

R. A. D. P. / Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique d'Oran
Département de Physique-Chimie

Journée d'Etudes sur la Recherche en Environnement et Développement Durable

J. E. R. E. D. D. ' 09



**Articles Sélectionnés par le comité
scientifique du Séminaire pour
Publication**



CHANGEMENT CLIMATIQUE ET AGRICULTURE

B. Abderrahmani¹ ; A. Dobbi² ; M. Hadjel³ et N. Hassini⁴

¹Département de Climatologie et Traitement des Données, I.H.F.R. Oran

²Département de Mécanique, Université d'Oran

³Département de Chimie, Faculté des Sciences, USTO Med Bouadij Oran

⁴Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université d'Es-Sénia, BP 1524 Oran

Résumé :

La pluviométrie constitue, avec la température, une caractéristique fondamentale du climat. Son importance est telle que les diverses méthodes de classification des climats établies jusqu'alors reposent essentiellement sur la moyenne annuelle ou mensuelle des précipitations, en combinaison avec les moyennes et / ou les extrêmes de température. A l'échelle quotidienne, l'analyse des pluies révèle de nombreuses informations susceptibles de permettre « d'apprécier » le climat ou de déceler d'éventuels changements dans l'occurrence des principaux événements qui le caractérisent, notamment le début et la fin de la saison pluvieuse, ainsi que sa durée moyenne. Cette analyse qualitative sera complétée par l'estimation des risques d'occurrence d'épisodes secs à partir de deux dates significatives, notamment le début et la fin de campagnes agricoles et dont les durées plus ou moins longues traduit souvent une tendance à un changement du climat local.

Dans cette contribution, nous établirons une modélisation qui se fera à l'aide du modèle de Markov, à partir de deux séries de pluies quotidiennes recueillies à la station d'Alger Dar El Beida. Les résultats obtenus peuvent dans un premier temps servir de base à une démarche adaptative à même de limiter les effets changeants du climat qui demeure, sous nos latitudes, un fort agent régulateur de la production agricole.

Mots clés : pluviométrie, température, climat, changement, production agricole

Abstract:

The rainfall constitutes, with the temperature, a fundamental characteristic of the climate. Its importance is such as the most classification methods of climates established until then are essentially based on the annual or monthly average of the precipitation, in combination with the averages and / or the extremes of temperature. In the daily scale, the analysis of rains reveals numerous information susceptible to allow " to appreciate " the climate or to reveal possible changes in occurrence of the main and characteristic events), in particular the beginning and the end of the rainy season, as well as its average duration. This qualitative analysis will be completed by the estimation of the risks of occurrence of dry episodes from two significant dates, like the beginning and the end of agricultural seasons and which the durations explain the changing local climate. In this contribution, we shall establish a modelling by means of the model of Markov's model, from two series of daily rains collected at Alger Dar El Beida meteorological station. The obtained results can be of use at first as base to an adaptive step in order to limit the effects of the climate which remains, under our latitudes, a strong regulating agent of the agricultural production.

Keywords: rainfall, temperature, climate, change, agricultural production

Introduction

La variabilité des précipitations dans le temps accroît considérablement le risque de sécheresse (Abderrahmani et al, 2006).

Cet aléa climatique, tant redouté des agriculteurs de par son caractère aléatoire, constitue une contrainte majeure au

développement de l'agriculture en général et des cultures pluviales en particulier. En effet, beaucoup de nos agriculteurs hésitent, par précaution, à investir dans des cultures stratégiques comme le blé, dont le rendement dépend pour une large part de la composante climatique. Ceci a d'ailleurs amené la caisse nationale de



mutualité agricole à proposer, dès l'an prochain, une nouvelle prestation destinée à couvrir le risque sécheresse. Le déficit hydrique engendré par la sécheresse augmente la sensibilité des plantes aux valeurs extrêmes de température, notamment en dehors de la saison humide (G. Guyot, 1993); renforçant ainsi leur dépendance vis-à-vis du climat.

Pour pallier à ces contraintes, il convient d'ajuster le « calendrier agricole » aux principaux événements climatiques tels que le début et la fin de la saison des pluies, l'amorce d'un épisode sec, l'occurrence de la gelée etc., et déterminer des itinéraires techniques les plus favorables au développement des cultures. Cette démarche vise principalement à réduire les risques induits par la variabilité et « l'évolution » du climat et assurer une agriculture durable et une autosuffisance alimentaire.

1. Données et méthode

Les données climatologiques utilisées dans la présente étude sont les températures et les précipitations quotidiennes recueillies à la station météorologique d'Alger Dar El Beida.

Afin de détecter un éventuel changement climatique, nous avons considéré deux séries de précipitations quotidiennes : une de référence, se rapportant à la période 1945-1977, dont un extrait est donné par le tableau 1 ci après, la deuxième série couvrant la période 1994-2004 permettra une comparaison ainsi que la caractérisation des principaux événements climatiques susceptibles d'influer de façon directe ou indirecte sur la campagne agricole.

La méthodologie adoptée consiste en une analyse des données à l'aide du logiciel statistique Instat+ afin d'en extraire les informations pertinentes pour les prises de décision à court et moyen terme (date de semis, choix de variété, appoint d'irrigation): ainsi, le démarrage des campagnes agricoles est subordonné, sous nos climats, aux premières pluies d'automne; la longueur de la saison des pluies permet de choisir des cultures à cycle adapté etc. (Choisnel E, 1992 b). Pour effectuer l'analyse, on admet que la saison pluvieuse commence à la première

occasion où le cumul pluviométrique est supérieur ou égal à 5 mm sur deux jours successifs à partir du 1^{er} octobre. De même un jour présente un caractère pluvieux si la quantité de pluie recueillie en 24 heures est supérieure ou égale à 0.1 mm. Enfin le calcul du bilan hydrique permet de localiser dans le temps la fin de la saison des pluies; en général un bilan hydrique proche de zéro témoigne de la fin des précipitations. Cependant, du fait de la contribution du sol à l'alimentation en eau des cultures, on admet que la fin de la saison pluvieuse survient, en pratique, quelques jours après les dernières pluies.

Tableau 1 : Précipitations quotidiennes des huit premières années (jours 1 au 20 septembre)

1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949
0	0	5	7,6	4,8	47	0	0
0	0	0,2	19,1	0	2,5	0	16,9
0	-9999*	0	0	0	0	0	27,4
-9999	0	0	5,4	28,7	0	0	10,8
6	-9999	-9999	18,1	0	-9999	0	9,8
11,7	-9999	-9999	5,3	0	3,8	0	23,4
16	-9999	0	3,6	0	11,9	0,4	4,2
16	0	0	1,6	0	0,6	0	1
3,4	0	0	38,1	0	0	0,6	0
1,2	0	0	2,6	0	0	1	-9999
4,2	0	0	29,4	0	-9999	1,2	6
0	-9999	0	4,7	0	-9999	24,9	17,2
1,7	0	0	1,5	0	-9999	0	10,8
9	-9999	0	0,2	0	0	0	-9999
9,5	0	0	3	16,2	0	6,5	0
4,2	0	0,6	0,7	4,3	0	3,6	0
3,1	-9999	0,3	1,2	0	0	43,1	0
1,6	0	0	15,3	2,9	0	10,9	0
2,8	0	0	1,8	0	0	20,1	0
0	0	0	0	20,1	-9999	10,7	0

*La notation -9999 correspond aux données manquantes

2. Résultats

2.1. Analyse de la période de référence

La station météorologique d'Alger ayant pour coordonnées 3.25°Est,

36.72° Ouest est située à 24 m d'altitude et reçoit en moyenne 680 mm de pluie par an, quantité suffisante pour satisfaire amplement les besoins en eau des cultures annuelles. Cependant, sa distribution peut réduire considérablement de son efficacité (Dastane, 1977), d'où la nécessité de connaître et de délimiter dans le temps la période des pluies. Cette information sera mise à profit par les agriculteurs pour lancer la campagne agricole et planifier les diverses interventions culturales.

Ainsi, compte tenu de la définition adoptée, la saison pluvieuse dure en moyenne 145 jours; elle débute vers le 10 octobre pour s'achever durant la première décennie de mars, à l'exception de la période 1951-1958 où les pluies ont commencé au delà du 31 octobre.

L'analyse fréquentielle des durées des saisons pluvieuses (figure 1) montre une valeur modale de 150 jours. Cette séquence peut s'avérer insuffisante dans le cas où elle ne cadre pas avec le cycle des cultures, d'où la nécessité de mettre en place une stratégie consistant à repérer les épisodes favorables du climat pour en tirer le meilleur parti. Cette approche probabiliste permet, entre autres, d'estimer les chances d'occurrence de deux jours pluvieux consécutifs et d'entrevoir la période pouvant concentrer le maximum de précipitations.

Pour compléter l'analyse, nous avons procédé à l'évaluation statistique par le modèle de Markov des principaux événements caractéristiques de la période de référence, à savoir l'occurrence de la pluie pour un jour donné de l'année, l'occurrence de deux jours consécutifs pluvieux et d'occurrence d'un jour sec précédé d'un jour pluvieux et dont les probabilités respectives sont désignées par p , p_{rr} et p_{rd} .

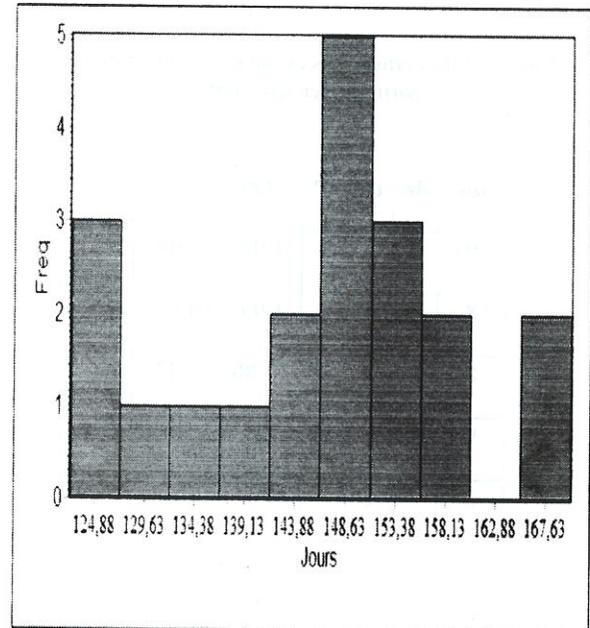


Figure 1 : Histogramme des durées des saisons pluvieuses

Cette analyse nécessite une phase préparatoire qui consiste à inventorier les jours secs (dd), les jours pluvieux (rr) ainsi que les couples pluie-sécheresse (rd) et sécheresse-pluie (dr). Le tableau 2 ci-dessous présente un extrait de la phase préparatoire des données. Il s'agit d'un décompte des événements précités relatifs à la première pentade du mois de septembre de 10 années consécutives, où Tr désigne le total des jours pluvieux et Ir le logarithme des valeurs dont la somme permettra d'évaluer le paramètre de forme de la distribution.

Les probabilités associées aux événements décrits ci-dessus sont représentés en figure 2.

P_r : Probabilité d'occurrence de la pluie pour un jour donné de l'année.

p_{rr} : Probabilité d'occurrence de deux jours consécutifs pluvieux

P_{rd} : Probabilité d'occurrence d'un jour sec précédé d'un jour pluvieux



Tableau 2: Répertoire des événements climatiques à partir du 1er septembre

dd	dr	rd	rr	Tr	Ir
9	0	1	0	1.93	0.65
8	1	1	0	1.93	0.65
8	1	1	0	30.88	3.43
9	1	0	0	0	0
8	0	2	0	12.75	3.65
...

Cette représentation confirme l'amorce des pluies d'automne, la première probabilité significative se rapportant au début d'octobre, tandis que les chances de pluies estivales sont pratiquement nulles à partir du 270^e jour compté à partir du 1^{er} septembre soit vers la fin mai.

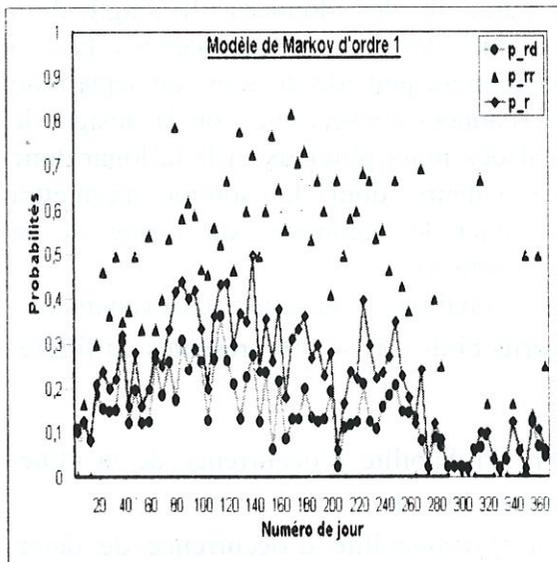


Figure 2 : Probabilités d'occurrence d'événements climatiques

Les probabilités relativement élevées de deux jours consécutifs pluvieux se traduisent par une forte concentration des

pluies entre le 10 novembre et la fin du mois d'avril. L'événement r_d présente une faible probabilité d'occurrence, ceci pouvant s'interpréter par l'absence d'alternance entre la pluie et la sécheresse du fait qu'une perturbation atmosphérique dure souvent plus d'une journée en pareille saison.

2.2 Analyse de la période test

Un changement climatique régional peut être perçu non seulement à travers la variation quantitative des variables indicatrices telles que la température (IPCC, 1995), mais également à partir d'un décalage dans le temps des événements climatiques habituels. Dans cette perspective, nous avons procédé à l'analyse des mêmes événements sur la période de dix années agricoles de 1994-1995 à 2003-2004, à la même station et en conservant les mêmes définitions que précédemment. Le tableau 3 ci-dessous résume les principaux résultats.

Tableau 3 : début et fin de la saison pluvieuse

Années	Début des pluies (N° du jour)	Fin des pluies (N° du jour)	Longueur de la saison (Jours)
94-95	41	208	167
95-96	46	206	160
96-97	38	183	145
97-98	44	185	141
98-99	36	183	147
99-00	38	183	145
00-01	46	184	138
01-02	39	183	144
02-03	40	187	147
03-04	37	198	161

*Le N° du jour est déterminé en comptant à partir du 1^{er} septembre, à l'aide du tableau 4 ci-après.



Tableau 4 : Correspondance entre le numéro du jour de l'année et la date calendaire

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Ayr	Mai	Juin	Juil.	Août
Jour												
1	1	31	62	92	123	154	183	214	244	275	305	336
2	2	32	63	93	124	155	184	215	245	276	306	337
3	3	33	64	94	125	156	185	216	246	277	307	338
4	4	34	65	95	126	157	186	217	247	278	308	339
5	5	35	66	96	127	158	187	218	248	279	309	340
6	6	36	67	97	128	159	188	219	249	280	310	341
7	7	37	68	98	129	160	189	220	250	281	311	342
8	8	38	69	99	130	161	190	221	251	282	312	343
9	9	39	70	100	131	162	191	222	252	283	313	344
10	10	40	71	101	132	163	192	223	253	284	314	345
11	11	41	72	102	133	164	193	224	254	285	315	346
12	12	42	73	103	134	165	194	225	255	286	316	347
13	13	43	74	104	135	166	195	226	256	287	317	348
14	14	44	75	105	136	167	196	227	257	288	318	349
15	15	45	76	106	137	168	197	228	258	289	319	350
16	16	46	77	107	138	169	198	229	259	290	320	351
17	17	47	78	108	139	170	199	230	260	291	321	352
18	18	48	79	109	140	171	200	231	261	292	322	353
19	19	49	80	110	141	172	201	232	262	293	323	354
20	20	50	81	111	142	173	202	233	263	294	324	355
21	21	51	82	112	143	174	203	234	264	295	325	356
22	22	52	83	113	144	175	204	235	265	296	326	357
23	23	53	84	114	145	176	205	236	266	297	327	358
24	24	54	85	115	146	177	206	237	267	298	328	359
25	25	55	86	116	147	178	207	238	268	299	329	360
26	26	56	87	117	148	179	208	239	269	300	330	361
27	27	57	88	118	149	180	209	240	270	301	331	362
28	28	58	89	119	150	181	210	241	271	302	332	363
29	29	59	90	120	151	182	211	242	272	303	333	364
30	30	60	91	121	152		212	243	273	304	334	365
31		61		122	153		213		274		335	366

On note une régularité dans le début des pluies ; toutes les saisons pluvieuses débutant entre le 6 et le 16 octobre, ainsi qu'un allongement de la saison d'une dizaine de jours environ, pouvant ainsi s'étendre jusqu'à 167 jours. Cependant, cet accroissement peut être dû à l'effet de période et il n'en résulte pas nécessairement une augmentation des précipitations. Ainsi, le risque de sécheresse subsiste et son effet dépend du stade phénologique de la culture. Différents auteurs, en particulier Doorenbos et Kassam (1980) ont fait la synthèse des travaux relatifs à la sensibilité de 25 espèces végétales. Les résultats obtenus convergent pour définir, pour la plupart des espèces étudiées une période critique de sensibilité à la sécheresse vers les phases floraison formation des fruits.

Les céréales, quant à elles, présentent une sensibilité accrue en période de remplissage du grain. (Kirkham M.B, 1990).

2.2.1 Estimation du risque de sécheresse :

En climat semi-aride méditerranéen, la sécheresse, considérée du point de vue agro météorologique, est un phénomène qui survient habituellement à l'approche de l'été. Cependant, la variabilité des précipitations dans le temps favorise l'occurrence d'épisodes secs plus ou moins longs à n'importe quelle période de la saison agricole. La figure 3 ci-dessous montre l'alternance d'épisodes pluvieux et secs au cours de l'année allant du 1^{er} septembre 1994 au 31 août 1995. Elle montre



également une nette rupture au 200^e jour correspondant à la deuxième décennie de mars, puis une reprise en début d'avril, indiquant que des précipitations peuvent se produire au-delà de la fin théorique de la saison pluvieuse.

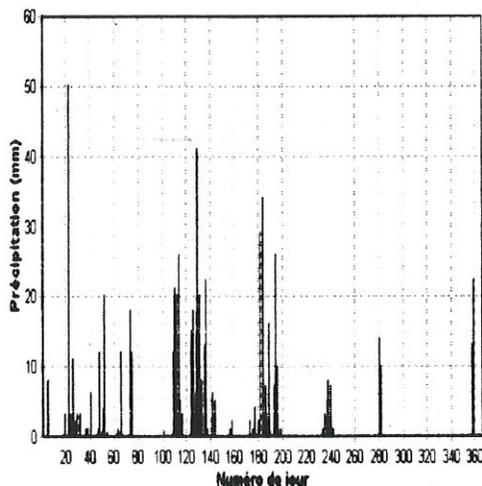


Figure 3 : Variation de la pluie quotidienne de l'année agricole 1994-1995.

L'application du modèle de Markov aux pluies quotidiennes relatives à la période de référence nous a permis de déterminer les séquences sèches maximales pouvant survenir en avril, mai et juin. En avril, la durée maximale d'une séquence sèche oscille entre 8 et 15 jours. En mai, elle varie de 12 à 16 jours. En juin, la sécheresse peut durer jusqu'à vingt-sept jours. Si elle survient en période de floraison, elle peut provoquer la coulure des fleurs et influencer négativement sur le rendement, d'où l'intérêt d'estimer le risque de son occurrence à compter de ce stade précis. Une telle information permet une intervention amont pour le choix d'une date de semis optimale. L'analyse effectuée sur la période test a permis de déterminer les durées maximales de séquences sèches pouvant survenir après la floraison (Figure 4), le semis étant effectué le 1er octobre, coïncidant avec le début de la saison des pluies.

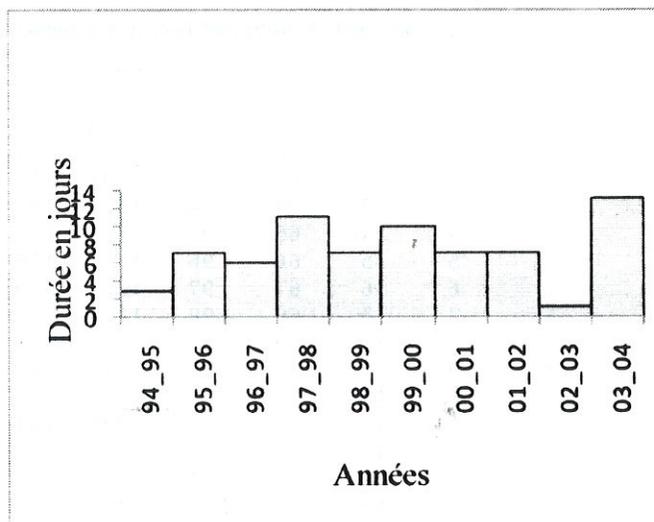


Figure 4 : Durée des séquences sèches après la floraison

Les durées maximales de sécheresse les plus fréquentes sont de sept et onze jours. Les probabilités associées sont d'autant plus élevées que l'on approche de la saison des grandes chaleurs. Nous avons inclus dans le calcul une séquence intermédiaire de 9 jours consécutifs secs.

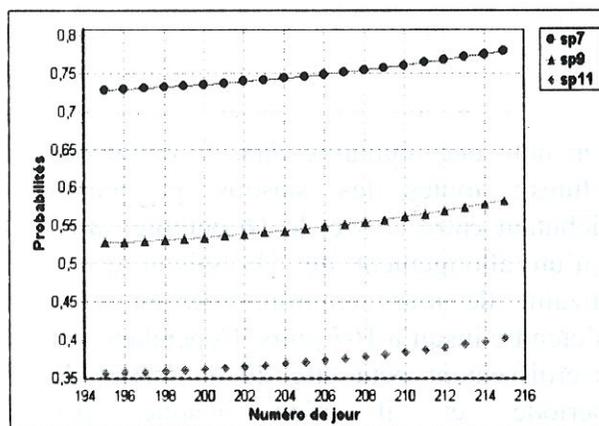


Figure 5 : Probabilités d'occurrence de séquences sèches de 7, 9 et 11 jours à compter du 13 mars.

2.2.2. Date optimale de semis

Nous avons procédé à la simulation de six dates hypothétiques de semis de la culture de blé, allant du 1^{er} octobre au 15 décembre. On validera une date de semis en minimisant le risque de sécheresse

encouru à partir de la floraison. Celle-ci est déterminée à l'aide du cumul de températures à base 0°C. A titre indicatif, la figure 6 donne les probabilités de séquences sèches à partir de la floraison pour un semis effectué à la mi-décembre.

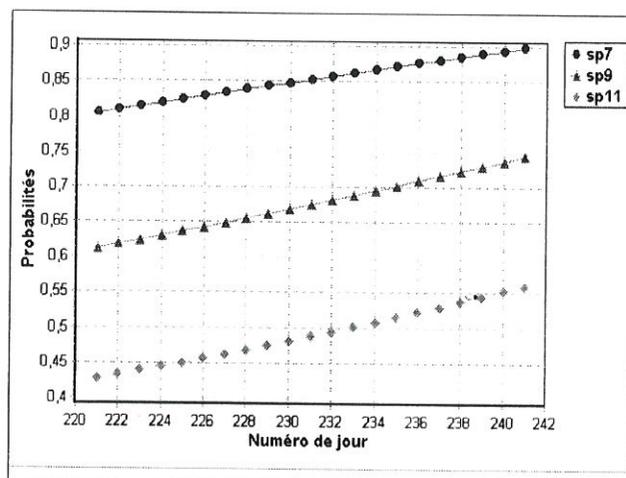


Figure 6 : Probabilités d'occurrence de séquences sèches de 7, 9 et 11 jours à compter du 8 avril (date de semis : 15 décembre)

Notons qu'une séquence sèche de 7 à 9 jours peut, dans certains cas, causer des dégâts physiologiques importants et réduire considérablement le rendement. D'autre part, la simulation montre qu'un semis tardif augmente la probabilité d'un tel aléa climatique. De ce fait, il apparaît que la date du 1^{er} octobre est une date présentant moins de risque d'échec, compte tenu du régime pluviométrique de la zone étudiée.

3. Conclusion

L'objectif assigné à la présente étude est de détecter, à partir de l'analyse des pluies, une éventuelle « anomalie » climatique. Le changement entrevu apparaît présentement comme un allongement relatif de la saison des pluies. Abstraction faite de l'effet de période, on peut admettre que cette variation relève soit d'une délimitation moins nette entre les saisons météorologiques, soit d'un régime pluviométrique perturbé. Néanmoins, ceci demeure sans effet notable sur les cultures

pluviales, dont les besoins en eau sont assurés, le cas échéant, par la réserve du sol. La modélisation des pluies quotidiennes montre qu'une grande proportion des précipitations survient, de manière continue entre novembre et avril, avec de fortes probabilités d'occurrence de deux jours consécutifs pluvieux. Enfin, la stabilité relative des événements considérés constitue un gros avantage pour les campagnes agricoles. Elle permet d'établir un calendrier agricole conforme et de réduire les risques liés aux aléas climatiques dans les systèmes de production.

Bibliographie

- Abderrahmani B., Abbou M., Dobbi A. et Hassini N., *Actes du XIX Colloque de l'AIC, Epernay, 2006*, 37-42
- Brunetti M., Maugeri M., et Nanni T., *Int. J. Climatol.*, **21**, 2001, 861-871
- Choisnel E., *l'agro météorologie, la météorologie VII^e série*, **42**, 1992, 4-10
- Dastane N.G., *Précipitations efficaces, Bull. FAO Irrigation et drainage*, **25**, p 94-100, 1977
- Houghton J.T., Meira Filho L.G, Callender B.A., Harris N., Kattemberg A., Maskell A., Climate change 1995. The science of climate change. (eds), *Cambridge University Press*, Cambridge. IPCC, 1995
- Kirkham M.B., B.A. Stewart et D.R. Nielsen plant response to water deficit, *In irrigation of agricultural crops* Ed., *Agronomy monograph* **30**, ASA-CSSA-SSSA, Madison WI,USA, 323-342, 1990
- Moiselin J.M, Canelas M., Schneider M., Dubuisson B., Les longues séries de référence pour l'étude des changements climatiques, *Actes des journées AMA Météo France, Toulouse, pp. 95-98*, 2003.
- Tardieu F., T.Améglio, N.Breda et S.Dayan, Régulation des transferts hydriques chez les plantes soumises à la sécheresse, *In Actes de l'Ecole-chercheurs INRA en bioclimatologie, Le Croisic? 3-7 avril, tome 1 : De la plante au couvert végétal*,
- Cruziat P.et Lagouarde J.P. Ed. INRA, *Unité de bioclimatologie, Thiverval-Grignon, France*, 62-82 (1996)