

DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE EN VUE DE L'ETUDE
DU BILAN HYDRIQUE DANS LA ZONE SAHELIENNE SENEGALAISE

La connaissance du bilan hydrique en un lieu, peut se résumer en la confrontation en ce lieu des disponibilités en eau et de la demande évaporative. Cette dernière, considérée comme élément climatique est caractérisée par la notion d'ETP ou Evapotranspiration potentielle.

I - METHODE -

La détermination de l'ETP est relativement complexe et a fait l'objet de très nombreuses études tant théoriques que pratiques. Il existe en général trois façons de procéder :

- soit par des mesures directes
- soit par des mesures indirectes
- soit par le calcul à partir des données climatiques suivant des formules plus ou moins empiriques.

1) - Les mesures directes à partir d'évapotranspiromètres

Elles constituent les mesures de référence. Elles sont précises et significatives si les précautions nécessaires (anneau de garde, soins constants...), ont été prises. Mais l'installation est coûteuse, grosse consommatrice d'eau en zone sèche, pour l'irrigation de l'anneau de garde que l'on doit choisir aussi grande que possible. Elles nécessitent un entretien constant, une surveillance permanente par un personnel compétent. Il était donc exclu que nous puissions installer des évapotranspiromètres dans une station de mesure éloignée, avec un personnel réduit et souvent pas ou peu d'eau.

2) - Les mesures indirectes

Elles sont effectuées au moyen de bacs d'évaporation ou d'évaporomètres, dont le plus courant est l'évaporimètre PICHE.

2.1. Les bacs d'évaporation

Dans les différents réseaux de mesures, trois types de bacs sont essentiellement utilisés : le bac Colorado américain, enterré, le bac "ORSTOM" également enterré,

carré, de 1 m de côté, type "hydrologie" Normalisé, et le bac dit de classe "A", bac cylindrique surélevé de 1,21 m de diamètre.

Au Sénégal, des mesures d'évaporation bac ont été effectuées par l'IRAT depuis 1969 dans ses principales stations. Ont été utilisés simultanément les bacs "classe A" et les bacs enterrés de type ORSTOM : les résultats montrent des données cohérentes pour les deux types de bacs, comparables grâce à des relations statistiques (DANCETTE 1976, RIOU 1975). L'orientation actuelle, dans un souci de normalisation, semble se faire vers les bacs de classe "A" qui ont été également utilisés par RIJKS sur la vallée du Fleuve Sénégal.

Cependant, les facilités de réalisation locale du bac carré enterré type ORSTOM, ainsi que son faible coût nous ont conduit à choisir ce dernier. Utilisé en Afrique par la section hydrologie de l'ORSTOM, il existe des séries importantes de données permettant des comparaisons. Il a fait l'objet d'études approfondies en Afrique Centrale (RIOU 1975) dans une région allant de la zone sahélienne à la zone équatoriale. D'autre part, il est moins sensible que le bac "classe A" aux variations climatiques rapides, et de ce fait, plus proche de l'évaporation d'une masse d'eau importante ou d'un couvert végétal étendu (RIOU 1975).

2.1.1. Utilisation des bacs d'évaporation

Courant 1975, nous avons installé trois bacs d'évaporation dans trois stations réparties suivant le gradient climatique nord-sud en zone sahélienne sénégalaise :

- à la station des Eaux et Forêts de M'Bidy
- au C.R.Z. de Dahra
- au Ranch de N'Doli.

Un quatrième bac a été installé à la station expérimental de Sangalkam dans une zone climatique différente. Ces bacs ont fonctionné régulièrement depuis juin 1975 à l'exception de l'installation de N'Doli qui en raison de l'absence sur place de personnel sérieux et compétent a dû être abandonnée.

L'installation de ces bacs a été effectuée suivant la recommandation de RIOU (1975) "L'implantation du bac doit être effectuée dans un site représentatif de la zone étudiée : par exemple en zone sèche, une parcelle de sol nu sur laquelle on peut laisser s'installer une courte végétation naturelle en raison de pluies". Une protection a été assurée contre les animaux risquant de venir boire l'eau du bac. Les mesures sont effectuées de façon volumétrique, avec installation d'une pointe fixe. En période pluvieuse, les quantités d'eau reçues par le bac sont évaluées par un pluviomètre au sol.

2.1.2. Exploitation des résultats

Le bac d'eau libre est un appareil simple et peu coûteux, mais en contre partie ses données ne sont pas directement transposables pour le calcul de l'ETP. RIOU (1975) propose une relation dérivant de l'analyse de l'évaporation d'une surface d'eau libre de petites dimensions et permettant d'évaluer l'ETP à l'aide des données du bac et des données climatiques. A l'échelle d'une région, le climat est repéré par des mesures effectuées au-dessus du sol au niveau de l'abri météorologique (généralement 2 m). Pour le bac un autre climat doit être défini et il ne pourrait être repéré que par des mesures situées très près de la surface du bac, à une hauteur z qui dépend des dimensions de ce bac. L'évaporation du bac peut être analysée par les formules usuelles à condition d'y introduire les éléments du microclimat obtenu à la hauteur z . Les éléments obtenus à 2 m ne sont pas influencés par l'introduction du bac, on peut rattacher ces derniers à ceux qui définissent le climat au niveau z . Il est alors possible d'exprimer l'évaporation du bac en fonction des données usuelles du climat et de paramètres dépendant de la surface du bac. La formule ainsi obtenue n'est guère utilisable, mais elle se simplifie dans le cas d'un petit bac pour lequel l'effet d'hétérogénéité est maximum. Le bac de 1 m², les résultats expérimentaux le montrent, a une évaporation voisine d'un tel bac.

Une méthode identique à celle de Penman conduit alors à une expression de l'évaporation valable pour le bac de 1 m² $E_{bac} = \frac{Q/L + \gamma Ea}{\Delta + 2\gamma}$

où Q : Bilan de rayonnement, L : chaleur latente de vaporisation : E_a = terme advectif, qui peut être calculé par la relation $E_a = b U (e_a - e_d)$

où e_a est la pression de vapeur saturante à la température de l'air θ_a , e_d la pression de vapeur saturante mesurée sous abri, U : la vitesse du vent à 2 m

γ est la constante psychrométrique

$$\text{et } \Delta = \frac{de}{d\theta}$$

La consommation d'eau d'un couvert végétal bien irrigué est en général traduite correctement par la relation.

$ETP = f \cdot \frac{Q/L + \gamma Ea}{\Delta + \gamma}$ f étant un coefficient de réduction qui peut varier avec la saison et le type de couvert végétal. On en déduit une relation entre ETP et E_{bac}

$$ETP = f \cdot \frac{\Delta + 2\gamma}{\Delta + \gamma} \left(E_{bac} - \frac{\gamma Ea}{\Delta + 2\gamma} \right)$$

On peut remarquer que le terme $F \cdot \frac{\Delta + 2\gamma}{\Delta + \gamma}$

varie peu. Dans la région étudiée par RIOU (Afrique Centrale)

Δ varie pratiquement entre 1,2 et 1,9, f reste proche de 0,8.

Il est donc possible d'écrire :

$$ETP \neq E_{bac} - \frac{\gamma E_a}{\Delta + 2\gamma} \text{ au terme correctif près.}$$

Une étude ayant porté sur 7 années dans la zone sahélienne du Tchad montre que le meilleur ajustement a été fait avec le terme correctif 0,96 (RIOU 1975).

$$ETP = 0,96 E_{bac} - \frac{\gamma E_a}{\Delta + 2\gamma}$$

avec ETP et E_{bac} en mm/j

et E_a = 0,24 U (e_a - e_d) (RIOU 1975)

U = vitesse du vent à 2 m en m/s

e_a et e_d en mbar

Le terme $\frac{\gamma E_a}{\Delta + 2\gamma}$ peut s'écrire E_a $\left(\frac{1}{\frac{\Delta}{\gamma} + 2} \right)$

Or pour les calculs, les valeurs de : $\lambda = 1 + \frac{\Delta}{\gamma}$ en fonction de (θ) sont données par une table de BOUCHET (1964)

la relation devient :

$$ETP = 0,96 \left[E_{bac} - \frac{0,24 U (e_a - e_d)}{\lambda + 1} \right]$$

Dans le cas où les données nécessaires à cette estimation font défaut (cas d'une station météo trop incomplète ou éloignée) il est alors possible d'estimer l'ETP en multipliant les données du bac par un coefficient variable suivant la saison et le climat ETP = α E_{bac}. Ce procédé empirique couramment utilisé donne des résultats assez satisfaisants.

A partir des études réalisées en Afrique Centrale RIOU donne pour le climat sahélien, les valeurs suivantes de α

mois les plus frais	α = 0,67
saison des pluies	α = 0,77
saison chaude	α = 0,70 à 0,75

α variant en fait suivant l'aridité du climat, il nous a paru intéressant de relier les variations calculées de α aux variations d'un indice climatique : DANCETTE et SCHOCH (1968) utilisent comme indice d'aridité climatique la différence entre la température minimum et la température du point de rosée. RIOU (1975) souligne l'intérêt du Piche comme indice climatique lorsque les mesures sont faites dans des conditions comparables. Il est à noter que ces deux indices traduisent l'état hydrique de la masse d'air et non l'aridité. C'est ainsi qu'en zone sahélienne il y a un décalage important entre l'arrivée du front intertropical qui amène de l'air humide et le début des pluies. La variation de la pression de vapeur d'eau influence le rayonnement net mais non l'ETR, entièrement conditionné en cette saison par la pluie.

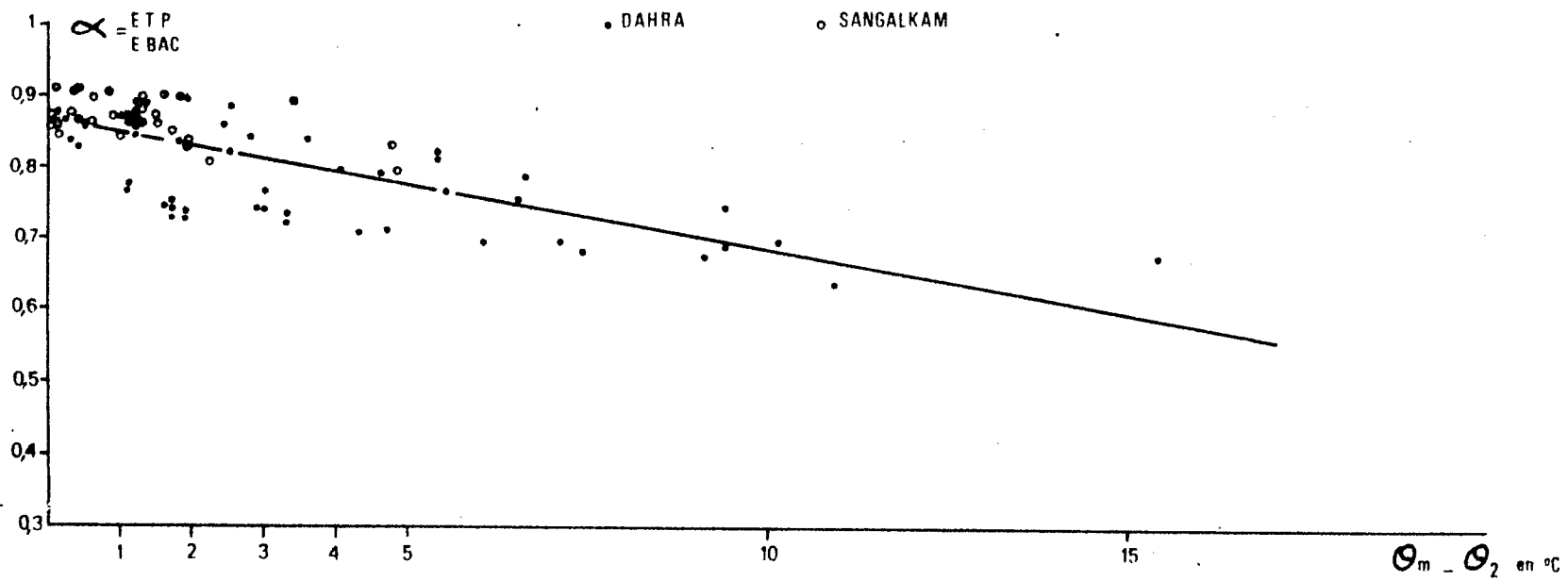
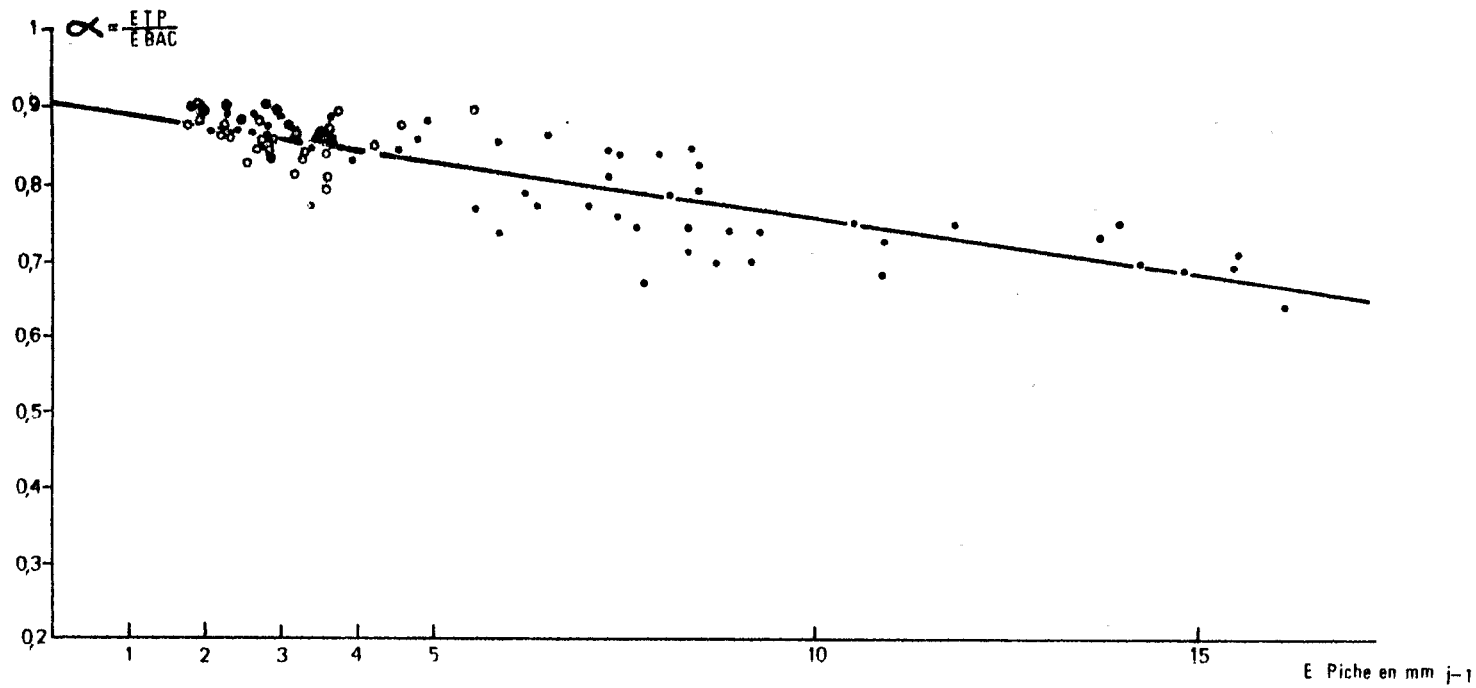


Fig.1_ Variation du rapport $\alpha = \frac{ETP}{E_{BAC}}$ en fonction de E piche et de $\theta_m - \theta_2$

La figure 1, montre qu'il existe une corrélation entre les valeurs de $\alpha = \frac{ETP}{E_{bac}}$ et Epiche en mm/j d'une part et entre α et $\theta_m - \theta_r$ d'autre part.

Le calcul nous donne les équations de régression suivantes :

$$\alpha = -0,015 E_p + 0,906 \quad \text{avec } r = 0,841 \quad F \text{ calc.} = 212,46$$

$$r_{0,01} = 0,267 \quad F_{0,01} = 7,00$$

ou
$$\alpha = -0,018 (\theta_m - \theta_r) + 0,865 \quad r = 0,750 \quad F \text{ calc.} = 111,63$$

$$r_{0,01} = 0,267 \quad F_{0,01} = 7,00$$

Les deux régressions sont significatives au seuil de probabilité de 1 % cependant la relation avec Epiche a un coefficient de corrélation r plus élevée et une variance résiduelle moindre. Pour le calcul de ETP dans les stations incomplètes telle M'Bidi nous utiliserons la relation $ETP = E_{bac} (0,906 - 0,018 E_p)$

2.2. Evaporimètre Piche

L'évaporimètre piche est utilisé depuis longtemps et traditionnellement placé dans l'abri météorologique, ses données sont régulièrement citées.

Le grand nombre de données existantes et la simplicité de l'appareil a conduit de nombreux auteurs à tenter de l'utiliser pour déterminer l'évapotranspiration potentielle. Le Piche a fait l'objet de plusieurs études théoriques - BOUCHET 1963, RIOU 1975... permettant de mieux préciser la signification des mesures sous abri.

De l'application de la formule de PENMAN au Piche, BOUCHET déduit la formule dite "de Piche corrigée".

$$ETP = \alpha_1 \alpha_2 E_p \left[1 + \frac{F'(\theta)}{\gamma} \right]$$

où EP est l'évaporation piche

$F'(\theta)$ la dérivée de l'équation donnant la tension de vapeur en fonction de la température θ : $F'(\theta) = \Delta$

γ est la constante de BOWEN

L'expression $1 + \frac{F'(\theta)}{\gamma} = \lambda$ a été calculée en fonction de (θ) par BOUCHET (1964).

Le coefficient α_1 est fonction du rapport $\frac{RN}{E_a}$ lui même fonction du rapport $\frac{ETR}{ETP}$ qui traduit l'aridité de la région.

Le coefficient α_2 dépend surtout du type d'abri et de sa hauteur au-dessus du sol, dans le cas d'abri normalisé on peut considérer α_2 comme constant.

SCHOCH et DANCETTE (1968) pour le calcul de l'ETP au Sénégal ont repris la formule de Piche corrigée en donnant une loi de variation de $\alpha = \alpha_1 \cdot \alpha_2$ en fonction de l'aridité du lieu. En effet en région subtropicale, caractérisée par une saison sans pluie et une saison à pluviométrie abondante ETR peut varier de pratiquement 0 à ETP suivant les périodes. On peut donc s'attendre à observer des variations importantes du coefficient α . Ces auteurs ont essayé de relier les variations de α à une donnée climatique simple, traduisant assez bien l'aridité de la région : la différence entre les températures minimales de l'air et du point de rosée. Les résultats qu'ils ont obtenus pour 3 stations à climats très différents (SEFA, BAMBEY et RICHARD-TOLL) ont permis de mettre en évidence les variations de α avec l'aridité de la région, α diminue lorsque l'aridité et l'évaporation sous abri augmentent. La détermination des valeurs de α permet d'utiliser la formule dite du piche corrigé pour des zones d'aridité très différentes (CORNET 1974). Cependant, comme le souligne RIOU (1975) "La formule dite du piche corrigé, souffre du même défaut que les formules empiriques basées sur un petit nombre de facteurs du climat. On peut évidemment perfectionner la formule et introduire des termes correctifs mais dans ce cas l'analyse nécessaire à l'application de la formule est telle, qu'elle y perd son intérêt, qui est justement de donner des informations avec un minimum de données de base.

L'intérêt de l'évaporation piche comme indice climatique peut être pris en considération, à condition d'utiliser des abris normalisés permettant la comparaison des données.

RIOU (1972) signale l'intérêt du piche, qui permet de traduire l'influence du vent et de permettre une estimation de la vitesse de celui-ci quand il n'y a pas d'instrument de mesure.

Evaporation piche E_p

$$E_p = 0,59 (\theta_a - \theta_w) U^{0,78}$$

$$d'où U^{0,78} = \frac{E_p}{0,59 (\theta_a - \theta_w)}$$

θ_a = température de l'air θ_w = température du thermomètre mouillé.

3 - Calcul à partir des données climatiques

Le calcul de l'ETP à partir des données climatiques a conduit de très nombreux auteurs à déterminer des formules adaptées à cet objectif. La nature empirique de ces formules, le petit nombre de données utilisées fait qu'elles ne sont généralement applicables que dans un cadre étroit, et non transposables à des zones climatiques différentes. Seule la formule de PENMAN, basée sur l'analyse du bilan énergétique d'une surface évaporante semble donner des résultats satisfaisants.

Elle combine en effet deux facteurs :

Le rayonnement net Q et un terme EA qui est l'évaporation fictive d'une nappe d'eau libre qui serait à la température de l'air, sous la forme $E = \frac{Q/L + \gamma Ea}{\Delta + \gamma}$

où L est la chaleur latente de vaporisation de l'eau.

La formule de PENMAN doit finalement son succès à son aspect rationnel et à ses coefficients empiriques qui lui donnent sa souplesse d'utilisation.

Nous avons utilisé la formule de PENMAN sous la forme suivante (COCHEME, FRANQUIN, 1967).

$$ET = \frac{\Delta / \gamma (1 - \alpha') RA (0,18 + 0,90 \frac{n}{N}) - \sigma T^4 (0,56 - 0,092 \sqrt{e_d}) (0,10 + 0,90 \frac{n}{N}) + 0,35(ea - ed)(1 + \frac{U}{100})}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

où $\alpha' =$ abedo

RA = Rayonnement global au confin de l'atmosphère

n = durée d'ensoleillement en heure et 1/10

N = durée du jour en heure et 1/10

T = température de l'air en °C

ea = tension de vapeur saturante à la température de l'air

ed = tension de vapeur mesurée

U = vitesse du vent en m/s à 2 m

Les calculs ont été effectués sur calculateur grâce au Service d'Agroclimatologie ORSTOM de BONDY.

II - RESULTATS -

A partir des mesures effectuées en 1975 et 1976, nous avons calculé par décade pour Sangalkam et pour Dahra les ETP suivant les trois méthodes décrites :

- "Piche corrigé"
- "Bac corrigé"
- Formule de PENMAN*

Les résultats sont rapportés aux tableaux I et II.

La comparaison des résultats obtenus avec des mesures directes d'ETP n'est guère possible. En effet les seules mesures existantes sont celles de l'IRAT dans les stations de BAMBEY, RICHARD-TOLL et SEFA ; elles portent sur les années 1968/1969/1970 (DANCETTE 1976) ainsi que celle effectuée à GUEDE par la F.A.O. (RIJKS 1973). Il semble cependant que les valeurs obtenues par la méthode du bac corrigé soient les plus proches de l'ETP réelle, ce qui rejoint les études de DANCETTE et de RIOU pour la zone sahélienne. On obtient pour 1976 une ETP annuelle de 2332 mm pour Dahra et de 1593 mm pour Sangalkam. Les moyennes données par DANCETTE sont de 2404 mm pour Richard-Toll - 2011 mm pour Bambey - 1679 mm pour Séfa.

Les graphiques 2 et 3 montrent la comparaison des moyennes décadales suivant les 3 méthodes d'obtention. Il est à noter les divergences importantes entre les résultats, excepté pour Sangalkam où la méthode du Bac corrigé et la Formule de PENMAN donne des résultats très comparables. D'une façon générale, les écarts entre les résultats sont réduits en saison humide et importants en saison sèche. Or c'est durant la période humide qu'il est important de connaître l'ETP avec le plus de précision. Si l'on prend comme référence, la méthode du "Bac corrigé", on voit que par rapport aux résultats de cette dernière, la méthode du piche corrigé présente le plus d'écarts. Elle sous-estime nettement l'ETP pendant les périodes où l'humidité de l'air est forte et la température peu élevée. Par contre elle la sur-estime de façon importante durant les périodes où l'air est chaud et sec. Cela s'explique par le fait que le piche revient à la mesure du terme E_a de la formule de PENMAN : part de l'évaporation liée à l'énergie advective.

* Nous remercions Mr. P. FRANQUIN qui a permis que ce calcul soit réalisé aux Services Scientifiques Centraux de BONDY.

TABLEAU I - Comparaison des valeurs d'évaporation mesurées et calculées à DAHRA - Moyennes décadaires en mm/j.

D é c a d e			E mesurées		ETP Calculées		
			E piche	E bac	E piche corrigé	E bac corrigé	E PENMAN
Septembre	75	D1	2,1	4,1	2,5	3,6	4,7
"	75	D2	2,6	4,4	2,8	4,0	5,1
"	75	D3	2,3	5,2	2,5	4,6	5,0
Octobre	75	D1	3,7	5,5	3,5	4,9	6,2
"	75	D2	3,0	5,1	2,8	4,5	4,8
"	75	D3	4,8	6,3	4,4	5,4	5,1
Novembre	75	D1	7,3	6,5	4,5	5,3	4,4
"	75	D2	7,4	5,8	4,0	4,4	4,1
"	75	D3	7,7	7,0	3,2	5,2	3,9
Décembre	75	D1	7,9	6,9	5,1	5,8	3,9
"	75	D2	8,4	6,6	5,8	5,5	3,9
"	75	D3	8,5	6,6	4,7	5,4	3,6
Janvier	76	D1	8,2	6,4	4,5	5,0	3,9
"	76	D2	8,1	6,4	3,9	5,0	3,6
"	76	D3	7,8	6,0	3,3	4,0	3,7
Février	76	D1	8,4	7,3	4,5	5,1	4,5
"	76	D2	9,3	7,4	5,0	5,2	4,7
"	76	D3	10,9	9,9	4,4	6,7	5,2
Mars	76	D1	10,9	9,6	7,2	6,9	5,8
"	76	D2	10,4	8,7	8,0	6,5	5,2
"	76	D3	15,5	13,2	9,9	9,1	6,8
Avril	76	D1	14,3	12,6	8,9	8,7	6,8
"	76	D2	14,8	13,2	8,4	9,0	7,1
"	76	D3	16,1	14,3	9,4	9,1	7,6
Mai	76	D1	14,0	13,0	10,6	9,6	6,9
"	76	D2	15,6	13,8	12,1	9,7	7,4
"	76	D3	13,8	12,8	12,7	9,3	7,3
Juin	76	D1	11,8	12,2	12,6	9,1	7,1
"	76	D2	8,9	10,7	9,1	7,9	6,9
"	76	D3	9,3	10,8	9,4	8,0	6,9
Juillet	76	D1	8,4	10,4	9,1	7,7	7,0
"	76	D2	6,4	8,2	7,6	6,3	4,0
"	76	D3	6,2	8,9	8,1	7,0	6,1
Août	76	D1	5,0	8,6	5,8	7,0	5,8
"	76	D2	4,6	6,8	6,6	5,8	5,2
"	76	D3	3,4	4,3	3,9	3,4	5,3
Septembre	76	D1	4,0	4,9	5,7	4,0	5,3
"	76	D2	2,9	4,2	4,3	3,7	5,0
"	76	D3	2,7	3,5	4,0	3,0	4,1
Octobre	76	D1	3,4	5,0	3,8	4,3	4,8
"	76	D2	5,9	7,2	11,5	6,2	5,3
"	76	D3	7,9	7,2	15,0	6,1	5,1
Novembre	76	D1	6,5	6,5	8,1	5,6	4,7
"	76	D2	10,7	7,5	9,7	6,2	4,3
"	76	D3	11,8	8,7	5,9	6,1	4,4
Décembre	76	D1	10,6	7,0	6,0	5,4	3,9
"	76	D2	7,7	5,5	5,1	4,2	3,1
"	76	D3	7,7	5,3	4,9	3,9	3,5

TABLEAU II - Comparaison des valeurs d'évaporation mesurées et calculées à Sangalkam - Moyennes décadaires en mm/j.

D é c a d e			E mesurées		ETP calculées		
			E piche	E bac	E piche corrigé	E bac corrigé	E PENMAN
Novembre	75	D2	3,3	4,7	2,2	3,9	3,9
Novembre	75	D3	3,6	4,6	2,2	3,7	3,7
Décembre	75	D1	2,8	4,0	2,2	3,3	3,6
"	75	D2	2,8	4,1	3,3	3,5	3,6
"	75	D3	3,7	4,7	3,0	4,1	3,2
Janvier	76	D1	2,6	3,8	1,8	3,2	3,4
"	76	D2	4,2	4,9	3,0	4,2	3,1
"	76	D3	3,6	4,3	2,6	3,4	3,1
Février	76	D1	2,3	4,2	2,4	3,6	3,4
"	76	D2	2,7	4,2	3,0	3,7	3,5
"	76	D3	4,6	5,7	5,2	5,0	4,1
Mars	76	D1	2,3	4,8	2,4	4,2	4,0
"	76	D2	2,1	4,9	2,1	4,3	3,5
"	76	D3	3,3	5,6	3,5	4,7	4,6
Avril	76	D1	2,3	5,8	2,4	5,0	4,6
"	76	D2	2,7	4,0	2,6	5,2	4,5
"	76	D3	2,7	6,0	2,4	5,1	4,8
Mai	76	D1	2,8	6,4	2,6	5,5	4,8
"	76	D2	2,9	6,3	2,7	5,4	4,4
"	76	D3	2,2	5,9	2,5	5,1	4,9
Juin	76	D1	3,2	6,2	3,7	5,4	5,2
"	76	D2	3,1	6,1	3,8	5,3	4,9
"	76	D3	3,5	6,3	3,6	5,5	5,2
Juillet	76	D1	3,6	5,7	4,0	5,0	4,7
"	76	D2	3,7	5,5	3,8	4,7	4,3
"	76	D3	3,5	5,2	3,7	4,5	4,8
Août	76	D1	3,6	5,3	3,7	4,5	4,7
"	76	D2	2,4	5,3	2,5	4,7	4,9
"	76	D3	2,7	5,2	3,0	4,5	4,9
Septembre	76	D1	2,5	4,9	2,8	4,3	4,7
"	76	D2	2,0	3,8	2,6	3,4	4,3
"	76	D3	1,9	3,2	2,1	2,9	3,9
Octobre	76	D1	2,0	4,1	2,6	3,8	4,4
"	76	D2	2,3	5,2	3,1	4,7	4,9
"	76	D3	2,8	4,9	4,0	4,5	4,7
Novembre	76	D1	3,0	4,4	3,0	3,9	4,2
"	76	D2	3,0	4,4	2,7	4,0	3,8
"	76	D3	5,6	5,5	4,3	4,9	3,8
Décembre	76	D1	3,7	4,6	2,9	4,1	3,3
"	76	D2	1,8	3,1	1,5	2,7	2,5
"	76	D3	1,9	2,7	1,4	2,4	2,6

Or dans la zone à saison contrastée, le rapport Q/E_a varie de façon importante provoquant la modification du rapport $\frac{EP_{piche}}{ETP}$

Si l'on divise l'année suivant les caractéristiques climatiques du mois, on obtient :

Les mois secs et frais	: Janvier, Février, Mars
Les mois secs	: Avril, Novembre, Décembre
Les mois secs et chauds	: Mai, Juin, Octobre
Les mois humides	: Juillet, Août et Septembre.

Le tableau III montre la différence des résultats pour chaque période :

À Dahra en climat sec sahélien la formule du piche corrigé donne une surestimation de l'ETP de 17,5 % sur l'année, mais voisine de 40 % pour les mois chauds alors que durant les mois froids, la sous-estimation est de 5 %.

À Sangalkam en climat à tendance sub-canadienne plus frais et plus humide, cette méthode amène à une sous-estimation très importante de l'ordre de 33 %.

La formule de PENMAN, conduit à Sangalkam à une sous-estimation générale très faible : 3 %. Les écarts avec la méthode du Bac corrigé sont toujours inférieurs à 10 %, donc certainement non significatifs par rapport à la précision obtenue avec l'une ou l'autre.

À Dahra comme à Sangalkam, la formule de PENMAN conduit en saison humide à une surestimation de l'ETP que l'on peut considérer comme inférieure à 10 %. En saison sèche par contre à Dahra l'utilisation de la formule de PENMAN donne des résultats inférieurs d'environ 20 % au bac corrigé.

Les études d'Evapotranspiration en zone sahélienne ont montré (RIOU, 1975) (DANCETTE) que l'ETP peut être assez variable d'une année à l'autre dans une même station mais que cette variation se produit surtout pendant la période humide suivant l'abondance ou la rareté des pluies. D'une station à l'autre la variabilité des ETP est importante en zone sahélienne l'ETP croît vers le nord en même temps que les précipitations décroissent (voir fig. 4). Les écarts sont surtout marqués durant la période sèche et le début de la saison des pluies (installation plus ou moins tardive de celle-ci).

TABLEAU III - Variation des résultats par rapport à la méthode du bac corrigé en 1976 : a/ Dahra

Méthode		Mois froids J. F. M.	Mois secs A. N. D.	Mois chauds M. J. O.	Mois humides J. A ^t . S.	Total annuel
Bac corrigé	en mm	542,2	584,7	716,8	459,2	2 332,9
Piche corrigé	en mm	513,4	669,0	995,2	561,9	2 739,5
	Var. en %	- 5,4 %	+ 14,5 %	+ 39 %	+ 14,9	+ 17,5 %
PENMAN	en mm	439,3	457,2	589,0	508,6	1 994,3
	Var. en %	- 19 %	- 21,8 %	- 18 %	+ 4 %	- 14,6 %

b/ Sangalkam

Méthode		Mois froids J.F.M.	Mois secs A.N.D.	Mois chauds M. J. O.	Mois humides J ^t . A ^t . S.	Total annuel
Bac corrigé	en mm	364,8	375,0	460,7	392,5	1 593,0
Piche corrigé	en mm	269,6	232,8	291,4	289,2	1 073,0
	Var. en %	- 29 %	- 38, %	- 37 %	- 27 %	- 33 %
PENMAN	en mm	331,9	343,5	443,4	421,8	1 540,6
	Var. en %	- 9,1 %	- 8,4 %	- 3,8	+ 7,5 %	- 3,3 %

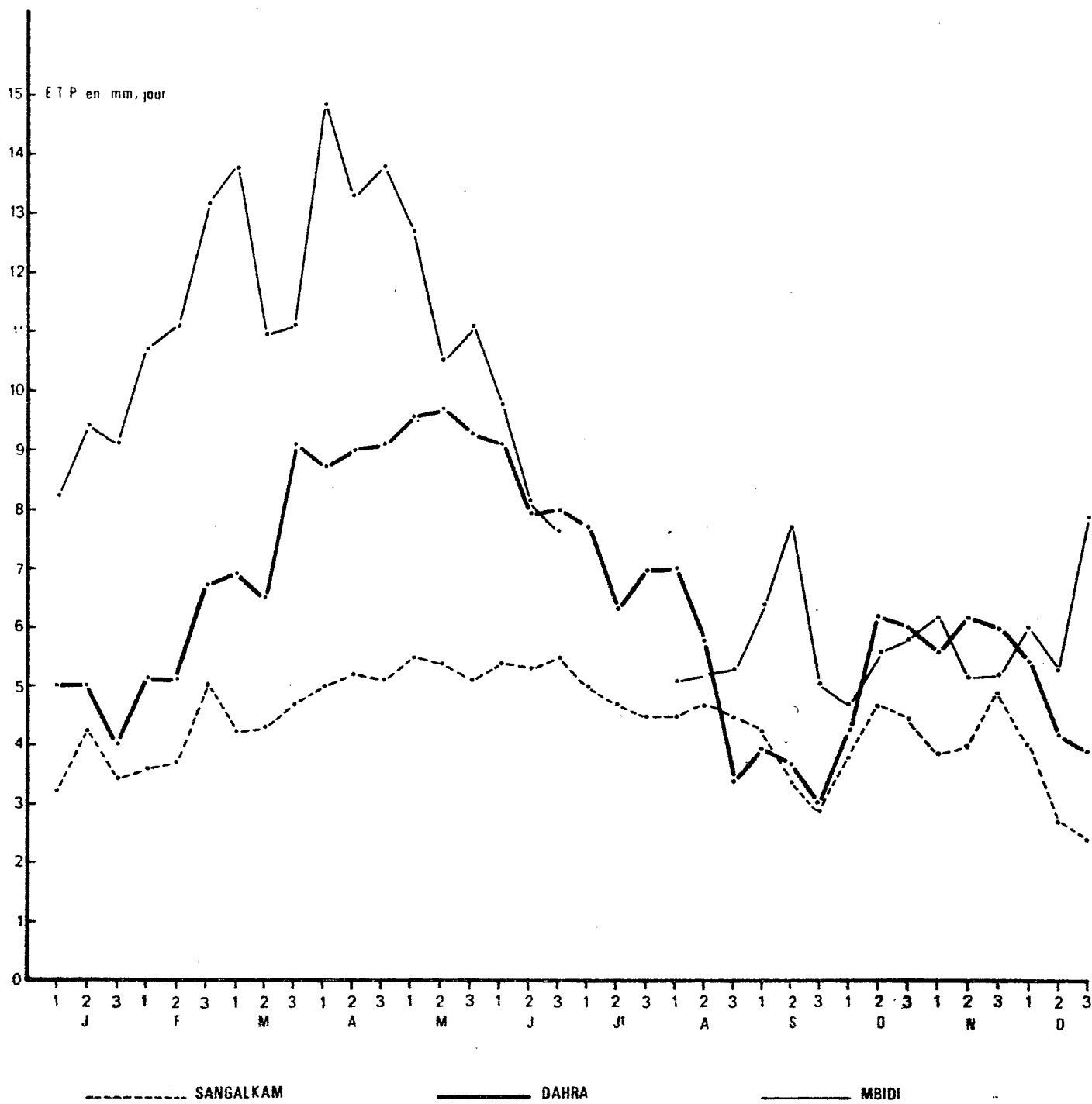


Fig. 4 - ETP moyennes décadaires en 1976

CONCLUSIONS -

Ces résultats préliminaires portant sur deux années de mesures nous conduisent à utiliser la méthode du bac corrigé pour déterminer dans nos stations d'étude l'ETP en vue de l'étude du bilan hydrique. Le faible coût de l'installation, la précision suffisante des résultats nous ont conduit à adopter cette méthode. Il est à noter que les Services de Recherche Agronomique Sénégalaise (ISRA) aboutissent à des conclusions voisines (DANCETTE, 1977).

L'utilisation de la formule du piche corrigé a été rejetée en raison des écarts importants des résultats. Son intérêt dans notre zone d'étude est douteux, elle souffre du même défaut que les formules empiriques basées sur un petit nombre de facteurs du climat. Par contre, comme le note RIOU, l'intérêt du piche comme indice climatique peut être pris en considération à conditions que la normalisation des abris rendent les données comparables.

RIOU (1975) signale l'intérêt du piche permettant de traduire l'influence du vent et de permettre une estimation de la vitesse de celui-ci quand il n'y a pas l'instrument de mesure, $E_{\text{piche}} = 0,59 (\theta_a - \theta_w) U^{0,78}$

Nous avons vu qu'il peut permettre la détermination approchée de $\frac{ETP}{E_{\text{bac}}}$ pour la correction des données du Bac lorsque il manque des données pour appliquer la relation de RIOU. La formule de PENMAN qui tient compte à la fois du rayonnement net et de l'énergie advective, donne des résultats qui bien que s'écartant sensiblement de ceux obtenus par la méthode du Bac corrigé sont une estimation assez correcte de ETP surtout si l'on applique un facteur de correction permettant de compenser les écarts systématiques. Nous utiliserons la formule de PENMAN à l'échelon régional pour détermination de l'ETP à partir des données disponibles.

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

- BOUCHET, R. J., 1964 - Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole. L'eau et la production végétale INRA Versailles - pp.151-232.
- COCHEME, J. et FRANQUIN - 1967 - Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au sud du Sahara en Afrique Occidentale- Rapport Technique FAO Rome - 325 p.
- CORNET, A. - 1974 - Essai de cartographie bioclimatique à Madagascar, carte thermatique ORSTOM n° 55 :1 notice 28 p. + 1 carte.
- DANCETTE C., 1976 - Mesures d'évapotranspiration potentielle et d'évaporation d'une nappe d'eau libre au Sénégal. Orientation des travaux portant sur les besoins en eau de cultures.
Agronomie Tropicale XXXI - 4 : 321-338.
- ISRA - Rapport d'activité 1975. Etude d'amélioration du milieu, bioclimatologie.
Rapport Ronéo 70. p.
CNRA/BAMBEY.
- RIJKS, D. - 1972 - Données météorologiques recueillies à Richard-Toll, Guédé, Kaédi et Same - Juin 1970 à Mai 1971 et Juin 1971 à Mai 1972.
- RIJKS, D. - 1974 - Données météorologiques recueillies à Guédé, Kaédi et Samé, Juin 1973 - Mai 1974 DT 126 10 p. 15 tabl. + 7 fig.
Projet pour le développement de la recherche agronomique et de ses applications dans le bassin du fleuve Sénégal OMVS FAO.
- RIJKS, D. - 1973 - La mesure de l'évapotranspiration (communication au Seminaire de NAIROBI, Oct. 1973).
D.T. 132 15 p. Projet de recherche agronomique et de développement agricole pour la mise en valeur de la Vallée du Sénégal. OMVS FAO.
- RIOU, C. - 1975 - La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'AFrique Centrale - Mémoire ORSTOM n° 80 - 236 p.
- RIOU, C. - 1973 - Le bac d'eau libre et l'évaluation des consommations d'eau des couverts végétaux.
Agronomie Tropicale 28, 9 : 855-857.
- SCHOCH P. G. et DANCETTE - 1968 - Utilisation de l'évaporomètre piche pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle.
L'Agronomie Tropicale n° 9 - 967-973.