

## **Gestion du Risque Sécheresse au Maroc : Mise au point d'un Indicateur pour une Alerte Précoce à la Sécheresse.**

**Chafai Elalaoui Ali**

*Département d'Agronomie, Ecole Nationale d'Agriculture, Meknes, Maroc.*

[chafaial@yahoo.fr](mailto:chafaial@yahoo.fr)

### **Abstract**

In Morocco, cereals (soft wheat, durum wheat and barley) are the main crops with low and very variable yields. This high variability of yields is mainly due to the variability of the rainfall. During the last 25 years, Morocco has experienced more frequent and more severe droughts than before. In order to alleviate the adverse effects of drought on agriculture, we have developed an indicator for an early drought warning, based on the prediction of the three main cereals yields at any time of the growing season for a given Province. The predicted yield is used to determine the drought severity. Thus we can issue an early drought warning when the predicted yield falls in the moderate or severe drought classes. This early drought warning is to be used by farmers and decision makers to take the appropriate measures in order to reduce the drought impact on crops and peoples whose main income comes from agriculture.

### **1. Introduction**

Au Maroc, la récurrence des années de sécheresse s'est accentuée durant les dernières décennies, avec des effets négatifs sur l'agriculture et sur l'économie nationale (Mokssit et El Khatri, 2001). L'agriculture marocaine est pluviale à près de 85% ; les céréales occupent environ les deux tiers de la surface agricole utile avec une production moyenne estimée à 50 millions quintaux et un coefficient de variation de 46% (Felloun et Laassiri, 2002). La superficie moyenne semée en céréales d'automne étant peu variable, la grande variabilité de la production est due à la fluctuation des rendements moyens des céréales qui, au cours des 20 dernières années, varient de 5 à 15 quintaux par hectare, avec un coefficient de variation de 40%. Cette fluctuation des rendements et de la production, est imputable à la grande variabilité du climat et des précipitations (Berkane, 2004).

A travers l'expérience de plusieurs pays exposés régulièrement à la sécheresse, il s'est avéré nécessaire de mettre au point des indicateurs pour donner une alerte précoce à la sécheresse agricole qui peut avoir lieu au cours du cycle de la culture. La mise au point de pareils indicateurs à un stade précoce permet aux décideurs de prendre les mesures nécessaires pour réduire l'impact de la sécheresse et remédier à ses effets adverses sur la production agricole et sur les populations dont le revenu principal provient de l'agriculture.

Pour ces raisons, nous avons choisi comme indicateur d'alerte précoce à la sécheresse, le rendement des céréales qui constituent la principale culture pluviale au Maroc, car en ayant une estimation précoce du rendement, on peut évaluer la production céréalière et par conséquent l'ampleur et l'impact de la sécheresse agricole au niveau régional et national.

Par ailleurs, nous avons établi pour la majorité des provinces, au cours des 16 dernières années, une corrélation significative entre le rendement des trois céréales et la pluviométrie annuelle. Cette corrélation serait largement améliorée si on tient compte aussi de la répartition de la pluviométrie (Berkane, 2004).

En partant de ces constatations, nous nous sommes fixés comme objectif d'élaborer un modèle mathématique qui permet de prévoir le rendement de chacune des trois principales céréales, blé tendre, blé dur et orge, en fonction de la pluviométrie décadaire de la province, à n'importe quel moment du cycle de la culture, au niveau de chaque province du Maroc. Ce modèle constitue l'indicateur qui permettra de déclencher l'alerte à la sécheresse au niveau régional dans un premier temps, puis si nécessaire au niveau national.

## 2. Méthodologie d'approche

Les données concernant la production céréalière et la pluviométrie de la période 1978 à 2003 par province, ont été collectées auprès des différentes Directions du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, ainsi qu'auprès de la Direction de la Météorologie Nationale.

Les modèles élaborés sont des modèles en série temporelle, les variables représentent la pluviométrie décadaire et le rendement du blé dur, du blé tendre et de l'orge observés à intervalles de temps réguliers pour une province donnée.

$$R = a_0 + a_1 d_{1,11} + a_2 d_{2,11} + a_3 d_{3,11} + a_4 d_{1,12} + a_5 d_{2,12} + a_6 d_{3,12} + a_7 d_{1,1} + a_8 d_{2,1} + a_9 d_{3,1} + a_{10} d_{1,2} + a_{11} d_{2,2} + a_{12} d_{3,2} + a_{13} d_{1,3} + a_{14} d_{2,3} + a_{15} d_{3,3} + \epsilon_t$$

Où:

R : Rendement en quintaux à l'hectare, c'est la variable dépendante ou à expliquer.

$d_{i,j}$  : d représente la pluviométrie d'une décade en mm, i est le numéro de la décade dans le mois (i = 1, 2,3) et j est le numéro du mois dans l'année (j = 1 à 12).

$a_0, a_1, \dots, a_{15}$  sont les paramètres du modèle ou encore les coefficients de régression.

$\epsilon_t$  représente l'erreur de spécification du modèle, c'est-à-dire l'ensemble des phénomènes explicatifs de la variabilité de rendement non liés à la pluviométrie décadaire.

Pour la sélection des variables explicatives à retenir, on a utilisé la méthode qui consiste en l'élimination progressive des variables explicatives. Cette procédure consiste, sur le modèle complet à k variables explicatives, à éliminer de proche en proche les variables dont le t de Student est en dessous du seuil critique. Pour la validation du modèle, on a utilisé des tests particuliers, à savoir le test de Kolmogorov-Smirnov, le test de stabilité par la régression récursive et le test de Breusch-Godfrey.

Après avoir déterminé le rendement de chaque espèce céréalière en utilisant le modèle précédant, nous avons utilisé ce rendement pour déterminer l'importance de la sévérité de la sécheresse agricole. Nous avons distingué cinq classes de sécheresse agricole en fonction des rendements observés au cours des 25 dernières années, pour chaque province. La méthode du nombre d'écart type a été utilisée. Cette classification est illustrée par le tableau suivant :

Tableau 1: Sévérité de la sécheresse agricole en fonction du rendement (méthode du nombre d'écart type)

Classes de sévérité de la sécheresse	Seuils de rendement
Sécheresse sévère	$R_i < R_m -$
Sécheresse modérée	$R_m - \leq R_i < L_i$
Année normale	$L_i \leq R_i < L_s$
Bonne année	$L_s \leq R_i < R_m +$

Très bonne année	$R_i \geq R_m +$
------------------	------------------

$R_m$  = Rendement moyen ;  $R_i$  = Rendement de l'année  $i$  ;  $\sigma$  = Ecart type ;  $L_i$  = Limite inférieure de l'intervalle de confiance ;  $L_s$  = Limite supérieure de l'intervalle de confiance.

### 3. Résultats et discussion

Nous avons établi pour chacune de 33 provinces du Maroc les trois équations de prévision du rendement, des trois céréales. Pour chaque équation, nous indiquons le coefficient de détermination et p-value. Bien entendu cette estimation du rendement peut se faire à n'importe quel moment du cycle de la culture, avant maturité en remplaçant les valeurs de la pluviométrie des décades à venir par les valeurs moyennes de la province. L'estimation du rendement ainsi faite suppose que le reste du cycle de la culture se déroulera normalement. Nous allons donner à titre d'exemple les équations pour la province de Ben Slimane.

**Blé dur** :  $R^2$ : 0.99      p-value: 0.00623

$$R = - 13.999 + 0.083 d_{2.11} + 0.158 d_{3.11} - 0.443 d_{1.12} + 0.204 d_{2.12} + 0.059 d_{3.12} + 0.342 d_{1.1} + 0.260 d_{2.1} + 0.167 d_{1.2} - 0.335 d_{2.2} + 0.326 d_{3.2} + 0.426 d_{1.3} - 0.313 d_{2.3} + 0.654 d_{3.3}$$

**Blé tendre** :  $R^2$ : 0.99      p-value: 0.00719

$$R = - 17.317 + 0.161 d_{2.11} + 0.195 d_{3.11} - 0.516 d_{1.12} + 0.235 d_{2.12} + 0.065 d_{3.12} + 0.394 d_{1.1} + 0.286 d_{2.1} + 0.195 d_{1.2} - 0.460 d_{2.2} + 0.406 d_{3.2} + 0.515 d_{1.3} - 0.416 d_{2.3} + 0.784 d_{3.3}$$

**Orge**:  $R^2$ : 0.99      p-value: 0.00006

$$R = - 12.851 + 0.095 d_{2.11} + 0.104 d_{3.11} - 0.401 d_{1.12} + 0.163 d_{2.12} + 0.059 d_{3.12} + 0.357 d_{1.1} + 0.235 d_{2.1} + 0.130 d_{1.2} - 0.344 d_{2.2} + 0.292 d_{3.2} + 0.302 d_{1.3} - 0.242 d_{2.3} + 0.649 d_{3.3}$$

On constate que pour les trois espèces, au niveau de toutes les provinces, les coefficients de détermination sont très hautement significatifs ( $R^2 > 0.97$ ). L'erreur commise en utilisant ces équations est donc négligeable. En outre, nous avons déterminé la force des modèles à prédire le rendement par province, en comparant les productions prévues avec les productions réelles. Les résultats obtenus montrent que les modèles élaborés sont parfaitement valides et fiables, étant donnée que l'erreur commise (différence entre le rendement estimé et le rendement réel) pour les trois espèces céréalières est extrêmement faible (moins de 1/100 quintal).

Par ailleurs, les statistiques cusum et cusum sq ont montré que le modèle d'estimation du rendement proposé est parfaitement stable et peut être utilisé pour prévoir le rendement des années à venir.

Après avoir déterminé le rendement prévu pour une espèce donnée en utilisant les modèles ci-dessous, on se reporte au tableau suivant pour le situer dans la classe de rendement correspondante afin de déterminer la sévérité de la sécheresse agricole.

Tableau 2 : Classes de sévérité de la sécheresse en fonction du rendement (R en quintaux/ha) du blé tendre, du blé dur et de l'orge dans la province de Ben Slimane.

Sévérité de la sécheresse	Rendement Blé dur	Rendement Blé tendre	Rendement Orge
Sécheresse sévère	$R < 6.3$	$R < 7.5$	$R < 5.9$

Sécheresse modérée	$6.3 \leq R < 10.2$	$7.5 \leq R < 11.8$	$5.9 \leq R < 9.3$
Année normale	$10.2 \leq R < 17.6$	$11.8 \leq R < 20$	$9.3 \leq R < 15.6$
Bonne année	$17.6 \leq R < 21.5$	$20 \leq R < 24.2$	$15.6 \leq R < 19$
Très bonne année	$R \geq 21.5$	$R \geq 24.2$	$R \geq 19$

Quand pour une province, les rendements estimés se situent dans l'une des classes de sécheresse modérée ou sévère, une alerte à la sécheresse est donnée pour permettre aux agriculteurs et aux décideurs de prendre les mesures nécessaires afin de réduire les effets néfastes de la sécheresse sur les cultures et sur les agriculteurs dont le revenu provient de l'agriculture pluviale.

#### 4. Conclusion.

Désormais, le Maroc dispose d'un indicateur fiable et valide pour une alerte précoce à la sécheresse aussi bien à l'échelle régionale que nationale. Pour utiliser cet indicateur, nous n'avons besoin que de la pluviométrie décadaire par province. En outre, cet indicateur fournit le degré de sévérité de la sécheresse et le rendement escompté des trois principales céréales. Pour permettre une utilisation facile et interactive de ces résultats, un logiciel est en cours d'élaboration.

#### 5. Références bibliographiques.

**Felloun H. et Laassiri M. 2002.** Assurances agricoles au Maroc : Situation actuelle et perspectives d'avenir. Séminaire approfondi sur la gestion des risques en agriculture méditerranéenne : assurances agricoles 10-14 juin 2002. Saragosse, Espagne.

**Berkane A. 2004.** Caractérisation de la sécheresse et élaboration d'un modèle climatique pour la prévision des rendements et de la production des céréales au Maroc.

**Mokssit A. et El Khatri S. 2001.** La sécheresse, une caractéristique du climat marocain. Actes du colloque international sur la sécheresse au Maroc. 12-14 novembre 2001. Fes, Maroc.