

RELATIONS ENTRE RENDEMENTS DU BLE DUR ET PRECIPITATIONS EN TUNISIE

M. FEKI ET A. DOUGUEDROIT,

Institut de Géographie, Université de Provence (Aix-Marseille 1),

29 Av. R. Schuman, 13621 Aix-en-Provence cedex 1 France

Tel. : 33 (0) 442 95 38 71, fax : 33 (0) 442 64 01 58

E-mail : m.J-eki@hotmail.com et annick.douguedroit@up.univ-aix.fr

Résumé

Une analyse de corrélation entre les rendements du blé dur de 6 gouvernorats de Tunisie et les précipitations pendant 12 ans (1987/1988-1998/1999), a montré que plus de 50% de la variation des rendements dépend de la variabilité des totaux pluviométriques reçus entre novembre et mai. Lorsque les rendements sont associés aux bimestres, les pluies de février-mars sont très importantes ($r > 0.80$). Au niveau mensuel, les pluies de décembre et mars jouent un grand rôle dans les variations des rendements dans les Steppes. Dans le Tell, les quelques coefficients significatifs expriment à peine 50% de la variance et montrent une plus faible relation entre les rendements et les totaux mensuels que dans les Steppes.

La prédiction des rendements moyens par gouvernorat à partir des régressions multiples pas à pas à 5% d'erreur, montre la possibilité d'une estimation dès la fin de mars, avec des écarts acceptables entre rendements observés et calculés, même dans les Steppes où les rendements sont très faibles. Ces écarts ne diffèrent pas de ceux obtenus par régressions simples appliquées au cumul des mois sélectionnés par les régressions pas à pas.

Abstract

The correlation analysis between annual durum wheat yields of the "gouvernorats" and the rainfall recorded at six meteorological stations in Tunisia showed that annual rainfall (from November to May) has a great influence (more than 50%) on the yields variations. At the seasonal scale, the period February-March has a significant contribution. At the monthly scale March and December rainfall play a major role in the Steppes. In the Tell, relationship between rainfall and durum wheat yields is low.

The prediction of average yields by stepwise multiple regressions based on monthly precipitation could be estimated at the end of March with acceptable difference between predicted and observed values. Results obtained by simple linear regression with monthly precipitation totals as predictants are similar to the previous ones.

Mots clefs : Rendements du blé dur ; Prédiction des rendements du blé dur ; Tunisie.

Key words : Durum wheat yields, prediction of durum wheat yields, Tunisia.

Introduction

Les céréales constituent des cultures importantes en Tunisie. Cultivées essentiellement en sec, elles occupent 30 % des superficies labourables soit environ 1.2 à 1.5 million d'hectares (M ha) dont 9.1 % couverts par le blé tendre, 54.5 % par le blé dur et 34.6 % par l'orge (Ministère de l'agriculture, 1999). Les rendements moyens de céréales sont irréguliers et dépendent toujours des conditions climatiques. Ceci est plus particulièrement vrai pour les zones du Tell et surtout des Steppes où la pluviométrie est souvent insuffisante pour une bonne récolte et où les superficies emblavées ainsi que récoltées dépendent énormément du climat, essentiellement des précipitations (Feki, 2001).

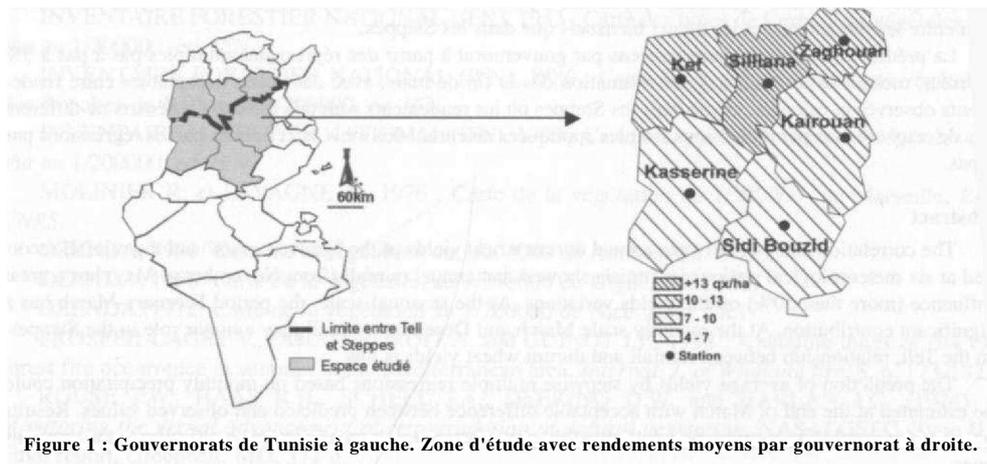
Notre objectif est de déterminer l'influence de la variabilité des précipitations sur les variations des rendements de blé dur cultivé en sec en Tunisie. Nous nous sommes donc intéressés à la relation entre les rendements céréaliers et les précipitations. Le rendement constitue le meilleur indicateur des relations entre les techniques culturales, les qualités pédologiques et les éléments du climat

(Douguédroit et al. 1998). Des études ont déjà abordé cette question en Tunisie soit de façon très raie (Boubaker, 1979), soit à l'échelle de petites régions (Gharbi et Marouani 1999, Ben Hami et Marouani 1997).

1. Données et méthodes

1.1. Données

Les rendements du blé dur proviennent des publications de Ministère de l'Agriculture. Ce sont les rendements de la céréaliculture pluviale. Les séries s'étendent de 1987/1988 à 1998/1999* choix de cette période est justifié par l'utilisation générale, à partir de 1987, de nouvelles semences plus productives et tolérantes à la sécheresse. Nous avons travaillé alors à l'échelle spatiale gouvernorats, choisis dans deux régions (Fig.1), en utilisant les rendements moyens par gouvernorat faute de trouver des rendements par délégation pour mener une étude détaillée au sein de chaque gouvernorat.



En Tunisie septentrionale (le Tell), la pluviométrie relativement régulière et dépassant 400 mm en moyenne, permet le développement d'une céréaliculture pluviale ; nous avons retenu trois gouvernorats : Kef, Silliana, et Zaghouan. Les rendements moyens (Tabl.1) dépassent 10 quintaux par hectare (qx/ha) dans le Tell, voire 13 dans le gouvernorat de Silliana ; certaines années ils sont très faibles (87/88 par exemple). En Tunisie centrale ou steppique (le centre-ouest) l'insuffisance et l'irrégularité de la pluviométrie imposent des systèmes de production extensive en sec et une date de mise en culture très variable selon les années; nous avons choisi aussi trois gouvernorats : Kairouan, Kasserine et Sidi Bouzid. Les rendements moyens sont très faibles dans ces gouvernorats; au moins une année sur trois, ils sont nuls ou quasi nuls; toute la récolte a alors été donnée au bétail comme fourrage (Tabl.1). Signalons qu'il existe une légère différence entre le Nord et le Centre de la Tunisie concernant les dates de semis et de récolte. Dans le Tell, les agriculteurs sèment fin novembre début décembre et moissonnent après le 15 juin. Dans les Steppes les agriculteurs sèment mi-novembre et moissonnent fin mai, début juin.

Les données pluviométriques proviennent de la Direction Générale des Ressources en Eaux (D.G.R.E). Les séries de précipitations s'étendent (sur les années agricoles) de 1987/1988 à 1998/1999. Notre réseau d'étude comprend six stations principales; une par gouvernorat, toutes

Tableau 1 : Rendements moyens du blé dur par gouvernorat (qx/ha).

	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	Mi
Kef	3.3	6.6	8.8	17.1	12.9	12	7.5	11.1	17.1	10.6	12.8	10.9	10.
Silliana	3	4.5	10.7	19.8	18.5	14.2	11.8	3.7	26.6	7.1	14.5	19.3	13.
Zaghouan	4.3	4.5	10.3	21.5	16.6	13.4	6.8	4.4	18.8	7.1	8.9	19.4	11.
Kairouan	7.7	2.8	15.4	17.7	12.4	7	13.5	0	15.8	0	0.2	0.7	7.7
Kasserine	4.7	0.5	13.5	10.5	9.5	5.7	2.9	0	10.3	0	0.1	0	4.8
Sidi Bouzid	0	0.41	13.4	14.2	5	5	0.2	0	11	0	0	0.2	4.1

Moy= moyenne des rendements (1987/1988 - 1998/1999)

installées aux chef lieux. Celle de Kairouan est synoptique. Notre zone d'étude reçoit annuellement une pluviométrie comprise entre 200 et 400mm (Fig.2).

1.2. Méthodes

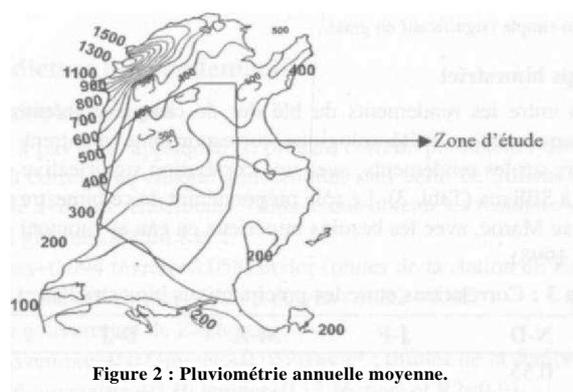


Figure 2 : Pluviométrie annuelle moyenne.

Pour déterminer l'influence des pluies sur les rendements nous avons eu recours aux corrélations. Les séries de rendements comprennent des valeurs nulles. Ces valeurs ont été remplacées par 0.001 pour pouvoir calculer les corrélations. La marge d'erreur retenue est de 5%. Le coefficient de corrélation est significatif s'il est supérieur ou égal à 0.60 (d'après le test de Bravais Pearson).

L'intensité de la relation et la part de l'information prise en compte par la relation sont mesurées par le coefficient de détermination (r^2), qui mesure la variance. Si r^2 est inférieur à 50 % la relation est considérée comme faible. Les pas de temps retenus sont : annuel (de novembre à mai), bimestriel et mensuel.

Enfin, des régressions multiples pas à pas entre les rendements de chaque gouvernorat et les précipitations de chaque station correspondante ont été calculées au pas de temps mensuel pour prédire les rendements du blé dur (à 5% d'erreur). Les courtes séries de 12 ans ne pouvant pas être divisées en deux périodes pour valider les résultats, des corrélations croisées ont été calculées pour tester les résultats. Il s'agit de calculer pour chaque station 11 régressions pas à pas en supprimant chaque fois une année différente. Le but de ces équations est de comparer les écarts avec ceux calculés sur 12 ans et de contrôler les prédicteurs (s'ils changent ou pas en référence à l'équation sur 12 ans pour vérifier la stabilité de cette équation). Les mois sélectionnés par les régressions pas à pas (sur 12 ans) ont été ensuite cumulés et utilisés comme prédicteurs des rendements dans des régressions linéaires simples.

2. Relations entre précipitations et rendements

2.1. Au pas de temps annuel

Les corrélations entre les rendements annuels du blé dur de chaque gouvernorat et les précipitations annuelles de chaque station météorologique correspondante sont significatives (Tabl. 2). Les coefficients de corrélation sont élevés dans l'ensemble, entre 0.70 et 0.84. Ainsi, 50% ou plus du rendement du blé dur dépend de la quantité de pluies tombée entre novembre mai dans les six gouvernorats. Cette proportion atteint 70% dans le gouvernorat de Sidi Bouzid. L'influence de la variabilité interannuelle des précipitations sur les variations des rendements du blé dur est donc primordiale. Ce résultat recoupe celui de l'étude de Marouani et Ben Hammouda (1996), qui trouvent sur la région de Dahmani (gouvernorat du Kef), entre 1985/1995, un coefficient de corrélation de 0.79.

Tableau 2 : Corrélations entre les précipitations annuelles et les rendements.

Stations	Kef	Silliana	Zaghouan	Kairouan	Kasserine	Sidi Bouzid
r	0.82	0.77	0.70	0.76	0.80	0.84

coefficient de corrélation simple (significatif en gras).

2.2. Au pas de temps bimestriel

Les corrélations entre les rendements du blé dur de chaque gouvernorat et les précipitations bimestrielles de chaque station météorologique correspondante montrent la grande influence du bimestre février-mars sur les rendements, avec une corrélation significative exprimant plus de 50 % de la variance, sauf à Silliana (Tabl. 3). Le rôle prépondérant de ce bimestre peut sans doute être mis en relation, comme au Maroc, avec les besoins impérieux en eau au moment de la formation du grain (Douguédroit et al., 1998).

Tableau 3 : Corrélations entre les précipitations bimestrielles et les rendements.

Stations	N-D	J-F	M A	D-J	F M	A-M
Kef	0.55	0.64	0.66	0.52	0.84	0.50
Silliana	0.55	0.52	0.60	0.50	0.62	0.55
Zaghouan	0.69	0.84	0.71	0.69	0.84	0.50
Kairouan	0.47	0.63	0.75	0.69	0.87	0.22
Kasserine	0.63	0.56	0.73	0.62	0.90	0.09
Sidi Bouzid	0.80	0.74	0.57	0.76	0.79	0.42

coefficients de corrélation simples significatifs en gras.

2.3. Au pas de temps mensuel

Les corrélations entre les rendements du blé dur de chaque gouvernorat et les précipitations mensuelles de chaque station météorologique correspondant montrent une grande différence entre le Tell et les Steppes (Tabl.4).

Tableau 4 : Corrélations entre les précipitations mensuelles et les rendements.

Station	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai
Kef	0.45	0.39	0.61	0.62	0.67	0.23	0.28
Silliana	0.50	0.53	0.22	0.40	0.38	0.39	0.46
Zaghouan	0.67	0.35	0.61	0.63	0.54	0.40	0.32
Kairouan	0.30	0.54	0.44	0.71	0.82	0.22	0.18
Kasserine	0.34	0.74	0.51	0.63	0.80	-0.06	0.21
Sidi Bouzid	0.51	0.85	0.60	0.57	0.86	0.14	0.57

coefficients de corrélation simples significatifs en gras.

Dans le Tell, la relation n'est pas très forte; les coefficients de corrélation représentent moins de 50 % de la variance. Les mois les mieux corrélés varient selon les gouvernorats: février et mars pour le Kef, et novembre, février et décembre pour Zaghouan. Cependant, aucun coefficient significatif n'a été observé à Silliana. Cela peut être expliqué par la courte série (12 ans) qui ne permet pas aux coefficients de corrélation d'atteindre le seuil de signification (0.60). Le résultat du Kef ne recoupe pas exactement celui de l'étude de Marouani et Ben Hammouda (1996), qui trouvent sur la région de Dahmani (gouvernorat du Kef), entre 1985/1995, une seule corrélation significative avec le mois d'octobre ($r=0.68$). La faible longueur des 2 séries dont les dates ne coïncident pas explique sans doute cette différence.

Dans les Steppes, les résultats montrent la grande influence des pluies de mars sur les rendements. Si le mois de mars est sec, aucune production ne sera réalisée: "les pluies de mars sont de l'or pur", (communication orale familiale); elles coïncident avec la phase de reproduction et de remplissage des grains, ce qui permet aux céréales d'échapper aux stress hydrique débutant dès le mois d'avril (Yacoubi et al., 1998). Les mois décembre et février jouent un rôle important dans deux des trois gouvernorats ($r^2 > 50\%$).

3. Esquisse de prédiction des rendements

3.1. Par régression multiple pas à pas

Une régression pas à pas a été appliquée en prenant comme prédicteurs les totaux mensuels des pluies significativement corrélés de chaque gouvernorat, sauf celui de Silliana où aucun mois n'est significativement corrélé avec les rendements. Nous avons obtenu les résultats suivants :

Rendements (Y) du gouvernorat du Kef :

$$Y = 2.079 + 0.089 \text{ Mars} + 0.094 \text{ février} + 0.058 \text{ Janvier (pluies de la station du Kef),}$$

avec : $R = 0.94$ (0.64 mars + 0.18 février + 0.10 janvier) et $R^2 = 0.88$.

- Rendements (Y) du gouvernorat de Zaghouan :

$$Y = 0.3945 + 0.092 \text{ novembre} + 0.072 \text{ février} + 0.052 \text{ janvier : (pluies de la station de Zaghouan),}$$

avec : $R = 0.95$ (0.56 novembre + 0.26 janvier + 0.13 février) et $R^2 = 0.91$.

- Rendements (Y) du gouvernorat de Kairouan :

$$Y = -1.8453 + 0.176 \text{ mars} + 0.115 \text{ février : (pluies de la station de Kairouan),}$$

avec : $R = 0.94$ (0.82 mars + 0.12 février) et $R^2 = 0.89$.

- Rendements (Y) de Kasserine :

$$Y = -2.4179 + 0.213 \text{ mars} + 0.121 \text{ décembre : (pluies de la station de Kasserine),}$$

avec : $R = 0.94$ (0.81 mars + 0.13 décembre) et $R^2 = 0.89$.

- Rendements (Y) de Sidi Bouzid :

$$Y = -3.217 + 0.154 \text{ mars} + 0.157 \text{ décembre (pluies de la station de Sidi Bouzid),}$$

avec : $R = 0.94$ (0.86 mars + 0.09 décembre) et $R^2 = 0.88$.

Les équations ont des coefficients de corrélation très forts, supérieurs à 0.90. Les écarts moyens entre rendements observés et calculés varient selon les gouvernorats et selon les années (Tabl.5). Ils sont à peine supérieurs à 10% du rendement moyen dans le Tell mais plus de 20 % dans les Steppes. Les coefficients de corrélation partielle montrent l'importance des pluies de mars sur les rendements et le rôle négligeable des pluies après ce mois (Douguédroit et Massaoudi, 1998).

Les corrélations croisées effectuées sur les 12 années ont montré la stabilité des équations dans les Steppes. Les prédicteurs sont stables. La moyenne des écarts entre rendements observés et calculés ne diffère pas de celle obtenue par la régression multiple pas à pas. Dans le Tell, les écarts s'étalent entre 11 et 14% du rendement moyen. Les corrélations croisées ont montré aussi la stabilité de l'équation de Zaghouan ; en revanche, celle du Kef était instable ; elle peut être réduite à 2 mois au lieu de 3, aux dépens soit de janvier soit de février, ce qui ne peut étonner avec les coefficients de

corrélation de ces 2 mois si proches l'un de l'autre. Ainsi la prédiction des rendements à partir des totaux mensuels donne des résultats meilleurs dans 2 gouvernorats du Tell que dans les Steppes.

Tableau 5 : écarts entre rendements observés et estimés.

	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	Moy	%
Kef	-0.7	-1.5	-2	1.6	1.5	1.1	0.1	2.1	-1.1	0.9	-1.2	-1	1.2	11
Zaghouan	0.9	-2.4	-2.4	1.9	-1.3	0.5	-2.7	3.1	1.7	0.1	-0.6	1	1.6	14.6
Kairouan	-0.5	0.8	4.3	-0.9	-0.2	-1.3	-0.9	-0.7	-5.3	1.9	1.6	1.2	1.6	21.1
Kasserine	0.7	2.1	-2.9	0.1	-1.6	0	3.6	-0.2	0.7	-0.7	-0.8	-1	1.2	24.8
Sidi Bouzid	-2	0.1	1.8	-3.3	1.9	0.1	1	-1.5	-2.2	0.4	2.4	1.5	1.5	36.7

Moy= moyenne, % : pourcentage de la moyenne des écarts en valeur absolue par rapport au rendement moyen observé.

Nous avons recalculé les régressions multiples pas à pas pour les 3 gouvernorats des Steppes en supprimant les années où il n'y avait pas de récoltes de grains. Nous avons obtenu les mêmes prédicteurs pour Kairouan et Sidi Bouzid, et uniquement mars pour Kasserine.

Rendements (Y) de Kairouan :

$$Y = -1.4633 + 0.174 \text{mars} + 0.110 \text{février} \text{ avec } R : 0.93 \text{ et } R^2 : 0.86$$

- Rendements (Y) de Kasserine :

$$Y = 0.4177 + 0.0896 \text{mars} \text{ avec } R : 0.76 \text{ et } R^2 : 0.58$$

- Rendements (Y) de Sidi Bouzid :

$$Y = -4.5506 + 0.214 \text{décembre} + 0.137 \text{mars} \text{ avec } R : 0.95 \text{ et } R^2 : 0.91$$

On voit bien d'après la figure 3 l'évolution parallèle des rendements du blé dur et des pluies de mars à Kasserine.

Les écarts entre rendements observés et estimés représentent 21.5 et 23.5 % du rendement moyen

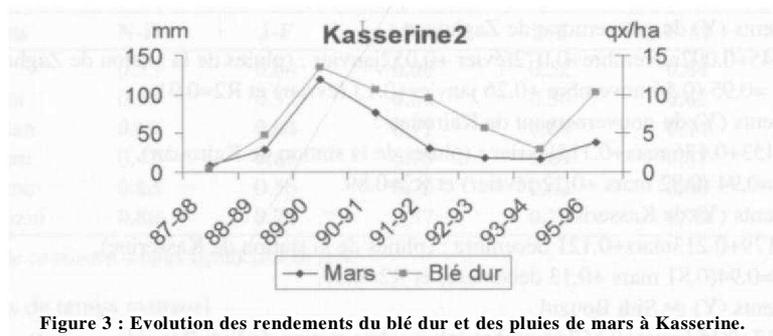


Figure 3 : Evolution des rendements du blé dur et des pluies de mars à Kasserine.

à Kairouan et Sidi Bouzid et 28.5% à Kasserine. Par rapport aux résultats précédents, les écarts diminuent dans le cas de Kairouan et Sidi Bouzid et augmentent à Kasserine où le seul mois de mars est pris en compte.

Tous ces résultats confirment bien le rôle joué par la variabilité des pluies pour les variations des rendements du blé dur dans le centre de la Tunisie. Ils montrent également les limites liées à la longueur des séries de 12 ans.

3.2. Par régression linéaire simple

Nous avons pris la somme des précipitations des mois sélectionnés dans des régressions précédentes comme prédicteurs dans des régressions linéaires simples pour faire une estimation des rendements céréaliers.

Rendements (Y) du Kef :

$$Y = 1.53 + 0.0831 * \text{somme de la pluie de mars, février et janvier au Kef}$$

$$r = 0.91 \text{ et } r^2 = 0.83$$

. Rendements (Y) de Zaghouan :

$$Y = 1.13 + 0.0642 * \text{somme de la pluie de novembre, janvier et février à Zaghouan}$$

$$r = 0.93 \text{ et } r^2 = 0.86$$

Rendements (Y) de Kairouan :

$$Y = -1.81 + 0.142 * \text{somme de la pluie de mars et février à Kairouan}$$

$$r = 0.93 \text{ et } r^2 = 0.86$$

• Rendements (Y) de Kasserine :

$$Y = -2.26 + 0.154 * \text{somme de la pluie de mars et décembre à Kasserine}$$

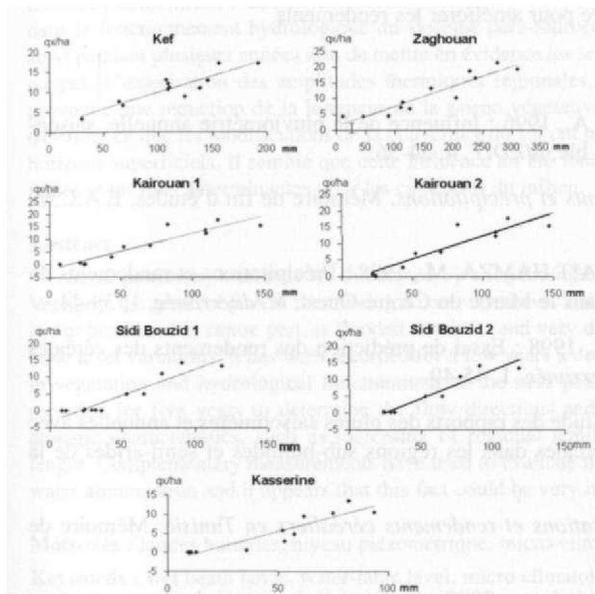
$$r = 0.94 \text{ et } r^2 = 0.88$$

Rendements (Y) de Sidi Bouzid :

$$Y = -3.22 + 0.156 * \text{somme de la pluie de mars et décembre à Sidi Bouzid}$$

$$r = 0.92 \text{ et } r^2 = 0.85$$

Les coefficients de corrélation sont supérieurs à 0.90. Les écarts entre les rendements observés et calculés varient selon les gouvernorats (Fig.4) mais sont supérieurs à ceux obtenus par la régression précédente.



Kairouan 1 et Sidi Bouzid 1 : régressions linéaires simples calculées sur le cumul des mois sélectionnés par les régressions multiples pas à pas sur 12 ans.

Kairouan 2 et Sidi Bouzid 2 : régressions linéaires simples calculées sur le cumul des mois sélectionnés par des régressions multiples pas à pas appliquées sur les années où il y avait du rendement.

D'une façon générale, les rendements diminuent quand les précipitations diminuent. Ainsi pour une diminution de 100mm, les rendements diminuent de 8qx au Kef et 6qx à Zaghouan et pour une baisse de 50 mm de 7qx à Kairouan et 7.5 à Kasserine et Sidi Bouzid. De même, les régressions linéaires calculées sur le cumul des mois sélectionnés par les régressions pas à pas (en éliminant les années sans récolte de grains) "fixent" un seuil de 50mm nécessaire à une récolte d'environ 5 qx/ha dans les Steppes (Fig.4).

Conclusion

La relation est très forte entre les rendements du blé dur et les pluies en Tunisie. Plus de 50% des rendements sont dépendants de la variabilité des pluies reçues entre novembre et mai. A une échelle plus fine, les bimestres montrent la prédominance des pluies de février-mars sur les rendements. Au niveau des mois, nous avons constaté une grande différence entre le Nord et le Centre de la Tunisie. La répartition spatiale et temporelle de la pluviométrie prouve que les rendements dépendent uniquement des pluies de deux mois dans les Steppes : mars et décembre ou bien mars et février, selon les gouvernorats. Dans le Tell, l'influence des totaux mensuels est plus faible ; les coefficients de corrélation sont non significatifs ou bien significatifs mais exprimant rarement à peine 50 % de l'information. Us reflètent aussi la dépendance des rendements vis-à-vis d'autres facteurs tels que les techniques culturales : date, densité et profondeur de semis, les températures etc. et leurs interactions avec les rendements.

Les résultats montrent la possibilité d'une estimation de la récolte dès la fin du mois de mars (c'est-à-dire deux mois avant la moisson) en utilisant des régressions multiples pas à pas basées sur les pluies mensuelles. La prédiction est plus intéressante dans le Tell ; les écarts entre rendements observés et calculés sont à peine supérieurs à 10% du rendement moyen alors qu'ils dépassent plus de 20% dans les Steppes.

Si les résultats obtenus ici étaient confirmés par des séries plus longues, ils pourraient être utilisés dans une stratégie d'irrigation corrective pour améliorer les rendements.

Bibliographie

- BEN HAMM OU DA, M. et MAR OU ANI, A., 1996 : Influence de la pluviométrie annuelle, saisonnière et mensuelle sur la production du blé, *MEDIT*, 4, 34-36.
- BOUBAKER, S., 1979 : *Le blé : rendements et précipitations*. Mémoire de fin d'études, E.A.C.M, 97 p.
- DOUGUEDROIT, A., DURBIANO, C. et AIT HAMZA, M., 1998 : Précipitations et rendements du blé dur et de l'orge en culture "bour" dans le Maroc du Centre-Ouest, *Méditerranée*, 1, 39-44.
- DOUGUEDROIT, A. et MESSAOUDI, A., 1998 : Essai de prédiction des rendements des céréales dans le Maroc du Centre-Ouest, *Méditerranée*, 1, 45-49.
- GHARBI, M. et MAROUANI, A., 1999 : Etude 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, *MEDIT*, 10, 36-44.
- FEKI, M., 2001 : *Relations entre précipitations et rendements céréaliers en Tunisie*. Mémoire de DEA, Université de Provence, 100 p.
- Ministère de l'agriculture, Direction des statistiques, 2000 : *Les statistiques agricoles courantes (cas des céréales)*, 20 p.
- YACOUBI, M., EL MOURID, M., CHBOUKI, N. ET STOCLE, C., 1998: Typologie de la sécheresse et recherche d'indicateurs d'alerte en climat semi-aride marocain. *Sécheresse*, 9, 269-276.