

**EVOLUTION DE LA PLUVIOMÉTRIE DE 1960 À 2015 AU MAROC****EL AJHAR Laila\*<sup>1</sup>, EL KHACHINE Douae<sup>1</sup>, EL BAKOURI Ahmed<sup>1</sup>, EL KHARRIM Khadija<sup>1</sup> & BELGHYTI Driss<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Laboratoire Biotechnologie, Environnement et Qualité. Faculté des Sciences Kenitra. BP:133. 14000 Kénitra.**DOI: 10.5281/zenodo.1465732****Abstract**

Le Maroc est un pays de la zone subtropicale du Nord-Ouest africain. Il est caractérisé par un climat très différent selon les régions. En effet, les zones littorales bénéficient d'un climat tempéré, alors que le climat est désertique dans le sud et l'est du pays. Le climat marocain comporte beaucoup de nuances : méditerranéen au Nord, océanique à l'Ouest, continental à l'intérieur des terres et saharien au Sud. Le climat varie aussi en fonction des saisons.

Toutes les régions du MAROC risquent d'être touchées par les impacts du changement climatique ; mais à différents degrés selon leurs zones climatiques d'appartenance ; Pour cela nous avons étudié les tendances des séries pluviométriques des 19 stations météorologiques afin d'élaborer la carte des précipitations au cours de la période 1980-2015.

La distribution des précipitations du Maroc a bien connu un changement au cours de la période 1980-2015. Ce changement, consistant en une évolution vers des conditions plus sèches, avec diminution des précipitations non négligées.

Ces changements ont des impacts directs sur les activités agricoles et ont réduit considérablement les ressources en eau mobilisable pour une population sans cesse croissante.

**Mots clés :** Climatologie, Pluviométrie, Maroc**Introduction**

La pluviométrie est le paramètre le plus dominant dans la plupart des pays méditerranéen pour la classification a identité climatique .Dans ces régions les changements climatiques influencent sur la modification des régimes pluviométriques et le déplacement des zones climatiques.

Durant ces dernières décennies ; le prolongement des épisodes secs est devenu une réalité dans cette partie du globe ; notamment le Maroc (Sebbar et al. ,2011).

Plusieurs régions du Maroc ont été confrontées à des séries de périodes sèches depuis le début des année 1980(Ministère des travaux publics ,1997 ;Knippertz et al.,2003 ; Esper et al.,2007)et qui ont eu des impact sur les différents secteurs du Maroc. L'effet combiné de l'oscillation nord-atlantique(ONA) au nord et de la désertification au sud influence sans doute le régime pluviométrique au Maroc septentrional et par conséquent l'extension spatio-temporelle de la sécheresse.(Sebbar et al.,2011).

Plusieurs auteurs ont traités et publiés des cartes pluviométriques tels que T.G Roux en 1946 (Carte de la moyenne annuelle des précipitations au MAROC 1926-1940) ;H Gausen ;J.Debr ach et F.Bagnouls ont élaborés la carte des précipitations au Maroc de la période 1925/1950.

Dans ce cadre nous nous proposons d'étudier la variabilité spatiale et temporelle du régime pluviométrique annuel au Maroc sur la période 1980-2015 en se basant sur les 19 stations climatologiques.



## INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH SCIENCE & MANAGEMENT

Dans un premier temps nous allons analyser la variabilité de l'anomalie annuelle de chaque station qui pointe vers l'évidence d'une évolution climatique nouvelle qui s'amorcerait pour le Maroc, tout au moins pour ses conditions pluviométriques régionales et locales.

### Situation géographique

Situé au nord-ouest du continent Africain, le Maroc s'ouvre à la fois sur l'océan Atlantique et la mer Méditerranée, ce qui lui fait un total d'environ 3000 km de côte. Avec une extension latitudinale allant du 37ème au 21ème parallèle, il s'étend sur une superficie de 700 000 km<sup>2</sup>, du détroit de Gibraltar jusque pratiquement aux confins sud du grand Sahara Africain. Il se caractérise par une géographie bien diversifiée : les plaines, de hautes chaînes montagneuses où de nombreux massifs dépassent les 3000 mètres (chaînes du Rif et de l'Atlas) et le désert (Driouch ,2010)

Le Maroc s'étend sur une superficie de 700000Km<sup>2</sup> et se caractérise par une géographie bien diversifiée avec des plaines et des hautes montagnes.

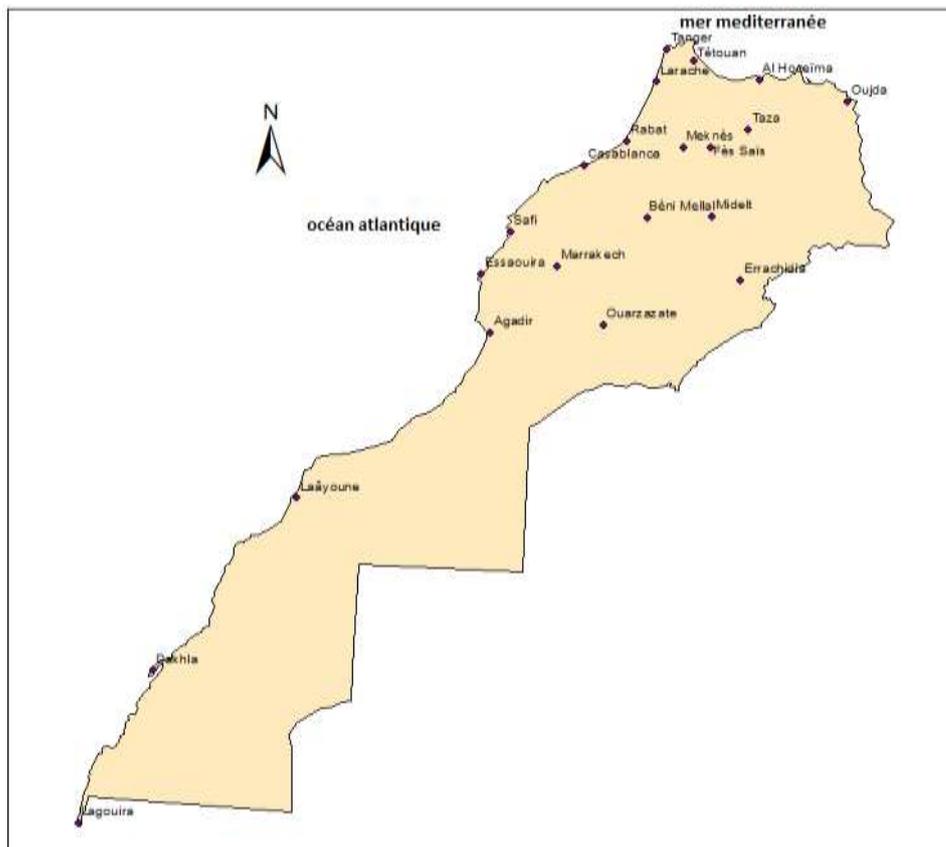


Figure1 : Carte géographique du Maroc

### Données utilisées et méthodes de travail

#### Données utilisées

Les données annuelles de précipitations et de températures des 19 stations météorologiques sont utilisées pour le calcul des précipitations annuelles ; les anomalies annuelles des précipitations pour chaque station et l'indice climatique de Martonne, Cet indice considéré aussi comme un indice de sécheresse (Moisselin et al. 2002), se



## INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH SCIENCE & MANAGEMENT

base à la fois sur les précipitations et la température annuelles (Driouch, 2010). Elle couvre la période 1980-2015. Les 19 stations sont situées au nord et centre du Maroc (Tableau 1).

### Méthodes mathématiques et statistiques

Pour mieux comprendre l'évolution interannuelle des précipitations, on est amené à appliquer des analyses statistiques.

Les outils statistiques utilisés dans le cadre de ce travail sont :

- ✓ **le calcul des moyennes arithmétiques**

$$P_{\text{moy}} = 1/n \sum_{i=1}^{19} P_i$$

n = le nombre des stations disponible

P<sub>i</sub> = Précipitation de la station i

- ✓ **le calcul d'anomalie annuelle des précipitations**

$$X_i^a = \frac{X_i - \bar{x}}{\sigma(X)}$$

X<sub>i</sub><sup>a</sup> = Anomalie Centrée Réduite pour l'année i, X<sub>i</sub> = la valeur de la variable

$\bar{x}$  = la moyenne de la série       $\sigma(X)$  = l'écart type de la série

- ✓ **Le coefficient de variabilité** (Saloui, 1996).

$$Cv = \frac{\sigma(X)}{\bar{x}} * 100$$

- ✓ **La méthode utilisée pour le calcul d'indice d'aridité de Martone**

Indice d'aridité annuel : (Beltrando et Chémery, 1995).

$$I = \frac{P}{(T+10)}$$

I = indice annuel des précipitations

P = précipitations moyennes annuelles

T = Température moyennes annuelles

Nous avons calculé les moyennes annuelles et les écart-types puis établi les courbes et les diagrammes d'anomalies des séries annuelles des précipitations.

Le traitement des données a été effectué en utilisant les logiciels ARCGIS 10.2.2 et MICROSOFT EXCEL

Toutes les données ont été introduites dans la base de données ; les fichiers Excel comportent des informations sur les précipitations et les températures.

Les interpolations statistiques demandent la constitution de base des données à références spatiale.

Il existe plusieurs méthodes pour interpoler des données à références spatiale tels que le spline, IDW, une des méthodes les plus utilisées est le krigeage.

## Résultat et discussion

### L'évolution des précipitations au Maroc de 1980 à 2015

Le tableau 1.1 représente les noms des 19 stations étudiés ; leurs coordonnées géographiques ; leurs altitudes et le coefficient de variabilité climatique.



## INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH SCIENCE &amp; MANAGEMENT

Tableau 1: Cordonnées des 19 stations météorologiques du Maroc

Stations	Longitude	Latitude	Altitude(m)	Coefficient de variabilité%
Taza	34,21	-4	509	42
Meknès	33,88	-5,53	576	32
Fès Saïs	33,93	-4,98	579	31
Rabat	34,05	-6,76	84	41
Casablanca	33,56	-7,66	62	45
Nouasseur	33,36	-7,58	200	41
Safi	32,28	-9,23	52	48
Béni Mellal	32,36	-6,4	472	36
Essaouira	31,51	-9,78	15	40
Agadir	30,38	-9,56	27	50
Oujda	34,78	-1,93	468	26
Al Hoceima	35,18	-3,85	27	45
Larache	35,18	-6,13	49	43
Tétouan	35,58	-5,33	10	43
Tanger	35,73	-5,9	19	39
Er-Rachidia	31,93	-4,4	1034	46
Midelt	32,68	-4,73	1515	65
Ouarzazate	30,93	-6,9	1139	51
Marrakech	31,61	-8,03	468	39

La carte représente la répartition de la pluviométrie annuelle au Maroc prenant en considération l'influence de la latitude et l'altitude sur cette répartition.

On remarque que sur toutes les côtes atlantiques, les précipitations diminuent en allant vers le sud du pays Tanger (550 mm), Casablanca (350 mm), Lagouira (150 mm).

A l'intérieur les chaînes de montagnes sont caractérisées par une pluviosité importante plus arrosée que les autres régions mais toujours avec une diminution des précipitations en allant vers le sud.

Au nord du pays, le rif est la chaîne la plus arrosée avec une pluviométrie annuelle qui dépasse 550 mm et ces valeurs diminuent vers le sud.

Le sud et le sud-est du Maroc, les régions étudiées sont caractérisées par une forte sécheresse avec des précipitations inférieures à 100 mm.

Le coefficient de variation calculé sur la période 1980-2015 varie entre 26% et 65% en allant du nord vers le sud avec 26 % à Oujda et 65 % à Midelt.

Cette étude statistique montre que le coefficient de variation des pluies annuelles augmente généralement du nord vers le sud. Il est fortement influencé par l'ampleur de l'aridité. (Sebbar et al, 2011).

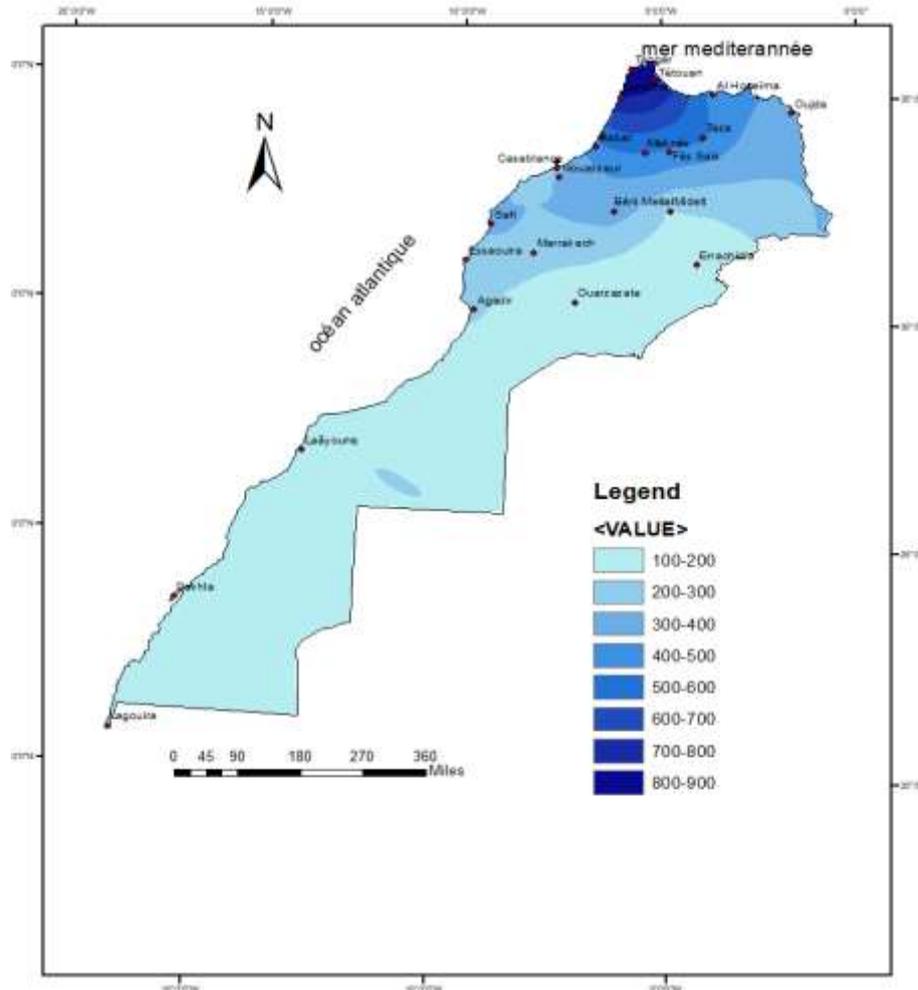


Figure 1: Carte des précipitations annuelles par Krigeage

### Tendances des anomalies observées

La distribution des années excédentaires et déficitaires en pluies est représentée graphiquement pour chaque station (Figure 3). Si on compare les différents graphiques de la figure 3, et leurs valeurs en dessous et en dessus de l'axe 0, on distingue que le nombre d'année à déficit pluviométrique est plus important dans la plupart des stations du pays, ainsi que la plupart de stations montrent une tendance plus ou moins vers la baisse.

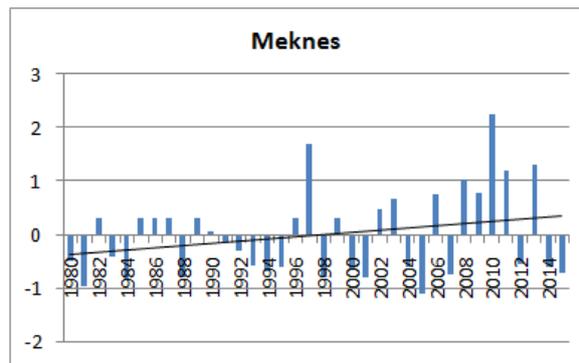
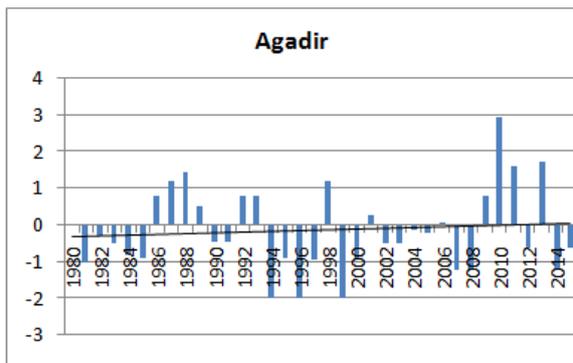
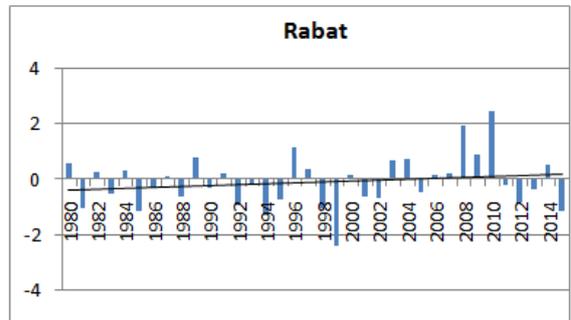
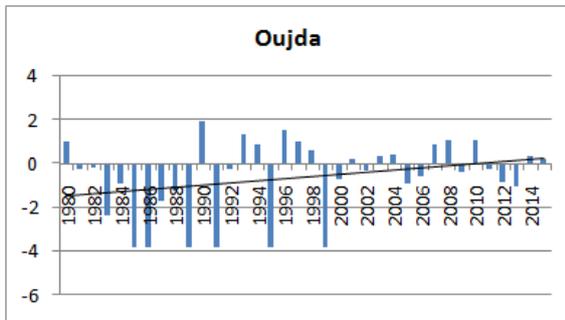
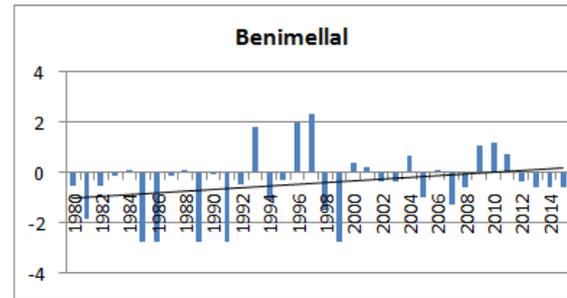
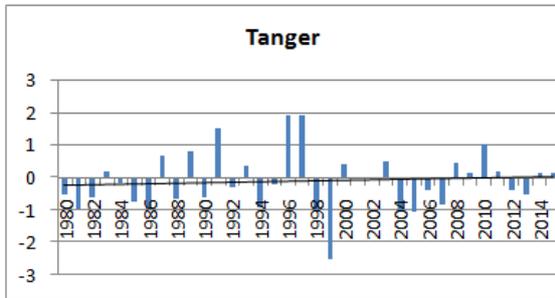
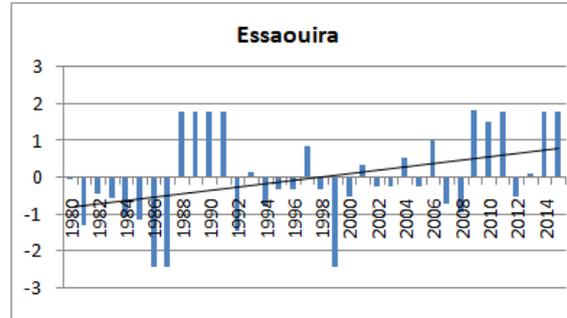
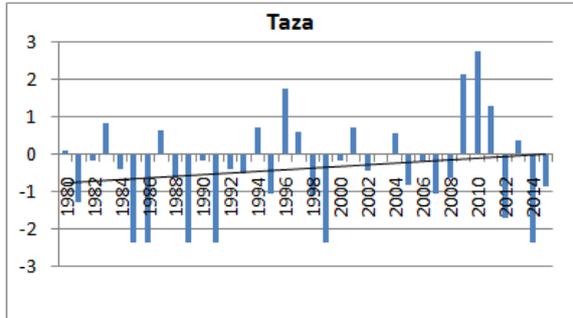
On remarque une diminution des précipitations à partir de 2000 dans la plupart des stations pluviométriques avec un retour de temps en temps d'années excédentaires. Les années des périodes 1980-1985 et 1990-1991 sont toutes en dessous de l'axe 0 avec un déficit qui dépasse 30%, sauf les années 1982-1984-1991.

Les déficits les plus élevées distinguées sont à Ouarzazate 2000, (-30%); Tanger 1992, (-38%) et Midelt 2010, (-44%) Pour les stations situées sur l'atlantique; leurs excédants dépassent 40%, alors qu'à l'intérieur; ils varient entre 20% et 30%. Les résultats montrent que les années 1996 et 2010 ont été excédentaires dans la plupart des stations.

Nos résultats sont généralement en accord avec ceux de Driouch et al, 2010.

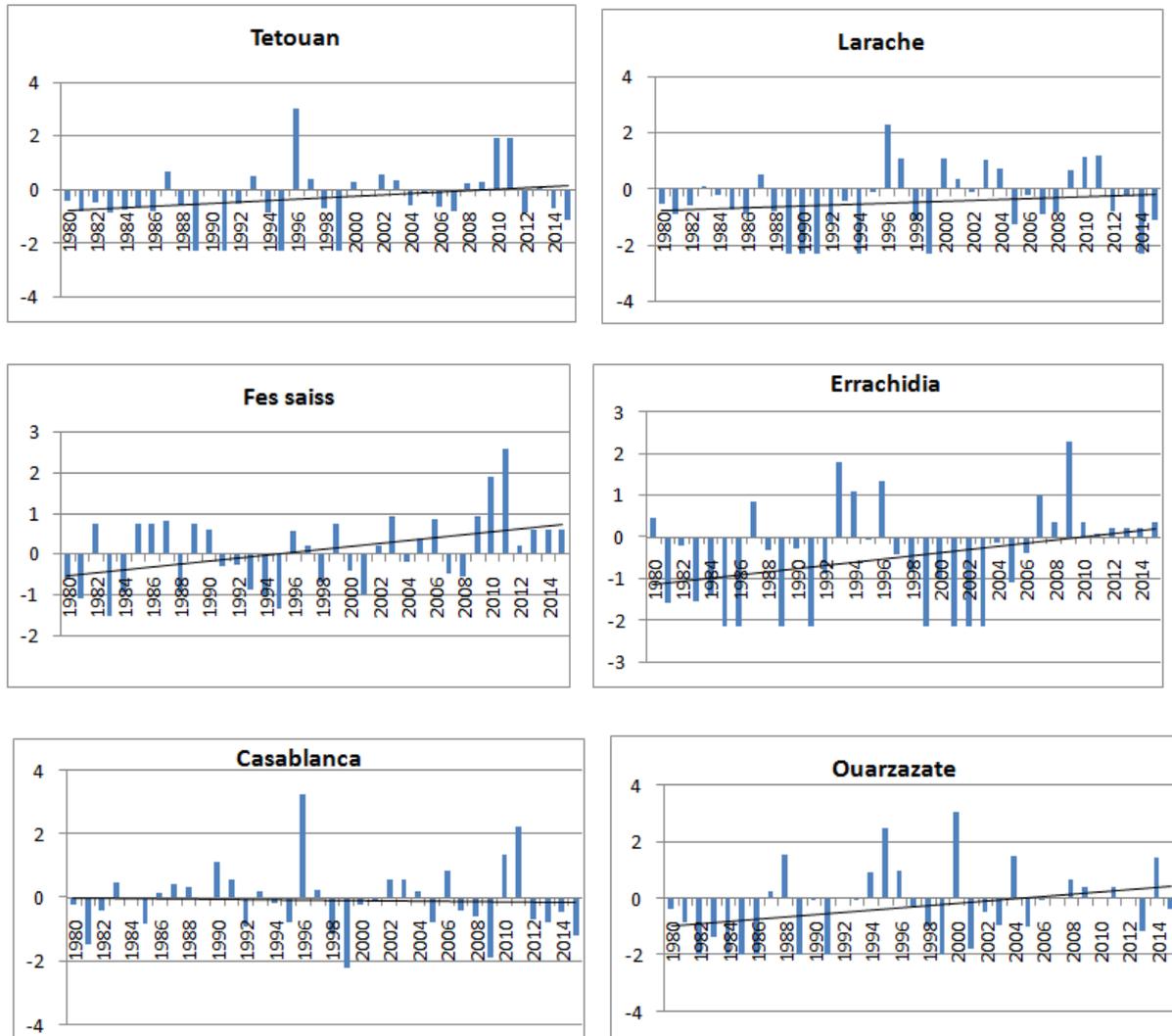


# INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH SCIENCE & MANAGEMENT





INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH SCIENCE & MANAGEMENT



**Types de climats**

Les évolutions obtenues précédemment pour les précipitations peuvent influencer les types de climat au Maroc, donc nous avons traité ces types à l'aide de l'indice d'aridité de Martonne (Beltrando et chemery) ; elle se base sur les précipitations et les températures annuelles.

Martonne a classifié les climats selon les valeurs de l'indice I

L'aridité augmente quand l'indice diminue.

Le tableau suivant montre les tendances de l'aridité de Martonne calculée sur la période 1980-2015 des 19stations météorologiques et leurs types de climats.

*Tableau 2: Types de climat selon l'indice d'aridité de DEMARTONNE des 19stations météorologiques au cours de la période 1980-2015*

stations	1980-1990	1990-1991	1991-2015	Tendances
<b>Taza</b>	Semi aride	Semi aride	Semi aride	-0.4
<b>Meknès</b>	Semi aride	Semi aride	Semi aride	-0.17
<b>Fès saïss</b>	Semi aride	Semi aride	Semi aride	-0.26
<b>Rabat</b>	Semi aride	Semi aride	Semi aride	0.002



## INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH SCIENCE &amp; MANAGEMENT

<b>Casablanca</b>	Semi aride	Semi aride	Semi aride	-0.25
<b>Nouasser</b>	Semi aride	Semi aride	Semi aride	-0.12
<b>Safi</b>	Semi aride	Semi aride	Semi aride	-0.28
<b>Beni mellal</b>	aride	Semi aride	aride	-0.30
<b>Essaouira</b>	aride	aride	aride	-0.24
<b>Agadir</b>	aride	aride	aride	0.17
<b>Oujda</b>	aride	aride	aride	-0.24
<b>Al-Hoceima</b>	Semi aride	Semi aride	Semi aride	-0.005
<b>Larache</b>	Semi aride	Semi aride	Semi aride	-0.24
<b>Tétouan</b>	Semi aride	Semi aride	Semi aride	-0.20
<b>Tanger</b>	Semi humide	Semi humide	Semihumide	-0.22
<b>Er-Rachidia</b>	Hyper aride	Hyper aride	Hyper aride	-0.079
<b>Midelt</b>	Hyper aride	Hyper aride	Hyper aride	-0.10
<b>Ouarzazate</b>	Hyper aride	Hyper aride	Hyper aride	-0.048
<b>Marrakech</b>	aride	aride	aride	-0.052

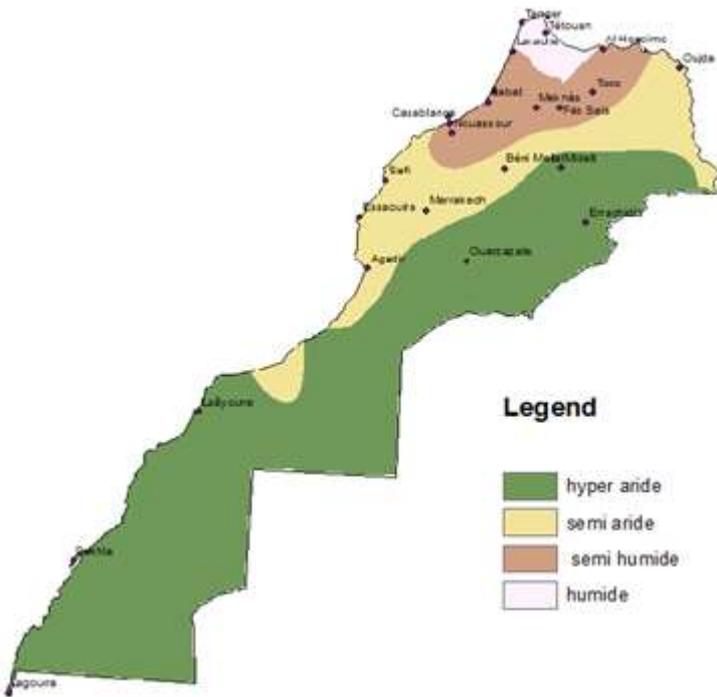


Figure 5: Carte de distribution spatiale des types de climats selon l'indice de Martonne sur la période 1980-1990



Figure 6: Carte de distribution spatiale des types de climats selon l'indice de Martonne sur la période 1990-2000

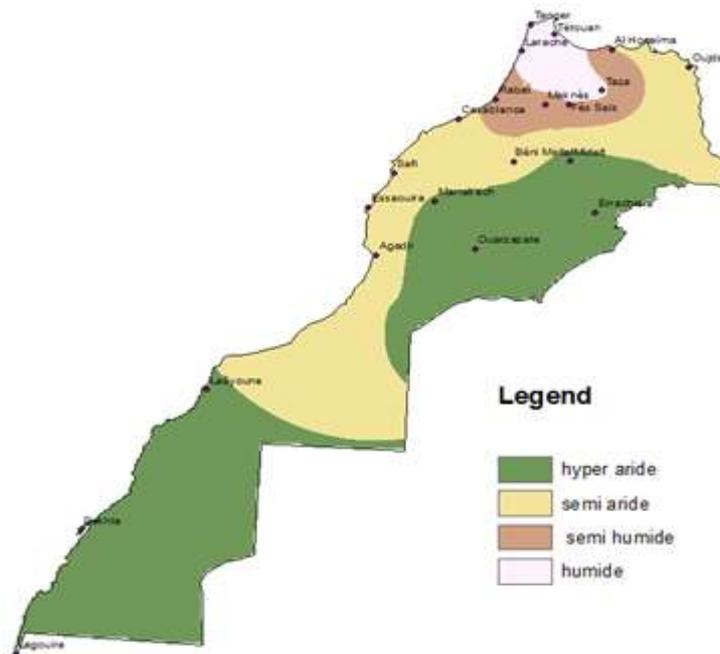


Figure 2: Carte de distribution spatiale des types de climats selon l'indice de DEMARTONNE sur la période 2000-2015



## INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH SCIENCE & MANAGEMENT

La répartition géographique des différents types de climat au cours de la période 1980-2015 montre une progression des climats semi-arides et une régression des climats sub-humide.

Les trois stations météorologiques Casablanca ; Rabat et Agadir montrent des tendances positives vers une augmentation contrairement aux autres stations qui ont tous des tendances négatives vers une diminution, ce qui montre qu'on a une évolution de ces stations vers l'humidification.

Le climat du Maroc est à la fois méditerranéen et atlantique avec une saison sèche et chaude et une saison froide et humide. Dans l'intérieur le climat varie en fonction de l'altitude. Donc du nord vers le sud du pays ; on subit de moins en moins l'influence de la zone tempérée ; d'où une accentuation de l'aridité du climat caractérisé par une augmentation de l'insolation et de la température par une diminution de la nébulosité et des précipitations.

La sécheresse que le Maroc a connue s'est traduite en termes de changement au niveau de types de climat des différentes stations.

### Conclusion

Les études précédentes consistent à décrire et analyser les tendances et les évolutions observées au niveau du climat du MAROC à travers l'indice d'aridité climatique prenant en considération l'influence de la latitude ; l'altitude et l'éloignement de la mer.

D'autres part ; la variabilité annuelle des précipitations a montré une diminution de cette dernière à partir des années 2000 ; donc la distribution des précipitations au MAROC au cours de la période 1980-2015 a connu un changement vers la sécheresse.

### References

- [1] Abdelali SEBBAR, Mohamed HSAINE, Hassan FOUGRACH & Wadi BADRI. ; 2013 : CARTE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES AU MAROC (1935/2006). 26ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Cotonou 2013
- [2] Sebbar, N. Yousfi, M. Hsaine, H. Fougrach, A. Saloui, W. Badri. , 2010 : Contribution à la mise à jour de la carte pluviométrique du Maroc. Gestion Environnemental des Produits Chimiques 56 Proceedings GEPROC4 Volume 2 (2010) 56-68.
- [3] Abdelali SEBBAR, Wadi BADRI, Hassan FOUGRACH, Mohamed HSAINE, Abdelmalek SLOUAI :2011 : ETUDE DE LA VARIABILITE DU REGIME PLUVIOMETRIQUE AU MAROC SEPTENTRIONAL(1935-2000).
- [4] Beltrando et Chémery, 1995: Dictionnaire du Climat. Ed. Larousse, Collection Références, ISBN 2-03-720233-4, 331 pp.
- [5] Fatima Driouech., 2010: Distribution des précipitations hivernales sur le Maroc dans le cadre d'un changement climatique : descente d'échelle et incertitudes.
- [6] GIEC., 2007: Impacts adaptation and vulnerability, Summary for policymakers, Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change. Web site: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- [7] Moisselin J-M., Schnider M., Canellas C., Mestre O., 2002: Les changements climatiques en France au XXe siècle. Etude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitation. La Météorologie, n°38 – août 2002.
- [8] Saloui A. - Précipitations et bilans hydriques dans des plaines atlantiques Marocaines. Publications de la Faculté des Lettres et des Sciences humaines de Mohammedia, Série Colloque n° 8. (1996).