Caractérisation agro-écologique : outils de gestion et d'aide à la décision en agriculture aléatoire

M. El Mourid[1], A. El Ouali[2], M. Ambri[1], M. El Oumri[1] et W. Goebel[3]

[1] Institut national de la recherche agronomique.

[2] Direction de la météorologie nationale, casablanca.

[3] Icarda/FRMP, Contribution projet AC : Icarda/Inra/Dmn/Idrc

Résumé

En agriculture pluviale, la faiblesse et la forte variabilité des disponibilités hydriques constituent la limitation majeure à la production agricole. A ceci s'ajoute l'absence d'une connaissance fiable des réalités, des risques et des niveaux des ressources naturelles dans ces zones. C'est dans ce sens que la caractérisation du climat et sa modélisation intéressent le planificateur, le chercheur et le développeur. En effet, qu'il s'agisse de culture, de l'élevage ou de développement forestier, il est indispensable de déterminer les potentialités agricoles des terres, les alternatives pour leur meilleure utilisation et les zones cibles des nouvelles technologies. A cet effet, le projet "Caractérisation Agro-écologique" a été conduit entre 1990-1994 conjointement par l'Institut national de la recherche agronomique (Inra), la Direction de la météorologie nationale, (Dmn) et l'Icarda, Des modèles ont été développés, testés et validés, de même des banques de données sur le climat, le sol et les cultures ont été constituées. Les résultats obtenus sur une zone test sont présentés et discutés dans cet article.

Mots-clés : Variabilité, modélisation agroclimatique risque en agriculture, indices climatiques, rendements céréales

Abstract : Agroecological characterization in erratic environment : tools for decision making

In rainfed agriculture, low and highly variable available water is the major constraint to production. This is aggravated by lack of better Knowledge of risks and the effects of variations in the environment on the potential for increased, crop production. Indeed better knowledge of climate and its modeling can improve the planning, conduct and interpretation of agricultural research, the identification of recommendation domains and the formulation of effective agricultural policies resulting in improved crop production. An Agroecological characterization Project has been conducted jointly by Inra, Dmn and Icarda from 1990 to 1994. Simulation models have been developed, tested and validated ; and baseline data on climate, soils, crops has been assembled. Results of this research in a test zone are discussed.

Key words: Simulation models, crop yield potentials, yield gaps

ملخص : التوصيف البيئي الزراعي : وسائل التسيير و اتخاذ القرارات

المريد م1.، والي ا2.، عميري م1.، عمري م1. و كويل3
1 المركز الجهوي للبحث الزراعي سطات، المغرب
2 مديرية الأرصاد الجوية، الدار البيضاء، المغرب
3 إيكاردا

تشكل قلة المياه وتذبذبها العائق الأساسي في المناطق البورية بالمغرب زيادة على عدم المعرفة الدقيقة للمكونات الطبيعية و المخاطر التي يتعرض لها الفلاح. في هذا الإطار، يعد التوصيف البيئي الزراعي أداة فعالة لمساعدة البحث و التنمية لترشيد استعمال الإمكانيات المحدودة.

أنجز المعهد الوطني للبحث الزراعي و مديرية الأرصاد الجوية بتعاون مع إيكاردا مشروعا للتوصيف البيئي الزراعي خلال فترة 1990-1994، طورت فيه نماذج رياضية و جربت في منطقة محدودة. وكانت النتائج المحصل عليها مشجعة ومفيدة.

كلمات مفتاحية : تذبذب المناخ، المخاطر الفلاحية، نماذج رياضية، إنتاجية الحبوب

Problématique des déficits hydriques au Maroc

La condition adverse principale en agriculture pluviale au Maroc est la limitation en eau, aggravée par l'irrégularité des précipitations, des hautes températures, des sols peu profonds et érodés, des maladies et insectes en plus des contraintes imposées par l'environnement socio-économique, autant de facteurs qui rendent l'acte de produire dans ce secteur un labeur quotidien aux bien maigres résultats.

Les sécheresses longues et sévères qui ont frappé en particulier le Maroc durant les années quatre vingts et quatre vingt-dix ont eu des effets dramatiques sur les populations agro-pastorales qui se sont retrouvées appauvries, incapables, dans leur majorité de reconstituer une base économique déjà précaire.

Les effets du manque d'eau et des sécheresses s'expriment d'une manière différenciée selon que l'on se situe à l'échelle de tout le pays ou à un niveau plus petit comme celui des petites régions naturelles, de communautés rurales, de paysage voire même d'une parcelle.

Cette forte variabilité des disponibilités hydriques pour la culture pluviale au Maroc (10 à 25 km^3/an) (Ambroggi 1988) a amené la recherche agronomique à développer des outils méthodologiques adéquats pour appréhender cette diversité en visant une localisation optimale de ses résultats dans des espaces se présentant comme spécifiques et exigeant des réponses techniques tout aussi spécifiques.

Le premier pas dans cette voie consiste en la bonne connaissance de l'environnement physique, de sa variabilité et ses effets sur la production agricole. Ceci permettrait une caractérisation fine des zones agricoles au Maroc en une détermination des critères de leur homogénéité.

Cette approche s'est concrétisée par des études fréquentielles du régime des précipitations, de l'évapotranspiration et du déficit climatique, (El Mourid et Watts 1994 ; El Mourid 1991 ; Ameziane *et al.* 1990). En plus des relations climat/rendements ont été réalisées sur plusieurs cultures et dans plusieurs régions du Maroc (Ameziane *et al.* 1990).

Cependant, le manque de données climatiques sur de longues séries (plus de 30 ans) et sur de larges étendues constitue une limite majeure aux études climatiques classiques.

Pour pallier à cette contrainte, nous avons eu recours à la modélisation mathématique : modèles agroclimatiques de croissance et développement des plantes (El Mourid 1988 ; Ameziane *et al.* 1990). Dans ce sens un projet de caractérisation agro-écologique a été conduit depuis 1990 conjointement par l'Institut national de la recherche agronomique (Inra-Maroc), la Direction de la météorologie nationale (Dmn) et l'Icarda. Les Modèles développés et validés et les résultats obtenus sont présentés dans ce rapport.

Modèles développés pour la caractérisation agro-écologique

Générateur spatial des données (Swg)

SWG permet de générer de longues séries de données climatiques primordiales à la production agricole. Il a été développé à l'Icarda (Goebel 1990) et validé au Maroc (Zeggaf *et al.* 1994).

Il se compose de trois parties destinées à (1) l'estimation paramétrique qui consiste à réduire les données climatiques originales de chaque station météorologique en un ensemble de coefficients statistiques, (2) la reproduction stochastique des séquences synthétiques de données climatiques à partir des coefficients précédents, et (3) l'interpolation spatiale des coefficients entre stations météorologiques. Ainsi, des données synthétiques concernant la pluviométrie, les températures maximales et minimales et la radiation solaire peuvent être générées pour n'importe quelle localité de la zone étudiée où se manifeste un manque de données climatiques.

Le Modèle de croissance et développement du blé (Simtag)

Le modèle Simtag (Simulation of *triticum aestivum* genotypes) a été validé au Maroc (El Mourid 1988). Il est destiné à simuler la croissance, le développement, le rendement et ses composantes, du blé tendre ainsi que l'évolution des réserves hydriques et leurs utilisations par les plantes. Il simule les conditions potentielles où la nutrition minérale est optimale et en absence des mauvaises herbes et maladies sous des conditions variables d'alimentation hydrique et différents types de sol et conduites de cultures. Simtag permet aussi de générer des séries de rendements sur une longue période pour une région donnée, séries qui font défaut dans la majorité des cas (El Mourid 1991). Simtag a été lié directement à Swg pour obtenir Simtagwg.

Simulateur des distributions de rendements (Multisim)

La méthode consiste en la caractérisation de la distribution des rendements avec le temps pour un sol donné et une rotation donnée. Elle se base sur des enquêtes auprès des agriculteurs expérimentés. Les moyennes, les variances et les covariances sont les inputs de Multisim qui va générer une série de rendements suivant une distribution normale. Cette normalité est obtenue en utilisant l'approximation de Box-Muller.

La comparaison des rendements estimés par Multisim et ceux simulés par Simtag permet de quantifier l'écart de rendement à gagner par un transfert de technologie approprié ou le développement d'une technologie adéquate (Boughlala *et al.* 1994 ; Nordblom *et al.* 1994).

Bases de données constituées

La constitution de bases de données fiables sur le climat, le sol et les cultures est capitale pour la caractérisation agro-écologique.

Base de données climatiques

Les données quotidiennes de la pluviométrie, des températures maximales et minimales de la radiation solaire ou à défaut la durée d'insolation et sur des périodes allant de 10 ans à plus de 30 ans d'environ 200 postes du réseau de la Dmn ont été saisies à l'aide du logiciel Clicom. (Jmyi *et al.* 1994).

Base de données édaphiques

Un travail de synthèse des cartes pédologiques existantes a abouti à l'élaboration d'une carte schématique au 1/500.000 des principaux types de sols (El Oumri *et al.* 1994). Cette carte a été numérisée à l'aide du logiciel Idrissi pour créer des images "raster" des unités de sols. Parallèlement à la numérisation de la carte, des données analytiques d'une cinquantaine de profils pédologiques représentatifs de chaque unité de sol ont été préparées selon le format requis par le modèle de croissance Simtag.

Base de données agronomiques

Une base de données agronomiques concernant les caractéristiques génétiques des variétés cultivées au Maroc ainsi que les conduites techniques a été constituée à partir de plus de 10 années d'expérimentation au champ (Bennani *et al.* 1993 ; El Hafid *et al.* 1996). Les données ont permis de valider les modèles utilisés pour la caractérisation agro-écologique.

Base de données statistiques agricoles

Des séries de rendements sur des périodes allant de 5 à 10 ans ont été collectées pour les zones où Multisim a été validé.

Applications des Modèles Swg, Simtag et Multisim en Agriculture

Les outils de simulation mathématique développés ont été testés et validés essentiellement dans les zones arides et semi-arides du Maroc central occidental et en partie dans le Saïss.

Cartes d'indices climatiques

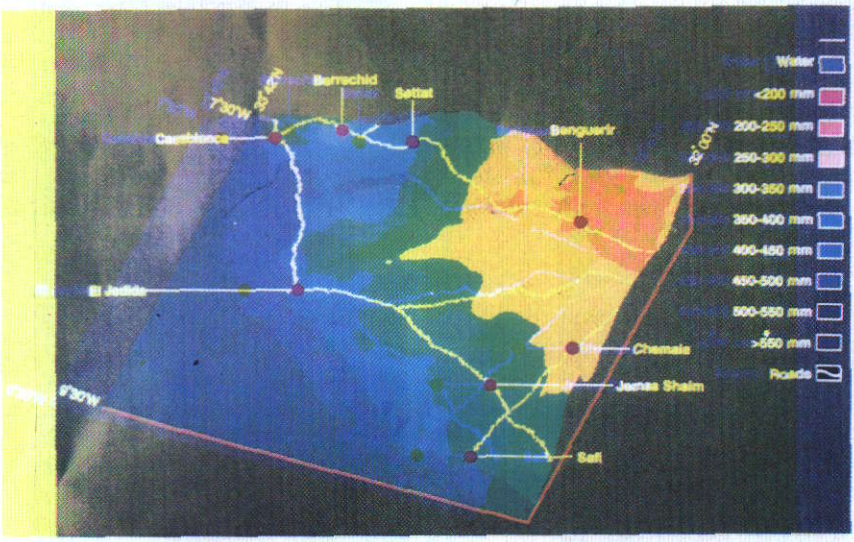
L'étude a été réalisée dans une zone test comprise entre Casablanca-Settat-Benguerir-Chemaia et Safi (32°00' N à 33°30' N et 7°30' W à 9°30' W).

Les résultats des simulations sur les précipitations ont confirmé l'existence d'un double gradient pluviométrique nord-sud et ouest-est (Carte 1) et que toutes les régions connaissent de fortes fluctuations inter-annuelles avec des coefficients de variation de 33 % à 35 % .

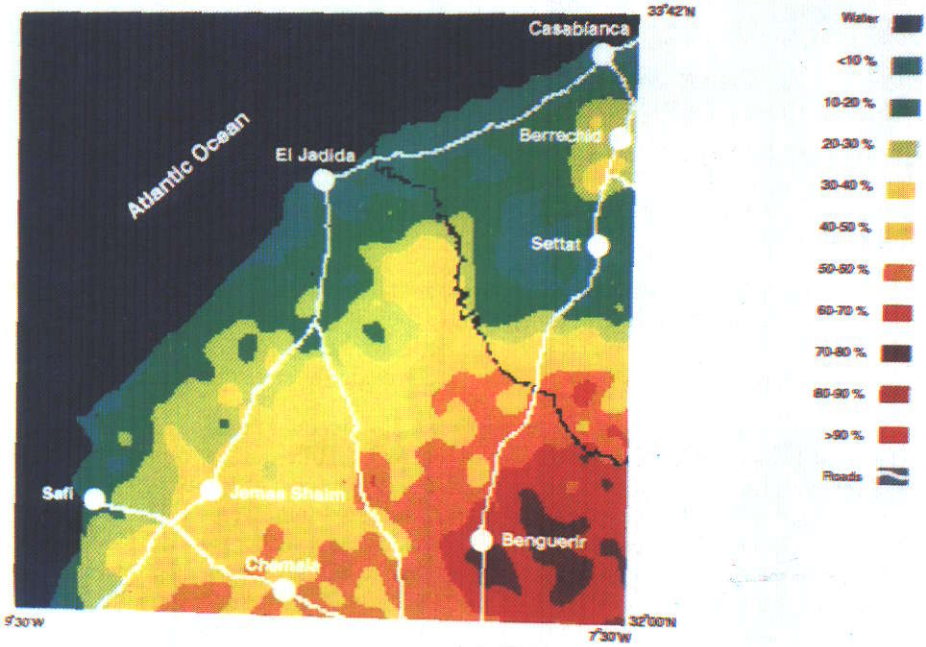
La variation des températures est moins importante bien que la différence de températures, entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid oscille entre 9 à 18 °C au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer. L'absence de températures trop basses dans ces régions permet une croissance continue des cultures en hiver.

L'installation des cultures en automne fait face à des manques de pluies aléatoires. Aussi les probabilités de dates de semis ont été établies et les quantités de premières pluies significatives ont été mesurées (El Mourid et Watts 1994). Les semis précoces de début novembre au 30 novembre se sont avérés les meilleurs dans 70 % des cas. Cependant, les cultures font face à des sécheresses de début de cycle après les levées (novembre-janvier) (sécheresse définie comme la probabilité d'avoir 30 jours avec moins de 30 mm). La carte 2 présente les risques de sécheresse de début de cycle qui varient de 30 % à 90 % suivant essentiellement le gradient pluviométrique ouest-est.

Ainsi une année sur trois (1/3) serait considérée comme sèche aux Doukkala, Ouest de Abda, Chaouia, alors que les Rehamna et Hmar connaîtraient une sécheresse de début de cycle quasi-systématique (70 à 90 %).



Carte 1. Distribution spatiale des précipitations dans la zone test (Casablanca-Settat - Benguerir - Chemaia - Safi). La superficie est de 180 x 180 km environ. Vue Ouest-sud-ouest (32°00'N à 33°30'N et 7°30' W à 9°30'W)

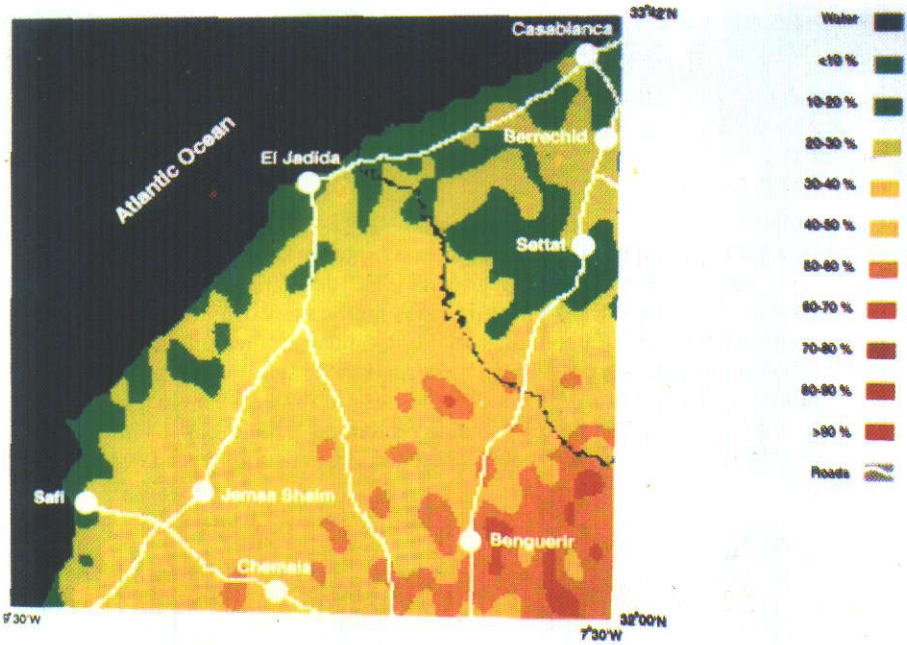


Carte 2. Fréquence (%) de la sécheresse de début de cycle définie comme la probabilité d'avoir 30 jours avec moins de 30 mm après la levée du blé

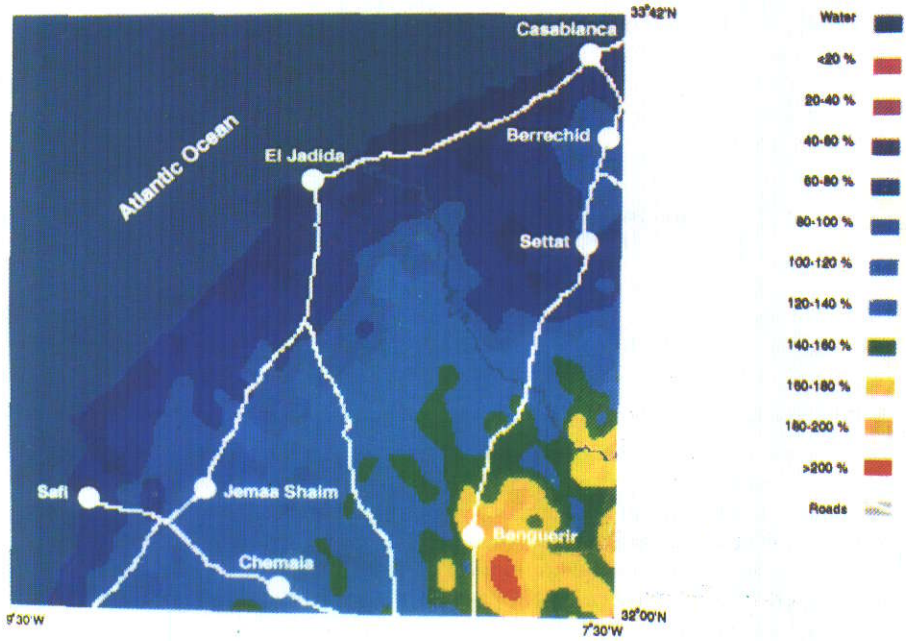
L'évaluation des risques de la sécheresse printanière (déficits hydriques sévères en mars-avril), autre aléa qui caractérise les zones arides et semi-arides, constitue la dernière utilisation qui était faite des modèles Swg/Simtag pour caractériser l'environnement de production dans la zone d'étude. Il ressort de l'analyse de la Carte 3 que les risques de sécheresse de fin de cycle sont aussi courants et varient de 20 % à 90 %. Ainsi la côte atlantique et la haute Chaouia connaîtraient une année sur cinq ce risque (20 %) ; la basse Chaouia, Doukkala, Abda, une année sur trois (30 %) alors que ce risque est systématique dans les Rehamna et Hmar (90 %).

Les rendements potentiels du blé

Les simulations des rendements de blé ont montré une grande variabilité des rendements potentiels entre les régions et entre les années. Ainsi les rendements potentiels oscillent entre 5 qx/ha aux Rehamna et 60 qx/ha dans la Chaouia avec les risques d'obtenir des rendements nuls, 2 années sur 10 à Jemâa Shaim, (Lamine *et al.* 1993, El Mourid 1991). La carte 4, présente les coefficient de variation des rendements potentiels dans la zone d'étude. Ils varient de 40 % à 200 % et suivant les gradients climatiques. Les essais de recherche conduits chez les agriculteurs dans ces zones confirment cette variabilité. Il en découle la nécessité de revoir les stratégies de production agricole dans ces régions afin de mieux exploiter leurs potentialités.



Carte 3. Fréquence de la sécheresse printanière quand les déficits hydriques sont sévères entre le gonflement et la mi- grossissement du grain du blé



Carte 4. Coefficients de variation du rendement grain du blé

Adaptabilité des génotypes précoces et semi-précoces à l'aridité

Le choix de la variété constitue un élément primordial dans la stratégie de production des agriculteurs. Aussi la détermination du type de variété de céréales à conseiller aux agriculteurs des zones arides et semi-arides a toujours été une priorité de la recherche agronomique.

Les simulations réalisées avec Simtag (Lamine *et al.* 1993, Yacoubi *et al.* 1994) comparant trois génotypes différents : précoce (Potam), semi-précoce (Nasma) et tardive (Keyperounda) ont montré l'intérêt d'utiliser des variétés précoces et semi-précoces dans les zones arides et semi-arides marocaines. En effet, les variétés précoces à semi-précoces quand elles sont combinées aux techniques culturales appropriées (semis précoce, désherbage précoce, dose de semi adéquate) permettent de diminuer la fluctuation des rendements et stabiliser ainsi la production agricole. La figure 1, présente les gains de rendement espéré par le choix d'une variété semi-précoce par rapport à une variété tardive (Yacoubi *et al.* 1994).

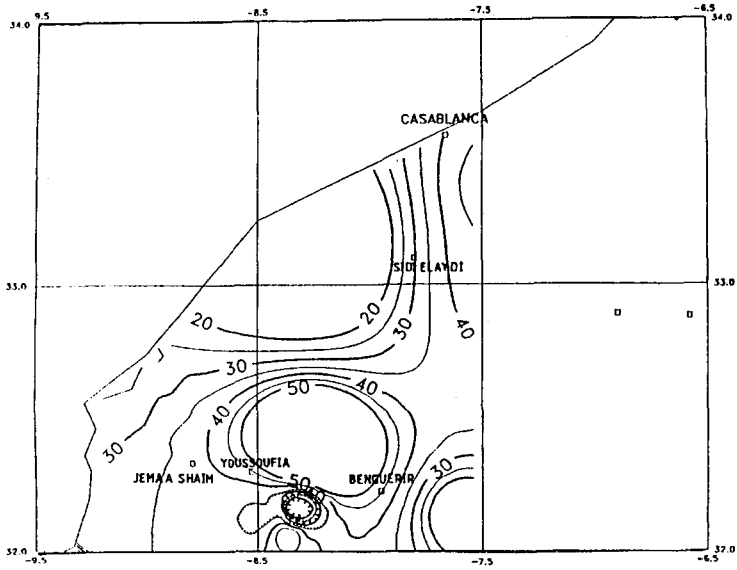


Figure 1. Gain de rendement relatif (%) apporté par la variété précoce quatre années sur cinq

Estimation des écarts entre des rendements potentiels et ceux des agriculteurs

La comparaison des rendements potentiels simulés par Simtag et des rendements réels des agriculteurs estimés par Multisim permettent d'évaluer l'écart de rendement à rattraper au niveau d'une région ou chez un agriculteur. Ainsi, les études réalisées dans la Chaouia, Abda et Saiss permettent de dégager les gains importants de rendements qu'on pourrait réaliser par un ciblage du transfert de technologies (Nordblom *et al.* 1994 ; Boughlala *et al.* 1994). La figure 2 présente les écarts de rendement au Saïss. Des gains de plus de 30 qx/ha sont possibles avec les technologies actuelles.

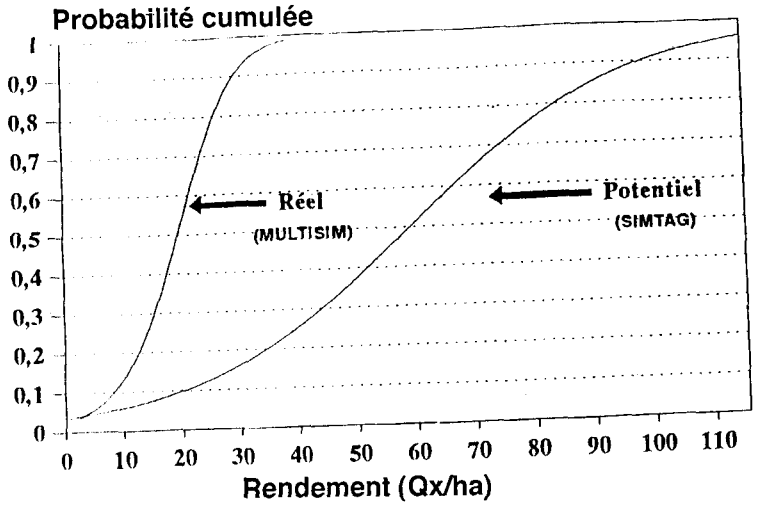


Figure 2. Comparaison entre les rendements réels et potentiels sur blé tendre par niveau de probabilité en sec à Douyet

Prolongements pour la recherche et le développement

Les implications de ces recherches pour le développement et pour la recherche sont multiples. Nous retenons les plus fondamentales parmi elles.

La première a trait à l'intérêt primordial que revêt la connaissance du climat pour le raisonnement de toute action de développement et de recherche dans les zones bour marocaines. Dans ce but une intégration plus grande des services de la météorologie nationale avec la recherche et le développement agricole serait nécessaire pour mettre à profit les données climatiques disponibles et développer des réseaux.

La seconde se rapporte à la collecte et à l'analyse des données climatiques. En effet, de telles investigations nécessitent la disponibilité de données climatiques fiables et la construction de longues séries (plus de 30 ans). Lorsque ces données font défaut, il serait judicieux de multiplier les postes de relevé et d'utiliser les modèles de génération de données climatiques tel que Swg.

La troisième, concerne la fiabilité de l'indicateur statistique à employer pour renseigner le chercheur, le développeur et l'agriculteur sur les conditions climatiques de production. En effet, étant donné l'irrégularité essentiellement des précipitations, l'utilisation des probabilités (analyse fréquentielle) pour caractériser le climat d'une région serait d'une meilleure utilité et restituerait mieux que les moyennes la réalité des distributions des précipitations.

La quatrième concerne la prise en compte, dans toute décision de planification et de développement du caractère hétérogène des zones arides et semi-arides. En effet, l'ampleur des différences qui caractérisent les régions étudiées, impliquerait d'une

part, des stratégies différentes en matière de développement et d'autre part, la prise en compte de ces zones comme des domaines de recherche nettement différenciées.

La cinquième a trait à l'utilité d'une caractérisation des années par les distributions inter-annuelles et les risques de déficits hydriques au cours d'un cycle de croissance. Il en résulterait une typologie d'années qui différencierait entre années sèches ou déficitaires et années pluvieuses ou excédentaires, laquelle distinction pourrait constituer un outil stratégique pour le développement et la production dans ces zones. Une stratégie des années pluvieuses permettant de valoriser les potentialités climatiques du moment et une agriculture plus intensive. Une stratégie des années sèches minimisant la prise de risques, tout en essayant d'assurer un minimum de récolte.

La sixième concerne l'intérêt de l'utilisation des modèles de simulation pour appréhender la réalité agricole. En effet, les modèles développés et validés constituent des outils puissants qui intègrent le sol, la plante et le climat et permettent ainsi d'évaluer les résultats de recherche, tester les nouvelles idées et mesurer les potentialités régionales. Ils permettent aussi de mesurer le risque que prennent les agriculteurs à appliquer une nouvelle technologie : les rendements sont données en terme de probabilité (fréquence). Enfin, ces outils facilitent la prise de décision et permettent de gagner du temps et des coûts de recherche.

Conclusion

Outils d'aide à la prise de décision

L'utilisation des modèles présentés dans cette étude devrait être étendue à d'autres régions du Maroc dans les domaines suivants :

- suivi de la campagne agricole ;
- orientation du transfert de technologies ;
- prévision des rendements ;
- orientation du développement agricole ;
- orientation des programmes de recherche.

Références bibliographiques

Ambroggi R.P. (1988). Usage prépondérant de la pluie au Maroc, vers une approche scientifique du climat marocain. pp 17-19 In. Sécheresse, gestion des eaux et production alimentaire. Actes de la conférence Agadir (Maroc) 21624 novembre 1985. Editions Actes Iav H. II, Rabat.

Ameziane T.E., Ouattar S., El Mourid M., El Ouali A et Selassi M. (1990). Influence des conditions agro-météorologiques sur le développement et le rendement des cultures céréalières dans le nord-ouest africain : cas du Maroc. pp. 75 OMM, Genève, Suisse.

Bennani S., Ouattar S., El Mourid M. (1993). Simulation du rendement grain par le modèle. Simtag. Hommes, *terre et eaux*. vol (23) **93** : 101-109.

Boughlala M., Balaghi R. et El Mourid M. (1996). Validation et utilisation du modèle "Multisim" simulateur des distributions de rendements. In Conférence

aridoculture : Acquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semi-arides du Maroc. Rabat, 24-27 mai 1994.

El Hafid R., El Mourid M., Samir K. and Bakoulou B. (1996). Caractérisation de certaines variétés de blé, d'orge et de triticale sous différentes situations hydriques en conditions de champ et simulées.(Al awamia 93 p 7-23.).

El Mourid M. and Watts D.G. (1993). Rainfall patterns and probabilities in the semi-arid cereal production region of Morocco. pp 59-80. In M. Jones, G. Mathys and Rijks D (eds) : the Agrometeorology of rainfed barley-based farming systems. Proceedings of international symposium Tunis. 6-10 March 1989. Icarda, Aleppo, Syria.

El Mourid M. (1991). Jalons pour une agronomie des zones arides et semi-arides. Mémoire d'ingénieur en chef Inra - Maroc pp 58.

El Mourid M. (1988). Performance of wheat and barley cultivars under different moisture regimes in a semi-arid region. PhD, dissertation, lowa State Univ. Usa.

El Oumri M., El Mourid M., Ambri A., El Ouali A., Gobel W. et Jmyi A. (1994). Carte des sols de la zone test du Projet "Caractérisation agro-écologique". In Atelier sur la caractérisation agro-écologique. 19-22 Avril 1994. Icarda, Alep. Syrie.

Goebel W. (1990). Spatial weather generation : More examples from a case study in the Aleppo area, Nw Syria, In FRMP/Icarda, Annual report pp : 152-185.

Jmyi A., El Ouali A. et M'rabet M. (1994). La problématique de la base de données climatologiques du projet "Caractérisation agro-écologique" In atelier sur la "Caractérisation agro-écologique. 19-22 avril 1994, Icarda, Aleppo, Syrie.

Lamine M., El Mourid M. et Ouattar S. (1993) Simulation de l'effet du régime hydrique sur la productivité du blé tendre; *Al awamia* **81** : 141-158.

Karrou M. et El Mourid M. (1993) Acquis de recherche sur la physiologie du stress hydrique au centre aridoculture. *Al awamia* **81** : 19-33.

Nordblom T., Shomo F., Boughlala M., Gobel W., Harris H., El Mourid M., Ambri A., El Oumri M., Farihane H., El Ouali A. et Jmyi A. (1994) : Farmer interview methods and crop-growth simulation for yield-gap estimation in Morocco. pp 585-586. In International symposium of systems oriented research in agriculture and rural development. Proceedings, Montpellier, France, 21-25 nov. 1994.

Yacoubi M., Zeggaf T.A. et El Mourid M. (1994). Simulation du grain de production du blé par le choix de variétés précoces dans les plaines du Maroc occidental. In atelier sur "la caractérisation agroc-écologique" Icarda 19-22 avril 1994, Aleppo, Syrie.

Zeggaf T.A., El Mourid M. et El Ouali A. ((1994). Validation du package Simagwg dans les conditions marocaines. in atelier sur la "Caractérisation agro-écologique" Icarda 19-22 avril 1994, Aleppo, Syrie.