

ÉTUDE DES RAPPORTS DES PLUIES SAISONNIÈRES ET ANNUELLES AVEC LES RENDEMENTS ET LA PRODUCTION DES CÉRÉALES DANS LES RÉGIONS SUB-HUMIDES ET SEMI-ARIDES DE LA TUNISIE

AHMED MAROUANI - MOHSEN GHARBI (*)

Les études des rapports des facteurs climatiques avec la production végétale à l'échelle des exploitations agricoles ou des régions d'un pays sur des périodes de temps plus ou moins étendues revêt une importance capitale à la fois pour les sélectionneurs de nouvelles variétés, les agriculteurs et les planificateurs. Pour décrire les interactions entre les facteurs agro-climatiques et les productions des espèces cultivées, de nombreux modèles statistiques ont été décrits (van Eeuwijk, 1995; Giunta et al. 1993; Parry et al. 1985).

Les modèles empiriques linéaires basés sur l'analyse de la régression décrivant la fluctuation des rendements des cultures sous l'influence de facteurs climatiques mesurés tels que la pluviométrie, le nombre de jours de pluie, la température et autres ont été les plus utilisés (Haddad, 1996; Djenane, 1992; Feyerherm et Paulsen, 1981; Haun, 1974).

D'autres modèles basés sur les effets additifs et sur les interactions multiplicatives (AMMI) ont été proposés et étudiés par d'autres auteurs (Yau, 1995).

En utilisant la technique d'analyses des rapports de la production avec les pluies et la température en régression multiple curvi-linéaire.

Thompson (1988) a montré que pour le maïs et le soja, les deux principales cultures d'été des USA, la prévision des rendements est assez significative mais que les modèles de régression trouvés sont complètement diffé-

ABSTRACT

The statistical analysis of annual and seasonal rainfall data during the last 20 years in the two major growing cereal regions of the country showed two distinct crop yield and production to weather models. In sub-humid areas, it was found that spring and winter rainfall have a significant contribution to durum and bread wheat yields. Barley yields were more dependant on winter and autumn rainfall. In semi-arid regions, the yields of the three cereal crops are equally affected by the spring rainfall first than by autumn and winter rainfalls. The effects of the spring rainfall on cereal yields are particularly significant in the two climatic regions; its importance can be conceived only in years with low autumn and or winter rainfall. This study showed also that years with record cereal production and yields can be characterized by a high annual rainfall and at least two of the three seasonal rainfall must be higher than average seasonal rainfall.

RÉSUMÉ

L'analyse statistique de la production régionale des céréales et des rendements du blé dur, du blé tendre et de l'orge en relation avec les pluies saisonnières et annuelles sur une période de 20 années (1976-1996) dans le Nord de la Tunisie montre que dans les régions sub-humides du pays, les modèles de régression trouvés sont essentiellement basés sur deux types de pluies (hiver et printemps). Le rendement de l'orge semble être peu affecté par les pluies de printemps dans les régions sub-humides. Dans les régions semi-arides, les rendements des céréales sont dépendants des pluies des trois saisons (automne, hiver et printemps). Dans ces dernières régions, la prévision du rendement des céréales est largement affecté par les pluies du printemps d'abord puis par celles de l'hiver et de l'automne. L'étude montre que les besoins minima en eau des céréales diffèrent d'une région à une autre et que les bonnes années de production sont caractérisées par des pluviométries annuelles supérieures à la moyenne régionale et ayant au moins deux saisons à pluviométries supérieures à la moyenne saisonnière. En plus de ces deux conditions, l'une des saisons pluvieuses doit être obligatoirement le printemps surtout en régions semi-arides.

rents. En Tunisie, au cours des vingt dernières années, il n'y a pas eu d'amélioration appréciable en matière de production céréalière.

Cette situation figée est souvent interprétée par certains comme étant liée à la non maîtrise des techniques culturales et par d'autres comme le résultat de la forte dépendance vis-à-vis de la pluviométrie.

Dans le présent travail qui ne vise nullement de réunir des chiffres pour expliquer les causes d'une bonne ou d'une mauvaise récolte, on se propose d'étudier et de quantifier:

a)- les degrés d'influence qu'exercent les différentes pluies saisonnières et annuelles sur les productions régionales des céréales à paille au cours de la période 1976-1996.

b)- les rapports entre les pluies d'automne, d'hiver et de printemps avec le rendement de chacune des céréales à paille dans les régions sub-humides et

dans les régions semi-arides au cours de la même période.

MATERIEL ET METHODES

Choix des régions céréalières

La production céréalière est étroitement liée aux conditions agro-climatiques des régions de culture.

Pour étudier et déterminer la relation entre la pluviométrie (saisonnière et annuelle) et les rendements des différentes céréales, nous avons choisi les deux principales régions céréalières du pays:

a- Les régions de Bizerte et de Béja appartenant toutes les deux à l'étage bioclimatique sub-humide à hiver modéré.

(*) Ecole supérieure d'Agriculture du Kef, 7119

b- Les régions du Kef et de Siliana appartenant toutes les deux à l'étage bioclimatique semi-aride à hiver froid.

Données pluviométriques

Les pluviométries annuelles et saisonnières des quatre régions ont été obtenues à partir des données des stations climatologiques des services de la Direction des Ressources en Eau (DRE) et indiquées aux annuaires pluviométriques.

Les quatre stations retenues pour chaque région sont:

- A- Bizerte: Bizerte, Tinja, Mateur ou Joumane, Sejnane.
- B- Béja: Béja, Medjez, Tébourouk, Nefza ou Ouchtata.
- C- Le Kef: Kef, Dahmani, Sers, Tajerouine
- D- Siliana: Siliana, Bou-Arada, Maktar, Krib.

Les valeurs des pluviométries annuelles et saisonnières utilisées sont les moyennes arithmétiques obtenues des pluies enregistrées dans les quatre stations représentatives des régions étudiées.

La notion de total pluviométrique annuel utilisé dans cette étude se réfère à la pluviométrie totale reçue entre le 1er Septembre et le 30 Mai.

Il est important de rappeler que dans cette étude, on s'est limité à l'influence des pluies et des sécheresses sur les productions de céréales et que tous les autres aspects de la climatologie des campagnes agricoles (1976-1996) n'ont pas été traités.

Ainsi les répercussions néfastes des gelées, des vents de sirroco ou des élévations anormales de température qui peuvent engendrer des évapotranspirations (ETP) très élevées n'ont pas été pris en considération.

Données sur la production céréalière régionale

Les données utilisées dans cette étude sont obtenues des rapports annuels de la Direction Générale de la Production Agricole (DGPA) ou des résultats des enquêtes céréalières par mesures objectives menées annuellement par la Direction Générale de la Planification du Développement et des Investissements Agricoles (DGP-DIA).

Pour mieux comprendre l'impact des pluies de chaque saison sur la production céréalière régionale au cours des vingt dernières années soit de 1976-1996, les données ont été réorganisées selon chaque type de pluies et présentées dans les tableaux 6-9. Il est à souligner aussi que les superficies totales emblavées en céréales sont de l'ordre de 85 000 ha à Bizerte et 135 000 ha à Béja soit une superficie de 220 000 ha pour les deux régions sub-humides; de 145 000 ha à Siliana et 180 000 ha au Kef soit une superfi-

cie de 325 000 ha pour les deux régions semi-arides.

Analyses statistiques

Les variables dépendantes de cette étude sont le rendement (qx/ha) des trois différentes céréales et la production céréalière régionale (x1000 qx). Les variables indépendantes sont les pluviométries annuelles et saisonnières de la région.

L'analyse statistique des rapports des pluies saisonnières et annuelles avec les rendements des céréales et la production céréalière régionale a été réalisée par le logiciel MSTATC. L'analyse par régression multiple pas à pas du rendement de chaque céréale et de la production régionale dans les régions sub-humides et semi-arides a été faite par les logiciels MSTATC et SAS.

RESULTATS ET DISCUSSION

Caractéristiques de la variabilité de la pluviométrie

a- Répartition saisonnière des pluies

Le **tableau n.1** montre que la répartition des pluies saisonnières et annuelles dans ces quatre régions céréalières de la Tunisie est très déséquilibrée. En effet, et malgré la proximité territoriale entre elles, la répartition des pluies entre les régions sub-humides et les régions semi-arides est remarquablement différente. Cette irrégularité des pluies en Tunisie, observée à la fois entre saisons et entre années a été décrite récemment par Ben Hammouda et Marouani (1997), Ben Ammar (1996) et Ennabli (1995).

La saison la plus pluvieuse des régions sub-humides de Béja et de Bizerte, est l'hiver avec 42% du total pluviométrique annuel, ensuite vient l'automne (33%) et enfin le printemps avec (24%). Dans ces régions et contrairement

Tableau 1 Moyennes et paramètres statistiques des pluies saisonnières et annuelles de 1976-1996 des quatre régions étudiées.

Pluies saisonnières	Régions sub-humides		Régions semi-arides	
	Bizerte *	Béja *	Kef *	Siliana *
1-Automne: (S/A %)	201 ± 80 (34.2)	171 ± 68 (31.8)	108 ± 52 (32.2)	116 ± 49 (32.5)
min-Max:	76-367	82-313	33-219	44-225
2-Hiver: (S/A %)	242 ± 55 (41.2)	218 ± 70 (40.6)	132 ± 40 (36.1)	134 ± 46 (36.0)
min-Max:	148-376	101-342	47-192	49-225
3-Printemps (S/A %)	145 ± 52 (24.6)	148 ± 52 (27.6)	126 ± 50 (31.7)	122 ± 45 (31.5)
min-Max:	46-240	56-232	44-210	39-204
4-Total: min-Max: CV %	588 ± 111 366-752 18.9	537 ± 103 368-718 19.2	366 ± 121 165-540 33.1	372 ± 109 228-490 29.3

(*): Pluviométries des régions et non des villes.
(S/A %): Rapport des pluies de la saison et de l'année.

ment aux adages agricoles, les pluies de printemps contribuent le moins à la pluviométrie annuelle; mais l'importance de ces pluies réside dans leur impact sur la croissance durant les phases critiques du cycle végétatif des céréales (épiaison, anthèse et remplissage des grains). Les coefficients de variation (CV %) de la pluviométrie annuelle dans ces régions sub-humides sont de l'ordre de 18-19% et peuvent être considérés comme étant faibles.

Dans les régions semi-arides du Kef et de Siliana, les trois saisons reçoivent approximativement les mêmes quantités de pluie soit 30-35% du total pluviométrique annuel. Cependant, et comme le montre le **tableau 1**, les coefficients de variation (CV) de la pluviométrie annuelle sont plus élevés de l'ordre 29-33% dans les régions semi-arides; ce qui indique l'aspect aléatoire marqué des pluies dans ces régions.

Outre la mauvaise répartition des pluies, la production céréalière des régions semi-arides et des hauts plateaux souffre au moins de deux autres obstacles; le froid et la gelée

Le froid continental surtout dans ces régions semi-arides freine et retarde la croissance végétative des céréales pendant les mois de Décembre et de Janvier; alors que les fortes températures et le déficit hydrique du printemps sont de nature à affecter la période de remplissage et à entraîner des chutes de rendement dans les conditions de la Tunisie et autres pays méditerranéens (Gate et al. 1996).

b- Besoins minima en eau et pluviométrie annuelle

Outre la maîtrise parfaite de l'itinéraire technique de la production des céréales, les besoins minima en eau pour des rendements élevés ainsi que les stades critiques aux stress hydriques et thermiques des céréales cultivées sont des paramètres importants à connaître. Dans la pratique, il faut avouer qu'il est très difficile de déterminer avec exactitude les besoins en eau des cultures (céréales ou autres) en raison de l'influence d'autres facteurs comme la nature des sols, les assolements pratiqués et les températures sur l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Selon les informations disponibles et certaines études, les besoins des céréales pour des rendements acceptables sont de l'ordre de 400-500 mm. Les données présentées dans les tableaux 6-9, nous indiquent que la pluviométrie moyenne minimale nécessaire pour une bonne récolte acceptable diffère d'une région à une autre. Celle-ci doit être supérieure à 550 mm dans les régions sub-humides de Bizerte et de Béja, mais légèrement supérieure à 350 mm dans les régions semi-arides du Kef et de Siliana.

Afin de mieux comprendre l'influence des pluies de chaque saison (automne, hiver et printemps) ainsi que celle de des pluies annuelles sur la production des céréales, nous avons présenté les données en huit (8)

combinaisons possibles selon que les pluies saisonnières sont supérieures ou inférieures à la moyenne de 20 ans.

b1- Les bonnes années ou années pluvieuses

Les données présentées aux tableaux 6-9 montrent que les meilleures productions céréalières dans les quatre régions étudiées correspondent aux années à pluviométries annuelles supérieures à la moyenne de 20 ans (**tableau 1**) et ayant au moins deux saisons à pluviométries supérieures à la moyenne saisonnière de 20 ans. En plus de ces deux conditions, l'une des saisons pluvieuses doit être obligatoirement le printemps surtout en régions semi-arides. Les conditions à retenir sont indiquées au **tableau 1a**.

Les bonnes années enregistrées dans les régions sub-humides et semi-arides peuvent être caractérisées par les pluies saisonnières montrées.

Cependant dans les régions sub-humides de Béja et de Bizerte de bonnes récoltes ont été obtenues même en l'absence d'une pluviométrie élevée de printemps (tableaux 6-7). Dans ces régions sub-humides et proches de la mer, les cultures sont favorisées par une abondante condensation nocturne de l'humidité de l'air; cette rosée pourrait atténuer les effets de la sécheresse printanière.

b2- Les années médiocres ou années sèches

Les années de récoltes céréalières médiocres correspondent souvent aux années sèches de pluviométrie annuelle très mal répartie et inférieure à la moyenne annuelle de 20 ans de la région (**tableau 1**). En outre, au moins deux des trois saisons (automne, hiver et printemps) ont une pluviométrie inférieure à la moyenne saisonnière. Les conditions qui seront la cause des mauvaises récoltes sont:

Les années médiocres (sèches ou très sèches) qui ont été enregistrées dans les quatre régions étudiées peuvent être caractérisées par la répartition de pluies saisonnières indiquées au **tableau 1b**

Il est très important de souligner que lorsque les pluies d'automne sont abondantes, le total pluviométrique est souvent supérieur à la moyenne et ce même lorsque les deux autres saisons sont relativement sèches. Des années médiocres du type (+—) sont presque inexistantes.

b3- Incidence et réflexions sur la sécheresse

La notion de sécheresse est essentiellement relative et doit être caractérisée par les écarts pluviométriques par rapport au régime pluvial normal (saisons ou années) qui peuvent entraîner des chutes de rendement et des incidences économiques. La sécheresse qui peut intéresser tout le territoire ou certaines régions; décrit donc une insuffisance des ressources en eau comparées aux besoins de la culture durant la période d'activité végé-

Régions	a+ h+ p+	a+ h- p+	a- h+ p+
Béja	87, 91, 96	90, 92	78, 82
Bizerte	79	80, 92, 96	82, 85, 90
Siliana	87, 91, 96	77, 80	82, 85, 90
Kef	87, 91, 96	77, 80, 92	82, 85

a + h+ p+: Pluies (autn, hiv et prtn) > moyennes de 20 ans.
a - h+ p+: Pluies (hiver et printemps) > moyennes de 20 ans.
a + h- p+: Pluies (automne et printemps) > moyennes de 20 ans.

Régions	a- h- p-	a- h+ p-	a- h- p+
Béja	88, 89, 94	95	78, 86
Bizerte	88, 89, 94, 95	****	****
Siliana	89, 95	78, 86, 88	94
Kef	88, 89, 94, 95	78, 79, 86	81, 84

a - h - p -: Pluies (autn, hiv et prtn) < moyennes de 20 ans.
a - h + p -: Pluies (automne et printemps) < moyennes de 20 ans.
a - h - p+: Pluies (automne et hiver) < moyennes de 20 ans.

tative et reproductive. L'effet de la sécheresse est d'autant plus important que les réserves du sol sont épuisées. En effet, lorsque l'humidité du sol chute en dessous du point de flétrissement, la récolte sera sévèrement affectée.

Variabilité de la production régionale des céréales

a- Influences des facteurs climatiques

Bien que la variabilité de la production céréalière est souvent expliquée en grande partie par la variabilité de la pluviométrie annuelle, on constate que les coefficients de corrélation R^2 et de détermination R^2 des tableaux 2a et 2b dépendent des régions de culture des céréales et non des quantités de pluies. Le tableau 2a qui montre les résultats de la régression simple de la production céréalière (Y) en fonction de la pluviométrie annuelle (X) dans les quatre régions étudiées, $[Y = a + bX]$, montre aussi que dans les régions sub-humides, que la pluie n'est le facteur obstacle mais d'autres facteurs interviennent pour expliquer cette variabilité annuelle de la production régionale des céréales.

Le **tableau 2b** montre que lorsque la distribution saisonnière des pluies est prise en compte dans le

modèle statistique, plus de 80% de la variabilité de la production céréalière dans les régions semi-arides expliqués par les pluies saisonnières. Par contre dans les régions sub-humides, la pluviométrie saisonnière et même annuelle n'expliquent que 50% de la variabilité de la production céréalière.

Haddad (1996) a proposé un modèle basé sur les pluies mensuelles qui peut être considéré fort intéressant mais peu pratique. En effet, les pluies saisonnières sont la référence pour les agronomes et les agriculteurs et ces derniers ne font de différence entre les pluies d'une fin de mois (25 octobre) avec celles du mois qui le suit (5 Novembre).

Outre la grande irrégularité de la production régionale et de sa corrélation avec les pluviométries annuelles et saisonnières, les tableaux 6-9 montrent qu'à chaque fois, il y a des pluies abondantes en automne, la production des céréales sera très élevée dans les quatre régions étudiées.

Les chutes des pluies d'automne en quantités suffisantes ont une influence positive sur l'incitation des agriculteurs à semer tôt. L'importance des ces pluies sur

Paramètres de régression	Bizerte	Béja	Kef	Siliana
Coef. Détermination (R^2)	0.39	0.61	0.82	0.79
Coef. Corrélation (r)	0.627	0.780	0.909	0.889
Const. Intercept (a)	-364	-1185	-1680	-2276
Pente regression (b)	2.89	6.39	10.91	10.58
Valeur du test (t)	3.41	5.29	9.28	8.22
Probabilité (P)	0.003	0.001	0.001	0.001

(*) Productions régionales exprimées (x1000 qx).

Paramètres de régression	Bizerte	Béja	Kef	Siliana
Coef. Détermination (R^2)	0.543	0.617	0.876	0.801
Coef. Pluv Autn (b1)	1.259	5.353	11.111	10.313
Coef. Pluv Hiv (b2)	2.321	5.984	13.518	11.852
Coef. Pluv Prtn (b3)	5.937	7.437	9.175	10.468
Const. Intercept (a)	-354	-1066	-1822	-2383
Valeur du test F	6.35	8.58	37.81	21.47
Probabilité (P)	**	**	**	**

(*) Productions régionales exprimées (x1000 qx).



la levée et sur le développement des céréales de point de vue tallage avant que les basses températures et les gelées de l'hiver n'aient lieu, est à souligner. Si les pluies d'automne sont faibles, les semis sont retardés au delà de la période optimale dans chaque région dans l'attente de quantités suffisantes de pluie. Ce retard de semis aboutit souvent à de très mauvais rendements à cause des exigences non satisfaites des stades végétatifs des cultures avec un système racinaire peu développé. Les semis réalisés à la date optimale (même en sec) sont recommandés, compte tenu des pertes de rendement encourues en cas de semis tardifs.

Les tableaux 6-9 montrent aussi que les pluies de printemps et malgré leur faible contribution (25%) au total pluviométrique annuel sont la condition essentielle pour réaliser les meilleures productions céréalières surtout dans les régions semi-arides. Les chutes de rendement suite à des sécheresses et des fortes températures printanières sont liées à des pertes du poids de 1000 grains provoquées par un mauvais remplissage des grains entre l'anthèse et la maturité physiologique correspondant aux mois de Mars et d'Avril.

b- Influence des techniques culturales

Comme le montre le **tableau 3**, la production céréalière dans les régions sub-humides est relativement stable. Couplée aux faibles coefficients de corrélation obtenus, on peut conclure que la pluviométrie n'est pas le principal facteur limitant. Il semble donc que le référentiel technique actuellement suivi pour la production de céréales nécessite des améliorations et des révisions à différents niveaux. Dans les régions du Nord (sub-humides

et semi-arides), de nombreux travaux de recherche sur le désherbage, la fertilisation, la rotation des cultures, les techniques de travail du sol et le choix approprié de cultivars ont donné lieu à une augmentation substantielle du rendement et par conséquent à l'augmentation de la production régionale et nationale de céréales.

Certes; dans toutes ces régions surtout en semi-aride, la pluviométrie est faible et les contraintes climatiques sont nombreuses, mais un progrès peut être réalisé. La production et les rendements actuels des céréales sont loin d'avoir atteint l'optimum possible et l'itinéraire technique du semis à la récolte reste à améliorer.

Pour les céréaliculteurs expérimentés, et en plus de la pluie, trois choses importent pour de bons rendements en céréales: un semis à temps, un assolement à base de jachère et de labours profonds et enfin une bonne fumure organique. En effet, on reste stupéfait lorsqu'on constate en pleins mois d'Avril et de Mai des années sèches, l'excellent état de végétation des parcelles ainsi traitées comparées aux parcelles voisines complètement calcinées la sécheresse.

Variabilité des rendements des trois céréales

Le potentiel du rendement d'une céréale dépend largement des conditions agro-climatiques sous lesquelles les céréales sont cultivées mais aussi des caractéristiques des cultivars utilisés telles que l'adaptation aux aléas du milieu, la capacité de tallage, la précocité d'épiaison, la stabilité du rendement, le poids de 1000 grains et la vitesse de remplissage.

Lors des bonnes années, les rendements moyens de céréales sont de l'ordre de 15-25 qx/ha en semi-aride et

de 25-40 qx/ha en sub-humide. Cette variabilité dépend des espèces cultivées; le blé tendre semble être la céréale la plus productive comparée au blé dur et à l'orge (**tableau 3**). Cependant, avec un prix de vente très attractif associé à une réputation empirique de rusticité aux facteurs du milieu, le blé dur reste la céréale la plus cultivée en Tunisie.

a- Facteurs climatiques et techniques limitants

Les différences de rendement enregistrées sur les blés (dur et tendre) entre les régions sub-humides et les régions semi-arides sont de l'ordre de 6-9 qx/ha mais les différences ne sont que de 1-2 qx/ha pour les rendements de l'orge (**tableau 3**). Les résultats des essais menés sur de longues périodes, montrent que pour remédier au déficit hydrique pendant les stades critiques et pour obtenir de bons rendements de céréales, des quantités d'eau de 80-100 mm peuvent être appliquées en 3-4 apports correspondant à ces stades en irrigation de complément. Notons que les variétés de blés et d'orge utilisées par les céréaliculteurs dans ces différentes régions sont exactement les mêmes. Cette erreur technique très répandue en Tunisie, est imposée par le manque de cultivars réellement adaptés aux régions semi-arides (Ben Ammar, 1996). Le choix des variétés par un grand nombre de céréaliculteurs est surtout dicté par les quantités et les prix des semences disponibles au moment des semis. Selon les régions de culture, on a affaire à un ensemble d'autres facteurs limitants qui peuvent expliquer les niveaux assez bas des rendements. Ainsi au sub-humide, la lutte contre les mauvaises herbes et les maladies est la première préoccupation des agriculteurs, les céréales sont cultivées souvent dans des sols froids et lourds qui ne se ressuient que très lentement ce qui affecte la végétation. Au semi-aride, les céréales sont cultivées sur des sols marginaux, secs, pauvres en matière organique et peu productifs. Les deux régions semi-arides du Kef et de Siliana sont des hauts plateaux à gelées et à hivers froids.

b- La régression progressive des rendements

b1- En régions sub-humides

Les résultats du **tableau 4** relatifs aux modèles mathématiques linéaires des

Tableau 3 Moyennes, écart-types et autres statistiques des rendements des céréales de 1976-1996.

Rendement (qx/ha)	Régions sub-humides		Régions semi-arides	
	Bizerte *	Béja *	Kef *	Siliana *
1-Blé dur min-Max:	15.1 ± 5.7 2.7-26.4	18.4 ± 6.4 9.7-28.6	9.6 ± 4.5 2.7-20.4	10.6 ± 5.6 1.8-20.2
2-Blé tendre min-Max:	18.9 ± 5.8 5.5-25.5	19.4 ± 7.1 8.6-30.7	11.4 ± 5.6 3.0-22.1	12.8 ± 6.8 1.6-23.5
3-Orge min-Max:	11.5 ± 2.4 5.2-15.3	12.6 ± 3.5 5.3-18.6	9.8 ± 4.9 1.2-19.8	9.7 ± 5.3 1.1-18.3
4-Production min-Max:	1314 ± 499 220-2041	2141 ± 845 1089-3507	1943 ± 1127 55-4328	1603 ± 968 251-3286

(*) : Productions régionales déclarées exprimées (x1000 qx).

rendements obtenus avec les différentes céréales à partir de la régression progressive pas à pas peuvent s'écrire comme suit:

1- la région de Bizerte:

$$Y_{BD} = 4.65 + 0.071 P_{prtn}$$

$$Y_{BT} = -1.64 + 0.061 P_{prtn} + 0.048 P_{hiver}$$

$$Y_{OG} = 2.32 + 0.025 P_{hiver} + 0.020 P_{prtn}$$

2- la région de Béja:

$$Y_{BD} = -4.58 + 0.046 P_{prtn} + 0.053 P_{hiver}$$

$$Y_{BT} = -10.27 + 0.080 P_{hiver} + 0.051 P_{autn}$$

$$Y_{OG} = 1.29 + 0.022 P_{hiver} + 0.026 P_{prtn}$$

Tableau 4 Résumé de la procédure de régression pas à pas pour les rendements des trois céréales en régions sub-humides.

Régions	Step	Variable	R ² Partiel	R ² Modèle	C(p)	F test
-Blé dur:						
Bizerte	1	P prtn	0.432	0.432	1.77	13.67**
Béja	1	P hiver	0.276	0.276	10.42	6.86*
	2	P prtn	0.193	0.469	5.38	6.17*
-Blé tendre:						
Bizerte	1	P prtn	0.399	0.399	8.69	13.93**
	2	P hiver	0.210	0.609	2.07	9.12**
Béja	1	P hiver	0.434	0.434	18.42	13.77**
	2	P autn	0.259	0.693	4.63	14.41**
-Orge:						
Bizerte	1	P hiver	0.439	0.439	10.43	14.10**
	2	P prtn	0.211	0.650	2.49	10.24**
Béja	1	P prtn	0.263	0.263	5.81	6.44*
	2	P hiver	0.129	0.363	4.86	5.05*

(**): Significatifs respectivement aux seuils de 1% et 5%.

La première conclusion qu'on peut tirer de ces résultats est l'influence de deux types de pluies ou de deux saisons parmi les trois. Il semble que dans la région sub-humide, l'influence de la pluviométrie d'automne n'est pas significative et qu'elle ne contribue suffisamment dans l'élaboration des rendements. En effet, les semis tardifs de fin novembre et de décembre dans ces régions ainsi que la proximité de la mer leur permettent de bénéficier d'une rosée abondante peut expliquer l'impact très réduit des pluies d'automne sur le rendement. Un autre facteur qui peut limiter l'incidence des pluies d'automne sur le rendement, est la nature et la fertilité des terres qui ne peuvent occasionner des déficits hydriques potentiels pour engendrer une différence de réponses des espèces céréalières. En plus, on remarque que le rendement de l'orge, une céréale à végétation plus ramassée que celui des blés et qui exclut en partie le mois de mai de son cycle (récoltée à la mi-mai) est logiquement plus affectée par les pluies d'hiver que par les pluies du printemps. Par contre lorsque les pluies de printemps se font rares et que la sécheresse s'installe, les rendements de blé dur et du blé tendre, des céréales relativement plus tardives que l'orge; chutent considérablement et sont largement affectés dans les régions sub-humides.

b2- En régions semi-arides

Le **tableau 5** donne les résultats des régressions des rendements trois céréales en fonction des pluies saisonnières dans les régions semi-arides, les modèles mathématiques linéaires des rendements qui en découlent peuvent s'écrire comme suit:

1- la région du Kef:

$$Y_{BD} = -5.14 + 0.038 P_{prtn} + 0.038 P_{hiver} + 0.054 P_{autn}$$

$$Y_{BT} = -7.05 + 0.058 P_{autn} + 0.068 P_{hiver} + 0.041 P_{prtn}$$

$$Y_{OG} = -5.58 + 0.054 P_{hiver} + 0.046 P_{autn} + 0.039 P_{prtn}$$

2- la région de Siliana:

$$Y_{BD} = -12.57 + 0.061 P_{prtn} + 0.065 P_{hiver} + 0.064 P_{autn}$$

$$Y_{BT} = -15.80 + 0.075 P_{autn} + 0.079 P_{hiver} + 0.081 P_{prtn}$$

$$Y_{OG} = -11.36 + 0.065 P_{prtn} + 0.052 P_{hiver} + 0.056 P_{autn}$$

Les rendements dans ces deux régions semi-arides sont largement tributaires des trois pluies saisonnières. Ceci

Tableau 5 Résumé de la procédure de régression pas à pas pour les rendements des trois céréales en régions semi-arides.

Régions	Step	Variable	R ² Partiel	R ² Modèle	C(p)	F test
-Blé dur:						
Kef	1	P prtn	0.470	0.470	34.11	15.95**
	2	P hiver	0.201	0.671	17.16	10.34**
	3	P autn	0.161	0.831	4.00	15.16**
Siliana	1	P prtn	0.361	0.361	36.92	10.15**
	2	P autn	0.183	0.543	23.79	6.81*
	3	P hiver	0.263	0.807	4.00	21.79**
-B. tendre:						
Kef	1	P autn	0.456	0.456	39.31	15.07**
	2	P hiver	0.285	0.741	12.31	18.74**
	3	P prtn	0.101	0.842	4.00	10.31**
Siliana	1	P prtn	0.409	0.409	42.60	12.47**
	2	P hiver	0.167	0.576	28.02	6.71**
	3	P autn	0.262	0.838	4.00	26.02**
-Orge:						
Kef	1	P prtn	0.429	0.429	22.07	13.56**
	2	P hiver	0.146	0.576	14.26	5.90**
	3	P autn	0.184	0.760	4.00	12.26**
Siliana	1	P prtn	0.437	0.437	27.10	13.99**
	2	P hiver	0.164	0.601	16.54	6.98*
	3	P autn	0.164	0.791	4.00	14.55**

(**)(*): Significatifs respectivement aux seuils de 1% et 5%.



suggère que pour atténuer les répercussions de ces pluies, les facteurs techniques de production tels que le choix variétal, la préparation du sol, le désherbage et la fumure organique du sol deviennent des opérations culturales à bien maîtriser.

CONCLUSION

Cette étude qui a porté sur l'analyse des données de 20 ans de la production annuelle déclarée des céréales ainsi que des rendements annuels enregistrés par espèce dans les quatre principales régions céréalières de la Tunisie, nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

Selon les résultats obtenus, on peut dire que la pluviométrie annuelle minimale nécessaire pour une bonne récolte devrait être supérieure à 550 mm dans les régions sub-humides de Bizerte et de Béja, mais seulement supérieure à 350 mm dans les régions semi-arides du Kef et de

Tableau 6 Influence des pluies saisonnières sur la production de céréales collectées dans la région sub-humide de Bizerte (*).

Pluies saisonnières (mm)			Pluies annuelles	Années	Production (x1000 qx)
P autn	P hiver	P prtn			
>201	>242	>145	631	79	1.920
		<145	652	84	1.318
			750	87	1.455
	560		81	1.345	
	<242	>145	657	92	2.041
		<145	656	96	1.696
726			80	1.479	
<201	>242	>145	551	86	1.117
		<145	672	90	1.764
			703	85	1.469
			588	82	1.222
			560	78	1.625
		554	93	1.855	
	<242	>145	496	91	1.608
		<145	426	89	1.066
			407	94	808
			452	95	251
			366	88	220

(*)Pluies annuelles indiquées sont les moyennes arithmétiques des pluies de la région et non de la ville sus-visée.

Siliana. Cette conclusion est nettement différente de l'idée reçue qui dit que pour des rendements et productions céréalières élevées en Tunisie, une pluviométrie de 500 mm est indispensable quelque que soit l'éta-ge bio-climatique.

La démarche de classification dichotomique basée sur les moyennes de 20 ans des pluies des différentes saisons et ci-dessous présentée dans les tableaux (6-9) avec la production céréalière régionale annuelle, nous donne l'avantage de voir clairement l'impact de chaque type de pluie (saisonnière ou annuelle) sur la production céréalière régionale et de prédire le niveau de cette dernière. Cette procédure très simple pourrait être d'une grande utilité pratique à l'échelle de l'exploitation.

3- les résultats de la procédure de régression pas à pas pour les productions régionales (**tableaux 2a et 2b**) et pour les rendements des trois céréales (**tableaux 4 et 5**), permettent aux planificateurs et aux responsables régionaux de l'agriculture de mieux estimer et chiffrer les niveaux des rendements et de la production céréalière annuelle dans chaque région en se basant sur les superficies régionales de chacune des céréales. En effet, la confrontation des équations relatives soit à la production annuelle régionale des céréales en fonction des pluies enregistrées soit aux rendements des différentes espèces en fonction des pluies et des superficies emblavées, permet de chiffrer avec une bonne précision les rendements et les productions qui peuvent obtenus dans chaque région.

4- En comparant l'influence du manque des pluies annuelles ou saisonnières dans les différents modèles statistiques, il s'avère que les effets des sécheresses dont nous ne pouvons échapper peuvent être relativement apaisés et réduits par des différentes techniques culturales. Les techniques de « dry farming » et d'autres techniques culturales basées sur un choix approprié des espèces et de cultivars les plus adaptés sont

Tableau 7 Influence des pluies saisonnières sur la production de céréales collectées dans la région sub-humide de Béja.

Pluies saisonnières (mm)			Pluies annuelles	Années	Production (x1000 qx)	
P autn	P hiver	P prtn				
>171	>218	>148	718	87	3.380	
		<148	669	91	3.507	
			646	96	3.425	
	<218	>148	>148	594	84	2.328
			<148	508	87	3.220
				551	90	2.119
<148		636	92	3.362		
		517	77	1.325		
		527	80	1.933		
<171	>218	>148	539	78	1.890	
		<148	630	82	2.114	
			421	94	1.534	
			635	85	2.876	
			518	86	1.446	
		457	95	1.381		
	<218	>148	407	88	1.089	
		<148	417	89	1.475	
			462	94	1.865	
			386	88	1.215	
			386	88	1.215	

(*)Pluies annuelles indiquées sont les moyennes arithmétiques des pluies de la région et non de la ville sus-visée.

Tableau 8 Influence des pluies saisonnières sur la production de céréales collectées dans la région semi-aride du Kef.

Pluies saisonnières (mm)			Pluies annuelles	Années	Production (x1000 qx)	
P autn	P hiver	P prtn				
>108	>132	>126	426	87	3.718	
			472	91	3.301	
			548	96	4.328	
	<132	>126	<126	387	90	1.507
			>126	373	92	2.870
			>126	394	77	2.080
<132	>126	>126	445	80	2.140	
		<126	317	83	1.615	
		<126	369	93	2.540	
<108	>132	>126	378	82	2.430	
			415	85	2.807	
			<126	362	81	1.696
	<132	>126	>126	342	84	1.852
			>126	338	78	1.652
			>126	358	79	1.885
<132	>126	>126	285	86	707	
		<126	262	88	55	
		<126	274	89	555	
			242	94	669	
			215	95	459	

(*)Pluies annuelles indiquées sont les moyennes arithmétiques des pluies de la région et non de la ville sus-visée.

Tableau 9 Influence des pluies saisonnières sur la production de céréales collectées dans la région semi-aride de Siliana.

Pluies saisonnières (mm)			Pluies annuelles	Années	Production (x1000 qx)	
P autn	P hiver	P prtn				
>116	>134	>122	437	87	2.442	
			494	91	3.286	
			475	92	3.154	
	<134	>122	<122	334	84	1.091
			>122	424	96	2.845
			>122	394	93	2.730
<134	>122	>122	367	77	1.120	
		>122	421	80	1.590	
		<122	390	83	1.002	
<116	>134	>122	424	82	1.818	
			433	85	2.099	
			455	90	2.089	
	<134	>122	<122	352	79	1.290
			>122	405	81	2.096
			>122	261	94	510
<134	>122	>122	290	78	925	
		>122	297	86	812	
		>122	294	88	539	
			248	89	427	
			251	95	251	

(*)Pluies annuelles indiquées sont les moyennes arithmétiques des pluies de la région et non de la ville sus-visée.

capables de limiter les dégâts et d'assurer des niveaux de production élevés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ben Ammar, F. 1996. La culture des céréales dans la région semi-aride tunisienne du Kef, *Medit* 3/96:58-60.

Ben Hammouda, M et A. Marouani. 1997. Influence de la pluviométrie annuelle, saisonnière et mensuelle sur la production du blé. *Medit* 4/97:34-36.

Direction Générale de la Production Agricole (DG-PA). 1977-1996. Rapports annuels 1977-1996.

Direction des Ressources en Eau (DRE). 1977-1996. Annaires pluviométriques de Tunisie.

Direction Générale de la Planification du Développement Agricole. 1977-1996. Résultats des enquêtes céréalières par mesures objectives des récoltes.

Djenane, A.M. 1992. Quelques résultats du programme de vulgarisation de l'intensification céréalière dans la région des hautes plaines sétifiennes. *Cahiers Options Méditerranéennes*, Vol 2(1):99-112.

Ennabli, N.1995. L'irrigation en Tunisie, Imprimerie officielle Tunisie, 469p.

Feyerherm, A.M. and G.M. Paulsen. 1981. Development of a wheat yield prediction model. *Agron. J.* 73:277-282.

Gate, Ph; L. Vignier; B. Vadon; D. Souciet M. Zairi, 1996. Céréales en milieu méditerranéen: Un modèle pour limiter les risques. *Perspectives Agricoles* n. 217: 59-66

Giunta, F. R. Motzo and M. Deidda. 1993. Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in a mediterranean environment. *Field Crops Research* 33:399-409.

Haddad, A. 1996. Modèle linéaire pour appréciation prévisionnelle de la production céréalière dans le Nord de la Tunisie. *Revue de l'I.N.A.T* Vol 2(1):75-85.

Haun, J.R. 1974. Prediction of spring wheat yields from temperature and precipitation data. *Agron. J.* 66:405-409.

Latiri-Souki, K.et M. Essamet.1989. Les céréales: Variabilité interannuelle, aléa climatique et progrès technique. In: *Journées Slaheddine El Amami*, Tunis 30 Mai 1989, 42-47.

Melkiche, A. A. Boutheir et P. Gate. 1992. Analyse comparative des comportements à la sécheresse du blé dur et du blé tendre. In *Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne*. Document 64, Editions INRA. Paris France.

Parry, M.L., T.R. Carter, and N.T. Konijn. 1985. Climatic change.How vulnerable is agriculture? *Environment*,27:4-5.

Thompson, L.M. 1988. Effects of changes in climate and weather variability on the yields of corn and soybeans. *J. Prod. Agric.* 1(1):20-27.

Van Eeuwijk, F.A. 1995. Linear and bilinear models for the analysis of multi-environment trials: I. An inventory of models. *Euphytica* 84:1-7.

Yau, S.K. 1995. Régression and AMMI Analyses of génotype x Environment interaction: An Empirical Comparaison. *Agron. J.* 87:121-126.