

ECOLE INTER ETATS D'INGENIEURS
DE L'EQUIPEMENT RURAL
BP. 7023 - OUAGADOUGOU -

16 è PROMOTION

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

ANALYSE DES RESULTATS ET OBSERVATIONS

ENTRE BAC "A" ET EVAPOTRANSPIROMETRE

A GAMPELA - ADAPTATION EVENTUELLE A L'EVA-

POROMETRE DE PICHE"

Présenté par :

SAIDON BARAOU



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

- PREFACE

- INTRODUCTION

CHP I. I.1. PRESENTATION DE DISPOSITIFS ET APPAREILLAGES DE MESURES.

I.11 DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

I.12 POSTE D'OBSERVATION METEOROLOGIQUE.

CHP II. RAPPELLE DES PRINCIPES ET CONCEPTS FONDAMENTAUX DE L'EVAPOTRANSPIRATION.

CHP III. L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE PAR LA METHODE DE CALCUL.

CHP IV. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

CONCLUSION.

E. I. E. R.
Enregistré à l'Arrivée
le _____ s/n° 3787



REFACE

Cette étude fait suite à une étude commencée en 1986 mais à une période différente de l'année c'est à dire en saison pluvieuse.

Nos travaux se sont également déroulés sur la station expérimentale de GAMPELA mise en place par l'E.I.E.R en collaboration avec l'Ecole Polytechnique de LAUSANNE de SUISSE dans un programme de Recherche en Agro-Climatologie entrepris au début de l'année 1986.

Mais que soient remerciés ici :

Le D.G. de la Météorologie Nationale du Burkina Faso et ses collaborateurs, pour avoir bien voulu mettre à notre disposition des appareils de mesures et fournies des données météorologiques nécessaires pour l'accompliment de notre objectifs.

- Monsieur D^oAT DE SAINT FOULC attributeur de notre sujet pour sa constante disponibilité.

- Monsieur Pierre TCHOUNGOULGUE assistant de Recherche au Département Hydraulique Agricole de l'EIER pour sa franche collaboration.

INTRODUCTION

Les grands progrès réalisés depuis quelques décennies dans divers domaines de la technologie agricole : génétique, fertilisation, défense des cultures, et dans l'ensemble des techniques culturales n'excluent pas encore la dépendance de la production agricole du climat, du sol ou de la plante elle même dont les facteurs liés conditionnent l'utilisation par les cultures de l'eau facteur limitant la production végétale quand il n'est pas disponible et limite quantitativement dans les régions arides et soudano - sahéliennes.

En regard des conditions pédo-climatiques prévalant dans les zones arides et subhumides en général l'alimentation hydriques des cultures reste non satisfaisante.

Devant les contraintes pédologiques et surtout climatiques les cultures se trouvent ainsi soumise à son régime d'alimentation hydrique en variation considérable étant donné l'irrégularité de la pluviométrie sans cesse enregistrée tous les ans.

En vue d'envisager une éventuelle irrigation en compensation du déficit, cela a obligé les techniciens à étudier de manière approfondie, Les besoins en eaux des cultures pour mettre au point des méthodes permettant de les calculer avec un degré de simplicité et de précision raisonnable, à partir des mesures et observation faites dans des conditions qui se rapprochent au mieux des conditions réelles des cultures en place.

C'est dans cette optique que se situe ce travail dont le thème est : " l'analyse des résultats et observations entre Bac "A" et évapotranspiromètre à GAMPELA; avec. Adaptation éventuelle à l'évaporamètre de PICHE".

En effet le but de la présente étude est de tenter de voir à partir des mesures déjà faite ou en cours, si l'on pouvait pour la conduite des irrigations avoir un conducteur aussi précis que l'ETP mesurée à l'évapotranspiromètre à l'aide d'un système plus simple.

Ce qui pourrait faciliter le calcul des Besoins en eau des cultures à l'agriculteur irriguant (au niveau des périmètres irrigués) et de façon général de définir les risques encourus au moment des sémis des cultures pluviales et d'améliorer l'utilisation rationnelle de l'eau.

Le suivi de la variation du stock d'eau et l'évolution des teneurs en eau dans le sol par les mesures des profils hydriques et exceptionnellement l'observation de la 1ère grande pluie en vue de connaître ce que celle-ci devient après 24 heures mais qu'on a pas pu réalisée sont autant de problèmes abordés par la présente étude qui se propose d'apporter sa petite contribution aussi modeste soit-elle aux problèmes de l'évaluation des besoins en eau des cultures dont l'ETP est à la base de tout calcul, aussi bien pour le technicien de l'irrigation c'est à dire le projeteur ou le planificateur que pour le praticien c'est à dire l'agriculture irriguant.

CHP I. I.1. PRESENTATION DES DISPOSITIFS ET APPAREILLAGE

DE MESURES.

Dans le cadre du présent travail eu égard des moyens d'investigation nous avons utilisé de matériels et de méthodes d'évaluation simples qui permettent une appréciation probable des phénomènes d'ETP en milieu gazonné et d'évapotranspiration réelle en milieu de culture.

Le dispositif d'étude a été installé à Gampela dans deux zones d'expérimentation distantes entre elles d'environ 1 km.

- La première zone abrite la station expérimentale de Gampela, poste d'observation météorologique ordinaire.
- Dans la deuxième zone sur un terrain en jachère se trouve la parcelle d'étude agro-météorologique mise en place le 31-05-86 et dont les mesures ont commencé seulement le 07-06-86.

1.1. DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

LES EVAPOTRANSPIROMETRES

Il se compose d'une cuve métallique de forme cubique remplie de terre, enterrée à une profondeur de 1 m et dont le bord tranchant définit avec précision la surface évaporante de 1 m². Les eaux de drainage sont récupérées dans une passe de visite Voir fig 1.

Ce sont des dispositifs permettant d'effectuer dans des conditions naturelles des mesures de pertes d'eau d'un couvert végétal par évapotranspiration.

Ils sont au nombre de deux dont l'un est placé en zone gazonnée : condition de Penman et l'autre dans une zone cultivée : condition de culture pour mesurer respectivement l'ETP et ETR et au besoin l'évaporation d'un sol nu. Pour installer ces évapotranspiromètres, outre le choix d'un lieu dégagé de tout obstacle susceptible de perturber la circulation atmosphériques au voisinage immédiat, un certain nombre de précautions a été pris afin d'éviter tout tassement du sol en profondeur : une couche de gravier a été mise en place au fond des cuves, complétée par un remplissage avec du sol filtrant représentatif de la région jusqu'au bord tranchant définissant avec précision la surface évaporante : ceci pour éviter le ruissellement en cas de pluie.

Le principe de la Mesure repose sur la méthode volumétrique c'est à dire par la mesure de la quantité d'eau apportée. Précipitations (P) s'il y en a et ou irrigation (I) et d'eau d'infiltration recueillie à la base du récipient.

La détermination de l'ETP ou l'ETR se fait par la différence entre les apports et le drainage pour une période de 24 heures.

Ce qui représente dans l'équation du bilan hydrique à une surface parfaitement définie du terme du déficit d'écoulement :

ETP = évapotranspiration potentielle en mm
ETP
ou = $I + P - D$ ou ETR = évapotranspiration réelle en mm
ETR
I = Irrigation ou arrosage
P = Pluviométrie
D = drainage

- PLUVIOGRAPHE A AUGET BASCULANT

C'est un appareil enregistreur qui donne la variation de l'intensité des pluies au cours du temps. Il permet de connaître pendant combien de temps, à quelle heure et avec quelle intensité la pluie est tombée.

Il se compose :

- d'un entonnoir de réception (400 cm^2).
- d'un mécanisme de comptage (augets basculeurs)
- et d'un enregistreur à cylindre de grande dimension.

Le pluviogramme représentant l'enregistrement sur un diagramme de la courbe de variation des hauteurs de pluie cumulées en fonction du temps, fixé autour du cylindre est réglé de manière qu'il accomplisse une révolution au bout d'une semaine.

LES THERMOMETRES AU SOL

Ils sont installés à 0 ; 2 ; 5 ; 10 ; 20 ; 30 ; 50 ; et 100 cm de profondeur pour mesurer la température dans le sol.

LA SONDE A NEUTRONS OU HUMIDIMETRE^a CINEUTRONS

Cet appareil permet de suivre l'évolution de l'humidité d'un sol "Insitu" à des profondeurs allant de 10 cm à 150 cm. L'humidimètre à neutrons donne le poids d'eau contenu dans un certain volume de sol, donc l'humidité volumique.

I.112 AUTRES DISPOSITIFS DE MESURES

Ce sont des appareils que nous citons ici seulement à titre d'information car présents dans notre parcelle d'étude n'ayant pas directement intervenu dans le cadre de notre travail mais dont l'importance mérite qu'on en fasse cas.

Ce sont :

LE DISPOSITIF DE MESURES DE RUISSELLEMENT - INFILTRATION

Il comprend 3 cuves métallique dont :

- l'une est installée dans la zone de culture
- et les 2 autres se trouvent dans la zone non cultivée

Elles sont reliées chacune par un tuyau qui conduit jusqu'à la fosse de récupération comme dans le cas des évapotranspiromètres.

Ce dispositif est installé à la surface du sol en vue d'une évaluation du ruissellement en fonction de quelques techniques de l'économie de l'eau.

Les tensiomètres

Ils servent à mesurer la dépression due à la succion de l'eau d'une coupelle poreuse placée dans le sol pendant une longue période, les tensiomètres tendent à suivre la variation de la succion matérielle de l'eau dans le sol.

Dans notre parcelle on a placé 5 tensiomètres dans le sol en vue d'évaluer la capacité de succion du sol à des horizons différents : 10 ; 30 ; 40 ; 60 ; et 90 cm. Du fait qu'ils mesurent que de faibles tensions leur emploi en irrigation est délicat,

ils peuvent cependant être utilisés pour contrôler le sens du flux d'eau dans le sol et en pratique pour que les doses apportées ne soient pas excessives.

I.12 POSTE D'OBSERVATION METEOROLOGIQUE

C'est une station météorologique ordinaire installée par la météorologie nationale du Burkina Faso à Gampela. Elle nous a servi comme toute station agroclimatologique de définir les conditions de notre milieu d'étude. Elle comprend les équipements suivants :

I.121 BAC NORMALISE CLASSE "A"

C'est le bac d'évaporation type A, Américain, recommandé provisoirement comme élément de comparaison international par l'O.M.M. Il est aujourd'hui d'un usage très répandu dans beaucoup de pays au monde. Voir fig 2.

Le bac d'évaporation de classe "A" est un cylindrique de 121 cm de diamètre et 25,5 cm de profondeur. Il est en fer galvanisé. Le bac est monté de façon bien horizontale par un cadre en bois formant une plate forme éridée de sorte que le fond du bac se trouve à 15 cm au dessus du niveau du sol. Le sol est remblaié à 5 cm du fond du bac.

Il est rempli d'eau jusqu'au trait supérieur marqué sur le réservoir. (5 cm du bord) et le niveau d'eau ne doit jamais descendre au dessous de 7,5 cm du bord. On prend soin de laver le bac et de renouveler l'eau pour éviter des perturbations dans les mesures. Il est fait pour mesurer l'effet intégré du rayonnement, du vent, de la température et de l'humidité à sortir de la surface d'un plan d'eau libre.

La pluviométrie est aussi prise en compte dans la détermination de l'évaporation du Bac. Ainsi l'évaporation du Bac est obtenue par l'équation suivante :

$$E_{\text{bac}} = (N - N_1) + P$$

au Evbac = Evaporation du Bac en mm
(N - N₁), différence de niveau
d'eau en mm.
P : Pluie (en mm).

Les mesures peuvent être perturbées en saison de pluie sous l'influence du vent, du rebondissement des gouttes d'eau hors du Bac, sur le bord ou autour de celui-ci et leur pénétration dans le bac.

Etant donné la sensibilité du bac aux conditions météorologiques, il y a lieu d'être prudent, car toute généralisation hâtive dans ce domaine est hasardeuse. En effet seule une expérimentation sous de nombreux climats et une étude physique précise dans chaque cas peuvent conduire à une théorie générale de l'évaporation du Bac.

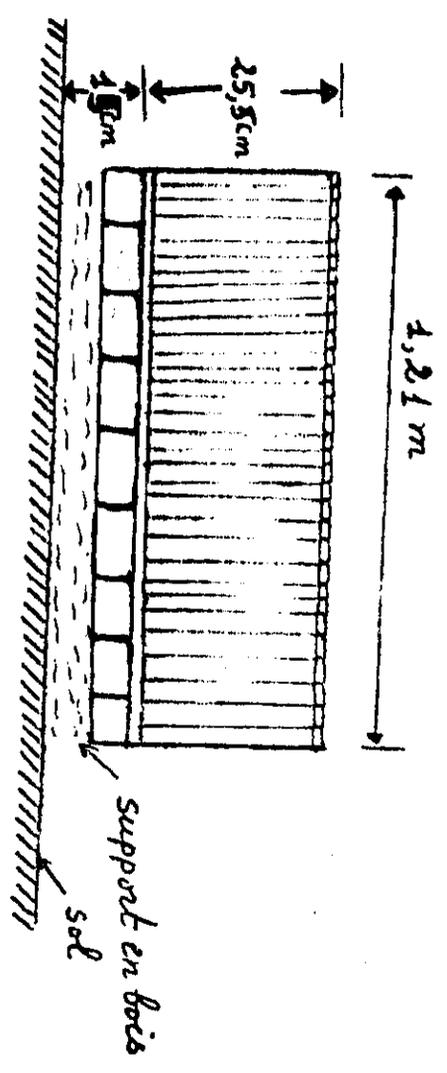


Fig. 2 : Bar classe A

I.122 L'ANEMOMETRE TOTALISEUR

La vitesse du vent prise à 2 m du sol est indispensable pour le calcul de l'ETP par la formule de Penman.

Cet appareil comprend un moulinet qui entraîne par un système mécanique, un compteur étalonné de façon qu'il donne directement des hectomètres et 1/10 de parcours du vent en 24 heures que l'on peut traduire en m/s.

I.123 L'HELIOGRAPHE DU CAMPBELL-STOCKES

Il permet de mesurer la durée de l'ensoleillement réelle journalière. Il est constitué d'une boule de cristal qui a pour rôle de recevoir et concentrer les rayons solaires sur une bande de papier cartonné spéciale, graduée en heures et 1/10^e. On obtient ainsi l'héliogramme campbell-stockes dont le dépouillement donne la durée d'insolation journalière réelle en heures et 1/10^e également nécessaire pour le calcul de l'ETP par certaines formules en l'occurrence Penman ou Blany-Criddle.

I.13 L'ABRI METEOROLOGIQUE

C'est une caisse en bois faite de persiennes doubles en chevrons laissant passé l'air mais protégeant contre le rayonnement solaire. Cette caisse est dotée d'un double toit et est montée sur des pieds métalliques pour éviter le dégât des rongeurs. Elle est peinte en blanc et tenue toujours propre. Elle est surélevée à 1,50 m au dessus du sol environ. Cet abri météorologique abrite un certain nombre d'appareils de mesures dont :

LE THERMOMETRE A MAXIMUM

C'est un thermomètre de mesure au même titre que les thermomètres médicaux.

Lorsque la température augmente la colonne de mercure monte dans le tube capillaire et quand celle-ci s'abaisse, un étranglement du tube empêche la colonne de mercure de redescendre. La colonne de mercure ainsi séparée du réservoir indique la température maximale atteinte au cours d'une période de 24 heures. Celui-ci doit donc être amorcé régulièrement, tous les jours à la 1ère observation par simple secousse et la colonne de mercure franchit l'étranglement pour se remettre en place. Le maximum de température est lu à l'observation du matin correspondant au maximum de la veille.

LE THERMOMETRE A MINIMUM

Cet autre thermomètre à alcool est pourvu d'un index métallique en "I" qui se meut librement dans le tube capillaire. Cet index est poussé par le ménisque formé par l'extrémité de la colonne d'alcool dans lequel beigne l'index. Lorsque la température baisse la colonne d'alcool se contracte et l'index est poussé vers les basses températures. Quand le minimum est atteint, la colonne remonte mais l'index reste en place indiquant le minimum atteint au cours d'une période de 24 heures.

La lecture du minimum se fait à l'extrémité inférieure de l'index. Pour amorcer le thermomètre il suffit de l'incliner vers le haut. Le thermomètre à maxi et à mini sous abri sont fixés à un support en plastique qui a pour but de protéger des chocs et faciliter la fixation.

LE THERMOMETRE SEC

C'est un thermomètre ordinaire à mercure, placé en position verticale, réservoir en bas. Il mesure la température de l'air sous abri.

THERMOMETRE MOUILLE

Il s'agit d'un thermomètre ordinaire qu'entoure un manchon de coton tressé, bien hydrophile et trempant à sa partie inférieure dans un réservoir d'eau distillée qui doit être situé à au moins 2 cm en dessous du réservoir du thermomètre. On évite de tremper le thermomètre dans l'eau.

On mesure l'abaissement de température provoqué par l'évaporation de l'eau. Elle doit être inférieure à la température du thermomètre sec. La différence de température entre le thermomètre sec et mouillé permet de calculer l'humidité de l'air à l'aide de table numérique appropriée, exprimée en pourcentage de saturation. Celle-ci étant indispensable pour le calcul de l'ETP Perman.

THERMOGRAPHES

C'est un thermomètre enregistreur dont l'organe principal est constitué par deux lames de deux métaux différents soudés dont la dilatation est différente selon la température. Ce qui provoque une déformation de l'ensemble. Un mécanisme transmet cette déformation par un diagramme placé sur un cylindre entraîné par un mouvement d'horlogerie qui fait un tour complet en une semaine. Le thermographe permet de connaître la température moyenne en 24 heures.

HYGROGRAPHE

Cet appareil mesure l'humidité relative de l'air. Son principe de fonctionnement est basé sur la propriété qu'on les cheveux de s'allonger lorsque l'humidité croît et de raccourcir quand elle décroît. Il est doté d'un mécanisme d'amplification et d'enregistrement.

EVAPOROMETRE - PICHE

Il mesure le pouvoir évaporant de l'air. Il est très sensible au vent et à son mode^{de} fixation dans l'abri, sensible aussi au type d'abri. C'est ainsi que cet appareil qui de tout temps et placé dans l'abri météorologique fait dans le cadre de notre travail l'objet d'une observation dans un autre mode d'installation, c'est à dire dans les conditions proches des conditions naturelles. En effet il se trouve suspendu à un toit donc directement au contact de l'air mais localisé de telle sorte qu'il ne subisse une trop grande influence des rayons solaires au lever comme au coucher. Il donne des indications d'évaporation qui différencient^v beaucoup et de façon non linéaire de celles données par le bac de classe "A".

C'est une éprouvette en verre remplie d'eau distillée et fermée par une rondelle de papier buvard de 30 mm de diamètre maintenu par un ressort.

L'Éprouvette est ensuite renversée et maintenue verticalement ce qui conduit à une évaporation de l'eau qui imprègne le buvard sur une surface évaporante de 13 cm². On évalue l'évaporation comme pour la précipitation en millimètre de hauteur d'eau pendant une période de 24 heures.

Deux types d'évaporamètre piche neus ont servi de mesure en même temps de comparaison :

- Un de fabrication française donnant directement par lecture l'évaporation en mm de hauteur d'eau.
- L'autre de fabrication Allemande donnant le volume d'eau évaporée en ml que l'on traduit en mm de hauteur d'eau par :

$$\text{Evaporation en mm de hauteur d'eau} = \frac{V}{S}$$

avec V = volume d'eau évaporée en mm³

S = surface évaporante : 1300 mm²

CHP II - II₁. RAPPEL DE PRINCIPES ET CONCEPTS FONDAMENTAUX DE L'ETP

a) DEFINITION DU TERME EVAPOTRANSPIRATION

L'évapotranspiration est le phénomène complexe intégrant à la fois l'évaporation de l'eau directement à partir du sol : phénomène physique, et la transpiration de sa couverture végétale : phénomène physiologique.

L'évapotranspiration comme l'évaporation consiste en un passage de l'eau de la phase liquide à la phase gazeuse avec consommation d'énergie : soit 59,7 calories pour une lame d'eau de 1 mm uniformément répartie sur une surface de 1 cm².

On distingue trois grandeurs principales, expression de ce phénomène.

b) L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

La notion d'évapotranspiration potentielle a été définie pour la première fois par le géographe Américain THORNTHWAITE (en 1946). Il a nommé l'évapotranspiration potentielle dans le cas d'un couvert végétal continu. Le concept a été rédéfini par le physicien Anglais Penman dont les travaux datent de 1956. Il reliait l'ensemble du processus d'ETP à la notion de Bilan énergétique. Selon Penman il s'agissait de la quantité maximale d'énergie transformée en chaleur latente de vaporisation de l'eau par une surface homogène. La démarche scientifique engagée par Penman et exploitée par FRANQUIN (1967) constitue à l'heure actuelle l'approche la plus opérationnelle de la réalité du milieu physique à savoir que l'eau disponible, pour une végétation donnée dépend du bilan climatique (pluie - ETP). Beaucoup de formules ont été présentées mises au point pour estimer l'ETP, mais celle de Penman est considérée comme l'une des plus précises car elle intègre au mieux l'ensemble de paramètres climatiques. Cette formule est l'outil de travail des projeteurs et praticiens de l'irrigation pour estimer l'ETP et partant les besoins en eaux des plantes.

c) L'évapotranspiration maximale

L'évapotranspiration maximale représente les pertes d'eau maximales d'une culture passant par tous les stades de croissance, de développement et donc de couverture plus ou moins parfaite du sol.

Cette définition tient compte d'une part de l'état physiologique et des caractéristiques génétiques de la plante et d'autre part des caractéristiques physiques : disponibilité de l'eau dans le sol, bilan énergétique. Cette notion de l'ETR_{max} ne reste pas dans le cadre de notre travail, mais par contre la notion de l'ETR et plus précisément l'évaporation sur le sol nu retiendra notre attention.

d) L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE

Elle représente les pertes d'eau réelles d'un couvert végétal quelconque soumis aux aléas climatiques et en particulier à des périodes d'alimentation déficitaires le sol n'étant pas en permanence à sa capacité de rétention - le système eau - sol - plante devient facteur limitant. Elle indique donc le niveau d'alimentation effective en eau de culture eu égard aux contraintes réelles vécues aux champs.

Ainsi les besoins en eau peuvent être satisfaits ou non. Ils dépendent :

- * de l'offre en eau pluviale
- * de la demande évaporative ou climatique
- * de la progression du front racinaire dans le temps.
- * Et enfin de l'état du réservoir sol qui, compte tenu des profils pédologiques sera fonction de la gamme d'humidité utile à chaque niveau entre la capacité au champ et le point de flétrissement permanent.

Mais en cette période de non culture l'absence de végétal sur notre parcelle expérimentale nous conduit à nous intéresser à l'évaporation du sol nu et à porter notre étude sur ce phénomène en lieu et place de l'ETR.

En effet un sol nu se dessèche rapidement en surface après une pluie ; une pellicule même très légèrement desséchée traduit une augmentation de la liaison de l'eau et une réduction de l'évaporation : phénomène de relation sol - eau.

L'ETR comme l'EVSN (évaporation sur sol nu) sont évidemment inférieure l'ETR ou au plus égale puisqu'elles sont liées à un grand nombre de facteurs limitants. En effet il existe une relation étroite entre les 3 grandeurs.

$$\begin{array}{l} \text{-----} \\ | \text{ ETR} | \\ | \text{ ou } \leq \text{ETM} \leq \text{ETP} | \\ | \text{ EVSN} | \\ \text{-----} \end{array}$$

CHP III. L'EVAPOTRANSPIRATION PAR LA METHODE DE CALCUL

La complexité du phénomène d'évapotranspiration n'a pas permis jusqu'ici d'en établir des lois exactes. Des formules empiriques ont été proposées par divers auteurs pour calculer l'ETP dont les plus courantes sont : La formule de THORNWAITE, de BLANEY-CRIDDLE, de MAKKINK, de TURC, de WALKER, PRESCOH, de BOUCHET et GERIBRIER, de la FAO et de PENMAN. . .

Les formules ne sont en général strictement exactes que pour les régions où elles ont été établies. Certaines cependant sont transposables à des zones climatiques semblables. Elles n'ont pas le même degré de complexité. Certaines exigent des données climatiques très élaborées dont on ne dispose pas toujours. D'autres se contentent de données climatiques de bases bien connues dans toutes les régions.

Il faut donc :

- Choisir une formule correspondante à la zone climatique considérée.

Choisir une formule correspondant aux données climatiques disponibles.

En pratique cependant la combinaison de ces deux exigences réduit fortement le choix imposant parfois l'une ou l'autre formule.

A l'heure actuelle la formule de Penman semble être l'une des plus fiables mise à la disposition des projecteurs car elle est sensée intégrer au mieux l'ensemble des paramètres climatologiques.

Pour cette étude nous avons choisi d'établir des corrélations entre les valeurs mesurées et les valeurs obtenues à l'aide de deux formules en l'occurrence la formule de Penman et celle de Blaney-Griddle.

1. FORMULE DE BLANAY-CRIDDLE

L'Approche originale de Blaney-Criddle (1950) fait intervenir la température (T) et le pourcentage d'heures dicernes (P) comme variable climatiques pour prédire l'effet du climat sur l'évapotranspiration. Un coefficient cultural (K) est également appliqué dépendant du moment c'est à dire de la culture et de l'endroit c'est à dire des conditions climatiques.

La formule générale de Blaney-Criddle s'exprime comme suit:

ETP

ou $= K.P (0,46 T + 8,13)$

ET_b

Tableau 2

POURCENTAGE JOURNALIER MOYEN (p) DES HEURES ANNUELLES DE
LUMIERE DIURNE SOUS DIFFERENTES LATITUDES

Latitude Nord " Sud 1/	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin
60°	0,15	0,20	0,26	0,32	0,38	0,41	0,40	0,34	0,28	0,22	0,17	0,13
58	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,40	0,39	0,34	0,28	0,23	0,18	0,15
56	0,17	0,21	0,26	0,32	0,36	0,39	0,38	0,33	0,28	0,23	0,18	0,16
54	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,38	0,37	0,33	0,28	0,23	0,19	0,17
52	0,19	0,22	0,27	0,31	0,35	0,37	0,36	0,33	0,28	0,24	0,20	0,17
50	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,20	0,18
48	0,20	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,20	0,18
46	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,35	0,34	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19
44	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,34	0,32	0,28	0,24	0,21	0,20
42	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,20
40	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
35	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,30	0,28	0,25	0,22	0,21
30	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31*	0,30	0,28	0,25	0,23	0,22
25	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,31	0,29	0,28	0,26	0,24	0,23
20	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24
15	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,26	0,25	0,25
10	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25
5	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
0	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

1/ Pour les latitudes sud, appliquer un décalage de six mois comme indiqué.

2/ mensuel x 28 - 30 ou 31

avec T : température moyenne (journalière, hebdomadaire ou mensuelle en °C.

P : pourcentage journalier moyen d'heures diurnes annuelle tiré de tableau pour un mois et une latitude donnée.

K : Coefficient cultural de la consommation absolue d'eau déterminée expérimentalement.

Dans le cadre de notre travail nous avons considéré les coefficients (K), (T) et (P) comme suit :

K = 1 pour les régions sahéliennes

T = température journalière maximale ou moyenne en °C

P = tiré du tableau cijooint.

2. FORMULE DE PENMAN :

Le fait qu'elle intègre au mieux les paramètres climatiques rend trop complexe la formule de Penman. Mais pour rendre les calculs plus aisés, cette formule a été réduite à une plus simple expression : formule de Penman simplifiée.

Cette formule complexe peut donc être calculée soit à l'aide d'un imprimé et des tableaux correspondants soit à l'aide de calculatrices programmables.

La formule développée est la suivante : (Frere FAO 1979).

$$ETP \text{ ou } ETo = \frac{\left[\frac{\bar{P}_0}{\bar{P}} \cdot \frac{\Delta}{\bar{Y}} \left[(1-\alpha) R_0 \left(a + b \frac{h}{H} \right) - \bar{S} T^4 K (0.56 - 0.079 \sqrt{e_d}) \left(0.1 + 0.9 \frac{h}{H} \right) \right] + 0.26 (\bar{d} + cU_2) (e_a - e_d) \right]}{\left[\frac{\bar{P}_0}{\bar{P}} \cdot \frac{\Delta}{\bar{Y}} + 4,00 \right] \frac{\bar{X}}{\bar{X}}}$$

Dans la conduite des différents calculs contenus dans la formule simplifiée de Penman pour le calcul de l'ETP journalière nous avons utilisé des données mesurées à la station météorologique, des données contenues dans les tables et des facteurs correctifs de certains paramètres. Le pas du temps choisi est le jour.

EMPLOI DE LA FEUILLE IMPRIMEE DANS LA CONDUITE DES CALCULS :

La feuille imprimée avec les 17 tableaux identifiés en chiffres romains et chiffres romains bis nous a servi de fils conducteur quant aux calculs de l'ETP.

DONNEES MESUREES A LA STATION METEOROLOGIQUE

- * Le rayonnement global (RG) mesuré au pyranomètre en j/cm^2
- * Les températures journalières minimales et maximales en $^{\circ}\text{C}$
- * La pression de vapeur dans l'air (ed) en millibars
- * La vitesse du vent moyenne en m/s
- * La solution journalière réelle (mesurée au Campbell) (h) en heures et dixièmes
- * L'humidité relative (Hr) en %.

DONNEES CONTENUES DANS LES TABLES :

- * Tension de vapeur saturante (ea) en millibars
fonction de la température moyenne
- * L'Insolation théorique possible de jour (H) en heure et dixième
- * Autres données complémentaires

Les tableaux en bis ne sont pas utilisée dans le cadre de notre travail.

FACTEURS CORRECTIFS

- * Coefficient de correction de la vitesse du vent $c = 0,795$
- * Coefficient dépendant de la nature du couvert (d)
 $d = 1$ pour le couvert végétal
- * Réduction en % de la radiation de courte longueur d'onde fonction de l'albédo de la surface .
25 % pour un couvert végétal vert et couvrant : $1 - \alpha = 0,75$.

CHP IV. IV₁. RESULTATS DES MESURES :

CAMPAGNE DE MESURES :

Nos différentes ^{mesures} et observations avaient débuté effectivement le 11-04-87 et nous les avons arrêté le 10-05-87. Nous avons effectué qu'un seul type de mesure. Il s'agit des lectures quotidiennes de 8^h à 8^H donnant à chaque 8^H la mesure des phénomènes qui se sont passés la veille.

Les résultats des différentes mesures effectuées ou recueillies sont réunis dans les tableaux 1 et 2 dont le premier regroupe ce que nous appelons "valeurs météo" parcequ'en dehors de l'ETP mesurée toutes ces valeurs ont été relevées à la station de Ouaga-Aérodrome ou encore calculées à l'aide des paramètres y provenant tandis que le second tableau porte des valeurs dont nous avons en grande partie effectué les mesures à GAMPELA.

En examinant attentivement ces résultats on se rend vite compte :

- qu'il y a homogénéité dans les mesures c'est à dire qu'il n'y a pas de pointes trop accusées ni de trop grands écarts entre les valeurs d'un même phénomène pour une période donnée.

La faible variabilité constatée çà et là pourrait parfois provenir du décalage horaire dans les mesures. L'allure de courbe ETM, EVSN, ETPEN et PICHE dans le temps témoigne de la cohérence des mesures .

Avec les mesures de l'évaporation sur le sol nu en l'absence de culture, il apparaît que l'évaporation du sol nu est toujours inférieure à l'ETP mesurée : ce qui est logique et confirme également la théorie.

- Les vents dominants sont en général d'allure modérée caractéristiques des régions tropicales et subtropicales.

IV.12 ANALYSER DES RESULTATS ET OBSERVATIONS ENTRE BAC "A"

ET EVAPOTRANSPIROMETRE - ADAPTATION EVENTUELLE A L'EVA

POTRANSPIROMETRE PICHE :

Pour l'analyse des résultats nous avons adopté deux façons de procéder :

- D'abord un traitement des valeurs journalières afin de chercher des corrélations mois par mois.
- Ensuite l'analyse des valeurs moyennes décadaires.

Tableau 4.

Valours - Matéo

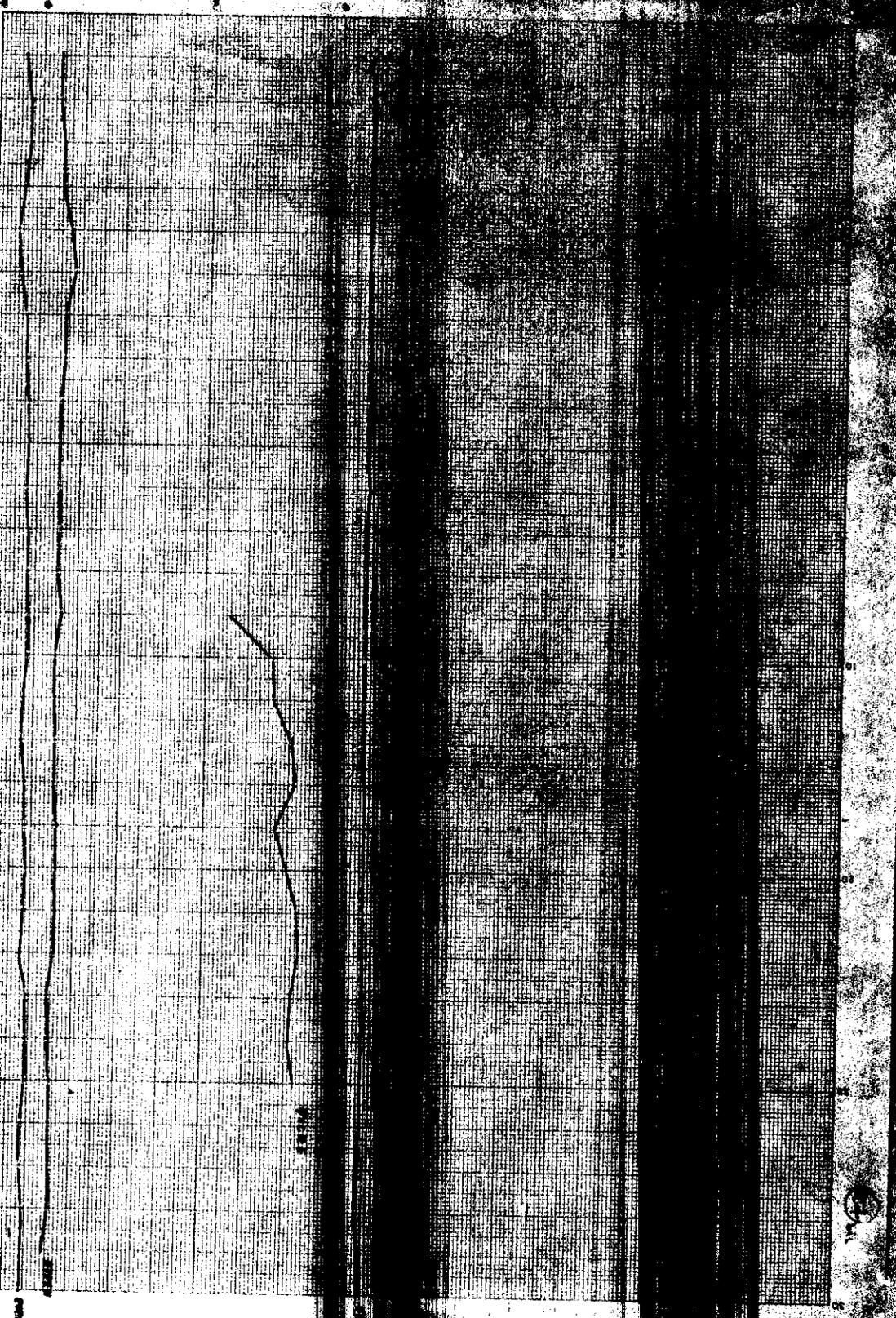
1	Janvier				Fevrier				Mars					
	Temp.		Erbac	ETPM	Temp.		Erbac	ETPM	Temp.		Erbac	ETPM	ETP local	
	Temp. °C	Temp. °F			Temp. °C	Temp. °F			Temp. °C	Temp. °F			ETP GN	ETP BC
1	35.4	86.11	8.3	85.8	35.3	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
2	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
3	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
4	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
5	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
6	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
7	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
8	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
9	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
10	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
11	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
12	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
13	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
14	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
15	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
16	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
17	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
18	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
19	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
20	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
21	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
22	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
23	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
24	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
25	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
26	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
27	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
28	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
29	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
30	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	
31	35.2	86.4	8.2	85.8	35.4	95.1	6.95	58.3	29.6	86.6	5.15	59.8	6.33	

Tableau 2 Volume 6

Ligne	Taux	Taux	ETD			ETD			R.O.	EASV	Vaut
			ETD	ETD	ETD	ETD	ETD	ETD			
1	82.09	36.4	11.5	5.9	4.19	6.4	3.1	2023	8	8.10	
2	82.58	36.4	11.4	5.9	5.34	6.43	3.22	1771	8	8.66	
3	81.78	35.6	9.1	7.4	4.33	6.33	3.27	1983	9	8.30	
4	80.82	35.6	10.1	6.6	5.68	6.21	3.16	1637	8	8.8	
5	80.82	35.6	9.6	5.05	6.4	6.35	3.12	2020	8	8.85	
6	80.82	35.6	12.8	5.5	7.35	6.4	3.49	1930	8	8.40	
7	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
8	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
9	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
10	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
11	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
12	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
13	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
14	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
15	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
16	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
17	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
18	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
19	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
20	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
21	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
22	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
23	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
24	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
25	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
26	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
27	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
28	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
29	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
30	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
31	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
32	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
33	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
34	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
35	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
36	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
37	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
38	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
39	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
40	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
41	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
42	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
43	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
44	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
45	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
46	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
47	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
48	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
49	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	
50	80.82	35.6	12.8	5.5	6.4	6.32	3.22	1930	8	8.40	

LES PAPIERS ANSCHUTZ FRANCE

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30



WIRE

RECHERCHE DE CORRELATION ENTRE LES VALEURS MESUREES ET CALCULEES

La méthode appliquée pour établir une corrélation entre les différentes valeurs est une méthode de régression linéaire. C'est une méthode mathématique qui permet de savoir, s'il y a ou non une relation directe entre deux phénomènes et de pouvoir apprécier le degré de cette corrélation indiqué par la valeur du coefficient de corrélation (r).

Pour $r = 1$ il y a dépendance fonctionnelle.

$0 < r < 0,6$ Corrélation directe insuffisante

$r = 0$ Aucune corrélation directe.

$-0,6 < r < 0$ Il y a bonne corrélation directe

$r = -1$ Il y a dépendance fonctionnelle réciproque

$0,6 < r < 0$ Il y a corrélation réciproque insuffisante

$-1 < r < -0,6$ Il y a bonne corrélation réciproque.

Lorsque la corrélation est bien établie selon la méthode de Régression linéaire la relation qui existe entre les phénomènes X et Y se traduit par une équation dite équation de la droite de Régression de la forme générale :

$$y = M.X + N.$$

ou y : variable à expliquer
X : variable explicative
M : coefficient de Régression représentant la pente de la droite de régression.
N : terme constant.

Après un traitement de nos résultats à l'ordinateur nous avons pu déterminer les paramètres r, M et N résumés dans les tableaux qui suivent :

NOTATIONS :

- EVBac : Evaporation du Bac "A"
- ETPM : Evapotranspiration potentielle mesurée sur l'évapotranspiromètre.
- ETPEN : Evapotranspiration potentielle calculée par la formule de Penman.
- EVSN : Evaporation du sol nu
- ETPBC_m : Evapotranspiration Potentielle calculée par BLANEY et CRIDDLE avec la T_{moy} .
- ETPBC_M : Evapotranspiration potentielle calculée par Blaney-Criddle avec la température maximale
- R.G : Rayonnement global
- T_{moy} : Température moyenne
- T_{max} : Température maximale

Tableau 3:

Données décennales moyennes - Valeurs Météo - Période Janvier-Mars 1987

Décade	\bar{T}_{moy} °C	\bar{T}_{max} °C	E_{vbae} mm	$ETPM$ mm	$ETPEN$ mm	$ETPBCN$ mm
1	27.31	36.8	9.38	3.83	5.06	6.45
2	27.27	35.50	9.82	4.53	5.2	6.54
3	28.93	37.16	8.87	6.08	4.95	6.69
4	30.83	39.25	11.07	7.53	5.8	6.95
5	29.4	37.86	10.19	8.24	5.71	6.82
6	31.94	38.55	10.02	7.33	5.3	6.98
7	31.4	37.18	9.66	5.54	5.2	6.81

Tableau 5 Corrélation entre les Valeurs mesurées et Calculées du mois de Janvier 1987

Nb. d'obs.	Corrélations	Coef. de Corrélation (r)	Coef. de Régression (M)	Terme Constant (N)
10	$ETPM - E_{\text{vbae}}$	0.4977	0.2560	6.2097
	$ETPEN - E_{\text{vbae}}$	0.7183	0.4184	1.7921
	$ETPM - ETPEN$	0.2050	0.2712	245.2253 (V)
	$ETPM - ETPBCN$	0.0955	0.2824	136.2353 (V)
	$ETPM - \bar{T}_{\text{max}}$	0.3179	0.1899	-2.8784
	$ETPM - \bar{T}_{\text{moy}}$	0.1536	0.1078	0.9991
	$ETPBCN - E_{\text{vbae}}$	0.1557	0.0225	6.2272
	$ETPEN - \bar{T}_{\text{max}}$	0.5521	0.2360	-3.1867
	$ETPEN - \bar{T}_{\text{moy}}$	0.4923	0.2868	-2.4721

Tableau 6: Coefficients de Corrélation entre les phénomènes du mois de Février 1987.

Nb. d'obs.	Corrélations	Coef de Corrélation (r)	Coef de Regression (M)	Terme Constant (N)
28.	ETPM - Evbac	0.4579	0.3552	2.6595
	ETPEN - Evbac	0.3826	0.2457	3.2948
	ETPM - ETPEN	0.2776	0.3413	4.0967
	ETPM - ETPBC _H	0.7094	0.1150	6.0292
	ETPM - T _{max}	0.7623	0.5524	-14.5902
	ETPM - T _{moy}	0.7763	0.6230	-12.0511
	ETPBC _H - Evbac	0.5531	0.0692	6.0253
	ETPEN - T _{max}	0.1404	0.0831	2.4401
	ETPEN - T _{moy}	0.2685	0.1759	0.4565

Tableau 7: Coefficients de Corrélation entre les valeurs du mois de Mars 1987.

Nb. d'obs.	Corrélations	Coef de Corrélation (r)	Coef de Regression (M)	Terme Constant (N)
31	ETPM - Evbac	0.2125	0.1269	6.8582
	ETPEN - Evbac	0.6585	0.3529	2.0461
	ETPM - ETPEN	0.2910	0.3284	5.9129
	ETPM - ETPBC _H	0.2623	0.0401	6.5431
	ETPM - T _{max}	0.2734	0.2310	-1.5800
	ETPM - T _{moy}	0.2124	-0.2004	13.3176
	ETPBC _H - Evbac	0.5196	0.0474	6.3522
	ETPEN - T _{max}	0.1638	0.1230	0.9359
	ETPEN - T _{moy}	0.2685	0.1759	0.4565

Tableau 8. Coefficients de Corrélation entre les Valeurs décennales moyennes - Valeurs météo

Nb de Décades	Corrélations	Coef de Corrélation (r)	Coef de Regression (M)	Terme Constant (N)
7	ETPM - EVbac	0.6071	1.1506	-487.7789 (%)
	ETPEN - EVbac	0.8994	0.8204	222.5295 (%)
	ETPM - ETPEN	0.7145	3.8013	-1398.6085 (%)
	ETPM - ETPBC _H	0.8880	7.5941	-4495.6328. (/-)
	ETPM - T _{max}	0.7827	1.0414	-32.6184
	ETPM - T _{msy}	0.7105	0.6553	-13.1352
	ETPBC _H - EVbac	0.6698	0.1486	581.4348. (/-)
	ETPEN - T _{max}	0.5941	0.1486	-0.2249
	ETPEN - T _{msy}	0.2946	0.0684	3.2958

Tableau 4:

Données décennales moyennes: Valeurs GAMPELA - Anil - MAI. 1987.

Jourées	\bar{T}_{moy} °C	T_{max} °C	EVbac mm	ETPM mm	PICHE mm	ETPEN mm	ETPBC _m mm	ETPAC _m mm	R.G J
1	32.39	39.65	11.55	6.85	-	5.97	6.44	7.36	195
2	32.98	41.47	11.55	8.82	14.87	5.36	6.52	7.61	199
3	31.99	40.66	12.55	8.56	21.75	5.27	6.39	7.49	186
4	34.54	43.25	11.25	8.52	17.52	5.26	6.73	7.97	191

Tableau 9:

Corrélation entre les valeurs du mois de Mai 1987

Nb. d'obs.	Corrélations	Coef de Corrélation (r)	Coef de Régression (M)	Terme Constant (N)
10.	ETPM - EVbac	0.0161	0.0067	8.4424
	ETPEN - EVbac	0.6618	0.1346	2.8409
	ETPM - ETPEN	0.3587	0.8266	410.28 (%)
	ETPM - ETPBC _m	0.1230	-0.2971	1088.6892 (%)
	ETPM - PICHE	0.0482	0.0119	8.3089
	ETPM - T_{max}	0.1294	0.0408	10.2918
	ETPM - \bar{T}_{moy}	0.4411	-0.2284	16.4076
	ETPBC _m - EVbac	0.1900	-0.0320	8.2793
	ETPAC _m - PICHE	0.0532	-0.0052	8.0119
	ETPEN - PICHE	0.6869	0.0791	3.9738
	ETPEN - T_{max}	0.01481	-0.0022	5.4540
	ETPEN - \bar{T}_{moy}	0.2088	-0.0503	7.0957
	ETPM - ETPBC _m	0.4386	-1.7403	2040.6693 (%)
	ETPBC _m - PICHE	0.4413	-0.0276	7.3140
	ETPBC _m - EVbac	0.2789	-0.0298	7.1654
ETPM - R.G	0.6407	0.0028	3.2576	
EVbac - R.G.	0.5345	0.0054	0.9694.	

Tableau 10: Relation entre les phénomènes calculés que mesurés du maïs d'Avril. 1987

Nb. d'obs.	Corrélioss	Coef. de Corrélation (r)	Coef. de Régression (M)	Terme Constant (N)
30.	ETPM - EVbac	0.1751	0.1054	6.8042
	ETPEN - EVbac	0.2813	0.1845	3.9591
	ETPM - ETPEN	0.2632	-0.2092	7.2260
	ETPM - PICHE	0.2170	0.0281	0.1768
	ETPM - ETPRC _M	0.4930	0.0904	6.7605
	ETPM - ETPRC _m	0.0742	0.0132	6.3472
	ETPM - T _{max}	0.4447	0.3277	-5.3223
	ETPM - T _{mo} y	0.1827	0.0830	5.3223
	ETPRC _M - EVbac	0.2513	0.0279	7.1620
	ETPRC _m - EVbac	0.0679	0.0073	6.3680
	ETPRC _M - PICHE	0.5967	-0.0165	7.8522
	ETPRC _m - PICHE	0.3864	-0.0205	6.8337
	ETPEN - PICHE	0.1190	0.0140	4.9886
	ETPEN - T _{max}	0.2534	0.1505	-0.5610
	ETPEN - T _{mo} y	0.3256	0.1986	-0.5729
	ETPM - R.G	0.0762	-0.004	8.7691
	EVbac - R.G	0.2366	0.0019	8.005
	EVS _N - EVbac	0.0292	0.0058	7.7951
	EVS _N - ETPM	0.7693	0.2520	5.8360
	EVS _N - PICHE	0.4723	0.0298	7.5182

Tableau 11 Coefficients de corrélation entre les phénomènes mesurés et calculés pour la période Avril-Mai

Nb. d'obs.	Corrélations	Coef. de Corrélation (r)	Coef. de Régression (M)	Terme Constant. (N)
25 1 40	ETPM - E_{vbac}	0.1244	0.0723	7.3216
	ETPEN - E_{vbac}	0.3112	0.1367	3.9049
	ETPM - ETPEN	0.2437	-0.3215	99.3966 (1/10)
	ETPM - PICHE	0.1922	0.0301	8.0784
	ETPM + ETPBC _M	0.3801	0.1114	6.6988
	ETPM + ETPBC _m	0.1321	0.0319	6.2876
	ETPM - \bar{T}_{max}	0.3624	0.1862	0.4811
	ETPM - \bar{T}_{moy}	0.1846	0.0817	5.4493
	ETPBC _M - E_{vbac}	0.0175	0.0030	7.5760
	ETPBC _m - E_{vbac}	0.0771	-0.0108	6.6736
	ETPBC _M - PICHE	0.3605	-0.0274	8.2198
	ETPBC _m - PICHE	0.4533	-0.0335	7.2200
	ETPEN - PICHE	0.1921	0.0220	4.8896
	ETPEN - \bar{T}_{max}	0.0988	0.0384	3.9088
	ETPEN - \bar{T}_{moy}	0.1763	0.0801	2.8527
	ETPM - R.G.	0.0027	-0.000	8.2440
		E_{vbac} - R.G.	0.2954	0.0024

Tableau 12. Corrélation entre les valeurs décennales moyennes - Période Avril-Mai 1997.

Nb. de Décades	Corrélations	Coeff de Corrélation (r)	Coeff de Regression (M)	Terme Constant (N)
4	ETPM - EVbac	0.4324	0.6046	101.6036 (1/10)
	ETPEN - EVbac	0.2297	-0.0989	66.1420 (1/10)
	ETPM - ETPEN	0.9846	-2.7908	236.2392 (1/10)
	ETPM - PICHE	0.9825	0.1214	6.3283
	ETPM - ETPBCM	0.5015	1.749	-51.4304 (1/10)
	ETPM - ETPBCM	0.2070	0.9524	18.8345
	ETPM - T _{max}	0.5692	0.4220	-5.9480
	ETPM - T _{moy}	0.1765	0.1442	34.0652 (1/10)
	ETPBCM - EVbac	0.4525	-0.1870	97.8069 (1/10)
	ETPBCM - EVbac	0.6090	-0.1894	87.4583 (1/10)
	ETPBCM - PICHE	0.5998	-0.0565	0.7480
	ETPBCM - PICHE	0.6383	-0.0545	7.5990
	ETPEN - PICHE	0.9925	-0.0195	5.6942
	ETPEN - T _{max}	0.6285	-0.1332	10.9868
	ETPEN - T _{moy}	0.2284	-0.0557	730.3226 (1/100)
	ETPM - R.G	0.6375	-0.0092	25.8449
		EVbac - R.G.	0.7905	-0.0093

A titre de comparaison nous avons relevé les valeurs obtenues au cours d'une étude similaire durant la période de Juin à Septembre 1986. Ces résultats sont consignés dans le tableau 13 ci-joint.

Tableau 13: Corrélation multiple entre les paramètres mesurés et calculés pour 103 observations et 12 observations de conductivité moyenne - période de juin à septembre 1986.

Nb. d'obs.	Corrélation	Coeff. de Corrélation (r)	Coeff. de Régression (M)	Terme Constant (N)
103	ETPEN - Evbac	0.7676	0.1864	0.058
	ETPM - Evbac	0.6829	0.5970	1.4317
	ETPM - ETRM	0.8892	0.8384	0.3676
	ETPEN - ETPM	0.6504	0.7500	1.053
	ETRM - Evbac	0.6200	0.5748	1.6804
	ETPEN - ETRM	0.6773	0.7364	0.828
	ETPEN - Tmoy	0.6034	0.2733	-3.504
	ETPM - Tmoy	0.3379	0.1765	-0.8001
	ETRM - Tmoy	0.3514	0.1730	-0.985
	Evbac - Tmoy	0.4754	0.2170	-2.083
12	ETPEN - Evbac	0.9695	1.0279	-0.2128
	ETPM - Evbac	0.9645	0.9772	-0.1026
	ETPM - ETRM	0.9631	0.8171	0.4579
	ETPEN - ETPM	0.9444	0.9893	0.1386
	ETRM - Evbac	0.9245	1.1039	-0.3043
	ETPEN - ETRM	0.9120	0.8098	0.5627
	ETPEN - Tmoy	0.8133	0.3028	-4.277
	ETPM - Tmoy	0.8112	0.3161	-4.546
	ETRM - Tmoy	0.8325	0.2752	-3.716
Evbac - Tmoy	0.7931	0.3130	-4.6595	

1V 13. INTERPRETATION DES RESULTATS D'ANALYSES

a) CONSTATS SUR LES RESULTATS D'ANALYSE

L'analyse de nos différents résultats des mesures par la méthode de Regression linéaire et les coefficients de correlations qui en ressortent met en évidence l'importance du coefficient de correlation (r) dans l'appréciation de la correlation établie entre deux phénomènes.

Plus ce coefficient est faible ^{moins} mais la correlation est bonne et le nuage de points s'éloigne davantage de la ligne de regression.

On voit bien que les coefficients de correlations (r) calculés sont tous positifs et différents de zéro, cela signifie qu'ils sont significatifs pas tous satisfaisant du point de vue de la regression.

Dans l'ensemble les coefficients de correlations se situent essentiellement dans deux intervalles :

- * L'intervalle $0 < r < 0,6$ qui contient la plupart des coefficients de corrélations.
- * L'intervalle $0,6 < r < 1$ qui contient les quelques meilleurs coefficients obtenus.

L'examen de ces résultats montre toujours que les coefficients de correlation varient avec le nombre d'observations. Ils sont en général faibles pour les valeurs journalières alors que pour les valeurs décadaires ils sont beaucoup plus satisfaisants. Comme le nombre les tableaux 14 et 15 ci après réunissant les meilleurs correlations obtenues.

Cela traduit visiblement que les phénomènes liés à l'évaporation et à l'évapotranspiration n'ont pas de grande signification en ce qui concerne les mesures journalières. Ces phénomènes pourraient s'expliquer en partie par la différence horaire entre les différentes mesures, ce qui semble s'effacer au niveau de la décade laquelle minimise les décalages horaires et les petites erreurs de lecture .

TABLEAUX 14 et 15 .

On note une bonne corrélation entre l'EVSN avec l'ETPM. L'on s'aperçoit que les écarts entre les deux lectures qui sont représentatifs de la transpiration directe des plantes sont d'autant plus faibles que la radiation est faible et vice-versa. Par ailleurs la radiation seule n'est pas suffisante pour expliquer les écarts entre l'ETPM et l'EVbac, par contre le couple radiation et vitesse du vent expliquant mieux les phénomènes ce qui est logique. Curieusement l'EVSN est minimale lorsque la température est maximale

L'influence du vent n'étant pas manifestement décisive et la radiation de même. Ce qui ne peut s'expliquer que par une différence sensible dans le pouvoir évaporant de l'air mais qui reste à vérifier.

Tableau 14

Périodes	Corrélations	Coeff de Corrélations (r)
Janvier	ETPEN - EVbac	0.7183
Février	ETPM - \bar{T}_{moy}	0.7763
	ETPM - \bar{T}_{max}	0.7623
	ETPR - ETPRC _M	0.7094
Mars	ETPEN - EVbac	0.6585
MAI	ETPEN - EVbac	0.6618
	ETPEN - PICHE	0.6869
	ETPR - R.G.	0.6407
Avril	ETPM - EVIN	0.7693

Tableau 15

Périodes	Corrélations	Coeff de Corrélation (r)
Janv.-Mars	ETPEN - EVbac	0.8994
	ETPR - ETPRC _M	0.8880
	ETPM - \bar{T}_{max}	0.7827
	ETPR - ETPEN	0.7145
	ETPRC _M - EVbac	0.6638
	ETPR - \bar{T}_{moy}	0.7195
	ETPR - EVbac	0.6071
Avril - Mai	ETPEN - PICHE	0.9925
	ETPR - ETPEN	0.9846
	ETPR - PICHE	0.9825
	EVbac - R.G.	0.7905
	ETPRC _M - PICHE	0.6383
	ETPEN - \bar{T}_{max}	0.6285
	ETPRC _M - EVbac	0.6071

b. ANALYSE DETAILLEE DE CERTAINS PHENOMENES

Le constat qui s'impose est qu'à l'issue de notre étude nous ne trouvons pas de bonnes corrélations directes entre les phénomènes. Mais on peut cependant tenter d'expliquer certains phénomènes par une analyse détaillée et plus fine de ces phénomènes à travers l'influence des paramètres climatiques qui agissent sur eux.

En effet il apparaît que nos mesures présentent une homogénéité dans leur ensemble mais qu'elles présentent par ailleurs des valeurs minimum et maximum en ce qui concerne chaque phénomène pris individuellement.

L'examen de certaines de ces valeurs extrêmes nous permettra de dégager un certain nombre d'explication à ce phénomène.

1. VALEURS MESUREES

- VALEURS EXTREMES DE L'ETPM

TABLEAU 16

Les ETP mesurées sont représentatives effectivement du climat puisqu'on obtient :

Les ETPM maximum pour des écarts de température ΔT relativement élevées, des radiations croissantes et des vitesses de vent moyennes.

Les ETPM minimales pour des écarts de températures moins élevées, des vitesses de vent moins fortes et des radiations plus faibles.

Il y a donc une cohérence dans les lectures des ETPM ce qui signifie que la procédure expérimentale est satisfaisante. Certains phénomènes examinés au jour le jour par rapport à des données météo peuvent présenter des variations qui sont dû à un décalage horaire dans les lectures.

* VALEURS EXTREMES DE L'EVbac

TABLEAU 17

Le bac intègre mal les phénomènes de radiation et de température. Mais par contre il intègre parfaitement le vent, ce qui laisse supposer que les phénomènes de convection sont d'autant plus important que le bac est soumis au vent. Ceci explique bien les valeurs maximales et minimales de l'évaporation du Bac.

* VALEURS EXTREMES DE L'EVAPOROMETRE PICHE

TABLEAU 18

L'examen attentif des seules extrêmes au niveau de l'ensemble des mesures montre qu'il n'y a apparemment aucune relation directe entre le Piche et les températures maximales et minimales, et la radiation globale (R.G.). Par contre on remarque une cohérence parfaite avec l'ETPM et l'EVbac ce qui indirectement établit une relation entre le Piche avec le vent et l'écart de température puisque l'ETPM et l'EVbac en sont liées, même si les mesures elles ne le ressortent pas de manière directe et visible.

* POINTES ET ECARTS DE TEMPERATURES

TABLEAU 19 et 20

On pourrait s'attendre à ce que ^{la} l'évaporation, de température participe de beaucoup dans les phénomènes d'évaporation et d'évapotranspiration comme le stigmatise la théorie. Mais la dispersion des mesures de l'ETP, de l'EVbac de l'EVSN et même du Piche correspondant aux pointes de températures enregistrées montre que les températures maximales à elles seules n'expliquent pas les phénomènes.

Tableau 16

Valeurs extrêmes de l'ETPM.

247

ETPM		$T_{\text{moy.}} \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_{\text{maxi}} \text{ } ^\circ\text{C}$	Vent m/s	R. G. j/cm^2	$\Delta T_m \text{ } ^\circ\text{C}$
mm						
Valeurs mini	3	30.78	39	0.8	1892	8.2
	4	28.95	38.2	2.3	1942	9.2
	5.05	30.83	38.	1.5	2023	7.
Valeurs maxi	9.3	29	39.5	1.22	2155	10.5
	9.37	34	43.2	1.25	2075	9.2
	9.5	30.4	40	0.98	2176	9.9

Tableau 17

Valeurs extrêmes de l'EVBAE

EVBAE		$T_{\text{moy}} \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_{\text{max}} \text{ } ^\circ\text{C}$	Vent m/s	R. G. j/cm^2	$\Delta T_m \text{ } ^\circ\text{C}$
mm						
Valeurs mini	8.1	31.78	38.6	0.9	1903	6.8
	8.34	33.39	41.5	1.6	1814	8.1
	8.84	33.5	41	0.58	1338	7.5
Valeurs maxi	13.6	32.8	41.5	1.32	1978	8.7
	14.62	29.7	39.5	1.6	1911	9.8

Tableau 18

Valeurs extrêmes du PICHE

PICHE		ETPM	EVBAE	$T_{\text{moy}} \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_{\text{max}} \text{ } ^\circ\text{C}$	Vent m/s	R. G. j/cm^2	$\Delta T_m \text{ } ^\circ\text{C}$
mm		mm	mm					
mini	14.62	7.85	10.8	38	41.5	1.02	1778	6.5
	16.15	7.85	9.85	33.39	41.6	1.6	1806	8.2
maxi	22.25	9.25	11.1	32	41	0.93	2096	9
	22.9	9.27	11.25	34.1	40.5	0.9	1772	6.4
	23.35	9.27	13.15	34	41	1.6	1631	7

Tableau 19

Pointes de Températures

T_{max} °C	ETPM mm	EVbuc mm	PICHE mm	EVSN mm	Vent m/s
maxi 44.5 43.3 43.2	8.6	13.5	20.12	7.35	1.13
	7.79	13.4	21.77	6.27	1.25
	9.84	10.9	19.15	7.46	1.25
mini 42.5 42.7	7.2	13	-	7.10	2.8
	8.75	15.95	-	7.75	1.86

Tableau 20

Ecartis absolus de Températures

ΔT_a °C	ETPM mm	EVbuc mm	PICHE mm
mini 12.8 13.4 14	9.24	11.25	22.9
	9.35	10.8	14.62
	9.24	13.15	23.35
maxi 20.9 21 22.2	9.5	13.24	20.77
	9.7	10.95	21.6
	8.03	9.1	14.61

Tout cela concourt donc à faire comprendre que les phénomènes d'évaporation et d'évapotranspiration sont un ensemble complexe d'actions conjuguées de différents paramètres climatiques dont l'explication pourrait dépendre d'un ou plusieurs paramètres agissant quasiment seul ou de conivence avec d'autres paramètres.

2. VALEURS CALCULEES

Les valeurs calculées obtenues des formules qui selon leur mode d'établissement : empirique ou raisonnable, n'ont pas le même degré de complexité. Certaines exigent des données climatiques élaborées, d'autres se contentent de données climatiques de base bien connues. Leurs valeurs ne font pas toujours ressortir leur commune mesure avec les grandeurs mesurées. Ainsi il apparaît qu'en prenant comme base relativement sûre l'ETPM que l'ETPEN sous estime considérablement l'ETPM. Ceci est dû vraisemblablement (sous réserve de vérification) à l'emploi des paramètres climatiques Penman. Par contre l'un trouve une plus grande similitude avec l'ETPBC calculée avec la température de midi sauf pour les faibles valeurs. Il est logique que les ETPBC soient relativement uniforme puisse qu'elles ne tiennent compte ni de la vitesse du vent qui apparaît être un élément très important dans le calcul de l'ETP, ni des écarts des températures relativement faibles.

QUE RETENIR DE CETTE ANALYSE

De cette analyse il apparaît qu'il y a une bonne relation entre les dispositifs expérimentaux d'une part mais pas entre les dispositifs expérimentaux et les formules. Par ailleurs les Variations mesurées à la journée peuvent être très différents d'une méthode à l'autre alors que l'on trouve de bien meilleures relations à la décade -beaucoup de ces phénomènes pourraient s'expliquer en partie par la différence horaire entre les différentes mesures, ce qui s'efface au niveau de la décade.

Le but de l'étude consistait à tenter de voir si l'on pourrait pour la conduite de l'irrigation avoir un conducteur aussi précis que l'ETP mesurée sur l'évapotranspiromètre à l'aide d'un système plus simple.

Il semblerait sous réserve de vérification sur une plus longue durée que l'appareil de Piche pourrait servir de base. Resteraient à déterminer un dispositif expérimental simple à mettre en oeuvre.

L'expérimentation du Piche reprenait la vieille idée de l'emploi du Piche et semble donner satisfaction bien qu'il faudra encore attendre sa confirmation.

Contrairement à une idée répandue, la formule Penman employée à la journée ne semble pas rendre compte réellement des problèmes. Ceci étant probablement lié aux paramètres empiriques.

Il faut cependant savoir que nous sommes dans un climat particulier avec l'impossibilité de faire des contrôles d'ouvertures stomatiques. En effet de grandes variations doivent exister suivant la qualité de la nébulosité.

Contrairement à ce que l'on pensait, il n'y a pas de corrélation satisfaisante entre l'ETPM et l'ETPEN en raison de l'ouverture stomatique car il semble bien qu'en période sèche et avec une très faible nébulosité les ouvertures stomatiques ne doivent pas dépasser 5 à 6 heures par jour alors qu'avec une forte nébulosité. Celles-ci pouvant monter de 12 à 13 heures par jour.

Si l'étude devait être poursuivie, il serait probablement intéressant d'intégrer cette variable météo.

/// O N C L U S I O N

-----OO-----

La connaissance des phénomènes d'interaction entre l'eau, le sol et la plante, est utile par deux grandes catégories d'utilisateurs.

- Le praticien de l'agriculture qui veut savoir comment optimiser la conduite de l'irrigation et prévoir un ordre de grandeur de ses besoins en eau pour pouvoir dimensionner son équipement en matériel d'irrigation.

- Le projeteur qui veut pouvoir déterminer les quantités d'eaux nécessaires aux irrigations au niveau d'un périmètre irrigué ou au niveau d'une region et également connaître entre autres leurs variations inter-annuelles ainsi que la plus value que peut apporter l'irrigation ^{sur} pour le plan économique.

D'où leur souci d'avoir à leur disposition un conducteur aussi fiable que les dispositifs de mesures à l'aide d'un système plus simple. C'est ce que nous avons tenter de chercher au cours de la présente étude.

Il faut dire que là nous avons essayer de tenter presque l'impossible car ce n'est pas en un mois et demi que l'on parviendra à des résultats dignes de publication.

Dans l'ensemble, notre travail est peu concluant rien qu'en comparaison avec ceux obtenus au cours de la première étude de Juin à Septembre. Pourtant nos lectures étaient homogènes. Mais malgré leur dispersion et leur variabilité nos résultats donnent cependant des indices et peuvent orienter les recherches en indiquant les pistes à suivre. Ces recherches doivent être poursuivies car on voit bien qu'il y a espoir surtout sur cette expérience de Piche pour sa confirmation.

En effet les correlations avec le Piche lorsqu'elles existent sont toujours satisfaisantes seulement qu'elles nous recommandent la prudence en raison du peu de lectures dont nous disposons sur cet appareil nous retenant d'être concluant.

Quant aux données ou mesures, il y a lieu de les recueillir au maximum sur place à GAMPELA, car un certain nombre d'appareils existent mais ne faisant pas l'objet de mesures, ceci pour mieux apprecier les résultats d'un même milieu sans trop de grandes influences des données exterieures

-0-0-0-0-0-0-0-0-

///) OCUMENTS /// ONSULTES

J. CHAROY

F. FOREST

J.C. LEGROUPIL

- * L'eau - le sol - la plante
- * Evaporation - Besoins en eaux des cultures
- * Relation eau-sol
- * Estimation fréquentielle des conditions d'alimentation hydrique en culture pluviale et irriguée. Bilan hydrique.

DOC - C.I.E.H.

- * République Française - Ministère de la Coopération

- * Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations.

- * Bulletin de l'Association Internationale d'Hydrologie - Juin 1971.

- * Evaporation en Bac et évapotranspiration Potentielle.

DOC - C.I.E.H.

-O-O-O-O-O-O-