

BESOINS EN EAU DU HARICOT VERT - INFLUENCE DES FREQUENCES D'IRRIGATION SUR LA PRODUCTION.

par B. MERABET

Section Hydraulique Agricole

Département du Génie Rural

Institut National Agronomique -Alger .-

et S. DAUTREBANDE

Génie Rural II,

Faculté des Sciences Agronomiques

de l'Etat à Gembloux (Belgique).-

خلاصة :

أظهرت القياسات القصوى للتبخير بأن إيقاع الاستهلاك من الماء (قوة الانتضاج) هي خاصية لمراحل تطوير الزراعة .

في ظروف التبخر الحقيقي ، فل علاقة الاستهلاك للزراعة تبقى قريبه من الوحدة بمرعاة الاستهلاك الى أن تقرر التربة عجز مائي حقيقي لحوالي 60 ملم (تربة حائكة طينية)

RESUME

Les mesures d'évapotranspiration maximale du haricot vert révèlent que le rythme de consommation en eau (faculté de transpiration) est fonction des phases de développement de la culture.

Dans les conditions d'évapotranspiration réelle, le rapport de consommation de la culture reste voisin de l'unité eu égard à la consommation jusqu'à ce que le sol accuse un déficit hydrique réel d'environ 60 mm (sol de texture limono-argileuse).

1. INTRODUCTION

Les cultures maraichères ont un cycle végétatif court, une croissance rapide et des organes riches en eau. Leur conduite suppose une alimentation hydrique suffisante et régulière.

L'évapotranspiration des cultures à activité physiologique cyclique dépend à tout moment du degré de couverture du sol et des stades végétatifs (J. PUECH et M. HERNANDEZ, 1973).

Lorsque la conduite des cultures s'effectue avec irrigation à des fréquences variables, des instruments tels que le bac d'évaporation **class A**, les évapotranspiromètres (pesables ou à fond drainant), l'humidimètre à neutrons, sont de plus en plus utilisés en tant qu'avertisseur à l'irrigation; signalons également le tensiomètre.

En Algérie, la conduite de la culture du haricot vert s'effectue généralement sous irrigation et les rendements fluctuent entre 0,7 et 4,8 t/ha (M.A.R.A., Statistiques agricoles, Mars 1981, p. 53), demeurant en dessous du bon rendement commercial de 8 t/ha (J. DOORENBOS, F.A.O., 1980; p. 98).

A partir de ces considérations et afin d'envisager les modalités d'irrigation optimales, nous avons étudié au sein de la station horticole de l'Institut National Agronomique d'El-Harrach, et durant deux années (1981 et 1982), l'évapotranspiration maximale (ETM) d'une culture du haricot vert ainsi que l'influence des fréquences d'irrigation sur les rendements (B. MERABET, 1983).

D'autre part, nous avons suivi les déficits hydriques du sol et observé les seuils critiques à partir desquels, soit la consommation en eau de la culture ne s'effectue plus en conditions maximales, soit la culture elle-même atteint le point de fanaison.

2. MATERIEL ET METHODES

Trois types de sol furent utilisés, soient le sol A (sous abri serre) et les sols B et C dans 12 cuves lysimétriques à fond drainant (2 x 2 m x 1,40 m de profondeur) installés depuis 25 ans; ces sols sont décrits au tableau n° 1.

Tableau n° 1.- Caractéristiques physiques et hydrodynamiques des sols A, B et C.

Type de sols	Texture	Poids spécifique apparent sec (g/cm ³)	Porosité (%)	Conductivité hydraulique en saturé (m/jour)
SOL A	Limono-argileuse	1,40	45	0,33
SOL B	Limoneuse	1,36	55	1,0
SOL C	Argilo-limoneuse	1,12	58	0,48

Le matériel utilisé est le haricot vert variété naine Arian pour les essais sur cuve lysimétrique et variété grim-pante 4/4 (U.S.A) pour l'essai sous serre.

L'abri serre aéré, a été utilisé en vue d'éviter une per-turbation des essais (influence des déficits hydriques sur les rendements) causée par des apports d'eau dus aux précipitations.

2.1. Mesures climatiques

A quelques kilomètres des parcelles d'essai, la station météorologique de Dar-El-Béïda (station 1^{er} ordre) nous ren-seigne sur les valeurs journalières de la température de l'air, la pluviométrie, l'humidité relative de l'air, la vitesse du vent à 2 m, l'évaporation du bac class A.

L'estimation de l'évapotranspiration potentielle du gazon de référence a été effectuée à partir de la formule de H. L. PENMAN (1948).

En outre, on a mis en relation l'évaporation d'un bac du type "pèse lettre" et l'évaporation du bac class A :

$$E_{bac_1} = 0,73 E_{bac_2} + 0,07 \quad (1)$$

avec : E_{bac_1} : évaporation journalière du bac class A (mm)
 E_{bac_2} : évaporation journalière du bac "pèse lettre" (mm).

2.2. Evaluation de l'évapotranspiration maximale ETM

Dans nos essais, l'ETM du haricot a été évaluée à partir des cuves lysimétriques (4 cuves sol B et 4 cuves sol C) pendant deux années (1981 et 1982).

Les cuves lysimétriques sont entourées d'une végétation (anneau de garde) de même nature que celle des cuves elles-mêmes.

L'évapotranspiration maximale est calculée à partir de la relation classique suivante, sur la période considérée :

$$ETM = P + A - D \quad (2)$$

dans laquelle :

P : précipitation

A : apport par arrosage de surface

D : drainage.

Les apports et les mesures de drainage sont journaliers et les bilans décadaires.

Cette méthode n'est valable que si le drainage est continu.

2.3. Evaluation des seuils critiques

C.W. RITCHARDSON et J.T. RITCHIE (1973), pour une culture couvrant le sol et une humidité en eau du sol initialement à la capacité en champ, évaluent le rapport $\frac{ETR}{ETP}$, en fonction du stock d'eau disponible dans les sols suivant deux phases, l'ETR étant l'évapotranspiration réelle de la culture et l'ETP l'évapotranspiration potentielle :

- $\frac{ETR}{ETP} = 1$, jusqu'à une limite correspondant à un déficit hydrique critique du sol dans la zone racinaire.
- Au delà de cette valeur, $\frac{ETR}{ETP}$ décroît jusqu'à un seuil correspondant à un déficit hydrique équivalent au point de fanaison de la culture considérée.

Les valeurs des seuils critiques respectifs dépendent du type de sol, de l'espèce végétale, des stades végétatifs et du climat.

Sur deux cuves lysimétriques par type de sol (sols B et C), munies d'un tube d'accès à la sonde à neutrons jusqu'à une profondeur de 1,20 m, nous avons suivi l'évolution du rapport de consommation $\frac{ETR}{ETP}$ par mesure des profils d'humidité à intervalles de temps régulier de 4 à 5 jours, dès l'installation de la culture (stade 1^{ère} feuille) jusqu'à la fin du cycle. Le sol ne subit aucun processus de réhumectation.

Ce traitement a été réalisé simultanément, en 1982, avec le traitement sur cuves lysimétriques pour lequel la culture est conduite en ETM.

L'évolution de la culture est suivie sur la base de mesures de matière sèche (tige et feuille) et d'indices foliaires.

2.4. Etude des fréquences d'irrigation

Afin d'éviter des perturbations dues aux précipitations, l'étude de l'influence sur les rendements des fréquences d'irrigation correspondant à l'occurrence de déficits hydriques potentiels de référence de l'ordre 30 mm, 60 mm et 90 mm, a été

réalisée sous abri serre aéré (sol A) sur une superficie de 200 m² subdivisée en 12 parcelles élémentaires de 3,5 x 2,5 m et séparées les unes des autres par des bandes de 3,5 x 1 m.

Les traitements considérés (30, 60 et 90 mm) comportent trois (03) répétitions, un traitement supplémentaire a été conduit sans irrigation.

Chaque parcelle est munie d'un tube d'accès à l'humidimètre à neutrons, jusqu'à une profondeur de 80 cm.

L'irrigation s'effectue à la raie (gravitaire).

Les déficits hydriques potentiels de référence de 30, 60 et 90 mm sont comptabilisés à partir de la relation (1), compte tenu des mesures effectuées au bac "pèse lettre".

Sur une période sèche (entre deux irrigations), en postulant que la percolation est négligeable, l'évapotranspiration réelle ETR sera évaluée à partir de la relation suivante :

$$ETR = \Delta S \quad (3)$$

dans laquelle :

ΔS : variation du stock hydrique du sol lors d'une période de dessèchement.

3. RESULTATS

3.1. Consommation en eau maximale du haricot vert

En 1981, le cycle de culture du haricot vert (variété naine) s'est étalé sur 58 jours (du 27.07.1981 au 22.09.1981); en 1982, il a été de 57 jours (du 21.05.1982 au 16.07.1982).

La consommation en eau durant chacun des cycles du végétal a été (relation 2) :

- en 1981, ETM (sol B) = 169 mm et ETM (sol C) = 176 mm;
- en 1982, ETM (sol B) = 196 mm et ETM (sol C) = 181 mm.

L'écart de consommation observé entre les deux types de sol n'est pas significatif (4 à 8 %). Globalement, le rapport de consommation $\frac{ETM}{ETP}$ entre l'évapotranspiration maximale et l'évapotranspiration de référence (ETP PENMAN Gazon) est de l'ordre de 70 %.

Rappelons que la relation entre l'évapotranspiration maximale d'une culture et celle de la culture de référence (gazon uniforme, maintenu court) est définie dans la pratique à partir des coefficients culturaux correspondant aux différents stades végétatifs.

Cette relation se définit comme suit :

$$ETM = K_c \cdot ETP \quad (4)$$

dans laquelle, outre les notions définies précédemment, K_c est le coefficient cultural approprié au stade végétatif concerné.

Les valeurs décadaires des coefficients culturaux (K_c) sont reportées sur la figure n° 1. Nous distinguons quatre phases :

Phase I : - C'est la phase d'installation de la culture (semis - 1^{ère} feuille) qui dure une décade

.- en 1981, K_c est en moyenne de 0,33;

.- en 1982, K_c est en moyenne de 0,25.

Les valeurs de K_c ainsi obtenues indiquent que le rythme de consommation est faible.

Phase II : - Elle correspond au développement végétatif de la culture (1^{ère} feuille - début floraison) et englobe deux décades.

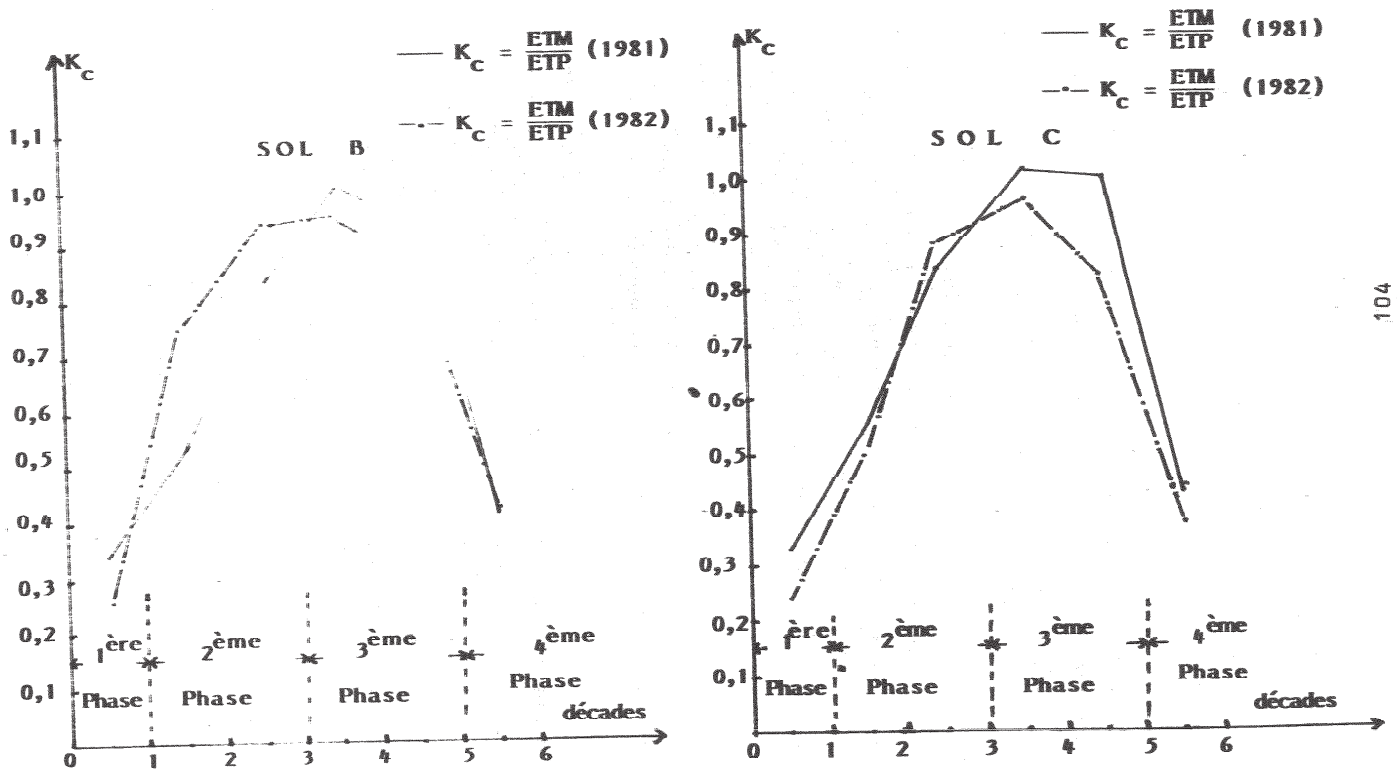
Le rythme de consommation est croissant; la valeur moyenne de K_c est de 0,70 en 1981 et de 0,82 en 1982.

Phase III : - D'une durée d'environ deux décades, c'est la phase critique (floraison - formation des gousses).

La consommation en eau avoisine la demande climatique. En 1981, K_c est en moyenne de 1,0 et en 1982, K_c est en moyenne de 0,90.

Phase IV : - Elle intervient à la fin du cycle de la culture (récolte) et la consommation décroît relativement à la phase III. K_c est en moyenne de 0,42 en 1981 et de 0,39 en 1982.

Figure n° 1 : Evolution des coefficients culturaux (K_c) en fonction des stades végétatifs du haricot vert, pour deux types de sols, années 1981 - 1982.



Signalons que les rendements en filets obtenus ont été de l'ordre de 9,5 t/ha. On remarquera l'excellente concordance des coefficients culturels d'une année à l'autre.

Des essais similaires réalisés dans la région d'Aix en Provence (France) de 1972 à 1973 (P. NIEL, 1977) en culture estivale, montrent les mêmes tendances :

- besoins faibles en eau au cours de l'installation de la culture;
- accroissement régulier pendant le cycle végétatif (croissance foliaire);
- augmentation sensible des besoins lors de l'apparition d'un stade physiologique caractéristique : grossissement des fruits.

Nous reportons sur la Figure n° 2, l'évolution décadaire du rapport $\frac{ETM}{E_{bac_1}}$, en référence au bac class A.

De même, sur le tableau n° 2, figurent les valeurs décadales du rapport $K_b = \frac{ETP(\text{gazon})}{E_{bac_1}}$.

Figure n° 2 : Evolution des coefficients culturaux (K_c) en fonction des stades végétatifs du haricot vert, pour deux types de sols, années 1981 - 1982.

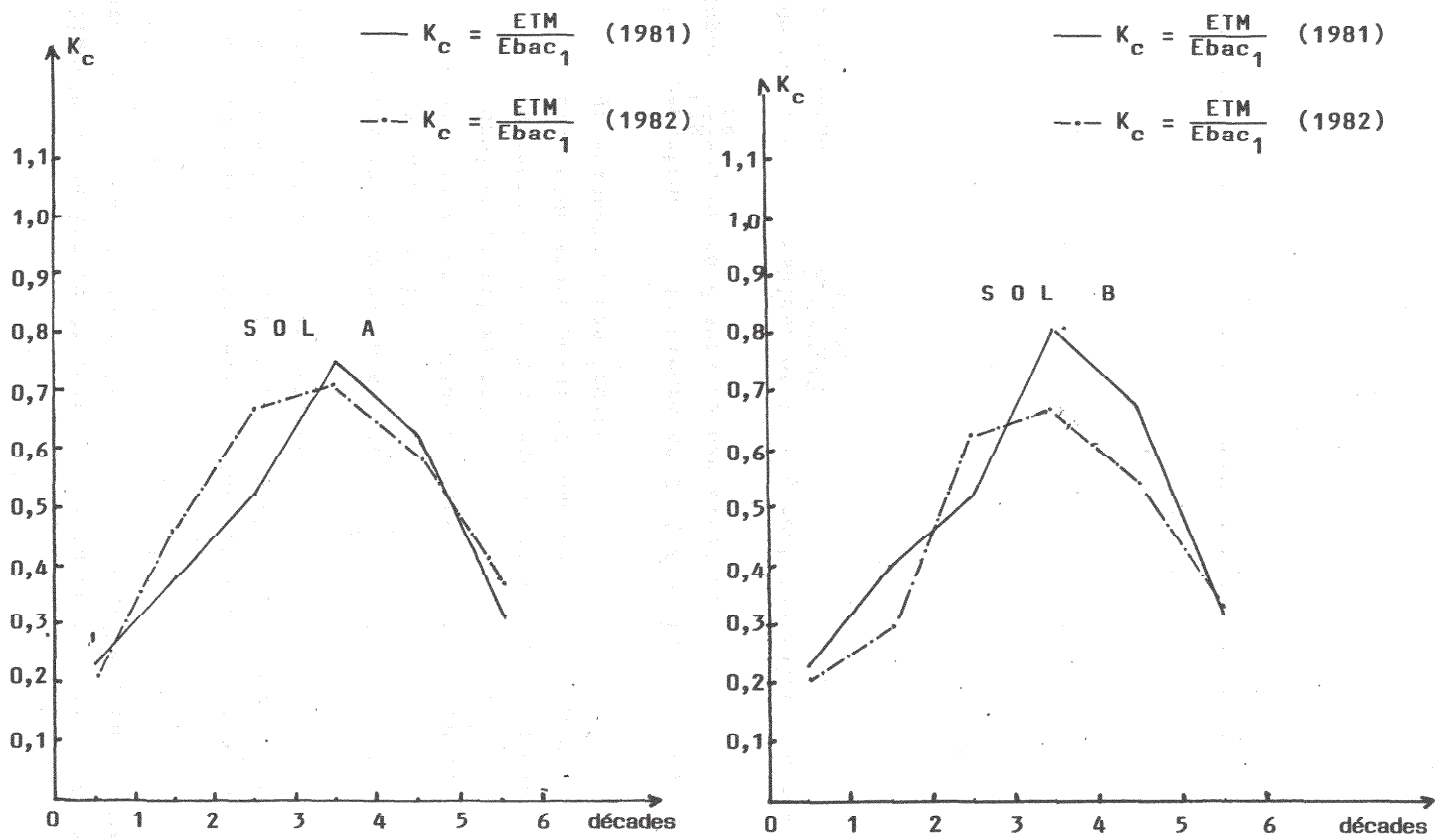


Tableau n° 2 : Valeurs décadaires du rapport $K_b = \frac{ETP \text{ (gazon)}}{E_{\text{bac}_1}}$

Décade du :	$\frac{ETP \text{ (gazon)}}{E_{\text{bac}_1}}$
27.07.81 au 06.08.81	0,68
07.08.81 au 16.08.81	0,71
17.08.81 au 26.08.81	0,62
27.08.81 au 05.09.81	0,72
06.09.81 au 15.09.81	0,67
16.09.81 au 22.09.81	0,75*
01.06.82 au 10.06.82	0,61
11.06.82 au 20.06.82	0,71
21.06.82 au 30.06.82	0,70
01.07.82 au 10.07.82	0,66

(*).- Valeur obtenue sur une période de 7jours.

En conclusion, la consommation en eau maximale du haricot vert dépend des différents stades de croissance et les apports en eau par irrigation peuvent être modulés selon les besoins spécifiques.

L'avertissement à l'irrigation est possible soit à partir de lysimètres supportant la culture de référence (gazon) et la connaissance du coefficient cultural K_c , soit à partir d'un bac d'eau libre du type **Weather Bureau class A** moyennant la connaissance des coefficients K_c et K_b , ce dernier étant dans nos conditions expérimentales et pour une décade de l'ordre de 0,70 (cf. Tableau n° 2).

3.2. Détermination des seuils critiques :

Rappelons qu'en 1982, parallèlement au traitement précédent, nous avons réalisé sur cuves lysimétriques munies d'un tube d'accès à la sonde à neutrons, et pour les sols B et C, un traitement en vue de déterminer les déficits hydriques des sols à partir desquels la plante, d'une part ne consomme plus l'eau en conditions maximales et d'autre part, est susceptible d'atteindre son point de fanaison.

Dans ces essais, la culture est conduite sans apport d'eau, après son installation (à ce moment là, le sol est à la capacité en champ).

A l'installation de la culture (stade 1^{ère} feuille) des mesures de matière sèche (tiges et feuilles) et d'indices foliaires (LAI) ont été effectuées. Les résultats sont présentés au tableau n° 3.

**Tableau n° 3.- Comparaison de la matière sèche (tige et feuille) exprimée en grammes par plant et de l'indice foliaire (moyenne de 03 échantillons).
Année 1982. - Stade 1^{ère} feuille.**

Culture conduite en évapotranspiration maximale (ETM)							Culture conduite en sec (ETR)					
SOLS	SOL B			SOL C			SOL B			SOL C		
Répét.	T	F	LAI	T	F	LAI	T	F	LAI	T	F	LAI
1	0,128	0,276	0,24	0,115	0,31	0,26	0,124	0,279	0,24	0,134	0,270	0,27
2	0,116	0,273	0,24	0,134	0,33	0,26	0,125	0,273	0,22	0,120	0,315	0,25
Moy.	0,122	0,273	0,24	0,124	0,32	0,26	0,124	0,276	0,23	0,127	0,293	0,26

T : - Teneur moyenne de la matière sèche de la tige (grammes/plant)

F : - Teneur moyenne de la matière sèche des feuilles (grammes/plant)

LAI : - Indice foliaire

Nous constatons que les résultats respectifs des sols B et C sont identiques à ce stade.

Par ailleurs, nous reportons sur les Figures n° 3 et 4, l'évolution du rapport de consommation $\frac{ETR}{ETM}$ en fonction du déficit réel accusé par les sols B et C lors de la phase de dessèchement, du stade 1^{ère} feuille jusqu'à la fin de la récolte.

Le rapport $\frac{ETR}{ETM}$ reste voisin de l'unité jusqu'à ce que le déficit hydrique en eau du sol par rapport à la capacité en champ avoisine la valeur de 60 mm. Au delà, ce rapport devient inférieur à l'unité

Ce seuil de 60 mm constitue donc la limite inférieure pour laquelle l'évapotranspiration du couvert végétal devient inférieure à l'évapotranspiration maximale, en l'absence d'apport d'eau (cf. paragraphe 2.3).

Au stade 3^{ème} feuille, nous avons comparé l'évolution de la matière sèche et de l'indice foliaire pour les traitements où la culture est conduite en irrigué et en sec (tableau n° 4).

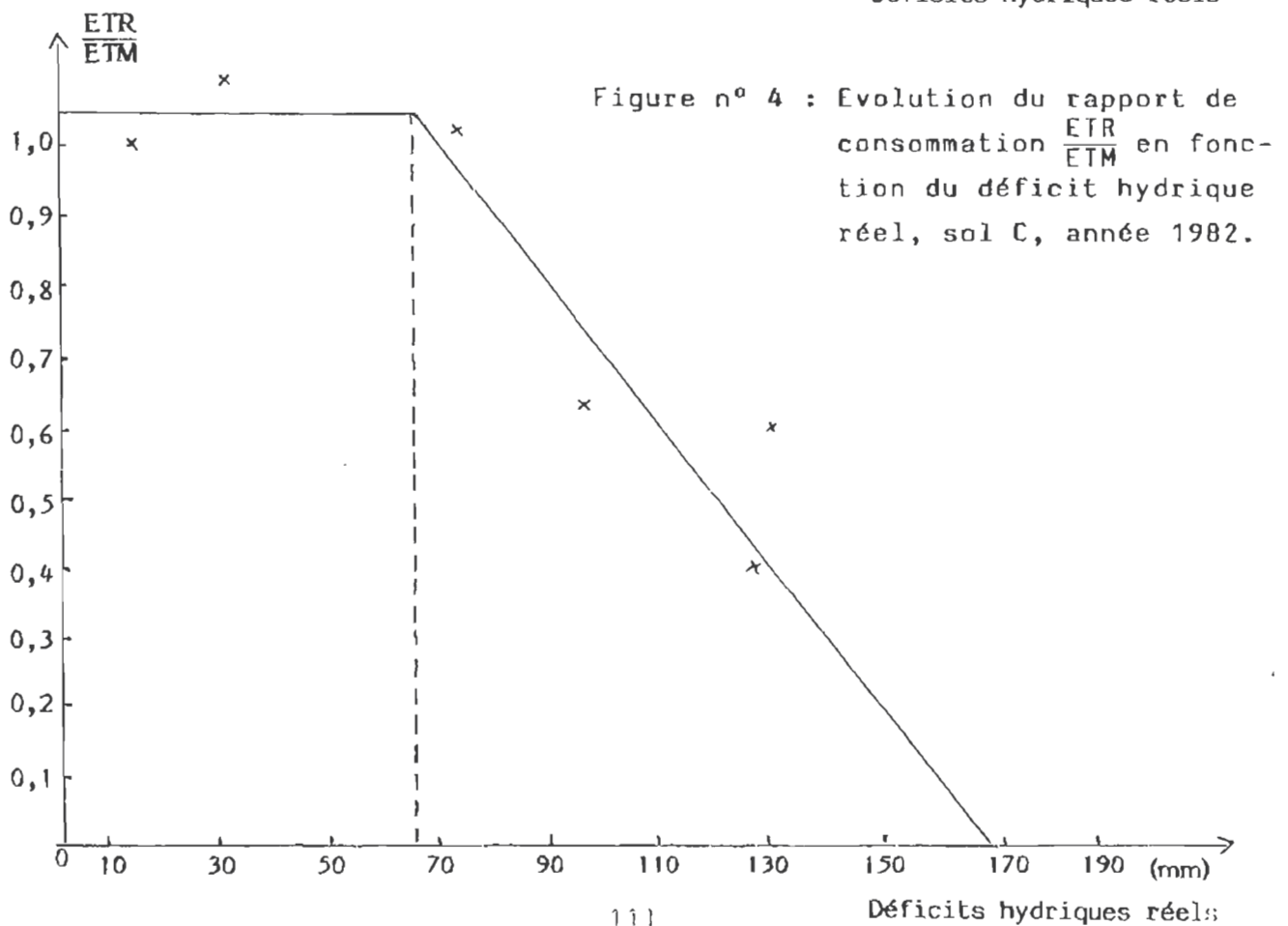
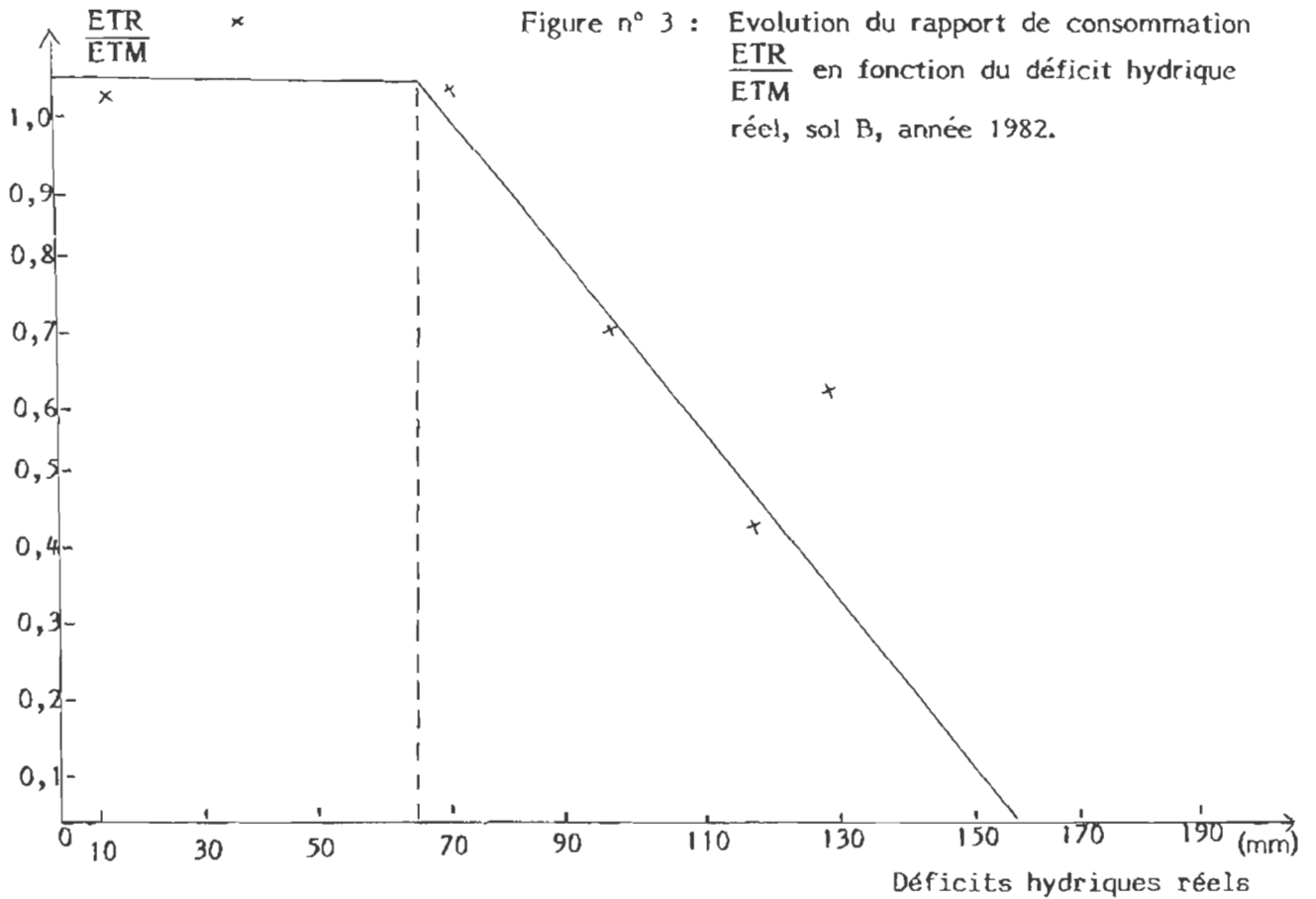
Les rendements obtenus (t/ha) pour les deux traitements figurent sur le tableau n° 5. Signalons que les rendements obtenus pour le traitement témoin (conduit sans irrigation) a été de 5 t/ha.

Tableau n° 4. - Comparaison de la matière sèche (tige et feuille) exprimée en grammes par plant et de l'indice foliaire (LAI), au stade 3^{ème} feuille.

Culture conduite en évapotranspiration maximale (ETM)							Culture conduite en évapotranspiration réelle (ETR)					
SOLS	S O L B			S O L C			S O L B			S O L C		
Répét.	T	F	LAI	T	F	LAI	T	F	LAI	T	F	LAI
1	0,873	1,330	1,79	1,107	1,997	1,10	0,409	0,844	0,50	0,667	1,042	1,75
2	0,780	1,277	0,77	1,110	1,818	1,16	0,595	1,170	0,74	0,684	1,234	0,76
Moy.	0,826	1,303	0,78	1,109	1,907	1,13	0,502	1,007	0,62	0,676	1,140	0,75

Tableau n° 5. - Rendements en filets (t/ha) obtenus - Année 1982.

Répétitions	Culture conduite en évapotranspiration maximale (ETM)		Culture conduite en sec (ETR)	
	S O L B	S O L C	S O L B	S O L C
1	9,6	10,2	6,6	7,7
2	9,4	10,9	7,4	7,6
Moyenne	9,5	10,5	7,0	7,6



Ces rendements sont à prendre en valeur relative compte tenu de la faible dimension des lysimètres.

En comparant les deux traitements, nous remarquons que le stress d'eau a eu des répercussions sur la formation de matière sèche et le développement du feuillage :

- au niveau des tiges, la diminution de la matière sèche est de l'ordre de 39 % en moyenne pour les deux types de sol;
- au niveau des feuilles, elle est de l'ordre de 31%;
- globalement (tige + feuille), le rapport de la matière sèche, entre les deux traitements, oscille entre 0,6 et 0,7 ce qui semble correspondre à la chute de rendement en gousses observée.

La consommation de la culture, de la phase installation à la fin de la récolte, a été, pour les deux traitements de :

- en évapotranspiration maximale ETM : 178 mm;
- en évapotranspiration réelle (culture conduite en sec), ETR : 135 mm.

Pour les sols B et C (texture limono-argileuse), le déficit hydrique réel à partir duquel la plante entre dans une phase de flétrissement n'était pas atteint lors de la dernière récolte.

En conclusion sur ces types de sol et pour le climat considéré, on peut concevoir une périodicité des irrigations équivalente à un déficit hydrique réel du sol de 60 mm.

3.3. Influence des fréquences d'irrigation sur les rendements

Rappelons que l'objectif de l'essai réalisé sous serre en 1982, est de mesurer l'influence de la périodicité des apports par irrigation sur les rendements en gousses en postulant que l'eau est le seul facteur limitant.

Les seuils potentiels de 30, 60 et 90 mm sont évalués à partir de la relation (1).

La variété utilisée pour cet essai (4/4 U.S.A) s'est avérée grimpante, nous n'avons dès lors pas suivi l'évolution de la matière sèche.

Les rapports de consommation $\frac{ETR}{E_{bac_1}}$ pour les traitements 30, 60 et 90 mm et pour l'entièreté de la période considérée, figurent dans le tableau n° 6.

Tableau n° 6.- Consommation en eau et rendements.

Traitements	E_{bac_1} (mm)	ETR (mm)	$\frac{ETR}{E_{bac_1}}$	Rendements en gousses (t/ha)
30 mm	140	159	1,1	14,6
60 mm	153	134	0,9	12,6
90 mm	150	127	0,8	11,2

Dans lequel : ETR : évapotranspiration réelle estimée par variation de stock hydrique du sol (ΔS), entre deux irrigations;

E_{bac_1} : évaporation du bac class A calculée par la relation (1).

En première analyse, il apparaît que pour le traitement 90 mm, l'offre du complexe sol - plante ne satisfait plus la demande climatique : le rapport de consommation $\frac{ETR}{E_{bac_1}}$ est inférieur à l'unité.

La consommation en eau réelle (ETR) des traitements 60 et 90 mm diminue respectivement de 16 et 20 % par rapport au traitement 30 mm.

En prenant comme référence le traitement 30 mm, la chute de rendement en gousses pour les autres traitements est en moyenne de :

- 8 % pour le traitement 60 mm;
- 18% pour le traitement 90 mm;
- 63% pour le traitement sans irrigation.

Remarquons qu'une chute de rendement de l'ordre de 20 % pour une fréquence d'irrigation correspondant au traitement 90 mm n'est pas nécessairement significative du point de vue économique (coût de l'eau d'irrigation).

Nos résultats sont à comparer avec ceux obtenus à GEMBLoux (BELGIQUE), durant les années 1978 et 1979 (BENHARRATH et al., 1980), sur sol limoneux : "un déficit hydrique potentiel de 80 mm, n'influence guère le rendement de la culture du haricot vert". Rappelons que ces derniers essais sont réalisés en climat tempéré humide.

4. CONCLUSION

Pour la culture du haricot vert, il a été possible de définir les besoins en eau (ETM) par rapport à la demande climatique (ETP) grâce à l'utilisation de lysimètres à fond drainant; les coefficients culturaux (K_c) ont été déterminés, permettant ainsi de moduler les apports en fonction des stades de développement de la culture.

En ce qui concerne les fréquences d'irrigation, l'utilisation du bac class A à définir une périodicité optimale des irrigations correspondant à un déficit climatique potentiel de 60 mm sur sol limono-argileux.

L'utilisation de l'humidimètre à neutrons aboutit à définir également une périodicité équivalente à une variation de stock hydrique réel du sol du même ordre de grandeur en pratique.

BIBLIOGRAPHIE

- BENHARRATH. A., FRANKINET M.,- Rapport I.R.S.T.T., Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, 1980.
- DOORENBOS J., KASSAM AH., 1980.- Réponse des cultures à l'eau. *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage*. Rome 33, 235 p., pp. 95-98.
- M.A.R.A..- Statistiques agricoles, Mars 1981. p. 53.
- MERABET B.A., 1983.- Approche météorologique de l'irrigation de la culture du haricot vert : influence des déficits hydriques sur les rendements. Les avertisseurs d'irrigation. *Thèse de Magister*. Institut National Agronomique, Alger.

NIEL P., 1977.- L'irrigation des cultures légumières de plein air. BFI, n°319-320, pp. 273-294.

PENMAN H.L., 1948.- Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc.*, Londres, (A) 193 p., pp. 120-145.

PUECH J., HERNANDEZ M., 1973.-Evapotranspiration comparée de différentes cultures et étude de quelques facteurs influençant les rythmes de consommation; *Ann. Agron.*, 24 (4) , 455-473.

RICHARDSON C.W. RITCHIE J.T., 1973 .- Soil water balance for small watersheds. *Transactions of the A.S.A.E.*, 16, pp.72-77.