

H

# ANNALES DE L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE DE TUNISIE

---

B. A. Monteny

---

**BILANS HYDRIQUES ET ENERGETIQUES  
D'UNE CULTURE DE BLE EN REGION SEMI-ARIDE  
PROBLEMES D'IRRIGATION ET DE PRODUCTIVITE**

---

---

Vol. 43 - Fasc. 1



36 P. — 1970

---

I.N.R.A.T. — ARIANA (Tunisie)

19 MAI 1972

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

no 5451 Bet

B.A. Monteny



**BILANS HYDRIQUES ET ENERGETIQUES  
D'UNE CULTURE DE BLE EN REGION SEMI-ARIDE**

**PROBLEMES D'IRRIGATION ET DE PRODUCTIVITE**



**S O M M A I R E**

	Pages
I. — INTRODUCTION .....	3
II. — CADRE GENERAL DES RECHERCHES .....	4
III. — RESULTATS ET DISCUSSION .....	5
A — Les facteurs climatiques du milieu	
B — Evolution de la consommation en eau de la culture	
1 — Evolution de l'évapotranspiration réelle maximale	
2 — Evolution de l'évapotranspiration réelle	
C — Bilan énergétique	
D — Croissance	
E — Tableau récapitulatif	
IV. — CONSEQUENCES AGRONOMIQUES .....	30
V. — CONCLUSION .....	32
VI. — RESUME .....	33

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Monsieur le Professeur Vernet pour nous avoir permis d'effectuer les travaux sur les parcelles expérimentales installées au Centre d'Etudes de l'Eau et Monsieur Mousset qui a mis en place les cultures et nous a fourni des conseils agronomiques tout au long de l'expérimentation. Nous exprimons notre reconnaissance à Monsieur El Amami, Chef du Laboratoire de Bioclimatologie de l'Institut de la Recherche Agronomique de Tunis qui a mis à notre disposition l'ensemble du matériel de mesure et nous remercions l'ensemble du personnel technique pour l'aide apportée à la réalisation de ce travail.

B. A. Monteny<sup>1</sup>

—•—

## BILANS HYDRIQUES ET ENERGETIQUES D'UNE CULTURE DE BLE EN REGION SEMI-ARIDE

PROBLEMES D'IRRIGATION ET DE PRODUCTIVITE<sup>2</sup>

—•—

### I. — INTRODUCTION

L'introduction récente en Tunisie de certaines variétés de blé mexicain très productives, est intéressante et nécessite l'étude de leur comportement dans un milieu écologique nouveau.

La production commercialisable d'une culture est une fraction de la matière sèche totale élaborée. Afin qu'elle soit la plus élevée possible, les interactions entre le climat et la physiologie de la plante doivent être mieux connues, ainsi que leur évolution au cours du cycle complet de la culture. Il est alors plus aisé d'intervenir au cours de la croissance de la plante à des stades bien définis.

Un travail antérieur, effectué également à Tunis, (Vernet et al. 1969), a présenté certains résultats concernant la consommation en eau et l'alimentation azotée d'un blé mexicain « Pictic 62 ». Des apports de 150 mm à 200 mm d'eau paraissent nécessaires pour compléter l'insuffisance de la pluviosité et des réserves en eau du sol au cours de la période végétative, (décembre à mai).

Le présent travail cherche à déterminer l'influence des facteurs climatiques sur la croissance du blé, en étudiant les bilans énergétiques et hydriques, et l'accroissement de matière sèche des différents organes de la plante durant son cycle complet. En outre, il vise à trouver les moments les plus opportuns, pour les irrigations, dans le but d'augmenter la production commercialisable.

---

(1) Chargé de recherches ORSTOM. Adresse actuelle : ORSTOM. BP. 20 Abidjan (Côte d'Ivoire).

(2) Remis pour la publication le 25 mai 1970.

## II. — CADRE GENERAL DES RECHERCHES

### a. — *Variété choisie* : (voir annexe)

La variété de blé mexicain retenue pour cet essai est le « Tobari 66 ». Elle se caractérise par des épis à barbes très abondantes et une bonne résistance à la verse. Son cycle végétatif est plus court de 15 à 20 jours que celui des blés cultivés couramment en Tunisie. Cette précocité est un élément important dans cette région car elle raccourcit la durée d'exposition de la culture aux conditions climatiques défavorables de fin de printemps : manque de pluie et augmentation importante du rayonnement global et des facteurs qui en dépendent.

### b. — *Mise en place et conduite de l'expérimentation* :

Ce travail a été conduit au Centre d'Etude de l'Eau de l'ENSAT-INRAT, situé dans la banlieue de Tunis.

c. — *Le terrain* préparé suivait une jachère d'été. Toutefois, durant la période hiver 67 - printemps 68, il était occupé par une culture de bersim (*Trifolium alexandrinum*) avec irrigation de complément. La surface totale de la culture était de 1.200 m<sup>2</sup>, partagée en 20 parcelles de 60 m<sup>2</sup> (6 × 10 m). Un épandage d'engrais azoté (ammonitrite à 22,5%, c'est-à-dire 1,2kg/60 m<sup>2</sup> soit 200 kg/ha) a été effectué peu avant le semis. Pour chaque parcelle, les grains ont été semés dans une trentaine de sillons, distants de 0,20 m, à raison d'une densité de 720 g/60 m<sup>2</sup>, soit 120 kg/ha.

Etant donné les conditions météorologiques défavorables (pluviosité inférieure de 20% à la moyenne — voir tableau 2), nous avons été obligé d'apporter des quantités d'eau complémentaires. Les irrigations ont été effectuées compte tenu des premiers résultats cités par Vernet et al. (1969). Le 21 mars 1969, 10 parcelles parmi les 20 ont reçu une irrigation de 120 mm ; un supplément de 100 mm a été fourni à cinq d'entre elles, le 22 avril — (tableau 1).

La température de l'eau était respectivement de 17,5° et 21°C pour la première et la deuxième irrigation ; l'analyse de cette eau, montre qu'elle est peu chargée.

Dans les relations plante-climat, le sol joue un rôle important non seulement comme support du végétal, mais également en tant que réservoir des éléments minéraux, dont l'eau est l'un des plus importants.

TABLEAU 1

	Irrigation (mm)			Irrigation + pluies (mm)
	21-3-69	22-4-69	Total	
Témoin	—	—	0	260
I. 120	120	—	120	280
I. 220	120	100	220	480

En connaissant les valeurs de la capacité au champ et du point de flétrissement permanent du sol cultivé, il est possible de calculer les quantités d'eau mises en réserve dans le sol.

Les expériences de fanaison, conduites au champ sur le blé mexicain, ont montré que la valeur de son point de flétrissement se situe à une valeur proche du  $pF$  de 4,45, correspondant à 11,6% d'eau pour 100g de terre séchée à 105°C. La quantité d'eau maximale disponible pour la culture de blé, de la surface du sol jusqu'à 1,25 m de profondeur, est environ 172 mm.

L'analyse d'un profil type du sol du Centre d'Etude de l'Eau sur lequel est installée la parcelle expérimentale, a été faite précédemment (Monteny 1968).

A la récolte, une bande d'un mètre de large a été supprimée sur le pourtour des parcelles pour éviter l'incidence d'un éventuel effet de bordure sur la production finale.

### III. — RESULTATS ET DISCUSSION

#### A. Les facteurs climatiques du milieu

La figure 1 représente l'évolution des valeurs décadaires des différents facteurs climatiques de la région de Tunis, au cours de la période de végétation du blé. On peut constater pendant celle-ci une augmentation du rayonnement solaire et des facteurs climatiques associés. La vitesse du vent varie entre 5-6 km/h et 9-10 km/h suivant les décades.

L'évapotranspiration potentielle (ETP), déterminée à l'échelle de la parcelle, représente la perte maximale en eau

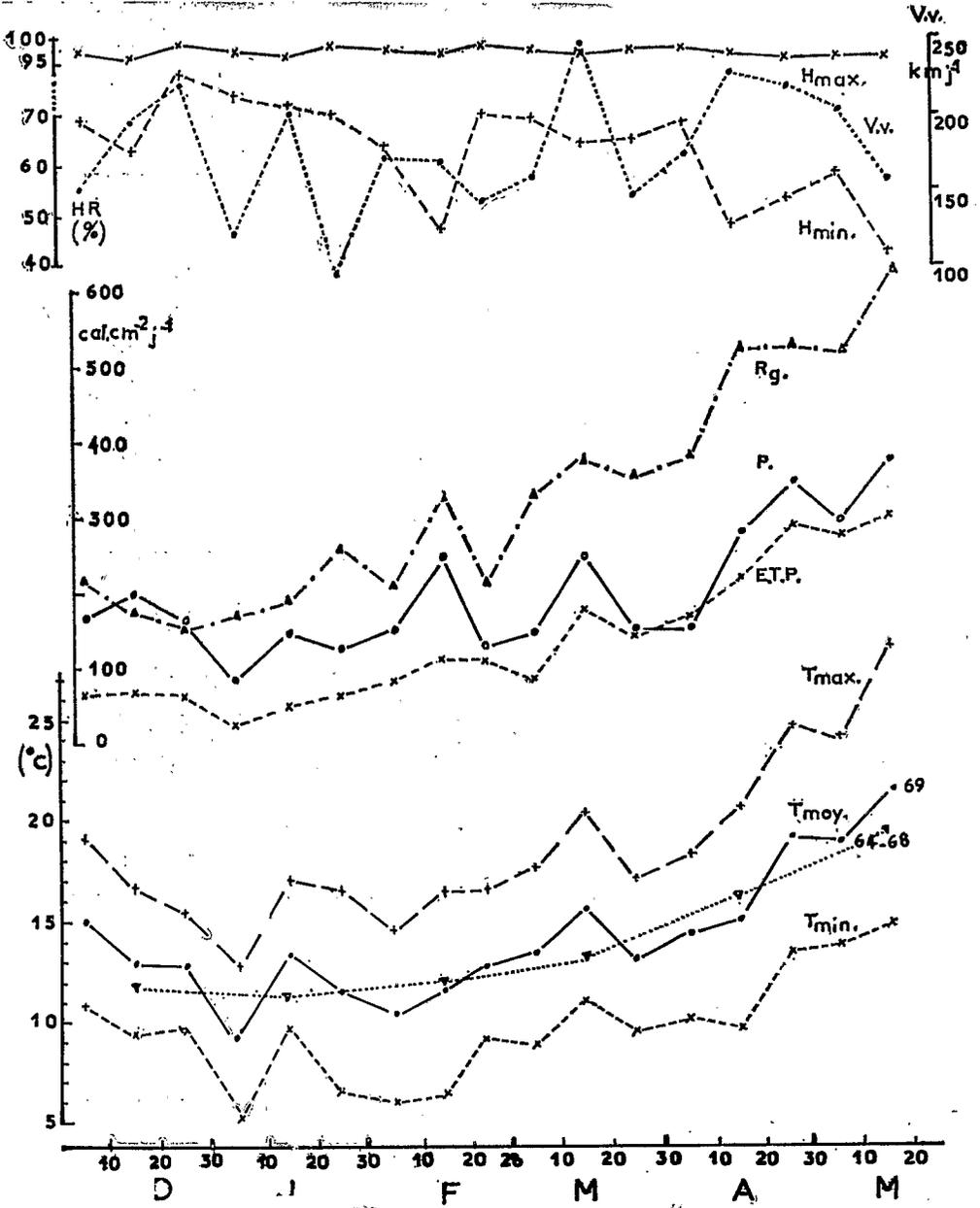


Fig. 1. Données climatiques pour la période de croissance du blé mexicain (décembre 1968 à mai 1969).

d'un couvert végétal, abondant, homogène, entouré d'un anneau de garde suffisant, en pleine croissance et largement alimenté en eau lorsque l'énergie disponible pour la vaporisation est le facteur limitant (Bouchet 1963, Bouchet et Robelin 1969). Elle s'est accrue durant cette période (décembre à mai).

Elle est obtenue expérimentalement à partir du bilan hydrique effectué sur un évapotranspiromètre du type Thornthwaite de 4 m<sup>2</sup> de surface, entouré d'un anneau de garde; l'ensemble est couvert d'un gazon de *Pennisetum clandestinum* (ou Kikuyugrass). La nappe phréatique est à niveau constant et située à 0,60 m de la surface du sol; l'arrosage et la mesure du drainage sont effectués quotidiennement. L'évolution de l'évapotranspiration potentielle traduit, suivant la définition, l'ensemble des interactions entre les différents facteurs physiques du milieu.

Deux décades sont à considérer pour l'importance des variations observées :

*du 10 au 20 février* : l'accroissement du rayonnement solaire incident, de l'ordre de 57%, a provoqué un ensemble de modifications des autres facteurs climatiques : une certaine élévation de la température mais surtout une baisse notable de l'état hygrométrique de l'air (de 64% à 47%). L'évapotranspiration potentielle du gazon, sous la dépendance de la demande climatique, réagit aux variations de ces facteurs; l'ETPk passe d'une moyenne de 1,4 à 1,9 mm/j.

*du 10 au 20 mars* : durant cette période l'élévation du rayonnement incident a provoqué une augmentation de la température de l'air sans trop modifier son état hygrométrique (65%). L'accroissement élevé de la valeur décadaire de l'évaporimètre Piche provient essentiellement du fait que la vitesse du vent n'est pas descendue en-dessous de 10 km/h durant 7 jours.

A part ces deux décades, l'évolution de l'ensemble des facteurs climatiques caractérise le milieu écologique de la région de Tunis et même de l'ensemble de la Basse Vallée de la Medjerdah. Cette région, qui selon Emberger (1955) appartient à l'étage méditerranéen semi-aride à hivers tempérés, reçoit des précipitations annuelles s'élevant à 420 mm. La pluviosité durant la période de novembre à avril, correspondant au cycle végétatif du blé étudié ici, est de l'ordre de 310 mm (moyenne de 1962 à 1968). Cette pluviosité a été de l'ordre de 260 mm pour cette année, inférieure de 20% à la moyenne (tableau 2). Sa répartition a été régulière mais insuffisante au semis et au moment des plus grands besoins en eau, c'est à dire à la montaison. Des profils hydriques effectués, ont

montré qu'au semis, la réserve en eau du sol était quasi inexistante et qu'à l'épiaison, le point de flétrissement était presque atteint sur tout le profil.

TABLEAU 2

	1962-68	1968-69
Novembre.....	34,5 mm	41,1 mm
Décembre.....	48,3 mm	25,8 mm
Janvier.....	76,2 mm	64,0 mm
Février.....	59,2 mm	59,1 mm
Mars.....	46,2 mm	43,2 mm
Avril.....	33,6 mm	27,4 mm
Total.. ..	308,4 mm	260,6 mm

### B. Evolution de la consommation en eau de la culture

L'évolution végétative d'une plante comporte un cycle continu de processus physiologiques qui provoquent soit une modification interne profonde, apparente ou cachée : le développement, soit une augmentation de taille sans modification qualitative profonde : la croissance.

Développement et croissance déterminent par leur interaction une suite des phénomènes morphologiques, marquant les étapes végétatives successives (Durant, 1967).

Les différents stades de développement utilisés ici sont les suivants :

germination : apparition des coléoptiles;

tallage : apparition des tiges secondaires (état gazonnant);

montaison : phase d'élongation des entrenoeuds;

épiaison : sortie de l'épi de la gaine de la dernière feuille;

floraison : ouverture des fleurs avec sortie des anthères peu après la pollinisation.

grossissement du grain : période d'accumulation dans la graine de matière élaborée.

1) Evolution de l'évapotranspiration réelle maximale :

L'évapotranspiration réelle maximale (ETM) est la consommation la plus élevée d'un couvert végétal bien alimenté en eau, lorsque les surfaces d'échange de vapeur d'eau, entre le couvert et l'atmosphère, constituent le facteur limitant de cette consommation en eau. Ce couvert est différent de celui qui a été utilisé pour la détermination de l'évapotranspiration potentielle (kikuyugrass). Dans le cas présent, l'évapotranspiromètre est recouvert par du blé mexicain et l'ETM déterminée fournit les indications sur les besoins maximaux en eau de cette culture, au cours des différentes phases de son cycle végétatif.

A la levée, le couvert étant très réduit, l'évapotranspiration du blé est comparable à celle d'un sol nu fig. 2).

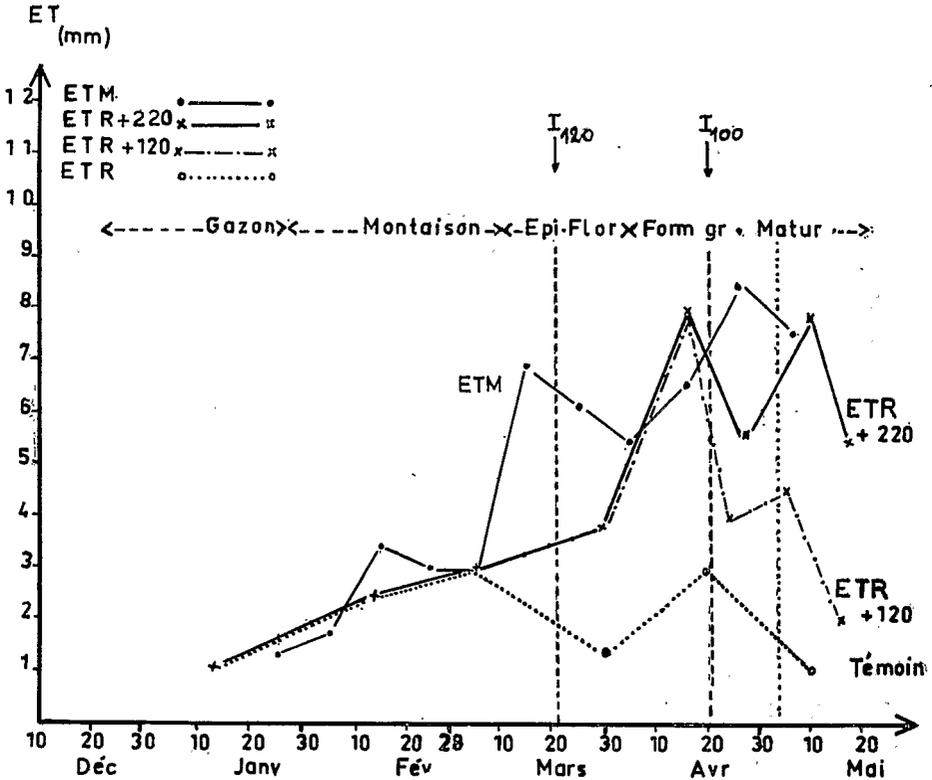


Fig. 2. Evolution de la consommation en eau des cultures de blé au cours du temps.

L'évapotranspiration moyenne décadaire durant la phase gazonnante est de 1 à 1,5 mm. L'accroissement de l'ETM durant la deuxième décade de février provient des conditions climatiques exceptionnelles décrites précédemment.

Le stade de montaison se traduit par un accroissement de la consommation maximale d'eau, fluctuant autour de 3 mm/j.

A l'épiaison-floraison, l'évapotranspiration réelle maximale a presque doublé : le passage brutal de 3 mm/j de la première décade de mars à 6,8 mm/j de la deuxième décade, provient d'une occupation spatiale plus importante de la culture. Celle-ci offre davantage de surface évaporante à l'action des masses d'air, qui atteignent des vitesses supérieures à 10 km/h. Toutefois, pour les conditions climatiques moyennes de la région, il semble que la consommation en eau de la culture avoisinerait 5 mm/j.

Lors de la formation de la graine, la consommation augmente jusqu'à 8-8,5 mm/j. Cet accroissement de l'évapotranspiration peut être imputé, d'une part à l'augmentation de la demande en eau du climat, d'autre part, à l'apport d'énergie advective vers le système étudié : cet apport est variable suivant la température, l'humidité relative et la vitesse de pénétration des masses d'air dans les cultures.

A la maturité des grains, les pertes d'eau diminuent rapidement par suite de la disparition des surfaces évaporantes.

Penman (1963) a tiré de l'ensemble de ses observations, la conclusion suivante : la consommation en eau dans une région serait identique pour tous les types de couverts, à condition qu'ils soient courts et feuillus, qu'ils recouvrent complètement le sol et soient bien alimentés en eau. Ceci semble être en contradiction avec nos résultats. En effet, si durant la période de janvier à début février, le rapport ETM à l'ETP est proche de l'unité (fig. 3) un écart survient au moment de la montaison du blé. C'est que le degré de recouvrement du sol ainsi que la morphologie spatiale du couvert se modifient, entraînant une variation des propriétés physiques de sa surface. Le rayonnement solaire réfléchi diminue, mais la pénétration de l'énergie solaire est plus grande (fig. 4). Une fraction de cette énergie, arrivant au niveau du sol humide, provoque l'évaporation de son eau. En outre, la hauteur du couvert végétal ainsi que son architecture permettent une plus grande interception de l'énergie advective, expliquant les valeurs élevées obtenues pour la consommation maximale en eau (ETM), ce qui n'est pas le cas au niveau d'un gazon.

Vankataraman (1962), Gupta et Bhattacharya (1969), en étudiant l'évolution de la consommation en eau d'une culture

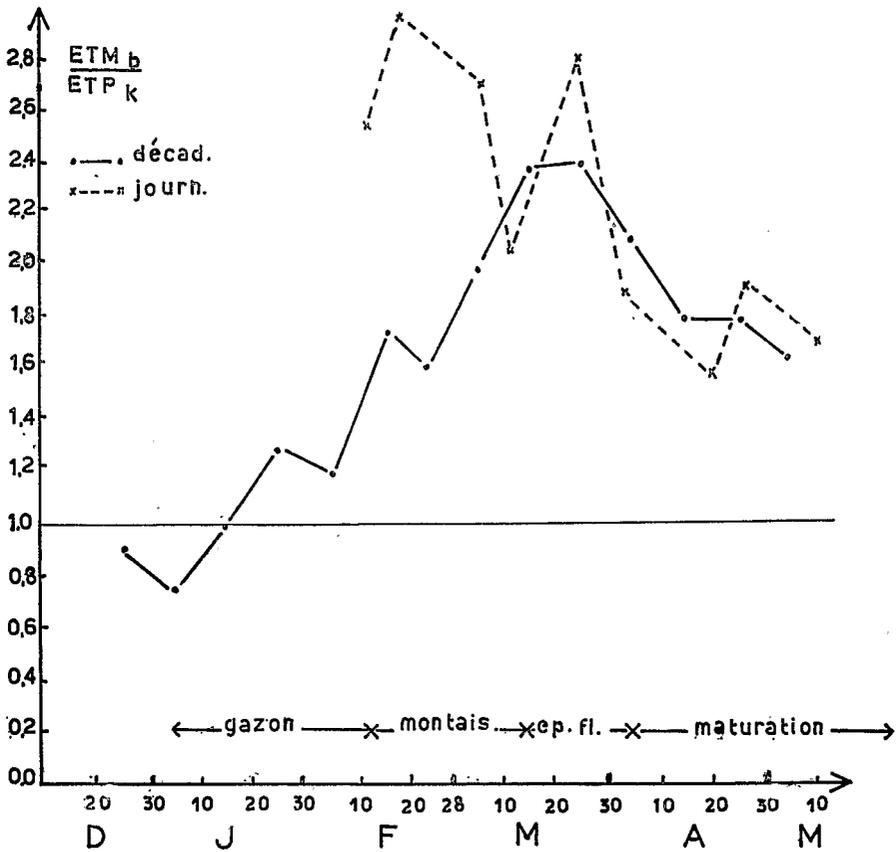


Fig. 3. Evolution du rapport entre l'évapotranspiration maximale du blé (ETM) et l'évapotranspiration potentielle définie sur le kikuyu, durant les six mois de culture.

de blé (Poona wheat) dans la région de Poona (Indes), obtiennent des valeurs de l'ETM de l'ordre de 4,5 à 5,0 mm/j, pour une période d'un mois débutant peu avant l'épiaison jusqu'à la formation de la graine.

L'écart entre nos résultats et ceux obtenus aux Indes peut provenir en partie d'une différence dans la densité de semis (120 kg/ha à Tunis pour 74 kg/ha à Poona) et dans la vitesse du vent (7,4 km/h à Tunis contre 4 km/h à Poona, moyennes au cours de la période végétative de la culture).

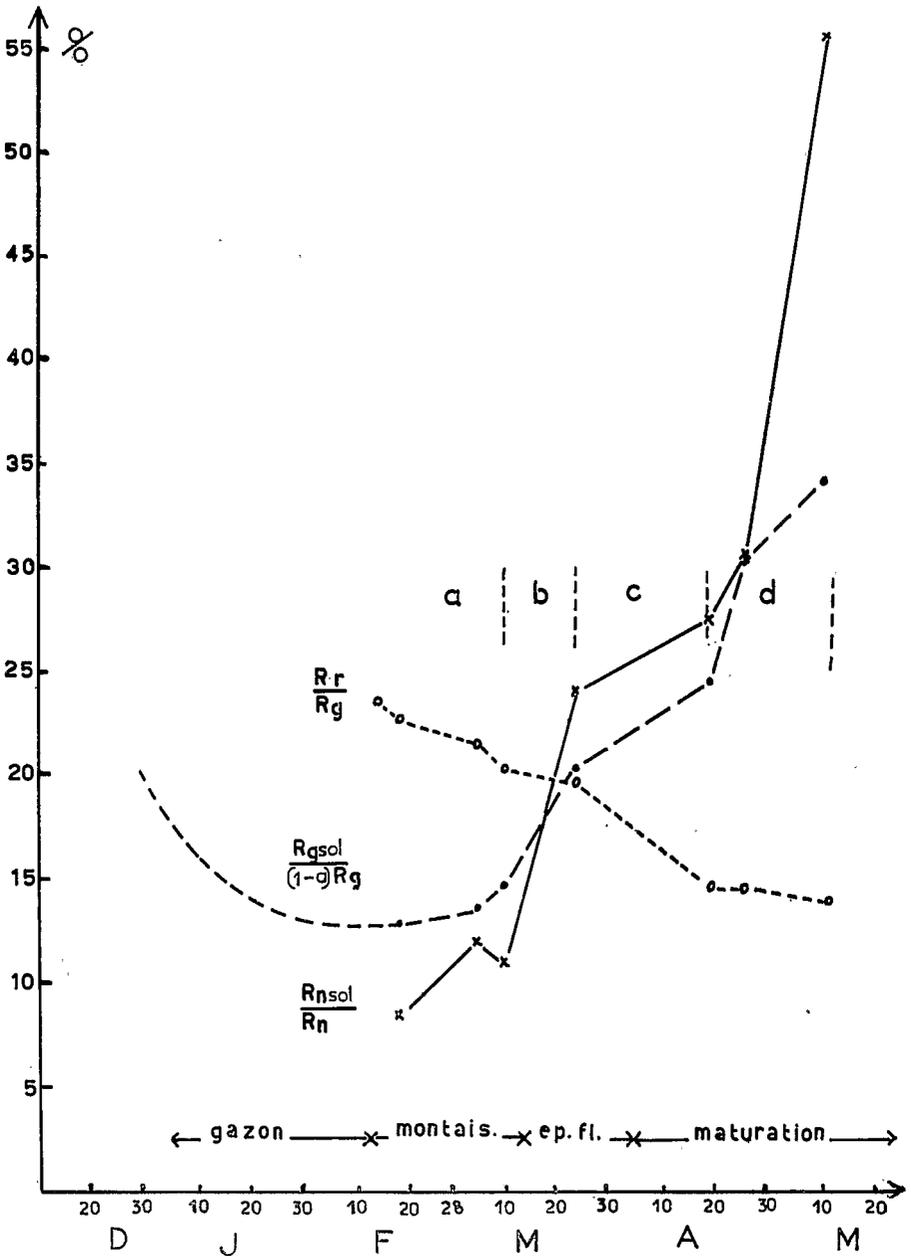


Fig. 4. Modifications des rayonnements réfléchi ( $R_r/R_g$ ) et transmis [ $R_{gsol}/(1-a)R_g$ ] et du bilan des rayonnements ( $R_{nsol}/R_n$  couvert) au cours du cycle végétatif du blé.

L'augmentation de la vitesse du vent provoque un accroissement de l'ETM, toutes les autres conditions climatiques restant les mêmes. Ce phénomène est particulièrement vrai dans le cas de cultures occupant un grand volume aérien et présentant une surface foliaire importante comme le napier, le coton, et la luzerne (Monteny 1968-1969).

## 2) *Evolution de l'évapotranspiration réelle :*

L'évapotranspiration réelle (ETR) traduit la consommation réelle d'eau du couvert, obtenue en mesurant les différents termes du bilan hydrique.

Pour la période couvrant les phases gazonnante et de montaison, l'évapotranspiration réelle est proche de l'ETM. La répartition des pluies est assez régulière et les profils hydriques du sol relevés après le semis et au début de la montaison montrent que la réserve en eau du sol est faible et qu'elle n'a pas varié : tout indique que les pluies ont été juste suffisantes pour permettre le développement et la croissance des plantes jusqu'au stade de la montaison inclusivement (pluies du 20/12 au 18/3 : 155 mm et ETR : 165 mm). Au moment de la phase la plus importante, épiaison-début floraison, la consommation réelle en eau est faible (2 mm/j) car elle dépend de la pluviosité. Le manque d'eau en réserve dans le sol au moment où la plante se trouve dans une période critique de son développement se répercute sur la production de matière sèche.

L'augmentation de l'ETR au mois d'avril est consécutive à quelques pluies. L'équipement de la réserve en eau du sol est plus complet, le pF en surface (0-0,25 m) est de 4,7 et en profondeur (0,25-100 m) de 4,5. Le système racinaire est fortement ramifié jusqu'à 0,70-0,85 m.

A la floraison, une irrigation de 120 mm a été fournie à une dizaine de parcelles expérimentales (21 mars). On note une augmentation de la consommation moyenne journalière qui s'accroît rapidement jusqu'à approcher les valeurs de l'ETM 20 jours après l'irrigation. Le décalage entre l'irrigation et la réponse du couvert à l'apport d'eau est imputable à la méthode de mesure et au couvert végétal lui-même.

L'observation du système racinaire permet de constater une régénération de nouvelles racines. Cette régénération consomme une partie de la matière élaborée, stockée au niveau des feuilles et provoque un ralentissement de la croissance des parties aériennes, ce qui est apparent dans la figure 5. Ensuite, avec la reprise active des fonctions photosynthétiques,

la consommation d'eau s'accroît. L'équipement rapide des réserves hydriques du sol entraîne la réduction des surfaces transpirantes et par conséquent de l'évapotranspiration réelle du couvert, la ramenant à des valeurs proches de celles du témoin.

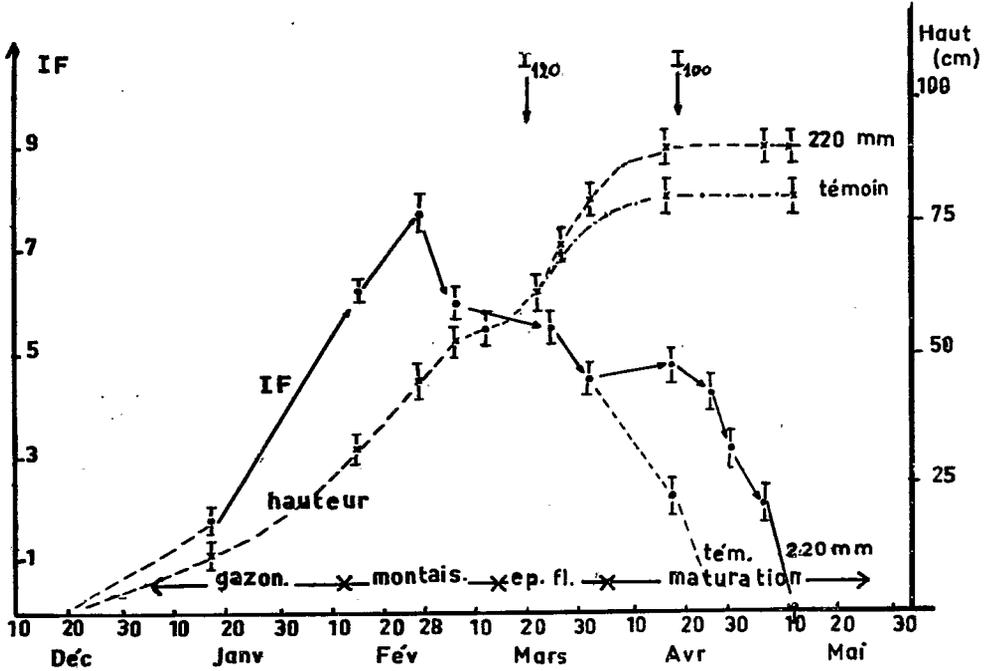


Fig. 5. Courbe de croissance et évolution de l'indice de surface foliaire des cultures de blé.

Si au cours de la formation de la graine un nouvel apport d'eau est fourni à la culture (équivalent à 100 mm), la consommation reste élevée. La valeur de l'évapotranspiration réelle en fin de végétation (début mai) est relativement importante, si on considère que l'activité végétative de la culture est fortement réduite par jaunissement partiel des feuilles et des tiges. L'évaporation au niveau du sol contribue dans ce cas pour une grande part à l'ETR mesurée, vu la quantité d'énergie solaire arrivant à ce niveau (25-30 % de l'énergie totale — fig. 4).

On constate pour la culture de blé, l'importance de l'alimentation hydrique peu avant l'épiaison, ce qui a également été observé par Azzi (1956), Numez et al. (1960), Robins et Domingo (1962), Vankataraman (1962) : l'effet d'un déficit hydrique important durant cette phase diminue le rendement final par une réduction soit du nombre d'épis, soit du nombre d'épillets par épi ou encore du nombre de grains par épillets (cfr. § croissance).

### C. Bilan énergétique

Après avoir considéré l'évolution des besoins en eau (ETM-ETR) du blé au cours de son cycle végétatif dans son ensemble, les bilans énergétiques ont été étudiés et quelques journées types ont été choisies à titre d'exemple.

L'évapotranspiration, comme nous venons de l'étudier, peut être déterminée comme terme résiduel d'un bilan hydrique à l'aide d'un évapotranspiromètre du type Thornthwaite. Elle est d'autre part un terme du bilan énergétique qui permet ainsi une autre estimation de l'eau consommée par le couvert végétal à ses différentes phases de croissance.

L'énergie utilisée pour l'évapotranspiration est la composante principale des échanges énergétiques entre l'air, le sol, et l'atmosphère environnante. Le bilan traduit l'ensemble de ces échanges entre le système étudié et le milieu extérieur.

Le système retenu est délimité par le couvert végétal, de surface uniforme, dense, en croissance active et bien alimenté en eau. Ces limites correspondent à un volume arbitraire dont la base se situe sous la surface du sol, et défini par un plan parallèle à cette base d'une hauteur égale à celle de la végétation et par quatre plans verticaux imaginaires.

En exprimant tous les termes du bilan énergétique dans les mêmes unités (calories par unité de surface et par unité de temps) on peut admettre l'équation suivante :

$$R_n = (1-a-p) R_g + R_a - \varepsilon \sigma T^4 = LE + S + Q \quad (1)$$

- $R_n$  : Rayonnement net
- $a$  : albédo (rayonnement réfléchi par le couvert par rapport au rayonnement solaire global)
- $p$  : fraction du rayonnement global utilisée pour la photosynthèse
- $R_g$  : rayonnement solaire global
- $\varepsilon \sigma T^4$  : rayonnement de grande longueur d'onde provenant de la culture et du sol

- Ra : rayonnement de grande longueur d'onde provenant du ciel  
L : chaleur latente de vaporisation de l'eau (592 cal. g. d'eau à 20°C)  
E : flux de chaleur latente  
S : flux de chaleur sensible  
Q : gain positif ou négatif d'énergie par le sol et le couvert.

Selon la convention couramment admise, l'énergie se dirigeant vers le système étudié est considérée comme positive, tandis que l'énergie sortante est affectée du signe négatif.

Le rayonnement net est mesuré à l'aide d'un pyrradiobi-lanmètre, du type Funk (1959) mis au point au C.S.I.R.O. en Australie. L'appareil est placé au-dessus de la surface homogène du couvert.

L'équation (1) peut être simplifiée dans le cas où la conduction d'énergie dans le sol, totalement couvert, est estimée comme négligeable pour une période de 24 heures; on obtient dès lors :

$$R_n = LE + S \quad (2)$$

L'évolution du rayonnement net au cours de la croissance du blé est sous la dépendance du rayonnement solaire incident et des propriétés physiques de la surface de la culture. En effet, l'évolution du rapport entre le rayonnement net au niveau du sol et à la surface du couvert ( $R_n \text{ sol}/R_n$ ) permet de distinguer 4 phases (fig. 4) :

a) *stade gazonnant à montaison* :

le rapport augmente proportionnellement à la diminution du rayonnement réfléchi, dû essentiellement au redressement des feuilles et des tiges;

b) *fin montaison et épiaison* :

la verticalité de la dernière feuille et la sortie de l'épi, ainsi que la réduction de l'indice foliaire permettent une plus grande pénétration du rayonnement global jusqu'au niveau du sol, élevant fortement la valeur du rapport entre les rayonnements nets;

c) *floraison et grossissement du grain* :

la distribution verticale de l'indice foliaire reste approximativement constante; le rapport  $R_n \text{ sol}/R_n$  au-dessus du

couvert s'accroît faiblement par suite d'une augmentation du rayonnement transmis;

d) *maturation des grains* :

L'accroissement important du rapport provient de la maturation des épis (Fritschen et van Bavel — 1964) et d'un jaunissement des feuilles et des tiges qui affectent le couvert végétal. Plus de 30 % du rayonnement absorbé à la surface du couvert arrivent au niveau du sol en fin de croissance du blé.

L'albédo, ou rapport du rayonnement réfléchi par la surface du couvert au rayonnement incident, diminue au cours de la croissance par suite des modifications du degré de recouvrement et de la morphologie spatiale de la culture. La valeur de l'albédo passe de 23 % du stade gazon à 13 % à la maturité. Le changement de couleur de la culture à la maturité semble également affecter la quantité du rayonnement réfléchi comme le supposent Haise et al. (1963).

En fonction de la physionomie du couvert le pourcentage du rayonnement transmis se modifie rapidement. Il est représenté par le rapport entre les rayonnements globaux mesurés à la surface du sol (après passage à travers la culture) et au-dessus de la culture.

De 100 % au moment de la germination (20/12), il n'est plus que de 12 % aux stades gazon et montaison. Les quantités d'énergies transmises réaugmentent avec les variations et la distribution des surfaces foliaires, jusqu'à atteindre des valeurs de 30 % en fin de végétation.

La figure 6 montre l'évolution du rapport  $LE/R_n$  des différentes journées étudiées au cours de la période végétative. Si les points expérimentaux extrêmes sont reliés entre eux, ils déterminent une enveloppe où l'on peut concevoir que le rapport  $LE/R_n$  du couvert fluctuerait en fonction des conditions climatiques du milieu et suivant son stade végétatif (hauteur, indice foliaire ...).

Les points tendent à se rapprocher de l'unité en fin de végétation, par la diminution de la surface évaporante et par l'accroissement du bilan de rayonnement.

Un rapport  $LE/R_n$  élevé indiquerait d'importants apports d'énergie advective au système considéré; s'il est proche ou égal à l'unité, la captation d'énergie advective est faible ou nulle.

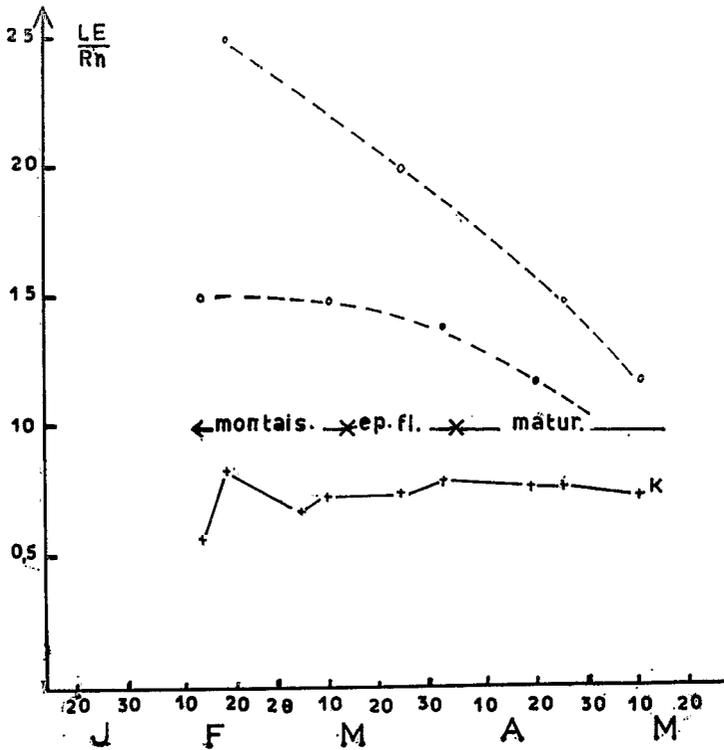


Fig. 6. Evolution des rapports des bilans hydriques et énergétiques de certaines journées du cycle du blé :  
 B : blé.  
 K : kikuyu.

Il semble bien que dans les conditions climatiques de la région de Tunis, le passage du vent sur les cultures relativement hautes ait provoqué une consommation plus élevée. Non seulement, il existe une convection latérale importante en été, mise en évidence par Damagnez (1967), Baldy (1968) et Monteny (1968-1969), mais il semble également que le phénomène se manifeste durant la période printanière en région semi-aride.

Le tableau 3 résume les différentes données microclimatiques mesurées au cours de certaines journées types retenues. Nous pouvons tirer quelques enseignements de la comparaison de certaines d'entre elles :

1) *Les 14/2 et 18/2* — La diminution de la vitesse du vent et de l'humidité relative et l'accroissement de la température

TABLEAU 3

Date	Haut. cm	LAI	Haut. mm (%)	t° min. (°c) max.	V. vent km/h	Piche mm	Calorie <sup>-2</sup> j <sup>-1</sup>			LE/Rn
							LE	Rg	Rn	
14/2	30	6.2	47	5.8/18.8	7.8	4.0	216	358	145	1.5
18/2	35	6.5	33	5.8/21.7	4.9	6.0	372	382	149	2.5
5/3	50	6.0	47	8.5/17.7	6.9	3.7	300	449	166	1.8
10/3	55	5.7	66	4.8/18.4	4.7	2.2	272	452	179	1.5
24/3	65	5.5	56	9.2/20.8	3.8	2.3	462	467	225	2.0
2/4	80	4.5	57	7.3/19.0	3.7	2.9	390	556	269	1.4
19/4	90	4.7	46	8.4/22.0	4.5	3.3	396	596	334	1.2
25/4	90	4.3	60	10.3/26.8	10.2	6.0	516	635	345	1.5
10/5	90	0.7	59	14.9/24.0	10.7	6.1	450	688	362	1.2

de l'air influencent l'activité physiologique des plantes; la transpiration foliaire des plantes de l'évapotranspiromètre a presque doublé entre ces deux journées (0,36 mg. Cm<sup>2</sup>. mn<sup>-1</sup> et 0,65 mg. cm<sup>2</sup>. mn<sup>-1</sup>. respectivement). Des mesures de transpirations foliaires effectuées le 14/2 entre 11 h 30 et 12 h 30 montrent des valeurs supérieures pour les plantes de l'évapotranspiromètre. Il semble que les plantes en champ réagissent mieux aux demandes excessives du milieu lorsque les besoins sont satisfaits (pluie ou irrigation). Une régulation stomatique diminue les pertes d'eau, ce qui entraîne une certaine économie qui semble ne pas se manifester chez des plantes situées en permanence sur un sol bien alimenté en eau.

2) *Les 14/2 et 5/3* — Les valeurs des humidités relatives sont les mêmes mais la température moyenne et la vitesse du vent ont légèrement baissé, le rayonnement global augmente de 25 % et le rayonnement net de 14 %. On constate que l'évapotranspiration maximale s'est accrue de 38 %. La modification spatiale des surfaces évaporantes et un passage aisé des masses d'air dans un plus grand volume peuvent expliquer cet accroissement de la consommation en eau faisant varier le rapport LE/Rn de 1,5 à 1,8.

3) *Les 10/3 et 24/3* — La température peut jouer le rôle de facteur limitant l'activité des fonctions physiologiques de la plante. C'est le cas de 10/3 (température minimale : 4,8°C; température maximale : 18,4°C). L'évapotranspiration mesurée correspond à la transpiration du couvert, l'évaporation du sol étant négligeable. Ceci n'est plus le cas pour la journée du 24/3 où la température moyenne est plus élevée (min. 9,2; max. 20,8°C) et accompagnée d'une diminution de l'hygrométrie de l'air. Les pertes d'eau sont plus élevées au niveau de la culture qui occupe aussi un plus grand volume. L'accroissement entre les rapports LE/Rn des deux journées est de l'ordre de 25 %.

4) *Les 24/3 et 2/4* — Les valeurs de l'humidité relative et de la vitesse du vent sont semblables pour ces deux journées, mais la température moyenne a légèrement baissé. Bien que le rayonnement incident augmente, entraînant un accroissement du rayonnement net de 16 %, l'ETM diminue de 18 %. Ceci est provoqué par la réduction de l'indice de surface foliaire (LAI de 5,5 à 4,5) qui entraîne une diminution du rapport LE/Rn de 2,0 à 1,4.

5) *Le 19/4* — Le rapport LE/Rn est égal à 1,2. Les températures nocturnes sont faibles pour cette période de l'année (8,4°C) (Fig 1). Alors qu'on s'attendrait à un accroissement du rapport LE/Rn, par rapport à la journée du 2/4, du fait de l'augmentation de la vitesse du vent et de l'abaissement de

l'hygrométrie de l'air, on constate au contraire qu'il diminue. Il semblerait que les plantes aient été mises à forte contribution les sept jours précédents puisque la vitesse du vent a fluctué entre 11 et 15 km/h.

6) *Le 10/5* — Le vieillissement de la culture est marqué par un rapport  $LE/R_n$  proche de l'unité : la consommation d'eau provient pour la plus grande partie de l'évaporation de la surface du sol.

Ces observations permettent de constater les interactions de la végétation et du milieu. En bonnes conditions hydriques, la demande en eau du climat ne sera satisfaite que si les conditions physiologiques des organes végétaux le rendent possible. Ainsi, des températures trop basses ou trop élevées ne favorisent pas les réactions d'ouverture stomatique (Stälfelt 1962). En outre suivant la distribution spatiale des feuilles et la morphologie du couvert, l'offre peut varier alors que la demande en eau du milieu peut ne pas avoir changé (Monteny 1968).

#### D. Croissance

La croissance est la résultante des interactions entre les facteurs physiques du milieu et physiologiques de la plante. L'allure de la courbe de croissance dépend des valeurs successives atteintes par ces facteurs.

La figure 5 représente la courbe de croissance en hauteur et l'évolution de l'indice de surface foliaire au cours du temps. On remarque l'influence du déficit hydrique du sol à la mi-mars sur la phase d'élongation de la tige ainsi que sur l'indice foliaire. Déjà, la végétation réduit ses surfaces transpirantes depuis le début du mois. Elle subit une sécheresse atmosphérique importante durant la deuxième décennie de mars (fig 1), entraînant non seulement le dessèchement d'une partie des feuilles inférieures mais également une diminution de la surface photosynthétisante des feuilles supérieures. En plus, un certain nombre de tiges adventives ont vu leur croissance s'arrêter et même sont mortes, ce qui influencera favorablement la croissance des tiges principales par l'économie d'eau réalisée.

L'effet de l'irrigation du 21 mars, en plus des quelques pluies, a permis le maintien de l'indice de surface foliaire entre 4 et 5 durant un mois, l'achèvement des phases d'épiaison-floraison et le début de la formation des grains. Les quantités de pluie ont permis à un certain nombre de plantes du témoin (non irrigué) d'achever la formation des graines.

La réduction de la surface photosynthétisante est très rapide et aura une incidence sur le poids sec des grains à la récolte. Azzi (1956) cité par Salter et Goode (1967) et d'autres chercheurs considèrent que la période précédant de 15 à 20 jours l'épiaison est une phase où la plante est très sensible : une pluviosité inférieure à 40 mm à ce moment provoque une diminution importante du rendement final.

La courbe générale de la croissance, de forme sigmoïde, est la résultante de la somme des courbes de croissance de chacun des éléments qui la composent (racine, tige, feuille et organes reproducteurs). On peut, en mesurant par exemple l'évolution de la matière de chacune d'elles, se rendre compte sur quelle partie les fluctuations de certains facteurs climatiques ont agi, favorablement ou non.

La figure 7a traduit l'évolution de l'accroissement en matière sèche des différents organes en fonction du temps ; suivant les organes considérés, les courbes obtenues sont décalées dans le temps.

En début de végétation, ce sont les organes d'absorption et d'assimilation (racines et feuilles) qui croîtront, puis la tige et finalement les organes de reproduction. La matière sèche des organes foliaires représente plus de la moitié de la matière élaborée et ce, jusqu'au moment de la montaison, c'est-à-dire au maximum de l'indice foliaire. En outre, l'accroissement du poids sec des feuilles est proportionnel à l'augmentation du poids sec des racines.

La vitesse d'élongation des tiges est rapide : la pente d'accroissement en matière sèche est forte. Toutefois, l'effet de la sécheresse a été de provoquer un ralentissement marqué sur l'accumulation de la matière sèche de la tige principale au moment où cet organe se trouvait dans une phase critique de croissance. Quant aux organes reproducteurs, leur augmentation de poids est très rapide peu après leur apparition.

L'évolution de la matière produite est sous la dépendance des facteurs de l'environnement. Si l'un d'eux, comme l'eau dans cette expérience, devient un facteur limitant, il affectera l'équilibre plante-milieu et aura pour conséquence une diminution de la matière sèche formée. Ce fait est illustré par la figure 9 où le déficit hydrique du sol a provoqué une diminution de la matière sèche produite ; une irrigation intervenant à ce moment fait reprendre la croissance, la matière élaborée passe de 17,1 à 34,4 g.m<sup>-2</sup>. j<sup>-1</sup>. L'irrigation semble permettre aux plantes de rattrapper le retard provoqué par le précédent manque d'eau.

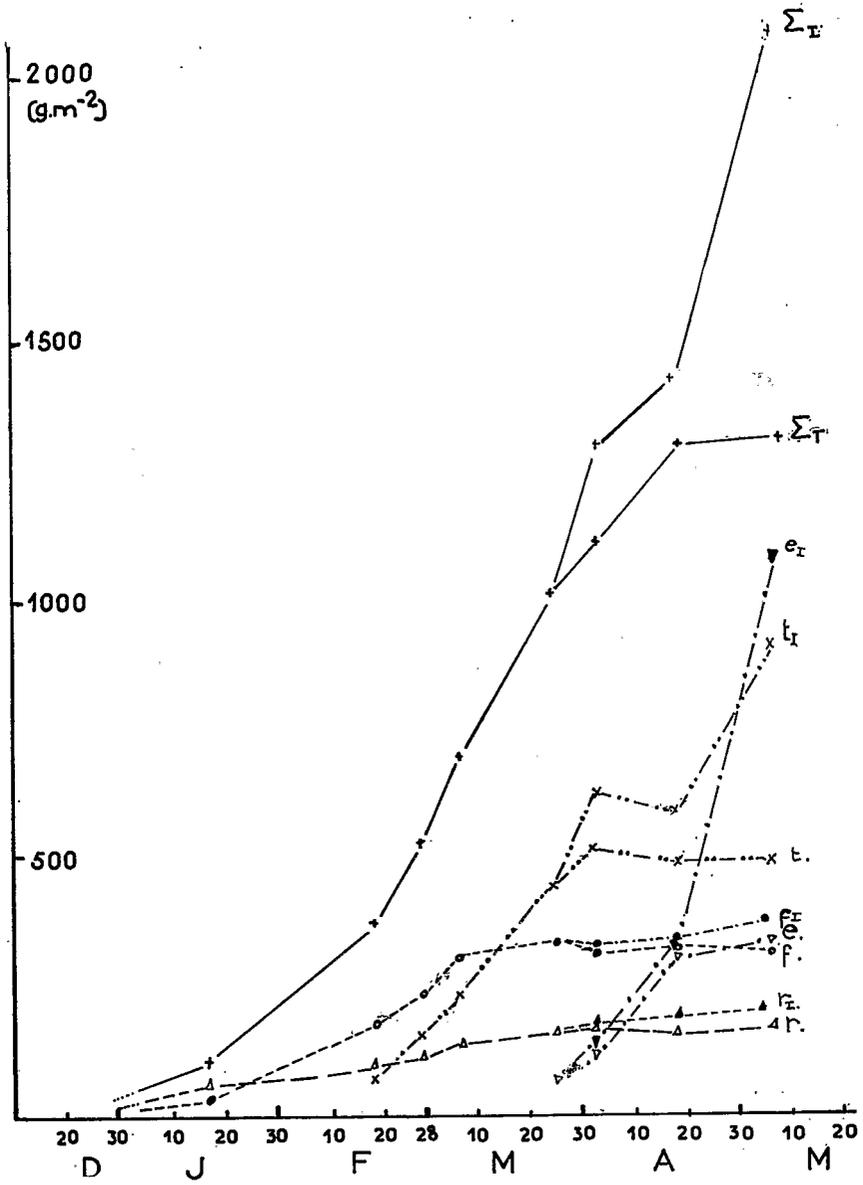


Fig. 7. a. Evolution de la matière sèche des différents organes du blé (témoin et irrigué) e = épis; f = feuilles; r = racines; t = tiges.

Après l'épiaison-floraison, l'accroissement de matière sèche provient surtout de l'augmentation du poids des épis (fig 7 a), poids qui s'accroît si l'alimentation en eau des plantes est bonne.

Connaissant les quantités de matière sèche totale produites et les quantités d'eau consommées, on constate que l'efficacité de l'eau,  $K$ , qui traduit le rapport de ces deux termes, est faible au début de la croissance, mais augmente avec l'accroissement de la culture ; elle atteint sa valeur la plus élevée à la fin du mois de mars : 8 et 9 g.m<sup>-2</sup>. mm<sup>-1</sup> pour le témoin et l'irrigué respectivement (fig 7 b). Il est à remarquer une chute importante du coefficient d'efficacité de l'eau, explicable par une consommation élevée à un moment où l'accroissement de la matière sèche est faible. A la deuxième irrigation, durant le grossissement et la maturation des grains, l'efficacité de l'eau pour l'irrigué reste inférieure à celle du témoin, indiquant l'inopportunité de l'irrigation.

L'efficacité photosynthétique  $p$ , est le rapport entre la quantité d'énergie accumulée dans la matière élaborée par unité de temps et de surface et la quantité d'énergie globale reçue par le couvert végétal :

$$p = Cc \frac{M S}{Rg}$$

$Cc$  : chaleur de combustion d'un gramme de matière sèche réelle élaborée et correspondant à la valeur moyenne de 4000 calories (Begg 1965).

$Rg$  : rayonnement global reçu par la surface du couvert.

$MS$  : matière sèche.

Le terme  $p$  est une caractéristique essentielle de la biosphère car elle est la résultante des interactions du climat et du substrat sur la végétation (Bernard 1965).

Pour un cycle végétatif complet (semis-récolte), la quantité de matière sèche totale (racine, tige, feuille et épis) est de 1420 g.m<sup>-2</sup> pour la culture témoin et de 2.108 g.m<sup>-2</sup> pour la culture irriguée (220 mm) pour une quantité d'énergie solaire totale de 51.272 cal.cm<sup>-2</sup>.

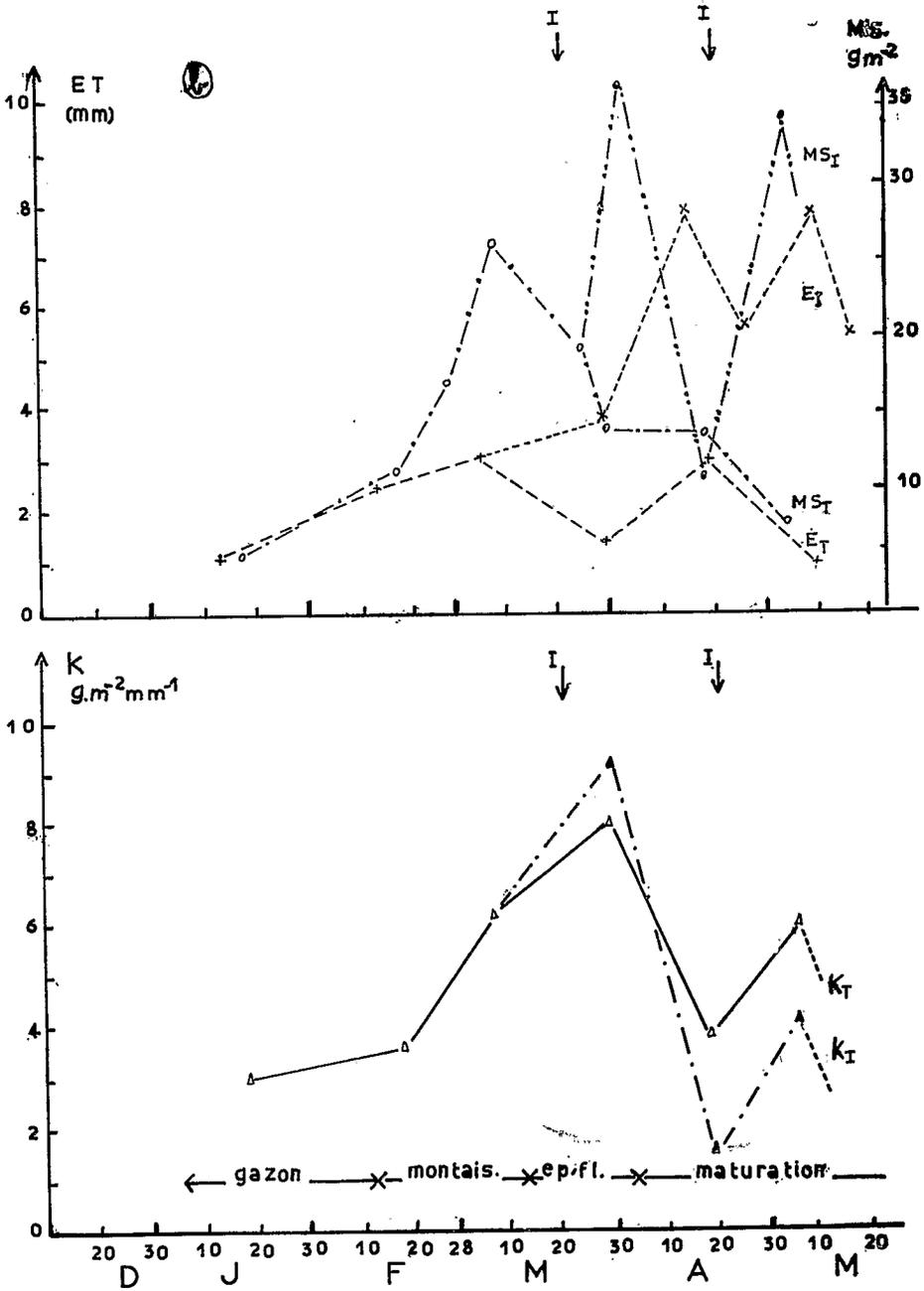


Fig. 7. b. Production totale de matière sèche, consommation en eau et efficacité de l'eau aux différents stades évolutifs du couvert.

Les efficacités photosynthétiques brutes atteignent respectivement 1,10% et 1,64% (fig. 8). Baldy et Jonard (1969) obtiennent une valeur voisine de 1% pour l'efficacité photosynthétique du blé pour l'ensemble de son cycle végétatif dans la région parisienne. Toutefois, ces valeurs ne donnent qu'une indication relative car il faut également tenir compte de

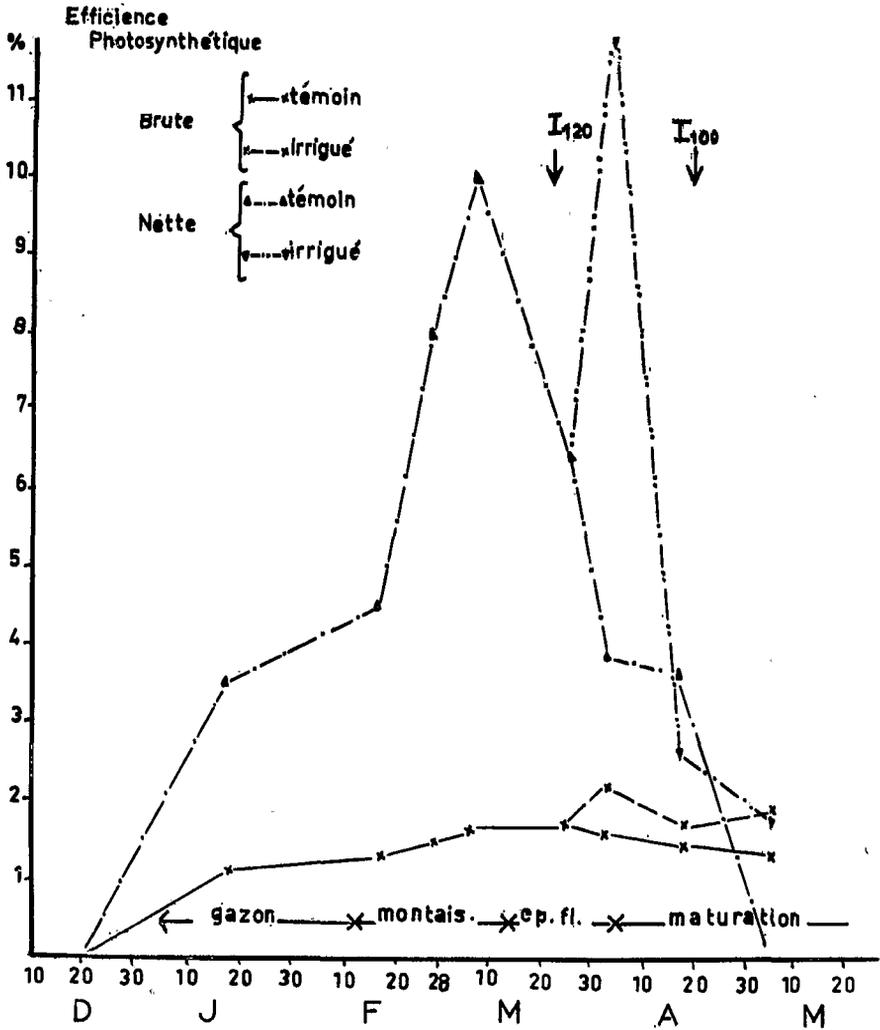


Fig. 8. Variations de l'efficacité photosynthétique du blé aux différents stades végétatifs.

l'évolution du rayonnement réfléchi et de la variation du rayonnement transmis par le couvert jusqu'au sol (fig. 4).

En ne considérant que la quantité d'énergie du visible absorbé par le couvert, l'efficacité photosynthétique évolue au cours du cycle végétatif de la culture vers un maximum au moment de la montaison (10%). L'irrigation accroît l'efficacité photosynthétique nette jusqu'à 11,8% en prolongeant l'activité des surfaces foliaires. On ne constate aucun effet notable de la deuxième irrigation. Ces valeurs sont données à titre indicatif, car les proportions des longueurs d'onde visibles du rayonnement global, calculées à partir de travaux plus élaborés de Yocum et al. (1964), se modifient en fonction des phases végétatives de la culture. Toutefois, pour les journées des 5 et 10 mars, les valeurs sont comparables à celles citées par Yocum et al.

Le système photosynthétique, agissant comme source de production de matière sèche, est représenté en grande partie par les limbes foliaires, les gaines des feuilles n'intervenant que dans une faible proportion (Thorne 1963). L'indice foliaire

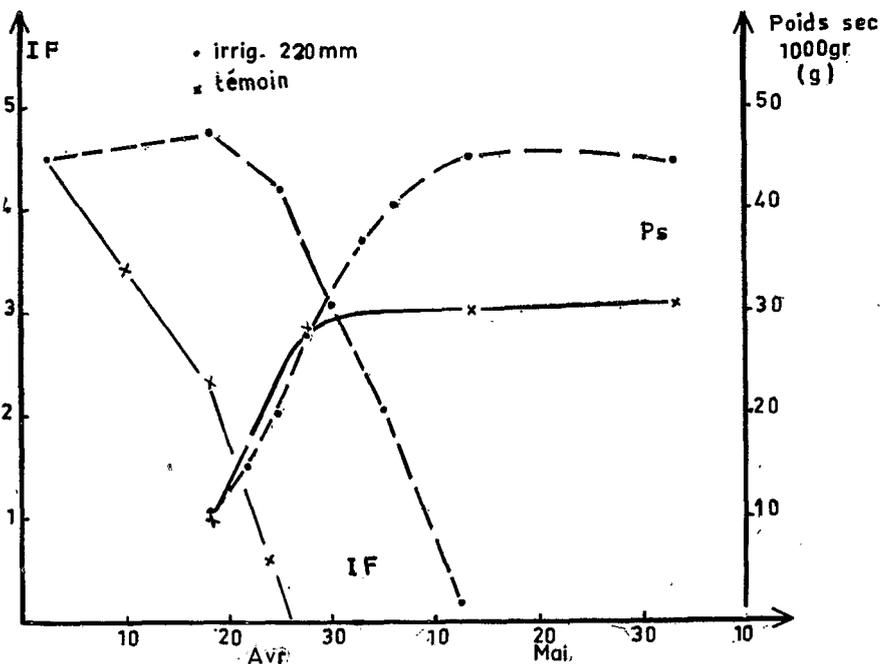


Fig. 9. Relation entre le poids sec des grains et la durée d'activité des surfaces foliaires du blé au cours du temps.

ainsi que la durée de l'activité photosynthétique après l'épiaison peuvent être mis en relation avec l'accroissement du poids sec des grains (fig. 9).

En augmentant de 15 jours environ, par rapport au témoin, la durée de l'activité photosynthétique des organes foliaires à l'aide d'apports d'eau, on a obtenu une augmentation du poids sec des grains de 42%.

L'augmentation du rayonnement global et de la température de l'air influence la durée de fonctionnement des organes foliaires. L'activité physiologique des feuilles baisse d'autant plus vite qu'un autre facteur tel que l'eau, devient limitant. Welbank et al. (1966) ont constaté une réduction de l'efficacité photosynthétique par suite d'un accroissement d'un des deux facteurs considérés, au delà d'un seuil.

En présentant le poids sec final de 1000 grains en relation avec la production finale obtenue (fig. 10), on constate que sous les conditions hydriques défavorables (cultures témoins), les grains n'atteignent pas leur poids maximum, par suite d'un jaunissement des feuilles et des tiges (fig. 9).

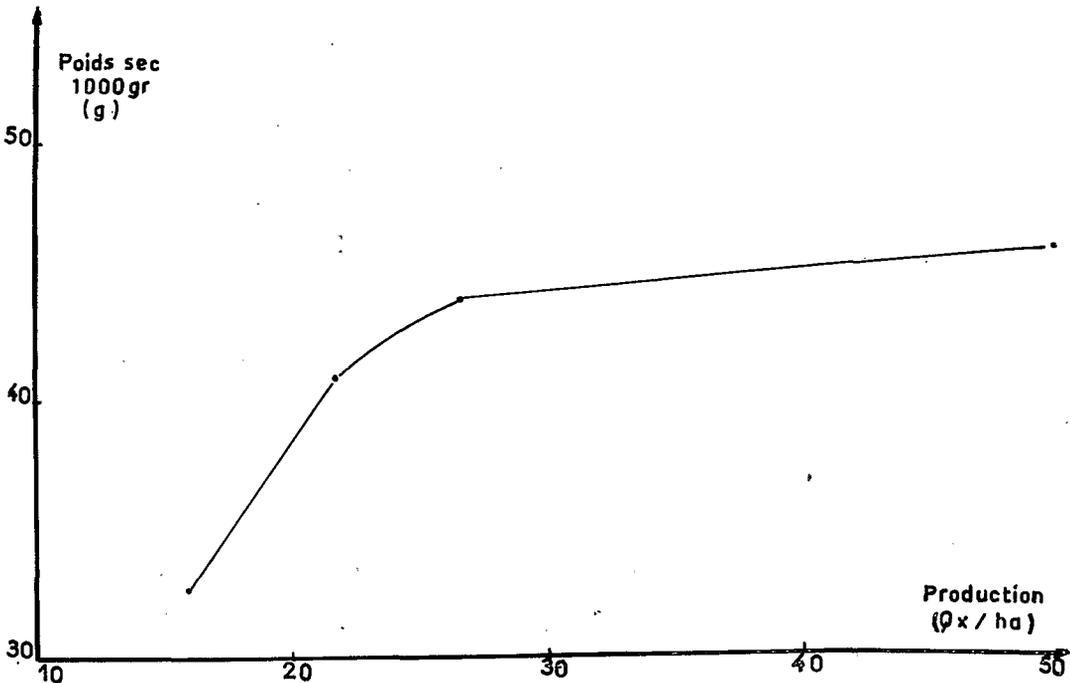


Fig. 10. Relation entre le poids sec final des grains et la production globale

Par ailleurs, on met en évidence un maximum de grossissement des grains alors que le rendement augmente encore (fig. 10). Le poids sec des grains atteint une limite et l'accroissement de la production proviendrait soit du nombre de grains par épi, soit du nombre d'épis par unité de surface (voir tableau récapitulatif).

### E. Tableau récapitulatif

Le nombre de grains par épi est fort semblable (28,0-27,1-30,6) pour les différents traitements considérés, mais c'est le nombre d'épis par unité de surface qui modifie les résultats

TABLEAU 4

	Témoin	Irriguées		ETM
Consommation en eau (à 10 %) mm .....	295	405	510	620
Rendement global Qx/ha .....	16,0	21,8	26,5	50,5
Nombre d'épis par m <sup>2</sup> .....	328	—	468	—
Poids paille + épis g/m <sup>2</sup> .....	924	1121	1266	1760
Poids paille g/m <sup>2</sup> .....	569	693	776	1126
Poids épis g/m <sup>2</sup> .....	355	428	490	634
Poids grains g/m <sup>2</sup> .....	234	264	322	472
Poids de 1000 grains g .....	32,6	41,0	44,0	46,0
Nombre de grains/épis .....	28,0	27,1	30,6	34,8
Poids des grains/épis g .....	1,03	1,13	1,37	1,53
Humidité % .....	9,5	8,8	11,0	10,2
Rapport poids - paille/grains ....	2,43	2,68	2,40	2,40
% de grains/épis en poids .....	67,0	62,5	65,8	75,0
Poids grains/poids de matière sèche totale .....	0,25	0,24	0,25	0,27

finaux. En effet, si l'accroissement du rendement final est de 65% entre la parcelle témoin et celle irriguée (220 mm) pour une augmentation du poids sec des grains de 42%, la différence, estimée à 23%, peut être attribuée en grande partie au nombre d'épis par unité de surface.

Ainsi, les facteurs de l'environnement, qui agissent avant l'épiaison de la plante affectent le nombre d'épis par unité de surface ; après l'épiaison, ils ont une action sur le poids sec des grains. Nous avons vu par exemple que l'effet d'un déficit en eau du sol arrêtait la croissance de certaines tiges adventives. Le nombre d'épis dépendra donc du nombre de tiges survivantes.

Asana (1958-1962) dans une étude concernant la résistance du blé à la sécheresse, considère que sous des conditions d'humidité de sol favorables, le nombre d'épis par unité de surface est un facteur prépondérant du rendement, tandis que sous les conditions de sécheresse, particulièrement au moment du grossissement des grains, le nombre de grains par épi et le poids sec des grains a plus d'effet sur le rendement que le nombre d'épis.

Thorne (1966) préconise la production d'un nombre faible de talles mais donnant des épis qui arrivent à maturité. Ce résultat peut être obtenu principalement de deux manières : soit en augmentant la densité du semis, soit en choisissant des variétés dont la génétique leur confère ce caractère. Dans notre expérience, il est à remarquer qu'un grand nombre de tiges secondaires sans être arrivées à épiaison, ont consommé de l'eau.

#### IV. — CONSEQUENCES AGRONOMIQUES

Nous avons pu constater qu'il existe à certains moments de la croissance du blé des stades particulièrement sensibles aux conditions hydriques du milieu.

Les résultats ont montré notamment qu'un manque d'eau dans le sol au moment de la montaison du blé causait un certain arrêt de croissance des tiges et qu'il était susceptible d'entraîner la mort d'un grand nombre de tiges secondaires s'il se prolongeait. Il y a dans ce cas réduction du nombre d'épis par unité de surface, fait non observable au niveau d'une culture bien alimentée en eau.

Après le stade de la floraison, la culture ne peut souffrir d'un manque d'eau prolongé car l'action de la sécheresse hâte le jaunissement des feuilles et par conséquent arrête le grossissement des grains de blé.

La culture peut supporter le manque d'eau durant un temps court et comme nous l'avons observé, elle peut rattraper son retard dès qu'elle a de l'eau à sa disposition (pluie importante ou irrigation supplémentaire).

Un schéma d'irrigation peut être proposé, compte tenu des mesures faites sur les conditions d'humidité du sol et de l'influence des facteurs physiques du milieu (région de Tunis) sur les stades végétatifs du blé et leur conséquence sur la production finale.

TABLEAU 5  
SCHEMA D'IRRIGATION

Stades	Sensibilité à la sécheresse : (action)	Période	Pour une pluviosité inférieure à :	Irrigation souhaitable
Semis	—	Novembre à mi Décembre	240 mm	80-100 mm
Germination	Grande (nombre de pieds)			
Etat gazon	—	mi Février	70 mm	80-100 mm
Montaison	Très grande (nombre de tiges par pied)	mi Février à mi Mars		
Epiaison	Très grande (nombre de grains/épis)	mi Mars à début Avril	20 mm	50 mm
Floraison	—			
Grossissement grain	Assez grande (poids des grains)	Avril à fin Mai	—	
Maturation	—		—	

Il est à remarquer que les doses d'irrigation souhaitables tiennent compte des exigences du stade végétatif et des conditions climatiques ultérieures et pas uniquement des précédentes pertes d'eau. Les quantités à fournir sont des compléments indispensables pour l'obtention de rendements élevés.

## V. — CONCLUSION

Ce travail a porté essentiellement sur l'étude du comportement d'un blé mexicain (TOBARI 66) nouvellement introduit en Tunisie.

Les variations des facteurs de l'environnement et leur influence sur la croissance du blé ont été suivies et ont permis de tirer quelques renseignements utiles permettant une adaptation économique de l'irrigation à la physiologie de la plante.

L'énergie solaire arrivant au niveau du couvert végétal et les autres facteurs climatiques qui en dépendent, augmentent de décembre à mai. L'évapotranspiration potentielle (ETP) d'un gazon dépend principalement du bilan énergétique entre la surface du couvert et le milieu extérieur. Quant à l'évapotranspiration maximale (ETM) de la culture de blé, elle est non seulement sous la dépendance du bilan énergétique qui se modifie en fonction du cycle végétatif de la plante, mais également sous l'influence des facteurs de l'environnement (tension de vapeur et vitesse du vent).

Il est évident que certaines propriétés du couvert végétal vont également influencer sa consommation en eau. Avec l'accroissement des parties aériennes de la culture de blé, la réflexion, l'absorption et la transmission du rayonnement solaire se sont modifiées ainsi que la distribution spatiale des surfaces foliaires du végétal. Une plus grande perméabilité de la culture aux facteurs physiques du milieu entraîne un accroissement important des pertes d'eau, qui passent progressivement de 1-2 mm à 8-9 mm/j.

Le système racinaire est profond et très ramifié, ce qui permet d'espacer les irrigations dont les quantités peuvent atteindre 150 mm suivant la capacité de stockage du sol. L'efficacité de l'eau en sera accrue ainsi que la rentabilité de l'exploitation.

Le rendement final du blé dans les conditions climatiques de Tunis est sous la dépendance de la probabilité des pluies reçues à chaque phase de l'évolution de sa croissance. Si les faibles réserves d'eau du sol sont épuisées au moment de la phase cruciale de fin montaison-épiaison, le déficit hydrique et l'effet desséchant de l'air provoquent un arrêt de croissance des tiges secondaires ; seules les tiges principales peuvent atteindre le stade reproducteur. Il ne peut être question de récupérer ce manque à produire par une augmentation de l'humidité du sol au début de la formation des grains, comme il a été constaté.

Dans les conditions climatiques envisagées ici, il est donc intéressant de réduire le tallage, en augmentant la densité de semis. On obtient ainsi un plus grand nombre de pieds (tiges principales) par unité de surface de sol. Une densité de semis de l'ordre de 150 à 160 kg/ha, avec possibilité d'irrigation, conviendrait pour l'ensemble de la région de Tunis. On peut espérer, suivant le schéma proposé, obtenir des rendements supérieurs à 40 qx/ha avec un total de 450-500 mm d'eau (pluie + irrigation).

## VI. — RESUME

L'influence des conditions climatiques a été suivie au cours des différents stades végétatifs d'une culture de blé.

L'évapotranspiration de cette culture est influencée par les modifications dans la captation d'énergie par les surfaces foliaires. Ces modifications sont dues à la croissance. L'étude des bilans énergétiques permet de mettre cette influence nettement en évidence.

En outre, le rapport entre les bilans hydriques et énergétiques indique un apport d'énergie advective dans le couvert.

Ces constatations conduisent à définir un rythme d'irrigation qui tient compte non seulement des conditions climatiques, mais également de l'état végétatif de la culture.

## SUMMARY

*Water and energy balances in a wheat crop in the semi-arid region. Irrigation and productivity problems.*

The influence of climatic conditions was followed throughout the various stages of vegetation in a wheat crop.

Evaporation in this crop was influenced by changes in the intake of energy by the leaf surfaces. These changes were due to growth. A study of the energy balances showed this influence very clearly.

Furthermore; the relationship between water and energy balances showed there was a contribution of lateral energy from the vegetation cover.

These findings led to the drawing-up of a system of irrigation which takes account not merely of climatic conditions, but also of the stages of vegetation in the crop.

ANNEXE

*Caractéristiques du blé choisi*

Extrait de « Recommendation for wheat production for northwestern Mexico 1967-1968 ».

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.

Mexico. Circular n° 35.

cycle végétatif :..... 150-160 jours

production élevée

grain rouge brun

poids moyen d'un grain : 34-36 mg

bonne valeur boulangère.

*Analyse technologique des grains reçus au semis (INRAT)*

humidité du grain .....	10 %
farine .....	15,1
tenacité .....	81,7
élasticité pâte (G) .....	17,5
indice chopin (W) .....	269
poids 1000 grains .....	34,9 g
poids spécifique .....	79,2
taux protéines .....	14 %
germination .....	95 %

Nous n'avons pu obtenir une analyse technologique des grains récoltés sur nos parcelles expérimentales afin de constater les modifications des propriétés dues aux irrigations et citées ci-dessus.

### BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME : Recommendation for wheat production for north-western. Mexico 1967-1968. *Inst. Nac. de Invest. Agric. Circul.* n° 35.
- ASANA R.D. et SAINI A.D. (1958.) — Studies in physiological analysis of yield. IV. The influence of soil drought on grain development, photosynthetic surface and water content of wheat. *Physiol. Plant.* 11, p. 666-674.
- ASANA R.D. et SAINI A.D. (1962). — Analysis of drought resistance in wheat. UNESCO. *Acte Coll. Madrid.* p. 183-190.
- AZZI G. (1956). — Agricultural ecology. Constable, London.
- BALDY Ch. (1968). — Cultures fourragères intensives et irrigation de complément. *Ann. Inst. Nat. Rech. Agr. Tun.* 41, fasc. 4.
- BALDY Ch. et JONARD P. (1969). — Contribution à l'étude du rendement photosynthétique du blé. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 268, p. 1296-99
- BEGG (1955). — High photosynthetic efficiency in a low latitude environment *Nature* 205 p. 1025-1026.
- BERNARD E.A. (1956). — Le déterminisme de l'évaporation dans la nature *I.N.E.A.C.* n° 68.
- BOUCHET R.J. (1963). — Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole. In « *L'eau et la production végétale* ». p. 151-232.
- BOUCHET R.J. et ROBELIN M. (1969). — Evapotranspiration potentielle et réelle. Domaine d'utilisation - Portée pratique. *Bull. Techn. des Ingen.* n° 238, p. 215-223.
- DAMAGNEZ J. (1967). — Quelques aspects de la production de matière sèche des cultures irriguées, en zone méditerranéenne aride. *A.I.E.A. Symposium on the use of radio-isotopes and radiation technics in soil physics and irrigation studies. Istanbul 12-16 juin 1967.*
- DE LA SAYETTE Ph. (1967). — Evapotranspiration mesurée sur luzerne. *Ann. Ins. Nat. Rech. Agron. Tun.* 40, p. 1-18.
- DURANT (1967). — Action de la température et du rayonnement sur la croissance. *Ann. Physiologie.* 9, p. 5-27.
- EMBERGER L. (1955). — Une classification biogéographique des climats. *Recueil Trav. Labo. Bota. Zool. Faculté Sciences Montpellier, série Botaniq.* fasc. 7, p. 3-44.
- FRITSCHEN L.J. et VAN BAVEL H.C. (1964). — Energy balance as affected by height and maturity of sudangrass. *Agron. J.* 56, p. 201-204.
- FUNK J.P. (1959). — Improved polythene-shielded net radiometers. *J. Scient Instrument.* 36, p. 267-270.
- GUPTA S.N. et BHATTACHARYA A.P. (1969). — Variations in consumptive use of wheat : an experimental study. *Seven'h Congress on Irrigation and drainage. Mexico 1969 - Question 23*, p. 385-405
- HAISE H.R., HANKS R.J. et JENSEN M.E. (1963). — Solar reflection from various crops and conditions. *Agron. Absrt.* p. 7.

- MONTENY B.A. (1967). — Rapport interne ORSTOM.
- MONTENY B.A. (1968). — Echanges énergétiques et hydriques d'un couvert végétal. *Thèse Faculté Sciences Orsay*.
- MONTENY B.A. (1969). — Influence de l'énergie advective sur l'évapotranspiration d'un couvert végétal. *Oecol. Plant.* IV p. 295-306.
- MONTENY B.A., POÛPON H. et EL AMAMI S. (1969). — Quelques résultats concernant le comportement d'une nouvelle variété de cotonnier introduite en zone semi-aride. *Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tun.* 42 (4) : 40 p.
- NUEZ E.R. et LAIRD R.J. (1961). — Variaciones en la humedad del suelo durante el ciclo del trigo en El Bajío y su influencia en varias características del cultivo. *Field crop Abstr.* 14, p. 10.
- DE PARCEVAUX S. (1963). — Transpiration végétale et production de matière sèche. In « *L'eau et la production végétale* ». p. 63-150.
- PENMAN H.L. (1963). — Vegetation and hydrology. *Tech. Commun. Commonw. Bur. Soils* 53, p. 124.
- ROBINS J.S. et DOMINGO C.E. (1962). — Moisture and nitrogen effects on irrigated spring wheat. *Agron. J.* 54, p. 135-138.
- ROBELIN M. (1962). — Evapotranspiration réelle de différentes cultures bien alimentées en eau et évapotranspiration potentielle. Détermination expérimentale. *Ann. Agron.* 13, 493-522.
- STALFELT M.G. (1962). — The effect of temperature on the opening of the stomatal cells. *Physiol Plant.* 15, p. 772-779.
- SALTER P.J. et GOODE J.E. (1967). — Crop responses to water at different stages of growth. *Commonw Bur. of Hortic. Res. Rev.* n° 2.
- THORNE G.N. (1966). — Physiological aspects of grain yield in cereals. In « *The growth of cereals and grass* » by Milthorpe et Ivins, p. 88-104.
- VENKANTARAMAN S. (1962). — Evapotranspiration as an agronomic factor. *UNESCO. Acte Coll. Madrid*, p. 147-152.
- VERNET A. - MOUSSET P. et SÁGLIO P. (1969). — Nutrition azotée et consommation en eau d'un blé irrigué sous le climat de Tunis. *Bull. Ecol. Nat. Sup. Agric. Tun.*, 19, p. 77-102.
- WELBANK P.J., FRENCH J. et WITTS K.J. (1966). — Dependence of yields of wheat varieties on their leaf area durations. *Ann. Bot.* 30, p. 291-299.
- YOCUM C.S., VAN ALLEN L.H. et LEMON E.R. (1964). — Photosynthesis under field conditions. VI. Solar radiation balance and photosynthesis efficiency. *Agron. J.* 56, p. 249-253.