

RAYONNEMENT SOLAIRE ET EVAPOTRANSPIRATION

QUELQUES EXEMPLES D'UTILISATION DES MESURES

DE RAYONNEMENT EN AFRIQUE TROPICALE

par Charles RIOU

Un tel sujet est très vaste. L'exposé qui suit se bornera, en fait, à indiquer quelques résultats expérimentaux, obtenus en Afrique Centrale, en insistant sur les aspects méthodologiques qui nous paraissent d'une très grande importance. Deux remarques viennent en effet à l'esprit quand on s'intéresse aux efforts de recherche entrepris dans cette partie de l'Afrique. D'une part, le petit nombre d'expérimentations amène les utilisateurs à se tourner vers des résultats acquis sous d'autres climats; d'autre part, les quelques expériences qui sont effectuées en Afrique aboutissent assez souvent à des résultats difficiles à généraliser quand ils ne sont pas contradictoires.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 14573

Cote : B

encore plus allongé. L. P. SMITH, dans l'introduction à cette conférence, a parfaitement souligné le danger qui menace les utilisateurs des travaux scientifiques en affirmant disant : "Dans la science, l'empirisme, bien qu'utile, est la chose la plus dangereuse à exporter".

Ce danger subsistera tant qu'une doctrine scientifique n'aura pas été élaborée à partir de données expérimentales rigoureuses obtenues sur place, en Afrique. En attendant cet heureux moment, il importe que tous les travaux pouvant contribuer à y tendre s'entourent des précautions méthodologiques suffisantes pour avoir une valeur d'exemple. L'étendue du continent africain, la diversité de ses climats, l'opposition entre les pays arides et la zone équatoriale entraînent des variations considérables dans l'influence de tel ou tel facteur sur le phénomène qu'on étudie; c'est le cas du rayonnement solaire vis-à-vis de l'évapotranspiration. Une synthèse à l'échelle de l'Afrique de résultats climatologiques est donc une démarche difficile, pleine d'écueils et ne peut avoir d'intérêt qu'à partir de résultats comparables par la rigueur. Sans cette rigueur, ne reste souvent qu'un fouillis de données contradictoires obtenues parfois à des échelles différentes, entretenant de ce fait de stériles discussions.

Puisse le petit exposé qui suit contribuer à écarter cette menace !

RAYONNEMENT GLOBAL ET EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

Des deux formes de rayonnement : rayonnement global et rayonnement de grande longueur d'onde, notre connaissance, en Afrique, est très inégale. Le premier bénéficie d'appareils de mesure, maintenant bien connus, admis par tous, et qui permettent une estimation satisfaisante et relativement peu

coûteuse du rayonnement de courte longueur d'onde. Ces appareils sont encore peu répandus en Afrique, mais leur nombre augmente, et ce qui est important, leur installation et leur contrôle s'entourent, en général, du soin désirable.

Il n'en est pas de même du rayonnement de grande longueur d'onde ou du bilan radiatif qui résulte de l'action combinée de ces deux formes. Dans ce cas, la multiplicité des appareils est la preuve de l'absence d'un appareil réellement satisfaisant. Le prix et les difficultés d'étalonnage et de contrôle de tels appareils constituent d'autres obstacles à leur diffusion.

Ceci explique que beaucoup d'auteurs se soient attachés à relier directement l'évapotranspiration potentielle au rayonnement global.

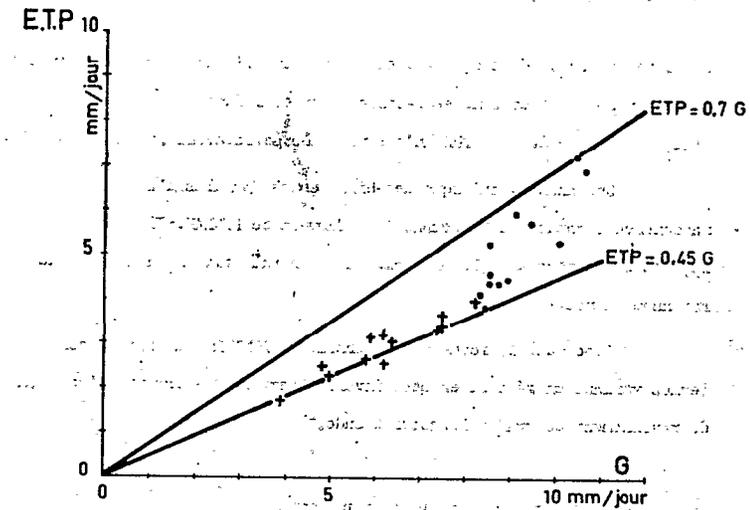
Les stations climatologiques installées par l'O.R.S.T.O.M. en Afrique Centrale et qui comportent, à la fois, des mesures de rayonnement et d'évapotranspiration, permettent de préciser cette relation, sous deux types de climat très différents : le climat de FORT-LAMY de type sahélien, et celui de BRAZZAVILLE de type équatorial.

Dans cette dernière station, le rayonnement global G et l'ETP sont liés par une relation étroite qui montre que l'énergie utilisée par l'ETP est pratiquement une fraction constante de G (ETP = 0,45 G, exprimées dans la même unité). Cette relation est même encore satisfaisante pour des périodes de dix jours.

Dans la zone semi-aride, on retrouve cette relation en saison des pluies, mais le rapport ETP/G augmente en saison sèche jusqu'à une valeur d'environ 0,70. (Figure 1)

On peut expliquer ce résultat par des considérations énergétiques,

ETP ET RAYONNEMENT GLOBAL



• FORT LAMY 1968
 + BRAZZAVILLE 1969) moyennes mensuelles

Figure 1

ce qui n'est pas l'objet de cet exposé; ce qu'il est important de noter ici à ce propos, c'est le succès de formules empiriques basées sur une évaluation du rapport ETP/G comme la formule de TURC, celles de WALKER ou de MAKINK.

Dans ces formules, la relation liant ETP et G fait intervenir une fonction croissante de la température, pratiquement constante en zone équatoriale.

Ce ne sont là que des formules empiriques; la formule de TURC, élaborée à partir de résultats géographiquement nombreux et bien répartis, est assez rassurante, néanmoins, elle surestime l'ETP en zone équatoriale d'environ 20 %, et en zone semi-aride, le coefficient de correction dû à l'humidité introduit par TURC n'est pas très satisfaisant.

Une analyse critique des différentes formules d'ETP basées sur le rayonnement, conduit directement à la formule de PENMAN. Il ne s'agit plus là du seul rayonnement global, mais du bilan radiatif qu'on appelle aussi rayonnement net.

Cependant la forme de la formule de PENMAN, qui fait appel à deux termes variant en général en sens inverse, tempère les erreurs d'estimation du rayonnement de grande longueur d'onde.

LES ASPECTS EMPIRIQUES DE LA FORMULE DE PENMAN

Il n'est pas question ici de redonner la "démonstration" de cette formule, assez simple à retrouver, ni de souligner au passage les critiques théoriques qu'on peut lui adresser. Il est un fait que partout où elle a été

confrontée avec des mesures, elle a donné de bons résultats et nous ferons que confirmer ceci pour la zone où nous l'avons utilisée, qui englobe à la fois le climat désertique et la zone équatoriale.

Il faut souligner, cependant, qu'une part de ce succès est due à la souplesse de la formule et à ses aspects empiriques.

Le premier terme de la formule comprend le rayonnement net. Celui-ci est en partie estimé, puisque le rayonnement de grande longueur d'onde est très rarement mesuré. La plus utilisée des formules est dans ce domaine celle de BRUNT, mais avec des coefficients qui varient suivant les auteurs. La correction due à la nébulosité est également empirique.

Le deuxième terme comprend une fonction introduite par PENMAN qui représente l'évaporation d'un bac dont l'eau serait à la température de l'air.

Cette fonction est obtenue par des mesures en bac qui permettent de préciser les coefficients de la formule de DALTON : $(a + bu) (e_s - e_d)$ où e_s est la tension de vapeur saturante à la température de l'eau en surface et e_d la tension de vapeur mesurée sous abri. Là encore, la plus grande diversité existe dans les coefficients a et b, diversité qui tient à des raisons fort simples, qui sont la variété des unités utilisées tant pour la tension de vapeur que pour le vent, ce qui est à l'origine de quelques confusions, et surtout le type d'anémomètre utilisé pour la mesure du vent ainsi que la hauteur à laquelle il est installé. C'est ainsi que l'emploi d'appareils plus sensibles amène à abandonner le coefficient a de la formule.

Ces aspects empiriques de la formule de PENMAN ont pour conséquence la nécessité d'ajuster, sur place, les différents coefficients mentionnés

ci-dessus, ce qui est une faiblesse de la formule mais aussi explique en partie sa réussite.

Enfin, il faut noter que la formule s'applique directement aux bacs d'eau, en raison du deuxième terme. Des tentatives ont été faites pour l'appliquer aux couverts végétaux pour lesquels il n'est pas aisé d'obtenir la température de surface, en utilisant des modèles plus ou moins compliqués mais peu pratiques.

Il s'ensuit qu'on passe en général de l'évaporation estimée pour un bac d'eau à l'EPP par un facteur de proportionnalité qui intègre l'effet du couvert végétal, mais aussi les différentes erreurs commises sur les termes de la formule. Il est bien évident, alors, que la formule de PENMAN n'a d'intérêt que si ce facteur de proportionnalité est peu variable ou si sa variation a un caractère saisonnier.

LA VERIFICATION EXPERIMENTALE DE LA FORMULE DE PENMAN

Tout ce qui précède nous conduit à la nécessité de confronter des mesures aux calculs. Cette confrontation n'est pas facile. En effet, la formule de PENMAN est établie à partir des données sous abri, ce qui définit l'échelle de son application, laquelle correspond à peu près à celle qui intéresse les utilisateurs et qui est de l'ordre de quelques kilomètres carrés.

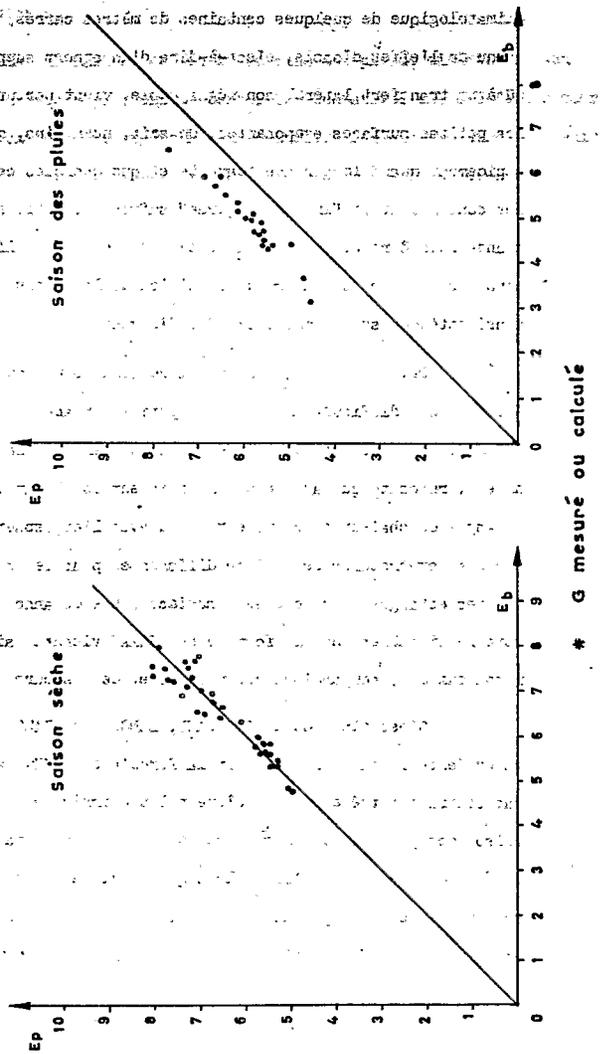
Les mesures d'évaporation, surtout en zone semi-aride ne portent que très rarement sur des surfaces d'eau de cette dimension. Les surfaces évaporantes traditionnellement utilisées sont la rondelle du PICHE de quelques centimètres carrés, les bacs d'évaporation, dont les plus répandus ont une

surface d'un à deux mètres carrés, et la pelouse bien irriguée de la station climatologique de quelques centaines de mètres carrés. Or le phénomène bien connu de l'effet d'oasis, c'est-à-dire d'un apport supplémentaire d'énergie dû à un transfert latéral non négligeable, vient perturber les mesures sur les petites surfaces évaporantes. On sait, néanmoins, que cet effet s'atténue rapidement quand la surface augmente et que quelques centaines de mètres carrés constituent un "anneau de garde" suffisant. Cette surface est encore trop grande pour être celle d'un bac d'eau, et le dispositif adopté, en général, consiste à placer un bac d'eau au milieu de la pelouse irriguée, en espérant ainsi atténuer suffisamment l'effet d'advection.

Or, la théorie et la pratique conduisent toutes deux à mettre en évidence une difficulté majeure. La petite surface d'eau que constitue le bac a des caractéristiques différentes de celles de la pelouse qui l'entoure : albédo, rugosité qui agissent à la fois sur son bilan radiatif et sur les échanges de chaleur et de vapeur d'eau avec l'atmosphère. Ceci se traduit par des températures de surface différentes pour le bac et la pelouse, et par des échanges entre ces deux surfaces. Ces échanges qui sont supposés être négligeables dans la formule de PENMAN viennent ainsi ôter son caractère rigoureux à la comparaison des mesures et des valeurs calculées.

C'est ainsi qu'à FORT-LANY, BANGUI et BRAZZAVILLE, nous avons mis en évidence la surestimation par la formule de PENMAN de l'évaporation d'un bac Colorado situé au milieu d'une pelouse irriguée de 400 m² ou plus, en saison des pluies, saison où l'eau du bac est en permanence à une température supérieure à celle de l'air, alors qu'en saison sèche où l'eau est à une température inférieure à celle de l'air, la formule de PENMAN traduit de façon satisfaisante l'évaporation du bac. (Figures 2 et 3)

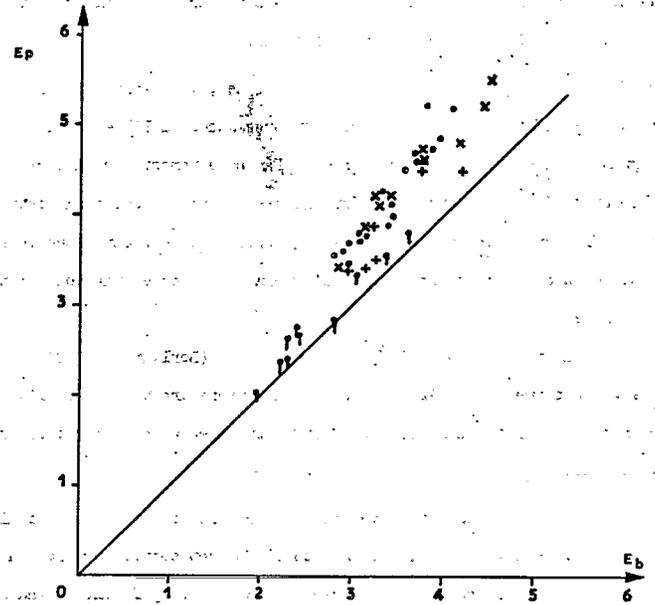
FORMULE DE PENMAN* ET EVAPORATION DU BAC COLORADO
Fort-Lamy (1964 à 1968)



G mesuré ou calculé

Figure 2

FORMULE DE PENMAN ET EVAPORATION DU BAC COLORADO



Brazzaville (1968 à 1970) ● Saison des pluies ▾ Saison sèche
Bangui (1969 à 1970) × Saison des pluies + Saison sèche

Figure 3

ETP ET FORMULE DE PENMAN

Cette difficulté de la comparaison de l'évaporation d'un bac avec la formule de PENMAN, et donc de la vérification directe de celle-ci conduit à aborder le problème autrement, et à rechercher la valeur du coefficient de proportionnalité entre E_p (calculé par la formule de PENMAN) et ETP, soit f , tel qu'on ait $ETP = f \cdot E_p$, recherche qui s'effectue en général à partir des moyennes mensuelles.

Dans cette recherche, comme dans la comparaison avec l'évaporation en bac, il est indispensable de choisir des valeurs particulières pour les différents coefficients empiriques rencontrés.

En ce qui concerne le rayonnement net, le rayonnement global et l'albédo étaient mesurés (sauf les premières années à FORT-LAMY). Le terme de grande longueur d'onde était estimé. Par beau temps, les différentes formules proposées sont à peu près équivalentes et nous avons finalement retenu les coefficients sur lesquels les expérimentateurs semblent actuellement tomber d'accord, et qui permettent d'exprimer les pertes par beau temps sous la forme :

$$L = (0,40 - 0,50 \sqrt{e_d}) \sigma T^4 \quad (\text{Berlyand - 1952})$$

e_d étant exprimée en milibars, T étant la température absolue de l'air, obtenue à partir des données sous abri et supposée être celle de la surface évaporante.

La correction traditionnelle due aux nuages et qui se traduit par le terme correctif $0,1 + 0,9 SS/SS_0$, ou SS/SS_0 représente la fraction d'inso- lation, conduit par contre à des valeurs beaucoup trop faibles quand la nébu- losité est forte.

Reprenant la formule de BERLYAND selon laquelle le terme correctif dû aux nuages serait $1 - cn$, c étant 0,5 pour l'équateur, n la fraction de ciel couvert et m un coefficient qui dépend du type de nuages, il est aisé de voir que ce terme est 1 pour un ciel clair et 0,5 pour un ciel entière- ment couvert. Un calcul élémentaire conduit alors à adopter le terme correc- tif : $0,5 + 0,5 SS/SS_0$.

Ce raisonnement conduit finalement au même résultat que l'étude expérimentale et statistique effectuée par DUPRIEZ à YANGAMBI et qui aboutissait à l'expression $0,492 + 0,506 SS/SS_0$.

La loi de DALTON appliquée aux bacs Colorado, donne des bons résul- tats sous les différents climats étudiés et la fonction du vent obtenue avec des anémomètres sensibles est $0,24 u$, où u est le vent mesuré à 2 mètres, exprimé en m/s, e_s et e_d étant exprimées en milibars.

C'est avec ces coefficients que nous avons calculé la formule de PENMAN dans les trois stations citées plus haut.

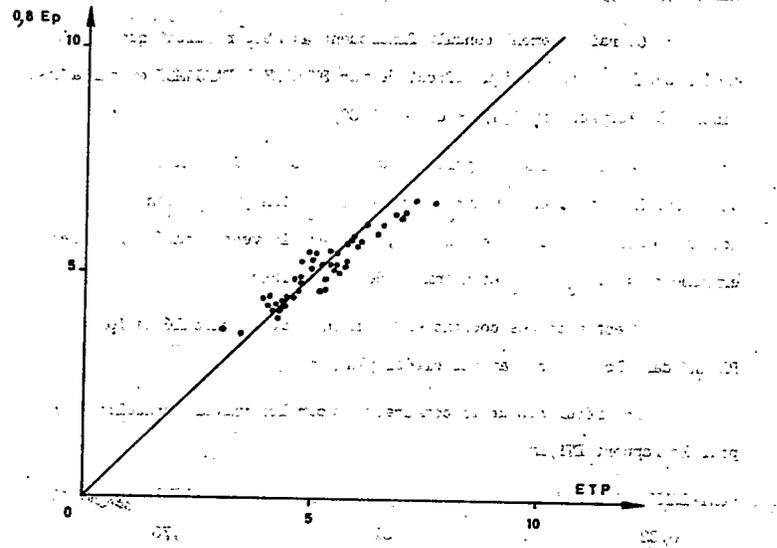
Les résultats de la comparaison pour les valeurs annuelles sont pour le rapport ETP/E_p :

FORT-LAMY (64 à 68)	BANGUI (69)	BRAZZAVILLE (68 et 69)
0,82	0,81	0,78

Il s'agissait de mesures d'ETP effectuées sur gazon.

Les valeurs de f obtenues mois par mois sont un peu plus variables mais ne présentent pas une grande dispersion et de plus semblent liées à la saison. Le coefficient f est plus élevé en saison sèche où il atteint 0,85 et plus faible en saison des pluies où il tombe à 0,75.

ETP ET FORMULE DE PENMAN*
 (facteur de réduction 0,80)
 Fort-Lamy (1964-68)



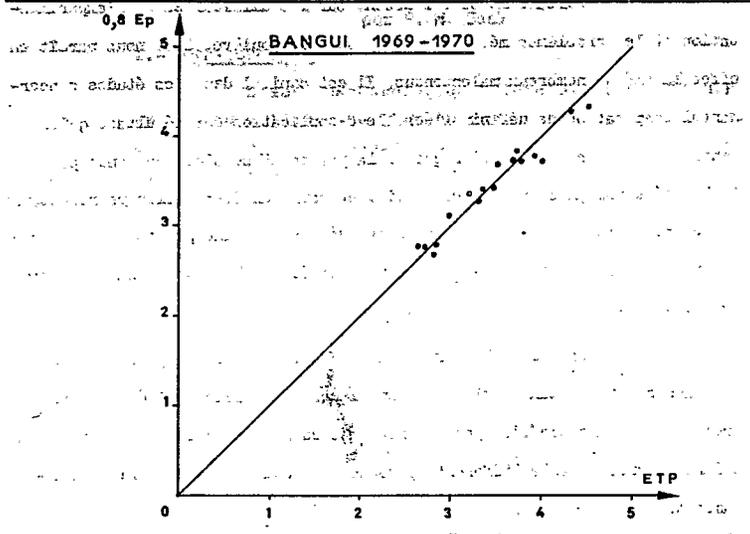
* G mesuré ou calculé

Figure 4.

En première approximation, il est donc possible de choisir pour f une valeur constante et égale à 0,80. (Figures 4 et 5)

Ce résultat est, finalement, très satisfaisant, les mesures étant effectuées sous des climats aussi variés que ceux de FORT-LAMY et de BRAZZA-VILLE.

ETP ET FORMULE DE PENMAN
 (facteur de réduction 0,80)



BRAZZAVILLE 1968-1969-1970

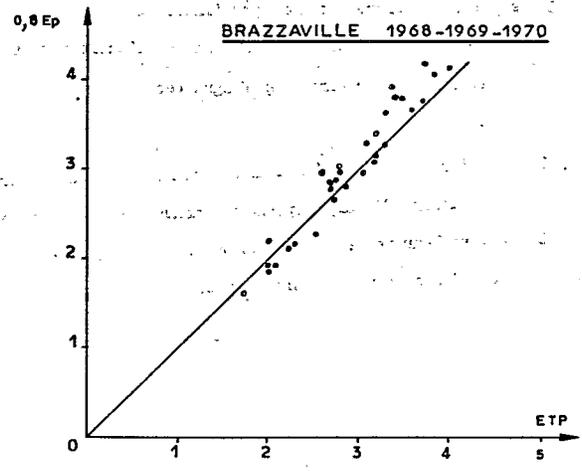


Figure 5

CONCLUSION (08,0 mois de mesure)

Ces résultats mettent l'accent sur les difficultés de l'expérimentation et les problèmes méthodologiques qu'elle soulève. Ceci nous paraît en effet la clé de nombreux malentendus. Il est capital dans les études concernant l'évaporation de définir l'échelle d'application des résultats qu'on mentionne et de ne pas oublier que si la petite masse d'air contenue par l'abri météorologique peut être considérée comme un échantillon représentatif d'une masse d'air plus importante, objet de l'étude, une petite surface évaporante est par contre en général un mauvais échantillon de la surface qu'on veut étudier.

Ceci étant dit, la formule de PERRMAN, une fois les coefficients empiriques adaptés aux conditions climatiques de la zone étudiée (et l'étude précédente montre que l'on peut adopter des coefficients identiques pour des climats africains très différents), donne des résultats tout à fait satisfaisants.

Ses aspects empiriques ne sont pas finalement des obstacles majeurs à son applicabilité et la pondération l'un par l'autre des termes qui la composent lui évitent des erreurs trop flagrantes.

Elle est à notre avis préférable de loin à toutes les autres, ne serait-ce que par l'effort d'analyse qu'elle demande à ses utilisateurs et qui les empêchera, en leur permettant de démonter le mécanisme de l'évaporation de commettre des erreurs trop importantes.

ABRI AGRONOMETEOROLOGIQUE DESTINE A L'EVALUATION DE L'E.T.P. A PARTIR DE LA FORMULE DU PICHE CORRIGE (R. BOUCHET) par P. M. Seck

I.- INTRODUCTION

L'abri Météorologique Piche Simplifié (A.M.P.S.) a été conçu à l'origine pour obtenir quelques-unes des données climatiques nécessaires à la conduite et à l'interprétation des expérimentations agricoles. En effet, l'encombrement et le prix de revient élevé de l'abri anglais limitent beaucoup son emploi dans un domaine où l'hétérogénéité microclimatique oblige à multiplier les points de mesures. Il était donc nécessaire de concevoir un modèle simplifié, fournissant cependant des données valables pour une échelle comparable à celle de l'abri anglais.

Etant donné son prix de revient, son emploi, cantonné tout d'abord à quelques stations de recherches, s'est rapidement élargi à de nouvelles catégories d'utilisateurs : agriculteurs, géographes, groupements professionnels et techniques, centres d'enseignements agricoles et par son utilisation en Afrique. L'importance de cette diffusion nécessite une parfaite normalisation de l'abri et de ses conditions d'utilisation, afin que les données recueillies puissent avoir une signification climatique analogue à celle de l'abri anglais servant d'étalon international. C'est la raison pour laquelle son étude systématique, sous différents climats, sera entreprise par le service du matériel de la Météorologie Nationale Française et sa diffusion éventuelle assurée par cet organisme.

Cet article se propose seulement de fournir les premiers éléments d'une comparaison faite au C.N.R.A. de Versailles, entre les abris (A.M.P.S. et A.A.) pour les utilisateurs.

II.- PRESENTATION DE L'A.M.P.S.

L'abri météorologique piche simplifié (en abrégé A.M.P.S.) est représenté sur la figure (1).

Il est destiné à recevoir trois instruments à lecture directe : un thermomètre à minimum, un thermomètre à maximum, un évaporomètre Piche

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION

**AGROCLIMATOLOGY IN THE SEMI-ARID
AREAS SOUTH OF THE SAHARA**

Proceedings of the Regional Technical Conference,
Dakar, 8-20 February 1971

FAO/Unesco/WMO INTERAGENCY PROJECT ON AGROCLIMATOLOGY



WMO - No. 340

Secretariat of the World Meteorological Organization - Geneva - Switzerland

1973

165

B 14571 - 514575