

par CH. RIOU et G. J. DUBOIS \*

# Premières mesures d'évapotranspiration potentielle en république du Tchad

C'est en Août 1964 que des études de Bioclimatologie débutèrent à Fort-Lamy. Une des premières activités de cette nouvelle section fut l'installation d'évapotranspiromètres. Cette installation répondait à deux soucis : tout d'abord, à la nécessité d'effectuer des mesures d'évapotranspiration potentielle dans un pays où seules les données existantes concernant l'évaporation se réduisaient à quelques mesures sur bac colorado. Face à une pluviométrie à répartition très irrégulière, il était nécessaire de faire intervenir les pertes par évaporation, pour approfondir la connaissance du bilan de l'eau. L'application de formules était rendue hasardeuse par l'ignorance de leur validité sous les différents climats du Tchad. Un autre intérêt de ces mesures se situait sur un plan plus fondamental, celui de l'étude de l'évapotranspiration dans des conditions climatiques extrêmes. Ces mesures complétaient les données existant déjà sous d'autres climats (station de l'I.N.R.A. à Versailles, station méditerranéenne de Tunis...). Elles pouvaient apporter une contribution à l'étude du déterminisme de l'évaporation.

---

\* Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy.

## I. — IMPLANTATION ET INSTALLATION DES APPAREILS

L'évapotranspiration potentielle (E.T.P.) se définit comme la perte, par évaporation et transpiration, d'un couvert végétal actif d'une certaine superficie, bien alimenté en eau. Cette donnée, pratiquement indépendante du type de plante, est ainsi liée directement à l'énergie disponible et au climat.

Les premières mesures furent effectuées à Fort-Lamy. L'évapotranspiromètre (fig. 1) est constitué d'une cuve métallique carrée de 2 m de côté et de 0,70 m de profondeur. La surface évapotranspirante de 4 m<sup>2</sup> ainsi choisie paraît indispensable dans cette zone.

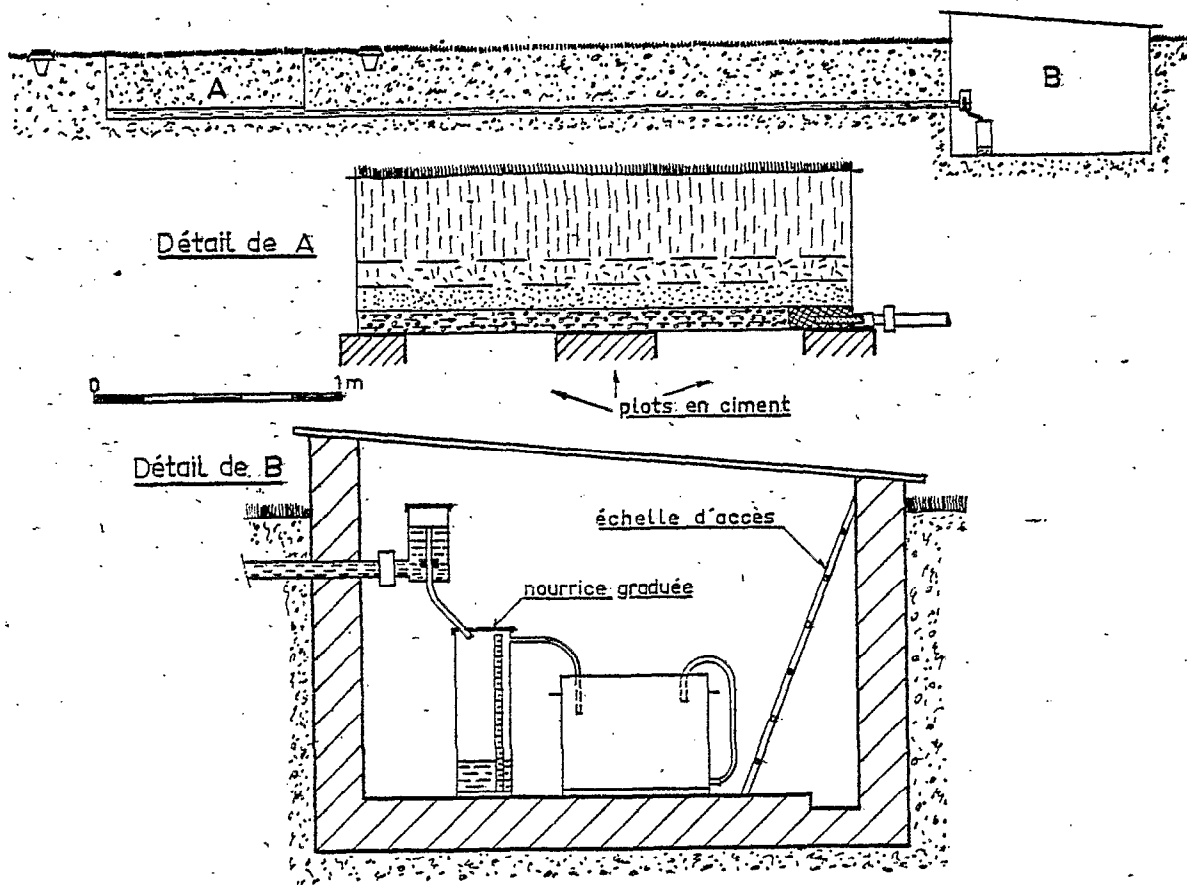


FIG. 1. — Évapotranspiromètre de FORT-LAMY.

Ce bac, enterré, laisse hors de terre une garde de 5 cm permettant d'éviter les échanges par ruissellement en saison des pluies.

Le bac est rempli d'abord de gravier sur une dizaine de cm, puis de sable grossier, de sable fin, et les 40 cm supérieurs sont comblés par de la terre, qu'il faut choisir bien drainante; elle

est obtenue ici par un mélange d'argile et de sable. Une nappe d'eau est maintenue à 8 cm du fond; elle communique, par un tube de 6 cm, avec un petit réservoir placé dans une fosse cimentée. L'entrée du tube dans la cuve est munie d'une crépine protégée par deux voûtes grillagées, évitant l'obstruction du tube. Le réservoir est construit de telle sorte que toute remontée de la nappe entraîne l'élimination de l'excès d'eau dans un récipient gradué.

La cuve est ensuite garnie d'un gazon constitué par du *Cynodon dactylon*, plante bien adaptée à la sécheresse. La surface environnante est semée de ce même gazon; elle occupe ici un rectangle de 20 m sur 22 m; elle constitue « l'anneau de garde », dont le rôle est de limiter les transferts latéraux d'énergie, ou « effet d'oasis », qui viendraient fausser la mesure en augmentant l'évaporation. La dimension de cette surface est toujours un compromis entre les possibilités pratiques et la nécessité d'avoir un grand « anneau de garde ».

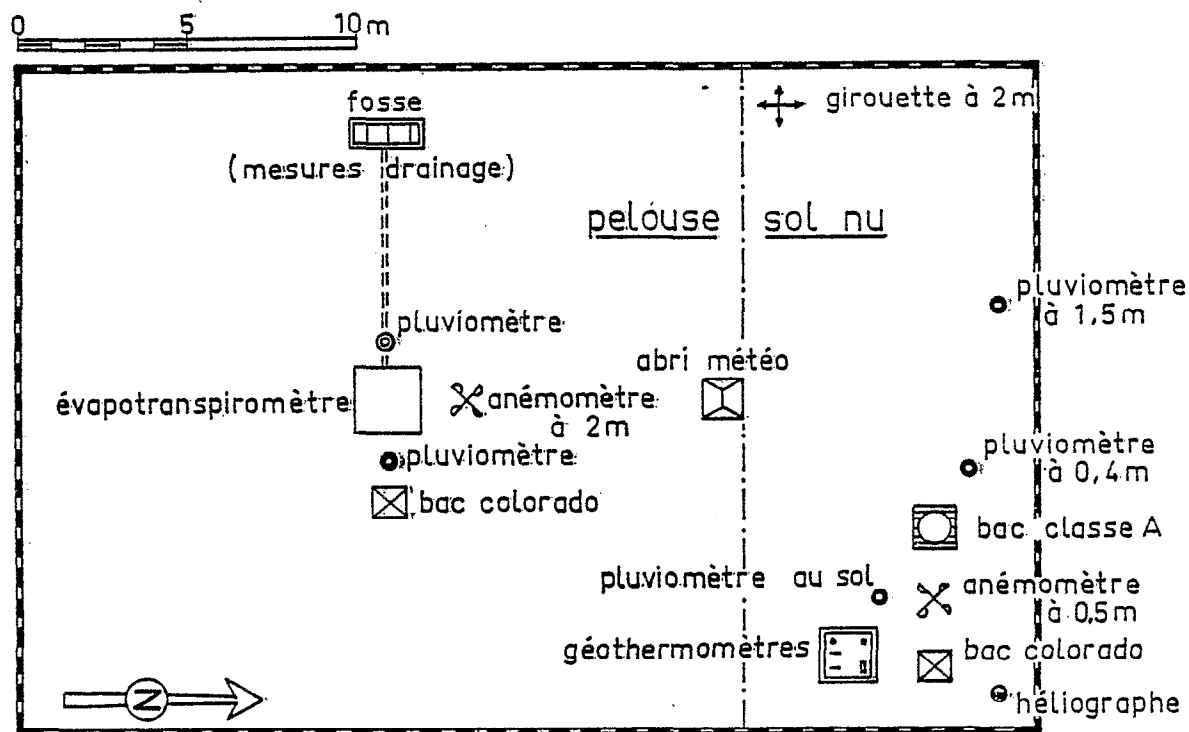


FIG. 2. — Station de FORT-LAMY.

Tous les matins, à 6 h T.U., une certaine quantité d'eau est versée sur la cuve et on note en même temps la quantité d'eau fournie par le drainage depuis l'arrosage précédent. A chaque décade, la différence des volumes d'eau de l'arrosage et du drainage total donne la perte par évapotranspiration. Les résultats sont reportés sur une feuille récapitulative (fig. 3). La pelouse est arrosée chaque matin, par un volume d'eau calculé d'après les données de la cuve. Le gazon est coupé périodiquement et ne doit pas dépasser 10 cm de haut.

Il est nécessaire de prendre quelques précautions :

- La séparation pelouse-cuve doit être soignée, de manière à définir parfaitement la surface évaporante (absence de gazon dépassant latéralement de la cuve), et par ailleurs à éviter toute discontinuité entre cuve et pelouse, ce qui pourrait entraîner des « effets de bord » parasites.

- Il est nécessaire de fournir de temps à autre de l'engrais au gazon, le sol étant constamment lessivé par l'eau d'irrigation. L'eau de drainage, pour diminuer ce lessivage, peut être remise dans le circuit d'irrigation de la cuve. Tout apport d'engrais doit concerner à la fois cuve et pelouse, pour éviter l'hétérogénéité.

station  année

mois

**E. T. P**

date	irrigation		drainage		pluie mm	+P-D mm	observations
	l	mm	l	mm			
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
total							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
total							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
total							
total mens.							
moyenne mensuelle							

FIG. 3.

- En saison des pluies, deux pluviomètres, placés au niveau du rebord de la cuve, permettent d'évaluer l'apport d'eau de pluie. Cette eau de pluie fournit un abondant drainage (50 mm donnent 200 litres). Il est donc nécessaire de prévoir un réservoir d'appoint et souvent un système de pompage dans la fosse de drainage.
- Le *Cynodon dactylon* supporte mal l'excès d'eau et la pelouse doit être située sur un sol bien drainant, pour éviter une « asphyxie » du gazon. C'est une plante à conseiller en zone sahélienne.

Un dispositif identique a été installé ensuite à Bol, sur un polder du Lac Tchad (Matafo), à Ba Illi, et à Bebedjia, où se trouve une station de l'I.R.C.T. (carte de la fig. 4). Ainsi, le Tchad dispose de 4 stations pratiquement situées sur un méridien et bien étagées en latitude (de 8° 30' à 13° 30' environ).

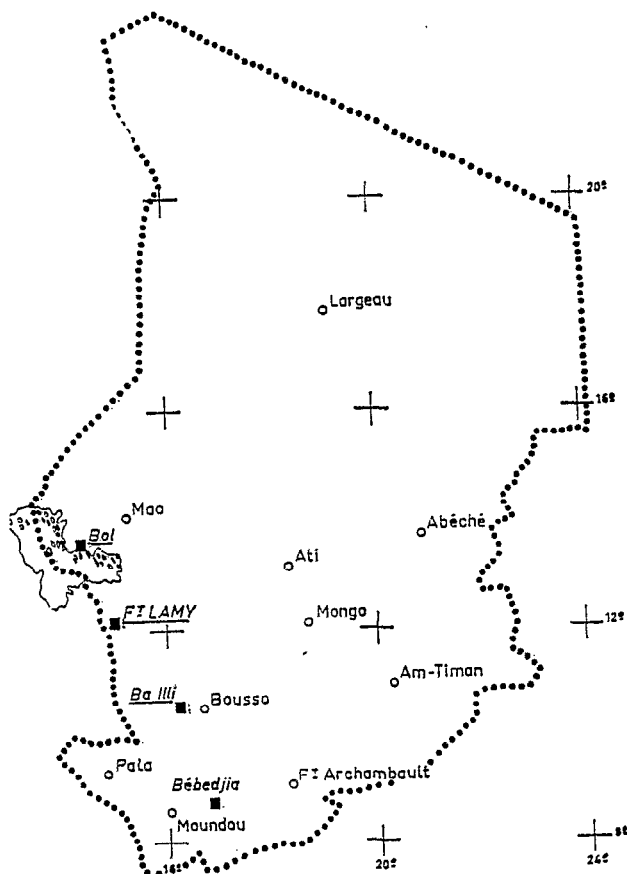


FIG. 4. — Implantation des évapotranspiromètres.

## II. — RÉSULTATS

Ils ne concernent que la station de Fort-Lamy, les autres stations, plus récentes, n'ayant fourni jusqu'à présent que peu de données.

On constate (Tableau 1 et fig. 5) que l'E.T.P. passe par deux maximums, l'un en fin de saison chaude ou elle dépasse 7 mm par jour (avril ou mai), l'autre plus réduit en octobre (6 mm par jour). Pendant la saison fraîche, et la saison des pluies, l'E.T.P. diminue nettement pour donner des valeurs comparables (4 à 5 mm par jour). L'E.T.P. annuelle est de l'ordre de 1 900 mm en 1965.

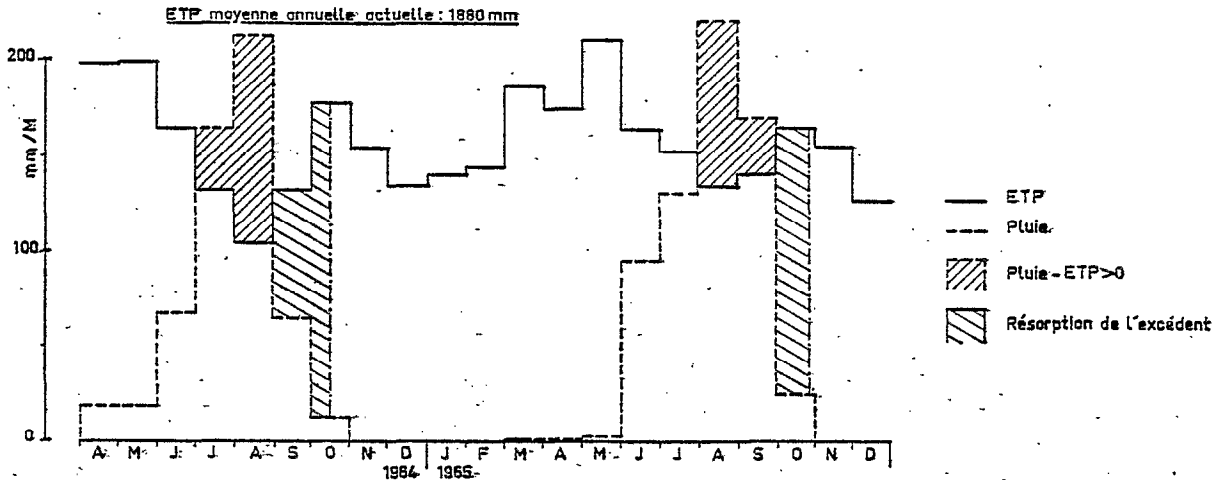


FIG. 5. — Pluie et évapotranspiration potentielle à FORT-LAMY.

Ce chiffre, rapporté à la pluviométrie qui est de l'ordre de 600 mm pour Fort-Lamy, fait apparaître l'énorme déficit annuel. En saison des pluies par contre, il arrive fréquemment que la pluie mensuelle dépasse fortement l'E.T.P. Cependant, un déficit mensuel (E.T.P.-P) peut apparaître dès le mois de Septembre, et l'excédent de pluie est résorbé par l'E.T.P. pendant le mois d'octobre. On peut noter l'évolution de (P - E.T.P.) millimètres en partant d'une valeur nulle, ce qui se produit quand P et E.T.P. s'équilibrent. Le calcul se fait par périodes décadales.

	1 <sup>er</sup> juil.	31 juil.	31-août	30 sept.	10 oct.	20 oct.	30 oct.
1964	—	63,0	154,0	84,0	36,5	0	—
1965	—	4,0	90,0	119,0	70,0	30,0	0

Sans entrer dans le détail du bilan de l'eau, on remarque néanmoins que, même pendant la saison des pluies, en zone sahélienne l'excédent de pluie sur l'E.T.P. ne dépasse guère 150 mm, en période de plus fort drainage, et que pratiquement, pour la période allant de juin à septembre, l'E.T.P. et la pluie sont du même ordre de grandeur.

TABLEAU I

Mois - Année		Décades			Mois	Mois	Pluie
		mm/Jour			mm/Jour	Total	Mensuelle
		D. 1	D. 2	D. 3	M	T	mm
J	64						
	65	4,72	4,61	4,19	4,48	139	
F	64						
	65	4,66	4,83	6,17	5,15	144	
M	64			6,06			3,3
	65	6,20	5,65	6,16	6,01	186	0,6
A	64	6,86	5,62	7,26	6,58	197	16,9
	65	5,95	5,74	5,84	5,84	175	0,8
M	64	6,13	6,44	6,55	6,38	198	16,9
	65	7,01	7,10	6,32	6,80	211	3,9
J	64	5,53	5,69	5,21	5,48	164	66,6
	65	6,03	4,78	5,35	5,46	164	95,0
J	64	4,72	4,20	3,78	4,24	131	162,5
	65	4,99	4,94	4,87	4,93	153	130,1
A	64	3,04	3,70	3,44	3,44	105	211,4
	65	4,39	4,38	4,28	4,35	135	221,2
S	64	4,05	4,00	5,10	4,38	132	63,9
	65	4,37	4,62	5,11	4,70	141	169,9
O	64	6,09	5,35	5,74	5,71	177	11,5
	65	4,91	5,58	5,45	5,45	165	16,1
N	64	5,42	5,04	4,87	5,11	153	—
	65	5,63	5,12	4,75	5,17	155	—
D	64	4,96	4,12	4,07	4,36	135	—
	65	4,45	3,88	3,94	4,02	127	—
Année	65				5,19	1 895	637,6

### III. — L'E.T.P. ET LES ÉLÉMENTS DU CLIMAT

Dans ce paragraphe, on se bornera, indépendamment de toute interprétation théorique, à situer l'E.T.P. par rapport aux facteurs climatiques. Il apparaîtra cependant un certain nombre de données utiles concernant les différents procédés d'estimation de l'E.T.P.

#### 3.1. — Rayonnement global.

##### *Estimation.*

Il existe des données fournies par la météorologie concernant les années 1958 à 1963, avec quelques valeurs manquantes. Ces données permettent une estimation du rayonnement Global  $G$  à partir de la durée d'insolation  $SS$

$$\frac{G}{G_0} = a + b \frac{SS}{SS_0}$$

où  $G_0$  et  $SS_0$  sont les valeurs maximales du Rayonnement Global (à l'entrée dans l'atmosphère) et de la durée d'insolation (durée du jour).

Des valeurs de  $a$  et  $b$  ont été données par PERRIN DE BRICHAMBAUT en 1961.

$$a = 0,36$$

$$b = 0,39$$

Plus récemment (1965) DAVIES donne

$$a = 0,43$$

$$b = 0,32.$$

Compte tenu des dernières mesures effectuées, on peut adopter comme coefficients :

$$a = 0,30$$

$$b = 0,48$$

et calculer le Rayonnement Global en 1964 et 1965 par cette formule. Ces différents coefficients donnent d'ailleurs finalement des résultats assez proches.

La mesure du rayonnement global est actuellement effectuée au Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy, qui dispose de deux solarimètres de Kipp, l'un mesurant le rayonnement global, l'autre le rayonnement diffus. Ces appareils fonctionnent depuis mars 1965. Un actinomètre de Linke-Feussner, tout récemment acquis, va permettre, dans un proche avenir, l'étalonnage de ces piles et on disposera ainsi de données sur le rayonnement global, venant relayer celles de la météorologie.

##### *E.T.P. et Rayonnement Global.*

Le rayonnement global apparaît comme un facteur peu variable. Exprimées en mm par jour (1), les valeurs extrêmes de la moyenne mensuelle déterminées sur une période de deux ans sont en effet 7,35 et 10,61 soit une variation relative de 44 %, l'E.T.P. variant quant à elle de 3,44 à 6,80 soit 98 %.

La relation E.T.P.,  $G$  est approximativement linéaire (fig. 6), E.T.P. croissant avec  $G$ . La faible variation de  $G$  rend imprécise une estimation directe de l'E.T.P. à partir de cette donnée.

---

(1) C'est-à-dire en divisant le rayonnement, exprimé en calories par  $cm^2$  et par jour, par la chaleur latente de vaporisation de l'eau.



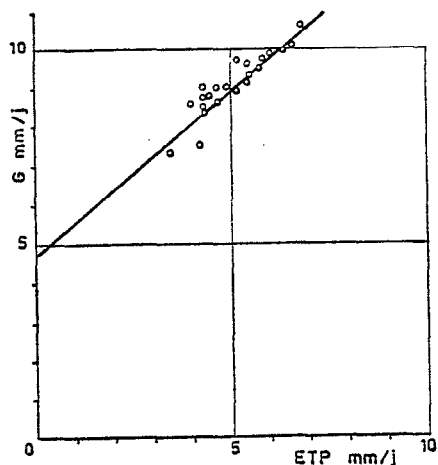


FIG. 6. — E.T.P. et rayonnement global.

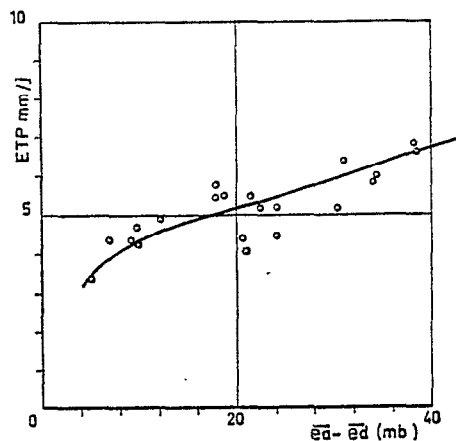


FIG. 7. — E.T.P. et déficit de saturation.

### 3.2. — Déficit de saturation.

Il est calculé en faisant pour chaque mois pour  $e_a - e_d$  la moyenne des trois valeurs obtenues chaque jour à 6, 12 et 18 h T.U.

On constate (fig. 7) que E.T.P. augmente avec  $\bar{e}_a - \bar{e}_d$ , sans qu'il apparaisse de relation bien nette. L'interprétation de cette relation apparaîtra plus loin.

### 3.3. — Température.

Si l'on ne constate pas de relation entre la température moyenne et l'E.T.P., il en apparaît une entre la température maximale et l'E.T.P. (fig. 8).

La température moyenne en effet, relativement faible en saison fraîche, à cause des minimums accentués, est plus élevée en saison des pluies, où l'amplitude thermique est faible. Les températures diurnes y sont cependant comparables, ainsi que les valeurs de l'E.T.P. La formule de THORNTHWAITÉ, basée sur la température moyenne, donne ainsi des valeurs beaucoup trop faibles en saison fraîche, alors qu'elle surestime l'E.T.P. en saison chaude.

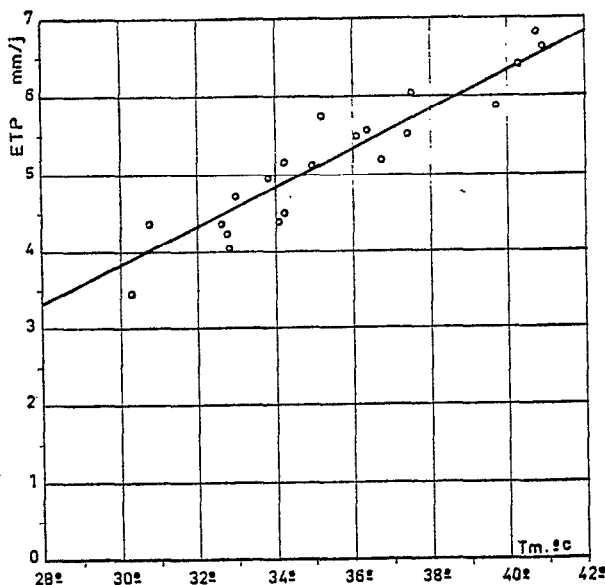


FIG. 8. — E.T.P. et température maximale.

#### IV. — ESTIMATION DE L'E.T.P. PAR DIVERSES FORMULES — COMPARAISON AVEC LES MESURES

##### 4.1. — Formule de Bouchet.

On peut noter, tout d'abord, que la relation (E.T.P., Évaporation Piche) se présente sous la forme de la classique courbe en S (fig. 9) : pour les plus faibles valeurs de l'évaporation, E.T.P. > E Piche, l'inverse se produisant en saison chaude.

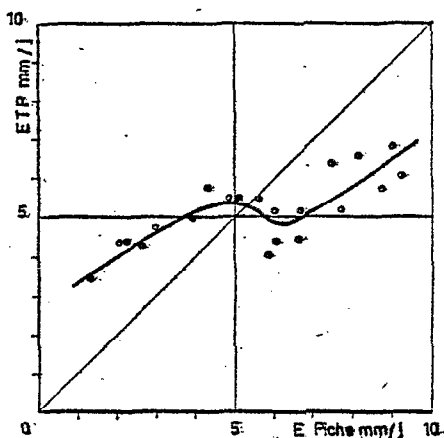


FIG. 9. — E.T.P. et évaporation PICHE.

La formule de BOUCHET, se propose de rattacher l'E.T.P. à une valeur « corrigée » du Piche. Elle ne s'applique cependant pas aux mesures faites à Fort-Lamy, où les données de l'évaporimètre de Piche ne sont pas influencées par le « climat de la pelouse ». Il suffit d'ailleurs de reprendre la thèse de BOUCHET et d'écrire à partir de la formule de PENMAN, pour le Piche

$$E_p \neq \alpha \frac{\gamma E_\alpha}{\Delta + \gamma}$$

$\alpha$  étant un coefficient de forme.

Par ailleurs

$$E.T.P. = \lambda \frac{\Delta R_{N/L} + \gamma E_\alpha}{\Delta + \gamma} \quad \lambda \text{ étant un coefficient constant proche de 1.}$$

On en tire

$$E.T.P. = \frac{\lambda \Delta R_{N/L}}{\Delta + \gamma} + \frac{\lambda E_p}{\alpha}$$

$$\text{et si on pose } \frac{R_{N/L}}{E.T.P.} = \varepsilon$$

$$E.T.P. \frac{(1 - \lambda \Delta \varepsilon)}{\Delta + \gamma} = \frac{\lambda}{\alpha} E_p$$

$$E.T.P. = \frac{\lambda}{\alpha} E_p \frac{\Delta + \gamma}{\Delta(1 - \lambda \varepsilon) + \gamma} \quad (1)$$

Le terme  $\frac{\Delta + \gamma}{\Delta(1 - \lambda \varepsilon) + \gamma}$  est évidemment minimal en saison sèche où  $\varepsilon$  est petit et maximal en saison des pluies, où  $\varepsilon$  devient proche de 1.

La relation (1) explique la courbe en S.

La correction de  $E_p$ , aboutit à une expression du type :

$$E_{cp} = a \frac{\Delta + \gamma}{\gamma} E_p \text{ — terme évidemment proportionnel à } E_a, \text{ et donc au déficit de saturation.}$$

On aurait donc, à partir de la relation (1) :

$$E.T.P. = \frac{\lambda}{a \alpha} \frac{E_p^c \gamma}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{\Delta + \gamma}{\Delta(1 - \lambda \varepsilon) + \gamma}$$

$$E.T.P. = \frac{\lambda \gamma}{a \alpha} \frac{E_p^c}{\Delta(1 - \lambda \varepsilon) + \gamma}$$

$$E.T.P. = A \frac{E_p^c}{\Delta(1 - \lambda \varepsilon) + \gamma} \quad (2)$$

avec  $A = cte.$

Or le terme  $1 - \lambda \varepsilon$  n'est constant que dans des conditions hydriques stables, ce qui n'est évidemment pas le cas autour de l'abri météorologique.

La formule de BOUCHET ne pourrait donc s'appliquer éventuellement que pour un évaporomètre de PICHE, situé au cœur de la pelouse, tout près du sol. La relation (2) montre aussi comment intervient le déficit de saturation. On a noté également, à la suite de nombreuses mesures, comme beaucoup d'autres observateurs, l'extrême variabilité de l'évaporomètre de PICHE avec la ventilation de l'abri, ce qui rend son emploi douteux dans des études comparatives.

#### 4.2. — Formule de TURC.

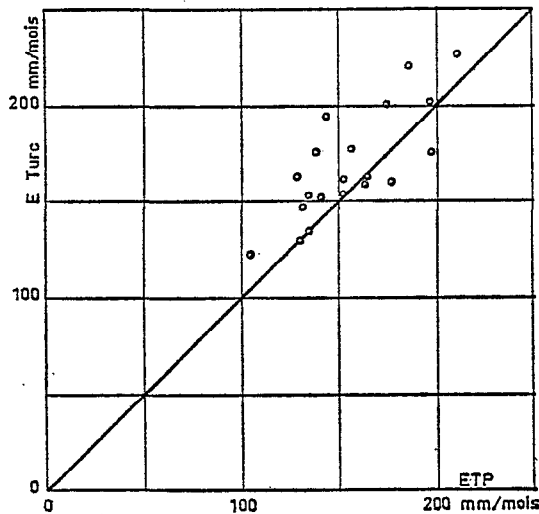


FIG. 10. — E.T.P. mesurées et formule de TURC.

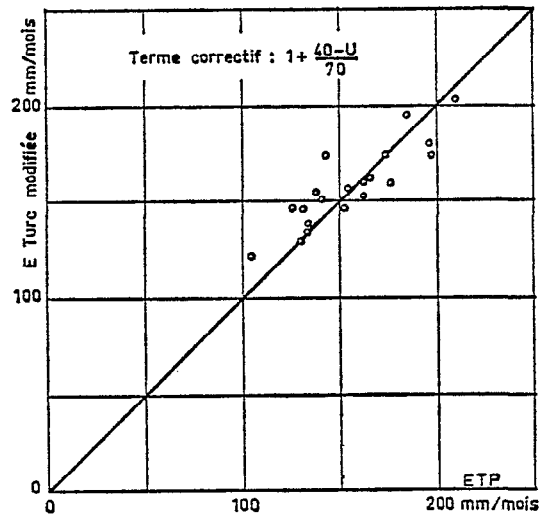


FIG. 11. — E.T.P. et formule de TURC modifiée.

La comparaison (Tableau II et fig. 10) montre que la formule donne une bonne estimation de l'E.T.P., tant que n'intervient pas le terme correctif  $\frac{50-U}{70}$ , qui a tendance à surestimer l'E.T.P., surtout en saison fraîche. Il apparaît que ce terme est trop élevé ( $U$  a été calculé ici de la façon suivante :  $U = \frac{1}{2}(U_6 + U_{12})$ ,  $U_6$  et  $U_{12}$  étant les humidités relevées à 6 et 12 h T.U.).

La relation s'améliore quand on remplace ce terme par  $\frac{40-U}{70}$  (fig. 11). Cette légère modification diminue le rôle correctif en saison sèche.

#### 4.3. — Formule de Penman.

La comparaison (Tableau 2 et fig. 12) montre une assez bonne relation, entre l'évaporation calculée par la méthode de PENMAN ( $E_p$ ) et l'E.T.P., du type

$$E.T.P. \approx 0,82 E_p \text{ (fig. 12).}$$

On remarque toutefois que, par cette formule, on sous-estime légèrement l'E.T.P. en saison sèche, et on la surestime en saison des pluies.

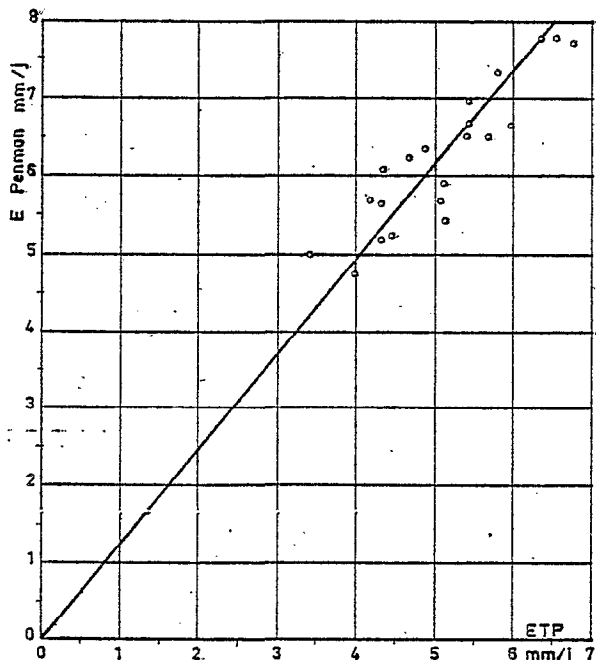


FIG. 12. — E.T.P. et évaporation calculée par la formule de PENMAN.

Les auteurs se proposent dans une autre note de donner une explication à cette anomalie. Pour calculer cette formule, les approximations suivantes ont été faites :

$$\bar{e}_d = \frac{1}{3}(e_d^6 + e_d^{12} + e_d^{18})$$

moyenne des tensions de vapeur à 6, 12 et 18 h T.U.

$e_a = \frac{1}{3}(e_a^6 + e_a^{12} + e_a^{18})$ , tension de vapeur saturante moyenne à la température de l'air.

$$E_a = 0,35 (\overline{e_a} - \overline{e_a}).$$

Cette formule découle des études effectuées sur bac colorado. Le vent étant peu variable, en tenir compte dans la formule n'a pas apporté d'amélioration notable; les tensions de vapeur sont exprimées en millibars.

#### 4.4. — Autres formules.

D'après ce qui précède, il est apparu que les formules basées sur le déficit de saturation sont difficiles à utiliser en climat sahélien. Telles sont les formules de PRÉSCOTT et de HAUDE. De même, la formule de THORNTHWAITE, bien que donnant un chiffre annuel cohérent, aboutit à une répartition mensuelle de l'E.T.P. assez éloignée de la réalité.

D'une façon générale, les formules empiriques conçues sous d'autres climats ne peuvent s'appliquer, sans un examen préalable, à la zone sahélienne.

TABLEAU II

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1964													
E.T.P. mesurée				197	198	164	131	105	132	177	153	135	1 392
E.T.P. TURC				200	174	158	129	122	146	159	161	152	1 401
E.T.P. TURC modifiée				180	174	158	129	122	146	159	146	138	1 352
E.T.P. = 0,82 E <sub>p</sub> .				192	198	171	144	127	149	166	139	132	1 418
1965													
E.T.P. mesurée	139	144	186	175	211	164	153	135	141	165	155	127	1 895
E.T.P. TURC	175	194	218	199	226	158	153	134	152	162	176	161	2 108
E.T.P. TURC modifiée	155	173	195	174	202	158	153	134	152	162	157	147	1 962
E.T.P. = 0,82 E <sub>p</sub> .	133	135	171	180	196	165	161	142	153	165	133	121	1 865

# Conclusion

Cette note, qui avait surtout pour but de présenter des résultats, fait apparaître un certain nombre de renseignements, en ce qui concerne la zone sahélienne. L'extension actuelle du réseau permettra bientôt d'étudier l'E.T.P. sous d'autres conditions climatiques (climat tropical pur, zone subdésertique). Il s'en dégagera alors une ébauche de la variation de l'E.T.P. en République du Tchad et de sa répartition.

D'autre part, en ce qui concerne le climat sahélien, l'approfondissement de l'étude du déterminisme de l'évaporation et l'interprétation théorique des résultats se poursuivent.