

par CH. RIOU *

Estimation de la part de l'énergie rayonnante et de l'énergie advective dans l'évaporation, sous climat sahélien

Les résultats des mesures d'évaporation sur bac colorado, ont conduit à penser que l'énergie advective, non réduite par la présence d'un anneau de garde, était responsable des valeurs élevées obtenues. La formule de PENMAN pouvait alors, comme il a été montré, traduire cette évaporation à condition de majorer le terme E_a . Cette majoration ne portait pas cependant sur une simple augmentation de la fonction $(a + bu) E_a$, mais sur une augmentation de γ qui est, dans la forme usuelle, la constante psychrométrique. L'augmentation de ce terme peut en fait traduire un rapport accru des échanges de chaleur et de vapeur d'eau. Pour mieux éclairer ce point, une expérimentation sur bacs Colorado a été entreprise. Le but de celle-ci était de modifier le rayonnement et l'advection sur des bacs pour mieux faire apparaître la part de ces deux formes d'énergie. Ce sont les résultats de cette expérience qui sont présentés dans cette note.

Description de l'expérience.

Trois bacs Colorado ont été d'abord suivis dans des conditions identiques, pendant deux mois. Les résultats ont fait apparaître une excellente identité des résultats.

(Novembre - Décembre)

Bac 1.	370 mm
Bac 2.	373 mm
Bac 3.	373,4 mm

L'un de ces bacs (1) a été maintenu sans changement.

Le bac (2) a été entouré d'un brise-vent constitué par 4 écrans verticaux de toile, disposés en carré autour du bac, de 50 cm de haut. Le carré avait 3 m de côté.

* Maître de Recherches de l'O.R.S.T.O.M.

Le bac (3) a été surmonté d'un écran horizontal de 3 m sur 3, situé à 1 m de haut, constitué d'abord par une bâche, puis par une plaque de contreplaqué peinte en blanc à l'extérieur et en noir sur sa face interne. Cet écran protégeait le bac du rayonnement direct.

Pendant les 3 premiers mois (janvier à mars), ce dispositif a été maintenu. Le bac (2) a été ensuite débarrassé du brise-vent et la nappe d'eau qui avait été maintenue jusque là à 10 cm du bord du lac conformément à la normalisation du bac Colorado, a été remontée de 5 cm.

La température superficielle de l'eau des trois bacs était notée trois fois par jour aux heures normales d'observation: 6 h, 12 h, 18 h T.U.

Résultats.

(Voir Tableau).

Influence du brise-vent.

On note tout d'abord que, pendant les trois premiers mois, le rôle du brise-vent est nul. Les résultats pour ces trois mois (janvier à mars) sont en effet :

Bac 1.	676,7 mm
Bac 2.	680,7 mm

On peut alors penser, devant ces mesures, que le bord du bac représente lui-même un brise-vent suffisamment efficace pour qu'un dispositif supplémentaire se révèle inefficace. Pour confirmer ce point, la deuxième phase de l'expérimentation a consisté, une fois le brise-vent supprimé, à relever le niveau de la nappe d'eau du bac (2) de 5 cm, pour cette fois réduire le rôle du rebord du bac. Les résultats sont alors nettement significatifs et confirment l'importance du niveau de l'eau dans les bacs. L'augmentation relative de l'évaporation du bac (2) par rapport au bac (1) en % est en effet la suivante :

Avril	9,10
Mai.	8,80
Juin	6,03
Juillet.	6,37
Août	6,75
Septembre.	8,43

Loi de Dalton.

On peut, en première estimation, attribuer cette augmentation de l'évaporation à un rôle plus important du vent.

Cependant, si l'on tente d'estimer les évaporations E_1 et E_2 respectivement sur les bacs (1) et (2) par une expression $E = (a + bu)(\bar{e}_s - \bar{e}_a)$, on trouve pour la fonction $a + bu$, les valeurs suivantes :

Mois	Valeurs décadales		Moyenne mensuelle	
	Bac 1	Bac 2	Bac 1	Bac 2
Avril	0,33	0,35	0,35	0,36
	0,34	0,34		
	0,38	0,39		
Mai	0,38	0,40	0,37	0,39
	0,35	0,37		
	0,38	0,40		

Juin	0,35	0,36	0,34	0,33
	0,33	0,32		
	0,33	0,32		
Juillet	0,38	0,36	0,35	0,36
	0,37	0,40		
	0,31	0,33		
Août	0,34	0,34	0,33	0,33
	0,31	0,30		
	0,35	0,35		
Septembre	0,33	0,35	0,33	0,34
	0,34	0,35		
	0,32	0,33		

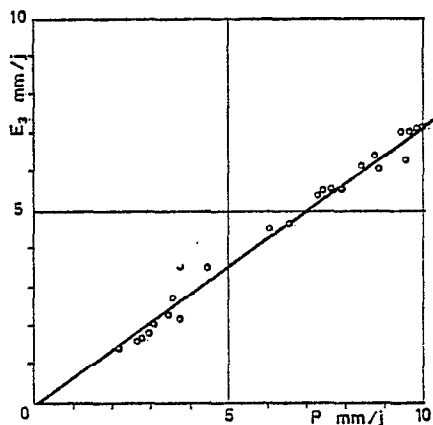


FIG. 1.
Bac couvert et évaporation sous abri.

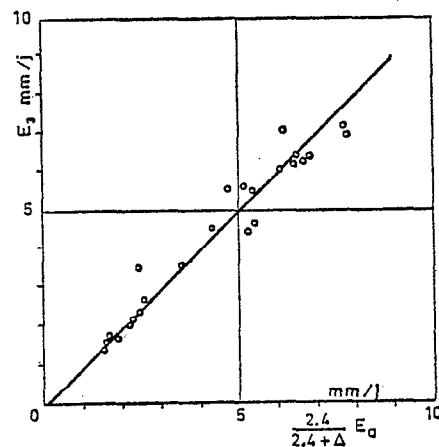


FIG. 2.
Bac couvert et évaporation calculée.

La température de l'eau du bac (2) est légèrement plus élevée que celle du bac (1), la fonction $(a + bu)$ reste pratiquement la même.

Il semble donc bien que la turbulence soit pratiquement peu modifiée et que le rebord du bac, même réduit de moitié, continue à jouer un rôle efficace. L'augmentation de l'évaporation sur le bac (2) doit être attribuée à une autre cause liée à l'augmentation de la température superficielle de l'eau du bac (2).

Bac couvert et évaporomètre de Piche.

Il a été admis que, pour ces deux évaporomètres, le rayonnement net R_N était pratiquement nul. Ces données peuvent alors être comparées. Il apparaît une relation linéaire entre E_3 et P (évaporation PICHE) de la forme :

$$E_3 = 0,72 P \text{ (fig. 1)}$$

comme la relation qui lie P et $\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a$ est $P = 3,34 \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a$, on en déduit :

$$E_3 = \frac{2,50 \gamma}{\gamma + \Delta} E_a \text{ avec } \gamma = 0,49.$$

C'est ce qu'on peut vérifier en comparant directement E_s à $\frac{\gamma}{\gamma + \Delta} E_a$.

Par ailleurs, l'hypothèse retenue au départ était qu'on pouvait exprimer E_s directement par la formule $\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a$, en donnant à γ une valeur constante, mais supérieure à 0,49.

Dans cette hypothèse, nous devons avoir :

$$\gamma = \frac{\Delta E_s}{E_a - E_s}$$

Les valeurs ainsi obtenues pour γ sont :

Janvier	2,42	
Février	2,44	(1 décade)
Mars	2,33	
Avril	2,31	
Mai	2,44	} (2 décades)
Juin	2,58	
Août	2,37	
Septembre	2,10	

En donnant à γ la valeur 2,40 et en calculant $\frac{2,40}{2,40 + \Delta} E_a$, on traduit de façon correcte E_s (fig. 2).

Ces deux modes de calcul conduisent à une remarque générale : ils ont tous les deux pour but de majorer la fonction E_a . Il semble donc bien qu'on puisse utiliser la formule de PENMAN pour exprimer l'évaporation d'une petite nappe d'eau libre sans anneau de garde, à condition de pondérer correctement les termes R_N et E_a . Ces deux expressions de E_s conduisent en effet à exprimer l'évaporation du bac Colorado par deux formules :

$$LE = \frac{A \Delta R_N + B \gamma LE_a}{\Delta + \gamma} \quad \text{avec } \gamma = 0,49 \quad B \neq 2,50$$

$$LE = \frac{\Delta R_N + \gamma LE_a}{\Delta + \gamma} \quad \gamma = 2,40$$

Ces deux expressions ont toutes deux pour effet d'augmenter dans la formule le rapport du terme en LE_a et du terme en R_N .

Comparaison des trois bacs.

Dans l'hypothèse faite, l'évaporation des trois bacs peut se mettre sous la forme :

$$E_1 = \frac{\Delta R_N}{\Delta + \gamma_1} + \frac{\gamma_1 E_a}{\Delta + \gamma_1}$$

$$E_2 = \frac{\Delta R_N}{\Delta + a\gamma_1} + \frac{a\gamma_1 E_a}{\Delta + a\gamma_1}$$

$$E_3 = \frac{\gamma_2 E_a}{\Delta + \gamma_2}$$

On peut en première approximation estimer que les valeurs γ_1 , et γ_2 sont très proche et écrire alors :

$$\frac{E_1 - E_2}{E_3} = (a - 1).$$

Reportées sur un graphique, les valeurs $E_1 - E_2$ en fonction de E_3 (fig. 3), ne s'alignent pas tout à fait, le coefficient $a - 1$ étant légèrement plus élevé en saison des pluies. Le coefficient a varié légèrement autour de 1,14.

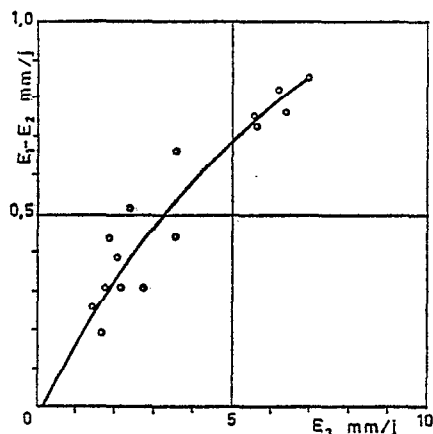


FIG. 3.
Comparaison des trois bacs.

Interprétation des résultats.

Des profils de température et de tension de vapeur au-dessus d'un bac colorado, et au-dessus du sol nu qui l'entoure permettent de préciser le sens des échanges thermiques.

Des mesures faites à différentes époques montrent qu'au-dessus du bac, la température augmente avec la hauteur, d'abord brusquement jusqu'à quelques centimètres, puis lentement. Sur sol nu, elle diminue au contraire légèrement avec la hauteur. La tension de vapeur, à peu près stationnaire au-dessus du sol nu, diminue légèrement avec la hauteur au-dessus du bac. (fig. 4).

Le terme $e_a - e_d$ pris sous abri à 2 m, est donc en fait supérieur à celui qui devrait être pris dans la couche limite. Ce résultat peut paraître paradoxal. Néanmoins si l'on examine la répartition des températures autour du bac, on peut le schématiser comme sur la figure 5.

Ce schéma montre qu'en plus des échanges verticaux, existent de très importants échanges horizontaux dus au gradient latéral. Le flux thermique en fait traverse une surface isotherme courbe, nettement supérieure à la face évaporante, alors que l'énergie rayonnante n'atteint que celle-ci.

C'est cette augmentation que traduit la majoration du terme en E_a .

On peut remarquer que le mode de calcul qui majore E_a , peut s'interpréter par ce schéma.

Le rapport de Bowen $\beta = -\gamma \frac{T_a - T_s}{e_s - e_d}$ ne peut en effet s'appliquer en dehors des échanges verticaux. Il exprime le rapport $\frac{K}{E}$ des flux de chaleur et de vapeur d'eau. Le calcul consiste à l'utiliser en multipliant le terme K par un coefficient b supérieur à 1, c'est-à-dire à admettre que les échanges de vapeur d'eau se font à travers une surface s égale à celle du bac, les échanges thermiques à travers une surface fictive bs .

L'eau du bac (2) a une température superficielle supérieure à celle du bac (1) et son évaporation est plus forte. L'augmentation de turbulence étant peu sensible, il s'ensuit que les échanges thermiques sont modifiés par le relèvement du niveau de l'eau.

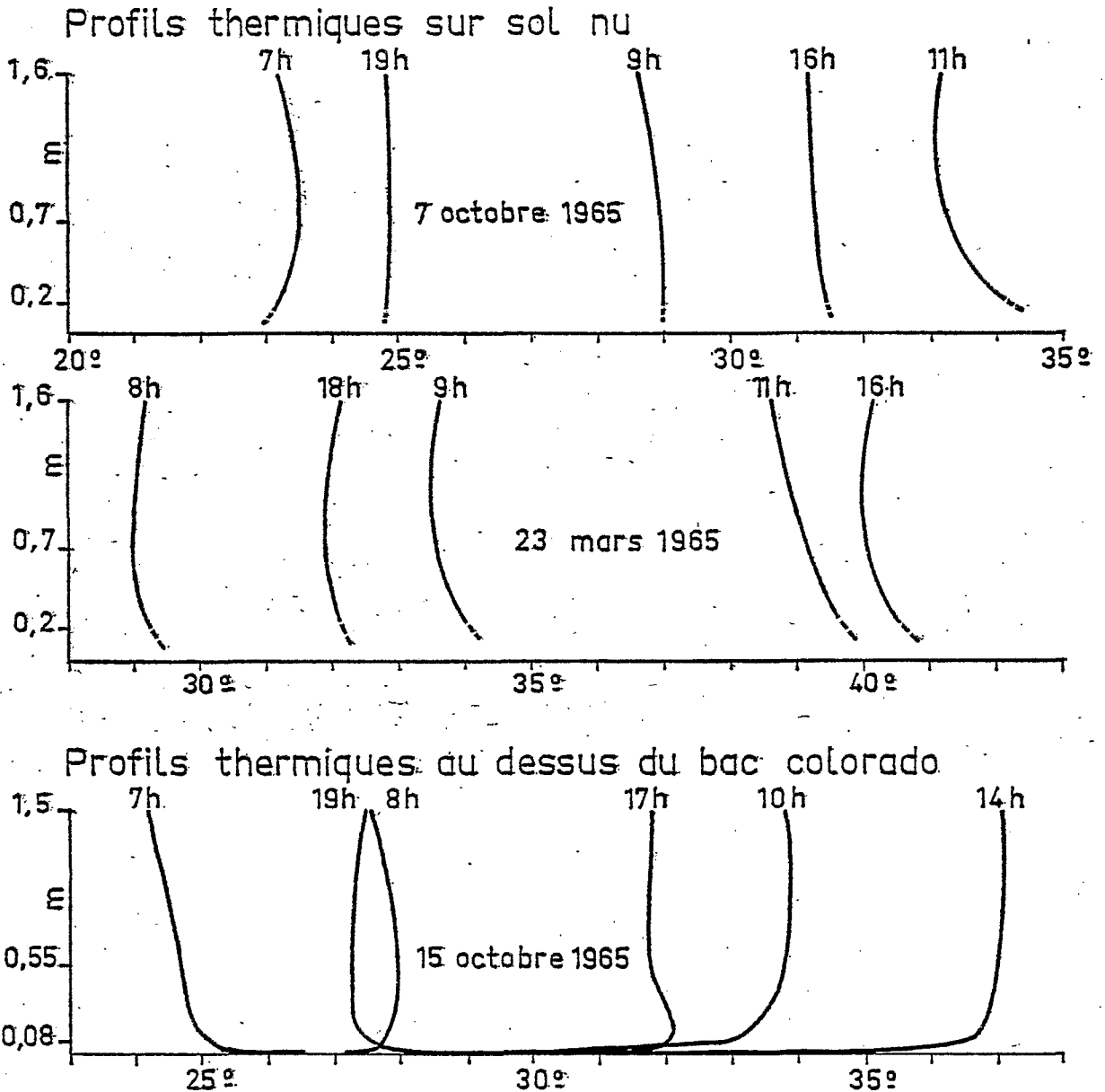


FIG. 4.

Le flux thermique fourni par l'air ambiant est supérieur pour le bac (2), ce qui se traduit nécessairement par l'existence d'un gradient plus élevé au-dessus de ce bac.

E_2 ne se déduit pas de E par une simple majoration de la fonction E_a , ce qui peut expliquer que le rapport

$\frac{E_1 - E_2}{E_3}$ ne soit pas rigoureusement constant.

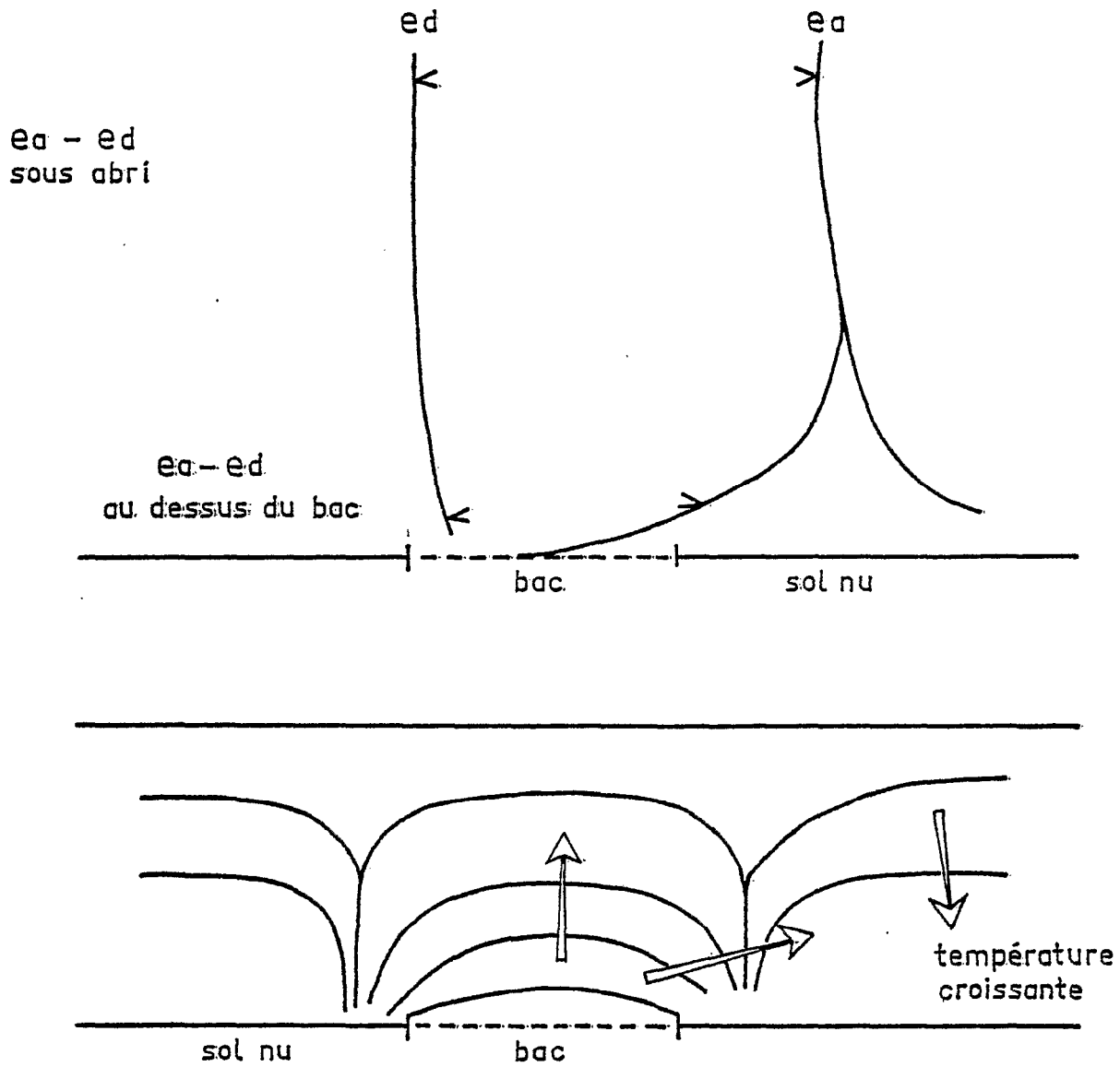


FIG. 5. — Schéma de la répartition des températures et des tensions de vapeur autour du bac colorado.

Conclusion

Ces résultats indiquent d'une part le rôle efficace de la bordure du bac, comme brise-vent, facteur qui renforce la difficulté de passer de l'évaporation ainsi mesurée à celle de l'eau libre.

Ils confirment qu'une estimation de l'évaporation mesurée doit donner au terme d'advection une part importante. L'effet d'oasis peut être alors estimé. Ils proposent une interprétation sommaire du phénomène de l'effet d'oasis, et un mode de calcul qui bien qu'empirique, peut néanmoins permettre des estimations utiles.

RÉSULTATS mm/jour

Mois		Décades			Mois		
		E 1	E 2	E 3	E 1	E 2	E 3
Janvier	1	5,72	5,76	4,59	6,06	6,16	4,94
	2	5,73	5,88	4,70			
	3	6,66	6,78	5,46			
Février	1	7,16	7,24	5,54	7,76	7,85	6,19
	2	7,68	7,71	6,10			
	3	8,60	8,79	7,10			
Mars	1	8,06	8,04	6,31	8,76	8,71	6,86
	2	9,01	9,01	7,07			
	3	9,18	9,04	7,19			
Avril	1	9,29	10,15	6,98	8,68	9,47	6,33
	2	8,91	9,68	6,40			
	3	7,85	8,58	5,61			
Mai	1	8,02	8,78	5,53	7,61	8,28	5,06
	2	9,06	9,89	6,20			
	3	5,93	6,37	3,59			
Juin	1	6,46	7,13	(3,51)	6,14	6,51	—
	2	5,37	5,68	(2,77)			
	3	6,60	6,73	—			
Juillet	1	7,15	7,63	—	6,44	6,85	—
	2	6,40	6,81	—			
	3	(5,50)	(5,81)	(2,12)			
Août	1	(5,28)	5,60	1,71	4,89	5,22	1,62
	2	4,62	4,88	1,44			
	3	(4,99)	(5,18)	1,69			
Septembre	1	5,21	5,65	1,82	5,33	5,78	2,07
	2	5,87	6,39	2,31			
	3	4,91	5,30	2,08			

() : valeurs calculées sur des périodes incomplètes.

BIBLIOGRAPHIE RELATIVE AUX 3 ARTICLES DE Ch. RIOU

- BERNARD (E. A.). — Le déterminisme de l'évaporation dans la nature. *I.N.E.A.C.*, 1956.
- BOUCHET (J.). — Évapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole. L'eau et la production végétale. *I.N.R.A.*
- DAVIES (J. A.). — Estimation of insolation for West Africa. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 91, n° 389, july 1965.
- PERRIN DE BRICHAMBAULT (Ch.). — Estimation du rayonnement solaire global reçu sur une surface horizontale à l'aide des mesures de la durée d'insolation. Note ronéotypée.
- RIOU (Ch.), CALLÈDE (J.) et BOUCHARDEAU (A.). — Résultats récents des mesures d'évaporation au Tchad. Note ronéotypée.
- RÉGNIER (J.). — Formules d'évapotranspiration. *Cahiers O.R.S.T.O.M.*, série Pédologie, n° 4 (1963).
- TURC (L.). — Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. *Annales agronomiques*, Vol. 12, 1961, n° 1. *I.N.R.A.*