison estivale, se succèdent. Certaines années par contre, les précipitations peuvent tomber sur plusieurs mois et parfois de façon abondante, provoquant des inondations plus ou moins sévères, comme au cours des années 1971, 1975, 1981, 1991 et 1995.

## 2.2. Données pluviométriques

Les données pluviométriques qui ont été collectées et analysées proviennent de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H). L'homogénéisation et la reconstitution des données ont été effectuées par la méthode de doubles-cumuls.

La période d'observation retenue pour l'étude s'échelonne de 1969 à 2012.

Les données annuelles et mensuelles, pluviométriques, de températures d'évaporation, qui ont été collectées et analysées proviennent de l'agence du bassin hydraulique. Le tableau 1 montre respectivement les coordonnées des stations retenues.

Les données hydrologiques comme les apports d'eau au barrage proviennent également de cette même agence. Le tableau 2 résume les données des barrages étudiés. Les données sur les écoulements nous ont été communiquées par les services de l'ANBT (Agence Nationale des Barrages et des Transferts). Elles intègrent les mesures des stations hydrométriques de Foum el Gueiss et Reboa pour la période 1969-2012 et celles de la station hydrométrique gérée sur l'oued Chemora pour la période allant de 1969 jusqu'à la mise en eau du barrage de Koudiat M'daouer.

Tableau 1

Les coordonnées des stations pluviométriques

Coordonnées	X	Y	Altitude	Période d'observation
Ain Tin	839,6	237,5	1650	1969/70-2012/13
Boulhilet	858,4	277,5	859	1969/70-2012/13
Ain Mimoun	886,35	243,6	1180	1996/97-2011/12

Tableau 2.

Les caractéristiques hydrologiques des retenues de barrages

Ouvrage	Oued	Capacité en m <sup>3</sup>	Usage (date de mise en service)
Foum el Gueiss	Gueiss	5 Hm <sup>3</sup> (actuelle)	1939 (Irrigation)
koudiet M'daouer	Reboa, Morri et Souttez	66 Hm <sup>3</sup>	2003 (Irrigation et eau potable)

### 2.3. Méthodes

Pour l'étude de la variabilité temporelle des pluies annuelles, nous avons choisi la méthode de l'analyse fréquentielle, un des outils de base de l'analyse de l'occurrence d'événements extrêmes. Cette analyse est utilisée, en particulier, pour estimer l'ampleur de l'événement temporel  $x_T$  auquel est associée une période de retour  $T$  (quantile de période de retour  $T$  ou de probabilité au dépassement  $p = 1/T$ ). L'estimation  $x_T$  de la valeur du quantile s'obtient en ajustant une loi de probabilité  $F(x; e)$  à un échantillon de  $n$  observations  $x = \{X_1, \dots, X_n\}$ , où  $e$  représente le vecteur de paramètres associés à la distribution de probabilité (Hosking, J. R. & Wallis M., 1993).

Nous avons sélectionné 3 stations possédant de longues séries d'observations assez bien réparties sur la zone d'étude. Les coefficients de variation ( $C_v$  : rapport de l'écart-type de la série annuelle par sa moyenne) des pluies moyennes annuelles ont été établis afin de saisir le caractère de dispersion des données des séries pluviométriques considérées. Ces valeurs montrent que les données pluviométriques retenues pour l'étude sont assez homogènes et représentatives de la zone d'étude.

Les pluies sont classées dans l'ordre ascendant suivant une probabilité au non-dépassement.

Les années contenues dans la classe 1 de fréquence inférieure à 0,15 sont considérées comme des années très sèches, celles de la 2e classe, de fréquence comprise entre 0,15 et 0,35 sont des années sèches ; celles de la 3e classe, de fréquence comprise entre 0,35 et 0,65 sont des années normales ; celles de la 4e classe, de fréquence comprise entre 0,65 et 0,85 sont des années humides ; celles de la dernière classe de fréquence  $> 0,85$  sont des années très humides ou très pluvieuses.

Pour l'étude de la variabilité spatiale de la sécheresse, un certain nombre d'indices, habituellement utilisés par les services de prévision, a été retenu :

#### 2.3.1 Indice de l'écart à la moyenne ( $E_m$ ) ou indice de sécheresse ( $IS$ )

Il permet d'estimer le déficit pluviométrique annuel. Cet écart à la moyenne est la différence entre la hauteur de précipitations d'une année  $P_i$  et la hauteur moyenne annuelle de précipitations  $P$  de la série. La formule est :  $IS = P_i - P$  ; l'indice est positif pour les années humides et négatif pour les années sèches. C'est l'indice le plus simple et le plus utilisé. Il peut également se formuler de cette façon :  $E_m = P_i - P_m$ , où ( $P_i$ ) : hauteur de précipitation annuelle et ( $P_m$ ) : hauteur moyenne annuelle de précipitation.

On parle d'année déficitaire quand la pluie est inférieure à la moyenne et d'année excédentaire quand la moyenne est dépassée. Cet indice permet de visualiser et de déterminer le nombre d'années déficitaires et leur succession.

### 2.3.2 *Indice de pluviosité (Ip)*

C'est le rapport de la hauteur de précipitation d'une année à la hauteur moyenne annuelle de précipitation de la série.

$$I_p = P_i/P_m$$

Une année est dite humide si ce rapport est supérieur à 1 et sèche s'il est inférieur à 1.

Le cumul des indices d'années successives permet de dégager les grandes tendances en faisant abstraction des faibles fluctuations d'une année à l'autre. Quand la somme des indices croît, il s'agit d'une tendance « humide » et, dans le cas contraire, lorsque la somme des indices décroît, la tendance est de type « sèche ».

### 2.3.3. *Indice de déficit pluviométrique (Indice de l'écart à la normale (En))*

Pour situer une pluviométrie dans une longue série de relevés pluviométriques, on utilise l'écart proportionnel à la moyenne. Il s'exprime par la formule suivante :

$$IDP (\%) = (P_i - P_m)/P_m \times 100$$

où :

IDP : Indice de déficit pluviométrique (en pourcentage) ;

P<sub>i</sub> : précipitation annuelle (en mm) ;

P<sub>m</sub> : précipitation moyenne (en mm).

Cet indice, nommé aussi Ecart à la normale, permet de visualiser et de déterminer le nombre des années déficitaires et leur succession. Une année est qualifiée d'humide si cet indice est positif, de sèche lorsqu'il est négatif.

De même que l'indice de pluviosité, le cumul des indices d'années successives permet de dégager les grandes tendances. Quand la somme des écarts croît, il s'agit d'une tendance humide et, inversement, lorsque la somme des écarts décroît, la tendance est de type « sèche ».

### 2.3.4. *Indice pluviométrique standardisé*

L'indice standardisé de précipitation « SPI » (*standardised precipitation index*) a été développé en vue de caractériser les déficits de précipitation pour une période donnée. Il reflète l'impact de sécheresse sur la disponibilité des

différentes ressources en eau. Cet indice est calculé surtout lorsque la précipitation n'est pas normalement distribuée, notamment pour des périodes inférieures à 12 mois. Il est exprimé mathématiquement (OMM, 2012) comme suit :

$$\text{SPI} = (P_i - P_m) / \sigma$$

SPI = Indice standardisé de précipitation ;  
pi= Moyenne inter-annuelle (mm) ;  
pm= Moyenne de la série (mm) ;  
sigma = Ecart type de la série (mm).

Le SPI est établi pour quantifier le déficit des précipitations pour des échelles de temps multiples qui vont refléter l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources en eau. On effectue une classification de la sécheresse suivant les valeurs des SPI.

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) a adopté cet indice de précipitations normalisé (SPI) en 2009, comme instrument mondial pour mesurer les sécheresses météorologiques, aux termes de la « Déclaration de Lincoln sur les indices de sécheresse ».

L'Indice de précipitations normalisé (McKee *et al.* 1993, 1995) est un indice simple, puissant et souple à la fois, basé sur des données pluviométriques. Il permet tout aussi bien de vérifier les périodes/cycles humides que les périodes/cycles secs. Il compare les précipitations sur une certaine période – en principe 1 à 24 mois – à la moyenne à long terme de précipitations observées sur le même site (Guttman, 1994 ; Edwards et McKee, 1997).

Les valeurs positives de l'indice SPI indiquent des précipitations supérieures à la médiane et les valeurs négatives, des précipitations inférieures à la médiane.

L'indice SPI indique qu'une sécheresse débute quand sa valeur est inférieure ou égale à -1,0 et qu'une sécheresse se termine quand sa valeur devient positive.

La sécheresse est modérée quand les valeurs d'SPI sont comprises entre 0 et -1.5, elle est sévère quand cet indice est compris entre -1.5 et -2 et au delà de -2 la sécheresse est considérée comme extrême.

Pour conforter l'analyse de la sécheresse hydrologique, 2 indices ont été utilisés :

- Le coefficient d'hydraulicité qui exprime le caractère humide ou sec de l'année hydrologique. Il représente le débit d'une année donnée sur le débit moyen interannuel (calculé sur plusieurs années). Pour un coefficient supérieur à 1, c'est une année humide à écoulement important et pour un coefficient inférieur à 1, c'est une année de faible hydraulicité, c'est à dire de faibles débits du cours d'eau ou du bassin versant.
- Le coefficient d'immodération (rapport entre les hauteurs maximale et minimale), qui révèle la forte variabilité d'une année à l'autre.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Sécheresse météorologique

L'analyse des séries pluviométriques (*Figure 2*) des trois stations étudiées du bassin hydraulique montre nettement la variabilité interannuelle de la pluviométrie et sa tendance à la baisse, en plus d'une dispersion croissante dans le temps qui a pour origine la grande irrégularité des épisodes excédentaires et déficitaires.

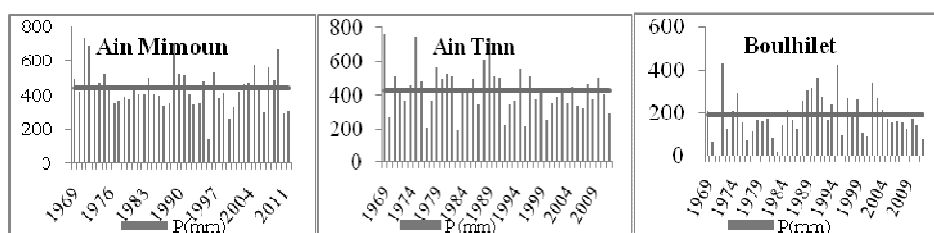


Fig. 2. Evolution de la pluviométrie de la région

Pour les températures, les valeurs établies de la région, à travers la station de Batna, depuis 1990 (*Figure 3*), indique que les températures maximales, moyennes et minimales montrent une augmentation significative. Cette tendance commune à l'ensemble du Maghreb est conforme au réchauffement global planétaire enregistré durant les cinquante dernières années. D'après le GIEC (2007), une accentuation du processus est à envisager durant les prochaines années. Les températures vont continuer à s'élever notamment dans les régions aujourd'hui semi-arides avec pour corollaire la diminution des ressources en eau.

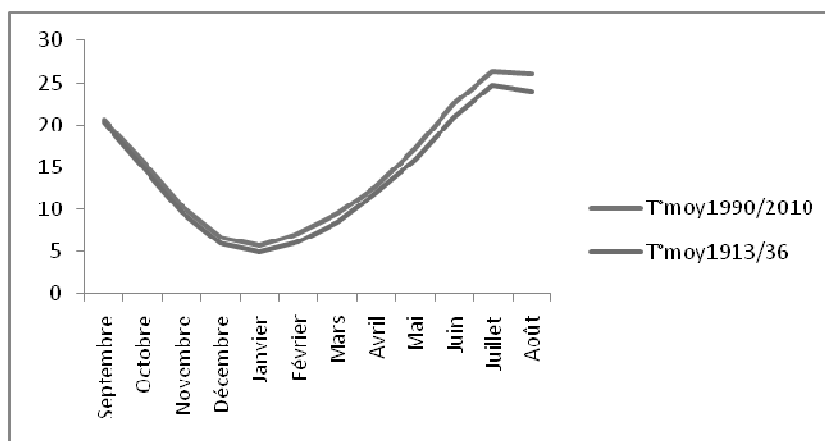


Fig. 3. Evolution des températures moyennes (Station Batna)



La température de l'air est une composante déterminante du bilan hydrologique. Elle régit les déperditions d'eau qui s'opèrent par le phénomène de l'évaporation et de l'évapotranspiration. Son étude est donc primordiale pour l'évaluation des écoulements.

L'évaporation est mesurée par un « Bac Colorado » à la station de Batna, où elle atteint ses valeurs plafonds pendant la saison chaude, avec un maximum de 264 mm en juillet ; l'évaporation moyenne annuelle pour la période (1975-2004) est de 1843 mm. Ces valeurs concordent avec la carte de l'évapotranspiration (Figure 4) établie par l'ANRH en 2005. Elles sont étroitement liées aux autres facteurs météorologiques, notamment la température, la durée d'insolation (3397 heures/an) et la fréquence moyenne de Sirocco (19 jours/an).

L'évaporation est fortement liée à la température de l'air. Les dernières décennies ont connu une température plus élevée en moyenne annuelle. L'analyse du nombre de jours de pluie à la station montre une tendance significative à la baisse (81 jours en moyenne pour période Seltzer, 67 jours pour la période 1969/1990 et 60 jours pour la période 1990/2010). L'occurrence d'évaporation par contre évolue vers la hausse. Une évaporation plus forte implique donc des besoins en eau plus importants. Parallèlement, les apports pluviométriques ont chuté, d'où une situation critique du secteur eau dans le bassin versant.

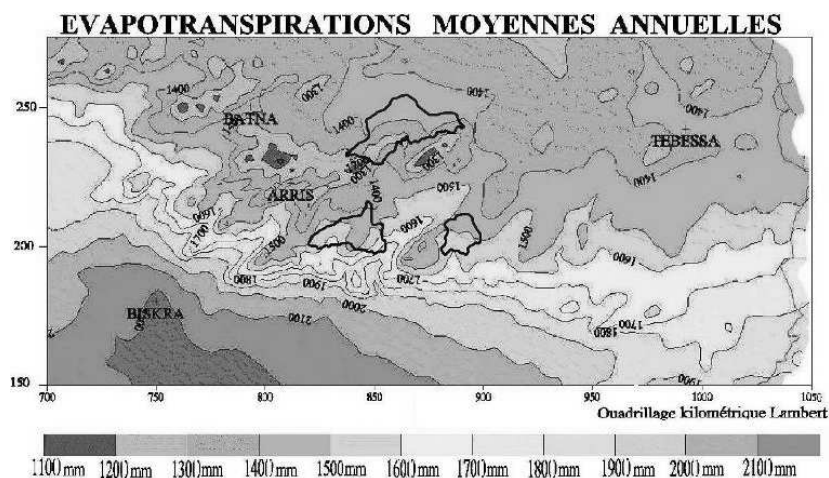


Fig. 4. L'évapotranspiration (Source : ANRH, 2005)

Afin de caractériser le niveau de sévérité des sécheresses vécues, nous nous appuyons sur le calcul de l'indice de l'écart à la moyenne pour les trois stations retenues Ain Tinn, Ain Mimoun et Boulhilet. L'analyse présentée sur les figures permet encore de confirmer la tendance vers un assèchement accru du bassin hydraulique « HPC », les sécheresses sont de plus en plus

longues, notamment ces dernières décennies où elles s'étalent sur trois, quatre, voire neuf années consécutives (*Figure 5*).

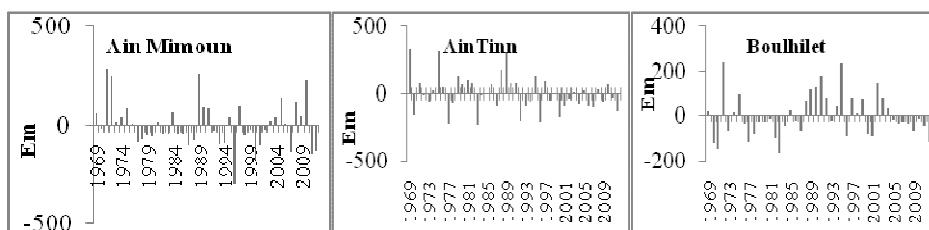


Fig. 5. Écarts par rapport à la moyenne

Depuis 1990, des sécheresses fréquentes d'intensité modérée à forte et touchant les trois stations du bassin hydraulique étudié ont été observées. Les figures le montrent clairement et la dernière décennie semble encore plus affectée par ce phénomène.

La récurrence des années sèches s'accélère et la longévité de la période sèche également. La succession des années sèches a dépassé 5ans (9 ans à Bouhilet), tandis que celle des années humides a évolué inversement, passant de 4-5 ans à 2-3 ans.

Le calcul des indices de pluviosité au niveau des stations et le graphique de l'évolution des indices ( $P_i/P_{m-1}$ ) d'années successives sur toute la période d'observation (*Figure 6*) permet de constater que :

- Les épisodes de sécheresse de 1977 à 1987, de 1991 à 1995 et de 2000 à 2003 sont communs à tout le bassin, selon une intensité allant de modérée à forte.
- Les séquences à tendance sèche et à tendance humide n'apparaissent pas toujours à la même date pour les trois stations. Elles fonctionnent souvent à la même date au niveau des deux stations situées au Sud du bassin et pour la station sise légèrement au Nord, les séquences interviennent avec un léger décalage.
- Durant toute la période étudiée la tendance est à la sécheresse. Elle est entrecoupée de deux périodes humides de 3 à 5 ans selon les stations.
- À partir des années 2000, les périodes sèches sont de plus en plus longues.

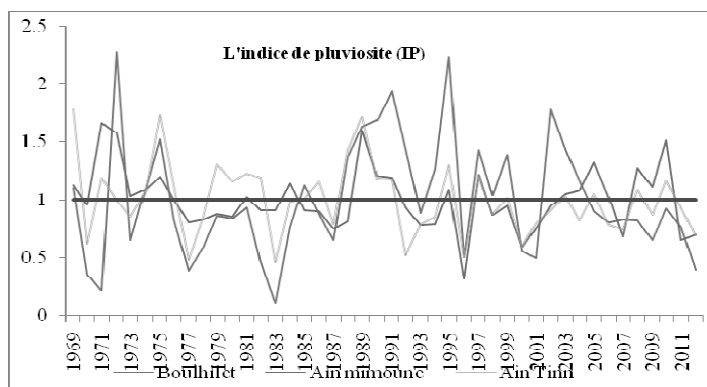


Fig. 6. Évolution de l'indice de pluviosité à la région

L'indice de déficit pluviométrique permet d'estimer la variation ponctuelle des précipitations par rapport à la normale.

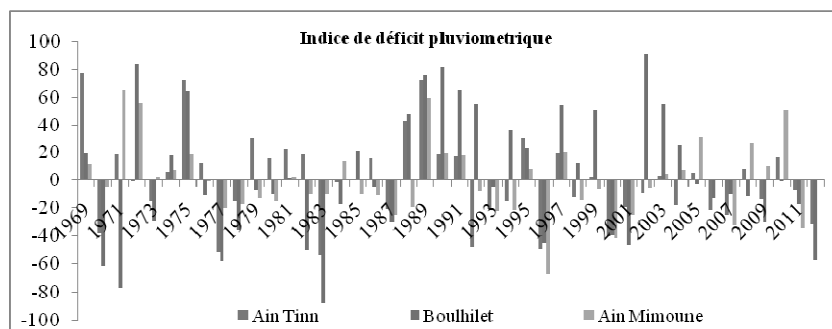


Fig. 7. Indice de déficit pluviométrique

Le déficit le plus important enregistré durant toute la période d'observation est respectivement de  $-56\%$ ,  $-68\%$  et  $-90\%$  à Ain Tinn (Figure 7), Ain Mimoune et Boulhilet.

En plus de l'identification des séquences sèches et de leur caractérisation par le calcul de ces indices, il est possible de déterminer l'ampleur de la sécheresse en termes de sévérité grâce au calcul de l'IPS.

L'IPS est établi pour quantifier le déficit des précipitations pour des échelles de temps multiples qui vont refléter l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources en eau.

Afin de faire une analyse ponctuelle au niveau des stations pluviométriques retenues et pour mieux évaluer les variations de la pluviométrie annuelle, nous avons calculé les indices IPS. Les résultats du calcul sont résumés dans le *Tableau 3*.

Tableau 3

## Fréquence des années sèches, normales et humides (1969-2012)

Limites de sévérité	Nombre d'années %		
	Ain Tinn (Oued Reboa)	Ain Mimoun (Oued Gueïss)	Boulihlet (Oued Chemora)
Extrêmement sèche	0	2,3	0
Sévèrement sèche	11,6	11,6	11,6
Modérément sèche	19,3	19,3	21,6
Normale	59,9	59,2	55,3
Modérément humide	2,3	2,3	4,6
Sévèrement humide	0	2,3	6,9
Extrêmement humide	6,9	3	0

L'indice standardisé de précipitation classe l'équivalent de 30,9% à Ain Tinn et à Ain Mimoun et 33,2% à Boulihlet, des années en termes de sécheresse sévère et modérée. Les années 1970/1971, 1976/77, 1982/83, 2000/01 et 2011/2012 sont identifiées comme des années à forte sécheresse. L'année 95/96 se distingue par une sécheresse extrême, notamment au sud du bassin (*Figure 8*).

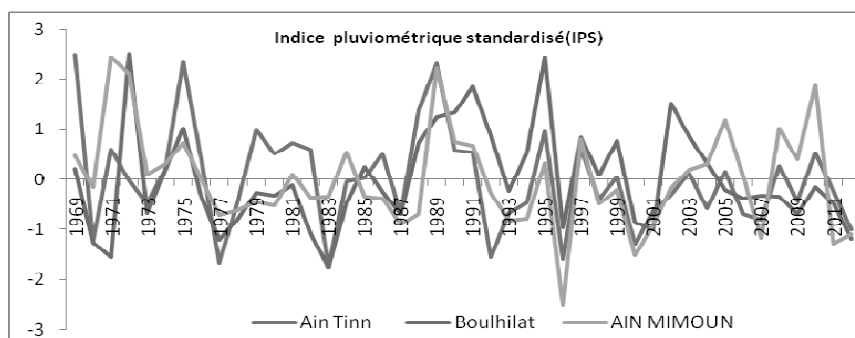


Fig. 8. Indice pluviométrique standardisé au cours de la période 1969/2012

Ainsi quelque soit son degré de sévérité, la sécheresse a sévi de façon fréquente. Depuis quelques années déjà, des travaux menés sur la région par différents chercheurs confirment cette tendance.

Les cartes pluviométriques, cartes des isohyètes établies par les différents auteurs concernant cette région montrent le caractère régressif de cette période : un net décalage des isohyètes vers le Sud est observé et le tracé des isohyètes est légèrement modifié en comparant les cartes Guidoum (1969-2001) avec celle de l'A.N.R.H (1969-1989). La comparaison avec les cartes de Chaumont et Paquin (1913-1963) et de Bagnouls et Guausen (1913-1947), montre que le tracé des isohyètes a changé radicalement ; on assiste à une diminution pluviométrique remarquable de la série récente qui est relativement sèche et à

une tendance pluviométrique nettement déficitaire, exprimée par une lame d'eau précipitée sur la totalité du bassin de 20 fois plus faible que celle de la série de la période (1913-1963).

### 3.2. Sécheresse hydrologique

Conséquence de la sécheresse météorologique, la sécheresse hydrologique qui est la réduction de l'écoulement superficiel dans les cours d'eau, est manifeste dans le bassin hydraulique. Elle se traduit par une diminution des volumes stockés dans les ouvrages hydrauliques et une baisse naturelle du niveau d'eau des nappes souterraines.

Les données hydrométriques utilisées permettent d'identifier et de caractériser sa récurrence et sa sévérité en termes de période d'apparition, de déficit et d'intensité. L'analyse des débits et de l'hydraulicité, sur 43 ans d'observation (1969-2012), montre que plus de 60% des années ont été sèches pour les stations étudiées avec un coefficient d'hydraulicité inférieur à 1. Seules 14 ans ont été considérées humides pour Chemora, 17 ans pour Foum el Gueiss et 16 ans pour Reboa.

Les valeurs les plus faibles ont été enregistrées durant l'année 1996/97 avec un coefficient de 0.11 pour Chemora et 0.022 à Gueiss, et durant l'année 1987/88 avec un coefficient de 0,11 à la station Reboa (*Figure 9*).

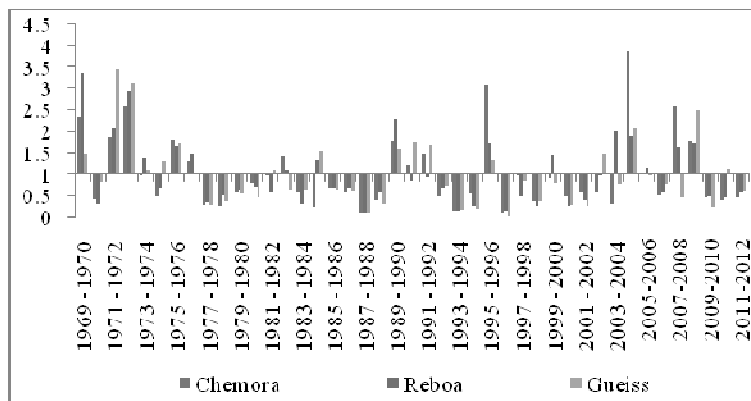


Fig. 9. Coefficient d'hydraulicité (1969-2012)

Pour l'Oued Reboa, 16 années sur 20 sont déficitaires, l'année de forte hydraulicité étant l'année 1969/70 avec un  $Ch = 3.21$  (ce qui correspond à un débit de 1.8 m<sup>3</sup>/s) et l'année de faible hydraulicité étant celle de 1987/88 avec un  $Ch = 0.13$ , correspondant à un débit de 0.07 m<sup>3</sup>/s (ce qui détermine un coefficient d'immodération remarquable :  $R = 25.7$ ).

Le bilan de l'hydraulicité de l'Oued Chemora est similaire à celui de l'oued Reboa.

Les années les plus pluvieuses sont généralement les plus abondantes en écoulement, à titre d'exemple l'année 1969/70 pour les bassins versants de Chemora et de Garaet Annk Djemel et 1971/72-1972-1973 pour le B.V. de Garaet et-tarf.

Les années les moins pluvieuses, au contraire, correspondent aux écoulements les plus maigres comme ceux de l'année 1996/97 pour le bassin versant de Chemora (station pluviométrique Ain Tinn) ou ceux de 1987/88 pour les bassins versant de Garaet Annk Djemel (station pluviométrique Boulhilet) et de Garaet et-tarf (Station Ain Mimoun) (*Figure 10*).

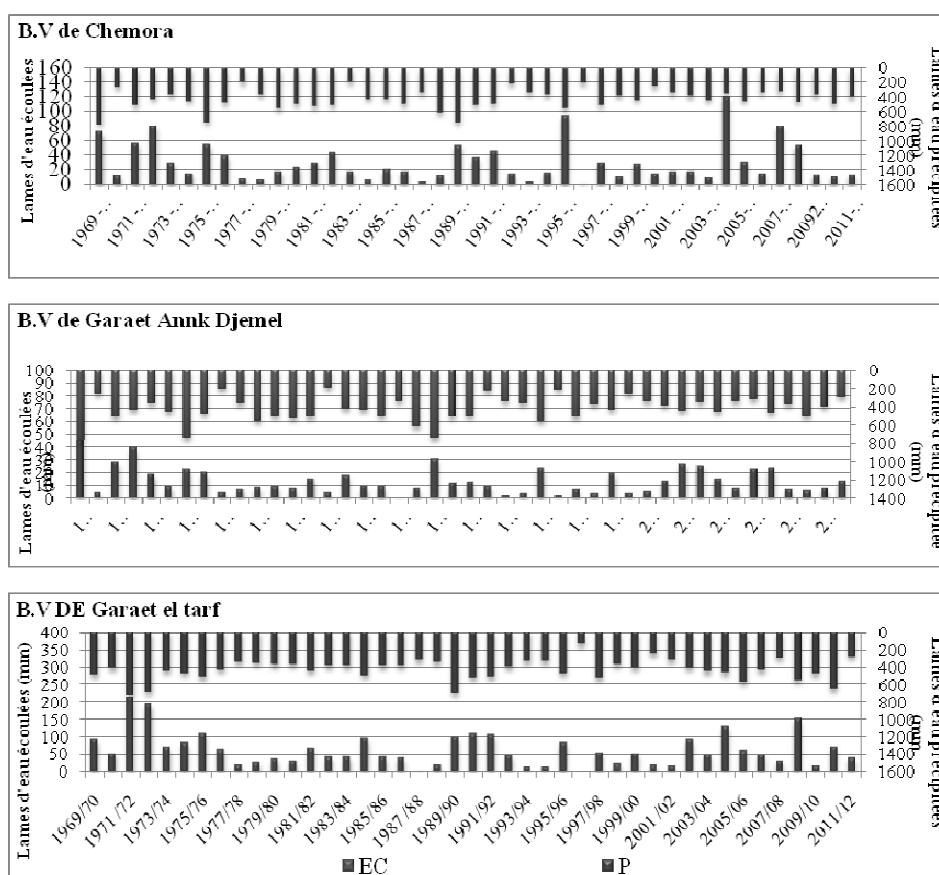


Fig. 10. Précipitations et écoulements dans les bassins versants

Le *Tableau 4* qui récapitule les principales caractéristiques statistiques des données de la pluviométrie annuelle, ainsi que des apports d'eau aux barrages des bassins en question, montre une certaine dissymétrie. Ainsi, pour

les séries des apports d'eau aux barrages, une différence beaucoup plus marquée existe entre les paramètres de position (moyenne, médiane), que pour celle des précipitations observées aux stations climatiques. L'écart entre le minimum et le maximum est très important. Le coefficient de variation annuelle se caractérise par une forte fluctuation. Il permet d'apprécier le degré de variabilité dans une série et la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne. Appliqué aux séries hydro-pluviométriques, il montre que la variation des écoulements est plus importante que celle des pluviométries.

Tableau 4

**Caractéristiques statistiques des précipitations annuelles  
 et des apports aux barrages (1969-2012)**

	Apports aux barrages (volume en Hm <sup>3</sup> )		Pluviométrie annuelle (mm)		
	Foum El Gueiss	Koudiat Mdaouer	Ain Tinn	Ain Mimoun	Boulhillet
<b>Moyenne (mm)</b>	7.48	16.46	430.3	439.94	180.43
<b>Médiane (mm)</b>	5.92	11.29	430.5	417.68	166.8
<b>Ecart type (mm)</b>	5.83	12.58	134.1	118.07	80.83
<b>Coefficient de variation</b>	0,77	0,76	0,31	0,26	0,44
<b>Coefficient d'asymétrie</b>	1.40	1.22	0.53	0.41	0.16

L'analyse des séries chronologiques (*Figure 11*) des apports d'eau aux barrages du bassin de Chemora et El Gueiss en montre la grande variabilité, avec une tendance à la baisse généralisée.

Depuis les années 1990, la fluctuation des apports dans le temps a nettement diminué par comparaison avec celle des précipitations.

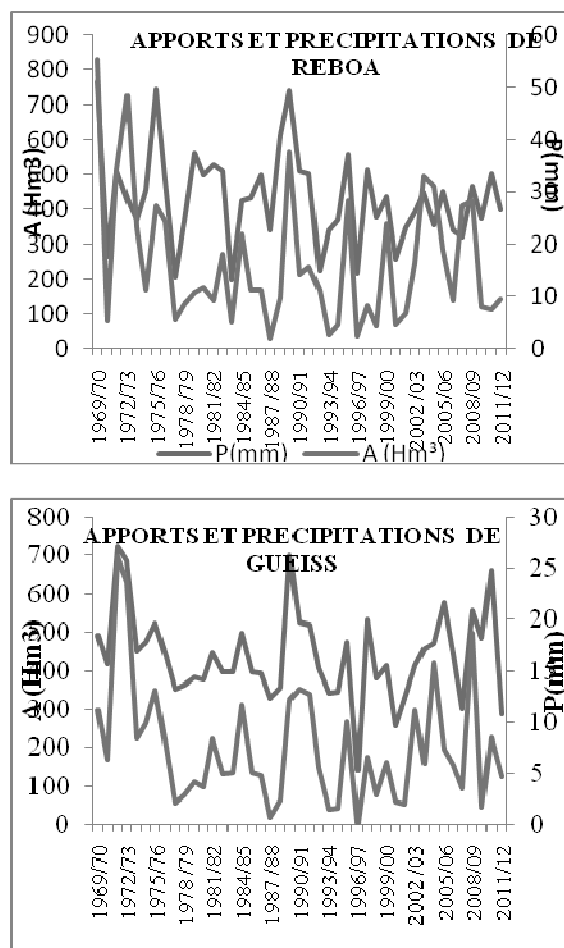


Fig. 11. Évolution des apports d'eau aux barrages du bassin hydraulique

En examinant les pluies enregistrées au niveau des stations hydrométriques de 1969 à 2012, on constate une diminution significative des quantités précipitées à partir de 1990. La moyenne interannuelle passe de 473,4 à 394,9 mm pour Chemora et de 204,5 à 163,03 mm à Foug El Gueiss. Le déficit pluviométrique n'explique toutefois pas totalement la tendance décroissante des apports. Les apports ont baissé en moyenne de 26% alors que les pluies n'ont diminué que de 16,5 % à Chemora et 20% à El Gueiss.

Le déficit pluviométrique observé sur plusieurs années consécutives s'est répercuté sur les écoulements des principaux oueds et leurs affluents et les déficits d'écoulement semblent s'être amplifiés.



### *Conclusion*

La complexité des relations entre le climat et cycle de l'eau est évidente. Toute modification climatique affecte simultanément différentes composantes des systèmes hydrologiques : la quantité des précipitations, leur intensité et leur fréquence, les écoulements etc.

Plusieurs indices relatifs à la sécheresse sont proposés et calculés dans cet article. D'après l'analyse des données hydro-pluviométriques des trois stations représentatives des trois sous-bassins élémentaires du bassin versant des Hauts plateaux Constantinois, les résultats montrent que la sécheresse est un phénomène récurrent. La méthode des écarts à la moyenne donne un pourcentage de plus de 50% d'années sèches et un pourcentage de plus de 30% d'années sèches selon la classification par l'indice de précipitations standardisé. La fréquence d'apparition d'années successives sèches est relativement élevée : 60% d'années sèches sont formées de deux, trois, cinq, voire neuf années sèches consécutives. Entre deux sécheresses, la durée et l'intensité varient considérablement, mais à l'échelle spatio-temporelle une tendance certaine d'accentuation de la sécheresse se dégage.

À la lumière des données, il apparaît que la sécheresse météorologique, caractérisée par un déficit pluviométrique, se traduit par une sécheresse hydrologique exprimée par une réduction de l'écoulement superficiel. Cette dernière est plus accentuée que la sécheresse météorologique. L'analyse de la médiane confirme la dissymétrie des apports et la tendance générale à la faible hydraulité.

Tributaires du climat, les ressources en eau des bassins versant de Chemora, Reboa et Gueiss, sont très variables. Déjà aléatoires, elles pourraient se réduire encore davantage si les précipitations diminuent et la température augmente, menaçant de façon sérieuse la vie de toute une population. Heureusement, grâce au transfert Nord-Sud des eaux du barrage de Béni Haroun vers le barrage de Koudiet M'daouer (Oued Chemora), la situation serait moins alarmante.

### REFERENCES

- Agoumi, A., Senoussi, S., Yacoubi, M., Fakhredine, A., Sayouti, E.H, Mokssit, A., Chikri, N., 1999, « Changements climatiques et ressources en eau ». *Hydrogéologie Appliquée*, vol. 12, n° 11, pp. 163-182.
- ANRH, Agence nationale des ressources hydrauliques. *Wilaya de Constantine. Rapports 2005, 2010, 2012.*
- Bagnouls. M.F., Gaussen, H., 1948, *Carte des précipitations moyennes 1913-1947*, Algérie Occidentale et Algérie orientale, 1/500000°, 4 feuilles, I.G.N., Paris.
- Bootsma, A., Boisvert, J.B., De Jong, R., Baier, W., 1996, « La sécheresse et l'agriculture canadienne ». *Sécheresse 7* : 277-285.

- Chaumont, M., Paquin, C., 1971, *Carte pluviométrique de l'Algérie*, 1/50000, 4 feuilles + notice. *Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord*, Alger.
- Edwards, D.C., Mc Kee, T.B., 1997, "Characteristics of 20 the Century Drought in the United States at Multiple Time Scales". *Climatology. Report N°97-2* Colorado state Univ.
- 2007, « Bilan des changements climatiques : Les bases scientifiques physiques ». In *Quatrième rapport d'évaluation de GIEC*. 2 février 2007, France.
- Guidoum, A., 2004, « Etude Hydrologique du bassin versant de l'Oued Chemora à la station de Chemora (W. de Batna, Est algerien). Mémoire de Magister Univ., Hadj Lakhdar, Batna
- Guttman, NB. 1994, 'On the Sensitivity of Sample L Moments to Sample Size' ». *Journal of Climatology* 7: 1026-1029.
- Hosking, J.R., Wallis, M., 1993, "Some Statistics Useful in Regional Frequency Analysis". *Water Resour. Res.* 29(2), 271-281.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1995, "Drought Monitoring with Multiple Times Scales". *American Meteorological Society*, 9<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, 15-22 Janvier, Dallas, TX, pp. 233-236.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist J., 1993, *La relation entre la fréquence des sécheresses et la durée des échelles de temps*. 8<sup>ème</sup> Conference sur la climatologie appliqué, 17-23 Janvier 1993, Anaheim CA, pp. 179-186.
- Meddi, H., Meddi, M., 2009, « Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie ». *Sécheresse*, vol. 20, n° 1, pp. 57-65.
- O.M.M. 2012, *Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé*, 2012, OMM n° 1090.