

Modèle de quantification des déficits hydriques subis par des blés de différentes durées de cycle en climat méditerranéen sub-humide (Saïss, Maroc)

Saloua Bennani, Said Ouattar, Mohammed Ismaïli

Parmi les causes majeures qui limitent les niveaux des rendements céréaliers au Maroc, nous pouvons citer l'effet important des facteurs climatiques sur la productivité des céréales [1-3]. Par un double effet, direct sur le végétal et indirect par l'intermédiaire des techniques culturales, le climat est sans doute le déterminant le plus important de la productivité céréalière.

Le climat méditerranéen se caractérisant par une forte variabilité interannuelle, la conduite des céréales ne peut se raisonner qu'en termes de risques. Il faut pouvoir prendre les décisions statistiquement les meilleures en ce qui concerne la définition des types de génotypes à rechercher, le placement du cycle cultural dans l'année et le meilleur moment pour réaliser les techniques culturales [4]. La description fréquentielle du climat est donc un outil indispensable pour caractériser les régions afin, notamment, d'en déterminer les périodes de sécheresse. La recherche doit donc s'orienter dans le sens d'un élargissement des gammes de précocité et de caractérisation des zones agro-écologiques dans le but de quantifier les risques climatiques saisonniers. Nous pourrions, ainsi, avoir plus de souplesse pour choisir le type de variété le mieux adapté aux conditions climatiques locales [5].

S. Bennani, M. Ismaïli : Département de biologie, Faculté des Sciences, Meknès, Maroc.
S. Ouattar : Département agronomie et amélioration des plantes, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, BP 6206 Rabat Instituts, Rabat, Maroc.

Dans ce but, nous avons quantifié les risques climatiques auxquels sont exposées les céréales d'automne dans une région céréalière importante, le Saïss, puis nous avons recherché la durée de cycle qui s'adapte le mieux aux conditions agroclimatiques de la région pour une même date de semis.

Matériel et méthodes

Les types de précocités

Afin de rendre compte de l'impor-

tance et de la fréquence des déficits hydriques auxquels sont exposées les céréales d'automne dans le Saïss, nous avons simulé le comportement de six gammes de durée de cycle croissant à chaque fois de 20 jours par rapport à la précédente. Nous avons ainsi obtenu trois classes de variétés (précoces, semi-précoces et tardives) dont les durées de cycle s'échelonnent entre 80 et 180 jours (*figure 1*). La moyenne sur 30 ans (1956-1986) des sommes degré-jours atteintes à la maturité physiologique par les différentes gammes de variétés est présentée dans le *tableau 1*.

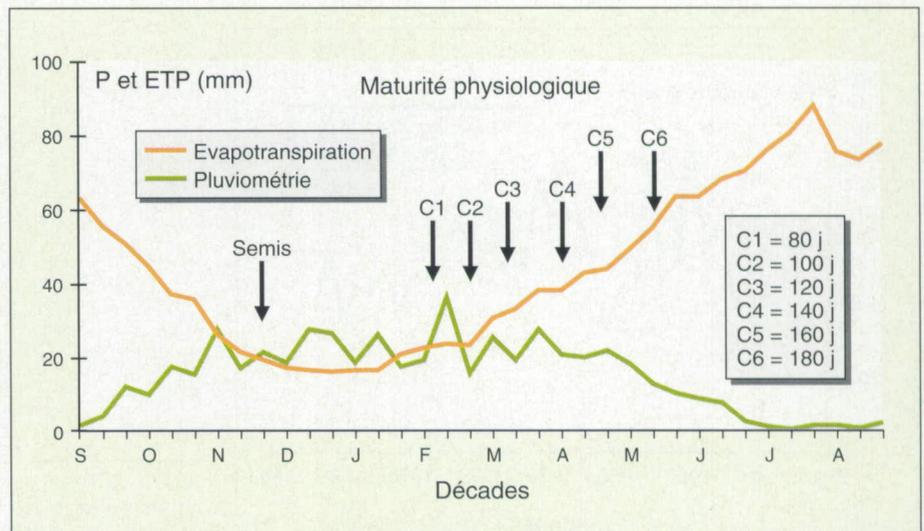


Figure 1. Comparaison des moyennes décadales de l'évapotranspiration potentielle et de la pluviométrie (Saïss, 1957-1986).

Figure 1. Comparison of decadal means of potential evapotranspiration and pluviometry (Saïss : 1957-1986).

Tableau 1

Moyenne sur 30 ans des sommes degré-jours de six variétés de céréales d'automne dans le Saïss

Type de variété	Durée du cycle (jours)	Somme degré-jours
Précoce	80	846
	100	1 064
Semi-précoce	120	1 309
	140	1 557
Tardive	160	1 832
	180	2 149

Means, over 30 years, of the sum of degree-days of six varieties of autumn cereals in the Saïss region

Nous avons choisi une date de semis commune à toutes les simulations, le 20 novembre, qui correspond aux dates moyennes pratiquées dans la région et qui, par ailleurs, nous permet de faire l'hypothèse que la réserve d'eau est suffisamment pleine à cette date pour l'être totalement au début de la saison de croissance active. La valeur de la réserve utile a été estimée à 140 mm.

La région d'étude

Le Saïss se situe dans le nord du Maroc au niveau de l'étage bioclimatique sub-humide [5]. Les données climatiques journalières nécessaires à cette étude ont été enregistrées pendant

trente ans dans la station météorologique de Fès-Saïss qui se situe à une altitude de 571 m (33.58°N ; 4.49°W). Cette région se caractérise par des conditions pluviométriques assez favorables pour la céréaliculture. En effet, elle reçoit en moyenne 530 mm de pluie par an avec un coefficient de variation de 24 % (figure 2). L'évapotranspiration potentielle annuelle totalise 1593 mm et présente un faible coefficient de variation de 6,8 %. Le déficit climatique (P-ETP) régional atteint 1 063 mm et accuse une forte variabilité interannuelle (19,5 %). Les précipitations dépassent, en moyenne, l'évapotranspiration de novembre à février (ou même début

avril une année sur quatre). Au-delà de ces périodes, les déficits décennaires sont importants et peuvent dépasser 60 mm (figure 1).

Dans cette région, assez favorable, l'assolement est très diversifié. On y trouve le blé dur, le blé tendre, le maïs, les légumineuses alimentaires, la jachère ainsi que d'autres cultures. Les niveaux de rendements des céréales sont élevés (en 1988-1989, pour une pluviométrie de 407 mm, le rendement moyen régional des quatre céréales a été de 13,60 qx/ha) bien que connaissant de fortes fluctuations liées à la variabilité climatique [6].

La méthode de travail

Nous avons utilisé un modèle semi-empirique de simulation du déficit hydrique, le modèle SIMUDEF, développé par Tayâa *et al.* [7] et disponible au Département d'agronomie et d'amélioration des plantes de l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II de Rabat (Maroc). Ce modèle s'inspire de celui mis au point par Raes *et al.* [8], le modèle BUDGET, et est basé sur les grandes lignes décrites par Doorenbos et Pruitt [9].

Entrées et sorties du modèle

Le modèle SIMUDEF intègre un certain nombre de données (entrées du modèle) climatiques (température moyenne, radiation, vitesse du vent, pluviométrie et humidité relative) ; pédologiques (réserve utile et réserve facilement utilisable) et culturales (date de semis, durée des stades de croissance, durée du cycle, coefficients culturaux et profondeur d'enracinement) et permet de calculer (sorties du modèle) neuf indices agroclimatiques très importants pour quantifier les risques climatiques :

- l'évapotranspiration de référence (ET₀ en mm) ;
- l'évapotranspiration de la culture (ET_c en mm) ;
- le déficit hydrique (DH* en mm) ;
- l'indice de déficit hydrique (IDH** en %) ;
- le taux de satisfaction des besoins en eau de la culture (IS en %) ;
- la profondeur racinaire (en m) qui est variable au cours du cycle suivant un modèle linéaire entre la valeur la

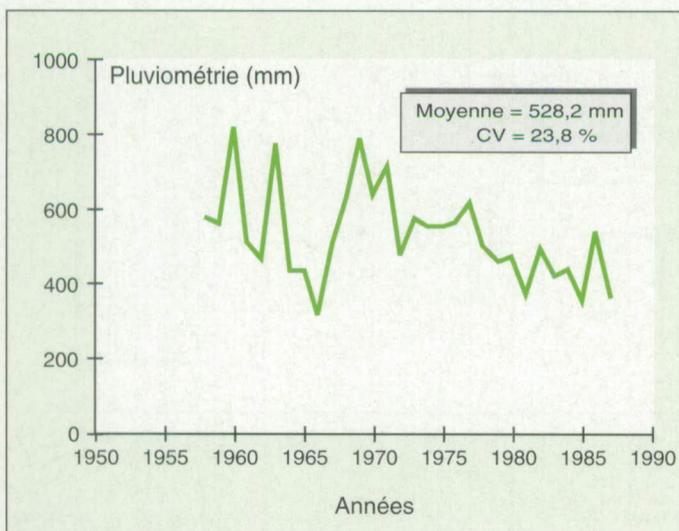


Figure 2. Évolution interannuelle de la pluviométrie (Saïss, 1957-1986).

Figure 2. Interannual pluviometric variations (Saïss : 1957-1986).

* DH : différence entre les pertes d'eau (ET_c) et les gains d'eau (pluviométrie efficace + stock d'eau pour la culture).
 ** IDH : rapport entre DH et ET_c × 100.

plus faible et la valeur maximale atteinte par le système racinaire ;

— les coefficients culturaux (K_c) ;

— l'eau stockée dans le sol (en mm).

Dans le modèle, il est supposé que les premières pluies ou une pré-irrigation ramènent le sol à la capacité au champ au début de la saison de croissance. Si le terme DH est négatif (surplus d'eau), le déficit est considéré comme nul, et le surplus sera destiné à être stocké dans le sol ;

— la pluviométrie efficace (en mm).

Le modèle permet de faire une estimation de la fraction de pluie réellement utilisée par la plante et donc des pertes par ruissellement, percolation, évaporation ou autres.

Étapes de calcul

Le programme SIMUDEF est constitué de trois modules, ETref, ETcrop, DEFICIT pouvant être utilisés indépendamment les uns des autres ou de manière successive, les sorties d'un module servant d'entrées à l'autre module. Le pas de calcul peut être, en fonction de la disponibilité des données climatiques, quotidien, décadaire ou mensuel. Pour notre étude, nous avons choisi un pas de temps quotidien.

Le calcul de l'évapotranspiration de référence (ET_o du gazon) est basé sur la formule modifiée de Penman [9]. L'ET_c, évapotranspiration d'une culture en l'absence de maladie, bénéficiant de conditions d'alimentation hydrique et minérale optimales et produisant des rendements potentiels, est obtenue en multipliant ET_o par les coefficients cul-

turaux K_c qui sont déterminés par la méthode de Doorenbos et Pruitt [9] qui nécessite une répartition du cycle cultural en quatre phases de croissance : phase initiale, de développement, de mi-saison, d'arrière-saison. Des normes spécifiques sont utilisées pour les variétés et les conditions locales.

Les déficits hydriques (DH) sont obtenus en intégrant les valeurs d'ET_c obtenues dans l'équation du bilan hydrique. DH évalue l'intensité du déficit hydrique et donne une idée sur les besoins en irrigation, c'est-à-dire les suppléments d'eau à apporter dans le cas où l'irrigation est disponible [10]. Ces valeurs permettent de calculer celles de l'indice de déficit hydrique (IDH) qui est un pourcentage beaucoup plus représentatif des besoins réels de la plante pendant la durée du cycle. Le déficit d'alimentation sera d'autant plus élevé que l'indice de déficit hydrique aura des valeurs élevées (tendant vers 100) [10].

Le taux de satisfaction des besoins en eau de la culture (TS) représente la différence à 100 de l'IDH.

Résultats et discussion

Vérification du modèle

Le modèle a été testé, calibré et validé sur la base de données expérimentales mesurées à la station de Oulad Gnaou (Tadla). En ce qui concerne la vérification du modèle, elle a été réalisée

sur deux années contrastées dont les données n'ont pas servi au calage : 1978-1979 et 1985-1986 pour l'évapotranspiration de la culture. Les valeurs simulées sont calculées en utilisant les coefficients culturaux moyens des trois années du calage.

L'analyse de la régression linéaire, présentée dans le *tableau 2*, montre que les coefficients de corrélation sont très hautement significatifs : 0,92 et 0,95. La combinaison des deux années donne également un coefficient de corrélation très hautement significatif (0,92) avec une pente de droite proche de l'unité.

Nous avons représenté graphiquement dans les *figures 3, 4 et 5* la confrontation entre les évapotranspirations de la culture observées et simulées. Pour l'année 1978-1979, les évapotranspirations de la culture simulées sont légèrement surestimées par rapport à celles observées. Par contre, pour l'année 1985-1986, le nuage de points s'ajuste bien avec la droite d'exacte prédiction. Le nuage de points obtenu en combinant les deux années de vérification montre que l'ajustement est globalement satisfaisant.

Le déficit hydrique

Les résultats du calcul de la moyenne des déficits hydriques subis en fonction de la durée du cycle des variétés utilisées, pour une série climatique de trente années, sont rapportés dans le *tableau 3*.

Ces résultats montrent que les déficits hydriques moyens subissent de grandes variations en fonction de la précocité. Ils sont de 21 mm pour la variété la plus précoce contre 262 mm pour la plus tardive. Lorsque la durée du cycle est doublée, le déficit hydrique moyen se trouve augmenté de huit fois.

L'évolution interannuelle des déficits hydriques est illustrée dans les *figures 3, 4 et 5*. L'analyse de ces résultats montre que les déficits hydriques restent toujours inférieurs à 100 mm quelle que soit l'année considérée, pour des précocités de 80 et 100 jours (*figure 3*). Ils dépassent 100 mm à partir d'une précocité de 120 jours (*figure 4*). Ils excèdent 200, 300 et 400 mm pour des précocités de, respectivement, 140, 160 et 180 jours (*figures 4 et 5*).

Ces déficits hydriques peuvent atteindre des niveaux très élevés extrême-

Tableau 2

Résultats de la vérification de l'évapotranspiration de la culture (méthode de la régression linéaire)

Année	Droite de régression	Coefficient de corrélation (r)	Signification de r
1978-79	$Y = 3,581 + 1,054 X$	0,915	THS
1985-86	$Y = 4,178 + 0,951 X$	0,951	THS
Les deux années combinées	$Y = 4,438 + 0,938 X$	0,920	THS

THS = coefficient de corrélation très hautement significatif (= 1 %)

Results of crop evapotranspiration verification (linear regression method)

Tableau 3

Moyennes sur 30 ans et coefficients de variation du déficit hydrique subi par six variétés de céréales d'automne dans le Saïss

Type de variété	Durée du cycle (jours)	Déficit hydrique moyen (mm)	Coefficient de variation (%)
Précoce	80	21	66
	100	36	80
Semi-précoce	120	60	71
	140	98	62
Tardive	160	167	50
	180	262	42

Means, over 30 years, and coefficients of variation of the water deficit undergone by six varieties of autumn cereals in the Saïss region

ment préjudiciables au métabolisme de la plante. Ceci est particulièrement vrai lorsque des variétés tardives (précocités de 160 et 180 jours) sont utilisées (figure 5) pour lesquelles des déficits néfastes pour le rendement sont rencontrés plus d'une année sur deux. L'emploi de variétés précoces ou semi-précoces permet de ramener ces déficits à des niveaux qui n'excèdent jamais 100 mm pour des précocités de 80 et 100 jours (figure 3). Ils sont tantôt inférieurs à 100 mm et tantôt compris entre 100 et 200 mm pour les variétés semi-précoces (cycles culturaux de 120 et 140 jours) (figure 4). Ces

déficits hydriques se caractérisent dans cette région par une très forte variabilité interannuelle (coefficients de variation compris entre 42 et 80 %). Ces résultats corroborent ceux obtenus par Baïdada [11] pour une même date de semis et une même réserve utile.

L'indice de déficit hydrique

Les indices de déficit hydrique de chacune des variétés ont été classés en quatre catégories représentant chacune un niveau donné (faible, tolérable, critique, extrême).

Les moyennes de l'indice de déficit hydrique en fonction de la durée du

cycle sont représentées dans le tableau 4.

L'analyse de ces résultats montre que l'indice de déficit hydrique moyen varie entre 13 % pour la variété la plus précoce et 43 % pour la plus tardive, soit une augmentation de 30 %. Les variétés les plus tardives, à cycle cultural de 180 jours, sont les seules à être exposées, en moyenne, à des déficits hydriques critiques. Par ailleurs, ces indices de déficits hydriques sont extrêmement variables d'une année à l'autre quelle que soit la variété considérée. Les coefficients de variation varient entre 35 % pour une précocité de 180 jours et 70 % pour une précocité de 100 jours.

L'évolution interannuelle de l'indice de déficit hydrique pour la période allant de 1957 à 1986 est représentée dans les figures 6, 7 et 8. Pour les variétés précoces (80 et 100 jours), l'indice de déficit hydrique est toujours inférieur à 40 %, valeur considérée comme critique par certains auteurs [12] quelle que soit l'année considérée (figure 6). Par ailleurs, le taux de satisfaction des besoins en eau de la culture dépasse 80 % neuf années sur dix pour une précocité de 80 jours contre deux années sur trois pour une précocité de 100 jours. En ce qui concerne les variétés semi-précoces (120 et 140 jours), les indices de déficit hydrique peuvent

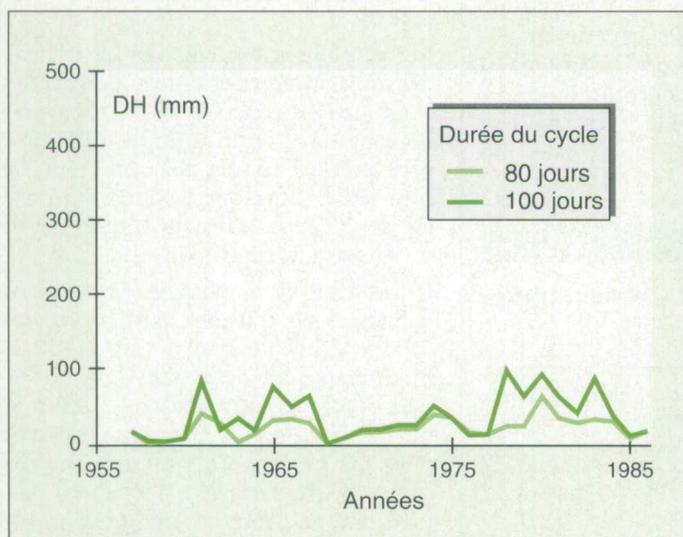


Figure 3. Variation des déficits hydriques (DH) subis par deux variétés précoces dans le Saïss (1957-1986).

Figure 3. Variations in water deficits (DH) undergone by two early varieties in the Saïss region (1957-1986).

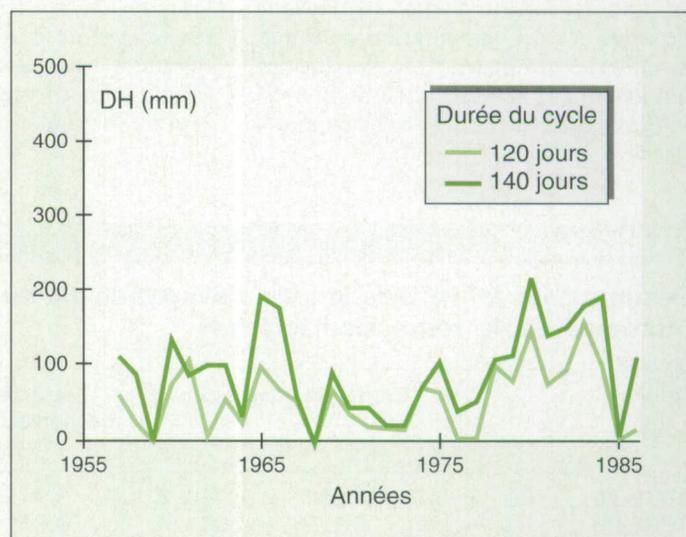


Figure 4. Variation des déficits hydriques (DH) subis par deux variétés semi-précoces dans le Saïss (1957-1986).

Figure 4. Variations in water deficits (DH) undergone by two semi-early varieties in the Saïss region (1957-1986).

Tableau 4

Moyennes sur 30 ans et coefficients de variation de l'indice de déficit hydrique de six variétés de céréales d'automne dans le Saïss

Type de variété	Durée du cycle (jours)	Indice de déficit hydrique (%)	Coefficient variation (%)
Précoce	80	13	56
	100	16	70
	120	20	65
Semi-précoce	140	26	55
	160	34	43
Tardive	180	43	35

Means, over 30 years, and coefficients of variation of the water deficit index of six varieties of autumn cereals in the Saïss region

dépasser 50 % (figure 7). Néanmoins, 60 % au moins de leurs besoins en eau seront satisfaits pratiquement neuf années sur dix. Pour ce qui est des variétés tardives (160 et 180 jours), les indices de déficit hydrique dépassent 60 % avec un maximum de 71 % pour les précocités de 180 jours (figure 8). Ils sont critiques plus d'une année sur deux et peuvent même atteindre des niveaux extrêmes une année sur quinze. Par conséquent, ces cultures ne verront que rarement leurs besoins en eau satisfaits.

L'analyse fréquentielle de l'indice de déficit hydrique par type de variété (figure 9) montre que le seuil critique pour l'alimentation hydrique de 40 % est atteint plus d'une année sur deux pour les variétés tardives contre une année sur six pour les variétés semi-précoces. Il n'est jamais atteint par les variétés précoces. Les variétés semi-précoces verront une année sur deux plus de 80 % de leurs besoins en eau satisfaits tandis que 60 à 80 % de ces besoins seront satisfaits une année sur deux. L'indice de déficit hydrique des

Summary

Model for quantifying water deficits undergone by wheats with different length of cycle under sub-humid mediterranean climate (Saïss, Morocco)

S. Bennani, S. Ouattar, M. Ismaili

In this study, we used a model called « SIMUDEF » to assess climatic conditions of the Saïss region (Morocco) and simulate effects of the water stress on wheat.

The model was used to test the behaviour of six wheat genotypes differing in their earliness (80, 100, 120, 140, 160 and 180 days to maturity).

The model generated results useful in characterizing regional climatic conditions (rainfall distribution, evapotranspiration, climatic deficit). In addition, crop evapotranspiration and crop water deficit were determined for the six genotypes tested.

It was shown that the genotype best adapted to the Saïss climatic patterns had a 140 days maturity cycle.

Cahiers Agricultures 1992 ; 1 : 341-7.

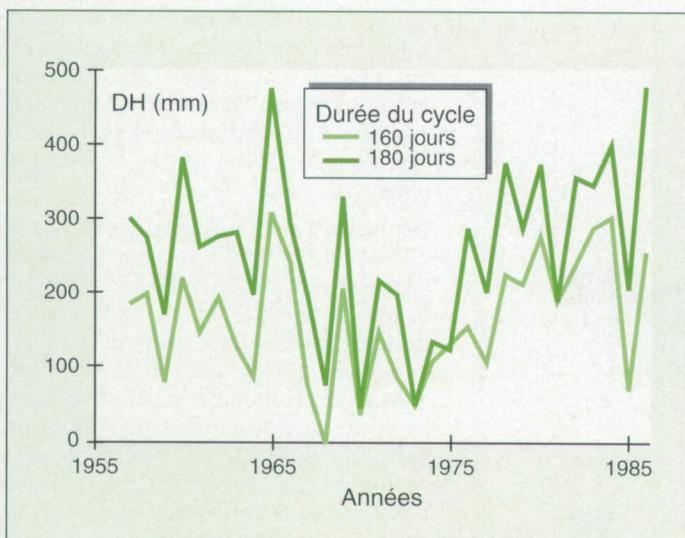


Figure 5. Variation des déficits hydriques (DH) subis par deux variétés tardives dans le Saïss (1957-1986).

Figure 5. Variations in water deficits (DH) undergone by two late varieties in the Saïss region (1957-1986).

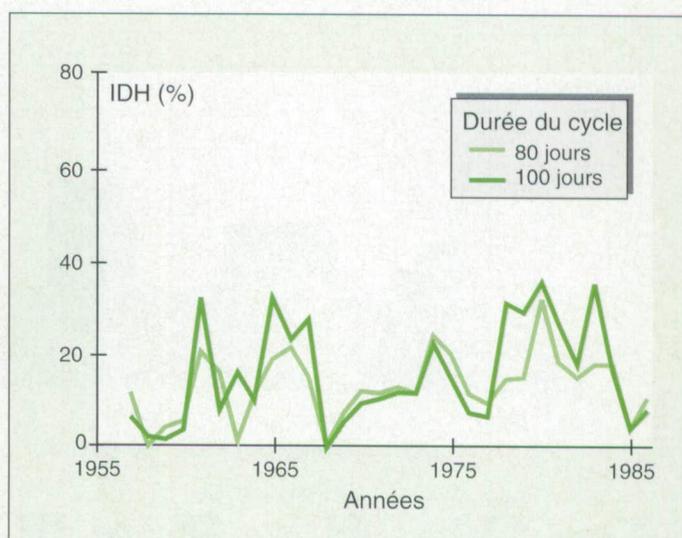


Figure 6. Variation des indices de déficit hydrique (IDH) de deux variétés précoces dans le Saïss (1957-1986).

Figure 6. Variations in the water deficit indices (IDH) for two early varieties in the Saïss region (1957-1986).

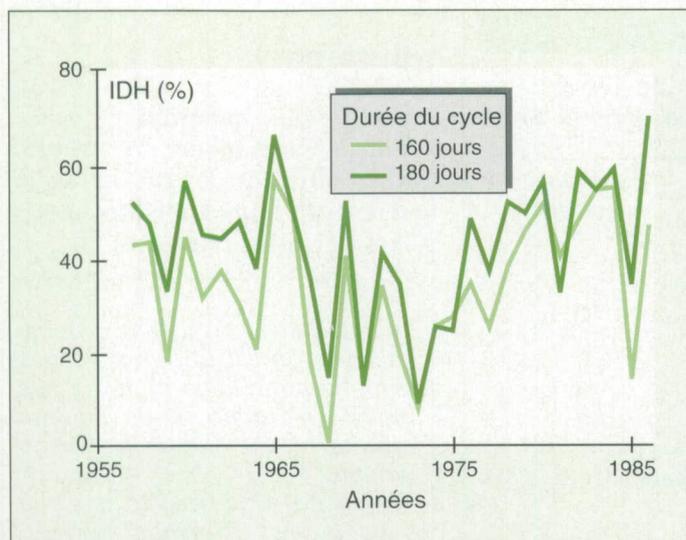


Figure 7. Variation des indices de déficit hydrique (IDH) de deux variétés semi-précoces dans le le Saïss (1957-1986).

Figure 7. Variations in the water deficit indices (IDH) for two semi-early varieties in the Saïss region (1957-1986).

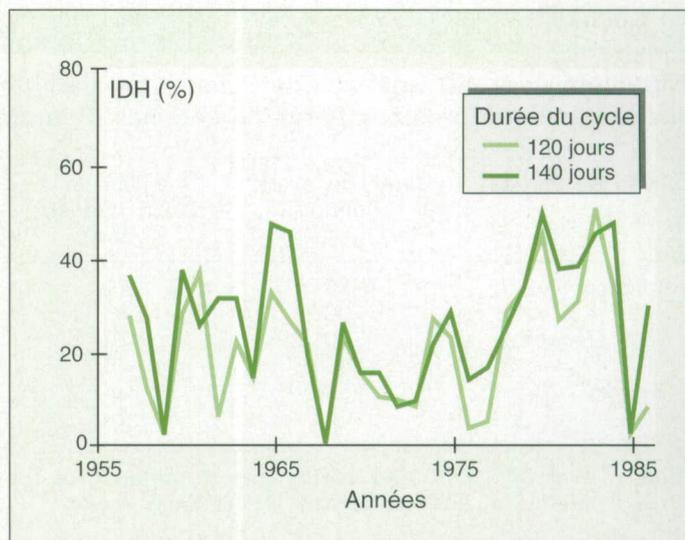


Figure 8. Variation des indices de déficit hydrique (IDH) de deux variétés tardives dans le Saïss (1957-1986).

Figure 8. Variations in the water deficit indices (IDH) for two late varieties in the Saïss region (1957-1986).

variétés précoces se place, quant à lui, le plus souvent à des niveaux faibles (deux années sur trois).

Des résultats comparables ont été obtenus par Ouattar *et al.* [13] pour une culture de tournesol. Ces auteurs ont montré que, pour un semis d'automne, ce sont les génotypes précoces et intermédiaires qui se développent dans les meilleures conditions.

Conclusion

Le modèle SIMUDEF a permis de quantifier les aléas climatiques auxquels sont exposées les céréales d'automne dans la région du Saïss. Ces résultats ont été ensuite analysés afin d'orienter le choix du type de variété qui s'adapte le mieux à la région. Ce

choix est déterminant quant aux possibilités d'alimentation hydrique des céréales d'automne dans le Saïss.

Puisque les gammes de variétés précoces, bien que présentant des déficits hydriques faibles ne dépassant pas 100 mm, sont à écarter parce que la brièveté de leur cycle constitue un handicap au niveau de l'installation des composantes du rendement, on doit rechercher des variétés à cycles plus longs. Mais l'utilisation de variétés tardives, plus productives, est trop risquée par rapport aux possibilités d'alimentation hydrique de la région. Elles sont exposées à des indices de déficits hydriques supérieurs à 40 % plus d'une année sur deux.

Les variétés semi-précoces (précocités de 120 et 140 jours), semblent les mieux adaptées aux conditions climatiques de la région puisqu'elles ne subissent des déficits hydriques critiques qu'une année sur quinze pour la précocité de 120 jours et une année sur six pour la précocité de 140 jours. Par rapport aux gains de productivité espérés grâce à l'allongement du cycle de la culture, nous pouvons considérer que c'est un risque à prendre. Par conséquent, nous préconisons l'utilisation de durées de cycle de 140 jours pour des semis du 20 novembre qui réalisent le meilleur compromis entre durée de cycle optimale et niveaux tolérables de déficit

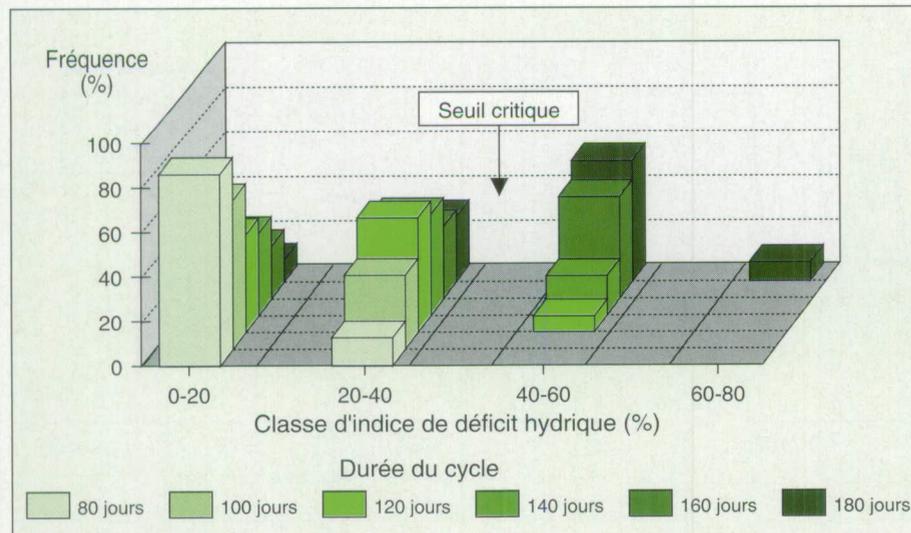


Figure 9. Variation des fréquences de l'indice de déficit hydrique en fonction de la précocité dans le Saïss (1957-1986).

Figure 9. Variation in the water deficit index frequencies as a function of earliness in the Saïss region (1957-1986).

hydrique. Ceci est confirmé dans la pratique puisque ce sont ces types de variétés qui sont utilisés par les agriculteurs dans la région.

Ce modèle s'est donc avéré être un outil fiable en ce qui concerne l'étude climatique et agro-climatique. En revanche, il ne nous a pas renseigné sur les rendements potentiels des différentes précocités utilisées. Par conséquent, il est nécessaire de lui intégrer des relations rendement-déficit avant de pouvoir l'utiliser comme modèle de prédiction des rendements.

Les résultats obtenus rejoignent ceux d'autres auteurs [11, 14]. Ouattar *et al.* [13] ont montré, dans la même région, que, pour une culture de tournesol et pour un semis d'automne, les génotypes intermédiaires (1600 d°.j) sont les plus appropriés puisqu'ils offrent des rendements potentiels élevés tout en supportant des déficits hydriques assez importants. Papy [15] a souligné l'importance de la recherche de variétés précoces dans les régions où la sécheresse intervient en fin de cycle de la plante. Derera *et al.* (1969, cités par Nassir [16]) ont rapporté que 40 à 90 % de la variation dans les rendements des génotypes étudiés pouvait être due à la précocité ■

Résumé

Dans cette étude, nous avons utilisé le modèle de simulation du déficit hydrique SIMUDEF pour quantifier de façon précise les contraintes climatiques qui limitent les productions céréalières dans la région du Saïss (Maroc).

Ce modèle a permis de caractériser les paramètres climatiques régionaux (précipitations, évapotranspiration, déficits climatiques) et les conditions d'alimentation hydrique des cultures céréalières (évapotranspiration de la culture, déficits hydriques, indices de déficit hydrique et taux de satisfaction des besoins en eau de la culture).

Il a également permis de tester le comportement d'une large gamme de génotypes de blé différents par leur précocité. Les simulations de six durées de cycle de blé ont permis de déterminer l'importance et les risques d'occurrence de déficits hydriques pour les différents génotypes.

Par ailleurs, nous avons mis en évidence que parmi les six précocités étudiées (80, 100, 120, 140, 160 et 180 jours), le génotype dont le cycle cultural est de 140 jours s'est avéré le meilleur du fait qu'il assure une précocité optimale sans s'exposer à des déficits hydriques intenses.

Références

1. Ouattar S, Ameziane TE. L'étude du climat en agriculture. Nouvelle approche d'un vieux problème. HTE 1983 ; 52-3.
2. Chlouchi M. Étude du maïs en Bour. Place du cycle dans l'année et choix du type de précocité. Mémoire de fin d'étude. IAV Hassan II, Rabat, 1979.
3. Ouattar S, Mathieu A, Lacroix B. Optimisation de la place du cycle du maïs et détermination du type de précocité le plus adapté à certaines zones de Meknès, Doukkala et Abda. Doc. Ronéo, IAV Hassan II, Rabat, 1978-1980.
4. Lelièvre F. Caractérisation du développement de quatre variétés de blé dur et de blé tendre cultivées au Maroc. *Bull d'Agro Jam Fo*, 1979 ; 1 : 1-15.
5. Ouattar S, Ameziane TE. Les céréales au Maroc. De la recherche à l'amélioration des techniques de production. Les éditions Toukbal, 1989 ; 123 p.
6. Ameziane TE, Ouattar S, El Mourid M, El Ouali A, Selassi ML. Influence des conditions agro-météorologiques sur le développement et le rendement des cultures céréalières dans le Nord-Ouest africain. Cas du Maroc. Organisation Météorologique Mondiale, 1990.
7. Tayâa M, Ouattar S, Ameziane TE. A modeling approach to ecological zoning in relation to land and water resources management. In : IFS Workshop on Management of Water and Natural Resources to Increase Food Production in Africa, March 9-14 1987, Niamey, Niger. IFS, 1988.
8. Raes D. A summary model of the water budget of a cropped soil (BUDGET). Doctoral thesis, KU Leuven, Leuven, Belgium, 1982 ; 110 p.
8. Raes D, Van Aelst P, Wyseur G. ETREF, ETCROP, ETSPLIT and DEFICIT : a computer package for calculating crop water requirements. Reference Manual 1, Laboratory of soil and water. Engineering, KU Leuven, Belgium, 1986 ; 104 p.
9. Doorenbos J, Kassam AH. Yields response to water. Irrigation and drainage paper n° 33. Rome : FAO, 1979 ; 193 p.
9. Doorenbos J, Pruitt WO. Crop water requirements. Irrigation and drainage paper n° 24. Rome : FAO, 1977 ; 144 p.
10. Diouf M, Ouattar S. Étude de la sécheresse et potentialités des céréales en zone semi-aride. Projet Abda-Ahmar. 1984 ; 3 : tome 1.
11. Baïdada A. Élaboration et validation d'un modèle de simulation du déficit hydrique. Applications aux études agroclimatiques régionales. Mémoire de 3^e cycle. IAV Hassan II, Rabat, 1989.
12. Yao A, Augustine YM. Agricultural potential estimated from the ratio of actual to potential evapotranspiration. *Agric Meteo* 1974 ; 13 : 405-17.
13. Ouattar S, Ameziane TE, Baïdada A. Sunflower adaptation to its environment in Morocco. IDRC Sesame and sunflower subnetworks steering comitee. Meeting 9-15 September 1989, Egypt.
14. El Foukhari R. Contribution à l'élaboration et à la validation d'un modèle de prédiction du déficit hydrique : cas de la betterave à sucre. Mémoire de 3^e cycle. IAV Hassan II, Rabat, 1990.
15. Papy F. Analyse du comportement des cultures de blé dur et d'orge dans différentes régions céréalières du Maroc à travers leur réaction aux variations interannuelles des régions pluviométriques. Comptes rendus de l'Académie française d'Agriculture 1979 ; 31.
16. Nassir A. Évaluation des écotypes marocains de maïs : étude de la résistance à la sécheresse (II). Mémoire de 3^e cycle. IAV Hassan II, Rabat, 1987.