



**HAL**  
open science

## **Effet du déficit en eau du sol sur l'évapotranspiration et la production de féveroles : une évaluation de modèles**

Moussa Badji, Jan Feyen, Luc Basstanie

### ► **To cite this version:**

Moussa Badji, Jan Feyen, Luc Basstanie. Effet du déficit en eau du sol sur l'évapotranspiration et la production de féveroles : une évaluation de modèles. *Agronomie*, 1982, 2 (3), pp.213-218. <hal-00884374>

**HAL Id: hal-00884374**

**<https://hal.science/hal-00884374v1>**

Submitted on 11 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# Effet du déficit en eau du sol sur l'évapotranspiration et la production de féveroles : une évaluation de modèles

Moussa BADJI, Jan FEYEN & Luc BASSTANIE

Laboratory of Soil and Water Engineering, Faculteit der Landbouw-wetenschappen, K. U. Leuven, Kardinaal Mercierlaan 92, 3030 Heverlee, Belgique.

## RÉSUMÉ

*Eau disponible relative, Evapotranspiration réelle, Production maximale, Efficacité maximale de l'utilisation de l'eau, Flexibilité mathématique.*

Une expérience a été menée afin de déterminer simultanément l'effet du déficit en eau du sol sur l'évapotranspiration et la production de matière sèche de la féverole. Les plantes ont été cultivées en conditions climatiques contrôlées dans des colonnes cylindriques remplies de sable humifère et soumises à une alimentation en eau à quatre niveaux. L'évapotranspiration réelle est déterminée par pesée des colonnes, complétée par l'analyse périodique des profils hydriques.

Le développement des plantes a été suivi tout au long de leur période de végétation par prélèvements fréquents des parties aériennes, en sacrifiant des colonnes. Les valeurs observées de l'évapotranspiration et de la productivité sont utilisées pour évaluer des modèles de prédiction simples et dans lesquels les différents paramètres de croissance peuvent être facilement incorporés.

## SUMMARY

*Relative available soil water, Actual evapotranspiration, Maximum yield, Maximum water use efficiency, Mathematical flexibility.*

*Effect of soil water deficit on evapotranspiration and on dry matter production in field beans : Evaluation of models*

A simultaneous determination was made of the effect of limiting soil water on evapotranspiration and on dry matter production in field beans. The crop was grown in cylinders of humic sandy soil at four levels of irrigation and under controlled climatological conditions. The pattern of evapotranspiration was measured by weighing the columns and by periodic gamma-ray scanning of the moisture profile. Shoot growth rate was determined by frequent plant sampling during the growing season. The observed evapotranspiration and growth rates under the four irrigation treatments were used to test some fairly simple prediction models into which different growth parameters can easily be incorporated.

## LISTE DES SYMBOLES UTILISÉS

A, B, C, D : traitements du sol par ordre d'humidité décroissante.  
 ED : eau disponible dans la zone racinaire. C'est la différence entre l'humidité dans la zone racinaire et celle au flétrissement permanent (WP).  
 ED<sub>max</sub> : eau disponible maximale : différence entre l'humidité à la capacité au champ (FC) et celle au flétrissement permanent.  
 ED<sub>r</sub> : ED/ED<sub>max</sub>.  
 ET : évapotranspiration.  
 ET<sub>max</sub> : évapotranspiration maximale.  
 F : efficacité de l'utilisation dans le modèle V-FKZ.  
 H.R. : humidité relative.  
 Ln : logarithme népérien.  
 Q : rendement.  
 T : transpiration.  
 a, b : constantes dans le modèle « logistique ».  
 e : pression de vapeur d'eau réelle de l'ambiance (mbar).  
 e<sub>s</sub> : pression de vapeur d'eau à la saturation (mbar).  
 Δ e : e<sub>s</sub> - e.

exp( ) : exponentiel.  
 pF : logarithme décimal de la succion de l'eau du sol.  
 q : productivité dans le modèle V-FKZ.  
 q<sub>max</sub> : productivité maximale.  
 ψ : potentiel de l'eau du sol.  
 θ : teneur en eau volumique du sol (cc/cc).  
 ζ : flexibilité mathématique.

## I. INTRODUCTION

Parmi les facteurs du sol responsables des larges fluctuations et des limites de la production végétale, l'eau est certainement un des plus importants.

Par ailleurs, l'intérêt croissant porté aux ressources en eau et les problèmes posés par leur gestion, c'est-à-dire leur utilisation avec le maximum d'efficacité lors des aménagements hydroagricoles (surtout pour les pays arides et semi-arides), ont induit des recherches abondantes sur les conditions optimales d'alimentation hydrique des végétaux.

Malgré le volume d'information dont on dispose, le choix du potentiel matriciel de l'eau, dans la zone racinaire du sol, à utiliser pour déclencher une irrigation conduisant à une productivité optimale reste encore un problème critique. Chaque plante cultivée manifeste une sensibilité différente

en fonction de son stade de développement, du type de sol, du climat et des méthodes phytotechniques (HAGAN, 1959 ; TAYLOR, 1962 ; SALTER, 1967).

Dans le présent article, nous étudierons le comportement de l'ensemble ou d'une partie d'une plante telle que la féverole (*Vicia faba* L.) en relation avec le déficit en eau du sol. Le choix d'une légumineuse fixatrice d'azote a été motivé par le rôle déterminant qu'une telle plante peut jouer dans l'économie d'une exploitation agricole. Les données recueillies seront utilisées pour calibrer ou tester des modèles simulant l'évapotranspiration (3 modèles) et la production de matière sèche (modèle V-FKZ) à partir de l'eau disponible dans la zone des racines.

## II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Des féveroles sont cultivées dans des colonnes, de 60 cm de haut et de 10,3 cm de diamètre intérieur, remplies de sable humifère dont le poids volumique sec est de 1,46 g/cm<sup>3</sup>.

Les caractéristiques hydrauliques du sol (courbes succion-teneur en eau déterminée en désorption et conductivité hydraulique teneur en eau) sont données aux figures 1 et 2.

La relation conductivité — teneur en eau a été déterminée pour la partie « humide » ( $\theta \geq 20$  p. 100) par la méthode du profil instantané (WATSON, 1966). Pour des valeurs de  $\theta$  inférieures à 20 p. 100, la méthode de JACKSON (1972) a été appliquée.

Pour assurer l'homogénéité du dispositif expérimental, tous les poids volumiques secs ont été contrôlés à l'aide d'une sonde à rayonnement gamma. Le sol des colonnes retenues (96 au total) est initialement saturé et laissé en drainage libre. Les fèves sont alors semées et leur culture conduite dans un compartiment climatisé d'une serre (22 °C et 72 p. 100 H.R.) munie de lampes à mercure à haute pression de 400 W. L'ensemble expérimental a été subdivisé en 4 traitements où l'irrigation a été différenciée selon les caractéristiques consignées au tableau 1. Chaque traitement comportant 24 répétitions est soumis à une photopériode de 14 h. La 1<sup>re</sup> culture ainsi réalisée a pour but d'amener chaque traitement à être situé dans un intervalle de teneur en eau (cf. tabl. 1) préalablement fixé. Une fois les médianes des intervalles atteintes, les plantes sont coupées à la base et les colonnes recouvertes de plastique afin d'éviter toute évaporation d'eau. Trois jours plus tard, les colonnes

TABLEAU 1

Caractéristiques des traitements d'irrigation  
Characteristics of the irrigation treatments

Traitement	Dose (g/colonne)	Fréquence (jours)	Nombre d'irrigation	Teneur en eau en vol. % (1)
A	210	2	45	28 < $\theta$ ≤ 33
B	400	5	22	23 < $\theta$ ≤ 28
C	417	8	14	18 < $\theta$ ≤ 23
D	312	13	8	12 < $\theta$ ≤ 18

(1) Exprimés en terme de pF, les intervalles de teneur en eau volumique s'écrivent ( $pF = \log |\psi|$ ):

1,97 < pF ≤ 1,71  
2,28 < pF ≤ 1,97  
2,70 < pF ≤ 2,28  
3,33 < pF ≤ 2,70.

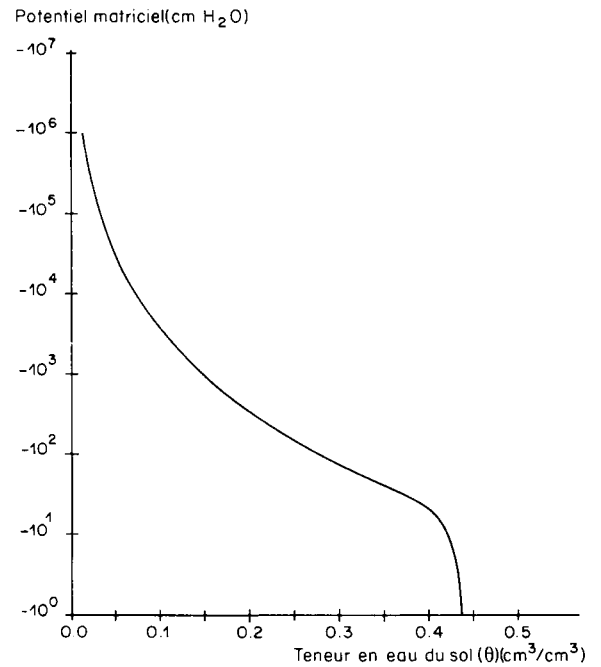


Figure 1  
Relation potentiel matriciel — teneur en eau de sol (sable humifère).  
Soil moisture retention curve (humic sandy soil).

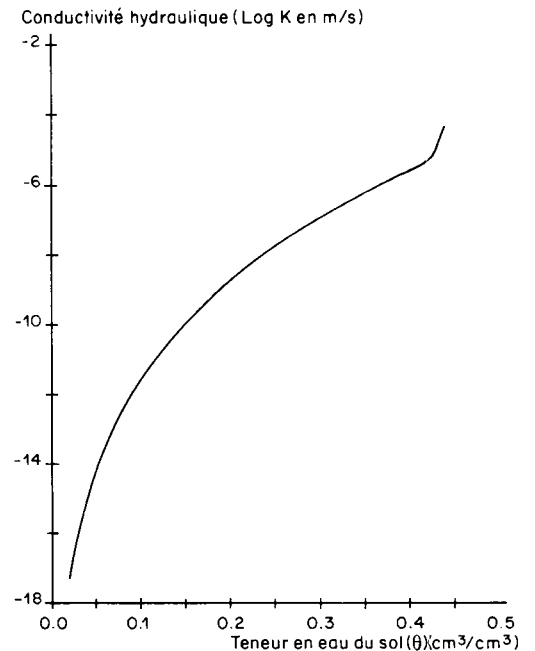


Figure 2  
Relation conductivité hydraulique — teneur en eau de sol.  
Curve for hydraulic conductivity against moisture content.

sont ressemées et gardées tout au long de l'expérience à l'intérieur des limites de l'intervalle du traitement grâce à un contrôle des teneurs en eau moyennes.

Les profils hydriques moyens de chaque traitement, déterminés par gammamétrie, sont donnés à la figure 3.

Les mesures d'évapotranspiration, corrigées de la variation en poids frais de la plante (quand celle-ci représente plus de 0,5 p. 100 de l'ET cumulée) et exprimées en perte du poids des colonnes, sont faites en moyenne tous les 2 jours. Le maximum de la variation en poids frais de la plante observé au cours de notre expérience était de 2 p. 100 de l'ET cumulée.

TABLEAU 2

Relations statistiques

I. Evapotranspiration cumulée en fonction du temps en jours ( $t \geq 28$  j)

II. Production de matière sèche en fonction du temps en jours ( $t \geq 28$  j)

(A, B, C, D = traitements ;  $r$  = coefficient de corrélation)

Statistical relations

I. Regression of cumulative evapotranspiration with time ( $t \geq 28$  days)

II. Regression of dry matter production with time ( $t \geq 28$  days)

I. Evapotranspiration cumulée en kg H<sub>2</sub>O/colonne (ET<sub>c</sub>)

A	$ET_c = 3,240 \times 10^{-1} - 3,660 \times 10^{-2} t + 1,290 \times 10^{-3} t^2$	$r = 0,9999$
B	$ET_c = 3,128 \times 10^{-1} - 3,220 \times 10^{-2} t + 1,135 \times 10^{-3} t^2$	$r = 1,0000$
C	$ET_c = 2,358 \times 10^{-1} - 2,040 \times 10^{-2} t + 7,369 \times 10^{-4} t^2$	$r = 0,9965$
D	$ET_c = 8,628 \times 10^{-2} - 2,595 \times 10^{-3} t + 2,420 \times 10^{-4} t^2$	$r = 0,9967$

II. Production de matière sèche en g/colonne (Q)

A	$Q = 8,35 - 0,36 t + 0,005 t^2$	$r = 0,9530$
B	$Q = 6,23 - 0,31 t + 0,005 t^2$	$r = 0,9767$
C	$Q = 2,54 - 0,11 t + 0,003 t^2$	$r = 0,9720$
D	$Q = 3,28 - 0,12 t + 0,002 t^2$	$r = 0,8795$

La production de matière sèche (gousses + fanes) est déterminée en sacrifiant des colonnes dans chaque traitement.

L'analyse polynomiale a été appliquée aux données d'évapotranspiration cumulée et de production de matière sèche (tabl. 2). Cela nous a permis de sélectionner les relations les plus probables entre ces 2 paramètres et le temps (en jours). La dérivée de l'évapotranspiration cumulée donne l'évapotranspiration réelle et celle de la production, la productivité.

Ces 2 derniers paramètres sont utilisés pour calibrer et/ou tester des modèles prédisant la réaction de la plante.

Les modèles ont été sélectionnés pour la facilité de leur mise en œuvre ou leur précision. Pour l'évapotranspiration

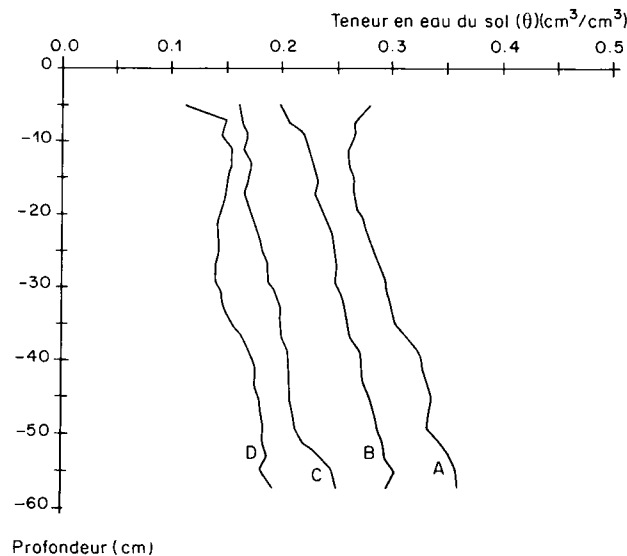


Figure 3  
Profils hydriques moyens des 4 traitements (A et B : traitements « humides » ; C et D : traitements « secs »).  
Average moisture-depth profile of four treatments (A and B : « humid » treatments ; C and D : « dry » treatments).

réelle nous avons choisi 2 modèles assez récents : les modèles de JENSEN *et al.* (1971) et MINHAS *et al.* (1974), et un modèle type « logistique ».

La prédiction de la production de matière sèche sera faite à l'aide du modèle de VISSER (1969) modifié par FEDDES *et al.* (1978). Ce modèle est simple et a l'avantage d'intégrer tous les facteurs de fertilité du sol.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

A. Effet du déficit en eau du sol sur l'évapotranspiration

Les mesures d'évapotranspiration cumulée montrent que, à partir du 30<sup>e</sup> jour, plus sec est le sol, plus faible est le taux d'évapotranspiration (E.T.) (fig. 4). Cette constatation, déjà rapportée par RUSSELL (1973), peut s'expliquer par le fait que la sécheresse du sol entraîne une réduction d'absorption d'eau par les racines qui se traduit par la fermeture des stomates (tension de l'eau de la feuille très importante) (BELMANS *et al.*, 1978 ; FEDDES *et al.*, 1978 ; ROWSE *et al.*, 1978).

Une étude comparative faite à l'aide du test à étendue multiple de DUNCAN (tabl. 3) ne montre aucune différence significative entre les traitements A et B (traitements « humides »). Cela peut être important du point de vue de la pratique si on considère que la différence entre les teneurs en eau volumiques moyennes de ces traitements est d'environ 6 p. 100. La différence entre les traitements « humides » et le traitement C est significative. Elle est très significative comparée au traitement D.

L'écart observé entre les traitements A et B peut être dû à l'évaporation à la surface du sol. En effet, dans un sol humide, la résistance la plus importante pour le transfert de l'eau est celle des racines (GARDNER, 1964 ; HILLEL & TALPAZ, 1976 ; ROWSE *et al.*, 1978).

B. Effet sur la production

L'observation des courbes de la figure 5 et l'analyse des résultats (tabl. 4) montrent une tendance identique, mais un peu moins accentuée, à celle constatée pour l'évapotranspiration. Des observations faites par GESLIN (1964),

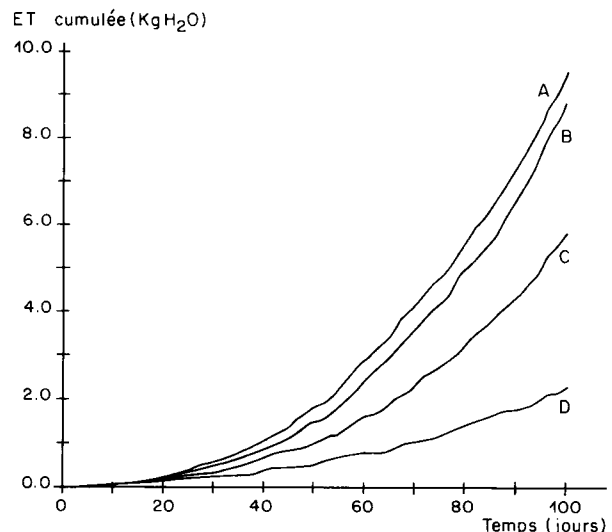


Figure 4  
Effet du déficit en eau du sol sur l'évapotranspiration.  
Cumulative evapotranspiration per treatment.

TABLEAU 3

Analyse de variance : évapotranspiration cumulée en g d'eau/colonne  
 Analysis of variance : cumulative evapotranspiration en g of water/column

jours	A			B			C			D		
	$\bar{X}$	$s_x$	DT	$\bar{X}$	$s_x$	DT	$\bar{X}$	$s_x$	DT	$\bar{X}$	$s_x$	DT
28	440,0	91,7	a	398,0	80,3	a	307,0	33,2	ab	221,3	16,2	b
56	2 230,3	382,3	a	1 832,0	54,2	a	1 323,0	195,5	b	724,3	103,4	c
67	3 947,0	316,5	a	3 339,3	318,4	a	2 135,3	315,9	b	912,3	71,4	c
88	6 136,3	1 052,7	a	5 874,7	805,1	a	3 990,7	453,7	b	1 609,7	81,4	c
95	7 621,0	1 415,0	a	7 583,0	404,2	a	5 298,7	671,9	b	1 946,0	20,4	c
100	9 460,2	578,8	a	8 789,7	537,8	a	5 776,7	660,6	b	2 309,9	120,6	c
102	10 238,0	518,2	a	9 078,6	554,5	a	5 883,0	608,9	b	2 569,3	586,1	c

A, B, C, D = traitements ;  $\bar{X}$  = moyenne ;  $s_x$  = écart-type ; DT = test de DUNCAN (différences non significatives entre valeurs suivies de mêmes lettres, à  $p = 0,05$ ).

TABLEAU 4

Analyse de variance : production de matière sèche en g/colonne  
 Analysis of variance : dry matter yield in g/column

## 1. fanes (top)

Jours	A			B			C			D		
	$\bar{X}$	$S_x$	DT	$\bar{X}$	$S_x$	DT	$\bar{X}$	$S_x$	DT	$\bar{X}$	$S_x$	DT
28	1,39	0,37	a	1,32	0,32	a	1,29	0,20	a	0,90	0,10	a
56	5,51	1,10	a	4,86	0,42	a	5,04	1,39	a	3,01	0,33	a
67	8,52	0,35	ab	9,17	0,80	a	6,56	1,38	b	3,06	0,12	c
88	15,02	4,64	ab	18,07	4,38	a	13,46	1,72	b	5,25	0,55	c
95	19,03	4,99	ab	21,40	1,91	a	15,21	2,74	b	5,89	0,35	c
102	29,60	2,93	a	29,30	2,07	a	19,35	1,62	b	10,44	4,77	c

## 2. gousses (pods)

Jours	A			B			C			D		
	$\bar{X}$	$S_x$	DT	$\bar{X}$	$S_x$	DT	$\bar{X}$	$S_x$	DT	$\bar{X}$	$S_x$	DT
102	11,10	1,59	a	9,92	1,35	a	6,37	1,49	b	3,50	0,53	c

A, B, C, D = traitements ;  $\bar{X}$  = moyenne ;  $S_x$  = écart-type ; DT = Test de DUNCAN  
 (Les valeurs suivies de mêmes lettres n'ont pas de différences significatives à  $p = 0,05$ ).

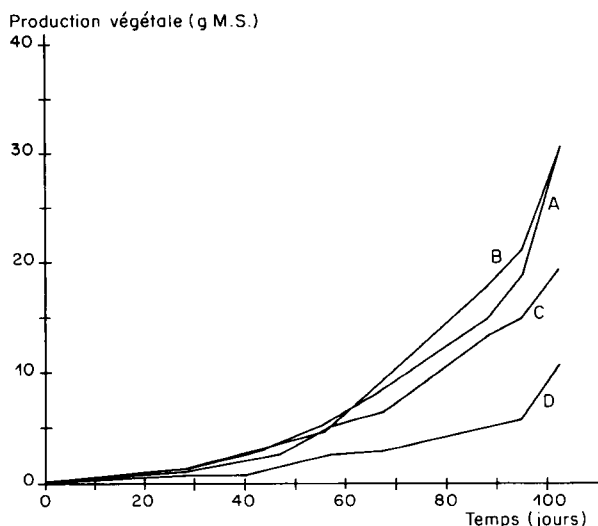


Figure 5  
 Evolution de la production en gramme de matière sèche (fanés + gousses) dans le temps.  
 Dry matter production (top + pods) in with time.

TABLEAU 5

Diminution relative de la production de matière sèche suite au déficit en eau du sol  
 Relative dry matter yield loss due to soil water deficit

Traitements	A	B	C	D
$\Delta Q_g/Q_{gA}$	0	0,11	0,43	0,68
$\Delta Q_t/Q_{tA}$	0	0,01	0,34	0,65

$Q_g$  = poids sec moyen des gousses, l'indice A se réfère au traitement (dry matter yield of pods (mean)).

$Q_t$  = poids sec moyen des fanes (dry matter yield of tops (mean)).  
 $\Delta Q$  = déficit en rendement (yield loss).

et par GATES (1968) ont montré une linéarité entre l'évapotranspiration et la production de matière sèche.

L'effet du déficit en eau du sol est assez marquant sur le rendement en poids sec des gousses ainsi que le montrent les résultats du tableau 5 (à  $t = 102$  j.).

Par ailleurs, on pourrait dire, en utilisant la terminologie de FEDDES *et al.* (1978) que le potentiel matriciel limitant se

trouverait à  $|\psi| \approx 120$  cm, soit un pF de 2,08 (avec  $pF = \log |\psi|$ ). Il correspond approximativement à la succion moyenne caractérisant le traitement B.

De la capacité au champ (pF = 1,70) à ce potentiel, la réaction de la plante pourrait être considérée comme invariable.

IV. PRÉDICTION DE LA RÉACTION DE LA PLANTE

A. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration réelle peut s'exprimer (RIJTEMA, 1965) en fonction de la couverture végétale, des propriétés hydrodynamiques du sol, de la teneur en eau du sol dans la zone des racines et du stade végétatif de la plante.

Plusieurs des modèles proposés sont difficiles à appliquer à cause de l'imprécision liée à des paramètres tels que la résistance à la diffusion à la couche limite feuille-air, la résistance stomatique (FEDDES, 1971) et à des notions comme le potentiel d'eau critique de la plante (RIJTEMA, 1965 ; LANDSBERG *et al.*, 1975).

Dans le cas d'une couverture complète (LAI > 3) on peut utiliser des modèles basés uniquement sur l'eau disponible (ED) exprimée en valeur absolue ou relative (JENSEN *et al.*, 1971 ; MINHAS *et al.*, 1974). Ce sont 2 modèles de ce type et un modèle type « logistique » qui seront testés ou calibrés sur *Vicia faba*.

— Modèle JENSEN *et al.* (1971)

$$\frac{ET}{ET_{max}} = \frac{\text{Ln}(100 ED_r + 1)}{\text{Ln } 101}$$

— Modèle MINHAS *et al.* (1974)

$$\frac{ET}{ET_{max}} = \frac{1 - \exp(-100 R \cdot ED_r)}{1 - 2 \exp(-100 R \cdot ED_{max}) + \exp(-100 R \cdot ED_r)}$$

où R est une constante fonction du type de plante, du sol et du climat et ED<sub>r</sub> l'eau disponible relative (rapport entre l'eau disponible et l'eau disponible maximale, ED<sub>max</sub> = FC - WP).

— Modèle « logistique »

$$\frac{ET}{ET_{max}} = \frac{1}{1 + a \exp(-b \cdot ED_r)}$$

où a et b sont des paramètres expérimentaux.

Les résultats prédits par les modèles (courbe 1 : modèle de JENSEN, courbe 2 : modèle de MINHAS et courbe 3 : modèle type « logistique ») sont illustrés à la figure 6. Les points sont les valeurs observées. Un examen de ces courbes indique une surestimation de l'évapotranspiration relative par les modèles de MINHAS et JENSEN par rapport aux mesures. Le modèle type « logistique » est celui qui s'applique le mieux à notre expérience.

Mais si on se limite aux traitements « humides » (A, B), les résultats prédits pour les 3 modèles semblent bien concorder avec les résultats expérimentaux.

La valeur de R, trouvée pour le modèle de MINHAS *et al.*, est de 0,16. Elle correspond à une plante exigeante en eau. L'auteur donne des valeurs numériques allant de 0,01 à 10 avec 0,2 comme limite entre les cultures exigeantes en eau et celles résistantes à la sécheresse. Une observation attentive du modèle nous mène à dire que les valeurs susceptibles d'être rencontrées en agriculture sont celles comprises entre 0,01 et 3. En effet une valeur supérieure à 3 équivaudrait à une résistance quasi totale à la sécheresse.

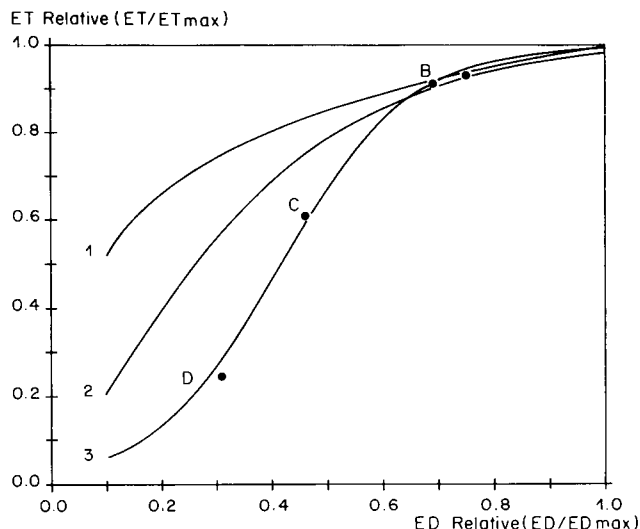


Figure 6  
 Comparaison entre valeurs mesurées (●) et valeurs prédites de l'évapotranspiration relative par les modèles de JENSEN *et al.* (1), MINHAS *et al.* (2) et le modèle « type logistique » (3).  
 Comparison between measured (\*) and simulated relative evapotranspiration using the JENSEN *et al.* model (1), the MINHAS *et al.* model (2) and a « logistic type » model (3).

Les constantes a et b du modèle type « logistique » sont respectivement 36, 23 et 8,62. La comparaison des 3 modèles montre qu'ils permettent tous de déterminer la valeur de l'eau disponible relative en dessous de laquelle il y a chute de production. Par contre, aux faibles teneurs en eau, seul le 3<sup>e</sup> (modèle type « logistique ») est performant.

B. La production

Parmi les nombreux modèles de prédiction de la production végétale, nous avons sélectionné celui que nous appellerons le modèle « V-FKZ ».

Etabli par VISSER (1969) d'après sa conception générale de la relation entre la croissance d'une plante et les éléments indispensables à cette croissance, et repris par FEDDES *et al.* (1978), ce modèle est intéressant à cause de sa précision et de la simplicité de sa mise en œuvre. C'est un modèle à un degré de liberté ζ et 3 paramètres : q<sub>max</sub>, F et W. Il est basé sur l'équation suivante :

$$\left(1 - \frac{q}{F \times W}\right) \left(1 - \frac{q}{q_{max}}\right) = \zeta$$

où : q est la productivité, c.-à-d. la dérivée par rapport au temps de la production de matière sèche Q ;  
 q<sub>max</sub>, la productivité maximale qui reflète l'effet des facteurs limitants autres que l'eau ;  
 ζ, la flexibilité mathématique proche de zéro ;  
 F, l'efficacité maximale de l'utilisation de l'eau et  
 W, le facteur eau défini comme suit :

$$W = T/\Delta e$$

T étant la transpiration et Δe, la différence entre la pression de vapeur d'eau à la saturation (e<sub>s</sub>) (à la surface de la feuille) et la pression de vapeur de l'air ambiant (e). Le facteur eau (W) reflète, en quelque sorte, les propriétés d'échange de gaz (H<sub>2</sub>O<sub>vap.</sub> et CO<sub>2</sub>) à la limite feuille-atmosphère.

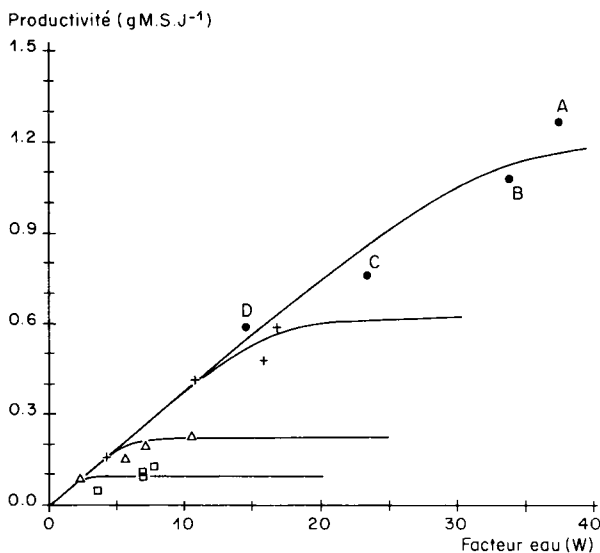


Figure 7

Prédiction de la productivité par le modèle VISSER-FKZ après 30 j (□), 50 j (△), 80 j (+), 100 j. (●).  
 Prédiction of dry matter production after 30 days (□), 50 days (△), 80 days (+), 100 days (●) using the model of VISSER-FKZ.

En effet,  $T = \frac{\Delta e}{r_a + r_c}$ , où  $r_a$  et  $r_c$  sont respectivement la résistance à la diffusion de vapeur d'eau dans l'air à la couche limite et la résistance dans la feuille, qui peut être considérée égale à la résistance stomatique (HSIAO & ACEVEDO, 1974).

Le modèle VISSER-FKZ, calibré sur *Vicia faba*, donne une flexibilité mathématique  $\zeta = 0,015$  et une efficacité maximale  $F$  (exprimée en g de matière sèche  $\times$  (jour) $^{-1}$   $\times$

mbar  $\times$  (g H<sub>2</sub>O) $^{-1}$ ) égale à 0,038 7. La réponse de la plante, pour des temps variables, est donnée à la figure 7. On note un très bon accord entre les résultats numériques et les résultats expérimentaux ; ce qui atteste la validité de ce modèle dont la performance a déjà été constatée par SLABBERS (1978), lors de son application sur 3 types de plante en comparaison avec le modèle de RIJTEMA & ENDRÖDI (1970).

## V. CONCLUSION

Une sécheresse relative réduit la synthèse de matière sèche et l'évapotranspiration. Son incidence sur la production de gousses semble assez importante (jour 102). Les modèles utilisés pour prédire l'évapotranspiration réelle donnent tous des résultats satisfaisants pour les valeurs d'eau disponible situées dans les traitements « humides ». Ils permettent de déterminer le potentiel matriciel limitant et peuvent donc servir à définir les modalités d'alimentation en eau de la féverole. Néanmoins, il serait intéressant de noter que pour des teneurs en eau faibles, le modèle type « logistique » est le plus performant. Les données expérimentales soumises au modèle VISSER-FKZ suffisent pour montrer son degré de validité. Il donne de façon quantitative l'effet d'une sécheresse relative sur la production de matière sèche ou de toute partie commercialisable de la plante. Il serait intéressant de poursuivre le test de ce modèle, dans les conditions de champ, en comparaison avec d'autres, assez récents, tels que ceux de RIJTEMA & ENDRÖDI (1970) et de STEWART & HAGAN (1974).

Reçu le 18 mars 1981  
 Accepté le 2 novembre 1981.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Belmans C., Feyen J., Hillel D.**, 1978. Comparison between simulated and measured moisture profiles in a sandy soil during extraction by a growing root-system. In *Modeling Identification and Control in Environmental System*. Ed. American Elsevier, North Holland, 317 p.
- Feddes R. A.**, 1971. *Water, heat and crop growth*. Thèse de doctorat, Agric. Univ. Wageningen. The Netherlands, 184 p.
- Feddes R. A., Kowalik P., Zaradny H.**, 1978. *Simulation of field water use and crop yield*. Pudoc. Wageningen, Simulation Monographs, 189 p.
- Gardner W. R.**, 1964. Relation of root distribution to water uptake and availability. *Agron. J.*, **56**, 41-45.
- Gates C. T.**, 1968. Water deficits and growth of herbaceous plants. In « *Water deficits and plant growth* ». Ed. by Kozłowski T. T., Academic Press, N.Y. 135-190.
- Geslin M. H.**, 1964. L'évapotranspiration potentielle, facteur limitant de la production. *Journées Européennes d'études théoriques et pratiques « semences »*. Toulouse, 1964, I T.C.F. 43-52.
- Hagan R. M.**, 1959. Interpretation of plant responses to soil moisture regimes. *Adv. Agron.*, **XI**, 77-98.
- Hillel D., Talpaz H.**, 1976. Simulation of root growth and its effect on the pattern of soil water uptake by a nonuniform root system. *Soil Sci.*, **121**, 307-312.
- Hsiao T. C., Acevedo E.**, 1974. Plant responses to water deficits, water use efficiency and drought resistance. *Agric. Meteorol.*, **14**, 59-84.
- Jackson R. D.**, 1972. On the calculation of the hydraulic conductivity. *Soil Sci. Am. Proc.*, **36**, 380-382.
- Jensen M. E., Wright J. L., Pratt B. J.**, 1971. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. *Trans. ASAE*, **14** (5), 954-962.
- Landsberg J. R. et al.**, 1975. Environmental effects on crop physiology. Academic Press, N. Y., 338 p.
- Mériaux S.**, 1972. Influence de la sécheresse sur la croissance, le rendement et la composition de la féverole. *Ann. agron.*, **23** (5), 533-546.
- Minhas B. S., Parik K. S., Srinivajan T. N.**, 1974. Toward the structure of a production function for wheat yields with dated inputs of irrigation water. *Water Resour. Res.*, **10** (3), 383-393.
- Rijtema P. E.**, 1965. *An analysis of actual evapotranspiration*. Thèse de doctorat, Agric. Univ. Wageningen. The Netherlands, 107 p.
- Rijtema P. E., Endrödi G.**, 1970. Calculation of production of potatoes. *Neth. J. Agric. Sci.*, **18** (1), 26-36.
- Rowse A. R., Stone D. A., Gerwitz A.**, 1978. Simulation of the water distribution in soil II. The model for cropped soil and its comparison with experiment. *Plant and Soil* 49 : 533-550.
- Russel E. W.**, 1973. *Water and crop growth dans : Soil conditions and plant growth*. 10th Edition Ed. Longman, London : 448-470.
- Salter P. J.**, 1967. Crop responses to water at different stages of growth. Res. Rev. n° 2 of the Commonwealth Bureau of Hort. and Plantations Crops. Farnham, Royal, Bucks, England., 246 p.
- Slabbers P. J.**, 1978. Crop response to limited water supply. A progress report. *Neth. J. agric. Sci.*, **26** (3), 21-33.
- Stewart J. I., Hagan R. M.**, 1974. Functions to predict the effect of crop water deficits. *J. Irr. and Dr. Div.*, **99**, n° IR 4, 316-332.
- Taylor S. A.**, 1962. Water relations of field crops. Plant-water relationships in arid and semi-arid conditions. Proceedings of the Madrid Symposium, Unesco : 303-308.
- Visser W. C.**, 1969. Rules of transfer of water management experiences, with special references to the assessment of design constants. *Comm. hydrol. Onderz. T. N. O., Versl. Med.*, n° 15, 90-147.
- Watson K. K.**, 1966. An instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials. *Water Resour. Res.*, **2**, 709-715.