

CONFERENCE TECHNIQUE
SUR L'AGROCLIMATOLOGIE DES ZONES SEMI-ARIDES
SITUEES AU SUD DU SAHARA
Dakar, 8-20 février 1971

RAYONNEMENT SOLAIRE ET EVAPOTRANSPIRATION

CARACTERISTIQUES D'UTILISATION DES MESURES

DES RAYONNEMENT EN AFRIQUE TROPICALE

par Charles RICHU,

Maître de Recherches à l'O.R.S.T.O.M.

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.

Collection de Référence

28 NOV. 1972

n°

B 5765 (Hyd)

L. P. SAHBI, dans l'introduction à cette conférence, a parfaitement souligné le danger qui menace les utilisateurs des travaux scientifiques en 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 faire s'entourent des précautions méthodologiques suffisantes pour avoir une valeur d'exemple. L'étendue du continent africain, la diversité de son climat, 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, entraînant 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, achetés 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'installation 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.

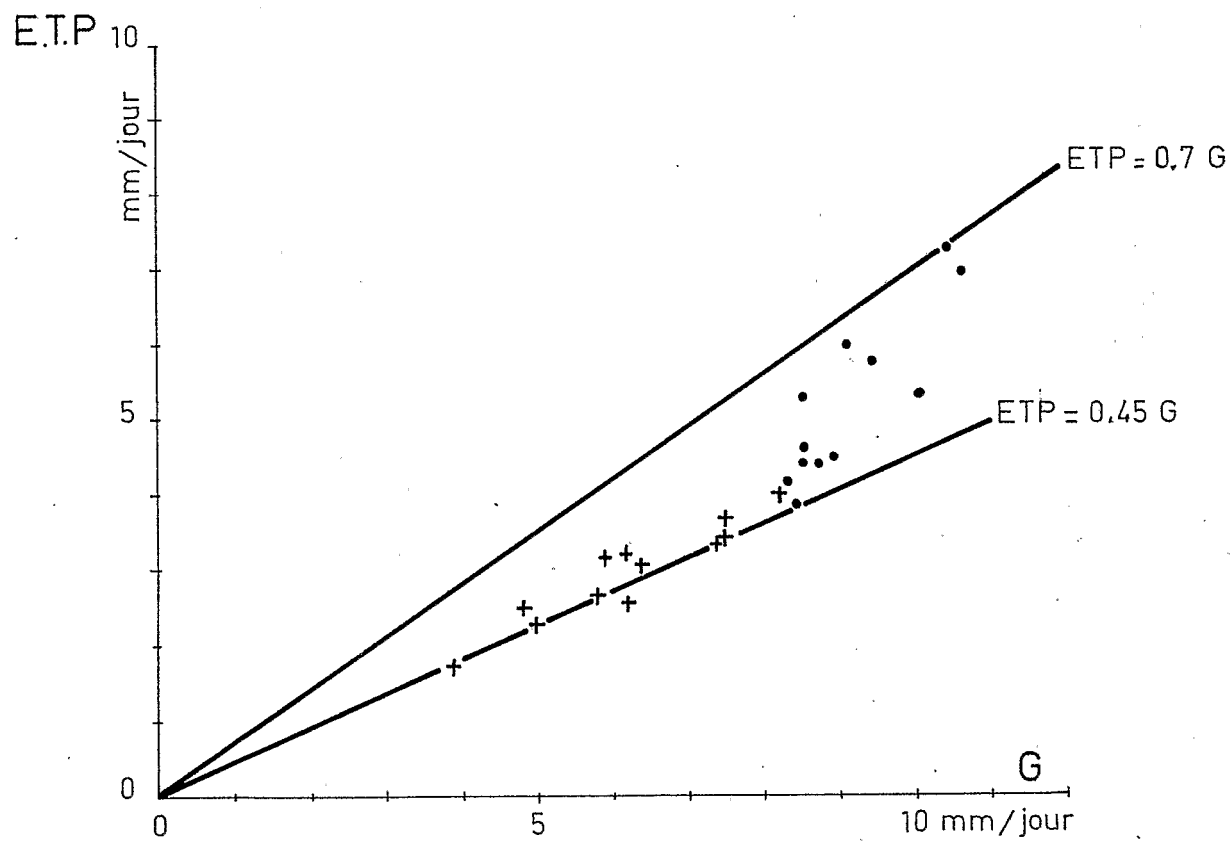
Les stations climatologiques installées par l'I.C.H.S.T.O.R. en Afrique Centrale et qui comportent, à la fois, des mesures de rayonnement et d'évapotranspiration, permettent de préciser cette relation, sous deux types de climat très différents : le climat de FORT-LAMY de type sahélien, et celui de BRAZZAVILLE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

Dans cette dernière station, le rayonnement global G et l'ETP sont liés par une relation stricte 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.

On peut expliquer ce résultat par des considérations énergétiques,

ETP ET RAYONNEMENT GLOBAL



• FORT LAMY 1968 } moyennes mensuelles
+ BRAZZAVILLE 1969 }

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 MARKEN.

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 EXPERIMENTAUX 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 ne 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 simplicité 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 LIEMT, 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 PÉRIEUX qui représente l'évaporation d'un lac dont l'eau serait à la température de l'air.

Cette fonction est obtenue par des mesures en lac qui permettent de préciser les coefficients de la formule de PÉRIEUX : $(a + bu) (e_s - e_a)$ où e_s est la tension de vapeur saturante à la température de l'eau en surface et e_a la tension de vapeur mesurée sous air. 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 PÉRIEUX ont pour conséquence la nécessité d'ajouter, sur place, les différents coefficients mentionnés

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

Enfin, il faut noter que la formule s'applique directement aux lacs 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 lac d'eau à l'ETP 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 VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE 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.

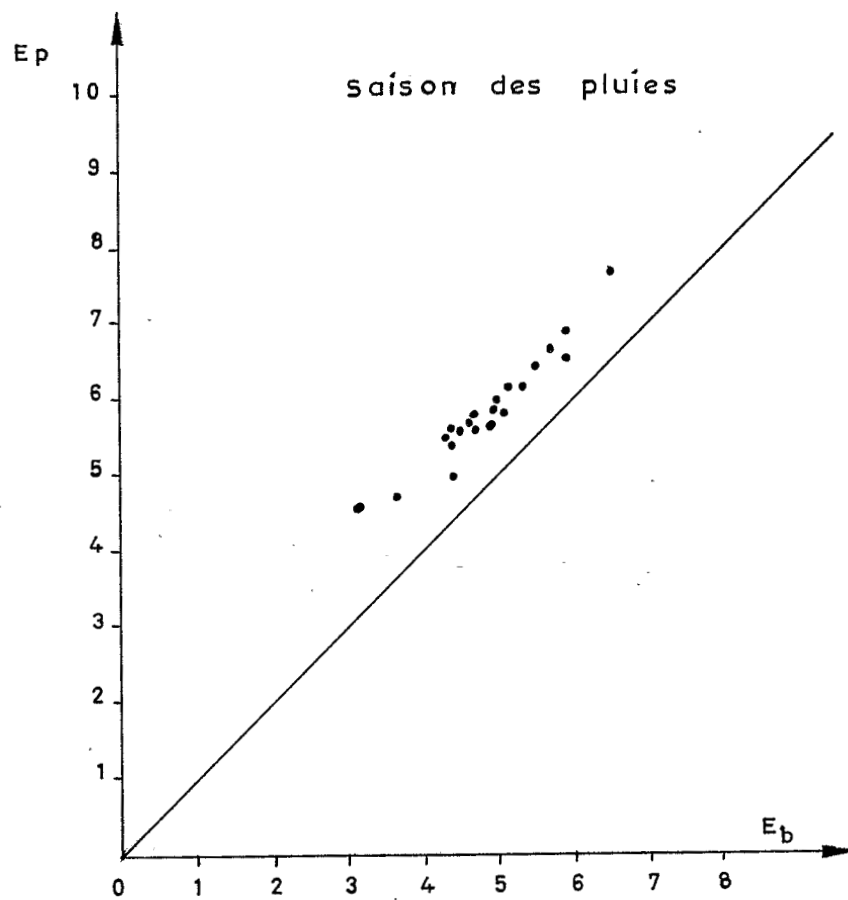
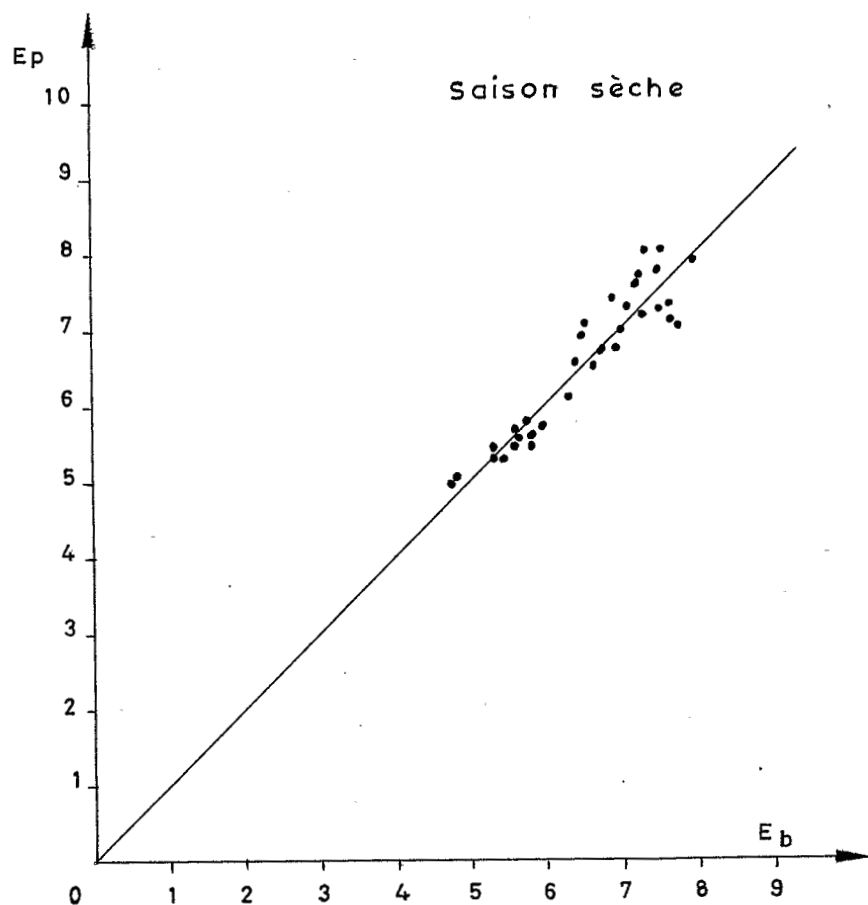
Les mesures d'évaporation, surtout en zone semi-aride ne portent qu' très rarement sur des surfaces d'eau de cette dimension. Les surfaces évaporantes traditionnellement utilisées sont la rondelle du SIME de quelques centimètres carrés, les lacs d'évaporation, dont les plus répandus ont une

surface d'un à deux mètres carrés, et la pelouse bien arrosée 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 "niveau 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 séparant ainsi suffisamment l'effet d'attraction.

Or, la théorie et la pratique nous font toutes deux à mettre en évidence une difficulté majeure. La petite surface d'eau qui 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. Des échanges qui sont supposés être négligeables dans la formule de PENMAN viennent ainsi être son caractère rigoureux à la comparaison des mesures et des valeurs calculées.

C'est ainsi qu'à FORT-LAMY, BANARI 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.

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



* G mesuré ou calculé

NET ET FORMULE DE PENMAN

Cette difficulté de la comparaison de l'évaporation d'un lac 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 E_T , soit f , tel qu'on ait $E_T = f \cdot E_p$; recherche qui s'effectue en général à partir des moyennes mensuelles.

Dans cette recherche, comme dans la comparaison avec l'évaporation en lac, 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-LAURE). 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 :

$$L = (0,40 + 0,50 \sqrt{e_d}) \cdot T^2 \quad (\text{Berlyand} - 1952)$$

e_d étant exprimée en millibars, 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 $0,1 + 0,9 SS/SS_0$, où SS/SS_0 représente la fraction d'insolation, conduit par contre à des valeurs beaucoup trop faibles quand la nébulosité est forte.

Représentent la formule de BIRBYAND selon laquelle le terme correctif de nos nuages serait $1 - c_n^2$, c étant 0,5 pour l'équateur, n la fraction de ciel couvert et n 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 entièrement couvert. Un calcul élémentaire conduit alors à adopter le terme correctif : $0,5 + 0,5 SS/SS_0$.

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

La loi de DALTON appliquée aux bacs Colorado, donne des bons résultats 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_0 et e_2 étant exprimés en millibars.

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

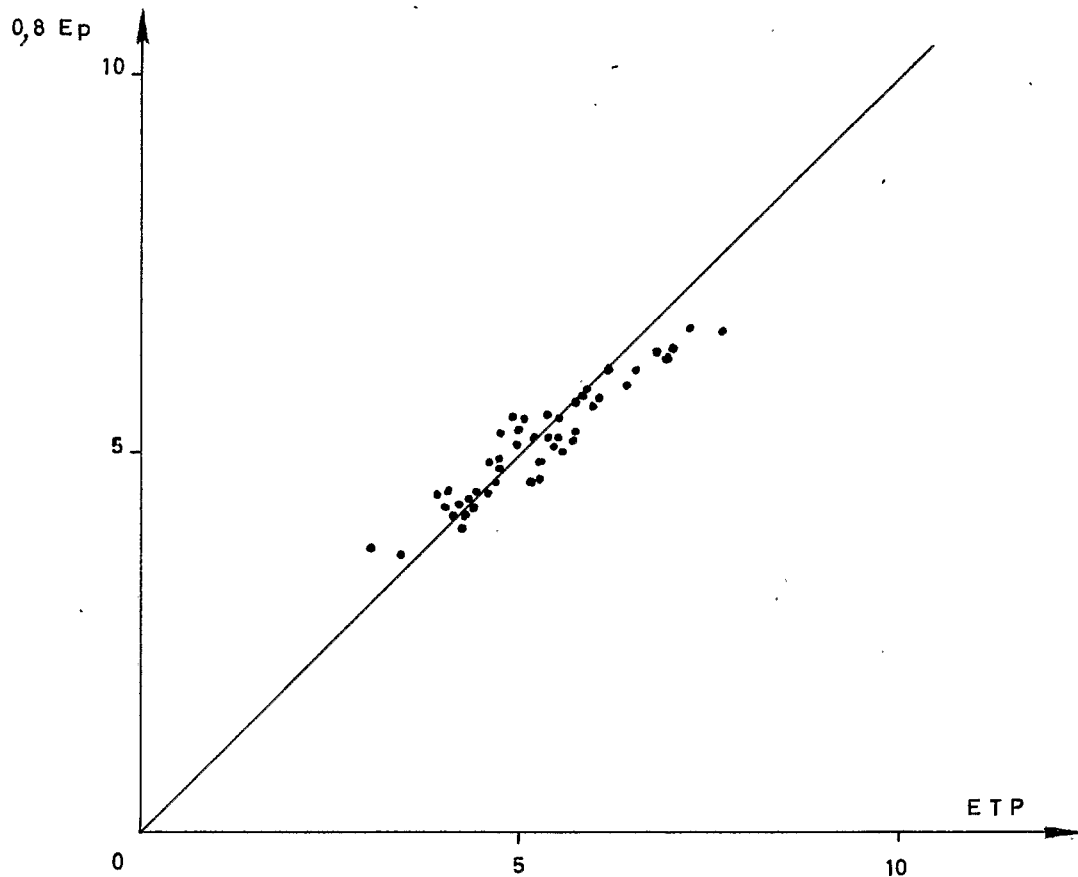
Les résultats de la comparaison pour les valeurs annuelles sont pour le rapport SS/SS_0 :

FORT-LAMY (64 à 68)	NAHREY (69)	BRASSAVILLE (68 et 69)
0,82	0,81	0,78

Il s'agit de mesures d'ESP 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 et il atteint 0,85 et plus faible en saison des pluies et il tombe à 0,75.

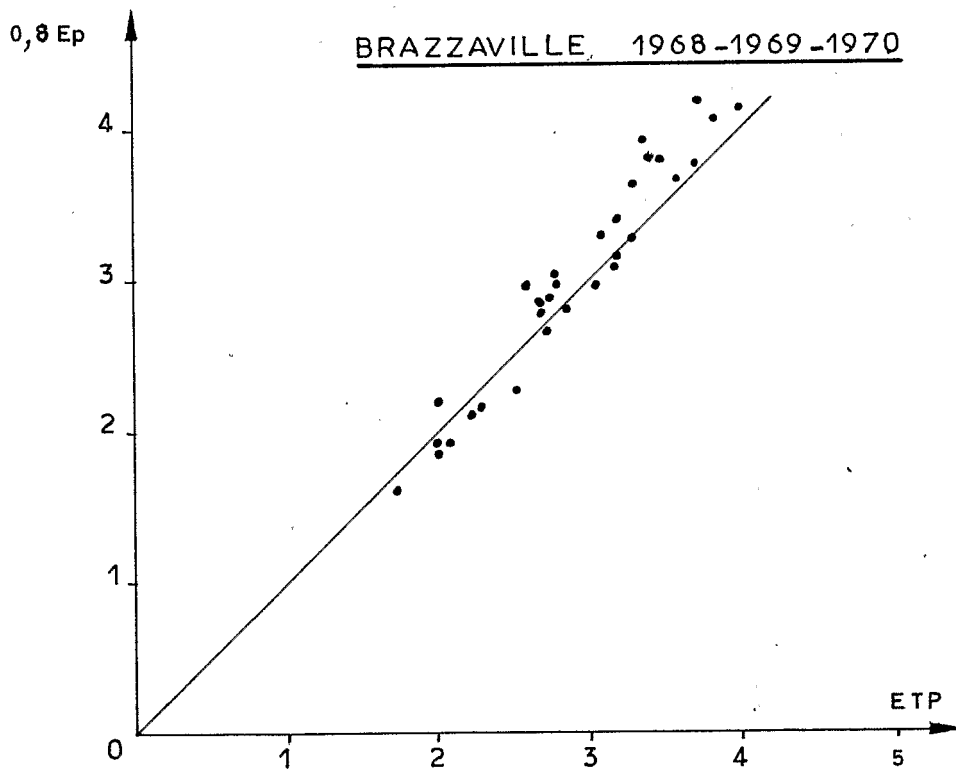
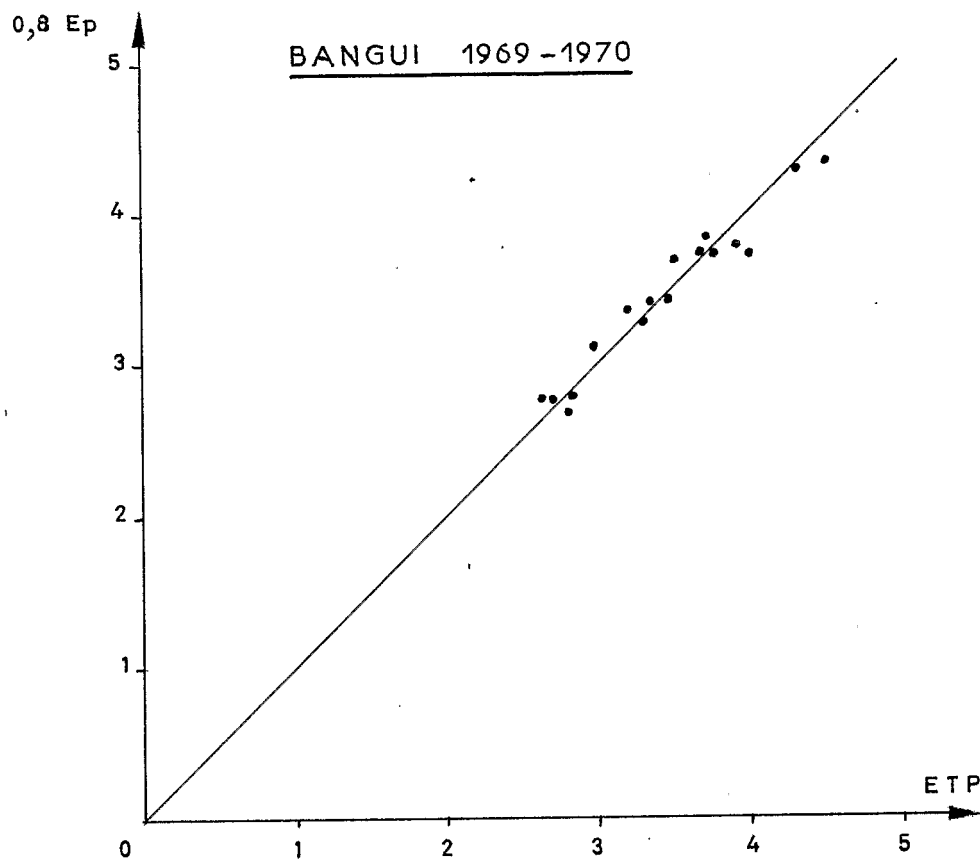
ETP ET FORMULE DE PENMAN*
 (facteur de réduction 0,80)
 Fort-Lamy (1964-68)



* G mesuré ou calculé

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

Gr_5



En première approximation, il est donc possible de choisir pour f une valeur constante et égale à 0,50.

Ce résultat est, finalement, très satisfaisant, les mesures étant effectuées sous des climats aussi variés que ceux de FOND-LAMY et de SAHARA-GRAND.

CONCLUSION

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'alcali métrique 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 PENMAN, 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.

Les 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, en ce qui concerne l'effort d'analyse qu'elle demande à ses utilisateurs et qui les empêche, en leur permettant de déceler les mécanismes de l'impersonation de commettre des erreurs trop importantes.