

RÉPUBLIQUE MALGACHE

Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer

Institut de Recherches Scientifiques de Madagascar

Études hydrologiques du bassin versant d'ANDROVAKELY

ÉTUDE DE L'ÉVAPORATION ET DE
L'ÉVAPOTRANSPIRATION

Par M. Yves BRESSON
Ingénieur AM et E.I.H
Chef du service hydrologique de l'I.R.S.M

DS
BRE

JANVIER 1959

3987

REPUBLIQUE MALGACHE

OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE
et TECHNIQUE OUTRE-MER

INSTITUT de RECHERCHES SCIENTIFIQUES de MADAGASCAR

ETUDES HYDROLOGIQUES du BASSIN VERSANT

d' ANDROVAKELY

-:-:-:-:-

ETUDE de l'EVAPORATION et de
l'EVAPOTRANSPIRATION

par M. Yves BRESSON
Ingénieur A.M. et E.I.H.
Chef du Service Hydrologique de l'I.R.S.M.



26 AVR. 1959

DB
BRE

Janvier 1959

8987

Des études d'évaporation ont été effectuées de 1954 à 1958 au Bassin Versant expérimental d'ANDROVAKELY par le Service Hydrologique de l'I.R.S.M. (Hauts Plateaux de MADAGASCAR, Région de TANANARIVE).

Les mesures ont porté sur l'évaporation sur nappe d'eau libre (bac expérimental du type "Colorado" et sur l'évapotranspiration potentielle et réelle (lysimètres). Ces dernières mesures sont complétées par un calcul précis du bilan hydrologique de ce petit bassin en vue de contrôler les indications des lysimètres.

Les études sur l'évapotranspiration ont été effectuées en collaboration avec le Service pédologique de l'I.R.S.M.

C H A P I T R E I

EVAPORATION sur NAPPE d'EAU LIBRE

1) - MATERIEL UTILISE et PRATIQUE des MESURES -

Les mesures suivantes ont été effectuées à la station hydrologique d'ANDROVAKELY :

- 3 fois par jour :

Hygrométrie par la méthode psychrométrique
Température de l'air sous abri
Température superficielle de l'eau du bac
Pression

- 1 fois par jour à 6 heures du matin :

Lame d'eau évaporée au bac Colorado
Lecture à l'évaporomètre Piche
Température maximale et minimale de 24 heures
Hauteur de précipitation

Rappelons que les bacs Colorado sont construits en tôle d'acier. Ils sont carrés avec un côté de 3 pieds, soit environ 92 cm et ont une profondeur de 2 pieds. Ils sont enterrés dans le sol de façon à ménager un rebord émergeant de 10 cm de hauteur. Le niveau de l'eau dans le bac est maintenu voisin de la surface du sol (1).

La mesure du niveau s'effectuait au moyen d'une pointe de mesure NEYRPIC au $1/10^{\circ}$ de mm. La hauteur de précipitation de 24 heures qui entre évidemment comme apport d'eau dans le calcul de l'évaporation quotidienne est mesurée dans un bac identique, mais surmonté d'une couche d'huile. Ce processus évite les erreurs systématiques qu'un pluviomètre Association installé normalement pourrait introduire.

(1) Dans les territoires de la Communauté Française, on les remplace peu à peu par des bacs de 1 m de côté.

2) - LES FACTEURS de l'EVAPORATION -

L'évaporation à la surface d'une eau libre dépend :

1°)- Du déficit hygrométrique (F-f) - (différence entre la tension de vapeur saturante F correspondant à la température superficielle de l'eau et la tension de vapeur f de l'air ambiant au voisinage du plan d'eau);

2°)- De la vitesse du vent au sol;

3°)- Du rayonnement solaire qui intervient d'ailleurs dans le déficit hygrométrique;

4°)- Des influences de facteurs secondaires comme la pression atmosphérique, l'existence de végétation aquatique.

La plupart des formules qui ont été mises au point pour tenir compte des facteurs les plus importants dérivent de la formule de DALTON

$$e = K (F-f)$$

K, coefficient qui tient compte de facteurs autres que le déficit hygrométrique, en particulier de la vitesse du vent V. Le facteur F-f n'est pas constant au cours d'une même journée. Il varie beaucoup avec la température.

Sur le bassin d'ANDROVAKELY, la vitesse du vent n'a pas été mesurée.

3) - RESULTAT des MESURES

Les résultats des observations sur bac Colorado enterré sont rassemblés dans le Tableau n°1.

T A B L E A U 1

Evaporation sur bac Colorado enterré à ANDROVAKELY

Mois	Année 1955		Année 1956		Année 1957	
	Evaporat. mensuelle	Moyenne journal.	Evaporat. mensuelle	Moyenne journal.	Evaporat. mensuelle	Moyenne journal.
	mm	mm/j	mm	mm/j	mm	mm/j
Janvier	(139)	(4,5)	127	4,1	155	5
Février	(109)	(3,9)	116	4	103,5	3,7
Mars	(118)	(3,8)	133	4,3	(105,5)	(3,4)
Avril	120	4	117	3,9	96	3,2
Mai	99	3,2	99	3,2	96	3,1
Juin	84	2,8	87	2,9	81	2,7
Juillet	104	3,3	84	2,7	87	2,8
Août	111,5	3,6	121	3,9	105	3,4
Sept.	150	5	138	4,6	120	4
Octobre	186	6	201	6,5	186	6
Novembre	177	5,9	192	6,4	180	6
Décembre	142,5	4,6	152	4,9	121	3,9
Evaporat. annuelle	(1.540)		(1.567)		(1.436)	

Les mois de Janvier, Février et Mars 1955 n'ont pas fait l'objet de mesures d'évaporation. Les chiffres portés entre parenthèses pour ces trois mois correspondent à la moyenne des chiffres 1956 et 1957 et ne sont portés dans le Tableau que pour l'obtention d'une valeur acceptable de l'évaporation annuelle en 1955.

On voit qu'on retrouve chaque année, pour un mois déterminé, des moyennes journalières très voisines. Ceci tient au fait que l'évaporation dépend de facteurs comme la température et le vent qui suivent des cycles annuels assez réguliers. Il s'en suit que les mesures d'évaporation effectuées peuvent être considérées comme représentatives bien que la période d'observation soit relativement courte (3 ans).

Ces résultats mettent en évidence (voir fig.1) :

- Un maximum annuel voisin de 6,2 mm//jour pour le mois d'Octobre;
- Un minimum annuel de 2,8 mm/jour au mois de Juillet;
- Une évaporation totale annuelle sur bac de l'ordre de 1.500 mm.

Le cycle annuel peut s'expliquer comme suit :

a) En Mai, Juin et Juillet, la saison des pluies est achevée, on s'achemine vers l'hiver austral, caractérisé par un assèchement de l'atmosphère et un fort abaissement de la température. Ce dernier facteur est prépondérant et détermine le minimum de l'évaporation annuelle de Juillet, d'autant plus que l'assèchement de l'atmosphère ne se traduit pas par un accroissement très sensible du déficit hydrométrique. En effet, la position des hauts plateaux au Nord du tropique du Capricorne, les basses températures et l'humidité résiduelle des alizés au franchissement de la falaise orientale déterminent des hygrométries relativement élevées, et en tous cas voisines de 100 % le matin.

b) En Août, Septembre et Octobre, l'augmentation de température marquent l'approche de la saison chaude coïncidant avec l'assèchement plus marqué de l'atmosphère qui devient prépondérant et provoque un accroissement rapide de l'évaporation, jusqu'au maximum d'Octobre.

c) Novembre, avec les premières pluies en deuxième quinzaine, voit l'hygrométrie moyenne augmenter légèrement et la température atteindre le palier maximum qui se maintiendra pratiquement jusqu'en Mars. Ce mois accuse une évaporation légèrement plus faible qu'en Octobre.

d) Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril accusent des hygrométries sans cesse croissantes et des températures voisines du maximum, quoique légèrement décroissante à partir de Janvier. On assiste à une baisse brutale de l'évaporation

MAD 8438

ED:

LE:

DES:

VISA:

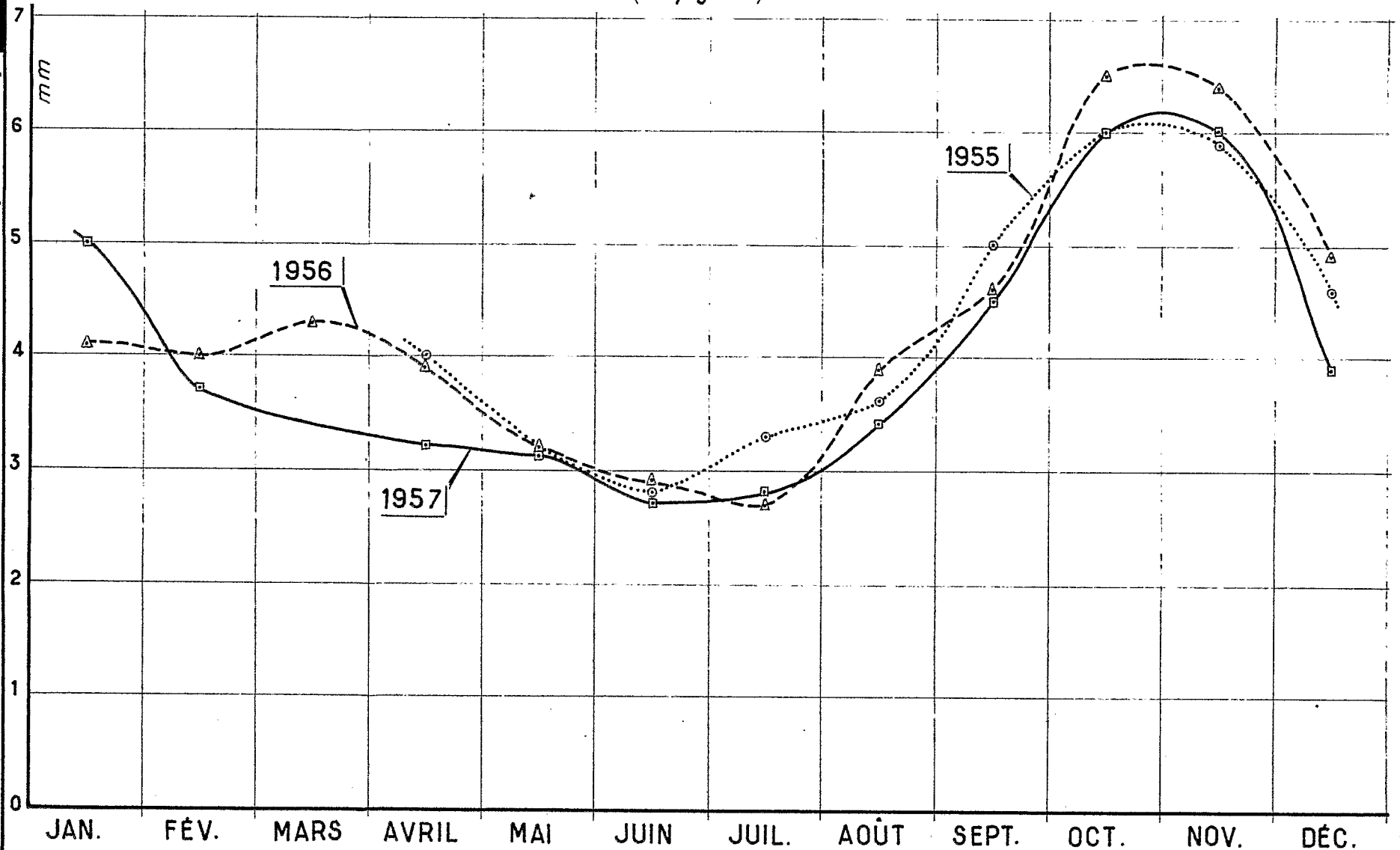
TUBE N°:

A1

ELECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

Bassin versant expérimental d'ANDROVAKELY
Evaporation sur bac Colorado enterré
Moyennes mensuelles
(mm/jour)

Fig. 1



en Décembre et Janvier puis à une décroissance plus modérée à partir de Février. Cette période voit donc la prépondérance de l'hygrométrie élevée sur la température également voisine du maximum.

Mais, de façon générale, la majeure partie de la saison sèche : de Mai à Septembre, présente une évaporation nettement plus faible qu'en saison des pluies. Ceci est à rapprocher de ce que nous avons observé dans le Sud du MOYEN CONGO. Par contre, ces variations sont presque à l'opposé de celles que l'on rencontre dans les régions tropicales de l'hémisphère Nord où le refroidissement hivernal ne donne lieu qu'à un léger fléchissement et où le maximum de température estivale a disparu par suite de l'arrivée de la "mousson".

4) - VALEUR de l'EVAPORATION sur NAPPE d'EAU LIBRE -

L'un des facteurs déterminant de l'évaporation est F , tension de vapeur saturante correspondant à la température superficielle de l'eau (loi de DALTON $e = K (F-f)$).

F est une fonction croissante de la température.

Comme la température de la surface libre est plus faible pour une grande étendue d'eau, l'évaporation est aussi plus faible.

Une autre cause de diminution de l'évaporation, dans le cas des grandes étendues d'eaux libres, réside dans l'hygrométrie plus élevée de l'air qui les surmonte.

Pour ces deux raisons (diminution de F et augmentation de f : tension de la vapeur d'eau dans l'air ambiant) on devra réduire les valeurs relevées à la cuve Colorado dans un certain rapport pour avoir l'évaporation sur grande retenue.

Pour exploiter les relevés du bac Colorado, l'idéal évidemment serait de posséder des résultats de mesures concomitantes sur retenue. Ces résultats sont souvent difficiles à obtenir et, à notre connaissance, aucune étude sur ce sujet n'a été faite encore à MADAGASCAR.

Il serait cependant possible, grâce au coefficient de DALTON établi d'après les mesures sur bac enterré (cf 5ème paragraphe), de calculer l'évaporation sur nappes d'eau libre si l'on possédait des relevés réguliers de la température superficielle de l'eau existant pour certains lacs ou retenues. Malheureusement, aucune mesure de ce genre n'a jamais été effectuée.

Nous sommes donc amenés à nous servir des résultats obtenus en Afrique Noire Française.

Dans l'"Etat Actuel des Etudes d'Evaporation en Afrique Noire Française" (1), M. ROCHE, Ingénieur à ELECTRICITE de FRANCE, donne les chiffres suivants pour le rapport entre l'évaporation sur grande retenue et l'évaporation sur bac enterré.

- climat subdésertique	0,65 à 0,70
- climat sahélien	0,70 à 0,80
- climat tropical	0,75 à 0,85
- climat tropical de transition	0,85 à 0,90
- climat équatorial	0,90 à 0,95

Les chiffres les plus faibles correspondent à des bacs enterrés installés en de tout microclimat humide, ce qui est sensiblement le cas à ANDROVAKELY.

Le climat africain, qui se rapproche à notre avis le plus du climat des Hauts-Plateaux, est le climat tropical de transition. On devrait donc adopter un coefficient de réduction voisin de 0,85.

L'examen du Tableau montre en effet que la température moyenne superficielle dans le bac Colorado est supérieure à celle de l'air ambiant de 2 à 3° environ.

Ce suréchauffement est dû au rayonnement solaire sur le fond et sur les parois du bac : phénomène qui se retrouve sur tous les bacs expérimentaux. Il en a donc été tenu compte dans le Tableau des coefficients de M. ROCHE.

D'autre part, une grande retenue crée un microclimat qui tend à réduire sensiblement l'évaporation.

Dans ces conditions, l'évaporation moyenne mensuelle en mm/jour sur grande retenue dans la région des Hauts-Plateaux est donnée par le Tableau n° 2.

(1) Mai 1958.

T A B L E A U n°2

Evaporation moyenne mensuelle en mm/jour sur grande retenue dans la région des Hauts Plateaux

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1955				3,4	2,7	2,4	2,8	3,05	4,25	5,1	5	3,9
1956	3,5	3,4	3,65	3,3	2,7	2,45	2,3	3,3	3,9	5,5	5,4	4,15
1957	4,25	3,15	2,9	2,7	2,6	2,3	2,4	2,9	3,4	5,1	5,1	3,3
Evaport. moy. en mm/jour	3,9	3,3	3,3	3,15	2,65	2,4	2,5	3,1	3,85	5,25	5,15	3,8
Evaport. moy. mensuelle en mm	121	92	102	93	82,5	72	77,5	96	115	162	155	118

Ce qui correspond à une évaporation annuelle sur retenue de 1.286 mm pour la région des Hauts Plateaux autour de TANANARIVE.

Il serait évidemment souhaitable que des mesures sur bac flottant à la surface de nappes d'eau soient faites afin de confirmer ces chiffres.

Les chiffres fournis par le Tableau n°2, s'ils ont une valeur globale pour le climat des Hauts Plateaux, ne rendent néanmoins pas compte des différences d'évaporation inhérentes aux caractéristiques climatiques locales des diverses régions qui constituent ce haut pays de la grande Ile.

Aussi, nous proposons-nous, dans les paragraphes suivants, d'établir les relations qui lient ces valeurs de l'évaporation aux données météorologiques classiques, en particulier au déficit hygrométrique et à l'évaporation Piche, connues pour de nombreuses stations de mesure, en vue de permettre le calcul de l'évaporation sur nappe d'eau libre à ces stations.

5) - RELATION ENTRE EVAPORATION sur BAC COLORADO ENTERRE et DEFICIT HYGROMETRIQUE -

Nous calculerons le coefficient K de DALTON, rapport entre l'évaporation quotidienne en mm/jour et le déficit hygrométrique en millibars. Pour la logique de l'interprétation, il convient, comme nous l'avons dit plus haut, de calculer F' correspondant à la température de la couche d'eau superficielle du bac. C'est ce que nous ferons en premier lieu. Mais ce résultat n'est pas directement utilisable, pour le calcul des évaporations, car les stations météorologiques fournissent les résultats relatifs à la température de l'air ambiant et non à la température superficielle de l'eau d'un bac ou d'une nappe dont les caractéristiques ne seraient, de toutes façons, pas définies.

En conséquence, nous calculerons en outre le coefficient K_1 , rapport entre l'évaporation et le déficit hygrométrique de l'air ambiant. Ce déficit est égal à $F' - f$, différence entre la tension de vapeur saturante de l'eau dont la température superficielle serait égale à celle de l'air et la tension réelle de vapeur d'eau dans l'air.

a) Mode opératoire :

Le calcul de $F - f$ et de $F' - f$ a été effectué pour chaque mois à partir des valeurs moyennes journalières de l'hygrométrie, de la température de l'air et de la température superficielle de l'eau.

Des essais (voir figure n°2) portant sur des journées complètes, nous ont montré que l'on pouvait faire ce calcul sans erreur appréciable, à partir de :

- la température moyenne de l'air
- la température moyenne superficielle de l'eau
- l'hygrométrie moyenne pour un mois considéré par les relations:

$$(1) \bar{t}_{\text{air}} = \frac{7}{16} t_6 + \frac{4t_{\text{max}}}{16} + \frac{5}{16} t_{18}$$

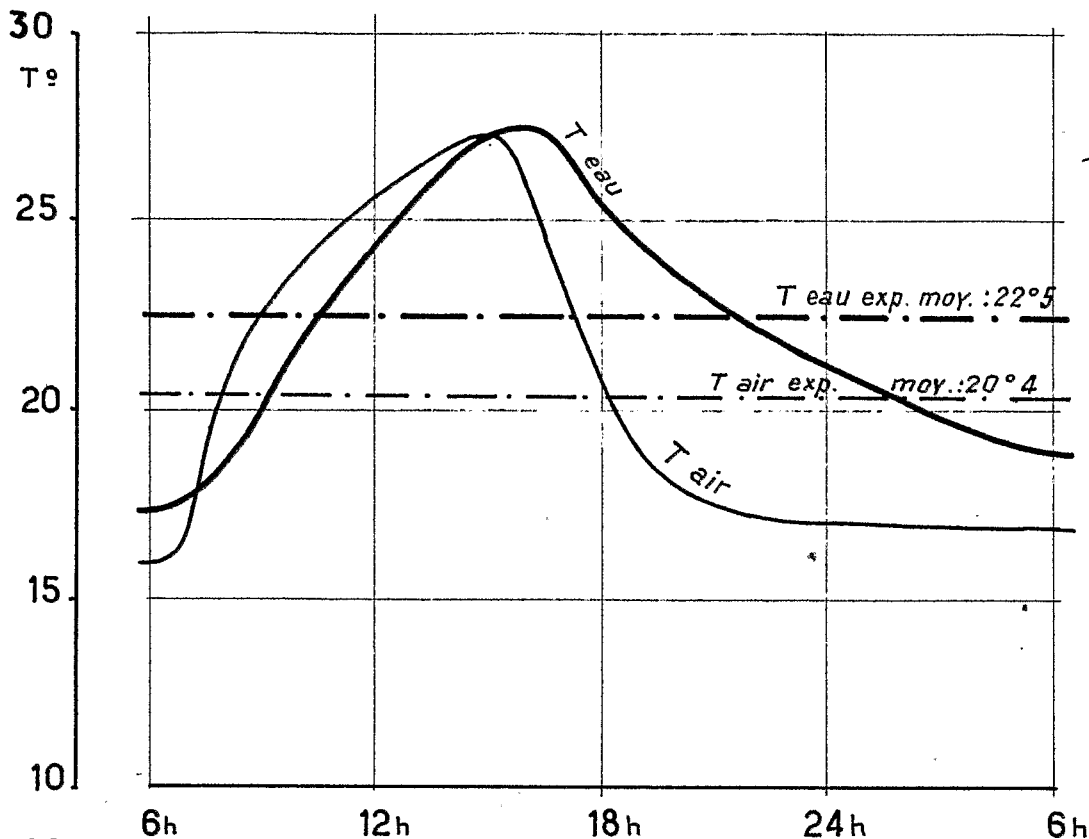
$$(2) \bar{t}_{\text{eau}} = \frac{9}{24} t_6 + \frac{8t_{12}}{24} + \frac{7}{24} t_{18}$$

$$(3) \bar{H}_{\text{moy}} = \frac{11}{24} H_6 + \frac{8H_{12}}{24} + \frac{5}{24} H_{18}$$

Bassin versant expérimental d'ANDROVAKELY

JOURNÉE DU 28 JANVIER 1955

Fig. 2



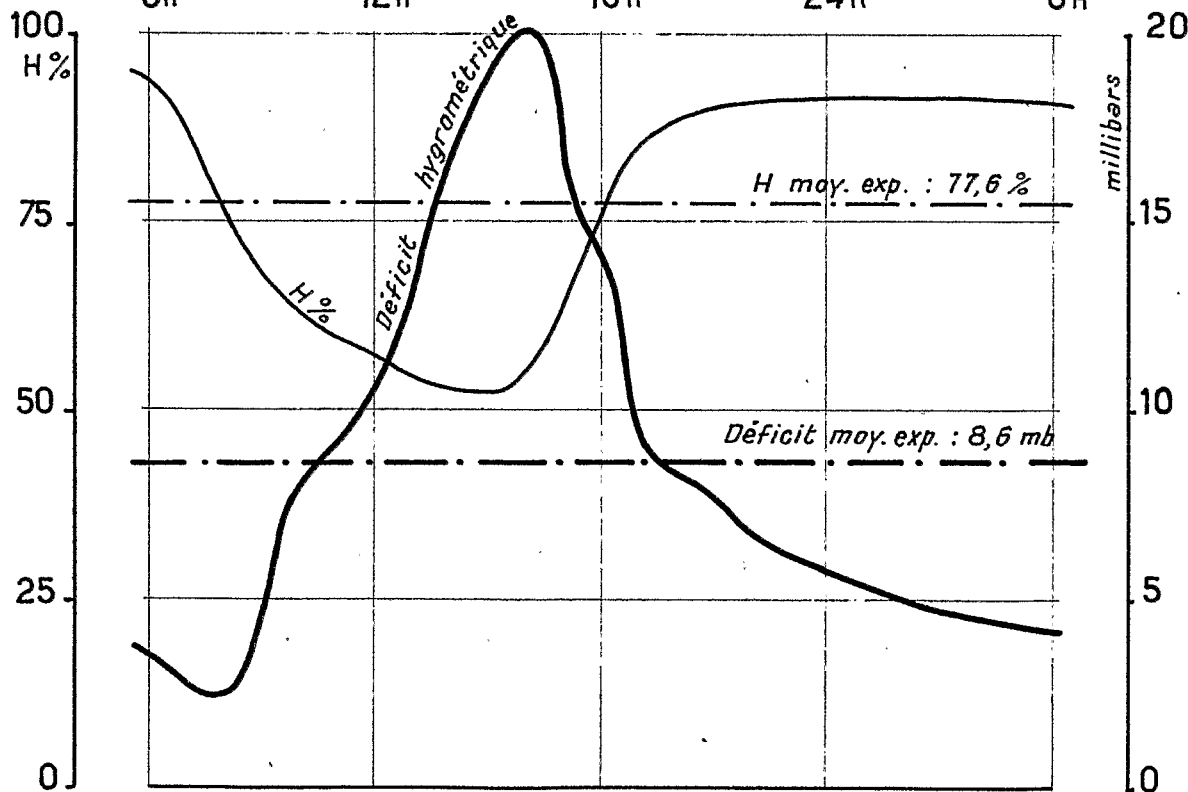
Moyennes calculées par les relations

H : 77,2 %

T_{air} : 20° 3

T_{eau} : 22° 1

Déficit calculé à partir des valeurs précédentes : 8,6 mb



MAD 8439

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

A1

Dans la formule (1) t_6 , t_{18} représentent les températures moyennes à 6 heures et à 18 heures.

t_{\max} désigne la température maximale moyenne pour le mois considéré.

Dans les relations (2) et (3) t_6 , t_{12} , t_{18} , H_6 , H_{12} , H_{18} ont des significations analogues mais se rapportent respectivement à l'eau et à l'hygrométrie.

b) Résultats :

Les valeurs du déficit hygrométrique moyen mensuel sous ses deux formes et des données climatologiques de base calculées à partir des relations précédentes figurent dans le Tableau n°3 ci-après :

T A B L E A U n°3

Valeurs des données climatologiques de base et du déficit hygrométrique
moyen mensuel (F - f, par rapport à l'eau superficielle du bac et
F' - f, par rapport à la température de l'air sec).

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Année 1955	t Air				17,8	16,5	14,7	14,7	14,2	16,0	18,7	19,7	19,8
	t eau (Colorado)				20,9	18,1	15,7	15,9	16,7	18,3	21,8	23,2	23,3
	H %				72,0	70,7	75,8	72,1	71,5	68,9	69,1	72,7	83,2
	F' - f				5,7	5,5	4,1	4,7	4,6	5,7	6,7	6,3	3,9
	(F - f) mb				10,1	7,5	5,1	6,0	7,4	8,5	11,3	11,8	9,4
Année 1956	t Air	19,1	19,1	19,7	18,3	15,5	14,1	13,4	16,4	16,5	20,6	20,3	19,5
	t Eau (Colorado)	22,7	22,0	23,3	21,9	18,6	16,9	16,1	18,1	20,1	22,5	23,7	24,2
	H %	82,3	82,9	80,5	81,8	82,7	79,4	80,4	78,5	79,1	78,2	78,3	76,7
	F' - f	3,9	3,8	4,5	3,8	3,0	3,3	3,0	4,0	3,9	5,3	5,1	5,3
	(F - f) mb	9,4	8,1	10,2	9,1	6,9	6,4	5,9	6,1	8,7	8,2	10,7	12,9
Année 1957	t Air	20,9	19,7	19,2	18,2	16,6	14,6	14,0	15,1	16,6	17,1	20,4	20,2
	t eau (Colorado)	24,9	23,4	23,1	21,2	19,6	16,9	16,7	18,4	20,6	22,5	24,5	24,7
	H %	74,3	79,9	83,5	78,7	78,0	78,0	73,8	71,6	71,0	68,3	70	78,5
	F' - f	6,3	4,6	3,7	4,5	4,2	3,7	4,2	4,9	5,5	6,2	7,2	5,1
	(F - f) mb	13,2	10,5	9,7	8,8	8,05	6,25	7,2	8,85	10,9	13,9	13,9	12,5

CALCUL de K

On voit (fig. 4) que F - f suit un cycle peu variable d'une année à l'autre.

Dans le tableau n° 4 ci-dessous, sont rassemblées les valeurs de $K = \frac{e}{F-f}$, rapport entre les évaporations Colorado moyennes mensuelles en mm/jour, d'une part, et les déficits hygrométriques moyens correspondants, d'autre part.

T A B L E A U n° 4

VALEUR de K (loi de DALTON)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1955				0,396	0,427	0,55	0,55	0,487	0,59	0,53	0,5	0,49
1956	0,436	0,495	0,42	0,43	0,464	0,453	0,457	0,64	0,529	0,794	0,59	0,38
1957	0,379	0,352	0,35	0,364	0,385	0,432	0,389	0,384	0,367	0,432	0,432	0,312

Les courbes de variation correspondantes, ainsi que la courbe moyenne donnant mois par mois la valeur de K (fig. n° 5) montrent que l'amplitude moyenne de variation de K est relativement faible, à quelques valeurs aberrante près (par exemple : Octobre 1956, K = 0,794).

On peut admettre, pour les différents mois de l'année, les valeurs moyennes de K ci-dessous :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
K	0,41	0,42	0,39	0,40	0,42	0,48	0,48	0,45	0,5	0,50	0,49	0,40

Ces valeurs résultant de mesures directes de la température superficielle de l'eau du bac et des lames d'eau évaporées, doivent pouvoir être utilisées telles quelles, à des nappes d'eau libre des Hauts Plateaux pour lesquelles la température superficielle et le déficit hygrométrique réel seraient connus. Les conditions particulières d'évaporation sur bac expérimental doivent avoir, en effet, une influence très réduite sur ces valeurs de K, coefficient réputé sensiblement constant.

CALCUL de K_1

Le calcul direct d'un coefficient $K' = \frac{e}{F' - f}$ F' étant la tension de vapeur saturante correspondant à la température de l'air ambiant à ANDROVAKELY et e l'évaporation sur bac Colorado serait, par contre, pour être applicable à une nappe d'eau libre, justifiable de la correction 0,85 dont il est question au paragraphe 4. En effet, le terme $F' - f$ correspond ici à des mesures sur l'air ambiant correspondant exactement aux mesures des stations météorologiques classiques, situées en général loin des points d'eau.

Nous calculerons donc le coefficient

$$K_1 = \frac{0,85 e}{F' - f} = 0,85 K'$$

On notera que ce calcul sera valable, dans les limites de précision de cette méthode, pour une station météorologique au voisinage de laquelle on se proposerait de créer une nappe d'eau. Mais si l'on voulait, par exemple, calculer l'évaporation sur le lac ALAOTRA, à partir des données de la station météo située au bord du lac, le terme $F' - f$ serait déjà influencé par le voisinage de la nappe d'eau existante. Il conviendrait vraisemblablement de multiplier K' par un terme correctif légèrement supérieur : 0,90 par exemple.

Ceci étant établi, voici dans le tableau ci-après les valeurs expérimentales de K' :

T A B L E A U n°5

Valeurs expérimentales de $K' = \frac{e}{F' - f}$

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1955				0,70	0,58	0,69	0,70	0,78	0,88	0,90	0,94	1,18
1956	1,05	1,05	0,96	1,02	1,07	0,88	0,90	0,98	1,18	1,22	1,25	0,93
1957	0,79	0,80	0,92	0,71	0,74	0,73	0,67	0,69	0,73	0,97	0,83	0,77
Moy.	0,88	0,88	0,93	0,81	0,80	0,77	0,76	0,82	0,93	1,03	1,01	0,96

On voit que les coefficients K' moyens varient relativement peu. Nous en déduisons les valeurs mensuelles suivantes de K_1 .

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0,75	0,75	0,79	0,69	0,68	0,65	0,65	0,70	0,79	0,87	0,86	0,82

applicables directement aux résultats des stations météorologiques pour le calcul des évaporations sur grande nappe d'eau libre.

Ces valeurs sont beaucoup plus élevées que celles qui ont été obtenues au TCHAD, au SOUDAN et en GUINÉE pour lesquels K' était voisin de 0,35 en général, (F et f en millibars), sauf pour les zones désertiques où il n'était plus possible de ne pas tenir compte des vents forts et constants. Les raisons en sont multiples. Il faut invoquer tout d'abord l'altitude (1200 m), le coefficient K étant une fonction décroissante de la pression atmosphérique. L'influence des

rayonnement solaire semble aussi très différente au Sud et au Nord de l'Equateur. Il serait très intéressant de calculer K et K' pour le MOYEN CONGO. Il n'est pas impossible que l'on trouve des valeurs comparables à celles de MADAGASCAR.

Ceci montre bien que la formule très simplifiée de DALTON ne peut avoir qu'un champ d'application limité, le coefficient K pouvant varier largement d'une région naturelle à une autre (même si l'on fait abstraction des sites particulièrement ventés ou abrités).

6) - RELATION ENTRE L'EVAPORATION COLORADO et l'EVAPORATION PICHE -

Pour certaines stations météorologiques, on possède des relevés Piche relativement anciens.

Il peut être intéressant de les utiliser pour déterminer l'évaporation sur des retenues éventuelles. Dans ce but, nous avons essayé d'établir une corrélation entre les mesures Colorado à partir desquelles il est possible de calculer l'évaporation sur grande retenue.

Dans les tableaux qui suivent sont portées :

- 1° - Les moyennes mensuelles de l'évaporation Piche en mm/jour à ANDROVAKELY (Tableau n°6)
- 2° - Les valeurs mensuelles du rapport $K' = \frac{\text{évaporation Colorado}}{\text{évaporation Piche}}$

T A B L E A U n°6

Moyennes mensuelles de l'évaporation Piche en mm/jour à ANDROVAKELY

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1955				3,1	2,8	2,2	2,7	3,5	4,5	5,2	4,2	2,7
1956	2,3	2,5	3,1	3	2,8	2,7	2,7	3,5	3,9	5,5	4,1	2,6
1957	3,2	2	1,4	2,3	2,9	2,6	3,1	3,6	4	4,7	4,3	2,7

T A B L E A U n°7

Valeur du rapport $K'_p = \frac{\text{Evaporation Colorado}}{\text{Evaporation Piche}}$

Année:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1955:				1,29	1,14	1,27	1,22	1,03	1,11	1,15	1,40	1,70
1956:	1,78	1,60	1,39	1,3	1,14	1,07	1,00	1,11	1,18	1,18	1,56	1,88
1957:	1,56	1,85		1,39	1,07	1,04	0,90	0,94	1,00	1,28	1,40	1,44
Moy.												
pr. K'_p	1,67	1,72	1,50	1,33	1,12	1,13	1,04	1,03	1,10	1,20	1,45	1,67
Moy.												
K_p coef.	1,42	1,46	1,27	1,13	0,95	0,96	0,88	0,88	0,93	1,02	1,23	1,42
0,85:												

Les courbes de la figure n°6 reproduisent graphiquement les variations du rapport K'_p , rapport entre l'évaporation moyenne mensuelle Colorado et l'évaporation moyenne mensuelle Piche.

On remarque la relative constance du coefficient K'_p d'une année à l'autre pour un mois considéré, ce qui permet d'évaluer avec une bonne approximation les évaporations pour les stations des Hauts Plateaux équipées d'un évaporomètre Piche. K'_p varie de 1 - 1,10 pour la première moitié de la saison sèche à 1,7 en saison des pluies.

Des mesures effectuées à la station du BANIAN dans le Sud Ouest de l'Ile (climat semi-aride) font ressortir des coefficients K'_p plus faibles, de 0,5 à 1,25.

ANDROVAKELY montre des valeurs nettement supérieures à celles trouvées au Nord de l'Equateur, alors que celles du BANIAN sont du même ordre. Les variations de K_p sont, dans les deux cas, parallèles à celles observées au TCHAD, en GUINEE et au SOUDAN.

Ces coefficients doivent être, comme pour K' , multipliés pour 0,85 ou 0,90, pour obtenir l'évaporation réelle, dans les cas respectifs d'une retenue à créer ou d'un lac existant et très voisin de la station météorologique.

On obtient, en définitive, les coefficient
 $K_p = 0,85 K'_p$ portés en dernière ligne du Tableau n°7

Bassin versant expérimental d'ANDROVAKELY

Fig:3

Températures moyennes mensuelles

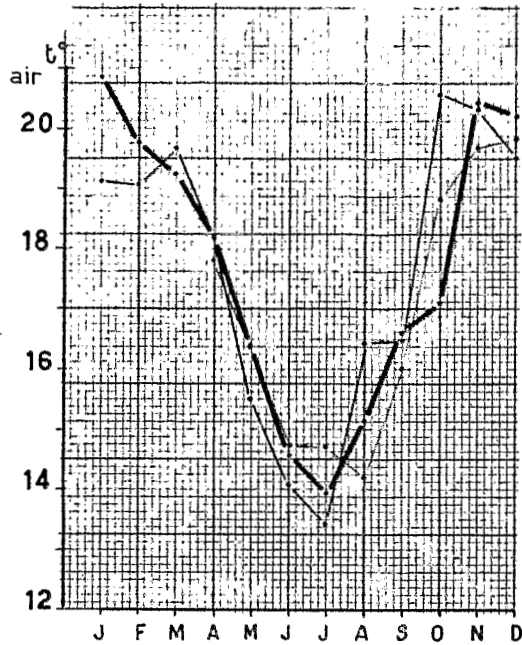


Fig:4

Déficit hygrométrique moyen

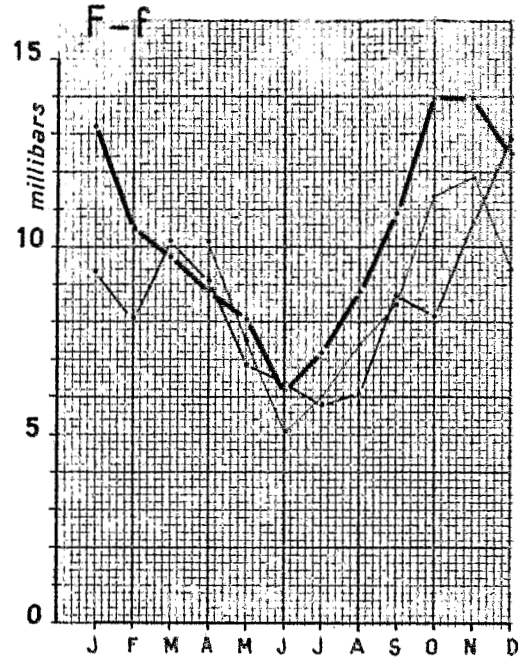


Fig:5

$K = \frac{e}{F-f}$ Loi de Dalton

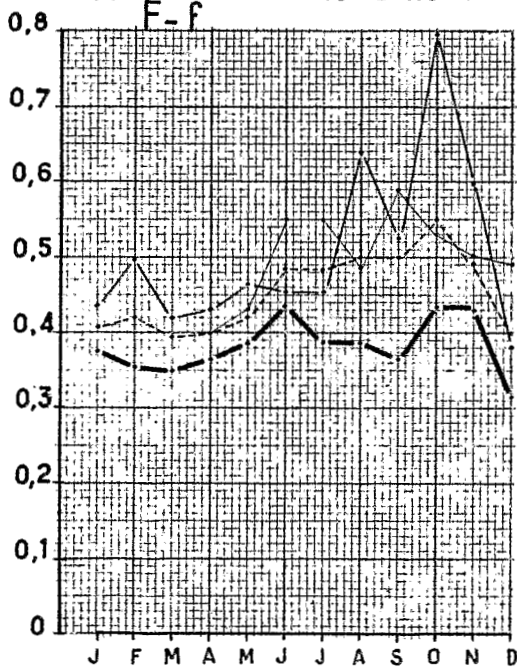
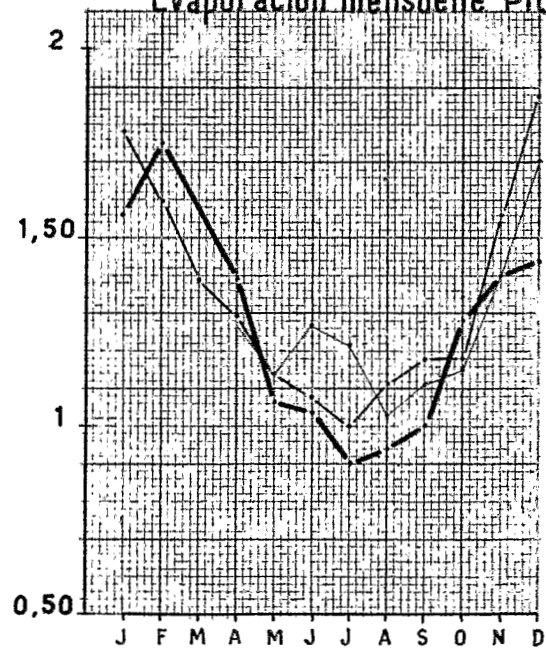


Fig:6

$K_p' = \frac{\text{Evaporation mensuelle COLORADO}}{\text{Evaporation mensuelle PICHE}}$



C H A P I T R E II .

L'EVAPOTRANSPIRATION et le DEFICIT d'ECOULEMENT

1) - MATERIEL UTILISÉ et PRATIQUE des MESURES LYSIMÉTRIQUES -

A TSIMAHABEOMBY, à proximité de l'exutoire du bassin d'ANDROVAKELY, trois cuves lysimétriques classiques ont été installées.

Les cuves sont du type utilisé par l'Institut National pour l'Etude Agronomique du CONGO BELGE. Elles sont en tôle et ont une surface carrée de 2 m de côté. Elles ont été enterrées dans le sol de façon qu'un rebord de 7 cm émerge de la surface topographique. Elles ont été remplies avec la terre constituant les déblais de leur installation, et, autant que possible, en replaçant la coupe pédologique dans son ordre normal. Le fond des cuves, garni de graviers et de cailloux forme drain. L'eau qui percole est ensuite recueillie grâce à un tuyau de vidange muni d'un robinet.

Un pluviomètre "Association" placé dans le voisinage immédiat des cuves permet la mesure de la hauteur de précipitation quotidienne.

Le calcul de l'évapotranspiration s'effectue aisément par différence entre les hauteurs quotidiennes de précipitation et de percolation.

Les cuves B et C avaient trait respectivement à l'évapotranspiration sur sol nu et enherbé.

Enfin, la cuve A enherbé était arrosée quotidiennement, en cas de pluie nulle ou insuffisante. La hauteur d'eau ainsi apportée entrerait dans les calculs et fourniraient ainsi la valeur de l'évapotranspiration potentielle. Rappelons qu'il s'agit de l'évapotranspiration maximale du sol, dans les conditions climatiques naturelles, l'eau d'apport étant constamment suffisante pour maintenir le sol en état d'assurer le développement de la végétation. Cette végétation était constituée par les graminées de la prairie des Hauts Plateaux (*Aristida multicaulis*).

2) - RESULTATS des MESURES LYSIMETRIQUES -

Ils sont rassemblés dans le Tableau n° 8 en hauteurs mensuelles et en mm.

Nous avons éliminé les chiffres de Novembre et Décembre 1955 qui concernent une période où la terre a effectué son premier tassement et a emmagasiné toute l'humidité perdue au cours des travaux d'installation. Durant cette période de début de saison des pluies, la végétation s'est développée sur les cuves A et C. En outre, les mesures de Mai à Septembre 1957 sur la cuve A ont été supprimées car elles montraient des erreurs systématiques importantes dues probablement à une défaillance de l'observateur.

Ceci étant établi, nous devons admettre que ces mesures lysimétriques n'ont pas donné les résultats qu'il était permis d'en attendre. Ce sont, en effet, des mesures très délicates qui auraient dû être effectuées par un Agent européen. Le manque de personnel ne l'a malheureusement pas permis. Nous verrons ci-après que l'analyse des résultats laisse présumer des erreurs de mesures systématiques qui peuvent être liées au remaniement du sol lors du remplissage des cuves, à une végétation trop clairsemée sur les cuves A et C, à des passages privilégiés au contact des parois etc.... Nous ne donnons donc ces résultats qu'avec d'extrêmes réserves. Nous pensons qu'ils peuvent tout de même apporter quelques renseignements.

a) L'évapotranspiration potentielle :

La figure n° 7 représente les points de mesures traduits en mm/jour, en fonction du temps. On voit que la courbe de variation moyenne tracée sur ces points suit fidèlement, à un léger décalage près, celle de l'évaporation sur bac Colorado. Ce fait est normal car les deux phénomènes correspondant à un approvisionnement en eau toujours suffisant doivent donner des résultats voisins. Ceci nous incite à penser que du moins, en ce qui concerne ces mesures d'évapotranspiration potentielle, les résultats obtenus sont valables.

MAD - 8441

ED:

LE: 24-2-59

DES: J. Mélayet

VISA:

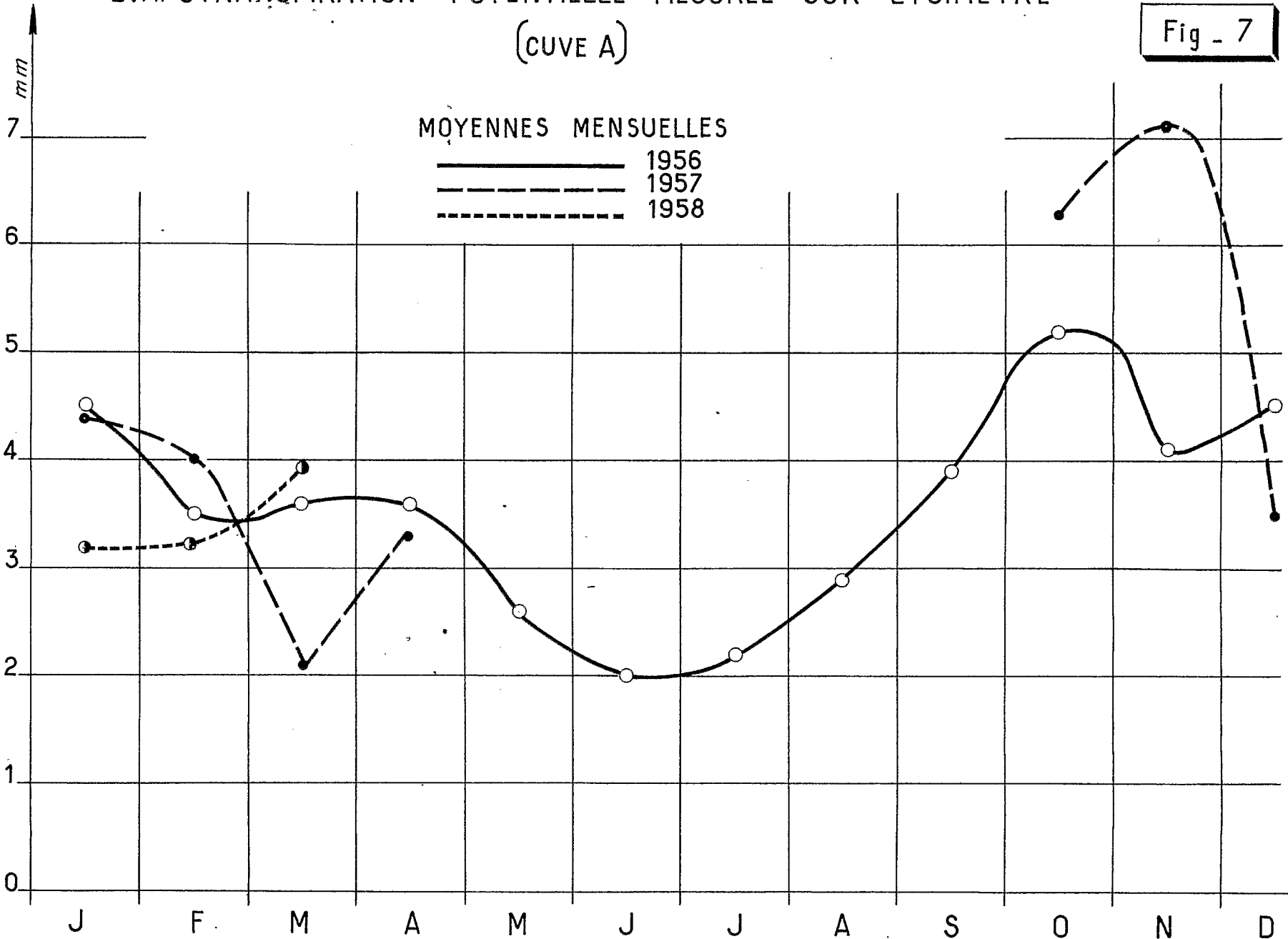
TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE MESURÉE SUR LYSIMÈTRE (CUVE A)

Fig - 7



T A B L E A U n° 8

Mesures lysimétriques

(Hauteurs mensuelles en mm)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Année 1956	Pluie	490,9	227,2	37,6	83,0	4,5	5,0	48,9	3,7	10,2	4,9	129,9	281,6
	Arrosage Cuve A	232,5	217,5	232,5	225,0	232,5	120,0	116,2	123,8	442,5	465,0	450,0	195,0
Année 1956	Cuve A	140,5	101,1	111,4	108,3	81,1	60,8	67,0	91,0	117,6	160,5	124,4	139,2
	Evapotranspiration Cuve B	175,4	64,2	37,6	83	4,5	5	48,9	3,7	10,2	4,9	128,4	193,2
	Cuve C	128,1	40,1	28,3	83	4,5	5	48,9	3,7	10,2	4,9	129,6	123,6
Année 1957	Pluie	144,5	326,7	608,9	91,1	8,7	1,3	3,5	5,2	12,5	67,4	138,3	219,8
	Arrosage Cuve A	285	195	75	390	465	450	465	465	450	450	330	225
	Cuve A	137,5	111,0	64,9	100,1						196,9	216,8	109,8
	Evapotranspiration Cuve B	130	129,5	166,9	44,3	8,7	1,3	3,5	5,2	12,5	67,4	138,3	167,1
Année 1958	Pluie	396,8	188,2	271,0									
	Arrosage Cuve A	210	240	255									
	Cuve A	98,3	104,4	121,0									
	Evapotranspiration Cuve B	118	119,2	121,5									
Année 1958	Cuve C	83	90,4	111									

Cuve A : Evapotranspiration potentielle Cuve B : sol nu Cuve C : sol avec végétation

Nous obtenons ainsi les valeurs mensuelles suivantes :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ep mm/j	3,9	3,7	3,4	3,1	2,6	2,1	2,2	2,9	3,9	5,8	5,6	4,3
Ep mensuelle en mm	121	95	105	93	81	63	68	90	117	180	168	133

L'évapotranspiration potentielle annuelle ressortirait donc à 1.300 mm environ. L'année 1956, pour laquelle les mesures sont complètes donne une évaporation de 1.303 mm. Ce chiffre est très voisin des 1.286 mm obtenus pour l'évaporation sur nappe d'eau libre (avec application du coefficient 0,85). Il semble que le coefficient de réduction, pour passer de l'évapotranspiration potentielle sur lysimètre à celle observée sur de vastes étendues d'eau libre, soit beaucoup plus proche de l'unité que dans le cas du bac Colorado et de la nappe d'eau libre. Le cycle de l'évapotranspiration potentielle peut être décrit exactement de la même façon que celui de l'évaporation sur nappe d'eau libre (cf. chapitre 1, paragraphe 3).

b) L'évapotranspiration réelle :

Elle est directement soumise à la hauteur de précipitations annuelle et à sa répartition. Ces deux facteurs déterminent les apports d'eau disponibles pour l'évapotranspiration. Remarquons que le cas des cuves lysimétriques est un peu particulier, car elles ne donnent jamais lieu à ruissellement. L'eau précipitée ne peut que s'infiltrer ou s'évaporer. Les conditions sont donc, dans ce cas, peut-être plus favorables que dans la réalité et devraient donner lieu à une évapotranspiration légèrement surestimée.

En hauteur annuelle totale, le Tableau n° 8 nous donne les chiffres suivants:

	Pluie	Sol avec végétation	Sol nu
1956	1.327 mm	610 mm	759 mm
1957	1.628 mm	669 mm	875 mm

Il apparaît curieux que le sol nu ait donné lieu à une évapotranspiration supérieure à celle sur sol avec végétation. Pour cette comparaison, la suppression du ruissellement fausse nettement les résultats. En outre, l'influence de la végétation varie nettement suivant sa hauteur. Il est possible aussi que la cuve C ait présenté des passages privilégiés augmentant artificiellement le drainage. Nous estimons pour le moment qu'il est difficile de tirer une conclusion de cette constatation.

L'application de la formule de TURC à ces années 1956 et 1957 donne des évapotranspiration de 825 et 875 mm. La pluviométrie normale à ANDROVAKELY étant de 1.400 mm, on peut admettre une évapotranspiration moyenne de l'ordre de 850 mm. Il nous est évidemment impossible de déterminer l'influence de la végétation. L'évapotranspiration peut varier largement suivant la répartition de la pluie.

Au point de vue répartition dans l'année, l'examen du Tableau n° 8 met en évidence les points suivants :

- Les précipitations de saison sèche, même lorsqu'elles sont notables (de l'ordre de 50 mm) font intégralement retour à l'atmosphère. Cependant, de telles précipitations correspondent en général à un nombre restreint de jours de pluie (2 ou 3) et donc à des hauteurs par averse de l'ordre de 10 à 30 mm.
- Il arrive assez souvent, en saison des pluies, que l'évapotranspiration dépasse l'évapotranspiration potentielle. Cela est probablement dû aux variations de la quantité d'eau contenue dans un sol bien drainé et soumis à des pluies intermittentes.

Une précipitation tombant après quelques jours secs sera employée partiellement à reconstituer l'état hygrométrique du sol. Au contraire, la teneur en eau du sol de la Cuve A peut être considérée comme constante. Ces variations s'annulent de toutes façons dans le bilan annuel pour les Cuves B et C.

3) - LE BILAN HYDROLOGIQUE -

A l'inverse des mesures lysimétriques, les bilans de 1956 et 1957 sont connus pour ANDROVAKELY avec une précision bien supérieure à celle des bilans habituellement calculés sur d'autres bassins. En effet, les pluies sont connues par 11 pluviomètres répartis sur les 24 km² du bassin et les débits sont enregistrés d'une manière continue. Malheureusement, le bilan

n'est connu que pour deux années, ce qui ne permet pas de tirer des lois générales.

Le déficit d'écoulement correspond à l'évapotranspiration, à condition que le bilan annuel soit calculé entre des dates extrêmes correspondant à un même état des nappes.

La date la plus favorable est celle du 31 Octobre qui correspond le plus souvent à la fin de la saison sèche et à la charge minimale des nappes. Toutefois, pour 1955, une grosse averse de 69 mm est tombée le 31 Octobre. Nous l'avons incluse dans le bilan de Novembre 1955 à Octobre 1956.

Le Tableau n° 9 donne l'ensemble des bilans mensuels connus.

Pour les années 1955/1956 et 1956/1957, on voit que les déficits d'écoulement s'élèvent à 671 mm et 901 mm pour des pluviométries de 1.439 et 1.565 mm. Ces chiffres sont nettement supérieurs à ceux des lysimètres, surtout pour l'année 1956/1957 pour laquelle les hauteurs de précipitations sur le bassin et sur le lysimètre sont voisines.

On voit ici l'extrême variabilité de ces déficits suivant la répartition annuelle de la pluie.

Ces chiffres conduisent, en effet, à des écoulements respectifs de 768 et 664 mm. Il est surprenant de voir que les 1.439 mm de précipitation de 1955/1956 ont donné un écoulement plus important que les 1.565 mm de 1956/1957. Un examen des précipitations par averse met en évidence une concentration des pluies de 1955/1956 en grosses averses bien supérieures à celles de 1956/1957. On note, en 1955/1956, 14 averses supérieures à 40 mm et 7 seulement en 1956/1957.

Donc, 1955/1956 accuse un coefficient d'écoulement nettement plus fort : 53 % au lieu de 42 %. Par ailleurs, la saison des pluies ne dure que 4 mois en 1955/1956. En 1956/1957, la pluie est bien mieux répartie sur 5 mois. L'évapotranspiration est donc bien supérieure car le sol donne lieu à évapotranspiration potentielle pendant une période plus longue.

T A B L E A U n°9

Bilan hydrologique du bassin d'ANDROVAKELY
(Hauteur en mm)

	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	Année	
1955/1956	Pluie	196	389	425	223	57	68	5	3,7	55	3,3	10,1	4,2	1439
	Écoulement	57	170	178	111	59,5	44,6	31,4	26,8	27,8	23,8	20,4	17,7	768
	Déficit	139	219	247	112	- 2,5	23,4	-26,4	-23,1	27,2	-20,5	-10,3	-13,5	671
	Ev.transp. effective			128	40	28	83	4,5	5	49	4	10	5	env. 600
	Ev.transp. potent.			140	101	111	108	81	61	67	91	118	160	
1956/1957	Pluie	110	262	128	360	549	63	10,1	0,2	4,4	6,1	6,9	65	1565
	Écoulement	17,2	54	43,5	127,5	220	68,5	32,6	23,6	22,2	22,2	17,2	14,9	664
	Déficit	92,8	208	84,5	232,5	329	- 5,5	-22,5	-23,4	-17,8	-16,1	-10,3	50,1	901
	Ev.transp. effective	130	124	77	91	114	32	9	1,3	3,5	5,3	12	67	666
	Ev.transp. potent.	124	139	137	111	65	100						197	
1957/1958	Pluie	110	216	380	195	201								
	Écoulement	17,4	52,5	147	78	96								
	Déficit	92,6	163,5	239	117	105								
	Ev.transp. effective	138	117	83	90	111								
	Ev.transp. potent.		110	98	104	121								

Malgré les imperfections inhérentes aux méthodes employées et à la nécessité de réduire les frais d'observations, on peut constater que les études d'évaporation entreprises sur le bassin d'ANDROVAKELY peuvent d'ores et déjà fournir aux auteurs de projets des données intéressantes concernant les Hauts Plateaux de MADAGASCAR. Il serait souhaitable de compléter ces renseignements par la mise en service de stations analogues, non seulement sur les Hauts Plateaux, mais aussi dans d'autres régions de la Grande Ile, en particulier dans les zones plus arides de la côte Ouest et du Sud.

Enfin, à un autre stade, la mesure d'autres facteurs conditionnels principaux de l'évaporation et de l'évapotranspiration devrait être entreprise, en particulier celle du vent et celle du rayonnement solaire global.