

Stress hydrique, comportement physiologique et rendement du maïs hybride (cv. Manuel) au Liban

Fadi Karam, Joëlle Breidy, Joe Roupheal, Rafic Lahoud

Dans les régions semi-arides du Liban, notamment la plaine de la Békaa, l'irrigation représente une intervention vitale pour le développement et le progrès de l'agriculture. Dans ces régions, les eaux utilisées en irrigation proviennent principalement des nappes phréatiques. Ces dernières connaissent actuellement des niveaux de plus en plus bas suite aux surexploitations des eaux souterraines [1].

La betterave à sucre, la pomme de terre, le blé dur et le maïs sont les cultures les plus répandues dans les parties centrales de la plaine de la Békaa. Parmi ces cultures, le maïs est connu pour avoir la consommation la plus élevée en eau [2]. Les données bibliographiques indiquent des chiffres compris entre 900 mm et 1 000 mm [3]. Cependant, la consommation en eau du maïs semble être dépendante de facteurs tels que la longueur du cycle de végétation, la demande climatique et le calendrier d'irrigation [4].

L'effet de l'irrigation sur le rendement de grains et l'efficacité d'utilisation de l'eau

du maïs ont fait l'objet de plusieurs études [4-7]. Plusieurs auteurs ont trouvé un rapport étroit entre le rendement de grains et les quantités d'eau apportées [8, 9]. D'autres ont mis en relief la sensibilité du maïs au stress hydrique, particulièrement au moment de la floraison [10, 11]. D'une manière générale, la production du maïs dépend de la durée et de l'intensité du stress hydrique, mais aussi du stade phénologique où il intervient [12]. On a même montré des chutes de rendement dépassant 90 % suite à un stress hydrique appliqué lors de la floraison [13]. Compte tenu de la sensibilité du maïs au stress hydrique, il serait difficile d'appliquer des irrigations déficitaires sans avoir une perte de rendement [14, 15].

Les objectifs de cette étude se résument comme suit :

1. Déterminer l'effet du stress hydrique, appliqué sur l'ensemble du cycle de la culture, sur le comportement physiologique, la croissance et le rendement de grains.
2. Étudier l'influence de l'intensité du stress hydrique sur la consommation en eau et l'efficacité de son utilisation par la culture.

Matériel et méthode

Site expérimental

L'expérimentation a été réalisée en 1998 à l'Institut de recherches agrono-

miques du Liban (IRAL), station de Tal Amara (latitude 33° 51' 51" N, longitude 35° 59' 11" E, altitude 905 m), en climat de type continental semi-aride, caractérisé par un hiver court, très froid et peu humide et un été chaud et très sec s'étendant de mai à septembre. Les relevés météorologiques enregistrés à Tal Amara pendant la période (1953-1974) montrent une pluviométrie moyenne de 595 mm par an, avec un maximum de précipitations de 145 mm pendant le mois de janvier. Les sols ont une texture à dominance argileuse (44 %).

Matériel végétal et fertilisation

Le maïs hybride (cv. Manuel) a été semé le 19 mai 1998, à raison de 33 plantes par m². Un éclaircissage a eu lieu au stade de 3 feuilles, aboutissant ainsi à une densité de 12 plantes par m². Un apport d'engrais à raison de 75 kg/ha de phosphate à 20 % de P₂O₅ et de 150 kg/ha de potasse à 30 % de K₂O a eu lieu le jour même du semis. Une fertilisation azotée de 120 kg/ha de nitrate d'ammoniaque a été appliquée par moitié aux stades de 6 et 10 feuilles.

Les dates des principaux stades phénologiques de la culture ont été notées lorsque 50 % des plantes l'ont atteint [5], aboutissant ainsi au schéma phénologique suivant : semis (le 19 mai 1998, jour t), germination (t + 4), début période végétative (t + 16), stade 6 feuilles

F. Karam, J. Roupheal, R. Lahoud : Institut de recherches agronomiques du Liban, Département d'irrigation et d'agrométéorologie, PO Box 287, Zahlé, Liban.

J. Breidy : Institut de recherches agronomiques du Liban, Département d'amélioration des plantes, PO Box 287, Zahlé, Liban.

Tirés à part : F. Karam

Thèmes : Physiologie végétale ; Argonomie phytotechnique ; Climatologie.

(t + 25), stade 8 feuilles (t + 32), plein développement végétatif (t + 44), floraison mâle (t + 65), floraison femelle (t + 71), début formation des grains (t + 77), formation complète des grains (t + 99) et récolte (t + 128).

Dispositif expérimental

L'essai a été conduit sur un terrain de 2 200 m² de superficie, subdivisé également en trois grandes parcelles représentant les traitements en jeu : I-100, témoin irrigué à 100 % de la capacité au champ ; I-80 et I-60, traitements irrigués respectivement à 80 % et à 60 % de la capacité au champ.

Les parcelles sont espacées de 2 m et sont entourées dans toutes les directions de lignes de bordure. Dans chaque parcelle, des carrés de 1 m² de superficie, au nombre de 5, ont été choisis aléatoirement pour les mesures biologiques.

Le schéma statistique *Split Plot* ou traitement à parcelles subdivisées, a été appliqué, avec trois traitements et cinq répétitions. La mise en évidence des différences significatives entre les traitements a été réalisée au moyen du test Student-Newman-Keuls au seuil de 5 % de probabilité.

La différenciation des traitements irrigués a été faite en suivant l'évapotranspiration de la culture (ET) mesurée sur un lysimètre à drainage placé au milieu du terrain expérimental. Le lysimètre a une superficie de 16 m² et une profondeur de 1,5 m. Son volume est de 24 m³ (figure 1). Des couches successives de 15 cm de cailloux, 5 cm de gravier et 5 cm de sable constituent le fond drainant du lysimètre où un tuyau perforé de 50 mm de diamètre sert à recueillir l'eau de drainage avant de la déverser dans un collecteur situé dans une chambre sous-jacente. Ainsi, l'évapotranspiration sera mesurée comme la différence entre les apports d'irrigation et le volume de drainage (*encadré*).

Modes d'irrigation

L'eau d'irrigation était délivrée aux parcelles par aspersion le jour du semis et jusqu'au stade de 8 feuilles (32 jours après le semis), date de la différenciation des traitements irrigués, où un système d'irrigation goutte à goutte a remplacé les asperseurs. Le but de cette technique est de réduire les pertes d'eau à cause des vents forts typiques de la région, et de permettre en même temps de mieux dégager l'effet du stress hydrique sur les parcelles

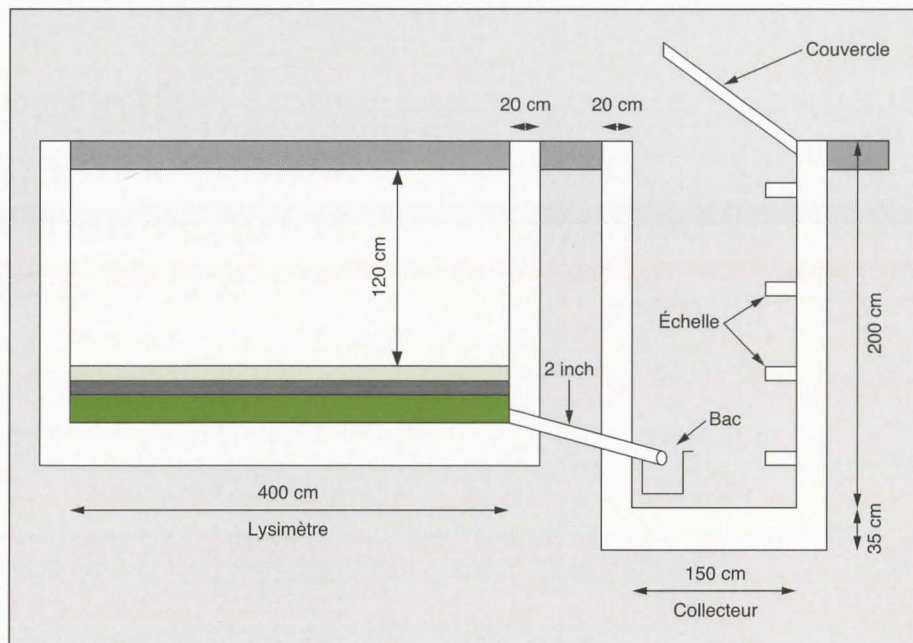


Figure 1. Schéma du lysimètre à drainage.

Figure 1. Drawing of the drainage lysimeter.

Encadré

Irrigation du lysimètre

Le lysimètre a été irrigué régulièrement chaque semaine avec des doses d'eau comblant le déficit hydrique de 7 jours. Cet intervalle a été choisi à partir de l'évaporation du bac classe « A » qui se trouve dans une station météorologique adjacente et dont la quantité d'eau évaporée atteint moyennement en été un total de 70 mm par une semaine, soit 40 % de la réserve utile du sol de Tal Amara. La capacité de rétention hydrique du sol pour une profondeur de 1 m est de 170 mm.

L'eau fournie au lysimètre était mesurée avec précision grâce à un réservoir d'eau de 200 litres de capacité, muni d'un tuyau souple en toile de 50 mm de diamètre permettant une distribution uniforme de l'eau.

L'évapotranspiration du maïs (ET) a été déterminée par la méthode du bilan hydrique du sol :

$$ET = I - D \pm \Delta W$$

Où :

I = irrigation

D = drainage

Pour cela, on a irrigué un jour à l'avance le lysimètre avec une quantité d'eau correspondant à 100 % de la consommation maximale. Le lendemain matin et après avoir mesuré la quantité drainée, la différence entre la quantité apportée et le volume drainé représente l'évapotranspiration maximale du maïs, avec laquelle le témoin I-100 sera irrigué, tandis que, dans le cas des deux traitements stressés I-80 et I-60, elle sera multipliée par 0,8 et 0,6.

étudiées. Chaque parcelle était munie à l'amont d'un débitmètre pour mesurer la quantité d'irrigation à apporter.

Méthodologie expérimentale

État hydrique de la plante

Deux paramètres ont été choisis pour caractériser l'état hydrique de la plante : le potentiel hydrique foliaire et la conductance stomatique. Le potentiel hydrique foliaire est mesuré avec la chambre à pression [16]. La mesure, réalisée à l'aube, est le potentiel de base. Ce dernier mesure l'équilibre hydrique entre le sol et la plante lorsque la transpiration est nulle [17]. Il est mesuré sur un échantillon de jeunes feuilles prélevées sur tous les traitements.

La conductance stomatique permet d'évaluer sur des laps de temps courts le taux de satisfaction en eau de la plante [18]. Les mesures ont été effectuées à midi à l'aide d'un poromètre à flux uniforme, ou *Steady state porometer* (LI-1600), sur un échantillon de 15 feuilles, soit 5 feuilles par traitement, prises dans les strates supérieures de la végétation.

Les mesures du potentiel de base et de la conductance stomatique ont été effectuées avant et après chaque irrigation, et dans l'intervalle séparant deux irrigations successives.

Croissance végétale

Des mesures régulières de la surface foliaire et de la matière sèche ont été réalisées à plusieurs stades de croissance de la plante. La surface foliaire, exprimée en cm^2 par plante, est mesurée à l'aide d'un *Leaf Area Meter* (CI 202), alors que la matière sèche, en grammes par plante, est déterminée sur les mêmes échantillons par passage à l'étuve à une température de 75°C pendant 48 heures.

Analyse du rendement

Le rendement du maïs a été évalué en mesurant sur chaque traitement le nombre de grains par épi, le poids de 1 000 grains, la production de grains et de biomasse totale, à partir de 5 échantillons de 1 m^2 de surface chacun, pris au hasard.

Résultats

Évapotranspiration

L'évapotranspiration du maïs, mesurée sur le lysimètre, pour un cycle de 128 jours, est de l'ordre de 952 mm. Un chiffre analogue a été obtenu dans les mêmes conditions par d'autres auteurs [3]. L'évapotranspiration journalière moyenne du maïs était d'environ 5,7 mm au début du cycle végétatif ; à la floraison, elle s'approche de 11 mm/j et cela coïncide avec la consommation de pointe de la culture (figure 2). Pendant cette période, la consommation en eau est sensiblement équivalente à l'évaporation du bac classe « A » (E0). Des rapports ET/E0 dépassent l'unité et attei-

gnent même des valeurs voisines de 1,3. À la fin du cycle végétatif, l'évapotranspiration diminue pour atteindre des valeurs moyennes de l'ordre de 8 mm/j.

État hydrique de la plante

Un exemple d'évolution du potentiel hydrique foliaire et de la conductance stomatique est présenté à la figure 3 pour une journée bien ensoleillée et des plantes en plein développement végétatif. Les valeurs minimales du potentiel hydrique foliaire sont obtenues autour de midi, si bien que le traitement I-60 a les valeurs les plus négatives. Les valeurs minimales trouvées à midi chez le témoin sont dans l'ordre de $-1,4\text{ MPa}$, alors que celles trouvées sur les traitements I-80 et I-60 sont respectivement de l'ordre de $-1,7$

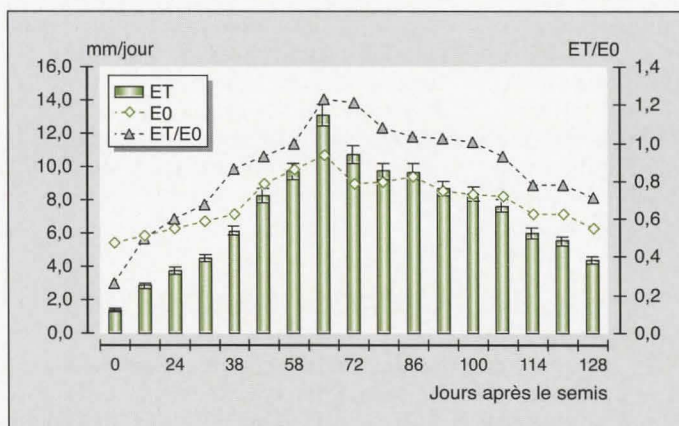


Figure 2. Évolution journalière de l'évapotranspiration de la culture (ET), de l'évaporation du bac classe « A » (E0) et du rapport ET/E0 (les barres représentent les intervalles de confiance au seuil de 5 %).

Figure 2. Daily patterns of crop evapotranspiration (ET), pan class « A » evaporation (E0) and ET/E0 ratio.

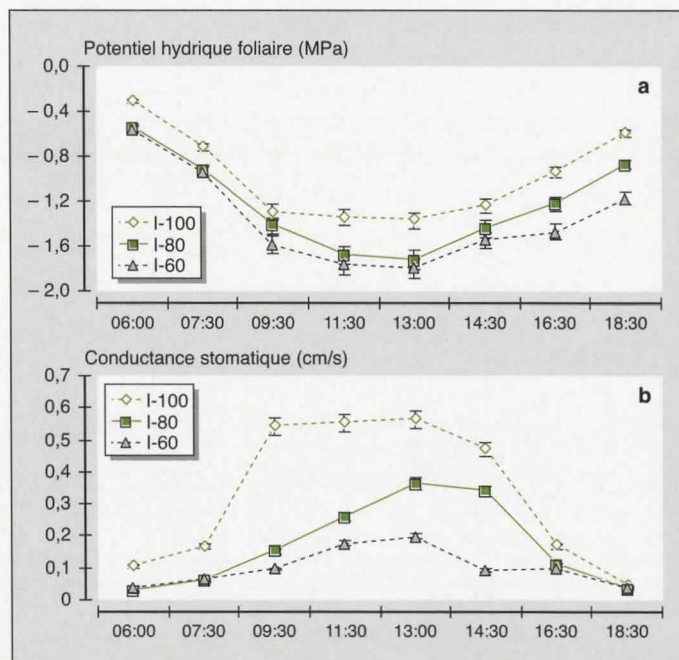


Figure 3. Évolution horaire du (a) potentiel hydrique foliaire et (b) de la conductance stomatique de maïs (58 jours après le semis) (moyenne de 5 mesures individuelles et intervalles de confiance au seuil de 5 %).

Figure 3. Hourly variation of (a) leaf water potential and (b) stomatal conductance of corn (58 days after sowing) (means of 5 measurements; 5% confidence interval).

MPa et $-1,8$ MPa. L'après-midi, la demande climatique devient plus faible ; les plantes se réhydratent et le potentiel hydrique foliaire atteint des valeurs maximales vers 18 heures (figure 3a).

Par ailleurs, les valeurs maximales de la conductance stomatique sont obtenues sur les trois traitements vers midi, mais les valeurs sont d'autant plus faibles que le niveau de stress hydrique est plus élevé (figure 3b). À titre d'exemple, les valeurs maximales de la conductance stomatique des traitements I-100, I-80 et I-60 sont respectivement de l'ordre de $0,56$, $0,36$ et $0,20$ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$, montrant ainsi une réduction de l'ordre de 35 et 64 % des traitements stressés par rapport au témoin.

Potentiel de base

Le potentiel de base croît après chaque apport d'eau (figure 4) pour atteindre sur les divers traitements des valeurs proches de zéro. Ensuite, il diminue à des valeurs minimales qui sont d'autant plus négatives que le niveau de stress est plus élevé. De même, l'évolution du potentiel de base semble être liée à la phénologie de la plante ; les valeurs obtenues sont plus négatives en fin de cycle végétatif qu'en début.

Conductance stomatique

Après chaque irrigation, la conductance stomatique augmente considérablement, mais son taux d'augmentation reste tri-

butaire du régime hydrique. À titre d'exemple, les conductances stomatiques observées le 74^e jour après le semis sont de l'ordre de $0,94$, $0,81$ et $0,33$ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ respectivement sur les traitements I-100, I-80 et I-60, montrant ainsi une réduction de l'ouverture stomatique de 14 et 65 % par rapport au témoin (figure 5).

La figure 6 montre que les valeurs maximales de la conductance stomatique se situent à des valeurs de potentiel de base inférieures à $-0,1$ MPa, de sorte que la réhumectation des plantes provoque chez le maïs une ouverture immédiate des stomates même lorsque les plantes sont soumises à un stress hydrique d'intensité variable. Entre $-0,1$ et $-0,2$ MPa, la conductance stomatique diminue presque de moitié et cette diminution s'aggrave encore quand les valeurs du potentiel de base sont inférieures à $-0,2$ MPa, seuil au-delà duquel les valeurs de la conductance stomatique diminuent rapidement. À $-0,4$ MPa, la conductance stomatique est en moyenne de l'ordre de $0,4$ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$, à $-0,6$ MPa elle est réduite de plus de 75 % et à $-0,8$ MPa on note une fermeture quasi totale des stomates.

est atteint à la floraison où les écarts entre le témoin et les deux traitements stressés sont suffisamment importants pour induire des réductions de l'ordre de 10 et 20 % par rapport au témoin. En fin du cycle, l'indice foliaire diminue à cause de la sénescence physiologique des feuilles, et les écarts entre le témoin et les deux traitements stressés deviennent alors faibles (figure 7).

La différence d'évolution de la matière sèche entre le témoin et les traitements stressés n'était pas trop marquée au début du cycle végétatif du fait que la plante n'a pas encore développé un système foliaire vigoureux. Au plein développement végétatif, cette différence apparaît nettement et l'écart maximal se situe au début de la formation des grains, période pendant laquelle la migration des assimilats des feuilles et tiges vers les grains est importante. À ce stade, les taux de réduction de la matière sèche des traitements I-80 et I-60 sont respectivement de l'ordre de 14 et 28 % par rapport au témoin (figure 8).

Rendement

En comparant les rendements de grains, on remarque des réductions de 17 et 25 % respectivement sur les traitements I-80 et I-60 par rapport au témoin, alors que ces réductions sont de 20 et 31 % en termes de biomasse

Croissance végétale

Le taux de réduction de l'indice foliaire du maïs varie avec le niveau du stress hydrique dans le sol et le stade phénologique. Le maximum d'expansion foliaire

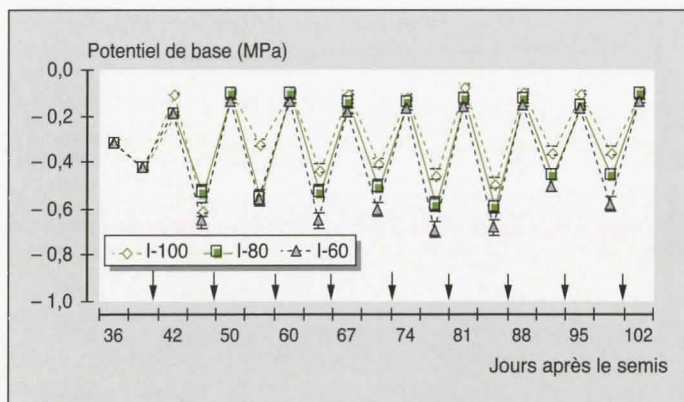


Figure 4. Évolution du potentiel de base au cours du cycle végétatif du maïs (moyennes de 5 mesures individuelles et intervalles de confiance au seuil de 5 % ; les flèches représentent les dates d'irrigation).

Figure 4. Seasonal pattern of predawn leaf water potential of corn (means of 5 measurements; 5% confidence intervals; arrows indicate the irrigation dates).

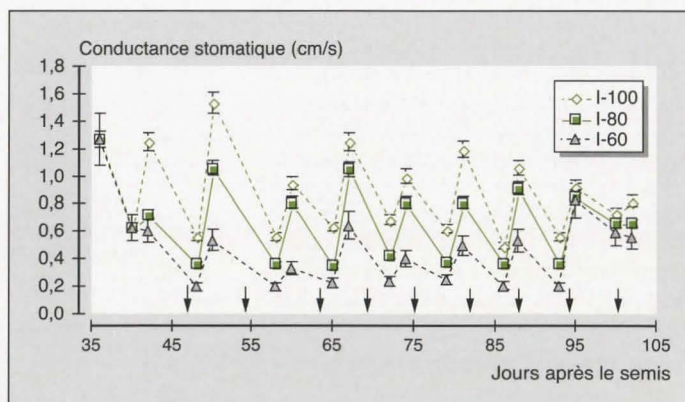


Figure 5. Évolution de la conductance stomatique au cours du cycle végétatif du maïs (moyennes de 5 mesures individuelles et intervalles de confiance au seuil de 5 % ; les flèches représentent les dates d'irrigation).

Figure 5. Seasonal pattern of stomatal conductance of corn (means of 5 measurements; 5% confidence intervals; arrows indicate the irrigation dates).

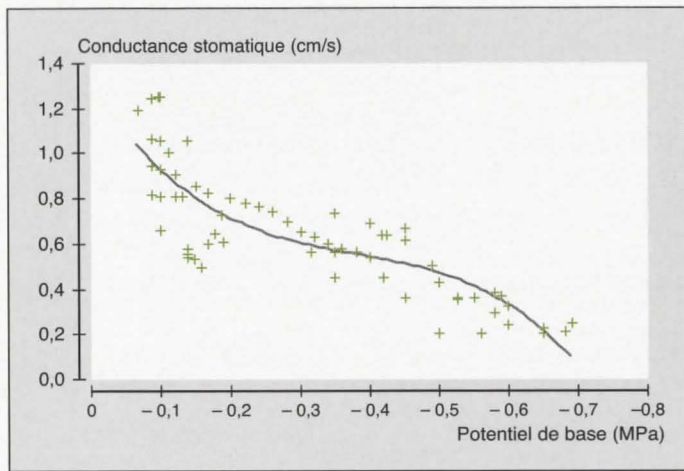


Figure 6. Relation entre la conductance stomatique et le potentiel de base.

Figure 6. Stomatal conductance versus leaf water potential.

totale sur les mêmes traitements. Par ailleurs, le nombre de grains par m² semble être plus affecté par le stress hydrique que le poids de 1 000 grains. Pour le premier paramètre, l'écart moyen entre le témoin et les deux traitements stressés est respectivement de l'ordre de 10 et 19 % (tableau). Cela veut dire qu'un stress hydrique du sol à 60 % de la capacité au champ a réduit de moitié le rendement en grain par rapport à un stress hydrique à 80 % de la capacité au champ. Pour le second paramètre, les réductions sont de l'ordre de 7,8 et 8 %. On en déduit que la chute du rendement en grains chez le maïs se répercute plutôt sur le nombre de grains par épi que sur leur poids moyen. Cela peut être expliqué par une sensibilité plus accentuée au déficit hydrique dans le sol pendant la phase de floraison que pendant la phase de remplissage du grain [11]. Cela devrait nous amener en conclusion à envisager une conduite de l'irrigation réduisant le stress pendant la phase de sensibilité maximale.

Les valeurs de l'efficacité d'utilisation de l'eau du maïs obtenues dans cette expérimentation sur les traitements étudiés sont respectivement 1,36, 1,60 et 1,89 kg/m³. Le stress hydrique a donc induit une augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau de l'ordre de 17 et 38 % respectivement sur les traitements I-80 et I-60 par rapport au témoin I-100. Des expérimentations similaires [19, 20] sur un couvert de maïs montrent des résultats très proches des nôtres.

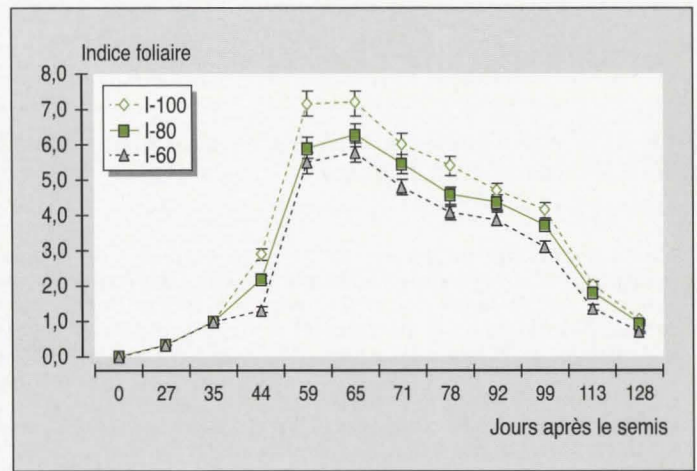


Figure 7. Évolution de l'indice foliaire pendant le cycle végétatif du maïs (moyennes de 5 mesures individuelles et intervalles de confiance au seuil de 5 %).

Figure 7. Seasonal pattern of leaf area index of corn (means of 5 measurements; 5% confidence intervals).

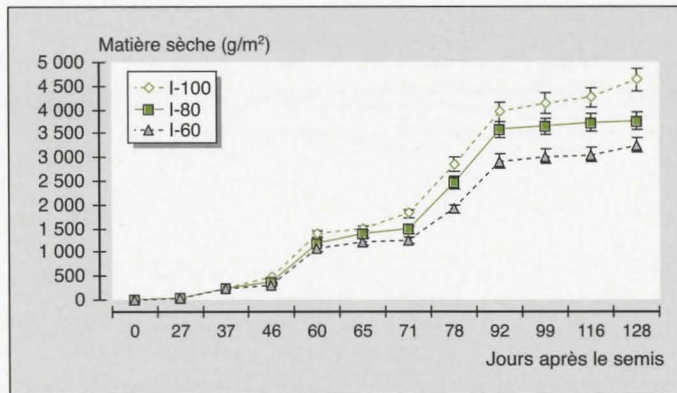


Figure 8. Évolution de la matière sèche pendant le cycle végétatif du maïs (moyennes de 5 mesures individuelles et intervalles de confiance au seuil de 5 %).

Figure 8. Seasonal pattern of dry matter of corn (means of 5 measurements; 5% confidence intervals).

Tableau

Rendement du maïs et ses composantes à la récolte

Paramètre	Traitement		
	I-100	I-80	I-60
Nombre de grains/épi	530,00	476,00	429,00
	A*	B	C
Nombre de grains/m ²	5 300,00	4 760,00	4 290,00
	A	B	C
Poids de 1 000 grains (g)	275,40	254,00	253,00
	A	B	B
Production en grains (kg/m ²)	1,45	1,20	1,08
	A	B	BC
Production en biomasse (kg/m ²)	2,73	2,16	1,86
	A	B	BC

* Les moyennes ayant les mêmes lettres ne sont pas hautement significatives.

Corn yield and its components at harvest

Summary

Effect of water stress on the physiological behavior and yield of hybrid corn (cv. Manuel) in Lebanon

F. Karam, J. Breidy, J. Rouphael, R. Lahoud

Water availability is the key factor determining crop production in the semi-arid regions of Lebanon. This study aimed to evaluate the effects of water stress level on hybrid corn (cv. Manuel) in the Bekaa Valley. The effects of three irrigation levels of 100, 80 and 60% replenishment of soil water on physiological behavior, growth and yield of corn (*Zea mays*, L.) were studied. Water stress was applied continuously during the growing cycle upon crop evapotranspiration measured on a non-weighing lysimeter. Trends in predawn leaf water potential (PLWP) and stomatal conductance (g_s) were consistent with the changes in soil water contents induced by the deficit irrigations. The relationship between stomatal conductance and predawn leaf water potential was significant, although not as tight as that observed by other authors. The apparent stomata sensitivity to decreasing leaf water potential was greater in the range of leaf water potential < -0.2 MPa. Leaf area index and dry matter were decreased with increased soil water deficit. Grain yield was significantly increased by irrigation. As total irrigation application decreased from 100 to 80 and 60% of field capacity, grain yield decreased by 17 and 25%, respectively. The yield of the fully-irrigated treatment was 1.45 kg/m^2 . Water use efficiency obtained in this experiment confirms the aptitude of corn to use water economically. We realized that the variation of irrigation amounts would influence corn yield. Finally, our results indicate that plant stress parameters, PLWP and g_s , are useful for the evaluation of water stress in corn and should be considered valuable tools to assist irrigation decision-marking in semi-arid environments.

Cahiers Agricultures 2002 ; 11 : 285-91.

Conclusion

Les fortes consommations en eau du maïs correspondent à la période allant de la floraison au début de la formation des grains, pendant laquelle, le rapport entre l'évapotranspiration de la culture et l'évaporation du bac Classe « A » dépasse l'unité.

Le fonctionnement hydrique de la plante, exprimé par le suivi régulier du potentiel de base et de la conductance stomatique, s'est montré sensible aux variations de la teneur en eau dans le sol. Le potentiel de base et la conductance stomatique ont évolué dans le même sens et se sont révélés sensibles au niveau du stress hydrique : plus le niveau de stress hydrique est faible, plus les valeurs de ces deux paramètres seront petites.

Les valeurs maximales de l'ouverture stomatique correspondent à des valeurs de potentiel de base inférieures à $-0,1$ MPa. Au-delà de $-0,2$ MPa, la conductance stomatique décroît rapidement et on note une fermeture presque totale des stomates au-delà de $-0,6$ MPa. Le stress hydrique provoque une diminu-

tion de l'indice foliaire et de la matière sèche. Par ailleurs, la diminution de l'indice foliaire connaît son maximum à la floraison tandis que la réduction maximale de la matière sèche a lieu à la formation des grains.

Les rendements en grains et en biomasse sont fortement dépendants du niveau de stress hydrique dans le sol ; cela tend à conforter le fait que plus l'intensité du stress est forte, plus la chute de rendement est importante. Dans les conditions rencontrées, notre expérimentation montre que la chute de la production en grains est la conséquence de la réduction du nombre de grains par épi et non de la réduction du poids moyen des grains. Cela s'explique par la sensibilité phénologique du maïs à la floraison qui correspond aux plus fortes consommations d'eau par la culture et où tout risque de réduire la disponibilité en eau dans le sol influence gravement le nombre de grains qui seront formés.

En outre, les résultats montrent que le maïs présente une forte efficacité d'utilisation de l'eau, comme le montrent plusieurs auteurs [21] ■

Remerciements

Les auteurs souhaitent exprimer leur gratitude à M. Laurent De Crasto, ingénieur agronome de l'université Paris XII, pour son appréciable contribution à la révision du texte.

Références

1. Karam F, Karaa K. Recent trends in the development of a sustainable irrigated agriculture in the Bekaa valley of Lebanon. *Options Méditerranéennes* 2000 ; 31 : 65-86.
2. Vink N, Aboukhaled A, Sarraf S. Evapotranspiration and yield of corn in the central Bekaa of Lebanon with reference to the effect of advection. *MAGON* 1969 ; 29 : 1-29.
3. Aboukhaled A, Sarraf S. A comparison of water use for a hybrid corn in the Bekaa and the coastal plain. *MAGON* 1970 ; 12 : 1-14.
4. Stone LR, Schelgel AJ, Gwin RE, Khan AH. Response of corn, grain sorghum, and sunflower to irrigation in the High Plains of Kansas. *Agri Water Manag* 1996 ; 30 : 251-9.
5. Doorenbos J, Kassam AH. *Réponse des rendements à l'eau*. Rome : Organisation des Nations-unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Série irrigation et drainage, n° 33, 1980 ; 235 p.
6. Jackson RD, Kustas WP, Chaudhury BJ. A reexamination of the crop water stress index. *Irrig Sci* 1988 ; 9 : 309-17.
7. Rhoades FM, Bennett JM. Corn. In : Stewart BA and Nielsen DR, ed. *Irrigation of agricultural crops*. Agron Monogr 30, Madison (WI, États-Unis) : ASA, CSSA and SSSA, 1990 ; 569-96.
8. Stewart JI, Danielson RE, Hanks RJ, et al. *Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil*. Logan : Utah Water Research Lab, 1977 ; 191 p.
9. Yazar A, Howell TA, Dusek DA, Copeland KS. Evaluation of crop water stress index for LEPA irrigated corn. *Irrig Sci* 1999 ; 18 : 171-80.
10. Begg JE, Turner NC. Crop water deficits. *Adv Agron* 1976 ; 28 : 161-217.
11. Bennett JM, Hammond LC. Grain yields of several corn hybrids in response to water stress imposed during vegetative growth stages. *Soil Crop Sci Soc Fla Proc* 1983 ; 42 : 107-11.
12. Hsiao TC. Measurements of plant water status. *Ann Rev Plant Physiol* 1990 ; 24 : 519-70.
13. NeSmith DS, Ritchie JT. Effects of soil water deficits during tassel emergence on development and yield component of maize (*Zea mays*). *Field Crops Res* 1992a ; 28 : 251-6.
14. Lamm FR, Manges LR, Stone LR, et al. Water requirement of subsurface drip-irrigated corn in north-west Kansas. *Trans ASAE* 1995 ; 38 : 441-8.
15. Otegui ME, Andrade FH, Suero EE. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Res* 1995 ; 40 : 87-94.

16. Scholander PF, Hammel HT, Bradstreet ED, et al. Sap pressure on vascular plants. *Science* 1965 ; 148 : 339-46.

17. Katerji N, Hallaire M. Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. *Agronomie* 1984 ; 4 : 999-1008.

18. Tardieu F, Katerji N, Bethenod O, et al. Maize stomatal conductance in the field: its relationship with soil and plant potentials, mechanical constraints and ABA concentration in the xylem sap. *Plant Cell Environment* 1991 ; 14 : 121-6.

19. Howell TA, Tolk JA, Schneider AD, et al. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of corn hybrids differing in maturity. *Agron J* 1998 ; 90 : 9-3.

20. Sinclair TR, Bennett JM, Muchow RC. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field-grown maize. *Crop Sci* 1990 ; 30 : 690-3.

21. Robelin M. Fonctionnement hydrique et adaptation à la sécheresse. In : Inra, ed. *Physiologie du maïs. Colloque physiologie du maïs*. Royan : Inra, 1983 : 445-76.

Résumé

L'eau constitue un facteur limitant de la production végétale dans les régions du Liban à climat continental. Cette étude a pour objectif d'évaluer les effets du stress hydrique sur le maïs hybride (cv. Manuel) en conditions semi-arides dans la plaine de la Békaa. Pour cela, les effets de trois niveaux d'irrigation à 100, 80 et 60 % de la capacité au champ ont été étudiés sur le comportement physiologique, la croissance et le rendement de grains, sur l'ensemble du cycle végétatif de la culture. Le potentiel de base et la conductance stomatique se sont montrés sensibles à la variation de la teneur en eau du sol ; ils diminuent quand le niveau du stress hydrique augmente. De plus, la conductance stomatique maximale se situe à des valeurs de potentiel de base $< -0,2$ MPa. Par ailleurs, l'indice foliaire et la matière sèche dépendent fortement du stress hydrique ; les écarts entre les divers traitements et le témoin se manifestent dès les premiers prélèvements et atteignent leurs maxima vers la mi-saison de culture. La chute de la production de grains est d'autant plus importante que le niveau du stress hydrique est plus élevé. Elle se traduit plutôt par une réduction du nombre de grains par épi que par une réduction du poids moyen des grains. Les résultats montrent un rendement de grains de $1,45 \text{ kg/m}^2$ sur le témoin et une diminution de 17 et 25 % respectivement sur les traitements I-80 et I-60. L'efficacité d'utilisation de l'eau obtenue dans notre essai confirme l'aptitude du maïs à utiliser l'eau de façon économique. Enfin, nous réalisons que le potentiel de base et la conductance stomatique peuvent être utilisés pour caractériser l'état de stress hydrique du maïs et servir d'indicateurs pour le pilotage de l'irrigation de cette culture en conditions semi-arides.
