

ETUDE DE LA PERSISTANCE DE LA SECHERESSE AU NIVEAU DE SEPT PLAINES ALGERIENNES PAR UTILISATION DES CHAINES DE MARKOV (1930-2003)

STUDY OF THE PERSISTENCE OF DROUGHT AT THE LEVEL OF SEVEN ALGERIAN PLAINS BY USE OF CHAIN OF MARKOV (1930-2003)

HIND MEDDI & MOHAMED MEDDI

LRERP- Centre universitaire de Khemis Miliana, 44225 Algérie, mail : salag_hind@yahoo.fr

RESUME

L'Algérie et en particulier la région Nord Ouest a connu plusieurs sécheresses durant le dernier siècle. La dernière a été caractéristique par son intensité et son impact sensible sur la ressource en eau et le rendement des cultures.

En utilisant les chaînes de Markov pour étudier la dépendance interannuelle des pluies à différentes échelles, nous avons constaté qu'il existe une forte tendance pour avoir une année sèche après une année considérée comme sèche au niveau des plaines de l'ouest qu'au Centre du pays. En hiver, au Printemps et à l'échelle annuelle, il y a de fortes chances d'avoir une année non sèche suivie d'une année non sèche (plus de 50 %). Ces plaines sont connues par leur production agricole et leur apport économique. Ces résultats participent à l'établissement d'une stratégie de lutte contre la sécheresse agricole.

ABSTRACT

Algeria and in particular the North West region has known a several droughts during the last century. The latter was characteristic by its intensity and its impact on water resources and crop yields.

Using the Markov Chain to study the dependence onf interannual rainfall at different scales, we found that there is a high tendency to have a dry year after year considered as dry in the west plains comparing to the plains of the center of the country. In winter, spring and at the annual scale, ther's every chance that to have a dry year not followed by years not dry (more than 50%).

1 INTRODUCTION

L'eau a toujours été un facteur essentiel pour le développement de l'agriculture et elle est devenue un enjeu stratégique.

Dans la plus grande partie de l'Afrique, la sécheresse est la calamité climatique la plus fréquente. L'Algérie, et surtout l'Ouest du pays, a connu plusieurs grandes sécheresses durant ce siècle, pendant les années 40 et les années 70 jusqu'à nos jours [1,2]. La plus récente a été caractérisée par son ampleur spatiale et son intensité. Cette diminution et le contexte des ressources en eau sont à l'origine de l'extension des surfaces irriguées, l'irrigation apparaissant comme le seul moyen pour garantir et préserver la production agricole. Ce contexte est marqué par des tensions entre utilisations concurrentes de l'eau. Dans ce cas de figure, la prévision devient un outil intéressant pour une meilleure gestion des ressources en eau.

L'Algérie se situe parmi les pays les plus pauvres en

matière de potentialités hydrique. Elles sont en dessous des normes fixées par la Banque Mondiale, à savoir 1000 m³ par habitant et par an [4].

Le développement agricole en Algérie nécessite une bonne connaissance des grands facteurs environnementaux qui sont en interaction avec les différentes cultures. Parmi ces facteurs, la grande variabilité des paramètres climatiques constitue la caractéristique la plus spécifique du climat semi aride.

La sécheresse peut être considérée à différentes échelles: mensuelle, saisonnière et annuelle. Elle devient dangereuse dès qu'elle persiste deux ou trois années successives. Alors, nous avons choisi d'étudier la persistance de la sécheresse à l'échelle annuelle et saisonnière.

Les plaines du Centre et de l'Ouest de l'Algérie sont connues par leur fertilité et leur production agricole. Le déficit hydrique de ces dernières décennies a affecté négativement la production agricole ainsi que les réserves superficielles et souterraines des ressources en eau. Pour

faire face, les gestionnaires doivent planifier les priorités de satisfaction des besoins en eau. La fréquence relative d'un évènement comme la sécheresse annuelle ou saisonnière peut être étudiée en termes de probabilité [4]. Pour ce faire, la méthodologie des chaînes de Markov d'ordre I et II sera appliqué aux séries de pluies des stations représentatives des plaines étudiées aux échelles annuelles et saisonnières. Par cette technique, nous voudrions mettre la lumière sur la persistance de la sécheresse et les résultats pourront servir à la planification et à la gestion des ressources en eau.

2 PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

La zone étudiée s'étend sur 89 420 km² environ. Elle est située entre 2°10'10'' ouest et 3°10'11'' est de longitude et entre 34°18'54'' et 36°48'12'' de latitude Nord (figure 1).

La région étudiée s'allonge sur 250 km du Sud au Nord et sur environ 500 km de l'Ouest à l'Est. La partie du littoral est caractérisée par un climat doux, l'humidité est relativement élevée et la pluviométrie varie de 400 mm à l'ouest à 900 mm à l'Est. Nous donnons dans ce qui suit les caractéristiques des sept plaines étudiées :

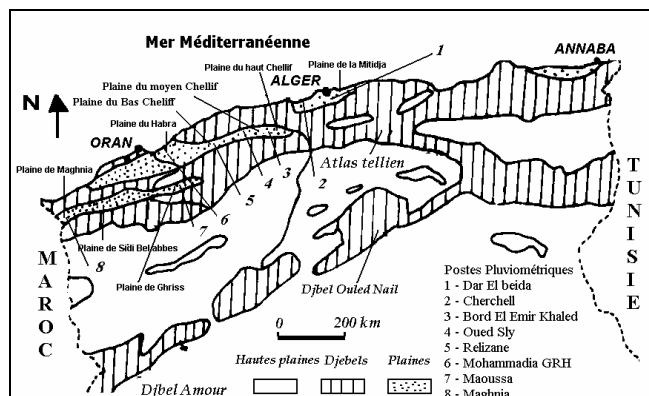


Figure 1 : Situation géographique des postes pluviométriques et des plaines étudiées

2.1 Mitidja

La Mitidja est une vaste plaine alluviale du Nord Algérien qui s'étend sur une longueur de 90 km et une largeur de 8 à 18 km, elle couvre une superficie de 150 000 ha. La Mitidja est une plaine longue et étroite qui s'étire entre l'Atlas Blidéen au Sud et les hauteurs du Sahel et la mer au Nord. Cette région constitue un important réservoir alimentaire, en mesure de contribuer dans une large part, à la couverture des besoins de la population en produits agricoles, notamment les agrumes. L'agriculture est essentiellement orientée vers le maraîchage et l'arboriculture ; l'irrigation traditionnelle par submersion est majoritaire malgré la progression de l'irrigation localisée [5]. La superficie agricole est estimée à 45 000 ha. La superficie irrigable est de 19 500 ha, celle équipée est de 18 600 ha [6]. Elle se caractérise par d'importantes potentialités hydro-agricoles :

- d'une pluviométrie relativement abondante mais irrégulière, la plaine reçoit une tranche d'eau comprise entre 600 et 900mm [7] ;
- de bassins fluviaux côtiers,
- de nappes d'eau.

La Mitidja est traversée par plusieurs Oueds de l'Atlas Blidéen :

- à l'Ouest, par 4 Oueds : Mazafran, Djer, Bouroumi et Chiffa
- à l'Est, par 3 Oueds : El-Harrach, Djemaâ et Hamiz.

2.2 Haut Chellif

La plaine alluviale du Haut-Cheliff appelée aussi plaine d'El-Khemis est située à 120 Km au Sud Ouest d'Alger. Elle a une superficie de 21035 Km². Elle est limitée au Nord par les monts du Zaccar, au Sud par les contreforts de l'Ouarsenis, à l'Ouest par le massif de Doui et à l'Est par Djebel Gountas. Elle a une pente relativement faible (15%). Elle est bordée au Nord par des cônes de déjection qui constituent la zone de transition entre la vallée et la montagne.

2.3 Moyen Chellif

La plaine du Moyen Chellif se situe au centre du bassin du chellif à 200 km à l'Ouest d'Alger et 35 km à vol d'oiseau de la méditerranée. Elle est limitée au Nord par les monts de Medjadja, à l'Est par le seuil d'Oum Drou (Pontéba), au Sud par les monts de l'Ouarsenis et à l'Ouest par le seuil de Boukadir.

2.4 Bas Chellif

Le périmètre du Bas Cheliff s'étend sur une superficie de 40000 ha environ, il est limité par le périmètre du moyen Cheliff à l'Est, le périmètre de la Mina à l'Ouest, le massif du Dahra au Nord et le massif de l'Ouarsenis au Sud.

2.5 Habra Sig

Situé dans la wilaya de Mascar, le périmètre Sig représente la partie ouest de la plaine de la Macta, et la partie est constitue la plaine de Habra. Elle est limitée au Nord par la dépression marécageuse de la Macta. Ils sont d'une superficie globale irriguée de 9 900 hectares, dominée par deux spéculations arboricoles, l'agrumiculture pour le périmètre de la Habra et l'oléiculture pour le périmètre de Sig. La plaine du Sig, d'une surface approximative de 30.000 hectares est limitée au sud par les derniers contreforts des Béni-Chougrane, à l'ouest par la forêt de Moulay-Ismael, à l'est, elle est continuée par la plaine de l'Habra que domine Mohammadia

2.6 Ghriss

La plaine de Ghriss occupe une superficie de 55600 Ha, elle fait partie du bassin de l'Oued El Hammam, lequel s'étend sur une superficie de 14389 Km². La plaine est délimitée au Nord par les monts des Béni Chograne, au Sud par les monts de Saïda, à l'Ouest par les monts de Bouhanifia et à l'Est par les plateaux de Tirenifine, au-delà desquels commence le bassin de l'Oued Mina.

2.7 Maghnia

Le périmètre de Maghnia est scindé en trois ensembles distincts séparés par des cours d'eau. Le premier ensemble, le plus important de part sa superficie est circonscrite entre la confluence de Oued Ouedertou et Oued Abbas. Il présente un terrain plat et est compris entre les côtes (NGA) 365 m et 350 m. Le second ensemble, inscrit entre les courbes de niveau 360 m et 350 m. Complète le premier au Nord-Est. Il s'installe entre l'intersection de la route nationale n°35, la confluence de Oued Taharharet et Châbet el Melah. Le dernier ensemble limitrophe de la station d'épuration, situé au-delà de la confluence de Oued Ouderflou et Oued Abbas, est localisé en rive gauche de Oued Taharharet. Il est cerné par les courbes de niveau 360 m et 350 m.

3 DONNEES

3.1 Choix des stations et de la période d'étude

L'étude du climat et le suivi de son évolution nécessitent de longues et de nombreuses séries d'observations. Malheureusement, nous ne disposons jamais de séries de données parfaitement fiables ni continues.

La constitution d'échantillons, au sens statistique du terme est donc un processus long parsemé d'embûches et au cours duquel de nombreuses erreurs de nature fort différente sont susceptibles d'être commises. Par ailleurs, il est indispensable, avant d'utiliser des séries de données, de se

préoccuper de leur qualité et de leur représentativité. Les données représentent un élément majeur dans l'étude de la variabilité temporelle et spatiale de la pluviométrie ainsi que de la sécheresse. Les données utilisées proviennent des deux organismes responsables du réseau pluviométrique à savoir l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (A.N.R.H.) et l'Office Nationale de Météorologie (O.N.M.).

Les données pluviométriques disponibles étaient très hétérogènes tant du point de vue de la fiabilité des mesures que de la durée des séries d'observation [8].

Dans ces séries de données climatiques se glissent des erreurs qui peuvent avoir des origines multiples (erreur de lecture, erreur de report, détarage de l'appareillage, etc.). Le manque d'information se concentre en général durant la période 1961 à 1968.

Dans notre cas, nous avons essayé d'identifier un poste de mesures par plaine étudiée et répondant aux conditions suivantes :

- information couvrant les six dernières décennies,
- pas plus de 5 années consécutives en lacunes,
- moins de 10% de lacunes sur la série totale à l'échelle mensuelle

Pour les besoins de l'étude et pour une bonne répartition spatiale, nous avons procédé au comblement des lacunes en utilisant la technique développée par J.P. Laborde en 1998 [9]. Elle est basée sur l'analyse en composantes principales en utilisant le logiciel HYDROLAB.

En se basant sur ces conditions, huit (08) postes ont été retenus pour l'étude (tableau 1 et figure 1). Après critique et homogénéisation des données mensuelles et annuelles, la période 1930/31-2003/04 (soit 74 ans) a été retenue.

L'analyse statistique des séries de précipitations annuelles, ainsi que toutes les recherches, ont été effectuées sur les hauteurs de pluies de l'année qui débute du premier Septembre de l'année K et finit le 31 Août de l'année K+1.

Tableau 1 : Stations retenues dans l'étude et leurs caractéristiques

Station	X (km)	Y (km)	Z (m)	Moyenne (mm)	Médiane (mm)	Ecart type (mm)	Coefficient de Variation en %
Dar El Beida	549,72	380,32	25	671.1	647.3	188.5	28.1
Cherchel	454.35	368.0	16	565.4	540.7	170.4	30.1
Bordj El Emi Khaled	455,85	313,80	500	442.5	422.9	153.4	34.7
Oued Sly	365,20	312,70	95	332.7	338.3	106.0	32.0
Relizane	304,54	275,43	81	300.7	287.5	86.3	28.7
Mohammadia GRHA	262,1	257.00	550	338.7	337.3	92.0	27.0
Maoussa	277.3	233.92	494	397.5	379.5	126.6	31.8
Maghnia	95	181,35	395	377.8	354.3	134.5	35.6

4 CLMAT ET VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE

Le Nord-Ouest de l'Algérie est situé en latitude à l'abri de la dorsale du moyen Atlas-Rif du Maroc comporte une crête chaude anticyclonique au dessus du Maroc et de l'Espagne en plus du relief très accidenté de la région d'étude qui constitue de nombreux abris aux influences de la mer [10]. Ces deux facteurs ont un effet direct sur la variabilité spatiale de la pluviométrie ainsi que sur la réduction des précipitations dans la zone en question. La circulation atmosphérique est caractérisée par des cellules à extension latitudinale: l'anticyclone des Açores et l'anticyclone saharien d'altitude [10].

La partie nord de l'Algérie est caractérisée par un climat méditerranéen avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec. La pluviométrie atteint 400 mm à l'ouest, 700 mm au Centre et 1000 mm à l'Est pour le littoral. Ce type de climat concerne également les chaînes de l'Atlas Tellien où l'on enregistre au niveau des sommets orientaux des totaux variant de 800 à 1600 mm, alors que les valeurs s'abaissent vers le Centre (700 à 1000 mm) et vers l'Ouest (600 mm). Au niveau des plaines de l'Atlas Tellien, la pluviométrie varie de 500 mm à l'Ouest, 450 mm au Centre et de 700 mm à l'Est [11, 12]. Ces moyennes ont été calculées sur la base de 218 postes possédant des observations allant de 1968 à 1998. Une étude comparative [11] avec la carte de l'A.N.R.H. établit en 1993 sous l'autorité scientifique du Professeur J.P. Laborde a permis de constater une baisse en moyenne de 13 % au niveau du Centre et de l'Ouest de l'Algérie. La moyenne annuelle des totaux précipités varie entre 300,7 mm (station de Relizane) et 671,1 mm (station de Dar El Beida). Le coefficient de variation varie de 27 % (station de Mohammadia) à 35.6 % (station de Maghnia). On remarque également que les moyennes des huit stations sont assez proches de la médiane, ceci montre qu'effectivement la loi de distribution est légèrement dissymétrique.

5 ETUDE DE LA PERSISTANCE DE LA SECHERESSE

Les plaines du centre et de l'ouest de l'Algérie sont connues par leur fertilité et leur production agricole. Le déficit hydrique de ces dernières décennies a affecté négativement la production agricole ainsi que les réserves superficielles et souterraines des ressources en eau. Dans ce qui suit, nous voudrions mettre la lumière sur la persistance de la sécheresse. Cette dernière pose de nombreux problèmes d'ordre socio-économiques et spécialement à l'agriculture. Pour continuer à produire, les paysans ont eu recours à l'utilisation excessive des eaux souterraines ce qui a provoqué un rabattement considérable du niveau des nappes d'eau souterraines. La sécheresse est récurrente, omniprésente en raison de températures élevées et d'une pluviométrie modeste et surtout très variable en région méditerranéenne [13].

5.1 Détermination des seuils de la sécheresse

Le niveau du déficit hydrique à partir duquel on peut dire qu'il y a sécheresse a constitué souvent une difficulté majeure aux chercheurs. Certains auteurs, qui ont étudié la sécheresse à partir de données climatiques, suggèrent des seuils arbitraires de pluviométrie : 10% de la moyenne pour le Goff [14], ou le dernier décile pour Meko [15]. Pour estimer l'intensité du déficit pluviométrique plusieurs indices ont été déjà mentionnés; la plupart de ces indices prennent comme référence la valeur la plus fréquente qui est généralement la moyenne climatologique, ou l'analyse fréquentielle grâce à laquelle on peut calculer des seuils de sécheresse. D'une façon générale, le seuil de sécheresse est choisi selon la sévérité désirée puisqu'il n'existe pas de règle préalable. Pour déterminer le seuil de sécheresse nécessaire à la prévision saisonnière et annuelle en utilisant les chaînes de Markov, nous avons opté pour la méthode des quintiles (fréquentielle).

5.2 La méthode des quintiles

Le calcul peut se faire en se basant sur la loi de probabilité adéquate aux séries d'observations. L'utilisation de la loi de probabilité permet d'estimer plus correctement les différents quantiles et calculer leurs durées de retour. Le seuil d'années sèches est observé en moyenne tous les 2.5 ans et les très sèches tous les 5 ans. Après plusieurs essais, nous avons trouvé que la loi racine normale donne le meilleur ajustement [8, 11, 16]. Les seuils calculés par la méthode des quintiles pour la période allant de 1930 à 2003 sont regroupés dans le tableau 2 en considérant les critères cités auparavant : T=5ans pour une année très sèche et T=2.5 ans pour une année sèche.

5.3 Présentation de la méthodologie des chaînes de Markov

La méthodologie des chaînes de Markov permet de déterminer ou de prévoir la probabilité d'avoir une année sèche après une année sèche ou non. Ce processus exprime des probabilités conditionnelles de passage de l'état de la veille (année précédente) à l'état de l'année en cours. Les chaînes de Markov [17, 18, 19] tiennent compte de la liaison entre les années successives ; en effet la pluie de l'année k dépend de l'état des années passées. Ce modèle sera du premier ordre si la pluie de l'année k ne dépend que de l'année précédente, c'est à dire du passé le plus proche de l'état. Il sera d'ordre h si la pluie de l'année k dépend des k-1, k-2, ..., k-h années passées.

Le modèle des chaînes de Markov est un modèle stochastique, itératif. Ainsi, l'état de l'année k ne dépend que de l'état de l'année k-1 pour le processus de Markov d'ordre 1. Il dépend des états k-1 et k-2 pour le processus de Markov d'ordre 2. Une année peut être caractérisée du point de vue pluviométrique par deux états :

- 1- état0 : présence de la sécheresse (sèche ou très sèche).
- 2- état1 : absence de la sécheresse (normal, humide et très humide).

*** Le processus de Markov d'ordre 1 :**

Pour le processus de Markov d'ordre 1, quatre situations sont possibles [4] à savoir : S-S (deux années sèches successives), S-NS (une année sèche suivie d'une année non sèche), NS-S (une année non sèche suivie d'une année sèche), NS-NS (deux années non sèches successives).

*** Le processus de Markov d'ordre 2 :**

Dans ce cas, l'état de l'année k dépend de l'état de l'année k-1 et de l'année k-2. On s'intéresse dans ce cas spécialement aux années sèches successives (B000, B001, B100, B101) [4]. Ce choix va de soi avec l'étude de la persistante de la sécheresse : S-S-S (trois années sèches successives), S-S-NS (deux années sèches successives), NS-S-S (deux années sèches successives), NS-S-NS (une année sèche isolée).

6 APPLICATION DES CHAINES DE MARKOV

6.1 Le processus du Markov d'ordre 1

La matrice de Markov d'ordre 1 a été calculée. Les résultats sont indiqués dans les tableaux 3, 4, 5 et 6.

6.1.1 Echelle Annuelle

L'application du processus de Markov d'ordre 1 a montré que la probabilité est plus élevée au niveau des stations représentant les plaines de l'Ouest que pour les deux parties de la Mitidja (est et ouest) pour avoir une année sèche après une année de départ sèche. La probabilité est plus importante au niveau des plaines du haut et du Moyen Chellif, plus de 60 %. Les probabilités sont inférieures à 50 %, pour l'ensemble des stations, dans le cas d'une année sèche qui fait suite à une année non sèche. Pour l'ensemble des stations, la probabilité d'avoir une année sèche après une année non sèche est faible (inférieure à 50 %). Si une année est sèche au départ, la probabilité d'avoir une année non sèche l'année suivante est plus importante au Centre et diminue à l'Ouest. La probabilité d'avoir deux années non sèches successives est élevée pour l'ensemble des stations.

Tableau 2 : Seuils en mm des années et des saisons sèches (1930-2003)

Stations	Seuil Annuel	Seuil d'Automne	Seuil d'Hiver	Seuil du Printemps
Hamiz Barrage	697,7	161.6	289.6	168.8
Dar El Beida	647,8	164.7	240.2	135.5
Cherchell Phare	508,0	134.1	211.5	99.6
Bordj El Emir Khaled	392,4	78.5	153.2	100.8
Oued Sly	303,2	70.0	114.9	79.6
Relizane	273.1	62.0	103.2	72.4
Mohamadia Grh	311,7	73.6	116.5	88.3
Maoussa	377,8	74.8	132.4	99.4
Sidi Bel Abbes	315,6	67.8	120.6	83.1
Maghnia	333,3	63.3	115.4	112.4

Tableau 3 : Processus de Markov d'ordre 1 (1930/31-2003/04) - Echelle annuelle

Stations	Plaines	S.S.	S.NS	NS.S.	NS.NS.
Dar El Beida	Mitidja Est	37.93	62.07	40.00	57.78
Cherchel	Mitidja Ouest	46,67	50,00	36,36	63,64
Bordj El Emir Khaled	Haut Chelif	64,30	32,10	21,70	78,30
Oued Sly	Moyen Chelif	61,50	38,50	20,80	77,10
Relizane	Bas Chelif	50,00	50,00	42,50	55,00
Mohamadia Grh	HABRA SIG	58,62	37,93	26,67	73,33
Maoussa	GHRIS	58,06	38,71	30,23	69,77
Sidi Bel Abbes	Sidi Bel Abbes	48,10	48,10	29,80	70,20
Maghnia	Maghnia	54,84	45,16	30,23	67,44

Avec : S-S (deux années sèches successives), S-NS (une année sèche suivie d'une année non sèche), NS-S (une année non sèche suivie d'une année sèche), NS-NS (deux années non sèches successives)

6.1.2 Automne

Pour la saison d'automne, l'application de l'hypothèse d'un processus de Markov d'ordre 1, a donné les résultats suivants:

- La probabilité, pour avoir un automne sec quelle que soit la nature de cette saison au départ (sèche ou non sèche), est moins importante pour les huit stations et elle varie de 30 à 46.2 %.
- Dans le cas où un automne est sec, la probabilité pour qu'il soit suivi d'un automne sec est plus élevée au niveau des plaines de la Mitidja, Bas Chellif, Habra-Sig et de Maghnia à l'extrême ouest du pays.
- Pour l'ensemble des stations, la probabilité d'avoir un automne sec après un automne non sec est moins importante (inférieure à 50 %).
- Si un automne est sec au départ, la probabilité d'avoir un automne non sec l'année suivante est élevée pour l'ensemble des stations et elle atteint son maximum (74.1 %) au niveau de la plaine du Moyen Chellif.
- La probabilité d'avoir deux automnes non secs successifs est supérieure à 50 % pour l'ensemble des stations.

6.1.3 Hiver

Pour la saison d'hiver, l'application de l'hypothèse d'un processus de Markov d'ordre 1, a donné les résultats suivants :

- La probabilité, pour avoir un hiver sec quel que soit l'hiver de l'année de départ (sec ou non sec), est moins important pour les huit stations et elle varie de 26.1 à 57.6 %.
- Dans le cas où un hiver reste sec, la probabilité pour qu'il soit suivi d'un hiver sec est plus élevée au niveau des plaines du Haut et du Moyen Chellif 56.7 % et 57.60 % respectivement.
- Pour l'ensemble des stations, la probabilité d'avoir un hiver sec après un hiver non sec est moins importante (inférieure ou égale à 50 %).
- Si un hiver est sec au départ, la probabilité d'avoir un hiver non sec l'année suivante est élevée au niveau des plaines de la Mitidja est et de Maghnia. Pour le reste de plaines, la probabilité est modérée.
- La probabilité d'avoir deux hivers non secs successifs est supérieure à 50 % pour l'ensemble des stations

Tableau 4 : Processus de Markov d'ordre 1 (1930/31-2003/04) - Automne

Stations	Plaines	S.S.	S.NS	NS.S.	NS.NS.
Dar El Beida	Mitidja Est	45.71	54.29	46.15	51.28
Cherchel	Mitidja Ouest	45,71	54,29	46,15	51,28
Bordj El Emir Khaled	Haut Chelif	32,10	67,90	39,10	58,70
Oued Sly	Moyen Chelif	25,90	74,10	40,40	57,40
Relizane	Bas Chelif	45,71	54,29	46,15	51,28
Mohamadia Grh	HABRA SIG	45,71	54,29	46,15	51,28
Maoussa	GHRISS	30,00	66,67	43,18	56,82
Sidi Bel Abbes	Sidi Bel Abbes	30,00	66,70	45,50	54,50
Maghnia	Maghnia	45,71	54,29	46,15	51,28

Avec : S-S (deux années sèches successives), S-NS (une année sèche suivie d'une année non sèche), NS-S (une année non sèche suivie d'une année sèche), NS-NS (deux années non sèches successives).

Tableau 5 : Processus de Markov d'ordre 1 (1930/31-2003/04) – Hiver

Stations	Plaines	S.S.	S.NS	NS.S.	NS.NS.
Dar El Beida	Mitidja Est	32.10	67.90	41.30	56.50
Cherchel	Mitidja Ouest	33,33	39,29	26,09	73,91
Bordj El Emir Khaled	Haut Chelif	56,70	40,00	29,50	70,50
Oued Sly	Moyen Chelif	57,60	45,50	36,60	58,50
Relizane	Bas Chelif	48,15	51,85	29,79	68,09
Mohamadia Grh	HABRA SIG	48,15	48,15	29,79	70,21
Maoussa	GHRISS	33,33	41,94	30,23	67,44
Sidi Bel Abbes	Sidi Bel Abbes	44,00	56,00	28,60	69,40
Maghnia	Maghnia	41,18	55,88	50,00	50,00

Avec : S-S (deux années sèches successives), S-NS (une année sèche suivie d'une année non sèche), NS-S (une année non sèche suivie d'une année sèche), NS-NS (deux années non sèches successives)

6.1.4 Printemps

Au printemps, l'application de l'hypothèse d'un processus de Markov d'ordre 1, a donné les résultats suivants :

- La probabilité, pour avoir un printemps sec quelle que soit la nature du printemps de départ (sec ou non sec), est moins importante pour 6 plaines (Mitidja Est et Ouest, Haut, Moyen et Bas Chelif et Maghnia), elle varie de 26.09 à 45.20%. Au niveau des plaines du Habra-Sig et de Ghriss, la probabilité dépasse les 50 %.
- Dans le cas où un printemps est sec, la probabilité pour qu'il soit suivi d'un printemps sec est plus élevée au niveau des plaines du Habra-Sig et de

Ghriss, 57.14 % et 53.57% respectivement.

- Pour l'ensemble des stations, la probabilité d'avoir un printemps sec après un printemps non sec de l'année précédente est moins importante (inférieure à 50 %).
- Si un printemps est sec au départ, la probabilité d'avoir un printemps non sec l'année suivante est élevée pour l'ensemble des stations et elle atteint son maximum (60 %) au niveau de la Mitidja Est.
- La probabilité d'avoir deux printemps non secs successifs est supérieure à 50 % pour l'ensemble des stations.

Tableau 6 : Processus de Markov d'ordre 1 (1930/31-2003/04) - Printemps

Stations	Plaines	S.S.	S.NS	NS.S.	NS.NS.
Dar El Beida	Mitidja Est	37.50	62.50	45.20	52.40
Cherchel	Mitidja Ouest	41,94	58,06	39,53	58,14
Bordj El Emir Khaled	Haut Chelif	38,70	58,10	41,90	58,10
Oued Sly	Moyen Chelif	44,00	56,00	26,50	71,40
Relizane	Bas Chelif	42,31	57,69	29,17	68,75
Mohamadia Grh	HABRA SIG	57,14	42,86	23,91	73,91
Maousssa	GHRISS	53,57	46,43	26,09	71,74
Sidi Bel Abbes	Sidi Bel Abbes	44,40	55,60	29,80	68,10
Maghnia	Maghnia	42,86	57,14	32,61	65,22

Avec : S-S (deux années sèches successives), S-NS (une année sèche suivie d'une année non sèche), NS-S (une année non sèche suivie d'une année sèche), NS-NS (deux années non sèches successives).

Tableau 7 : Processus de Markov d'ordre 2 (1930/31-2003/04) - Echelle annuelle

Stations	Plaine	S.S.S.	S.S.NS	NS.S.S.	NS.S.NS.
Dar El Beida	Mitidja Est	54.55	45.45	27.78	72.22
Cherchel	Mitidja Ouest	57,14	35,71	37,50	62,50
Bordj El Emir Khaled	Haut Chelif	72,20	22,20	50,00	50,00
Oued Sly	Moyen Chelif	75,00	25,00	40,00	60,00
Relizane	Bas Chelif	64,70	35,30	35,30	64,70
Mohamadia Grh	HABRA SIG	76,47	23,53	33,33	58,33
Maousssa	GHRISS	72,22	22,22	38,46	61,54
Sidi Bel Abbes	Sidi Bel Abbes	38,50	61,50	57,10	35,70
Maghnia	Maghnia	70,59	29,41	38,46	61,54

Avec : S-S-S (trois années sèches successives), S-S-NS (deux années sèches successives), NS-S-S (deux années sèches successives), NS-S-NS (une année sèche isolée).

6.2 Le processus de Markov d'ordre 2:

La matrice de Markov d'ordre 2 a été calculée. Les résultats sont indiqués dans les tableaux 7, 8, 9 et 10.

6.2.1 Echelle Annuelle

La probabilité d'avoir une année sèche après une année

sèche précédée par une année non sèche est faible pour les huit stations (moins de 50 %). Pour avoir une année sèche après deux années successives sèches, la probabilité est élevée à l'Ouest et moyenne (autour de 50 %) pour la plaine de la Mitidja. Si deux années successives sont sèches, la probabilité d'avoir une année non sèche est plus importante au niveau de la plaine de la Mitidja que pour les plaines du Haut et du Moyen Chelif et des plaines de l'Ouest (Habra-Sig, Ghriss, Sidi Bel Abbes et Maghnia). La probabilité

d'avoir une année non sèche après une année sèche précédée par une année non sèche est importante pour l'ensemble des stations (plus de 50 %)

La sécheresse qu'a connu et que connaît le centre et l'ouest du pays, depuis la décennie 70, peut constituer une explication à ce phénomène.

6.2.2 Automne

- La probabilité d'avoir un automne sec après un automne sec précédé par un automne non sec est élevée au niveau des plaines de la Mitidja, Hautt et Moyen Cheliff, Habra-Sig et de Ghriss. Elle est modérée pour les plaines du bas Cheliff et de Maghnia.
- Pour avoir un automne sec après deux automnes successifs secs, la probabilité est élevée pour les stations représentant la Mitidja, le Bas Cheliff et Maghnia, elle sont de 53.85, 62.50 et de 63.16 respectivement. Elles sont très faibles au niveau du haut et du Moyen Cheliff. Ce qui signifie qu'au niveau de ces deux plaines, la probabilité est très faible pour avoir trois automnes consécutifs secs.
- La probabilité d'avoir un automne non sec après un automne sec précédé par un automne non sec est importante pour l'ensemble des stations.

6.2.3 Hiver

- La probabilité d'avoir un hiver sec après un hiver sec précédé par un hiver non sec est modérée mis à part les plaines de la Mitidja Est et de Maghnia où elle dépasse les 50 %.
- Pour avoir un hiver sec après deux hivers successifs secs, la probabilité est élevée pour les stations représentant la Mitidja Ouest, le Bas Cheliff, Habra-Sig et Ghriss. Elles sont moins importantes au niveau de la Mitidja Est et de Maghnia.
- La probabilité d'avoir un hiver non sec après un hiver sec précédé par un hiver non sec est importante sauf pour les plaines de la Mitidja Ouest et le Haut Cheliff où la probabilité est inférieure à 40%.

6.2.4 Printemps

- La probabilité pour avoir un printemps sec après un printemps sec précédé par un printemps non sec est élevée mis à part la plaine de Maghnia où elle est égal à 33.3%.

- Pour avoir un printemps sec après deux printemps successifs secs, la probabilité est élevée à l'Ouest du pays (plaines de Habra-Sig, Ghriss et de Maghnia) et elle est modérée pour les plaines de la Mitidja et du Cheliff.
- La probabilité d'avoir un printemps non sec après un printemps sec précédé par un printemps non sec est importante sauf pour les plaines du Habra-Sig et de Ghriss où la probabilité est inférieure à 50%.

7 CONCLUSION

Durant les dernières décennies, l'Algérie est confrontée au phénomène de la réduction des totaux précipités en général et plus spécialement au niveau du centre et de l'ouest du pays.

L'agriculture est soumise depuis, à l'instar des autres domaines utilisateurs des ressources en eau, à de fortes contraintes pluviométriques liées à la variabilité temporelle et spatiale des précipitations et à la réduction de la durée de la saison humide.

L'étude de la persistance de sécheresse, en utilisant les chaînes de Markov, a montré que pour avoir une année non sèche après une année sèche, la probabilité est plus importante au Centre du pays qu'à l'Ouest et pour avoir deux années sèches successives, la probabilité est plus importante à l'Ouest qu'au niveau des plaines du Centre. A l'échelle saisonnière, la probabilité pour avoir un hiver sec après un hiver quelle que soit sa nature est peu élevée pour toute la région. Pour qu'un hiver sec soit suivi par un non sec l'année suivante, la probabilité est importante au niveau de la Mitidja et de Maghnia à l'extrême Ouest de l'Algérie. Pour avoir deux hivers non sec successifs, la probabilité est élevée partout.

En ce qui concerne le printemps, la probabilité d'avoir un printemps sec après un printemps de l'année précédente sec ou non sec est élevée au niveau des plaines de Habra-Sig et de Ghriss dépassant les 50%. Le même constat pour la probabilité qu'un printemps sec sera suivi par un printemps sec. Pour avoir un printemps sec après un printemps non sec, la probabilité est importante au niveau de toute la région étudiée. Dans le cas où un printemps est sec au départ, la probabilité d'avoir un printemps non sec l'année suivante est élevée pour l'ensemble des stations.

Ce travail doit être complété par une étude climatologique pour rechercher les causes explicatives de ce processus (situations météorologiques, rotation des vents, orientation et exposition aux vents pluvieux...).

Tableau 8 : Processus de Markov d'ordre 2 (1930/31-2003/04) - Automne

Stations	Plaines	S.S.S.	S.S.NS	NS.S.S.	NS.S.NS.
Dar El Beida	Mitidja Est	46,67	53,33	50,00	43,75
Cherchel	Mitidja Ouest	53,85	46,15	33,33	66,67
Bordj El Emir Khaled	Haut Chelif	11,10	88,90	44,40	55,60
Oued Sly	Moyen Chelif	14,30	85,70	31,60	68,40
Relizane	Bas Chelif	62,50	31,25	27,78	72,22
Mohamadia Grh	HABRA SIG	41,67	58,33	37,50	62,50
Maousssa	GHRISS	33,33	66,67	31,58	63,16
Sidi Bel Abbas	Sidi Bel Abbas	11,10	88,90	35,00	60,00
Maghnia	Maghnia	63,16	36,84	37,50	62,50

Avec : S-S-S (trois années sèches successives), S-S-NS (deux années sèches successives), NS-S-S (deux années sèches successives), NS-S-NS (une année sèche isolée)

Tableau 9 : Processus de Markov d'ordre 2 (1930/31-2003/04) - Hiver

Stations	Plaines	S.S.S.	S.S.NS	NS.S.S.	NS.S.NS.
Dar El Beida	Mitidja Est	36,36	63,64	43,75	56,25
Cherchel	Mitidja Ouest	50,00	43,75	66,67	33,33
Bordj El Emir Khaled	Haut Chelif	58,80	41,20	53,80	38,50
Oued Sly	Moyen Chelif	57,90	36,80	46,70	53,30
Relizane	Bas Chelif	61,54	38,46	35,71	64,29
Mohamadia Grh	HABRA SIG	53,85	46,15	42,86	50,00
Maousssa	GHRISS	77,78	22,22	30,77	69,23
Sidi Bel Abbas	Sidi Bel Abbas	54,50	45,50	35,70	64,30
Maghnia	Maghnia	42,86	57,14	40,00	55,00

Avec : S-S-S (trois années sèches successives), S-S-NS (deux années sèches successives), NS-S-S (deux années sèches successives), NS-S-NS (une année sèche isolée)

Tableau 10 : Processus de Markov d'ordre 1 (1930/31-2003/04) – Printemps

Stations	Plaines	S.S.S.	S.S.NS	NS.S.S.	NS.S.NS.
Dar El Beida	Mitidja Est	41,70	58,30	36,80	63,20
Cherchel	Mitidja Ouest	38,46	61,54	41,18	58,82
Bordj El Emir Khaled	Haut Chelif	41,70	50,00	38,90	61,10
Oued Sly	Moyen Chelif	45,50	54,50	46,20	53,80
Relizane	Bas Chelif	27,27	72,73	50,00	50,00
Mohamadia Grh	HABRA SIG	56,25	43,75	54,55	45,45
Maousssa	GHRISS	53,33	46,67	58,33	41,67
Sidi Bel Abbas	Sidi Bel Abbas	33,30	66,60	50,00	50,00
Maghnia	Maghnia	66,67	33,33	26,67	73,33

Avec : S-S-S (trois années sèches successives), S-S-NS (deux années sèches successives), NS-S-S (deux années sèches successives), NS-S-NS (une année sèche isolée)

REFERENCES

- [1] Meddi M. et Hubert P. Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. *Hydrology of the Mediterranean and semiarid Regions*. IAHS, 2003; 278 : 1-7.
- [2] Talia A. Evolution des régimes pluviométrique et hydrologique du Nord de l'Algérie. Mémoire de magister – Centre Universitaire de Mascara, 162 pages.
- [3] Banque Mondiale, (1995), From scarcity to security: Averting a water crisis in the Middle East and North Africa, The World Bank, Washington D.C.
- [4] Benzerti Z., Habaieb H. (2001) : Etude de la persistance de la sécheresse en Tunisie par utilisation des chaînes de Markov (1909-1996). *Sécheresse* 2001 ; 12 : 215-220
- [5] PNDA, 2001. Plan national de développement agricole. Résultat de l'enquête du ministère de l'Agriculture. 2001.
- [6] A.G.I.D., (2001) : Bilan de la campagne d'irrigation établi par l'Agence nationale pour la gestion et la réalisation des infrastructures pour l'irrigation et le drainage. Document interne. Non publié
- [7] Mutin G., (1977) : La Mitidja, décolonisation et espace géographique, Paris, Edition CNRS, 607 p.
- [8] Laborde J.P. (1988) : Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle du 1/500 000, notice explicative. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, projet PNUD/ALG/88/021.
- [9] Laborde J.P., Mouhous N. (1998) : Notice d'installation du logiciel HYDROLAB. Equipe de Gestion et Valorisation de l'Environnement. Université de NICE, France
- [10] Medjrab A. (2005) : Etude de la pluviométrie de l'Algérie occidentale : approche statistique cartographique automatique. Thèse de doctorat d'Etat. Université de Bab Ezzouar-Alger, Algérie, 330 pages.
- [11] Meddi H. (2001) : Quantification des précipitations : application au nord ouest algérien- méthodologie Pluvia. Mémoire de magister, Centre Universitaire de Mascara, 140 pages.
- [12] Meddi M., Meddi H. (2005) : Sécheresse météorologique et agricole dans le Nord-Ouest de l'Algérie. 2^{ème} colloque méditerranéen sur l'eau et l'environnement, Alger pp 154-164.
- [13] Henia L. (1993) : Climat et bilan de l'eau en Tunisie, essai de régionalisation climatique par les bilans hydriques. Publications de la faculté des sciences humaines et sociales de Tunis, 1993, 391 p.
- [14] Le Goff Y. (1985) : Variabilité interannuelle des précipitations au Maroc (1913-1985), Etude de la DMN in SEDRATI M. & ETTALIBI M. (éd), Sécheresse, gestion des eaux et production alimentaire, Actes de la conférence d'Agadir du 21-24 novembre 1985, 37-51
- [15] Meko D.M. (1985) : Temporal and spacial variabilation of drought in Morocco. Proceeding of conference on drought, water management and food production, 21-24 November 1985. Agadir Maroc, 1985: 55-82.
- [16] Chaumont M, Paquin C. (1971) : Carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500 000. Alger : Soc. Hist. Afri. Nord, 1971 : 4 feuilles.
- [17] Thirriot C. (1986) : Simplicité et efficacité des chaînes de Markov comme modèle de la pluviométrie. *Arch Hydrot* 1986, 23 : 1-2
- [18] Thirriot C. (1983) : Étude de la variabilité des séries suivant une chaîne de Markov binaire. Rapport interne. Institut de mécanique des fluides de Toulouse, CT 584, juillet 1983.
- [19] Arnaud M. (1985) : Contribution à l'étude stochastique markovienne des précipitations dans le bassin Adour-Garonne. Thèse présentée pour obtenir le titre de Docteur de l'Institut national polytechnique de Toulouse, octobre 1985.