

UTILISATION DE L'INFORMATIQUE DANS LA CONSTITUTION  
D'UN FICHER "COEFFICIENTS CULTURAUX"

D.CARDON\* - Ph.GREBET\*\*

En agronomie un grand nombre de facteurs climatiques mais aussi biologiques échappent au contrôle de l'observateur, il n'y a donc pas d'expériences vraiment répétitives. L'usage des statistiques, par la masse des données traitées, permet de surmonter au moins en partie ce problème. Un tel mode de raisonnement n'est pas nouveau et les nombreux dictons populaires (cette statistique qui s'ignore) sur le temps, les semailles et les moissons en sont une illustration.

Néanmoins il a fallu l'avènement de l'informatique avec sa capacité en mémoire et sa puissance de calcul pour permettre le traitement "en routine" d'un grand nombre d'informations.

Le travail présenté ici "constitution d'un fichier coefficients culturaux" est une utilisation de ces qualités de l'informatique et tout au long de l'exposé qui va suivre nous nous sommes appliquées à mettre en relief le rôle de cet outil ainsi que ses limites.

Mais qu'appelle-t-on coefficients culturaux ? Comment les calcule-t-on et d'une façon générale pourquoi créer un fichier de ces grandeurs ? C'est à ces questions qu'il sera répondu dans une première partie. Ensuite nous suivrons étape par étape la constitution du fichier. Enfin nous ferons un examen critique des résultats obtenus et des solutions apportées par l'informatique dans l'amélioration de ceux-ci.

---

\* D.CARDON : O.R.S.T.O.M.

\*\* Ph.GREBET: Station de Bioclimatologie - INRA Versailles.

## 1. PRESENTATION DES COEFFICIENTS CULTURAUX.

Parmi les techniques d'amélioration du rendement des cultures l'irrigation est sans doute celui dont les résultats sont les plus satisfaisants. Mais l'eau disponible se trouve bien souvent en quantité limitée ; il convient donc de l'économiser en apportant aux plantes irriguées une quantité d'eau juste nécessaire à leurs besoins réels.

Le concept d'évapotranspiration potentielle reliant la consommation en eau des plantes aux conditions climatiques est une première approche du problème. Cette approche néanmoins reste très incomplète ; en effet, selon leur stade de développement et les caractéristiques du couvert, les cultures ont une consommation en eau qui peut s'écarter notablement des valeurs calculées à partir des formules climatiques.

Il est également possible d'effectuer la mesure directe de l'évapotranspiration ; mais les mesures en poste fixe (par évapotranspiromètre ou lysimètre) sont à la fois coûteuses et délicates et restent des mesures étalons. C'est pour transposer le résultat de ces mesures étalons en tout lieu où un minimum d'observations météorologiques est effectué que la notion de coefficient cultural a été créée.

A un stade de développement donné "le coefficient cultural sera un nombre caractéristique de chaque culture traduisant le rapport entre son évapotranspiration réelle maximale (E.T.R.M.) et une expression de référence" PERRIER (1978).

Le but final du fichier "coefficients culturaux" est de donner pour chaque couvert étudié et chaque stade de développement un coefficient cultural moyen applicable sur la plus grande étendue possible.

Pour obtenir ces résultats avec une précision acceptable il est nécessaire de posséder un nombre de données suffisant (selon MONTAGNON et al. (1977) au moins 5 cycles par culture étudiée) ; de plus pour accroître la généralité de ces résultats et dans la mesure du possible, les données doivent provenir de stations différentes. Compte tenu des valeurs climatiques et lysimétriques disponibles nous avons retenu quatre stations . Il s'agit des stations I.N.R.A. (Institut Nationale de la Recherche Agronomique) de Clermont Ferrand, Rennes, Toulouse et Dijon.

Ces quatre stations nous ont fourni des données lysimétriques et agroclimatiques concernant 25 cultures différentes.

Pour chaque cycle de chacune de ces cultures nous avons calculé les valeurs journalières de quatre coefficients culturaux. Ce sont ces coefficients que nous allons présenter maintenant. Pour leur différenciation nous

avons conservé les symboles utilisés dans les programmes ordinateurs ( $K_1, K_2, K_3, K_4$ ) mais pour des raisons de logique l'ordre de présentation sera quelque peu différent ( $K_2, K_3, K_4, K_1$ ).

#### 1.1. Utilisation de la formule de PENMAN comme terme de référence.

Le terme de référence auquel on compare le plus volontiers l'E.T.R.M. d'une culture est l'estimation de son évapotranspiration à partir d'une formule climatique. Mais si on veut accorder une valeur générale à la comparaison il est préférable que cette formule repose sur un raisonnement physique plutôt que sur une base empirique c'est pourquoi beaucoup d'auteurs ont adopté la formule de PENMAN (1948) ou la formule de BROCHET-GERBIER (1970) qui est son adaptation à la mesure de l'évaporomètre Piche sous abri (PEYREMORTE (1977) ; MONTAGNON et al (1977)). C'est ce que nous avons fait également pour le coefficient  $K_2$  que nous définissons de la façon suivante :

$$K_2 = \frac{\text{E.T.R.M.}}{\text{ETP}_c} = \frac{\text{Evapotranspiration réelle maximale de la culture.}}{\text{Evapotranspiration par la formule de PENMAN}}$$

Rappelons que PENMAN à la suite d'un raisonnement arrive à une formulation du type suivant

$$\text{ETP}_c = \phi_1(\text{Rn}) + \phi_2(\text{Ea})$$

Rn et Ea désignant respectivement le rayonnement net et le pouvoir évaporant de l'air.

Rn peut être évalué à partir de la formule suivante connaissant l'albédo  $a$  du couvert, le rayonnement global  $R_G$ , la température moyenne de l'air  $T$ , la pression de vapeur  $e$ , l'insolation  $S$  et la durée du jour  $S_0$  :

$$\text{Rn} = (1-a) R_G - (0,1 + 0,9S/S_0)(0,56 - 0,08\sqrt{e}) \sigma.T^4$$

où  $\sigma$  est la constante de STEFAN-BOLZMAN.

En se servant de la formulation présentée par HALLAIRE (1950),  $T$  est elle-même calculée à partir des températures maximale et minimale  $T_N$  et  $T_x$  et de la durée du jour. Quant aux paramètres astronomiques tels que  $S_0$  ils peuvent, dans les limites de la précision requise en agronomie, être obtenus aisément de façon analytique à partir du jour, du mois et de l'année (DURAND, 1978).

Le pouvoir évaporant de l'air a pour expression

$$\text{Ea} = 0,26(1 + 0,537V) \sqrt{P(T) - e}$$

où  $V$  est la vitesse du vent et  $P(T)$  la pression de vapeur

saturante à la température T.

En définitive le calcul de  $K_2$  implique la connaissance des températures maximales et minimales, de la pression de vapeur ou ce qui revient au même de la température humide du psychromètre, du rayonnement global, de l'insolation et de la vitesse du vent ; pour l'albédo nous avons pris une valeur arbitraire égale à 0,2. Ce sont ces exigences qui ont limité le nombre des stations retenues pour constituer le fichier.

### 1.2. Utilisation de l'E.T.R.M. d'une culture comme référence.

Pour comparer la consommation en eau des différents couverts, l'E.T.R.M. d'une certaine culture peut éventuellement être choisie comme élément de référence. IL faut toutefois que cette culture aie une activité physiologique soutenue pendant la plus grande partie de l'année et que la structure du couvert varie peu avec la saison. Les cultures fourragères subissant des coupes régulières correspondent assez bien à cette définition. La fétuque étant présente sur les quatre stations choisies la plupart des années considérées, nous avons adopté l'E.T.R.M. fétuque comme terme de référence du coefficient  $K_3$ .

On aura par conséquent :

$$K_3 = \frac{\text{E.T.R.M.}}{\text{E.T.R.M. fétuque}}$$

### 1.3. Comparaison de l'E.T.R.M. avec la valeur donnée par un modèle.

D'un point de vue analytique il est intéressant de trouver une grandeur de référence prenant en compte les caractéristiques physiques du couvert.

Trois caractères peuvent alors être considérés

- . la rugosité à la surface du couvert
- . le frein à la diffusion dû à la plus ou moins grande ouverture des stomates
- . l'architecture du couvert.

Dans une série de trois articles PERRIER a repris l'analyse de PENMAN en faisant intervenir successivement ces caractères.

Tout d'abord (PERRIER-I- 1975) prenant en compte, les caractéristiques de la surface, il introduit dans le coefficient d'échange la hauteur de déplacement D.

On a alors

$$H = \frac{l}{r_a} = \frac{k \cdot u_*}{\text{Log} \frac{Z_R - D}{Z_h - D}}$$

- .  $r_a$  désignant la résistance opposée par l'air au transfert de la vapeur d'eau ou résistance aérodynamique
- .  $Z_R$  la hauteur de référence où sont mesurées les grandeurs météorologiques.
- .  $Z_h$  la hauteur de culture
- .  $k$  la constante de KARMAN prise égale à 0,4
- .  $u^*$  la vitesse de frottement.

Ensuite, tenant compte du rôle des stomates il introduit une résistance  $r_s$  ou résistance stomatique (PERRIER II 1975). Le couvert considéré est toujours un couvert idéal limité à une surface horizontale mais cette fois la saturation est supposée se produire au niveau des surfaces d'échange dans la feuille et non plus forcément au niveau de la feuille elle même.

Enfin, il introduit l'architecture d'un couvert sous forme d'une résistance supplémentaire  $r_o$  (PERRIER III 1975), et son modèle définitif peut s'écrire :

$$ET_C = \frac{P'}{P'+\gamma} \cdot R_n \cdot \frac{1 + (\gamma/(P' + \gamma)) \frac{r_c}{r_a}}{1 + (\gamma/(P' + \gamma)) \frac{r_s + r_o}{r_a}}$$

- .  $ET_C$  désignant l'évapotranspiration du couvert calculée à partir du modèle
- .  $\gamma$  la constante psychrométrique
- .  $P'$  la dérivée de la pression de vapeur saturante à la température T
- .  $r_c$  une grandeur essentiellement climatique ayant la dimension d'une résistance et ayant pour expression d'après DAUDET et PERRIER (1968)

$$r_c = \rho c_p (P' + \gamma)(T_a - T_r) / \gamma \cdot R_n$$

où

- .  $\rho$  est la masse volumique de l'air
- .  $c_p$  la chaleur massique de l'air et  $T_r$  la température du point de rosée de l'air.

Ce sont les résultats obtenus à partir de ce modèle qui ont servi de référence au calcul de  $K_4$  soit

$$K_4 = \frac{E.T.R.M.}{ET_C}$$

Dans la mesure où le modèle se trouverait en permanence vérifié la valeur de  $K_4$  serait toujours centrée sur l'unité.

1.4. Comparaison de l'E.T.R.M. avec le premier terme de la formule de PENMAN.

Reprenons l'expression du modèle ayant servi de terme de référence pour le calcul de  $K_4$ . Cette expression peut être considérée comme un produit de deux facteurs.

Le premier facteur uniquement climatique n'est autre que le premier terme de la formule de PENMAN,

$$P_1 = ET_0 = \frac{P'}{P' + \gamma} \cdot R_n$$

La relation existant entre le climat et la physiologie de la plante est entièrement traduite dans le second facteur que nous appellerons provisoirement  $k$ .

Dans la mesure où le modèle du paragraphe précédent est une représentation conforme à la réalité nous aurons  $K_4 = 1$ , soit :

$$E.T.R.M. = ET_c = k \cdot ET_0$$

ou encore

$$k = \frac{E.T.R.M.}{ET_0}$$

C'est ce dernier rapport qui constituera le coefficient cultural  $K_1$ .

Outre sa signification physique ce dernier coefficient présente par rapport à  $K_2$  l'avantage d'une plus grande facilité de calcul, la vitesse du vent n'étant plus cette fois à considérer.

## 2. ETABLISSEMENT DU FICHER COEFFICIENTS CULTURAUX.

Pour obtenir le fichier "coefficients culturaux" nous avons procédé étape par étape en créant un certain nombre de fichiers intermédiaires. Ce sont ces étapes que nous allons examiner successivement. Mais auparavant il faut dire quelques mots sur la nature de ces fichiers et les problèmes généraux auxquels nous nous sommes heurtés dans notre progression.

Dans l'utilisation de l'informatique le premier pas à faire est le regroupement des données à étudier et leur mise sous une forme compréhensible par l'ordinateur couramment appelée constitution des fichiers de base contenant les données d'observations ou données brutes. On peut pour cela procéder de 3 manières différentes.

1° Stocker les informations et les traiter au fur et à mesure de leur arrivée, il s'agit de l'acquisition en temps réel.

2° Les faire "entrer" dans le système de calcul un certain temps

après leur acquisition (jamais plus d'un mois); c'est l'acquisition différée courante en météorologie.

3° Recueillir des données anciennes ayant été déjà, fautes de moyens de calcul puissant, partiellement exploitées; c'est la constitution de fichiers historiques dont l'usage courant en agrométéorologie n'a été rendu possible que par l'apparition de l'informatique.

C'est ce type de fichier dont il sera question dans toute la suite de cet exposé.

Il nous parait maintenant important de souligner les contraintes propres au sujet traité, contraintes que l'on pourrait retrouver dans la plupart des sujets traitant par informatique des sciences de la biosphère, car, dans tout ce qui suit, elles vont dominer l'emploi de l'outil informatique.

Les informations à analyser comportent, en proportions variables suivant les cas une partie quantitative traduisible en chiffres et une partie qualitative qu'il est très difficile voire impossible à codifier en langage assimilable par la machine (certaines de ces informations pouvant ressortir d'une analyse sans qu'il soit pour autant possible de les discerner à l'intérieur des résultats... car elles n'ont pas été codées).

Citons quelques exemples nous intéressant.

L'esprit dans lequel ont été faites les mesures d'E.T.R.M. et d'agrométéorologie mises à notre disposition a conditionné la façon dont elles ont été obtenues et en particulier leur précision. L'aspect purement technique de la mesure comme le choix du site, la disposition des appareils, la technique de mesure, lui aussi dépend de façon étroite du but poursuivi.

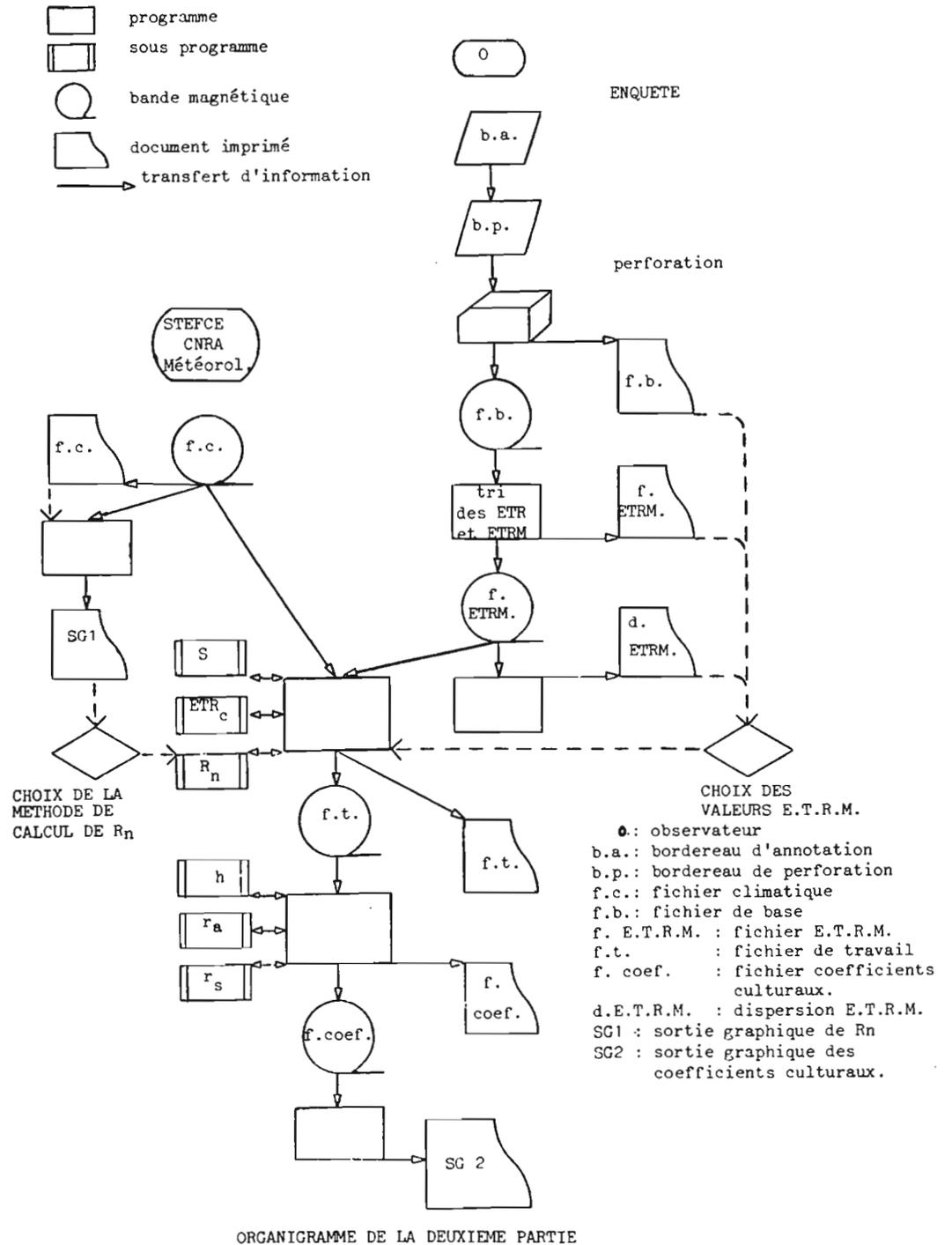
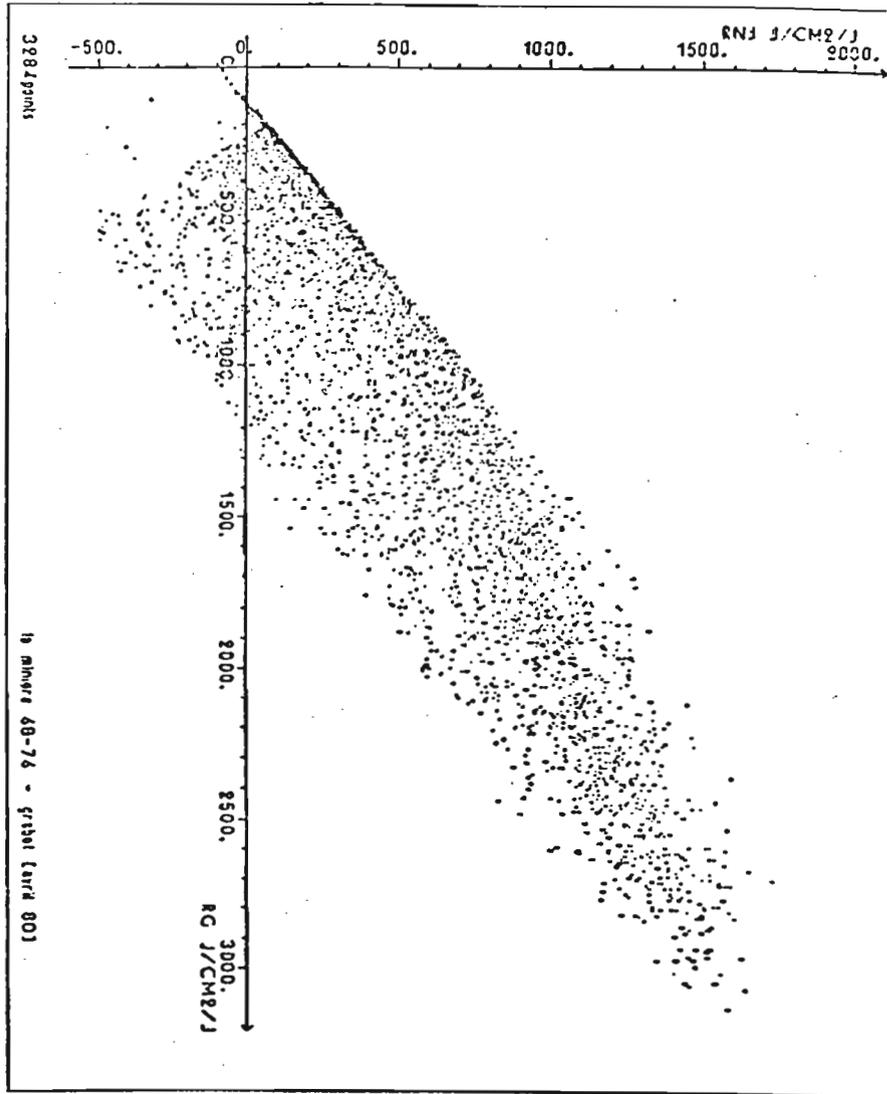
Il existe des faiblesses inhérentes au système de mesure lui-même, faiblesses que l'observateur connaît sans pour autant pouvoir les quantifier : par exemple un comportement souvent plus irrégulier du drainage dans un lysimètre.

Cet aspect qualitatif est très important car il nous contraint tout au long de la démarche méthodologique (constitution de fichiers, élaboration de données brutes analyse et synthèse) à un retour incessant à la source.

C'est compte tenu de ces difficultés que nous allons maintenant aborder pas à pas la constitution du fichier (voir ci-après l'organigramme de la démarche adoptée).

2.1. Enquête auprès des observateurs recueil des données brutes (bordereaux d'annotations, résultats).

Figure 1.-Rayonnement net calculé sur 24 heures en fonction du rayonnement global.



Cette enquête avait pour but de recueillir les données brutes mais aussi d'en rencontrer les responsables pour examiner avec eux tout l'aspect qualitatif déjà mentionné ainsi que les conditions de mesure comme par exemple les caractéristiques du site, dimensions de la parcelle de garde, installation des évapotranspiromètres, conduite des mesures elle-même (fréquence) etc...

## 2.2. Etude des bordereaux d'annotation , préparation des bordereaux de perforation.

En possession des bordereaux d'annotation et des remarques de leurs responsables il a fallu procéder à une première synthèse pour faire ressortir les caractères communs à toutes les mesures afin de les coder dans la mesure du possible. Ainsi, en plus des cultures et de la phénologie, ont pu être différenciés les traitements (essais de densité, modifications de l'alimentation hydrique ).

Ce codage a été introduit afin de pouvoir ne retenir ultérieurement que les mesures correspondant à l'évapotranspiration réelle maximale des cultures conformément à la note interne mesure de l'évapotranspiration potentielle (GREBET, juillet 1967).

D'autre part, les mesures d'E.T.R.M. n'étant pas annotées sur des bordereaux standards, il fallait passer par cette transcription pour en normaliser la présentation avant de les donner à la perforation.

Remarque. A ce stade de la saisie des données et dans la mesure du possible il est intéressant de communiquer à la perforation les bordereaux d'annotation eux mêmes afin de limiter les erreurs de transcription.

## 2.3. Chargement des fichiers. Constitution des fichiers de base.

Dans un premier temps il a été constitué un fichier de sauvegarde qui n'est autre que la recopie des cartes sur une bande magnétique.

Ensuite l'enregistrement a été "éclaté" autrement dit on a créé un enregistrement distinct pour chaque série de données relatives à un évapotranspiromètre. C'est ce qu'on a appelé constitution des fichiers de base. Cette étape n'apparaît peut être pas comme un progrès majeur par rapport à la précédente, mais elle s'est révélée très utile au niveau des opérations en aval qu'elle a notablement simplifiées.

## 2.4. Vérification des données archivées.

### 2.4.1. Evaluation des erreurs de mesure.

C'est à ce niveau qu'apparaît tout l'intérêt du choix judicieux du codage puisqu'il permet en utilisant les programmes de tri ou de classement de regrouper dans l'ordre et à partir du fichier de base, les traitements identiques, puis parmi ceux-ci les cultures identiques, puis encore ordonner ces dernières chronologiquement et enfin les ordonner suivant le numéro de l'appareil de mesure.

Une telle tâche était rendue aisée par l'emploi de l'informatique. C'est à partir d'un tel fichier d'accès très pratique qu'il a été procédé à l'estimation de la dispersion des mesures lorsque plusieurs lysimètres étaient affectés à l'étude de la même culture. Le faible nombre de ces répétitions n'a pas permis le calcul d'un écart type et il a fallu caractériser la dispersion autrement.

Pour chaque période de mesures nous avons pris la moyenne des différences entre valeurs lysimétriques. Puis nous avons fait la moyenne de ces moyennes et nous l'avons appelée  $\Delta$ lys. Dans la mesure où la variabilité sur les lysimètres est indépendante de la quantité d'eau drainée donc de la climatologie,  $\Delta$ lys est représentatif de la dispersion cherchée. Toutes les fois possibles il a été procédé au calcul de  $\Delta$ lys. Le tableau (1) rend compte des résultats obtenus. A titre indicatif signalons que l'évapotranspiration hebdomadaire peut varier entre 10 et 50mm.

Remarque. Sauf pour Toulouse où elles sont décadaires, les périodes de mesure sont de une semaine.

Station Culture	CLERMONT FD.	RENNES	TOULOUSE	DIJON
Orge	7,4			
Sorgho			4,0	
Chou fourrager		3,6		
Fétuque	5,9	6,8	5,0	5,9
Luzerne	7,9	9,7	7,8	
Prairie	9,7			
Ray-grass		2,6		
Feverole		3,7		
Soja			4,3	

TABLEAU 1. - Valeurs de  $\Delta$ lys en mm.

#### 2.4.2. Elimination des données aberrantes.

Ceci concerne uniquement le cas où sur une même station plusieurs lysimètres sont affectés à la mesure E.T.R.M, de la même culture.

Sauf pour les plantes fourragères ces essais multiples ont toujours été menés en parallèle (même date de semis, date de récolte voisine, etc...).

Pour les plantes fourragères, il est apparu au cours de l'étape précédente que les valeurs E.T.R.M. ne subissaient pas de variation sensible après une coupe. Nous en avons tiré la conclusion suivante : s'il existe un "effet coupe" celui-ci est masqué dans la dispersion imputable aux méthodes de mesure elles-mêmes.

Dans ces conditions, les mesures étant comparables, il devenait possible de juger si certaines d'entre elles étaient irréalistes et de les éliminer. Mais quel critère adopter? et tout d'abord étant donné leur faible nombre (2 à 4) à quelle grandeur de référence les comparer ?

Pour effectuer un tel choix nous avons fait appel aux résultats obtenus sur une autre station (celle de La Minière) où sont effectués des mesures journalières de l'E.T.R.M.. Nous avons comparé le résultat de ces mesures au premier terme  $P_1$  de la formule de PENMAN. Le rayonnement net  $R_n$  apparaissant dans le calcul de  $P_1$  un second choix devait alors être opéré : fallait-il classiquement suivant la formule de BRUNT, calculer  $R_n$  sur 24 heures ou, puisqu'il s'agissait d'évapotranspiration, considérer un rayonnement net diurne ?

Nous avons comparé tout d'abord le rayonnement global au rayonnement net calculé suivant les 2 méthodes (Fig.1 et 2).

La seule vue des graphiques obtenus ferait opter pour le  $R_n$  diurne. Nous avons ensuite effectué dans les deux cas, le rapport E.T.R.M./ $R_n$

La dispersion obtenue est sensiblement plus grande si le rayonnement net est calculé sur 24 heures. On retrouve encore cette dispersion dans le calcul du coefficient  $K_2$ , effectué sur la fétuque à La Minière (Fig. 3 et 4).

Tout ceci nous a conforté dans notre opinion première et nous avons choisi comme grandeur de référence le premier terme de la formule de PENMAN calculé avec un rayonnement net diurne. Reprenant le résultat des travaux de PRIESTLEY et TAYLOR (1972) nous avons alors comparé l'E.T.R.M. à la valeur de  $1,3 P_1$ .

Exactement le critère d'élimination retenu a été le suivant: on a recherché la valeur d'E.T.R.M. la plus proche de  $1,3 P_1$ , on a encadré cette valeur par plus ou moins la valeur  $\Delta_{lys}$ . présentée dans le tableau 1, les mesures d'E.T.R.M. n'appartenant pas à l'intervalle ainsi défini ont été éliminées.

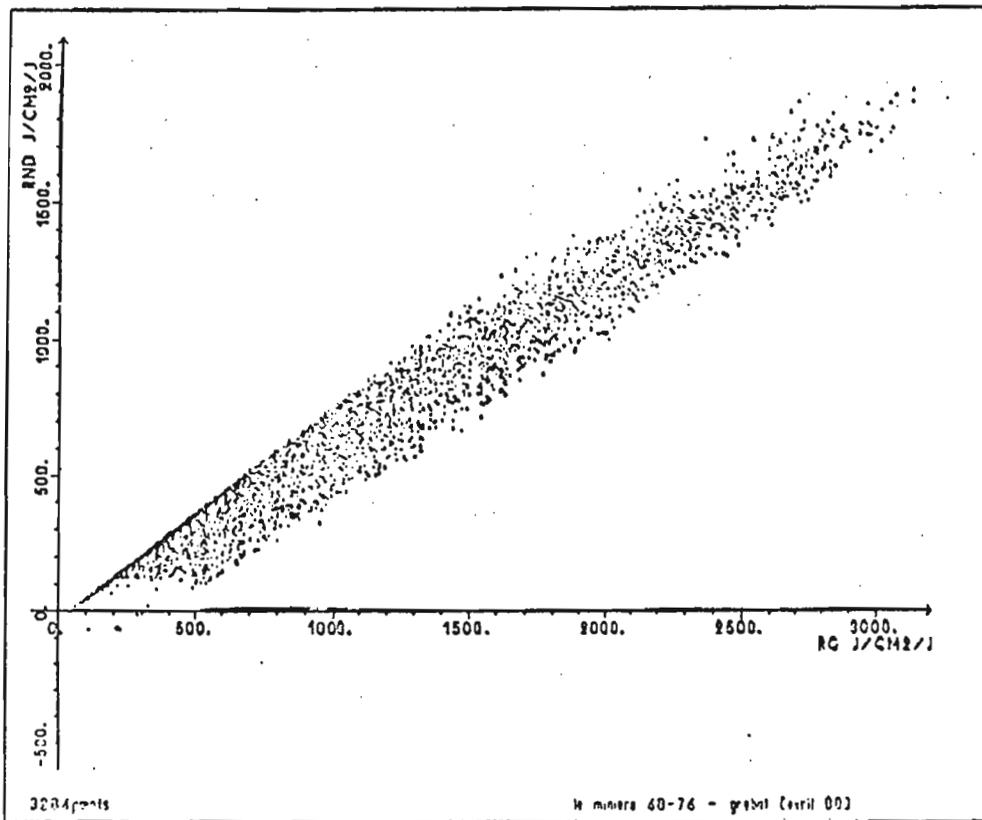


Figure 2. - Rayonnement net diurne (RND) en fonction du rayonnement global.

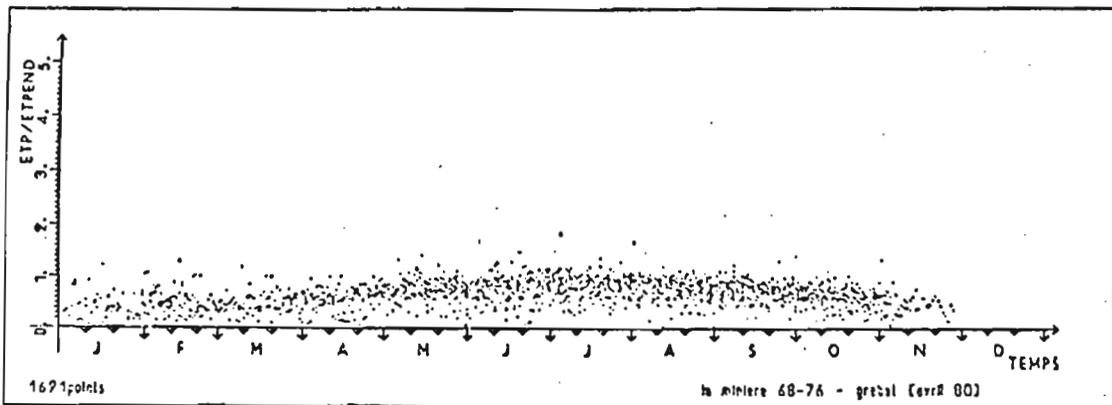


Figure 3. - Evolution du coefficient  $K_2$  sur fétuque à La Minière l'ETP<sub>c</sub> étant calculée sur la durée du jour.

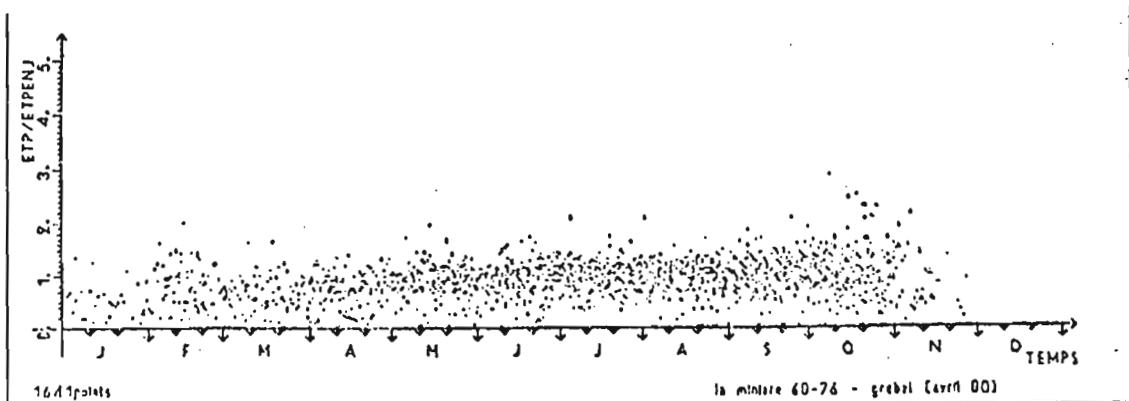


Figure 4. - Evolution du coefficient  $K_2$  sur fétuque à La Minière l'ETP<sub>c</sub> étant calculée sur 24 heures.

## 2.5. Constitution du fichier climatologie.

Ce fichier n'est autre que la copie des données météorologiques journalières concernant les périodes de mesure d'E.T.R.M. sur les stations étudiées, et communiquées par les services compétents (S.T.E.F.C.E., Météorologie Nationale).

Le seul problème posé par ce fichier a été la reconstitution des données lorsque celles-ci faisaient défaut.

Ceci a notamment été le cas pour le rayonnement global  $R_G$ , qu'on a recalculé à partir de la fraction ensoleillée de la journée :  $S/S_0$

$$R_G = R_{G_0}(a + b S/S_0)$$

a et b étant les coefficients calculés par DURAND (1974) et  $R_{G_0}$  le rayonnement global extra-terrestre.

## 2.6. Constitution du fichier de synthèse : climatologie évapotranspiration.

C'est l'ultime étape de mise en forme des données retenues pour l'analyse : c'est le fichier de travail. Il réunit sur un même support et dans un même enregistrement les mesures d'E.T.R.M. et les données climatologiques correspondantes.

Rappelons que nous avons choisi comme valeur d'E.T.R.M. la valeur d'observation s'il n'y a qu'une mesure et la valeur moyenne des mesures les plus proches de 1,3  $P_1$  s'il y en a plusieurs.

A partir de la valeur E.T.R.M. précédemment définie on a ensuite calculé une E.T.R.M. par référence au rayonnement global.

$$E.T.R.M. \text{ journ.} = \frac{E.T.R.M. \text{ hebdo.} \times R_{G \text{ journ.}}}{\Sigma R_{G \text{ hebdo.}}}$$

Remarque. Dans le cas de Toulouse il faut lire décadaire à la place de hebdomadaire.

Signalons enfin que l'évapotranspiration suivant la formule de PENMAN a été calculée à partir des valeurs diurnes du rayonnement net et de la température.

## 2.7. Constitution du fichier "coefficients cultureaux".

C'est l'aboutissement final de toute la démarche précédente.

En tête de chaque enregistrement on retrouve les grandeurs climatiques figurant dans le fichier de travail. Ensuite comme précédemment viennent dans l'ordre des codes cultureaux croissants les grandeurs relatives à chaque couvert étudié mais en plus figurent les 4 coefficients cultureaux.

Pour effectuer le calcul de ces quatre coefficients un certain nombre d'hypothèses ont été rendues nécessaires, concernant principalement la hauteur de culture, la résistance stomatique, la vitesse de frottement et la hauteur de déplacement.

La phénologie étant le plus souvent incomplète, nous avons tenté d'estimer la hauteur de culture sans la faire intervenir. Sauf dans le cas des plantes fourragères cette hauteur a été calculée à partir d'un modèle tenant compte uniquement de la durée moyenne d'un cycle et de la hauteur moyenne de la culture à maturation. Ce modèle étant assurément perfectible ce calcul a été effectué dans un sous-programme particulier afin de faciliter toutes modifications ultérieures.

La hauteur de déplacement  $D$  et la vitesse de frottement  $u^*$  sont d'un faible poids dans la valeur de  $K_4$ . Ceci justifie une certaine part d'arbitraire dans leur choix.

Nous avons pris

$$D = h/3$$

où  $h$  est la hauteur du couvert

et  $u^* = V/10$

Il n'en va pas de même de la résistance du couvert ( $r_v = r_s + r_o$ ) dont l'influence sur  $K_4$  est beaucoup plus importante. Néanmoins en première approximation nous avons adopté une valeur unique, proche de la valeur moyenne de  $r_v$  obtenue sur tout un cycle pour le blé par PERRIER et al. (1980) et proche de celle donnée sur gazon par GOSSE (1976).

### 3. EXAMEN CRITIQUE DES COEFFICIENTS CULTURAUX OBTENUS

Le fichier coefficients culturaux contient les valeurs journalières des 4 coefficients pour 102 essais ; et ceci pour une période allant de quelques mois à une année complète. Pour pouvoir interpréter une telle masse de résultats il fallait les reporter sur un support facile à examiner. C'est pourquoi nous avons représenté graphiquement les coefficients culturaux de l'ensemble du fichier.

Cet examen a révélé entre autres un certain nombre d'anomalies. Pour en comprendre l'origine et être à même ultérieurement de les corriger, nous avons dû remonter aux différentes étapes de la constitution du fichier.

#### 3.1. Représentation graphique de l'évolution dans le temps des coefficients culturaux.

Cette représentation a été effectuée station par station et année par année . Pour une raison de clarté les 4 coefficients ont été représentés sur 2 graphes séparés. Le premier graphe comporte des valeurs de  $K_1$  et  $K_3$  le second celles de  $K_2$  et  $K_4$ .

Enfin l'échelle des temps a été adaptée par programme à la durée des cycles étudiés.

### 3.2. Examen des coefficients culturaux.

Dans un premier temps la sortie graphique a été examinée dans l'ordre de sorties des graphes. Ceci a permis de mieux cerner les problèmes généraux se rapportant à toute une année par exemple. Ensuite on a procédé à une réorganisation culture par culture permettant des études plus particulières.

Six graphes ont été sélectionnés résumant assez bien l'ensemble des réflexions qui ont été faites. Leurs copies ont été placées en annexe.

#### 3.2.1. Examen des graphes année par année.

La première impression est celle d'une dispersion importante dans les valeurs prises par les coefficients culturaux , celle-ci étant d'autant plus grande qu'on se rapproche davantage des mois d'hiver. Le graphe concernant la fêtuque (figure 1. en annexe) à Toulouse en 1973 en est un exemple très net. On note également que cette dispersion varie peu avec le coefficient considéré et qu'elle est généralement plus grande pour  $K_4$ .

Si on exclue le coefficient  $K_3$  les valeurs successives prises par un même coefficient semblent le plus souvent indépendantes entre elles ; cependant , dans le cas de résultats particulièrement homogènes, elles ont tendance à former des groupes séparés correspondant aux semaines ou décades de mesures lysimétrique. C'est ce qu'on peut constater pour la féverole à DIJON en 1974 par exemple (voir en annexe la figure 2) Il arrive également que certains de ces groupes soient complètement isolés des autres points du graphe, le phénomène se reproduisant sur tous les graphes d'une même station relatifs à une même période. La liste des périodes pour lesquelles ce phénomène a été constaté sur les stations de Dijon et Clermont Ferrand est donnée dans le tableau (2).

Enfin les valeurs du coefficients  $K_4$  ne sont pas centrées sur l'unité comme attendu mais voisines de celles du coefficient faisant intervenir la formule de PENMAN soit de  $K_2$ .

### 3.2.2. Examen des graphes culture par culture.

D'une façon générale il apparait que les coefficients culturels relatifs aux céréales (blé, orge, sorgho, maïs) présentent une grande dispersion. Leurs valeurs croissent en moyenne depuis le début du cycle jusqu'à un palier qui varie suivant les cultures. Ainsi pour  $K_2$  et  $K_4$  ce palier s'établit aux environs de 0,9 pour le blé, 0,7 pour l'orge et, suivant les stations entre 0,8 et 1 pour le maïs. Ensuite au moment de la maturation il y a décroissance brutale. L'exemple du blé à Clermont Ferrand (figure 3 en annexe) n'est pas représentatif de ces valeurs. Nous l'avons néanmoins retenu pour la faible dispersion des valeurs de  $K_2$  et  $K_4$ .

Les coefficients culturels  $K_2$  et  $K_4$  du soja subissent une évolution similaire, mais avec un palier compris entre 1,1 et 1,3 suivant les années (voir en annexe la figure 4) .

Pour la féverole, le tabac et le tournesol l'évolution des valeurs de  $K_2$  et  $K_4$  est quelque peu différente. En effet ils augmentent régulièrement pendant la plus grande partie du cycle jusqu'à atteindre une valeur comprise entre 1 et 1,2 , puis ils décroissent brutalement. Dans ce groupe le tournesol pose, sur une station, un problème particulier car les coefficients culturels atteignent des valeurs beaucoup plus fortes : 1,6 et plus. On trouvera en annexe une figure représentative de ce groupe il s'agit de la figure 2 sur la féverole.

Considérons maintenant les cultures fourragères. Comme on peut le voir en annexe pour la fêtuque (figure 1), les coefficients culturels  $K_2$  et  $K_4$  ont des valeurs centrées sur l'unité et présentant une grande dispersion. Quelques essais, réalisés sur un seul lysimètre semblent cependant faire exception, l'évolution de leurs coefficients culturels étant cyclique . C'est notamment le cas du ray-grass à Toulouse en 1976 (voir figure 5 et 6 en annexe)

### 3.3. Recherche de l'origine des anomalies constatées.

A chaque étape de la création du fichier l'information a été transformée : pour être assimilée par la machine d'abord, pour être simplifiée ensuite, pour calculer les éléments du fichier coefficients culturels enfin. Chacune de ces transformations est en fait une dégradation et c'est au niveau de ces dégradations qu'il faut rechercher l'origine des anomalies constatées. C'est ce que nous avons fait.

### 3.3.1. Retour au niveau de l'observateur

La disposition des lieux, les parcelles environnantes etc... font partie des paramètres que l'ordinateur peut difficilement prendre en compte. Les valeurs trop élevées de certains coefficients culturaux du tournesol pourraient fort bien être la conséquence d'un phénomène d'advection locale, prévisible si on connaît ces paramètres d'environnement. C'est au niveau de l'observateur lui-même que ceci pourra être vérifié.

### 3.3.2. Retour au bordereau de transcription.

Les lysimètres ont un temps de réponse d'au moins quarante huit heures. Que se passe-t-il en cas de fortes pluies ?

Deux cas sont possibles :

1°/ Les pluies ont lieu plus de 2 jours avant la mesure d'évapotranspiration. Le drainage est terminé avant la mesure, il ne se passe rien.

2°/Une pluie a lieu la veille ou l'avant-veille de la mesure. Le drainage n'est pas terminé au moment de celle-ci et une certaine quantité d'eau non drainée est comptabilisée comme si elle avait été évapotranspirée. Il y a surestimation de l'E.T.R.M. Mais cette eau parvient tout de même à la cuve de drainage lors de la semaine ou de la décade suivante, il y a alors surestimation du drainage donc sous estimation de la mesure d'E.T.R.M. cette fois.

Il suffirait de regrouper les mesures d'E.T.R.M. en périodes telles que le drainage soit achevé au début et à la fin de chacune d'elles pour éviter le problème.

En dehors de la date et des mesures d'E.T.R.M. les bordereaux d'annotation mentionnent la pluviométrie. Muni de ces renseignements nous avons dressé un tableau des périodes de mesure pour lesquelles il y a forte probabilité d'erreur du fait du drainage (tableau 3).

Nous pouvons remarquer la similitude existant entre les tableaux 2 et 3. Ceci nous éclaire sur la signification de la plupart des groupes de points isolés dans la représentation des coefficients culturaux.

Mais cette coïncidence n'est pas totale et ceci entraîne une autre remarque:

Il serait tentant d'utiliser des moyens mécanographiques pour résoudre ce genre de problème mais on prendrait alors le risque d'introduire un certain nombre d'erreurs car certains des groupes de valeurs trop élevées des coefficients culturaux ne sont pas expliqués par un drainage inachevé.

Tableau 2 - Périodes au cours desquelles les coefficients cultureux ont des valeurs trop élevées.

CLERMONT FERRAND

Année	Période
1964	11 au 20-8
1967	1 au 10-4
1968	30-4 au 6-5
1968	18 au 24-6
1969	22 au 28-4
1969	12 au 18-8
1972	10 au 16-8
1973	11 au 17-4
1973	25-9 au 2-10

DIJON

Année	Période
1969	14 au 20-7
1969	11 au 17-8
1970	15 au 21-6
1974	6 au 12-7

Tableau 3

Station	Année	Période
CLERMONT-FERRAND	1967	du 8 au 14.8 du 15 au 21.8
	1968	du 30.4 au 6.5 du 7.5 au 13.5
	1969	du 12 au 18.8 du 19 au 25.8
	1970	du 5 au 11.5 du 11 au 18.5
		du 18 au 25.5 du 25.5 au 1.6
	1972	du 10 au 16.8 du 17 au 23.8
1973	du 25.9 au 2.10 du 2 au 9.10	
1975	du 10 au 16.9 du 17 au 23.9	

Station	Année	Période
DIJON	1969	du 14 au 20.7 du 21 au 27.7
	1970	du 15 au 21.6 du 22 au 28.6
	1974	du 6 au 12.7 du 13 au 19.7

Liste des semaines pour lesquelles la valeur du drainage présente des anomalies.

. La 1ère semaine correspond à un drainage trop faible donc une E.T.R.M. trop forte.

. la seconde semaine correspond à un drainage trop élevé.

### 3.3.3. Retour au fichier de base.

Pour réduire la disparité des valeurs E.T.R.M. des cultures fourragères certaines de ces valeurs avaient été supprimées lors de l'établissement des fichiers de base.

Pour ne pas risquer d'éliminer des valeurs correctes les tests utilisés étaient peu contraignants et par conséquent peu discriminants. Ces précautions malgré tout se révèlent insuffisantes et il est aisé d'imaginer un cas de figure où elles sont mises en défaut : soient deux lysimètres réservés à la même culture. Imaginons que pour un même jour, peu de temps après la levée, l'un donne une E.T.R.M. proche de  $1,3 P_1$ , l'autre une valeur très faible. L'ordinateur éliminera la seconde valeur alors qu'elle est probablement la plus réaliste. L'informatique n'est donc pas l'outil idéal pour ce genre de discrimination.

Reprenons maintenant l'évolution des coefficients cultureux du Ray grass en 1976 (figure 5 et 6 en annexe). Elle présente trois cycles. Si on se rapporte à la phénologie de cette culture on constate qu'elle a subi deux coupes l'une en début juillet, l'autre en début août ; or ces deux dates coïncident avec les minimas des coefficients cultureux. Il existe donc très probablement un "effet coupe" et c'est au niveau de sa prise en considération dans le fichier E.T.R.M., que l'on peut sans doute le mieux isoler les valeurs E.T.R.M. utiles et éliminer les autres.

### 3.3.4. Examen critique des hypothèses faites pour le calcul de $K_4$

Le calcul de  $K_4$  avait exigé l'adoption d'un certain nombre d'hypothèses en particulier la constance de la résistance globale  $r_v$  de la végétation.

En fait, si on se réfère à nouveau à l'article de PERRIER et al. (1980), on constate que cette résistance  $a$ , suivant les années, une valeur comprise entre 30 et 50s/m pendant les "stades verts" (tallage, montaison, épiaison) et des valeurs de l'ordre de 200s/m pendant la maturation. Or c'est précisément pendant cette période que le coefficient  $K_4$  diminue brutalement. Pour la luzerne KATERJI N.B. (communication personnelle) trouve des valeurs de  $r_v$  comprises entre 25 et 35s/m (à condition toutefois qu'il y ait bon recouvrement du sol). Dans le cas contraire le  $r_v$  global augmente puisqu'il prend en compte partiellement la résistance au transfert de la vapeur d'eau offerte par le sol nu. Ceci peut expliquer également l'évolution des valeurs de  $K_4$  en début de cycle si on prend  $r_v$  constant.

Pour que le modèle soit une bonne représentation de la réalité, autrement dit que l'on aie  $K_4 = \text{constante}$  il faut tenir compte :

1°/ du taux de recouvrement du sol

2°/ du stade phénologique

Malgré ces critiques le modèle dans l'état actuel présente tout de même un grand intérêt, car il permet d'obtenir des résultats corrects pendant la période la plus utile du cycle végétatif.

Ce retour aux différentes étapes de la constitution du fichier a permis de découvrir la cause d'un certain nombre d'anomalies. Il reste maintenant à les corriger.

Ce n'est pas toujours possible ; découvrir dans certaines mesures sur le tournesol une composante advection de petite échelle ne solutionne pas le problème.

Un certain nombre de corrections (CARDON, 1981) ont cependant été envisagées mais ce n'est pas le propos de ce travail de les détailler.

Quand toutes ces corrections auront été appliquées il restera encore des erreurs à découvrir ; et il serait vain d'espérer un jour les éliminer toutes. L'avantage de l'informatique est de travailler sur une masse de valeurs. Les données inexactes des fichiers étant "noyées" dans cette masse, leur impact sur les résultats sera pratiquement nul.

## CONCLUSION

Il faut maintenant faire le bilan des apports et contraintes de l'informatique dans ce type de travail.

Le premier parti que nous avons tiré de cet outil est la possibilité de mettre une fois pour toutes sur un support aisé d'accès un nombre considérable de données (pour les 36 années de mesures il y en a plus de 100 000).

Le second avantage est la rapidité avec laquelle les opérations sur ces données peuvent être exécutées : chacune des six figures présentées a été établie avec près de 3000 points, ceci en quelques minutes.

A condition d'avoir su prévoir les développements ultérieurs et d'avoir organisé les programmes en conséquences, l'informatique se révèle également un outil d'une grande souplesse (dans la mise au point de modèles par exemple). Ainsi les valeurs de  $K_4$  n'évoluant pas dans le sens attendu, nous allons modifier leur calcul en tenant compte de la plante étudiée et de son stade phénologique aussi bien dans la hauteur du couvert que dans la résistance stomatique. Ces deux opérations seront aisément réalisables dans des sous-programmes prévus à cet effet.

Avec cette nécessité d'ordre au niveau de la conception des programmes, comme dans l'acquisition des données d'ailleurs, commencent les contraintes liées à l'emploi de l'informatique. Mais s'il est toujours possible de se plier à une certaine discipline, l'ordinateur en revanche ne pourra jamais se substituer à l'observateur pour effectuer un raisonnement. C'est la raison pour laquelle certaines appréciations de terrain n'étaient pas transcriposables pour la machine et c'est également pour cela qu'il est très difficile de coder les corrections de fichier ; nous l'avons vu pour les problèmes de drainage inachevé ou lors de la suppression de certaines données d'E.T.R.M.

En résumé nous dirons que l'outil informatique exige une grande prudence d'emploi, en particulier au niveau de l'élimination des données erronées ou présumées telles ; mais il permet la réalisation de ce qui était impensable sans son concours ; enfin même si certaines données incorrectes se sont glissées dans un fichier, le nombre des valeurs traitées est tel qu'elles n'entachent vraisemblablement pas le résultat final.

#### B I B L I O G R A P H I E

CARDON D. - 1981 - Constitution et exploitation d'un fichier coefficients culturaux - rapport interne, Station de Bioclimatologie, CNRA Versailles.

DAUDET F.A., PERRIER A. - 1968 - Etude de l'évaporation ou de la condensation à la surface d'un corps à partir du bilan énergétique. Rev. Gén. Therm. 76, 353-363.

DURAND R. - 1974 - Estimation du rayonnement global à partir de la durée d'insolation. Ann. Agron. 25 (6), 779-795.

DURAND R. - 1978 - Calcul des paramètres de position du soleil. Rapp. interne, stat. Bioclimatologie, CNRA Versailles.

GOSSE G. - 1976 - Evaporation et caractéristique d'échange d'un gazon en climat équatorial humide. Ann. Agron. 27(2), 141-163.

GREBET Ph. 1967 - Les évapotranspiromètres à drainage - Note interne - Station de Bioclimatologie CNRA. Versailles.

HALLAIRE M. - 1950 - Les températures moyennes nocturnes, diurnes et nycthémérales exprimées en fonction du minimum et du maximum journaliers de température. C.R. Acad. Sci. 231, 1533-1535.

MONTAGNON F., NICOLAS J., RUILLIÈRE J.V. - 1977 - Consommation en eau des cultures, variabilité des coefficients culturaux. Etude méthodologique. Ed. ISARA, STEFCE (INRA) 149p.

PENMAN H.L. - 1948 - Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London, ser. A 193, 120-145.

PERRIER A. - 1975 - Etude physique de l'évapotranspiration dans les conditions naturelles. I - Evaporation et bilan d'énergie des surfaces naturelles. Ann. agron. 26 (1), 1-18.

PERRIER A. - 1975 - Etude physique de l'évapotranspiration dans les conditions naturelles. II - expression et paramètres donnant l'évapotranspiration réelle d'une surface mince. Ann. Agron. 26(2), 105-122.

PERRIER A. -1975- Etude physique de l'évapotranspiration dans les conditions naturelles. III - Evapotranspiration réelle et potentielle des couverts végétaux. Ann. agron. 26 (3), 229-243.

PERRIER A. - 1978 - Importance des définitions de l'évapotranspiration dans le domaine pratique de la mesure, de l'estimation et de la notion des coefficients culturaux. Soc. Hydraul. France, XV<sup>e</sup> journée de l'hydraulique Toulouse (France) 5-7 sept. 1978.

PERRIER A., KATERJI N., GOSSE G., ITIER B. -1980- Etude "in situ" de l'évaporation réelle d'une culture de blé. Agric. Météorol. 21, 295-311.

PEYREMORTE P., ROSSET J.A. -1977- Variabilité des coefficients culturaux "k" et conséquence pour la définition d'une méthode d'irrigation basée sur le concept d'E.T.P. in : "ICID Proceeding Conference" de Budapest, mai 1977, 8p.

PRIESTLEY B., TAYLOR J.B. -1972- On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Month. Weather Rev. 100 (2), 81-92.

---