

Étude de l'évaporation sur les surfaces d'eau libres en Afrique noire française

Study of evaporation from free water surfaces in French Africa

PAR

M. J. RODIER

INGÉNIEUR EN CHEF

AU SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER D'E.D.F.
CHARGÉ DE LA DIRECTION
DES ÉTUDES HYDROLOGIQUES DE L'O.R.S.T.O.M.

ET M. P. TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY

INGÉNIEUR

AU SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER
D'ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

Pour les études de grands réservoirs sur le Sénégal, le Haut-Niger, le Konkouré, la Bénoué, l'Electricité de France et l'Office de la Recherche Scientifique Outre-Mer ont effectué en divers points d'A.-O.F. et d'A.-E.F des mesures systématiques d'évaporation au moyen de bacs évaporatoires standards.

On a cherché :

- 1° A déterminer pour un certain nombre de sites les valeurs moyennes de l'évaporation journalière;
- 2° A relier ces observations aux données climatologiques observées sur de longues périodes aux stations météorologiques les plus voisines;
- 3° A relier les résultats bruts des mesures aux grandeurs correspondantes telles qu'elles seraient observées sur de grands réservoirs.

Des mesures plus complètes de effectuées des Bamako, ont porté à la fois sur des bacs enterrés, des bacs flottants et de petits réservoirs avec sol de fondation étanche.

Les résultats (hauteur d'eau évaporée annuellement, variant de 1,60 m à Kouroussa à plus de 2,50 m à Kayes) sont voisins des données admises jusqu'à ce jour.

Les bacs enterrés ont fourni des valeurs très voisines de celles des petits réservoirs.

Ces études se poursuivent.

For these studies of large reservoirs (on the Sénégal, the Haut-Niger, the Konkouré, the Bénoué) Electricité de France and the Office de la Recherche Scientifique Outre-Mer have made systematic measurements of evaporation by means of standard evaporation tanks, at several points in French West Africa and French Equatorial Africa.

They have sought:

1. To determine the mean values of daily evaporation for a number of different sites;
2. To relate these observations to information about climate obtained over long periods at the nearest meteorological stations;
3. To relate the overall results to the corresponding magnitudes observed on the large reservoirs.

More complete measurements were carried out in the Bamako area with buried tanks, floating tanks and small earth reservoirs with sealed foundations.

The results (height of water evaporated annually, varying from 1.60 m at Kouroussa to more than 2.50 m at Kayes) are approximately the same as the figures assumed up to the present.

The buried tanks supplied values very close to those for the small reservoirs.

The studies are being continued.

L'évaporation est l'un des facteurs essentiels du bilan hydrologique.

Dans le cas d'un bassin à sous-sol imperméable, comme c'est très souvent le cas en Afrique noire française, la totalité des pertes entre précipitations et écoulement est due directement ou indirectement à l'évaporation.

La mesure des pertes par évaporation dans le cas simple des nappes d'eau libres constitue le premier stade de l'étude de l'évaporation dans le

cas le plus général. Elle peut déjà donner des indications intéressantes sur le plan scientifique, alors que l'étude directe de l'évaporation sur une fraction de bassin versant est particulièrement difficile.

D'autre part, ces études sont indispensables pour l'examen des conditions d'exploitation des grands réservoirs qui ont été projetés depuis quelques années en A.O.F., en A.E.F. et au Cameroun pour la mise en valeur de ces régions.

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n°/B177 B

27 AVR. 1959

Or, les données expérimentales à ce sujet sont très rares. Les données américaines provenant d'études expérimentales assez poussées sont souvent utilisées. Malheureusement, les conditions climatologiques dans les régions soudaniennes sont très différentes, de sorte que l'emploi de ces données risque de conduire à de graves erreurs. Des mesures directes s'imposaient donc.

Depuis 1951, l'U.H.E.A. et l'Electricité de France ont entrepris des études systématiques pour le compte de la Direction générale des Travaux Publics de l'A.O.F. (Service de l'Hydraulique) ou de sociétés d'économie mixte productrices d'énergie électrique.

Les études d'Electricité de France sont reprises par l'Office de la Recherche scientifique et technique Outre-Mer qui compte leur donner une grande extension : sept stations sont déjà installées en Afrique noire. Les mesures ne sont plus effectuées dans un but particulier comme l'avait fait Electricité de France. Elles sont considérées comme une première étape de l'étude générale de l'évaporation.

Les méthodes employées jusqu'ici présentent de nombreuses imperfections. Il ne s'agissait pas de recherches scientifiques méthodiques comme le feraient des chercheurs, mais de mesures faites par des ingénieurs en vue d'obtenir quelques données expérimentales pour les guider dans la mise au point des projets. Malgré des relevés incomplets et des extrapolations parfois hasardeuses, nous avons cru utile cependant d'exposer dès à présent les résultats obtenus, étant donné le manque de renseignements valables pour cette partie du globe.

En exposant les difficultés rencontrées et les moyens employés pour les résoudre, nous espérons faciliter la tâche des chercheurs qui auraient à entreprendre des études du même genre.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉVAPORATION SUR DES SURFACES D'EAU LIBRES

Rappelons rapidement les principaux facteurs qui interviennent dans le phénomène d'évaporation à la surface d'eau libre :

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

2° La vitesse du vent au sol.

Les formules empiriques donnant la hauteur d'eau évaporée en fonction des facteurs principaux dérivent toutes de la loi de DALTON :

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

e = évaporation journalière;

K = coefficient qui tient compte des facteurs autres que le déficit hygrométrique, en particulier de la vitesse moyenne du vent V .

Les facteurs F , f et V sont loin d'être constants au cours d'une même journée dans les régions tropicales : ils varient même dans de très fortes proportions. (Voir fig. 1 et 2.)

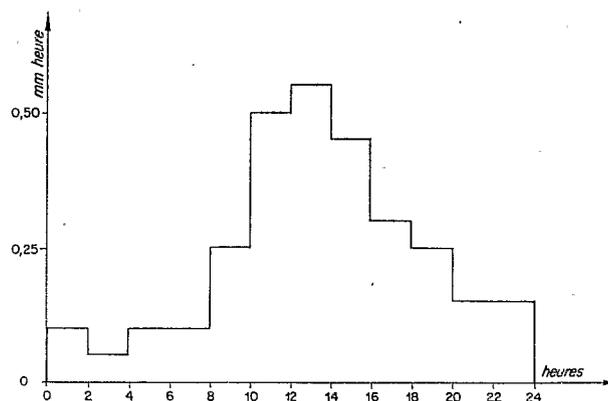


FIG. 1. — Variations journalières de l'évaporation. Kindia (Guinée), 24 mai 1953.

Suivant la façon dont sont prises en compte les variations journalières des températures intervenant dans le calcul de ($F - f$), le coefficient K de la formule de DALTON peut varier dans de notables proportions.

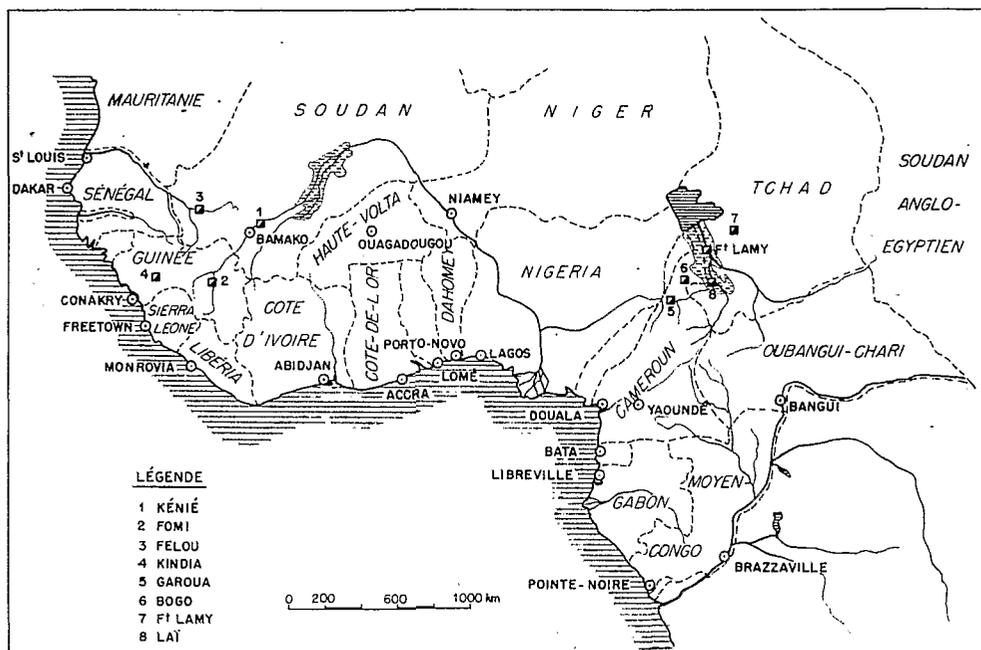
PRINCIPE DES RECHERCHES

Il était impossible, étant donné les délais imposés pour les études, de procéder à des recherches portant sur une longue période et sur un grand nombre de points. Nous avons donc cherché, au moyen de mesures de durée limitée mais portant sur des régions de climats assez différents, à établir des relations empiriques simples valables pour la région soudanienne, permettant de calculer l'évaporation à partir des données fournies par les stations météorologiques.

Autant que possible, les postes d'observations étaient situés dans le lit apparent de grands fleuves dont le micro-climat se rapprochait sensiblement de celui d'une retenue de grande surface. Les conditions climatologiques au voisinage de points d'eau sont en effet très différentes en région soudanienne de celles des régions environnantes, généralement homogènes.

Les études avaient donc pour objet :

1° De déterminer pour un certain nombre de sites les valeurs moyennes de l'évaporation journalière pour des périodes d'assez courtes durées au moyen de bacs évaporatoires du type Colorado;



Carte de situation des bacs d'évaporation.

2° De rattacher ces mesures par des formules empiriques simples aux données climatologiques relevées au voisinage immédiat des bacs standards et aux observations de la station météorologique la plus proche. Ce procédé devrait permettre, par extrapolation, de déterminer la hauteur d'eau annuelle évaporée sur un bac flottant en un point quelconque des régions soudanaises;

3° De donner des indications sur les relations entre l'évaporation mesurée dans les bacs standards enterrés ou flottants et sur des retenues de grande surface et de grande profondeur.

PRATIQUE DES MESURES

Des mesures ont été effectuées aux sites suivants :

1° Au voisinage de la centrale du Felou sur le Sénégal;

2° Dans un bras mort du Niger, aux rapides de Kénié, à 30 km environ à l'aval de Bamako (Soudan);

3° Au site du barrage prévu à Fomi sur le Niandan (Guinée);

4° A Kindia, au voisinage de Fouta-Djallon (Guinée);

5° Aux différents sites de barrage prévus sur le cours du Konkouré (Guinée);

6° A Garoua sur la Bénoué (Nord-Cameroun) par la Commission Logone-Tchad (O.R.S.T.O.M.);

7° A Bogo (Nord-Cameroun) et Lai (Tchad) par le même organisme.

Les études les plus complètes ont été effectuées au site de Kénié. Ce site était particulièrement favorable par suite de la présence d'un certain nombre de mares laissées par le Niger après la décrue dans le lit rocheux que l'on pouvait supposer étanche. Ces mares pouvaient permettre de comparer les résultats des bacs à ceux d'une retenue de faible superficie.

Les bacs flottants étaient installés dans les mares, les bacs enterrés étaient situés le plus près possible des bacs flottants, dans le lit apparent du fleuve, mais nettement au-dessus de la nappe phréatique, de façon à éviter toute influence thermique perturbatrice par suite de remontées capillaires. Autant que possible, bacs flottants et cuves enterrées avaient la même exposition au vent et étaient placés dans le même micro-climat.

Nous relevions, outre la hauteur d'eau évaporée mesurée au moyen de pointes de mesure NEYRPIG (*):

— La température superficielle de l'eau dans le bac;

— Les températures de l'air sèches et mouillées au moyen du thermomètre-fronde.

(*) En A.-E.F. et au Cameroun, la pointe est fixe; l'évaporation est mesurée par le volume d'eau à verser dans le bac pour maintenir le niveau constant.

Nous utilisons pour les relevés de l'évaporation PICHE les données du Service météorologique de Bamako, données probablement un peu plus élevées que celles qui auraient été relevées à Kenie.

Un problème délicat était posé par le nombre de mesures journalières et les heures auxquelles elles devaient être effectuées. Nous avons vu que tous les facteurs d'évaporation varient beaucoup au cours d'une même journée, surtout en saison sèche.

Nous opérons de la façon suivante à Kénié :

Les températures sèche et humide de l'air, la température superficielle de l'eau étaient relevées le matin entre 7 et 8 heures et au début de l'après-midi, entre 14 et 15 heures au voisinage du maximum. Le niveau des cuves n'était mesuré que le matin.

Nous avons renoncé à mesurer le vent pour les raisons suivantes :

Pendant toute la saison sèche, la vitesse du vent reste faible. Au moment des tornades classiques, il souffle avec violence pendant quelques minutes. Seules les tornades sèches au début de la saison des pluies peuvent donner lieu à des vents assez violents, de durée notable. L'harattan ne se traduit pas au sol par des phénomènes violents. Il en est d'ailleurs tenu compte dans les mesures puisqu'il influe directement sur la température.

D'autre part, les retouches effectuées en vue de trouver une corrélation entre les indications données sur le vent par les stations météorologiques et l'évaporation journalière n'ont donné aucun résultat.

Par contre, la brise qui suit le lit général du Niger, et qui n'est pas relevée par les stations météorologiques, situées trop loin des fleuves, doit avoir une influence très nette, surtout aux périodes les plus chaudes; elle se reproduit tous les jours avec des intensités voisines. Il est donc possible, en première approximation, d'englober son action dans le facteur constant : K.

La première mare, mare A, aurait pu être intéressante, étant donné sa grande profondeur, plus de 8 m. Malheureusement, elle n'était pas étanche.

La seconde mare, mare B, à pourtour et à fond exclusivement rocheux, a été isolée du Niger en mars. Sa longueur était de 200 m, sa largeur de 40 m. Sa profondeur était faible, 0,50 à 1 m. La hauteur d'eau était relevée une fois par jour, la température superficielle deux fois par jour.

RÉSULTATS BRUTS

Ces résultats diffèrent très largement suivant la situation des bacs. C'est ainsi qu'au Félou, en juin, les relevés à deux cuves situées à quelques

centaines de mètres l'une de l'autre, diffèrent du simple au double. La différence correspond, comme l'ont montré les mesures hygrométriques, à des micro-climats différents. On évite en grande partie cet inconvénient en utilisant des bacs flottants ou en plaçant les cuves dans le lit apparent des cours d'eau.

Le tableau I met en évidence le caractère sporadique des observations. Il est difficile à exploiter sous cette forme soit pour l'examen de variations saisonnières en un point donné, soit pour les variations de l'évaporation d'un point à un autre de l'A.O.F. Il nous a semblé nécessaire de le compléter avant d'entreprendre toute interprétation.

ESTIMATIONS DES HAUTEURS D'EAU ÉVAPORÉES ANNUELLEMENT

Nous déterminerons le montant total de l'évaporation annuelle dans les différents cas en estimant pour les mois manquants l'évaporation mensuelle à partir des données climatologiques fournies par la station météorologique la plus proche, soit au moyen de formule du type de DALTON, soit par comparaison avec l'évaporation PICHE.

Notons que la formule de DALTON s'applique en toute rigueur à un facteur F dépendant directement de la température superficielle de l'eau dans le bac, alors que les stations météorologiques donnent *uniquement* les températures sèche et humide de l'air ambiant. Même si nous supposons que le bac est situé à la station météorologique, les valeurs des températures maxima et minima de l'air et de l'eau sont différentes; cependant nous avons pensé que les moyennes étaient assez voisines et que, par suite, il était possible de remplacer la température moyenne superficielle de l'eau par la température moyenne de l'air dans la formule.

En fait, la moyenne arithmétique des valeurs de F correspondant à la température de l'air à 7 et 14 heures sera supérieure en saison sèche à la moyenne arithmétique de F correspondant aux températures de l'eau, d'où les valeurs de K plus faibles.

Nous avons donc pris en considération deux coefficients différents :

1° Le coefficient K de la formule de DALTON appliquée à F correspondant aux températures superficielles de l'eau;

2° Le coefficient K_1 d'une formule identique à celle de DALTON : $e = K_1(F - f)$ qui s'appliquerait d'une part aux évaporations réellement observées, d'autre part, aux valeurs de F correspondant aux températures de l'air à la station météorologique la plus proche; procédé fort peu

TABLEAU I. — *Evaporations observées (mm par jour)*

	FÉLOU ⁽³⁾		KÉNIÉ	FOMI	KINDIA	BOGO
	Bac enterré E.D.F.	Bac enterré U.H.E.A.	Bac flottant	Bac flottant	Bac enterré	Bac enterré (4)
Janvier			7		6,5	
Février			6 ⁽¹⁾			
Mars						
Avril						
Mai	11,1 ⁽²⁾	8,4 ⁽²⁾	8+	5,6+		
Juin	9,6	6,3		4,8+		
Juillet	7+ ⁽¹⁾	4,5+ ⁽¹⁾		3,2+	2,7+	
Août					1,3+	4,5
Septembre					2,9+	5,3
Octobre			4 ⁽²⁾		3,0+	7
Novembre			5		3,5+	10,6
Décembre			5		5,9	11,2

(1) Première décade du mois seulement.
(2) Deuxième quinzaine.
(3) Bacs situés dans deux micro-climats très différents.
(4) Situation un peu analogue à celle du bac Félou (E.D.F.).
+ Correction faite pour tenir compte des jours de pluie.

orthodoxe, mais c'est le seul qui puisse être employé pour rattacher l'évaporation aux données des stations météorologiques;

3° Nous avons défini le coefficient K_p : rapport entre évaporation mensuelle mesurée dans le bac et évaporation mesurée à l'appareil PICHE.

En pratique, les coefficients K , K_1 , K_p ont été déterminés de la façon suivante :

Pour un mois déterminé, nous avons porté sur un graphique les points figuratifs de chaque jour avec, en ordonnée, l'évaporation journalière en mm et, en abscisse ($F-f$) ou les relevés de l'évaporomètre PICHE. On obtient ainsi un nuage de points au milieu duquel on trace une droite passant par l'origine et laissant autant de points de part et d'autre; le coefficient angulaire de cette droite est le coefficient K (ou K_1 ou K_p).

Pour les stations à forte pluviométrie telles que Kindia, nous n'avons pas éliminé tous les jours de pluie comme nous l'avons fait en zone soudanaïenne. Nous avons conservé tous les jours à précipitation inférieure à 10 mm. La dispersion dans les valeurs de K est d'ailleurs beaucoup plus grande.

Nous avons porté dans le tableau II les valeurs des coefficients K , K_1 , K_p . Les valeurs de K_1 et K_p entre parenthèses ont été extrapolées, comme nous l'indiquerons plus loin.

Au cours de l'année, K varie assez peu; de même les différences sont faibles entre les résultats de Kenie et ceux de Kindia qui correspondent à des climats différents. Nous vérifions ainsi :

1° Que la formule de DALTON s'applique assez bien aux observations sur les bacs Colorado, malgré les approximations que nous avons faites;

2° Que l'influence du vent est sensiblement la même pour tous les sites (sous réserve que les bacs soient placés dans le lit apparent).

Le coefficient K varie dans une faible mesure au cours de l'année, le minimum étant atteint en décembre au moment où l'écart journalier des températures est le plus grand et le maximum en saison des pluies au moment où cet écart est le plus faible. Cette variation de K correspond probablement à la façon dont nous faisons intervenir les variations diurnes de la température dans le calcul de la moyenne journalière. Une méthode plus judicieuse pourrait peut-être conduire à un coefficient sensiblement constant.

En première approximation, il semble qu'il n'y aurait pas grand inconvénient à prendre K constant et égal à 0,45. Ce coefficient sert uniquement pour les vérifications puisqu'il est inutilisable pour l'extrapolation à partir de données des stations météorologiques.

TABLEAU II

Valeurs de K et K₁

	FÉLOU		KÉNIÉ				FOMI		KINDIA	
	Bac enterré U.H.E.A.		Bac enterré		Bac flottant		Bac flottant		Bac enterré	
	K	K ₁	K	K ₁	K	K ₁	K	K ₁	K	K ₁
Janvier		(0,30)	0,41		0,44	0,32		(0,25)	0,51	0,59
Février		(0,30)	0,42		0,39	0,27 ⁽¹⁾		(0,30)		
Mars		(0,33)				(0,35)		(0,40)		
Avril		(0,35)				(0,40)		(0,45)		
Mai		0,35	0,45		0,48	0,40		0,47	0,41 ⁽³⁾	
Juin		0,50				(0,60)		0,76 ⁽¹⁾		
Juillet		0,60				(0,70)		0,67 ⁽¹⁾	0,48 ⁽¹⁾	0,90
Août		(0,75)				(0,70)		(0,75)	0,35 ⁽¹⁾	1,20
Septembre		(0,75)				(0,70)		(0,70)	0,63 ⁽⁵⁾	1,15
Octobre		(0,50)	0,49		0,48	0,40 ⁽²⁾		(0,50)	0,53	1,10
Novembre		(0,35)	0,36		0,46	0,32		0,32	0,50	0,73
Décembre		(0,30)	0,34		0,42	0,30		0,21	0,63 ⁽⁵⁾	0,74

(1) Compte tenu uniquement des jours sans pluie ou avec pluie faible. (4) Première quinzaine seulement.
 (2) Deuxième quinzaine seulement. (5) Chiffres extrapolés.
 (3) Kaleta. (5) Chiffres douteux.

Valeurs de K_p

	FÉLOU	KÉNIÉ		FOMI	KINDIA	KALÉTA
	Bac enterré U.H.E.A.	Bac enterré	Bac flottant	Bac flottant	Bac enterré	Bac enterré
	Janvier	(0,7)		0,97	(0,5)	1,2
Février	(0,7)		0,85 ⁽⁴⁾	(0,7)		
Mars	(0,8)		(1,0)	(0,7)		
Avril	(0,8)		(1,0)	(0,8)		
Mai	0,80		1,20	0,92 ⁽¹⁾⁽²⁾		0,66 ⁽³⁾
Juin	1,20		(1,7)	1,76 ⁽¹⁾		
Juillet	1,27		(1,9)	1,95 ⁽¹⁾	1,8 ⁽¹⁾	
Août	(1,6)		(1,9)	(1,9)	1,5 ⁽⁵⁾	
Septembre	(1,5)		(1,7)	(1,7)	1,9 ⁽¹⁾	
Octobre	(1,2)		1,33 ⁽²⁾	(1,4)	1,8 ⁽¹⁾	
Novembre	(0,7)	1,05	1,10	0,70	1,5 ⁽¹⁾	
Décembre	(0,6)	0,75	0,85	0,50	1,3	

(1) Compte tenu uniquement des jours sans pluie ou avec pluie faible. (4) Première quinzaine seulement.
 (2) Deuxième quinzaine seulement. (5) Chiffres extrapolés.
 (3) Kaleta. (5) Chiffres douteux.

Par contre, le coefficient K_1 est de la plus grande utilité quoique sa signification physique soit moins simple et sa détermination plus imprécise.

Comme il fallait s'y attendre, K_1 varie assez largement d'un site à un autre et même d'un bac à un autre pour un site donné. Nous constatons que les variations saisonnières de K_1 sont parallèles à celles de K avec minimum en décembre et maximum en saison des pluies. Mais l'amplitude est incontestablement plus grande. Ceci s'explique par le fait que K_1 doit corriger la valeur excessive des écarts de la température de l'air par rapport aux écarts de la température superficielle de l'eau.

Il semble que K_1 varie de :

- 0,30 à 0,60 ou 0,70 au Félou;
- 0,30 à 0,60 ou 0,70 (?) à Kénié;
- 0,21 (?) ou 0,25 à 0,75 (?) au Niandan.

K_1 atteint 1,15 à 1,20 en saison des pluies à Kindia.

L'amplitude est double ou triple de celle des variations de K .

Il semble que cette amplitude augmente depuis les zones soudaniennes (Félou, Kénié), où nous rencontrons des valeurs presque identiques jusqu'aux zones guinéennes (Kindia).

Contrairement à ce qui a été exposé plus haut pour le coefficient K , il n'a pas été possible d'adopter un coefficient K_1 valable pour toute l'année et à plus forte raison pour tous les sites.

Les relevés de Kénié les plus complets montrent que le rapport K_p (évaporation bac/évaporation PICHE) subit des variations sensiblement parallèles à celles de K_1 avec, malheureusement, une plus forte amplitude encore.

L'examen du tableau II montre bien que les divers coefficients trouvés s'appliquent uniquement à des relations entre bacs déterminés et stations météorologiques également bien déterminées. Il se peut que, par exemple si l'on change la position des bacs, on trouve des coefficients de valeurs voisines avec des variations absolument parallèles; mais, de toute façon, il sera nécessaire de faire des corrections qui peuvent atteindre jusqu'à 30 ou 40 % d'une station à l'autre, pour les mois présentant les plus grands écarts.

Il ne faut pas oublier non plus dans l'étude de ces divers coefficients que la saison des pluies n'arrive pas à la même date pour les divers bassins, de sorte que les mois de transition peuvent avoir, pour certaines stations, des coefficients de saison sèche alors qu'ils correspondent à des coefficients de saison des pluies à d'autres stations.

Enfin, la pratique qui consiste à prendre 50 %

de l'évaporation PICHE pour une retenue de grande superficie est à proscrire.

Nous avons extrapolé les valeurs de K , K_1 et K_p , en tenant compte du parallélisme entre les variations saisonnières de ces coefficients.

A partir de ces données, nous avons déterminé, dans le tableau III, les hauteurs d'eau évaporées chaque mois pour l'année 1952.

L'emploi simultané des coefficients K_1 et K_p nous a fourni des recoupements très utiles.

Nous obtenons en définitive, pour l'année 1952 :

- Au Félou, sur bac enterré..... 2,40 m
- A Kénié, sur bac flottant..... 2,10 m
- Au Niandan, sur bac flottant..... 1,60 m

Ces valeurs confirment sensiblement celles que nous avons précédemment admises à la suite d'extrapolations beaucoup plus sommaires. Comme nous le verrons plus loin, elles ne s'appliquent qu'à des situations bien déterminées.

L'étude des relevés des évaporomètres PICHE montre que, pour ces régions tropicales, l'écart entre les résultats d'une année à forte évaporation et d'une année moyenne est de l'ordre de 15 %.

L'examen des résultats de l'année 1952 montre que l'évaporation a été forte à Kayes; légèrement faible à Bamako; forte à Kankan.

Mais les relevés portant sur un faible nombre d'années, la moyenne n'étant pas précise, nous n'avons pas cherché à effectuer de corrections en vue d'obtenir des moyennes interannuelles.

VARIATIONS SAISONNIÈRES DE L'ÉVAPORATION

Elle ressort immédiatement du tableau III. Au Soudan, l'évaporation croît pendant toute la saison sèche en relation avec l'augmentation de la température. Elle atteint son maximum généralement en avril : 11 à 12 mm par jour. (En 1952, le maximum était en mai, par suite d'une saison des pluies tardive.)

En général, l'humidité relative augmente nettement en mai, entraînant une diminution de l'évaporation. Par la suite, l'évaporation diminue encore pendant la saison des pluies et reste stationnaire en juillet, août et septembre. Elle passe alors par un minimum de 2,5 mm à 3 mm par jour. En octobre, la saison des pluies s'achève et l'évaporation commence à augmenter, lentement cependant, car si l'humidité relative décroît assez rapidement, par contre, la température diminue depuis octobre jusqu'en décembre (5 à 6 mm/j).

En Haute-Guinée, sur le Niandan, on observe

TABLEAU III. — Evaporations journalières (en mm)

	FÉLOU				KÉNIÉ				FOMI			
	Bac enterré				Bac flottant				Bac flottant			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
Janvier		5,4	6,1	6	7	—	—	6		4	4	4
Février		7,7	7,9	8	6 (1)	—	—	7		5,9	6,7	6
Mars		11,2	10,7	11		10,2	8,6	9		8	6,2	7
Avril		12,3	11,8	12		12,6	9,7	11		7,4	6,6	7
Mai	8,4	—	—	8,5	8 +	—	—	8	5,6 +	—	—	5,5
Juin	6,3	—	—	6,5		6,2	4,7	5	4,8 +	—	—	5
Juillet	4,5 +	—	—	4,5		3,6	2,9	3	3,2 +	—	—	3
Août		4,0	3,2	4		3,2	2,5	2,5		2,4	2,8	2,5
Septembre . .		3,0	2,1	3		3,1	2,5	2,5		2,4	2,4	2,5
Octobre . . .		4,1	3,5	4	4 (2)	—	—	4		3,9	3,1	3,5
Novembre . .		5,6	5,2	5,5	5	—	—	5		3,2	3,1	3
Décembre . .		5,9	5,6	6	5	—	—	5,5		2,8	3,0	3
Total annuel (en m) . . .				2,40				2,10				1,60

a) : Valeurs expérimentales. (1) Première décade du mois seulement.
b) : D'après la loi de DALTON. (2) Deuxième quinzaine.
c) : D'après évaporomètre PICHE. + Correction faite par jour de pluie.
d) : Valeurs admises.

des évaporations de saison sèche nettement plus faibles qu'au Soudan. Les variations saisonnières sont sensiblement parallèles à celles de Kenie. L'amplitude est plus faible.

D'autre part, fait qui n'apparaît que sur ces moyennes mensuelles, l'évaporation en saison des pluies présente un caractère très différent suivant la latitude du fait de la nébulosité. En effet, dans le Nord du Soudan, un jour sans pluie d'août ou de septembre présente une évaporation notable assez analogue à celle mesurée certains jours de saison sèche, alors qu'en Haute-Guinée, et à plus forte raison à Kindia, les jours sans pluie, d'ailleurs rares, présentent une évaporation beaucoup plus faible qu'en saison sèche.

ÉVAPORATION JOURNALIÈRE

A titre indicatif, nous donnons, sur les graphiques 3 et 3 bis, les hauteurs d'eau évaporées pour un mois de saison sèche au site de Kénié et un mois de saison des pluies à Kindia. On constate que la dispersion est beaucoup plus forte en saison des pluies qu'en saison sèche. Nous n'avons pas tenu compte des jours de forte précipitation

pour lesquels l'évaporation doit être inférieure aux plus faibles valeurs indiquées.

Il est nécessaire, en raison de cette forte dispersion, de poursuivre les observations pendant une période de quinze jours au moins pour avoir une idée de l'évaporation moyenne pendant un mois donné.

ÉVAPORATION HORAIRE

Quelques observations ont été faites concernant les variations de l'évaporation au cours d'une même journée. Le graphique 1 correspond à des relevés faits toutes les deux heures; il donne une idée de ces variations. Les relevés ont été effectués en mai à Kindia. L'amplitude est très grande. L'évaporation nocturne est négligeable.

DÉTERMINATION DE L'ÉVAPORATION A LA SURFACE D'UNE RETENUE

Les valeurs que nous avons indiquées correspondent à des cas bien déterminés.

Par exemple, un bac enterré au voisinage d'un certain thalweg pour le Félou, un bac flottant en plein courant à Fomi sur le Niandan.

Il serait imprudent d'extrapoler les résultats

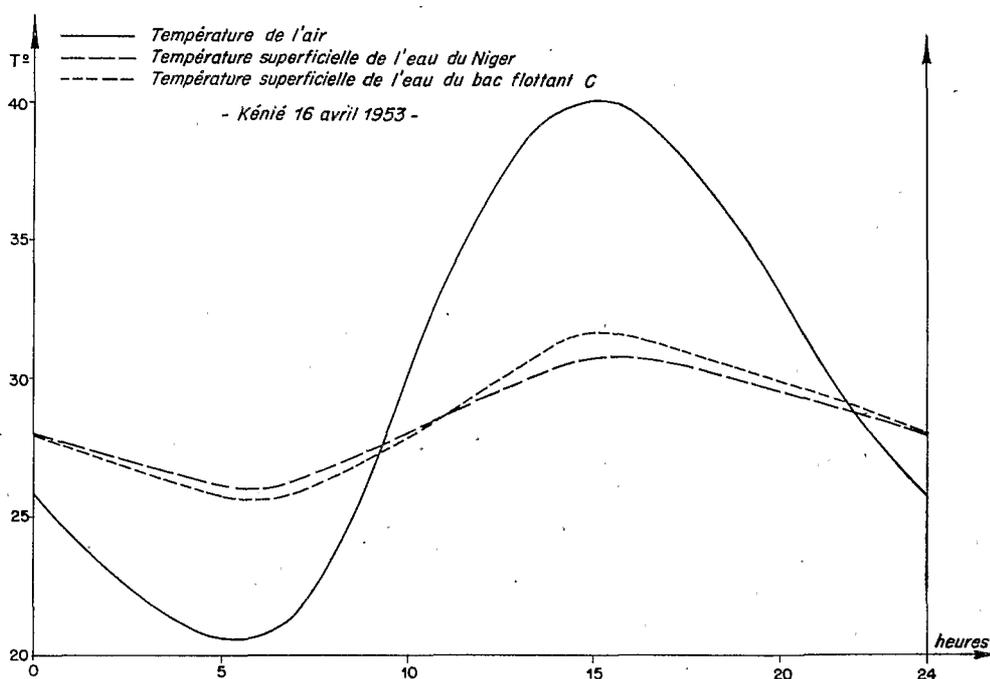


FIG. 2.. — Variations journalières de température.

ainsi trouvés, à des cas généraux, sans précautions spéciales, car les résultats varient beaucoup suivant l'exposition. (Voir plus haut.)

Il n'a pas toujours été possible de trouver dès le début des études un emplacement de bac correspondant à des conditions normales. C'est pourquoi, nous pensons qu'il est prudent, chaque fois que l'on veut étudier un site, d'utiliser au moins 4 à 5 bacs à des emplacements différents. Il est d'ailleurs possible, par une étude serrée des variations locales des températures sèche et humide, de retrouver des conditions climatologiques « normales » et d'éliminer les bacs qui ne peuvent donner aucune indication utile pour le but recherché, par suite de leur situation « anormale ». L'exemple des deux bacs enterrés du Kenie montre qu'en se plaçant dans des conditions climatologiques comparables, on trouve des résultats très voisins, exemple en mai : 10,3 et 9 mm. Nous ne saurions trop recommander à cet effet de placer les bacs pendant la saison sèche dans le lit apparent des cours d'eau.

Moyennant ces précautions, il semble que le coefficient de réduction entre bac flottant et bac enterré soit très faible.

Nos études ont porté sur des périodes de trop faibles durées pour pouvoir donner des indications générales sur la valeur des coefficients entre évaporation sur bac flottant et évaporation sur bac enterré. D'ailleurs, ce coefficient varie suivant la situation respective des deux bacs. Il semble qu'à Kenie, entre les bacs enterrés et les bacs flottants A et C, on puisse prévoir un coef-

ficient de réduction de 95 %. Il semble qu'il y ait tout intérêt à utiliser des bacs flottants malgré une installation un peu plus laborieuse.

Il reste à déterminer le coefficient de réduction entre bac flottant et retenue. Nous espérons beaucoup de l'étude des mares. Il semble, d'après ces essais, que l'évaporation trouvée dans un bac Colorado flottant soit sensiblement équivalente à l'évaporation dans une retenue de faible profondeur telle que la mare B du Kenie.

D'après le graphique 3, nous avons essayé de calculer ce coefficient de réduction en tenant compte de la régularisation journalière qui se produit dans les grandes retenues. La réduction de l'évaporation en résultant n'est que de 2 %. Mais ces études ne tiennent pas compte de l'augmentation du degré hygrométrique en dessus d'une grande retenue balayée par des vents beaucoup plus chargés d'humidité que la brise du Niger. Le coefficient de réduction — 98 % — qui résulterait de cette situation est donc un maximum.

Ce résultat tend à montrer toutefois que la différence est faible entre l'évaporation sur un bac flottant et celle sur une retenue de grande superficie : le coefficient de réduction devrait être supérieur à 80 % (*).

Nous pensons qu'il serait imprudent d'appliquer des coefficients de 70 % comme on le voit faire couramment. Les valeurs de ces coefficients ont souvent été déterminées un peu légèrement et souvent à partir de bacs enterrés situés très loin du lit apparent.

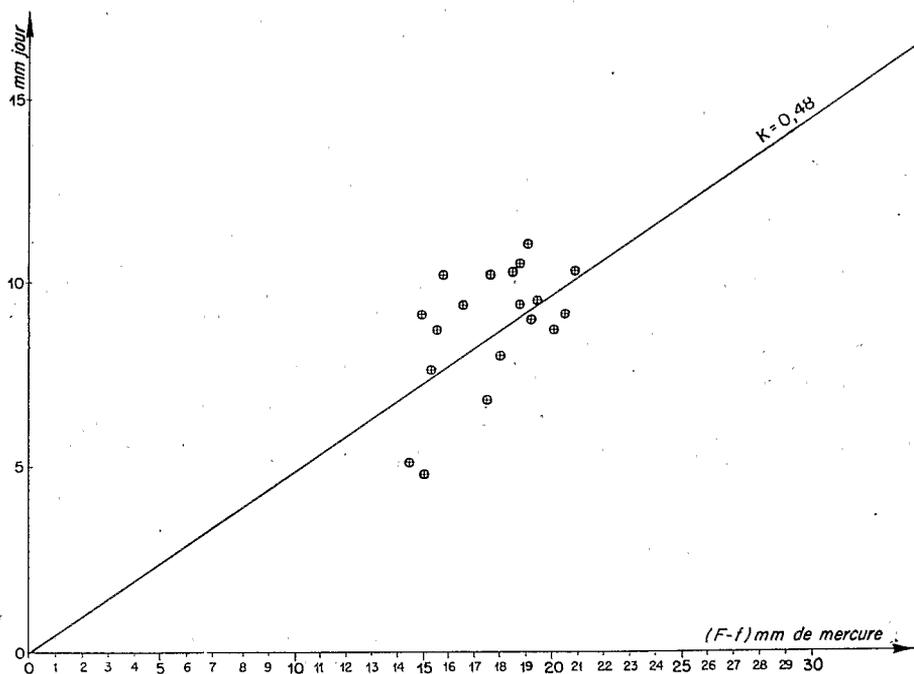


FIG. 3. — Mesures d'évaporation au Kénié (Soudan) pendant un mois de la saison sèche. Essai d'ajustement de la loi de DALTON : $e = K(F - f)$.

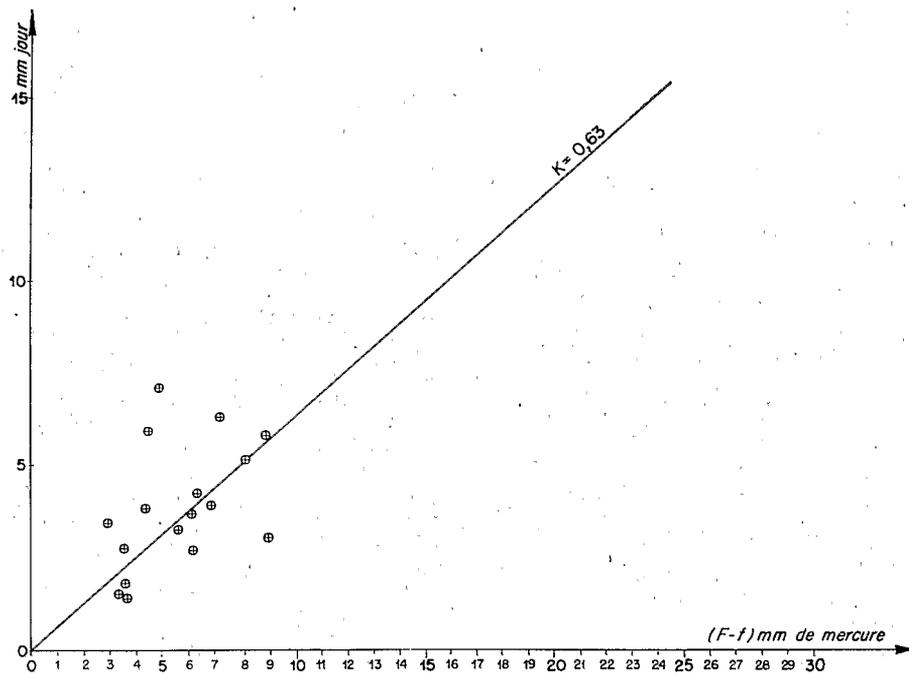


FIG. 3 bis. — Mesures d'évaporation à Kindia (Guinée) pendant un mois de la saison des pluies. Essai d'ajustement de la loi de DALTON : $e = K(F - f)$.

CONCLUSION

Les études incomplètes dont nous venons de donner les résultats ont confirmé les valeurs généralement admises pour l'évaporation annuelle

à la surface d'eau libre en zone tropicale, soit entre 1,50 et 3 m depuis la Haute-Guinée jusqu'à la région soudanienne nord.

Il est possible d'utiliser les données climatologiques fournies par les stations météorologiques

moyennant des coefficients variables suivant les mois. L'application de coefficients constants de réduction aux données de l'évaporomètre PICHE est à proscrire. Nous savons fort peu de choses de la valeur des coefficients permettant de passer de l'évaporation à la surface d'un bac flottant,

à l'évaporation telle qu'elle se produit dans une retenue de grande profondeur.

L'Office de la Recherche scientifique et technique Outre-Mer se propose d'entreprendre des recherches sur ce problème, mais il ne sera pas possible de donner des résultats avant plusieurs années.

DISCUSSION

M. le Président GARIEL remercie MM. RODIER et TOUCHEBEUF et souligne le discernement nécessaire aux ingénieurs dans le choix de l'emplacement des stations de mesure pour échapper aux micro-climats.

M. BERTHIER attire l'attention sur la technique des bacs évaporométriques : les bandes d'absorption de l'eau par l'énergie solaire se trouvent dans l'infra-rouge et représentent environ 30 % de l'énergie solaire; dans le cas d'un sol, cette fraction est transformée en chaleur et réabsorbée par l'eau, totalement et immédiatement; dans le cas de l'eau libre, il n'y a que la peau de l'eau, c'est-à-dire une épaisseur de 1 mm en contact avec l'atmosphère qui absorbe les bandes d'infra-rouge, le reste de l'énergie solaire servant à chauffer l'ensemble de l'eau. D'autre part, l'agitation des nappes naturelles (turbulence, vagues, etc.) crée un phénomène de mélange et donne une température moyenne différente de la température de peau.

Il résulte de ces phénomènes que les mesures sur bacs évaporométriques de faible profondeur ne représentent pas fidèlement l'évaporation des nappes natu-

relles et c'est ce qui a conduit M. BERTHIER à réaliser avec le S.C.H. un bac flottant à fond souple et transparent aux rayons infrarouges qui, placé à la surface de la nappe naturelle, transmet le mouvement de l'eau libre à l'eau du bac et permet l'absorption de l'énergie rayonnante jusqu'au fond de la nappe. L'eau évaporée est remplacée par l'eau libre admise dans le bac par un orifice et le volume de cette eau, dont le niveau est difficilement mesurable par suite de son instabilité, est évalué par la différence des conductibilités entre l'eau du bac et l'eau extérieure et, éventuellement, corrigé par des mesures pluviométriques en cas de pluie. Il faut renouveler périodiquement l'eau du bac afin d'éviter de fausser le phénomène et les mesures lorsque la solution est trop concentrée.

M. le Président remercie M. BERTHIER.

(*) Des études récentes sur le bilan hydrologique du Logone dans la zone des déversements confirment absolument ce point.