

DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION MAXIMALE ET  
DES COEFFICIENTS CULTURAUX DU MAIS GRAINS (ZEA MAYS).

par A. ISSOLAH  
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 :

ان دراسة التبخر الاقصى على مبخار التصريف سمحت بتحديد

المعاملات الزراعية للذرة .

ان ايقاع الاستهلاك من الماء لهذه النبتة اختلف في ثلاثة مراحل

مختلفة .

النتائج المحصل عليها و المقارنة مع التبخر الطاقوى

المقدر بواسطة  $PENMAN$  ,  $TURC$  ومع تبخر طبقة مائية

حرة و محسوبة بواسطة حوض،، درجة أ،، تبين الارتباط الضيق بين

$K_c$  و الميادين النباتية لزراعة حبة الذرة .

RESUME

L'étude de l'évapotranspiration maximale sur évapotranspiromètres à drainage a permis de déterminer les coefficients culturaux du maïs grains.

Le rythme de consommation en eau chez ce végétal a été différencié en trois phases bien distinctes.

Les résultats obtenus comparés à l'évapotranspiration potentielle estimée via les formules de **PENMAM (1948)** et **TURC (1961)** et à l'évaporation d'une nappe d'eau libre mesurée via le bac "**class A**", montrent une relation étroite entre les coefficients culturaux et les stades végétatifs de la culture du maïs grain.

## 1. INTRODUCTION

En vue de définir les besoins en eau du maïs, notre étude a porté sur la détermination des coefficients culturaux sous les conditions algériennes (**A. ISSOLAH, 1982**).

L'évapotranspiration d'un couvert végétal et l'évaporation d'une nappe d'eau libre peuvent être estimées par différentes méthodes. La quasi-totalité des formules actuelles d'estimation du potentiel d'évapotranspiration sont influencées par les travaux de **THORNTHWAITE (1948)** et de **PENMAM (1948)**.

A partir du bilan d'énergie et des méthodes aérodynamiques, **PENMAM** imagine en premier lieu l'évaporation d'une nappe d'eau libre pour enfin aboutir à l'évapotranspiration d'un couvert végétal du type herbacé. Il définit une limite supérieure de l'évapotranspiration dans le cas où les ressources en eau du sol ne sont pas le facteur limitant et l'appelle l'évapotranspiration potentielle (**ETP**) dont la référence est le gazon.

Pour les cultures en général, on parle d'évapotranspiration maximale (**ETM**), variable en fonction des différents stades végétatifs.

. La mesure de **ETP** ou **ETM** peut être faite via des évapotranspiromètres pesables ou à drainage , qui sont des cuves enterrées remplies de terre et cultivées.

## 2. MATERIEL ET METHODES

Les expérimentations ont été réalisées sur cuves lysimétriques à drainage à l'Institut National Agronomique d'El-Harrach (Alger), durant deux années consécutives (**1979** et **1980**).

Le schéma de la **Figure 1** montre la disposition des cuves lysimétriques et de la station météorologique, ainsi que l'emplacement du bac d'évaporation "**class A**". Ces cuves lysimétriques ont 2 x 2 m de superficie, et 1,40 m de profondeur.

Nous disposons de quatre cuves et de deux types de sols (**sol A** et **sol B** ; **Figure 1**).

Les sols proviennent de la plaine d'El-Khemis (située dans l'étage bioclimatique semi-aride), et sont en place depuis plus de 25 ans dans les lysimètres. L'analyse granulométrique montre que le **sol A** est argilo-limoneux et le **sol B** limoneux (**tableau 1**).

La porosité totale est relativement élevée (58% pour le **sol A** et 55% pour le **sol B**) et la conductivité hydraulique saturée mesurée par la méthode du double anneau est de l'ordre de 0,5 m/jour pour le **sol A** et de 1 m/jour pour le **sol B**. Bien qu'ils soient classés dans les sols lourds, on peut dire que ces deux types de sol sont aérés et relativement perméables.

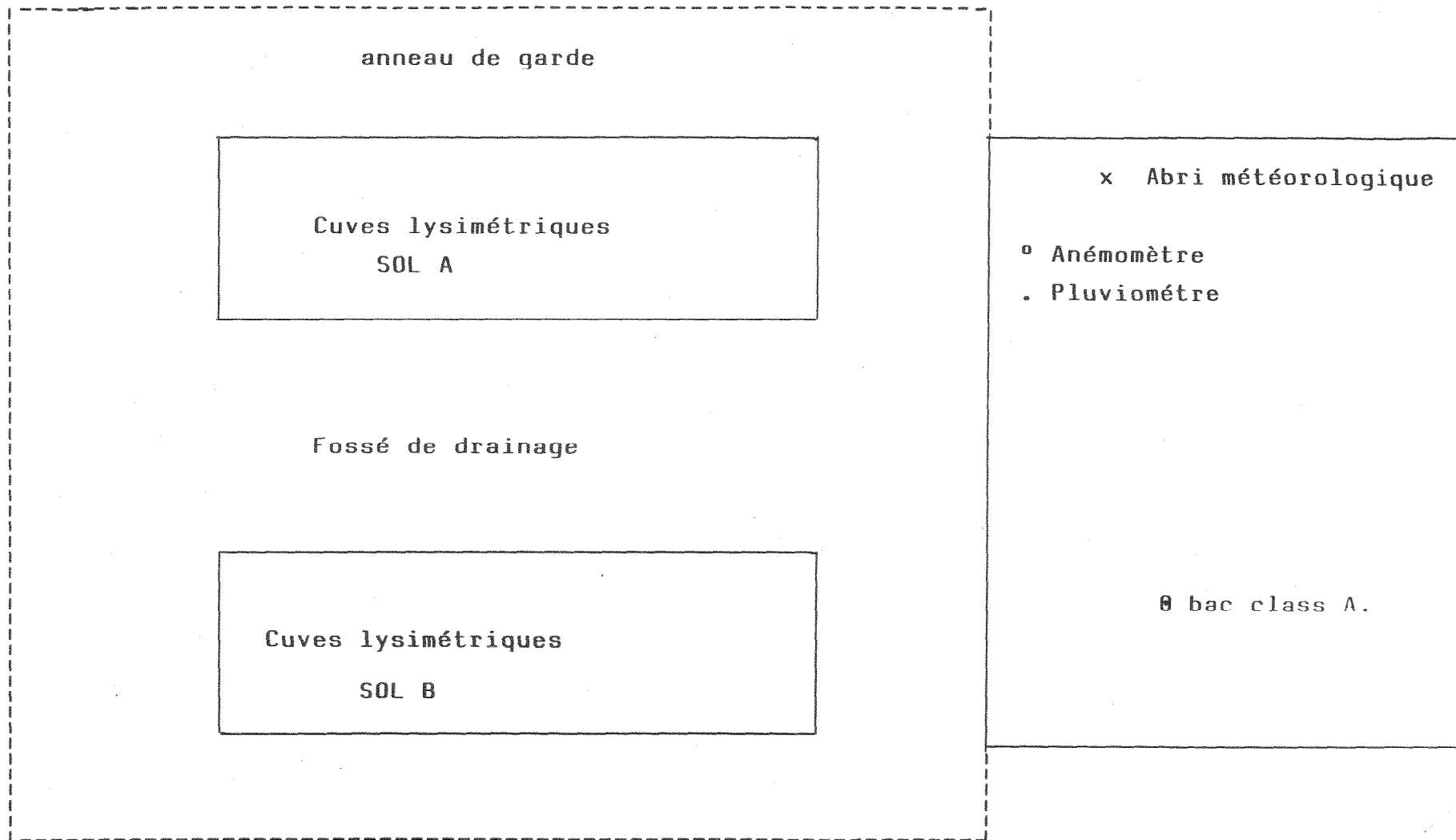


Figure 1 - Dispositif expérimental

Tableau 1.- Analyse granulométrique pour les deux types de sol (A et B).

SOLS	% Argile	% Limon	% Sable	Texture
I	41,0	44,6	14,4	Argilo-limoneuse
SOLS A	.....			
II	6,2	79,6	14,2	Limons-fins
SOL B	22,1	33,9	44,0	Limoneuse

Les mesures effectuées comprennent en outre :

- 1°- des mesures de croissance végétative aérienne.
- 2°- des mesures d'indices foliaires (uniquement pour 1980)
- 3°- des mesures complémentaires de données climatiques (température et humidité de l'air sous abri de même que les précipitations).

### 3. RESULTATS

Les notations utilisées sont :

$E_{v\text{bac}}$  : évaporation décadaire du bac "class A" exprimée en mm ;

$ET_{cA}$  : évapotranspiration maximale décadaire du maïs correspondant au sol A, exprimée en mm ;

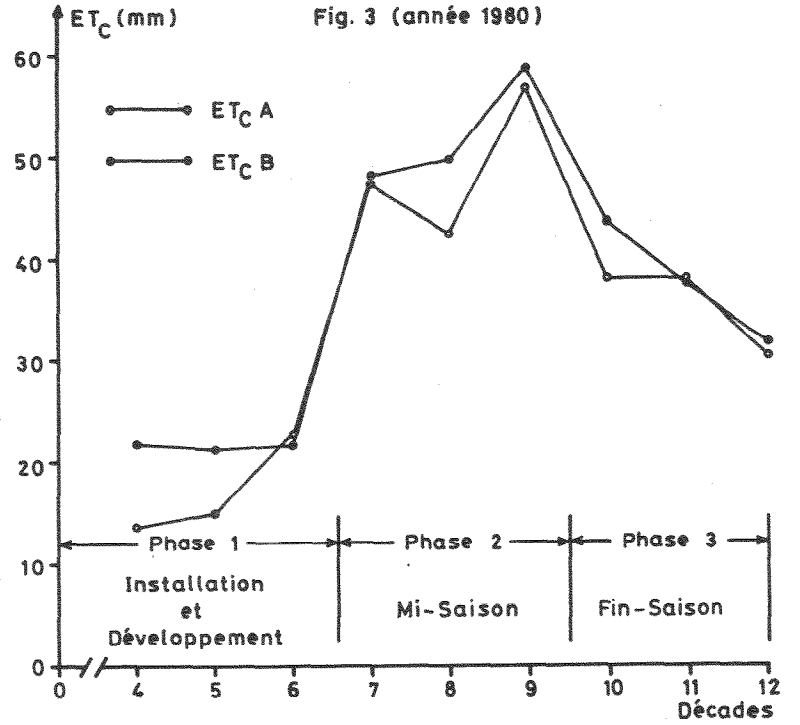
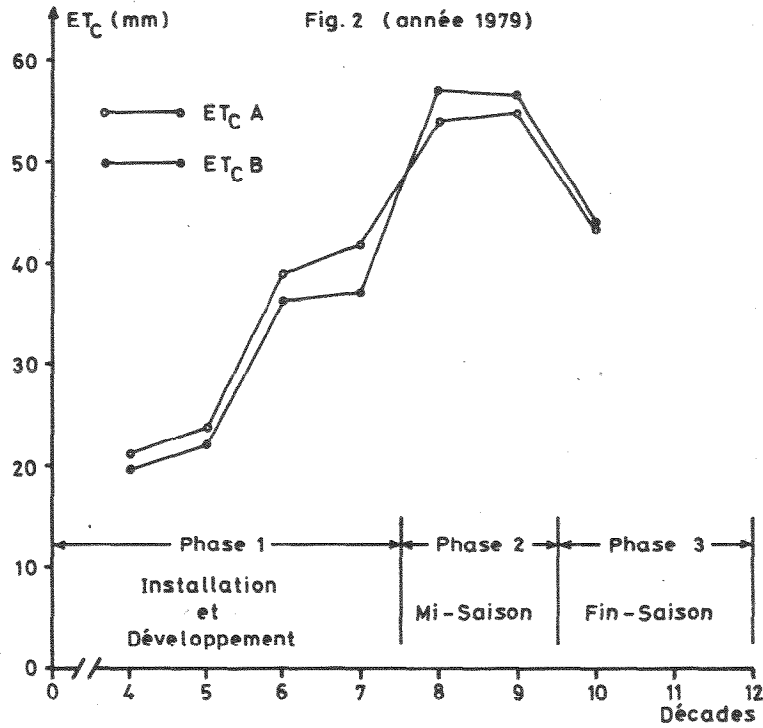
- $ET_c B$  : évapotranspiration maximale décadaire du maïs correspondant au sol B, exprimée en mm ;
- $ETP_p$  : évapotranspiration potentielle décadaire PENMAN (1948) pour une culture de gazon, exprimée en mm ;
- $ETP_T$  : évapotranspiration potentielle décadaire TURC (1961) exprimée en mm ;
- $K_{c\text{ bac}}$  : coefficient du bac, où rapport  $\frac{ET_c A \text{ ou } ET_c B}{E_{v\text{ bac}}}$
- $K_c ETP_p$  : coefficient cultural, où rapport  $\frac{ET_c A \text{ ou } ET_c B}{ETP_p}$
- $K_c ETP_T$  : coefficient cultural, où rapport  $\frac{ET_c A \text{ ou } ET_c B}{ETP_T}$
- LAI : indice foliaire, mesuré pour les trois stades végétatifs :

### 3.1. Modalités de la consommation en eau du maïs au cours des différents stades végétatifs

Les résultats sont reportés dans les Figures 2 et 3. En comparant les années 1979 et 1980, pour lesquelles les conditions expérimentales sont les mêmes, on remarque que :

- 1°- La pointe de consommation pour les deux années est semblable : 57 mm en 1979 et 59 mm en 1980.

09



Courbes de consommation en eau maximale du maïs pour deux types de sols

2°- Il est possible de distinguer trois phases dans le rythme de consommation (Figures 2 et 3), liées au développement de la culture.

**Phase I** Elle correspond à la période d'installation et de développement de la culture.

Pendant cette période, la culture a un rythme de consommation en eau relativement faible.

Pour 1979, cette phase, qui débute au semis, s'étale sur 68 jours et se termine le 30.06. Durant les quatre dernières décades, qui correspondent au stade de développement (J. DOORENBOS et W.O. PRUIT, 1975), les plantes ont exporté 127 mm d'eau soit 3,2 mm/jour en moyenne pour les deux types de sols.

La croissance végétative est de 2,2 cm/jour en moyenne pour les deux années (Tableau 2).

**Tableau 2** Evolution de la croissance de la culture du maïs pour deux années (1979 et 1980)

ANNEES	Périodes d'échantillonnage et de croissances végétatives (cm/jour)				
	19.04.au 20.05	21.05au 20.06	29.06au 18.07	19.07au25.07	
1979	ET <sub>c</sub> A	1,9	2,4	2,9	0,4
	ET <sub>c</sub> B	1,9	2,4	2,9	0,1
1980		04.04.au 24.04	25.04.au16.05	17.05au 23.06	24.06.au08.07
	ET <sub>c</sub> A	1,9	2,3	2,6	0,7
	ET <sub>c</sub> B	1,9	2,0	2,8	0,4



En 1980, la phase 1, qui débute au semis, se prolonge jusqu'au 31.05, soit 64 jours. La consommation totale pendant la période de développement de la culture (ici trois décades) est de 59 mm, soit en moyenne 2,0 mm par jour pour les deux types de sols.

La croissance végétative est de 2,1 cm par jour en moyenne (Tableau 2).

On remarque que le rythme de consommation en eau de l'année 1979 est supérieur à celui de l'année 1980 (3,2 mm contre 2,0mm).

**Phase II.** - Elle correspond approximativement au stade floraison et formation des panicules (grains) et dure entre 20 et 30 jours. Principalement en cette période, le maïs est exigeant en eau (J. PUECH et M. HERNANDEZ ,1973). Cette phase s'étale du 01.07 au 20.07 en 1979, soit sur deux décades. La consommation totale en eau est de 111 mm , soit 5,6 mm par jour en moyenne pour les deux types de sols. La croissance du maïs est de 2,5 cm par jour en moyenne.

En 1980, la phase 2 s'étale du 31.05 au 30.06, soit 30 jours. Les plantes ont exporté 153 mm soit 5,1 mm par jour en moyenne pour les deux types de sols. La croissance végétative moyenne est de 2,6 cm par jour.

**Phase III.** - Pendant cette période, le grain complète sa croissance et sa maturation ; la consommation en eau diminue progressivement (Figures 2 et 3).

En 1979, cette phase débute le 20.07. Pendant la première décade observée \*, la consommation en eau est de 44 mm d'eau soit 4,4 mm par jour en moyenne.

\* Les observations n'ont pu être poursuivies jusqu'à la fin du cycle végétatif en raison de la destruction accidentelle de la récolte.

En 1980, elle commence le 30.06 et se termine le 27.07 soit trois décades ; la culture a exporté 110 mm d'eau soit 3,7 mm par jour en moyenne pour les deux types de sols.

Pour comparaison, le maïs a exporté pour les deux types de sols et pour des durées correspondantes , soit 7 décades :

	Sol A	= 280 mm
1979		
	Sol B	= 275 mm
	Sol A	= 239 mm
1980		
	Sol B	= 267 mm

( le cycle complet a été de 12 à 13 décades).

Les différences entre les deux types de sols ne sont pas d'importance significative.

### 3.2. Détermination des coefficients culturaux $K_c$

Nous avons reporté sur les figures 4 et 5 , et pour les deux années successives (1979 et 1980), les coefficients culturaux  $K_c$ ,  $ETP_p$ ,  $K_c ETP_T$  et le coefficient  $K_c bac$ .

#### Année 1979

-Phase I.- Pour les trois dernières décades de cette phase,  $K_c bac$  varie de 0,41 à 0,79 avec une moyenne de 0,61 ;  $K_c ETP_T$  quant à lui est compris entre 0,43 et 0,96 avec une moyenne de 0,70.

- Phase II.- Pendant cette deuxième phase ,  $K_c \text{bac}$  varie de 0,87 à 0,94 avec une moyenne de 0,90 :  $K_c \text{ETP}_P$  varie de 0,94 à 1,00 avec une moyenne de 0,97.  $K_c \text{ETP}_T$  est compris entre 1,17 et 1,23 avec une moyenne de 1,19
  
- Phase III.-  $K_c \text{bac}$  moyen est de l'ordre de 0,77 pendant la période étudiée (soit une décade seulement);  $K_c \text{ETP}_P$  moyen est de 0,83 ,  $K_c \text{ETP}_T$  moyen est de 1,04.

### Année 1980

- Phase I.- Pour les trois dernières décades de cette phase,  $K_c \text{bac}$  varie de 0,30 à 0,56 avec une moyenne de 0,47;  $K_c \text{ETP}_P$  varie de 0,33 à 0,60 avec une moyenne de 0,47 et  $K_c \text{ETP}_T$  est compris entre 0,38 et 0,61 avec une moyenne de 0,52.
  
- Phase II.-  $K_c \text{bac}$  est compris entre 0,78 et 0,91 avec une moyenne de 0,84 ;  $K_c \text{ETP}_P$  est compris entre 0,85 et 1,09 avec une moyenne de 0,98 ;  $K_c \text{ETP}_T$  varie de 0,94 à 1,17 avec une moyenne de 1,05.
  
- Phase III.-  $K_c \text{bac}$  est compris entre 0,52 et 0,74 avec une moyenne de 0,62 ;  $K_c \text{ETP}_P$  est compris entre 0,50 et 0,89 avec une moyenne de 0,68 et  $K_c \text{ETP}_T$  est compris entre 0,94 et 0,56 , avec une moyenne de 0,75.

Ces résultats montrent que  $K_c$  est faible pendant le développement de la plante. Rappelons que, au cours de la première phase, nous avons en présence deux phénomènes bien distincts :

- la transpiration des jeunes plantes ;
- l'évaporation du sol.

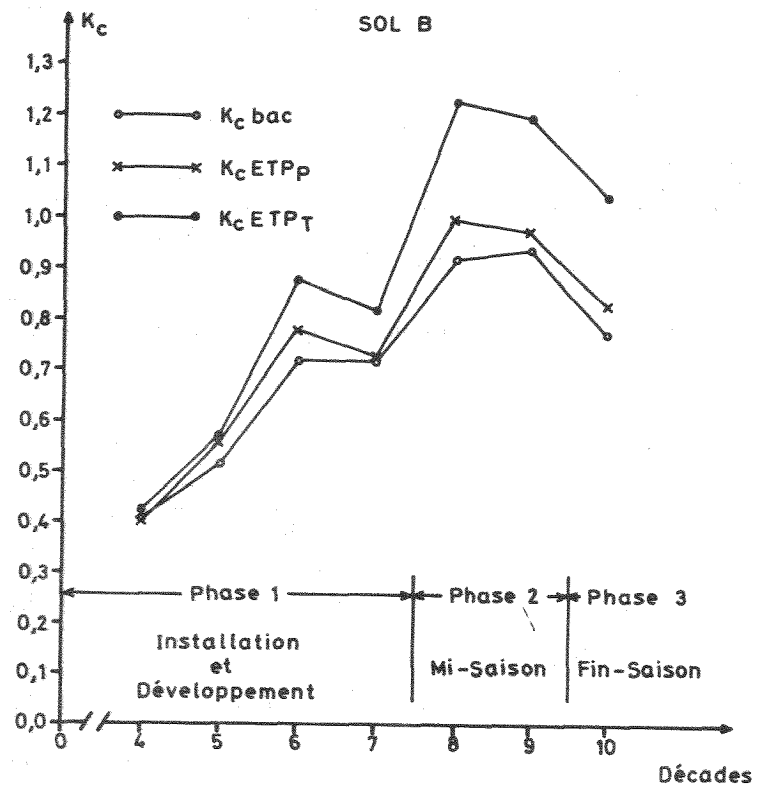
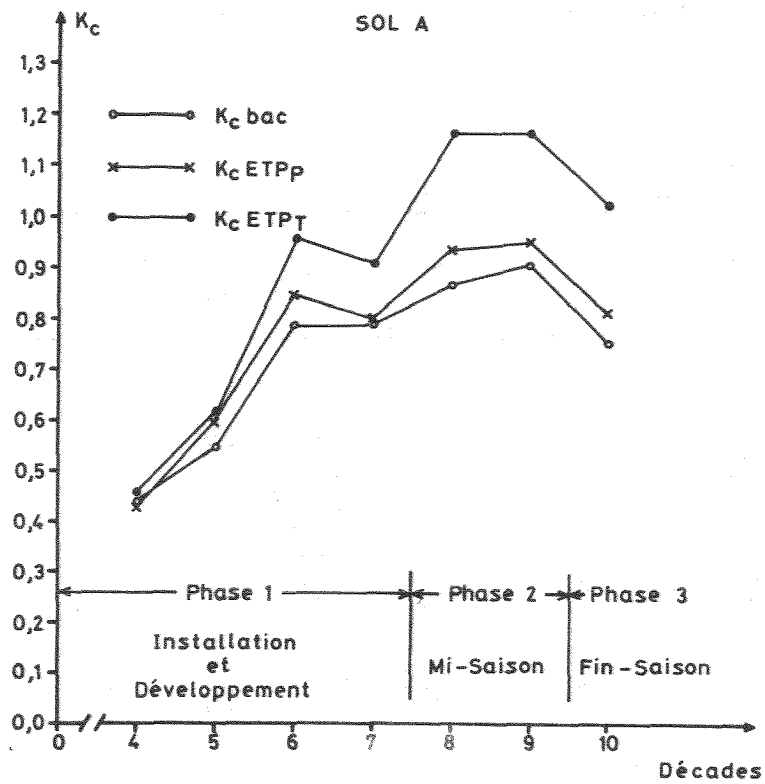


Fig. 4 - Evolution des  $K_c$  en fonction des stades végétatifs du maïs (année 1979)

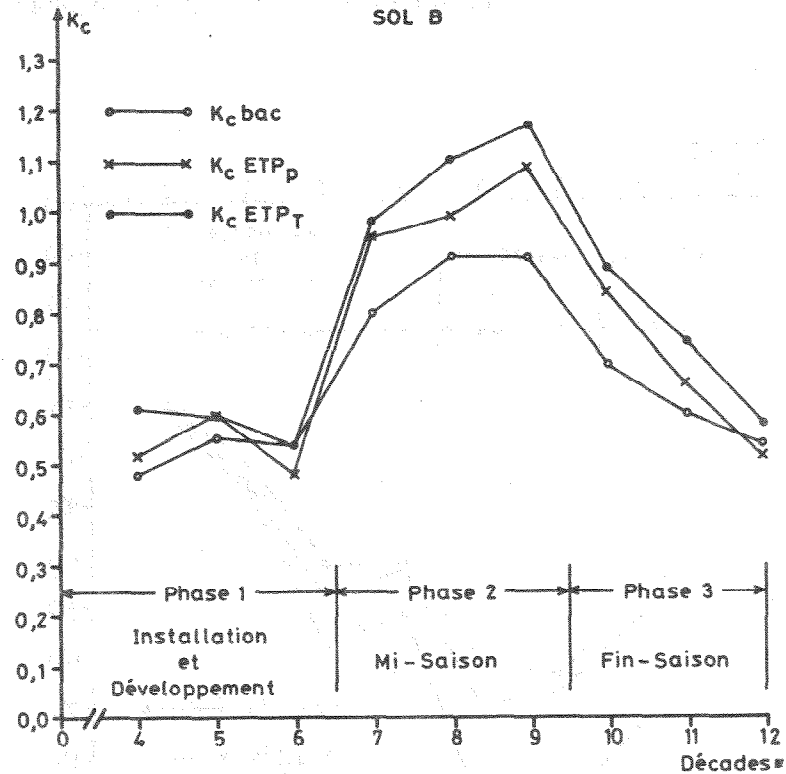
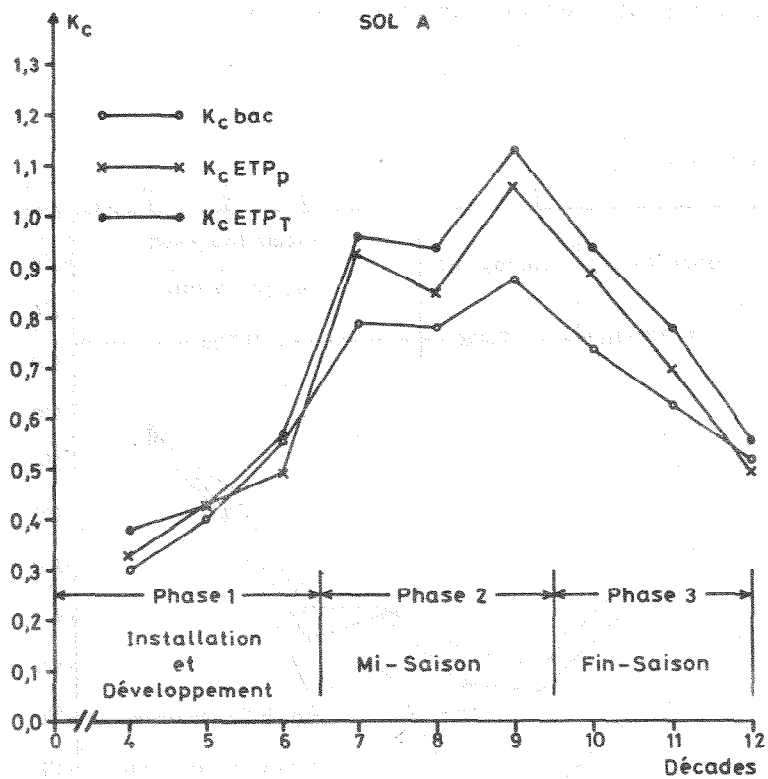


Fig. 5 - Evolution des  $K_c$  en fonction des stades végétatifs du maïs (année 1980)

Au fur et à mesure que les plantes se développent, elles couvrent de mieux en mieux le sol, et à couverture totale, l'évaporation du sol sera pratiquement nulle ou insignifiante comparée à la transpiration (J.T. RITCHIE, 1972).

Les valeurs moyennes de l'indice foliaire LAI mesurées pendant cette première phase (année 1980) sont de 1,9, donc inférieures à 3, valeur qui correspond à la couverture totale (RITCHIE, 1972).

Pendant la deuxième phase, les plantes couvrent totalement le sol (LAI = 6,1 pour 1980) et on observe approximativement :

$$ET_c A \text{ (ou } ET_c B \text{)} = ETP$$

C'est à dire que l'évapotranspiration maximale de la culture du maïs ( $ET_c A$  ou  $ET_c B$ ) est sensiblement égale à l'évapotranspiration potentielle.

J. DOORENBOS et KASSAM AH. (1980) utilisent l'expression suivante :

$$ETM = K_c(D) \cdot K \cdot E_v \text{ bac}$$

Dans cette relation,  $K$  est un coefficient du bac, tabulé en fonction de l'humidité relative et de la vitesse du vent, et  $K_c(D)$  le coefficient cultural, fonction de la référence utilisée par DOORENBOS. On a donc, dans ce cas :

$$K_c(D) = \frac{K_c \text{ bac}}{K}$$

Pour la culture du maïs, les valeurs de  $K_c(D)$  proposées sont les suivantes :

- stade initial (15 à 30 jours) :  $0,30 \leq K_c(D) \leq 0,55$ ;
- stade développement (30 à 45 jours)  $0,70 \leq K_c(D) \leq 0,85$ ;

- stade mi-saison (20 à 30 jours) :  $1,05 < K_{c(D)} < 1,20$  ;
- stade fin-saison (10 à 30 jours) :  $0,80 < K_{c(D)} < 0,95$ .

Dans les mêmes conditions de calcul, nous obtenons les résultats du **tableau 3**.

**Tableau 3.- Valeurs de  $K_{c(D)}$  estimées.**

STADES	A N N E E S	
	1979	1980
Initial	-	-
Développement	$K_{c(D)} = 0,72$	$K_{c(D)} = 0,55$
Mi-saison	$K_{c(D)} = 1,05$	$K_{c(D)} = 0,99$
Fin-saison	* -	$K_{c(D)} = 0,73$

\*- Mesures incomplètes.

Nos résultats se situent dans la gamme des plus faibles valeurs des coefficients de **DOORENBOS**. Rappelons que ces coefficients sont liés aux conditions d'installation de la référence utilisée (ici le bac "class A").

#### **4. CONCLUSION**

Une expérimentation sur maïs a été conduite pendant deux années sous les conditions climatiques algériennes propres à celles du bassin méditerranéen.

Les résultats obtenus permettent de situer trois phases principales dans la consommation en eau du maïs.

La première correspond à un rythme de consommation en eau croissant, de l'ordre de 2 à 3 mm /jour en moyenne, et un coefficient  $K_c$  bac de l'ordre de 0,5 pour le stade dit de développement de la culture. Rappelons que le  $K_c$  bac est le rapport entre l'évapotranspiration maximale de la culture du maïs et celui de l'évaporation du bac class A de référence.

Une deuxième phase présente un  $K_c$  bac voisin de l'unité, et une consommation en eau moyenne de l'ordre de 5 à 6 mm /jour sous nos conditions d'expérimentation.

Enfin, une troisième phase pour laquelle, la consommation en eau est décroissante, en moyenne de l'ordre de 4,0 mm/jour, et correspond essentiellement à la phase de la maturation des grains. Le coefficient  $K_c$  bac moyen avoisine 0,6 à 0,7.

Il est à remarquer en particulier qu'il existe une variabilité interannuelle des coefficients culturaux, pour un même stade de croissance végétative.

Enfin, les différences entre les deux types de sol étudiés n'apparaissent pas d'importance significative.

Dans l'optique d'une poursuite de recherches, sur la détermination des besoins en eau des cultures, il serait intéressant en Algérie, où l'eau est pratiquement un "élément rare", de définir les périodes de sensibilité à la sécheresse pour le maïs grains à partir de mesures in situ.



BIBLIOGRAPHIE

- DOORENBOS J., PRUITW.O., 1975.**- Besoins en eau des cultures.  
Bulletin F.A.O. d'irrigation et de drainage.  
ROME 24; 198 p.
- DOORENBOS J., KASSAM AH., 1980.**- Réponse des cultures à l'eau.  
Bulletin F.A.O. d'irrigation et de drainage.  
33, 31-31, 125-129.
- ISSOLAH A., 1983.**- Contribution à l'étude de l'évapotranspiration  
et des besoins en eau du maïs grain.  
Thèse de Magister. Alger, 235 p.
- PENMAN H.L., 1948.**- Natural evaporation from open water, bare soil  
and grass. Proc. Roy. Soc., Londres, (A) 193, 120-145.
- PUECH J., HERNANDEZ M., 1973.**- Evapotranspiration comparée de diffé-  
rentes cultures. Etude de quelques facteurs influen-  
çant les rythmes de consommation. Ann. Agron., 24 (4),  
455-473.
- RITCHIE J.T., 1972.**- Model for predicting evaporation from a row crop  
with incomplete cover.  
Water Research, 8 (5), 1204-1213.
- TURC L., 1961** .- Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapo-  
transpiration potentielle.  
Ann. Agron., 12 (1), 13-49.