

Utilisation du bac classe A dans l'estimation de l'évapotranspiration potentielle dans le Nordeste du Brésil

D. CARDON

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
C.P.A.T.U., CP 48, Bairro do Marco
66000 Belem, Brazil

RESUME

La partie semi-aride du Nordeste du Brésil comporte plus d'une centaine de bacs classe A et moins d'une quinzaine de stations météorologiques complètes ayant une certaine pérennité. Il serait intéressant d'utiliser l'information fournie par ces bacs dans l'estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Dans ce travail, 36 années de données journalières d'évaporation du bac classe A, recueillies dans deux stations voisines au coeur de la zone sèche, ont été comparées aux ETP correspondantes calculées suivant la méthode de PENMAN.

L'analyse des valeurs brutes de l'évaporation, même en utilisant des coefficients correcteurs, n'a permis qu'une médiocre estimation de l'ETP. Par contre une méthode semi-empirique utilisant 2 coefficients α et β qui caractérisent respectivement le climat et l'environnement du bac, a donné des résultats beaucoup plus prometteurs : une précision de l'ordre de 10% dans l'estimation de l'ETP à l'échelle de la pentade. Pour son application cette dernière méthode nécessite la connaissance de l'humidité relative moyenne journalière et d'un ordre de grandeur de la vitesse moyenne des vents.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 22.099 ex 1

Cote : B

INTRODUCTION

De façon endémique le Nordeste du Brésil est victime de la sécheresse. Ceci impose une gestion optimale de ses réserves en eau, une bonne estimation de la demande évaporative climatique (E.T.P.) étant un élément essentiel d'une telle gestion. La partie sèche du Nordeste ne possède guère plus d'une dizaine de stations météorologiques complètes ayant une certaine pérennité et, sauf pour de courtes périodes, la mesure de l'évapotranspiration réelle maximale (E.T.R.M.) n'y est jamais pratiquée. Par contre il existe un réseau important de bacs classe A (plus d'une centaine), parfois d'implantation très ancienne, et il serait intéressant de tirer parti de ce réseau dans l'estimation de l'E.T.P.

Faisant exception dans cette carence d'informations climatiques la région de Petrolina-PE-, au coeur de la partie sèche du Nordeste, possède trois stations météorologiques complètes. Nous avons eu accès aux données de deux de ces stations et les avons traitées afin d'établir des relations entre l'évaporation du bac classe A (E_{bac}) et l'E.T.P. Ce traitement s'est effectué suivant deux méthodes distinctes :

- 1°) de façon empirique et en utilisant tout au plus des coefficients correctifs nous avons comparé les valeurs de l'E.T.P. et de E_{bac}
- 2°) à partir de deux coefficients définis de façon théorique mais ajustés empiriquement nous avons établi une correspondance saisonnière entre les valeurs de E_{bac} et de l'E.T.P. Cette correspondance a ensuite été utilisée pour vérifier la valeur de l'ajustement ainsi réalisé.

I. STATIONS ET DONNEES ETUDIEES

1.1. Situations climatiques et présentation des stations

Comme le montre le tableau ci-après les deux stations étudiées sont très voisines. Elles sont situées de part et d'autre du fleuve São Francisco dans une des parties les plus sèches du Nordeste.

Leur régime climatique est principalement lié au déplacement du F.I.T. (Front Intertropical). Il comporte deux saisons : une saison sèche de mai à novembre et une saison des pluies d'une extrême irrégularité, pouvant s'étendre de novembre à fin avril mais souvent beaucoup plus courte et susceptible d'interruptions de longue durée (6 semaines ou plus).

	Latitude	Longitude	Altitude
Mandacaru	- 9,4°	40,4°	375 m
Bebedouro	- 9,1°	40,4°	365,5 m

Tableau 1 - Coordonnées géographiques des stations étudiées

Chaque station occupe une position à peu près centrale dans un périmètre irrigué de grande taille, plus spécialement réservé aux plantes arbustives (agrumes, vigne,...) à Mandacaru, et aux autres cultures (endives, melons, canne à sucre, ...) à Bebedouro.

Sur le plan climatologique chaque station comporte un équipement standard permettant la mesure des principaux paramètres météorologiques et nous n'en mentionnerons que les particularités nécessaires au reste de l'étude, c'est-à-dire les trois points suivants :

- 1) La mesure du rayonnement global (R_g) se fait à l'aide d'actinographes type ROBITSZCH, appareils dont on connaît l'imprécision; leur installation datant de fin 1968.
- 2) En guise de vitesse du vent on mesure en fait le chemin parcouru par le vent en 24 heures.
- 3) Les bacs classe A occupent dans chaque station une situation similaire sur gazon irrigué.

1.2. Description sommaire des données

Les deux stations ont été à 6 mois près mises en service en même temps par la SUDENE*, en 1965. Les données recueillies ont été informatisées au C.N.R.A.** de Versailles depuis l'origine des stations jusqu'en 1982.

Considérons l'évolution mensuelle moyenne de ces données (voir figure I). Sauf en ce qui concerne l'évaporation du bac classe A et la vitesse du vent on constate que les valeurs prises par les données sont très voisines dans les deux stations. Le rayonnement global est bien légèrement plus élevé à Bebedouro mais ceci peut être dû au type d'appareil utilisé, les valeurs de Mandacaru étant vraisemblablement sous-estimées (Cardon - 1983). Quant à l'humidité relative, légèrement plus élevée à Bebedouro, elle peut s'interpréter en tenant compte de la position relative du rio São Francisco par rapport aux stations et de la direction des vents dominants.

* Superintendencia pelo Desenvolvimento do Nordeste - Recife - PE-BRESIL
 ** Centre National de Recherches Agronomiques - Versailles - FRANCE

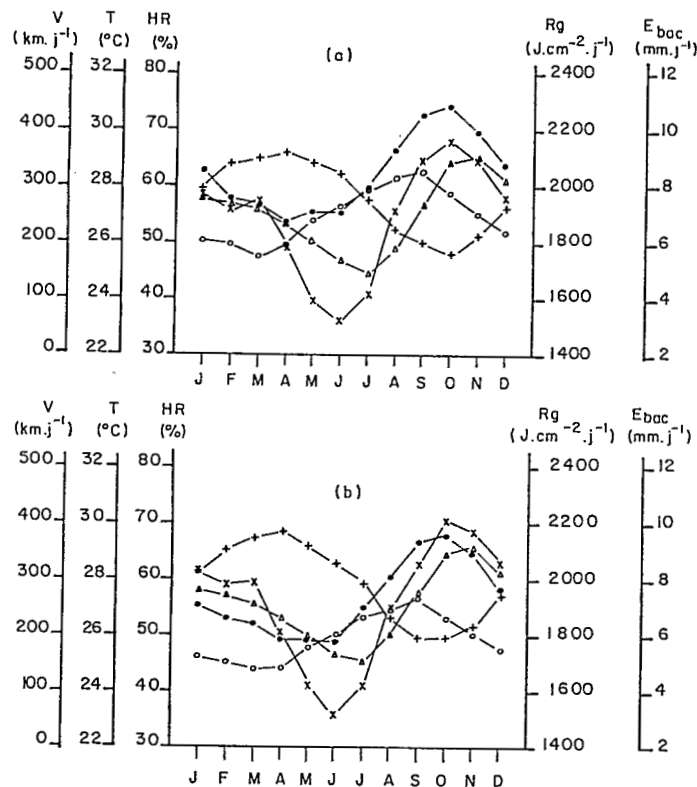


Fig. 1 - Evolution mensuelle des paramètres climatiques

a) Station de Mandacaru, b) Station de Bebedouro

- Distance parcourue par le vent (V)
- △ Température moyenne (T)
- + Humidité relative (HR)
- × Radiation globale (Rg)
- Evaporation du bac classe A (E_{bac})

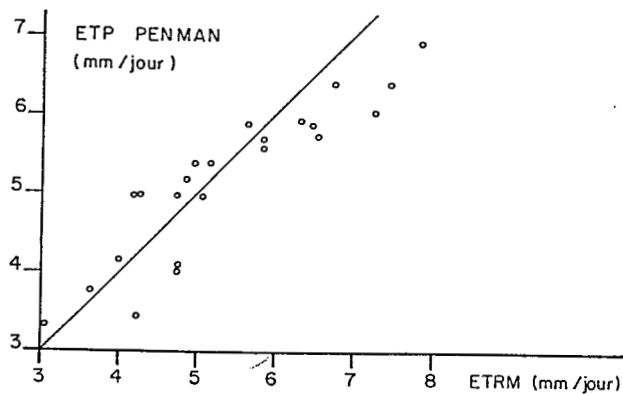


Fig. 2 - Comparaison entre l'ETP calculée suivant PENMAN et l'ETRM mesurée avec un évapotransiromètre.

II. JUSTIFICATION DE L'E.T.P. DE REFERENCE ADOPTEE

Aucune mesure directe de l'E.T.R.M. n'a été réalisée à l'exception d'une série effectuée en 1973, 1974 par ARAGAÔ sur le site de Mandacaru pour un travail publié en 1975. M. ARAGAÔ a bien voulu nous communiquer le détail de ces mesures. Celles-ci portent sur des périodes de 5 jours et ont été réalisées avec le plus grand soin à l'aide d'un lysimètre de grande dimension situé au voisinage du parc météorologique. Les valeurs obtenues ont été comparées à l'E.T.P. calculée pendant les mêmes périodes en utilisant la méthode de PENMAN (1948). Les résultats ont été reportés sur la figure 2. Tant que l'E.T.R.M. est inférieure à 6 mm, il y a un très bon accord entre les deux grandeurs comparées. Au-delà on constate l'apparition d'un biais, l'E.T.R.M. pouvant excéder l'E.T.P. calculée de plus de 10% en moyenne pour les fortes valeurs. Un phénomène d'advection de petite échelle pourrait être à l'origine de ce biais mais ceci peut être également dû au procédé utilisé pour mesurer la vitesse du vent. En effet, sur de nombreuses stations on constate que la vitesse du vent est plus grande le jour que la nuit. En considérant un vent moyen sur 24 heures on sous-estime le deuxième terme de la formule de PENMAN, d'où l'apparition d'un biais pour les fortes valeurs de la vitesse du vent. Cette différence ne se manifestant que dans des conditions bien particulières nous avons considéré l'E.T.P. suivant PENMAN comme un bon estimateur de l'évapotranspiration potentielle.

Les mesures de rayonnement global, nécessaires à cette estimation, n'ont commencé qu'à la fin de 1968, l'étude qui va suivre portera donc sur la période fin 1968-1982.

III. ETUDE EMPIRIQUE DE LA RELATION ENTRE L'E.T.P. ET L'EVAPORATION DU BAC

Pour les deux stations, nous avons étudié l'évolution mensuelle de la valeur du rapport entre l'évaporation du bac et l'E.T.P., soit l'évolution des valeurs de $k_{bac} = \frac{E_{ba}}{ETP}$ (voir figure 3).

Dans les deux cas on constate l'existence d'un effet saisonnier, la valeur de k_{bac} diminuant nettement en saison des pluies.

D'autre part les valeurs de k_{bac} sur la station de Bebedouro sont en moyenne inférieures de 15% à celle de Mandacaru ; ce phénomène semble lié à la différence de vitesse de vent entre les deux stations.

Si maintenant on s'intéresse à l'influence des différents facteurs météorologiques sur les valeurs de k_{bac} , on s'aperçoit que deux d'entre eux jouent un rôle prépondérant : la vitesse V du vent et l'humidité relative HR (voir figure 4).

Considérons l'influence de la vitesse du vent. On constate que les relations $k_{bac} = f(V)$ relatives à chaque station sont des fonctions croissantes très voisines l'une de l'autre. Ceci confirme le rôle de la vitesse du vent pour expliquer les différences de valeur moyenne de k_{bac} à Mandacaru et à Bébédouro.

En ce qui concerne l'humidité relative, son influence se traduit dans les deux cas par une courbe décroissante s'apparentant, en première approximation, à une branche d'hyperbole.

Les valeurs de k_{bac} varient de 1,55 à 1,95 à Mandacaru et de 1,35 à 1,85 à Bebedouro ; ce qui est considérable. Pour améliorer l'estimation de l'E.T.P. à partir de l'évaporation du bac, la FAO (24, 1976) préconise l'utilisation de coefficients correcteurs dépendant de la vitesse du vent, de l'humidité relative et des conditions d'installation du bac (sol nu, etc...).

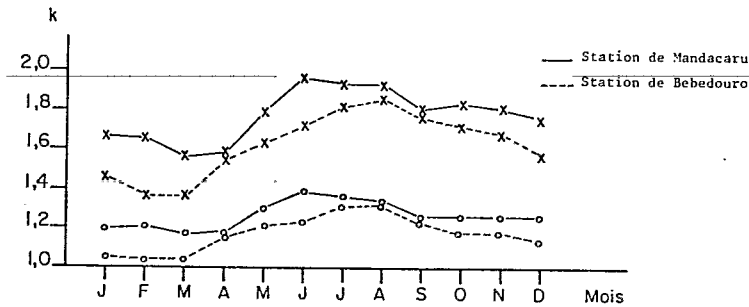


Fig. 3 - Evolution des valeurs de k en fonction du mois

$$x \quad k = \frac{\text{évanoration du bac}}{\text{ETP} \cdot \text{PENMAN}}$$

$$o \quad k = \frac{\text{évanoration du bac}}{C(V, HR, \dots) \times \text{E.T.P.}}$$

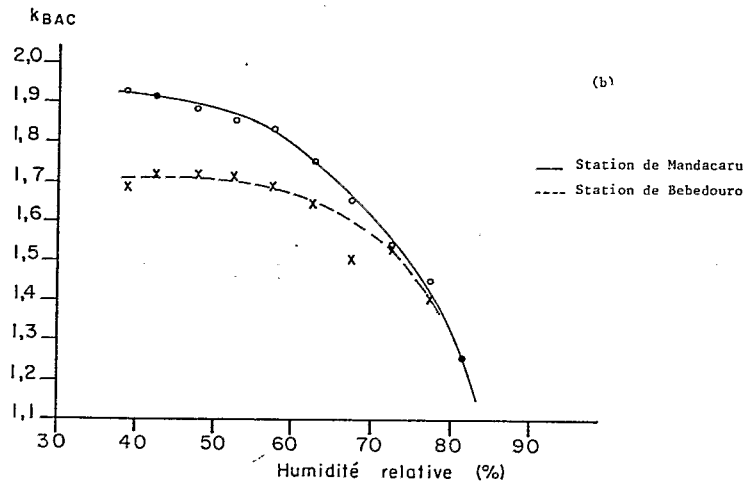
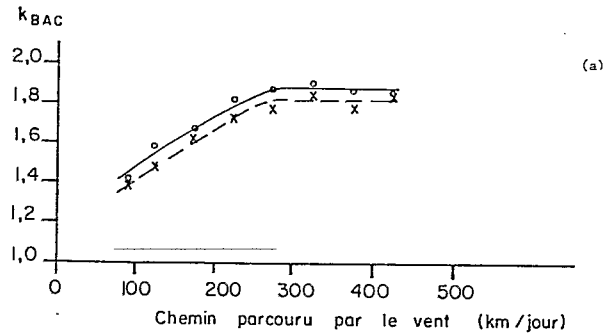


Fig. 4 - Evolution des valeurs de k_{BAC} en fonction
 a) de la vitesse du vent
 b) de l'humidité relative

Soit $C(V, HR, \dots)$ la forme générale de ces coefficients.

$$\text{On a : } E_{\text{bac}} = C(V, HR, \dots) \times \text{E.T.P.}$$

Comme précédemment nous avons étudié (voir figure 3) l'évolution des valeurs prises par le coefficient k_{FAO} défini de la façon suivante:

$$k_{FAO} = \frac{1}{C(V, HR, \dots)} \times \frac{E_{\text{bac}}}{\text{E.T.P.}}$$

Les résultats obtenus montrent une amélioration sensible dans l'estimation de l'E.T.P. ; en dépit de cela, celle-ci reste nettement surestimée surtout sur la station de Mandacaru.

IV. EMPLOI DE CONSIDERATIONS THEORIQUES POUR ESTIMER L'E.T.P. A PARTIR DU BAC CLASSE A

4.1. Présentation de la méthode

En 1979 PERRIER et HALLAIRE s'appuyant sur les considérations théoriques ayant permis d'établir la formule de PENMAN démontrèrent la formule suivante :

$$\frac{E_{\text{bac}}}{\text{E.T.P.}} = \frac{1 + \alpha\beta(1 - HR)}{1 + \alpha(1 - HR)} \quad (1)$$

α et β étant deux coefficients que l'on détermine empiriquement et ayant pour expression respective :

$$\alpha = \gamma \left(\frac{LM}{RT} \left(\frac{P}{P'} \right) \left(\frac{h_0(V)}{R_n} \right) \right) \quad (2)$$

$$\text{et } \beta = \frac{h_0(V)}{h_b(V)} \quad (3)$$

où γ est la constante psychrométrique, L la chaleur latente de vaporisation de l'eau, M la masse molaire de l'air, R la constante des gaz parfaits, T la température de l'air en degrés Kelvin, P la pression de vapeur à la température T , P' la dérivée de la pression de vapeur, R_n le rayonnement net, h_0 et $h_b(V)$ deux fonctions donnant l'effet du vent sur un gazon court et sur le bac classe A.

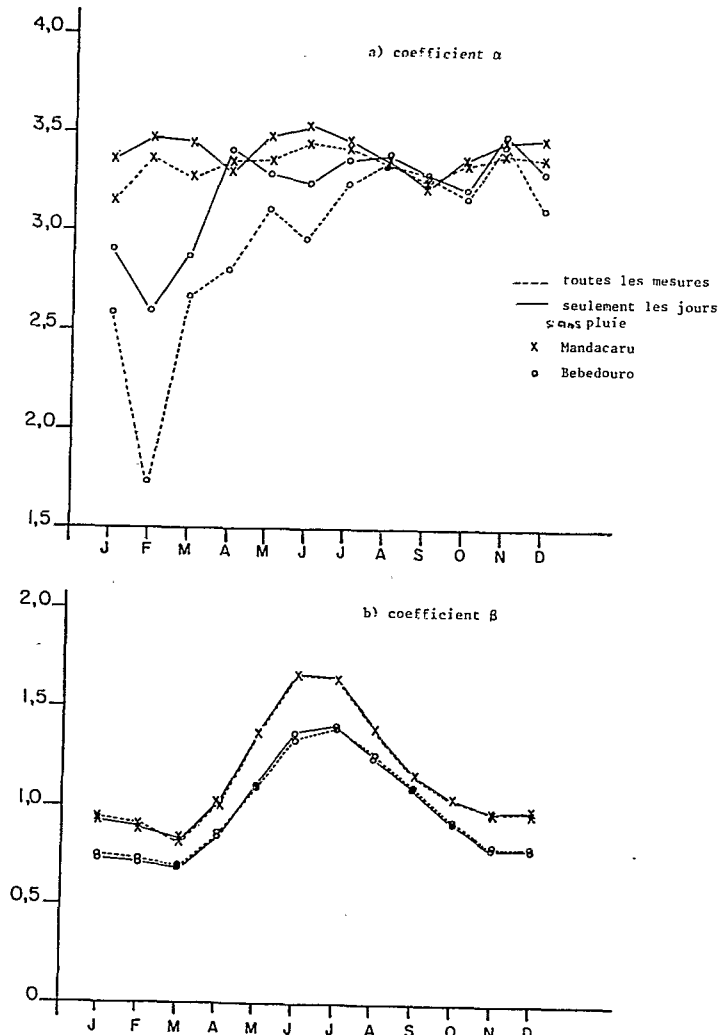
α n'étant fonction que de paramètres météorologiques traduit l'action du climat.

β se définit comme la différence de réaction au facteur vent entre l'abri météorologique et le bac classe A. Or c'est surtout pour le vent que cette différence est importante (HANSON 1977) ; on peut donc considérer β comme un facteur d'environnement caractérisant l'installation du bac.

Pour obtenir ces résultats il a fallu formuler certaines hypothèses dont nous allons examiner la validité.

Tout d'abord PERRIER et HALLAIRE ont supposé que le rayonnement net était identique au-dessus d'un bac et au-dessus du gazon ; en toute rigueur ceci n'est pas exact et MUKKAMAL (1977) a trouvé une différence moyenne de 15% entre ces deux grandeurs.

D'autre part, pour établir la formule de PENMAN on a négligé

Fig. 5 Evolution mensuelle des valeurs de α et β

dans le bilan d'énergie du bac le terme d'accumulation ; autrement dit on ne tient aucun compte de l'inertie thermique de l'eau du bac. Or, sous un climat très différent il est vrai, FERGUSON (1975) a trouvé que ce terme intervient en moyenne pour 12% dans l'énergie utilisée par le bac pour évaporer, cette proportion pouvant augmenter notablement en cas de brusque variation des conditions thermiques (chute de pluie abondante par exemple). L'acceptation de cette dernière hypothèse suggère donc d'utiliser cette méthode sur des périodes nettement plus longues que la journée.

Reprenons la formule (1) et faisons varier l'humidité relative, les autres facteurs météorologiques gardant une valeur constante. On constate que le rapport E_{bac}/ETP est une fonction hyperbolique de l'humidité relative. Cette convergence avec les résultats exposés dans le paragraphe 3 suggère l'utilisation de cette formule pour estimer, avec nos données, l'E.T.P. à partir du bac de classe A.

4.2. Calcul de α et β

Nous avons effectué le calcul des valeurs journalières de α et β et réalisé l'étude de leur variation mensuelle (voir figure 5).

A une constante multiplicative près les valeurs de α sont identiques sur les deux stations.

β prend une valeur quasi constante à Mandacaru et pendant la saison sèche à Bebedouro, par contre ce coefficient varie notablement dans cette dernière station pendant la saison humide.

L'examen des données journalières nous a amené à refaire l'étude précédente mais en éliminant les jours de pluie (voir figure 5). Les valeurs de α sur les deux stations et de β à Mandacaru restent pratiquement inchangées. Par contre, en saison des pluies, les valeurs de β des deux stations se rapprochent sensiblement bien que restent plus faibles à Bebedouro pendant les trois premiers mois de l'année. Il semblerait en fait que dans les observations de Bebedouro il n'ait pas toujours été tenu compte de la pluie tombée pour évaluer l'évaporation du bac.

Pour cette raison les jours de pluie ont été éliminés de la suite de l'étude mais cela ne doit en rien modifier les conclusions à venir.

4.3. Interprétation des valeurs prises par α et β

Suivant la période de l'année α varie du simple au double ce qui peut paraître en contradiction avec les résultats obtenus par PERRIER et HALLAIRE. En fait l'analyse de ces deux auteurs avait pour but d'interpréter de façon théorique les résultats obtenus par BALDY (1977) en Haute Volta. Le climat de cette région se caractérise par une amplitude extrême de la variation d'humidité relative au cours de l'année et par une vitesse de vent assez faible et peu variable.

α est une fonction du rayonnement net, de la température et du vent.

$$\alpha = \alpha(R_n, T, V)$$

Dans une certaine mesure les effets du rayonnement net et de la température tendent à s'y compenser. Si le vent varie peu, α variera peu également, c'est le cas étudié en Haute Volta. Il n'en va pas de même dans le Nordeste où le vent moyen atteint parfois des valeurs assez élevées ; d'où l'évolution constatée.

C'est également au vent qu'on attribuera les différences de valeur

entre les coefficients α de Bebedouro et ceux de Mandacaru ; c'est en effet le seul paramètre variant notablement entre les deux stations (voir figure 1). Par conséquent le coefficient multiplicatif permettant de passer des valeurs de α de Mandacaru à celles de Bébédouro sera uniquement fonction du vent.

β caractérisant l'installation du bac devrait varier assez peu en cours d'année. C'est ce que nous avons constaté puisqu'il présente la même valeur constante sur les deux stations sauf à Bébédouro pendant les trois premiers mois de l'année.

4.4. Application - Résultats

Pour chaque station nous avons considéré une valeur de α caractéristique de chaque saison et deux périodes de transition (voir tableau ci-dessous).

Numéro du mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Station de Mandacaru	0,91	0,91	0,91	1,04	1,38	1,65	1,65	1,38	1,16	1,04	0,91	0,91
Station de Bébédouro	0,78	0,78	0,78	0,90	1,10	1,33	1,33	1,33	1,10	0,90	0,78	0,78

Tableau 2 - valeurs affectées à α en fonction du mois et de la station

Pour β nous avons adopté une valeur unique $\beta = 3,37$ sauf pour la station de Bébédouro pendant les trois premiers mois de l'année : $\beta = 2,80$.

Nous avons ensuite estimé les valeurs journalières de l'évapotranspiration en utilisant la formule (1) puis, comme précédemment, nous avons étudié le rapport $k_{\alpha\beta}$ entre l'E.T.P. estimée à partir du bac et celle obtenue à partir de la formule de PENMAN.

Les valeurs de $k_{\alpha\beta}$ sont évidemment très proches de l'unité (voir figure 6) puisque ce sont les données de Mandacaru et Bébédouro qui ont permis d'obtenir les coefficients α et β . Ce qui est plus intéressant c'est l'évolution mois par mois de l'écart-type $\sigma_{k_{\alpha\beta}}$ de $k_{\alpha\beta}$.

En particulier, dans l'estimation de l'E.T.P. à l'échelle de la journée, on constate que cet écart-type est d'autant plus important que sont plus probables les changements de temps brutaux (pluie, etc...) ; par contre à l'échelle de l'estimation mensuelle de l'E.T.P. cette fluctuation saisonnière de $\sigma_{k_{\alpha\beta}}$ disparaît presque complètement (voir figure 6). Ceci met en relief l'inadéquation de la seconde hypothèse acceptée lorsqu'on travaille à des échelles de temps courtes.

Nous avons alors étudié la variation de l'écart-type sur $k_{\alpha\beta}$ en fonction de la période d'estimation de l'E.T.P. et nous avons obtenu le tableau suivant :

Durée en jours de la période d'estimation	1	3	5	10	30
Station de Mandacaru écart-type sur $k_{\alpha\beta}$	0,167	0,129	0,117	0,107	0,096
Station de Bebedouro écart-type sur $k_{\alpha\beta}$	0,260	0,153	0,132	0,114	0,096

Tableau 3 - écart-type sur $k_{\alpha\beta}$ en fonction de la période d'estimation de l'E.T.P.

Dès que la période d'estimation de l'E.T.P. devient suffisamment longue la précision avec laquelle est connu $k_{\alpha\beta}$ et par conséquent l'E.T.P. devient acceptable et nous avons fixé à la pentade la limite d'échelle de temps au-dessous de laquelle il convient de ne pas descendre.

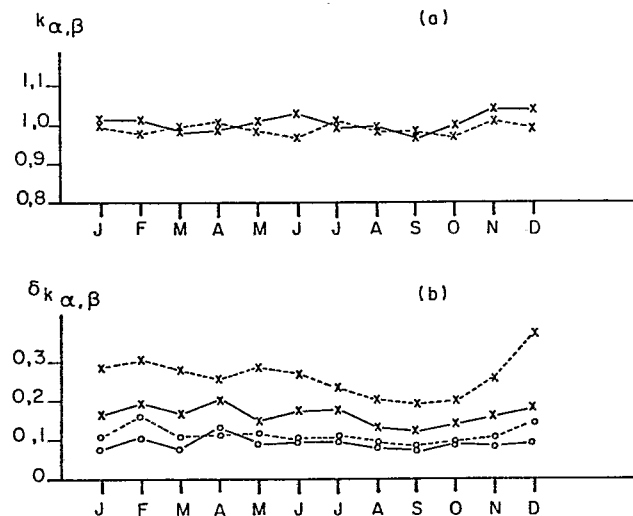


Fig. 6 - Evolution mensuelle des valeurs de $k_{\alpha,\beta}$

a) valeurs de $k_{\alpha,\beta}$

b) écart-type de $k_{\alpha,\beta}$

--- Bebedouro

— Mandacaru

x Valeurs journalières

o Moyennes mensuelles

CONCLUSION

Ces derniers résultats suggèrent une méthode qui permette d'estimer à l'échelle de la pentade, dans n'importe quel point de la région, l'E.T.P. à partir de l'évaporation du bac classe A.

En effet, d'une station à l'autre les valeurs de α paraissent liées par un coefficient multiplicatif ne dépendant que du vent moyen sur les deux sites, il suffit de connaître ce coefficient et d'avoir les valeurs de α de la station de référence pour obtenir les valeurs de α de la station étudiée. Le coefficient multiplicatif ne demandant pas d'être connu avec une grande précision, son étude en quelques stations devrait suffire pour déterminer sa forme.

En l'absence d'autres résultats nous prendrons $\beta = 3,37$ mais il est vraisemblable que lorsque les données des quelques postes météorologiques complets que comporte la région auront été traitées, on sera en mesure de différencier les divers cas (mesures sur sol nu, sur gazon, etc...).

Moyennant quoi pour connaître l'E.T.P. il suffira de connaître l'humidité relative et d'appliquer la formule suivante :

$$E.T.P. = \frac{1 + \alpha(1 - HR)}{1 + \alpha\beta(1 - HR)} \times E_{\text{bac}}$$

La précision obtenue ne devrait pas différer notablement de celle donnée par le traitement des stations de Mandacaru et Bebedouro soit deux fois sur trois être meilleure que 10%. Un point reste cependant à préciser celui du biais éventuel introduit dans le deuxième terme de PENMAN en utilisant le chemin parcouru en 24 heures par le vent.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la Direction du CPATSA* qui nous a permis d'utiliser les données des stations de Bebedouro et Mandacaru ainsi que le service de Biométrie du CNRA pour son aide dans l'informatisation des données et pour sa compréhension dans l'accès aux moyens de calcul.

Abstract

More than one hundred class A tanks and less than fifteen full meteorological stations can be found in the semi-arid area of northeastern Brazil. Estimation of PET based on data supplied by these tanks would be of interest.

In this work, daily evaporation data collected over a period of 36 years from class A tanks situated in two nearby stations within the dry zone were compared to the corresponding values of PET calculated following PENMAN's formula.

Analysis of gross evaporation values, even using coefficients of correction, gave but a mediocre estimation of PET. On the other hand, a semi-empirical method using 2 coefficients α et β which characterize the climate and the environment of the tank respectively gave more promising results, with approx. 10% accuracy in the estimation of PET over a pentad. The application of such a method requires a knowledge of both the daily mean relative humidity and the approximate average wind speed.

* Centro de Pesquisa Agropecuária do Tropicó Semi-Árido.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARAGÃO O.P. de, ARAUJO J.P. de - 1979 - Relações entre a evapotranspiração potencial da alfafa *Medicago sativa* e grama *Spenotraphrum secundatum* com tanques classe A sob diferentes exposições. Seminario nacional de irrigação e drenagem, 3, Fortaleza, CE, 1975. Anais Recife (Brésil), DNCOS/ABID, V3, 92-95.
- BALDY Ch. - 1978 - Utilisation d'une relation simple entre le bac classe A et la formule de PENMAN pour l'estimation de l'E.T.P. en zone Soudano-Sahélienne. Ann. agron., 29 (5), 439-452.
- CARDON D., AMORIM NETO M. da S. - 1983 - Relação entre a radiação global e a insolação na região de Petrolina (Pernambuco). III Congresso brasileiro de agrometeorologia, 17 a 22 de julho de 1983 - Caminas (SP) Brésil.
- FERGUSON H.L., MUKKAMAL E.I. - 1975 - The AES/WMO pan evaporation research project. Can. Hydro. Symp. 1975 Proc. NCR Ottawa, Canada.
- HANSON C.L., RAUZI F. - 1977 - Class A pan evaporation as affected by shelter and a daily prediction equation. Agric. meteorol. 18 (1), 26-36.
- MUKKAMAL E.I., NEUMANN H.H. - 1977 - Application of Priestley-Taylor evaporation model to assess the influence of soil moisture on the evaporation from a large weighing lysimeter and class A pan. Boundary Layer Meteorol. 12 (2), 243-296.
- O.A.A./F.A.O. - 1976 - Les besoins en eau des cultures. F.A.O. Bull. irrig. drainage, 24, 198 p.
- PENMAN H.L. - 1948 - Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceed. Roy. Soc. London, A, 193, 129-145.
- PERRIER A., HALLAIRE M. - 1979 - Rapport de l'évapotranspiration potentielle calculée à l'évaporation mesurée sur bac. I - Justification d'une relation expérimentale obtenue en zone tropicale. Ann. agron., 30 (4), 329-336.