

## **Caractérisation de la sécheresse au sud Tunisien**

Manel Ellouze<sup>1</sup>, Habib Abida<sup>2</sup>

1. Etudiant chercheur, Faculté des Sciences de Sfax, Route Sokra, B.P 802, 3018 Sfax, Tunisie, téléphone : 216 98510385, e-mail : [manel.ellouze@voila.fr](mailto:manel.ellouze@voila.fr)

2. Maître Assistant, Faculté des Sciences de Sfax, Route Sokra, B.P 802, 3018 Sfax, Tunisie, téléphone : 216 98952472, télécopie : 216 74274437, e-mail : [habib.abida@voila.fr](mailto:habib.abida@voila.fr)

Mode de présentation préféré: orale

Thème : Développement des ressources en eaux et des infrastructures (thème 4).

### **Résumé**

L'analyse des séries de précipitations annuelles et mensuelles, enregistrées au Sud de la Tunisie, fait apparaître l'existence d'importantes relations de dépendance. Elle permet de constater une forte tendance pour qu'une année sèche soit suivie d'une autre année sèche. Pour analyser cette dépendance, les principales caractéristiques des épisodes secs au sud tunisien durant la période comprise entre 1898 et 2003 ont été utilisées. L'étude est basée sur les valeurs de l'indice standardisé des précipitations (SPI, Standardized Precipitation Index) calculé pour le court, moyen et long terme (3, 12 et 24 mois respectivement). Les résultats obtenus montrent une grande variabilité des valeurs du SPI pour le court terme avec des épisodes de sécheresse caractérisés par une grande fréquence et une courte durée. Cependant, pour les deux autres échelles de temps, les valeurs se stabilisent et révèlent des séquences sèches moins fréquentes mais plus prolongées. La période de sécheresse la plus importante en intensité, durée et extension est apparue surtout à la fin de l'année 1976.

**Mots clés:** sécheresse, séries de précipitation, statistique, sud Tunisien.

## INTRODUCTION

La Tunisie, est l'un des pays du bassin méditerranéen qui souffre de la pénurie d'eau d'une saison à une autre, et d'une année à une autre. En effet, les ressources en eau reçues par le pays, fixées à 450 m<sup>3</sup>/hab/an en 1999, seront de 315 m<sup>3</sup>/hab/an en 2030. Pour tenter d'élucider ce problème de manque d'eau, il est indispensable d'analyser les séries pluviométriques et d'évaluer l'effet de leur diminution, progressive ou non, en fonction des changements climatiques.

L'extension spatiale de la sécheresse est généralement plus importante que celle des autres risques naturels et ses impacts sont non structuraux et difficiles à quantifier. Comparé aux autres phénomènes hydrologiques, tel que les inondations, le développement des sécheresses est lent, de plus il est très difficile d'identifier son début et sa fin. D'un point de vue météorologique, la sécheresse peut se définir comme un comportement anormal mais récurrent du climat lié essentiellement à l'absence de précipitation que reçoit une région dans un laps de temps déterminé. L'analyse de la récurrence et de la persistance de ce phénomène par des méthodes scientifiques cherche à établir une estimation des durées et des probabilités qui pourront contribuer à la planification de stratégies de mobilisation et de gestion des ressources en eau.

Plusieurs efforts pour le développement de nouvelles méthodologies d'estimation et de quantification des différents aspects liés à la sécheresse ont été déployés, tel que les différences spatiales de la sécheresse (Beersma et Buishand, 2004), la prédiction des sécheresses par les indices de la circulation atmosphérique (Lloyd - Hughes et Saunders, 2002), et la mitigation des effets de la sécheresse (WMO, 2000). Cependant, plus d'efforts ont été fournis pour développer des indices de la sécheresse, permettant une identification précoce de son intensité et son ampleur. Pendant le vingtième siècle, plusieurs indices de sécheresse ont été développés, basés sur différents variables et paramètres. Ces indices sont primordiaux pour l'analyse et la planification continue des sécheresses dans le temps et dans l'espace (Svoboda et al. 2002).

McKee et al. (1993) a indiqué que le temps mis par les eaux de pluie pour être utilisées diffère selon plusieurs facteurs. Par conséquent, l'échelle de temps d'accumulation des déficits de précipitations est extrêmement important et spécifie les divers types de sécheresse : hydrologique, environnementale, agricole, urbaine...

La plupart des indices de sécheresse sont conçus pour des échelles de temps fixes, tel l'indice de sévérité de Palmer (PDSI Palmer, 1965). Ce dernier ne permet pas l'identification des séquences sèches pour une période inférieure à 9 mois. McKee *et al.* (1995) pensent que l'indice de sévérité de Palmer est conçu pour l'agriculture et ne représente pas exactement les effets hydrologiques résultant des sécheresses de longue période. Le PDSI ne peut pas être utilisé comme indicateur pour comparer l'intensité de sécheresses entre deux régions (Guttman, 1998). Quant à l'indice standardisé de précipitation « SPI » (*standardised precipitation index*), il a été développé en 1993 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. De plus, le SPI est comparable dans le temps et l'espace (Wu et al. 2005). Etant donné qu'il est robuste, le SPI a été largement utilisé pour étudier la sécheresse dans différentes régions : Italie

(Bonaccorso et al. 2003), Grèce (Tsakiris et Vangelis, 2004), et Espagne (Vicente-Serrano et Lopez-Moreno, 2005).

Dans ce cadre, le SPI, calculé pour le court, moyen et long terme, est utilisé pour l'analyse des séries de précipitations annuelles et mensuelles au Sud Tunisien afin de montrer leurs dépendances pour le climat et pouvoir caractériser la fréquence des séquences sèches.

## **METHODOLOGIE**

Le traitement statistique proposé dans cette étude concerne d'une part la détection des changements brusques des caractéristiques des séries de données, et d'autre part la tendance. La première partie s'intéresse à la détection des changements des moyennes annuelles des séries de précipitation. En effet, une rupture peut être définie par un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné, le plus souvent inconnu (Lubès et al, 1998). Deux méthodes statistiques de détection de rupture ont été utilisées dans cette étude.

- Test de Pettitt (Pettitt, 1979) : reconnu par sa robustesse, le test est non-paramétrique et dérivé de la formulation du test de Mann-Whitney. L'absence d'une rupture dans la série chronologique  $X$  constitue l'hypothèse nulle  $H_0$ .

- Procédure de segmentation (Hubert et al, 1989): la méthode consiste à découper la série en  $m$  segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du segment voisin. Cette procédure est considérée comme un test de stationnarité. Si la procédure ne produit pas de segmentation acceptable d'ordre supérieur ou égal à 2, alors l'hypothèse nulle (série stationnaire) est acceptée.

Pour ces deux tests un niveau de signification de 10% a été considéré.

Dans une seconde phase, l'indice standardisé de précipitation (SPI) est calculé à partir des séries mensuelles de précipitation pour trois pas de temps (3, 12 et 24 mois) et pour chaque station. La moyenne mensuelle du SPI est ensuite calculée pour chaque échelle de temps. Le SPI a été mis au point à l'université du Colorado et devait permettre de déterminer le déficit de précipitations pour une région donnée pendant un laps de temps déterminé. Le calcul du SPI nécessite l'ajustement de séries longues de données de précipitations à la distribution Gamma qui, selon Thom (1966) et Young (1992) est la distribution qui représente le mieux l'évolution des séries de pluies. L'estimation du SPI se fait par ajustement de la distribution des fréquences des précipitations dans chaque station à la distribution Gamma de la probabilité de la densité. Les valeurs des paramètres de la fonction Gamma sont estimées pour chaque station et pour chaque échelle de temps (3, 12, 24, 48 mois) et pour chaque mois de l'année.

Les valeurs négatives du SPI correspondent à un déficit des précipitations alors qu'à l'opposé les valeurs positives indiquent des pluies supérieures à la normale.

Le tableau 1 présente la classification de l'indice standardisé des précipitations (McKee et al, 1995). On est en face d'un phénomène de sécheresse dès lors que les valeurs du SPI deviennent inférieures à 0,99.

## **DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE ET DES DONNEES**

La Tunisie, pays semi-aride, passe depuis des années par des épisodes de sécheresse caractérisés par des pluies faibles qui ont des conséquences dévastatrices sur l'agriculture. La valorisation du mètre cube d'eau et la mobilisation des réserves constitue un impératif pressant pour gérer l'impact négatif de la sécheresse. Dans ce contexte, nous proposons de faire l'étude des données pluviométriques observées au niveau du sud Tunisien afin de

dégager les caractéristiques de la sécheresse météorologique. En effet, le sud Tunisien (Fig 1) forme une vaste zone de reliefs très variés, marqué par une aridité constante où dominent les processus climatiques sahariens. La zone est caractérisée par un bilan hydrique très déficitaire et peu variable d'une année à l'autre. La demande en eau y est de 1600 à 1800 mm/an, avec une pluviosité égale ou inférieure à 200 mm (MEAT, 2001).

Les séries de pluviométrie mensuelles de 12 stations, homogènement réparties sur le sud tunisien sont considérées dans cette étude (Fig 1). Le tableau 2 présente les différentes stations, la taille des séries, la pluie moyenne annuelle ainsi que les coordonnées correspondantes. Seules les stations ayant des séries de données de taille supérieure à 30 ans sont considérées. La zone d'étude est caractérisée par une pluviométrie faible dont la saison pluvieuse est courte et s'étend de Septembre à Mai avec des maxima en Octobre et Mars. La variation moyenne annuelle de la pluviométrie est de l'ordre de 130 mm pour une différence d'altitude de 582 m.

## RESULTATS ET DISCUSSION

La procédure de segmentation des séries hydrométéorologiques a donné des résultats qui sont consignés dans le tableau 3. Pour les pluies annuelles, ce test montre qu'il n'y a eu aucune rupture de la stationnarité pour la plupart des stations de la Tunisie méridionale. La seule rupture est observée vers les années soixante pour la station de Metlaoui et quatre-vingt pour la station de Redeyef, situées à l'ouest de la zone d'étude. Les mêmes constatations sont distinguées pour les totaux saisonniers et leurs poids. Une rupture s'est produite à la fin des années 70 et 80 pour les différentes stations. En considérant le test de Pettitt (tableau 4), la même rupture (1979) dans les pluies annuelles a été détectée. Les résultats montrent qu'il y aurait eu une certaine baisse de la pluviométrie annuelle (station de Metlaoui), et des pluies d'été (station de Ben Guerdane, Remeda et Metlaoui). La comparaison des moyennes des précipitations de part et d'autre des ruptures révélées par les deux tests, montrent que la baisse des précipitations la plus importante est observée vers la fin des années 70.

En considérant les dates d'éventuelles ruptures qui sont apparues à travers les méthodes précédentes, l'indice standardisé de précipitations est calculé pour le court, moyen et long terme (3, 12 et 24 mois respectivement). En effet, l'utilisation de cet indice de sécheresse vise à vérifier et confirmer les résultats trouvés. Les pourcentages de stations météorologiques indiquant des valeurs du SPI inférieures à -0,99 pour les trois échelles de temps (3, 12 et 24 mois) ont été déterminés (Fig. 2), afin d'analyser la distribution spatiale des séquences sèches observées au sud Tunisien.

Pour les observations à court terme (3 mois), on remarque que le phénomène de plus grande ampleur est enregistré en Janvier et Mais 1982, quand 84% des stations étudiées révèlent un déficit hydrique. L'analyse du moyen terme (12 mois) dénote le même pourcentage pour le mois de Mais 1982. Quant au long terme, le maximum de stations affectées par la sécheresse (59%) est observé au mois de Novembre 1963. La figure 2 montre aussi la présence de trois phases distinctes à savoir : de 1899 à 1930, de 1936 à 1972 et de 1976 à 2003. Ces dernières sont très nettes pour le long terme. La variation spatiale de ces périodes sèches dévoile une augmentation des zones touchées dans les deux directions Sud Est et Est Ouest.

L'analyse de la fréquence et de la durée des séquences de sécheresse observées dans le sud tunisien est ensuite réalisée. La figure 3 montre l'évolution continue du SPI pour différentes échelles. Pour le court terme (3 mois), les deux périodes sèches et humide présentent une

grande fréquence temporelle. De plus, la fréquence des épisodes secs diminue avec l'augmentation du pas de temps. A court terme, on constate que les valeurs du SPI varient énormément et sont parfois positives, parfois négatives. Mais dans ces conditions, chaque nouvelle pluie mesurée influe considérablement sur le cumul des précipitations trimestrielles. À moyen et long termes, il est évident que chaque nouvel événement pluvieux a moins d'impact sur les totaux cumulés et par conséquent les valeurs du SPI sont moins fluctuantes. Il est également important de noter (Fig. 3) qu'à court terme la majorité des événements pluvieux est de courte durée alors qu'à moyen et long termes les valeurs du SPI se stabilisent et traduisent mieux les périodes de déficit hydrique. Une seule période de sécheresse prononcée a été observée vers la fin des années 1890, durant laquelle le SPI a atteint des valeurs inférieures à la limite -0,99. Les trois périodes sèches, déjà définies, ont été retenues pour le long terme (24 mois). La sécheresse reste proche de la normale à modérée pour ces dernières.

Le tableau 5 présente la durée des épisodes secs en se référant à leur distribution par rapport à la série historique pour chaque échelle de temps. A court terme, on recense 30 événements secs pour une durée moyenne de deux mois (1,6). L'événement le plus marqué (SPI = -1,48), toujours à court terme, se situe au milieu des années 1980 et dure 2 mois au cours desquels sévit une sécheresse sévère. À moyen terme, ce sont 13 événements secs qui sont repérés. Si la durée moyenne de chaque événement est de 3 mois, le plus long et le plus marqué a eu lieu entre janvier et août 1982, et a été caractérisé par des valeurs du SPI égales à - 1,18. Pour l'échelle de longue durée, durant les années 1970, cinq événements secs retiennent l'attention dont un d'entre eux est particulièrement sévère tant en intensité qu'en durée. Cet événement apparaît dès le mois d'avril 1976, s'étend sur 24 mois, et peut être qualifié d'extrême.

## **CONCLUSION**

D'une échelle de temps à l'autre, l'évolution historique du SPI s'avère différente. À long terme, cet indice qui varie peu permet de définir avec plus de précision les époques de déficit ou d'excédent de précipitations. Durant les années suivies dans la présente étude, les sécheresses les plus remarquables par leur intensité, leur durée ou leur étendue géographique se rencontrent vers la fin des années 1970 (surtout 1976), et ce quelle que soit l'échelle de temps considérée. Ces périodes sèches, confirmés par les tests statistiques de détection de rupture, restent modérées et peu sévères pour toutes les stations de la Tunisie méridionale.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

Beersma, J. J. et Buishand, T. A.: Joint probability of precipitation and discharge deficits in the Netherlands, *Water Resour. Res.*, 40, W12508, doi: 10.1029/2004WR003265, 2004.

Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G., et Sutera, A.: Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily, *Water Resour. Management*, 17, 273–296, 2003.

Guttman, N.B.: Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, 34, 113-121, 1998.

Hubert P., Carbonnel J.P., et Chaouche A. : Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de Afrique de l'Ouest. *J. Hydrol.* 110, 349-367, 1989.

Lloyd-Hughes, B. et Saunders, M. A.: Seasonal prediction of European spring precipitation from El Niño-southern oscillation and local sea-surface temperatures, *International J. Climat.*, 22, 1–14, 2002.

Lubès H., Masson J.M., Paturel J.E., et Servat E. : Variabilité climatique et statistique. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Rev. Sci. Eau* 11(3), 383-408, 1998.

McKee TB, Doesken NJ, et Kleist J.: Drought monitoring with multiple time scales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology 1995, 15-20 January, Dallas, TX, 233-6.

McKee TB, Doesken NJ, et Kleist J.: The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, 1993: 179-84.

MEAT: Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire, Communication Initiale de la Tunisie à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, 2001.

Palmer, W.C.: Meteorological drought. Research Paper No. 45. U.S. Weather Bureau. [NOAA Library and Information Services Division, Washington, D.C. 20852], 1965

Pettitt A.N.: A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Statist.* 28(2), 126-135, 1979.

Svoboda, M., Le Compte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M., Stooksbury, D., Miskus, D., et Stephens, S.: The drought monitor, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, 1181–1190, 2002.

Tsakiris, G. et Vangelis, H.: Towards a drought watch system based on spatial SPI, *Water Resour. Management*, 18, 1–12, 2004.

Thom HCS: Some methods of climatological analysis. WMO Technical Note, n° 81. Geneva : World Meteorological Organization, 1966.

Vicente-Serrano S. M. et Lopez-Moreno J. I.: Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9, 523- 533, 2005.

WMO: World Meteorological Organization: Early Warning Systems for Drought Preparedness and Drought Management, Lisboa, 2000.

Wu, H., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., et Svoboda, M. D.: The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation, *International J. Climat.*, 25, 505–520, 2005.

Young KC.. A three-way model for interpolating monthly precipitation values. *Mon. Weather Rev.* 1992 ; (120) : 2561-9.

Tableau 1: Classification du SPI (McKee et al, 1995).

<b>Intensité de la sécheresse</b>	<b>Valeur du SPI</b>
Proche de la normale	0 à -0,99
Modérée	-1 à -1,49
Sévère	-1,5 à -1,99
Extrêmement sévère	≤ 2

Tableau 2: Caractéristiques des stations pluviométriques.

<b>N°</b>	<b>Station</b>	<b>taille (ans)</b>	<b>Pmoy (mm)</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude</b>
1	Mednine	97	154	37.04.00	9.07.00	125
2	Gabes	98	191	37.65.00	8.62.00	4
3	Tataouine	98	126	36.58.00	9.02.00	240
4	B. Guerdane	81	182	36.82.00	9.87.00	12
5	Matmata	90	217	37.27.00	8.50.00	441
6	Zarzis	82	217	37.22.00	9.75.00	11
7	Tozeur CRDA	90	99	37.69.30	6.46.10	45
8	Remeda	60	87	35.90.00	8.97.00	300
9	Gafsa	103	161	38.25.00	7.18.00	300
10	Metlaoui	103	124	38.13.00	6.70.00	202
11	Redeyef	86	140	38.21.00	6.46.00	586
12	Maknassy	79	201	38.41.54	8.04.00	278



Tableau 3: Années de rupture des séries de données déterminées par la procédure de segmentation de Pierre Hubert.

<b>Station</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
Pluie annuelle		-	-	-	-	-	-	-	-	-	1979	1988 1989	-
Automne	Pluie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1976	-	-
	Poids	-	-	-	-	-	1910 1993	-	1992 1993	-	-	-	-
Hiver	Pluie	1974 1975	-	-	-	-	-	-	1974 1975 1993	-	-	1988 1989	-
	Poids	-	-	-	1917 1979	1915 1983	1910 1993	-	-	-	-	-	-
Printemps	Pluie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1931 1932
	Poids	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1999	-
Eté	Pluie	-	-	-	1969 1971	-	-	-	-	-	-	-	-
	Poids	1906 1907	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 4: Années de rupture des séries pluviométriques déterminées par le test de Pettitt.

Station		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pluie annuelle		1941 (0,06)	-	-	-	-	-	-	-	-	1979 (0,04)	1953 (0,08)	-
Automne	Pluie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Poids	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hiver	Pluie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Poids	-	-	-	1933 (0,07)	-	-	-	-	-	-	-	-
Printemps	Pluie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1985 (0,05)
	Poids	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eté	Pluie	-	-	-	1947 (0,06)	-	-	-	1964 (0,08)	-	1958 (0,03)	-	-
	Poids	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 5: Fréquence et durée des évènements secs à court, moyen et long termes.

Classe	Nombre de séquences	Fréquence				Durée moyenne
		1 mois	2 mois	3 mois	≥ 4 mois	
SPI-3	30	0,6	0,23	0,13	0,03	1,6
SPI-12	13	0,62	0,08	0,08	0,23	3
SPI-24	5	0,6	0,2	0	0,2	5,8

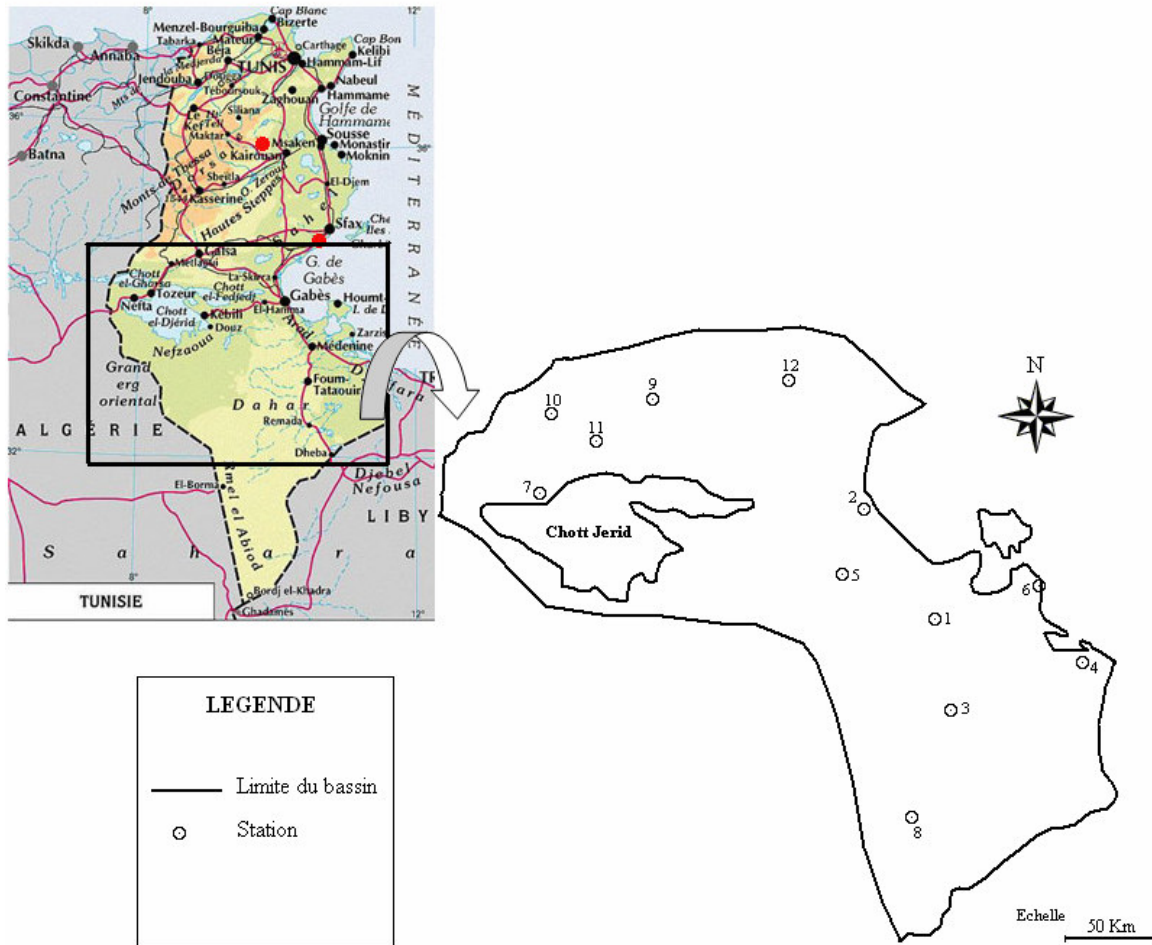


Figure 1: Zone d'étude.

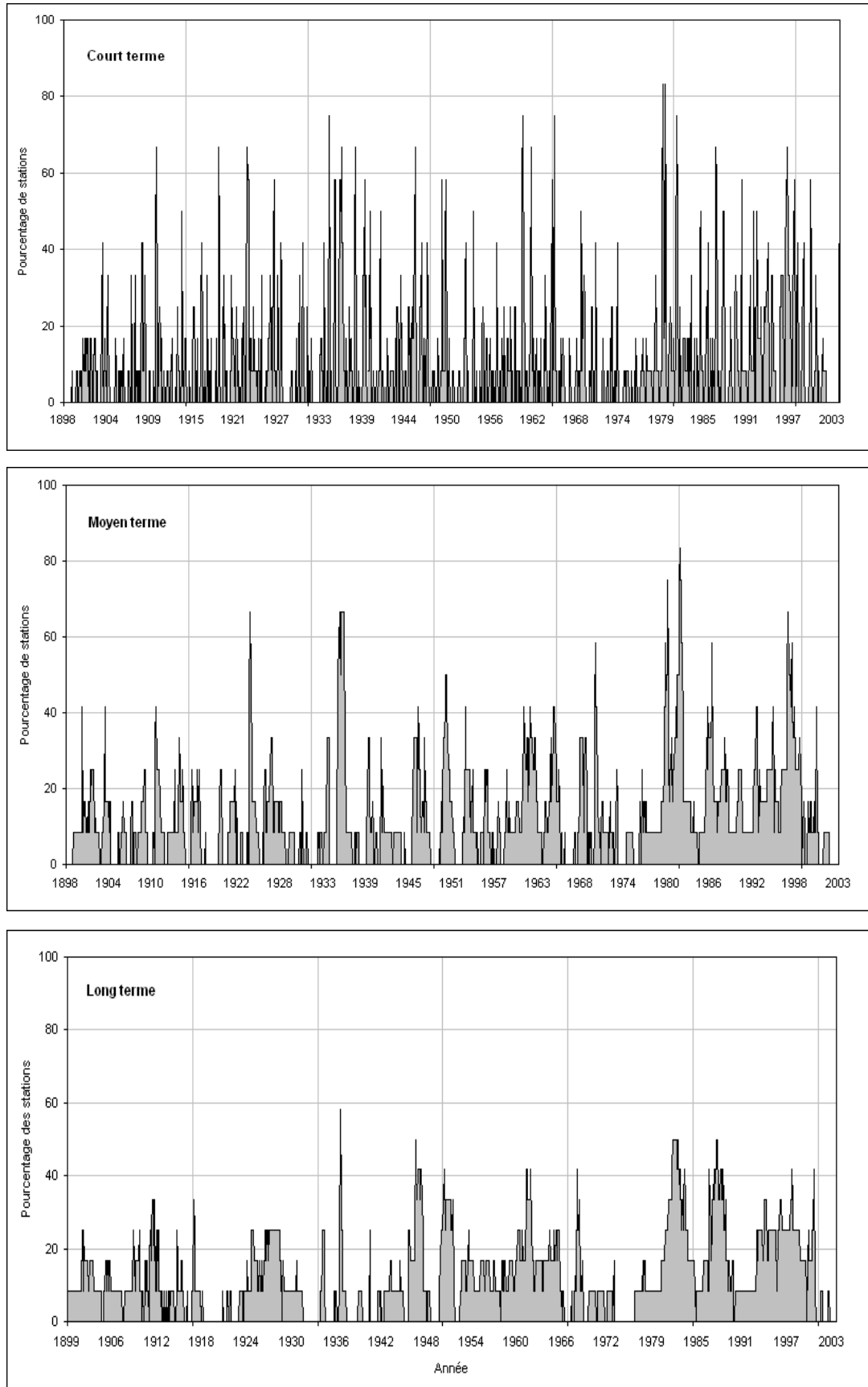


Figure 2: Pourcentage de stations météorologiques indiquant des valeurs du SPI < -0.99, selon diverses échelles de temps.

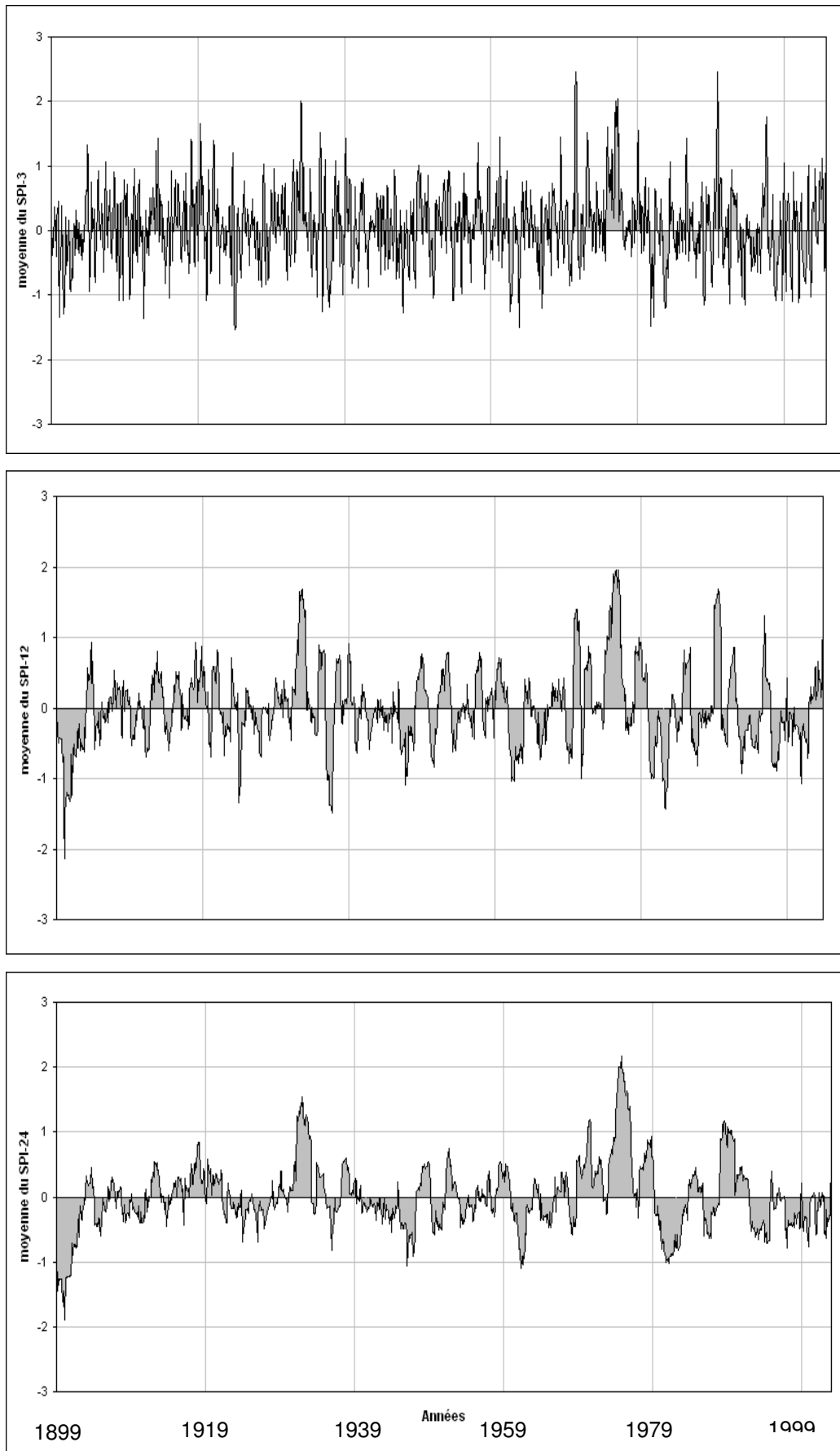


Figure 3: Evolution historique du SPI à court, moyen et long terme.