

Mesure de l'évaporation d'un lac en climat sahélien

Lac de Bam (premiers résultats)

D. IBIZA

Chargé de Recherches de l'O.R.S.T.O.M.

L'O.R.S.T.O.M. a entrepris depuis 1966, sur le lac de Bam, des mesures de bilan hydrique dans le but de calculer, par différence des autres termes du bilan, l'évaporation du lac et de définir, par comparaison avec des mesures d'évaporation sur bac Colorado, des lois simples permettant de passer de l'évaporation sur bac à l'évaporation d'une petite retenue en climat sahélien.

Ces mesures, entreprises avec des moyens financiers très réduits et pratiquement sans surveillance, sont peu satisfaisantes et ont mis en évidence la difficulté de contrôler certains termes du bilan et, en particulier, les apports au lac et les volumes prélevés par pompage, ces derniers jouant un rôle bien plus important que ce qu'on avait espéré.

Les résultats présentés dans cette note risquent donc d'être peu significatifs, mais il était indispensable de les mettre au clair avant d'entreprendre des mesures plus complexes d'évaporation par bilan thermique et ne serait-ce que pour permettre aux campagnes futures de bénéficier de l'expérience acquise durant la période écoulée.

1. LE LAC DE BAM.

Le lac de Bam occupe le lit fossile d'un affluent de la Volta Blanche. Lorsqu'il est plein, il s'étend sur une trentaine de kilomètres suivant un axe orienté globalement nord-sud. Il est étroit et peu profond : sa plus grande largeur ne dépasse pas 800 m, sa plus grande profondeur, à la cote actuelle de déversement, est d'environ 4 m, le rapport du volume à la surface ne dépassant pas 1,40 m.

Le seuil naturel, constitué par les déjections des monts alentours, a été surélevé par une digue qui porte le volume de la retenue à 40 millions de mètres cubes.

Le lac n'a pas déversé, jusqu'à présent depuis la construction de cette digue, et les déversements doivent être très rares.

Le marigot amont draine un bassin versant d'environ 1 900 km², en climat sahélien, sous des précipitations annuelles inférieures à 600 mm. La platitude de son relief en fait un bassin à tendance endoréique très marquée et d'un rendement très faible. Le coeffi-

cient de ruissellement annuel est de quelques pour cent et peut être inférieur à 1% en année sèche.

Le bassin versant propre du lac, d'une valeur globale d'environ 200 km², est par contre plus actif, s'appuyant sur un relief plus accusé, et les six affluents latéraux qui se partagent cette superficie, en drainant des sous-bassins versants allant de 10 à 60 km², constituent l'essentiel des apports au lac.

Ces apports varient de 5 millions de mètres cubes en année très sèche, à environ 40 millions de mètres cubes en année très humide et la moyenne inter-annuelle doit se situer aux environs de 10 millions de mètres cubes.

Du point de vue de l'évaporation, ce lac ne se comporte certainement pas comme une grande surface libre et les effets de bord y sont certainement sensibles, mais il est assez représentatif d'un certain paysage sahélien et c'est ce qui en fait son intérêt.

Le fond de la cuvette est comblé d'une épaisse couche d'alluvions argileuses et des mesures effectuées par KLEIN sur le niveau piézométrique de la nappe ont montré qu'il n'y avait pratiquement aucun échange entre le lac et la nappe phréatique et que la cuvette pouvait être considérée comme imperméable. Lorsque la cuvette est pleine, on peut imaginer qu'une certaine infiltration puisse se produire à travers les berges plus sableuses, mais il ne nous a pas été donné de confirmer cette hypothèse, les hivernages observés jusqu'à présent ayant tous été plus ou moins déficitaires. Nous avons observé par contre, après les premières crues de l'hivernage, une certaine infiltration due à la macroporéabilité des fentes de retrait de la couche d'argile craquelée, mais le phénomène est transitoire et de courte durée.

2. LE BILAN HYDRIQUE.

2.1. LES APPORTS.

On pensait à l'origine pouvoir contrôler sérieusement les apports et de nombreux limnigraphes furent installés sur les principaux marigots. Les résultats des campagnes de jaugeages et, en particulier, de celle de 1968 (cf. note, bilan hydrique 1968) ont montré l'impossibilité de contrôler les volumes entrés dans le

lac à mieux que 20%, la morphologie des lieux (pas de lit mineur, faibles vitesses, forte végétation dans le lit majeur) ne se prêtant pas à une hydrologie fine.

On détermine les apports différemment en analysant le limnigramme du niveau du lac. Les crues des marigots latéraux sont en effet de courte durée et provoquent des remontées brutales du niveau du lac, facilement identifiables sur un enregistrement.

Malheureusement, la gaine du limnigraphe installé sur le lac n'était pas assez profonde pour enregistrer les bas niveaux et il y a des lacunes importantes en fin de saison sèche et en début d'hivernage. Ce n'est qu'en 1971 que le limnigraphe a été rabaissé et que la réduction a été diminuée.

La détermination de la baisse du plan d'eau par ce procédé est plus ou moins précise suivant les cas :

— En saison sèche : après lissage des lectures d'échelle, la précision est d'environ 0,5 cm et cela représente une erreur mensuelle d'environ 3%, erreur qui se compense d'un mois sur l'autre.

— En début d'hivernage : le marigot amont ne coule pas, le limnigraphe ne fonctionne pas.

On commet sur chaque crue une erreur d'environ 3 cm, les lectures à l'échelle étant en hivernage peu satisfaisantes, du fait de l'instabilité de la surface du plan d'eau.

L'erreur croît avec le nombre de crues qui se sont produites dans le mois et devient rapidement inacceptable. Le dépouillement devient alors plutôt subjectif et on peut réduire la dispersion des résultats en essayant de dépouiller les différents mois de la façon la plus homogène possible mais on risque d'introduire, ce faisant, une erreur systématique difficilement appréciable.

— Pendant l'hivernage, le marigot amont ne coule toujours pas, mais on dispose des enregistrements du limnigraphe. Dans ce cas, l'erreur sur chaque crue est de 1 cm et, pour peu que le nombre de crues, dans le mois, soit réduit, les résultats sont satisfaisants. Lorsque les crues sont multiples et de faible amplitude, les mesures sont inexploitable. C'est ce qui s'est produit pendant l'hivernage 66.

— En fin d'hivernage (dernière semaine d'août, mois de septembre), le marigot amont coule. La crue dure environ 1 mois et provoque une lente montée du plan d'eau. Le dépouillement est alors impossible et on est amené à éliminer la période correspondante. Cet inconvénient n'est d'ailleurs pas très gênant car le mois de septembre n'est pas un mois de transition brutale du point de vue de l'évaporation et, on peut, facilement, interpoler la valeur de l'évaporation si on connaît celle du mois d'août et celle du mois d'octobre.

La détermination des apports n'aurait donc pas en principe, poser de gros problèmes de dépouillement, pour peu qu'on dispose d'enregistrements du niveau du lac sans lacune et de bonne qualité. Le nombre de crues par mois est en effet généralement inférieur à 4.

2.2. LA LAME PRÉCIPITÉE SUR LE LAC.

Elle est déterminée en faisant la moyenne de 6 pluviomètres installés tout autour du lac.

2.3. LES VOLUMES PRÉLEVÉS PAR POMPAGE.

La méconnaissance des volumes prélevés par pompage pendant les années écoulées constitue la lacune la plus grave du bilan hydrique, car la baisse mensuelle du plan d'eau correspondante peut être dans certains cas de l'ordre de 20% de l'évaporation.

Les pompages sont de deux sortes :

— *Pompages manuels* : en 1966, on signalait 80 pompes à mains tout autour du lac et il y en aurait 200 actuellement. Les débits de ces pompes sont très faibles et si on estime à 200 l par jour la capacité de chaque pompe, on arrive à un prélèvement total de 40 m³ par jour, chiffre qui est négligeable par rapport à l'évaporation.

— *Coopérative du lac de Bam* : il en va tout autrement des prélèvements effectués par la SCOOBAM qui dispose de 6 motopompes d'un débit nominal de 200 m³/h chacune. Cela représente, pour 7 h de pompage, un volume théorique de 14 000 m³ par jour.

Or, sauf pour les campagnes 1969-1970 et 1970-1971, il nous a été impossible de recueillir des renseignements même qualitatifs sur les temps de pompage.

En effet, la Coopérative a été fondée en octobre 1966 par un organisme d'assistance de l'Allemagne Fédérale et gérée par cet organisme jusqu'en avril 1969 et les archives durant cette période de fonctionnement ont été rapatriées en Allemagne ou dispersées. La gestion a été confiée par la suite à un directeur africain jusqu'en octobre 1971. Elle dépend maintenant de l'ORD de Kaya (organisme régional de développement). Ce contexte de gestion difficile explique la difficulté que nous ayons rencontrée pour obtenir des renseignements dignes de foi sur les temps de pompage, d'autant plus que ces renseignements pouvaient être utilisés à un contrôle de rendement.

Nous en sommes donc réduits à avancer des ordres de grandeur. Pour la saison 1970-1971, les estimations recueillies sont, soit de 4 700 h de pompage, soit 3 700 h suivant les sources, mais il semble que l'estimation de 3 700 h soit la plus sérieuse. Nous adopterons donc cette valeur répartie suivant le calendrier qui nous a été fourni par la même occasion.

Pour la saison agricole 1969-1970, une estimation à partir de la consommation en fuel, déduction faite de la consommation des autres moteurs diesel (groupe électrogène, etc.) donne environ 3 500 h de pompage avec un calendrier annuel de répartition sans doute voisin de celui de la saison 70-71.

Le cycle de culture de la saison 1968-1969 a été certainement très semblable à la différence près que les pompages ont dû être interrompus vers le 7 mars 1969 par manque d'eau. Nous admettrons 3 000 h de pompage.

D'après des témoignages dignes de foi, nous avons acquis la certitude que la consommation en eau de la saison 1966-1967 était, par rapport à ces derniers chiffres, très réduite, l'exploitation des périmètres irrigués étant limitée, à l'époque, à des parcelles expérimentales. Nous admettrons 1 000 h de pompage avec un calendrier de pompage plus homogène tout au long de l'année.

Nous admettrons enfin 2 000 h de pompage en 1967-1968, période pendant laquelle nous ne disposons d'aucune information.

Le détail de ces estimations fait l'objet du tableau I.

La deuxième difficulté consiste dans l'estimation du débit horaire de ces unités de pompage. Un contrôle effectué récemment par le Service MÉR, aux extrémités des circuits de distribution, donne un chiffre moyen d'environ 180 m³/h pour les pompes situées en rive droite et de 150 m³/h pour celles situées en rive gauche. La différence provient certainement des pertes

par infiltration dans le réseau de distribution du casier situé en rive gauche (canaux en terre). Et, nous avons, en définitive, adopté la valeur de 180 m³/h par pompe comme étant la plus vraisemblable.

La dernière opération à effectuer sur ces volumes prélevés consiste à les transformer en variation de cote du plan d'eau et nous utilisons pour cela la courbe des surfaces de la retenue tracée par PARBTS et PARTNERS sur laquelle il y aurait lieu pourtant de faire certaines réserves, surtout dans la partie basse de la courbe.

TABLEAU I

ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVÉS PAR POMPAGE EN Mm³Débit moyen horaire par pompe : 180 m³/h

Lac de Bam

Année	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	Total annuel
1966-1967	0	0	0,010	0,020	0,030	0,030	0,030	0,025	0,025	0,010			0,180
1967-1968	0	0	0,020	0,045	0,060	0,060	0,060	0,050	0,045	0,020			0,360
1968-1969	0	0	0,049	0,100	0,141	0,130	0,090	0,030	0	0			0,540
1969-1970	0	0	0,049	0,100	0,141	0,130	0,100	0,110	0	0			0,630
1970-1971	0,003	0,004	0,052	0,093	0,153	0,145	0,124	0,083	0	0			0,657

Influence des pompages sur la baisse de niveau du lac.

Il convient maintenant de délimiter exactement le rôle joué par les pompages dans le bilan du lac : les baisses de niveau annuelles correspondant aux estimations utilisées dans nos calculs sont respectivement dans l'ordre chronologique de 2,5, 8,8 et 12 cm en 1970-1971. Une estimation de ces volumes pompés à 20% près suffirait largement pour les besoins de l'étude. Ce n'est malheureusement pas le cas actuellement, sauf, peut-être, pour l'année 1970-1971.

Pour les années 1968-1969 et 1969-1970, il faut admettre une incertitude de 70%, ce qui représente sur la valeur de l'évaporation annuelle une erreur de 3%.

Les pompages des années anciennes devraient jouer un rôle moindre si les renseignements fournis concernant leur faible importance sont exacts. A l'échelle mensuelle, par contre, l'erreur peut être de 20% lorsque les pompages sont importants et que le niveau du lac est bas.

Perspectives pour les mesures futures.

Une telle ignorance des volumes pompés est inacceptable pour les campagnes de mesures futures car elle compromet toute l'étude et il est indispensable de se

demander si on pourra arriver à contrôler ces volumes avec une précision acceptable. Sur ce point particulier, nous sommes optimistes pour les raisons suivantes :

— La Direction actuelle de la Coopération procède, depuis octobre 1971, à une comptabilité précise du temps de pompage et nous relevons cette comptabilité toutes les semaines afin d'éviter que ces renseignements ne s'égarer par la suite. On peut espérer ainsi pouvoir obtenir une estimation des volumes pompés à moins de 20% près.

— Les volumes pompés dans les années à venir ne semblent pas devoir être supérieurs à ceux de la saison agricole 1970-1971. La Coopérative qui est depuis l'origine déficitaire n'envisage pas, en effet, d'agrandir sa superficie irriguée. Bien au contraire, le matériel de pompage est actuellement très usagé et comme il n'y a pas de crédits de remplacement, on peut même prévoir une baisse sensible des pompages par suite de pannes.

— Les volumes pompés durant les années écoulées n'ont pris cette importance dans le bilan hydrique du lac que parce que la retenue qui était déjà faible en 1966 n'a cessé de s'épuiser, par suite de déficits pluviométriques consécutifs, jusqu'à l'assèchement complet en juin 1971. L'hivernage 1971 a produit

des crues très abondantes qui ont à nouveau rempli la retenue, garantissant ainsi des conditions de remplissage satisfaisantes pour les années à venir.

Les bilans hydriques des années 1966, 1967, 1968, 1969, 1970 et 1971 sont résumés dans les tableaux I, II, III, IV, V de l'annexe I.

3. LES MESURES D'ÉVAPORATION ET DE CLIMATOLOGIE.

L'étude était à l'origine essentiellement orientée vers une étude de bilan hydrique et le support climatologique a longtemps été considéré comme marginal. Aussi les mesures de climatologie, faites avec du matériel de mauvaise qualité et dans de mauvaises conditions, doivent être considérées comme douteuses.

3.1. IMPLANTATION DU DISPOSITIF CLIMATOLOGIQUE.

Dans l'optique d'un bilan hydrique, les mesures d'évaporation sur bac étaient destinées à remplacer l'évaporation sur le lac et c'est pourquoi les bacs ont été placés à proximité du lac et dans le microclimat de ce dernier.

Le premier bac a été installé à Kongoussi sur la rive droite et se trouve sous les vents dominants par rapport au lac. La station a été complétée par un abri météo, un héliographe Campbell et un vieil anémomètre.

Un deuxième bac a été installé à Bam, sur la berge en rive gauche, à environ 6 km au nord de Kongoussi. Ce deuxième bac fonctionne correctement depuis 1969.

Mais il était intéressant de pouvoir comparer les résultats du lac avec l'évaporation d'un bac placé dans un climat représentatif de la région. Aussi a-t-on complété ce dispositif par une troisième station d'évaporation, mise en service en octobre 1971 et comportant, en plus du bac, un abri météo et un anémomètre. Cette station est implantée sur un versant bien aéré à 3 km environ du lac ; elle est destinée à servir de station témoin.

3.2. MESURES DE L'ÉVAPORATION SUR BAC COLORADO-O.R.S.T.O.M.

Le bac de Kongoussi fonctionne depuis 1966, le bac de Bam fonctionne depuis mars 1969. Les moyennes mensuelles figurent dans les tableaux I et II de l'Annexe II.

Les totaux annuels d'évaporation à partir des deux bacs sont très voisins l'un de l'autre et les écarts des totaux mensuels ne dépassent pas 10%. Le bac de Bam, bien que situé en rive gauche, semble également fortement influencé par le microclimat du lac.

Les erreurs faites sur les mesures d'évaporation sur bac O.R.S.T.O.M. sont de trois sortes :

— Erreurs de lecture : sur le lac de Bam, les mesures d'évaporation sur bac ont été soigneusement contrôlées depuis l'origine et les erreurs de lecture doivent être rares.

— Défaut de normalisation de l'appareil : ce type d'appareil présente entre autres défauts celui de ne pas être suffisamment normalisé et il existe peut-être bien vingt modèles différents dans toute l'Afrique. Bien entendu, ces différences portent sur des points de détail mais RIOU a montré le rôle important que certaines modifications pouvaient jouer sur les mesures d'évaporation.

Les deux bacs qui équipaient les stations jusqu'en 1971 semblaient acceptables. Ils ont été changés en février 1971 parce qu'ils étaient percés.

— Mesure de l'évaporation pendant les jours de pluie : les mesures d'évaporation pendant les jours de pluie ne sont pas significatives si les précipitations sont importantes. On les remplace par une valeur estimée de la façon suivante :

On porte sur un graphique les points ayant pour abscisse la valeur de la précipitation lorsque celle-ci est inférieure à 10 mm et en ordonnée la valeur de l'évaporation mesurée pendant la journée ou la demi-journée correspondante selon que les mesures sont journalières ou bi-journalières.

On obtient, suivant les saisons, un faisceau de courbes que l'on extrapole pour les précipitations importantes. Ces courbes sont, bien entendu, grossières et la valeur estimée de cette façon n'est qu'un ordre de grandeur.

Mais les jours pour lesquels les précipitations sont supérieures à 10 mm sont finalement rares et l'erreur sur le total mensuel devrait être faible.

En 1968 et 1967 toutefois, le pluviomètre au sol se mettait à flotter dans son puits qui se remplissait par les eaux de ruissellement sitôt que les précipitations étaient un peu fortes, et nous avons été obligés d'estimer la valeur de l'évaporation dès que la valeur de la pluie dépassait 5 mm, en utilisant les courbes tracées en 1969 et 1970.

3.3. MESURES DES TEMPÉRATURES SOUS ABRI.

On dispose de la série de mesures faites à l'abri de Kongoussi avec quelques lacunes.

Les mesures faites en 1966 et 1967 avec du matériel de mauvaise qualité doivent être considérées comme douteuses et, plus particulièrement, la mesure des températures maximales et minimales.

3.4. TEMPÉRATURES SUPERFICIELLES.

Les mesures de températures superficielles du bac de Kongoussi n'ont débuté qu'en mars 1970 et ne sont exploitables qu'à partir de juin 1970. Celles du lac ne sont exploitables qu'à partir de juillet 1971.

Les mesures de la température du lac sont difficiles. Ces mesures, qui sont en elles-mêmes délicates (mesure en barque d'une surface agitée) posent en outre un problème d'échantillonnage.

Il n'y a aucune raison, en effet, pour que la mesure effectuée en un point corresponde à la moyenne du lac sur toute sa surface et il faudrait procéder de temps à autre à des mesures de contrôle en différents points correctement choisis.

De plus, l'eau du lac est brassée par les populations riveraines et par leurs animaux et, lorsqu'on opère près d'une zone brassée, on constate des baisses brutales de température de 4 à 5° lorsqu'on rencontre des masses d'eau provenant du fond. On peut alors se demander quelle est au juste la température qu'il faut prendre en considération pour l'évaporation moyenne du lac.

Actuellement, nous évitons d'opérer à proximité d'un brassage de l'eau et nous effectuons trois répétitions allant du sud au nord et espacées chacune de 100 m environ. Les résultats sont identiques d'un point à l'autre.

La température du lac est à peu près la même que celle du bac pendant les mois d'observation commune, mais nous nous attendons à des écarts plus importants aux mois d'avril, mai.

3.5. HÉLIOGRAPHE CAMPBELL.

Celui-ci ne fonctionne correctement que depuis 1969, mais les enregistrements n'ont pas encore été dépouillés.

3.6. ANÉMOMÈTRES.

Les deux anémomètres utilisés sont de vieux Robinson à compteurs séparés qui ont été récupérés dans on ne sait quel rebut. On ne peut s'attendre à avoir avec ce type d'appareil une mesure correcte du vent.

L'anémomètre de Kongoussi est en cours d'étalonnage et nous présentons, faute de mieux, dans le tableau II un indice de vent correspondant à la moyenne mensuelle des nombres de tours.

TABLEAU II
LE VENT
(En 10³ unités de compteur) *

Lac de Bam, Station de Kongoussi

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Total annuel
1966-1967	16,9	11,5	6,4	5,8	6,7	7,9	10,7	11,5	8,6	1,53	20,6	20,3	11,9
1967-1968	17,4	11,8	5,5	5,0	6,7	11,5	11,6	12,5	16,0	1,80	19,2	20,3	13,0
1968-1969	12,1	11,7	5,8	5,7	5,6	7,7	113	9,2	16,8	2,15	23,0	23,0	12,9
1969-1970	14,9	9,1	5,1	4,4	4,5	5,4	104	11,1	13,5	19,1	26,6	30,7	12,5
970-1971	26,2	12,2	8,4	5,6	7,5	9,5	128	11,6	14,2	19,7	28,0	31,0	15,6

* L'anémomètre est en cours d'étalonnage.

3.7. DÉPOUILLEMENT DES DÉFICITS DE SATURATION.

Les déficits de saturation moyens journaliers sont calculés à partir des moyennes ponctuelles sur une décade.

Ils ont été calculés de deux façons différentes :

— en faisant les moyennes des valeurs ponctuelles à 6 H, 12 H et 18 H

$$D_j = \frac{D \text{ 6 H} + D \text{ 12 H} + D \text{ 18 H}}{3}$$

— en planimétrant les courbes obtenues à partir des moyennes ponctuelles sur une décade.

Les corrélations entre les valeurs obtenues suivant deux procédés sont linéaires et très serrées, bien que les courbes aient été tracées, certaines années, à partir de cinq lectures journalières.

Le rapport $\frac{D \text{ calculé}}{D \text{ planimétré}}$ des moyennes varie de 1,13 à 1,15.

La valeur obtenue par planimétrage est sans doute la plus proche de la réalité, mais nous lui préférons

cependant la valeur calculée qui est la plus objective et le plus facilement comparable. Nous nous souviendrons dans la suite qu'elle surestime la valeur du déficit de saturation d'environ 14%.

Les déficits de saturation moyens journaliers sont donnés mois par mois dans le tableau III.

3.8. VÉRIFICATION DE LA LOI DE DALTON.

La loi de Dalton est généralement inutilisable avec le matériau dont on dispose habituellement pour les surfaces évaporantes, car il faudrait pouvoir disposer de la valeur de la tension de vapeur au-dessus de cette surface et on n'a généralement que les températures sèches et humides au niveau de l'abri météo et aussi parfois la température de l'eau de cette surface.

Le déficit de saturation au niveau de l'abri a des variations saisonnières trop importantes par rapport à celle de l'évaporation d'un bac Colorado qui est influencé par l'inertie thermique du sol. Les corrélations entre l'évaporation et le déficit de saturation sur une petite période de temps prennent l'aspect

d'une raquette qui traduisent cette inertie. A l'échelle annuelle toutefois, le rapport E/D est à peu près constant.

Pour remédier à cet inconvénient, on remplace souvent dans la loi le terme e_s (a), tension de vapeur saturante à la température de l'abri par e_s (b), tension de vapeur à la température du bac et on obtient ainsi une loi linéaire de la forme :

$$E = A [1 + B (V - V_0)] (e_s (b) - e_d)$$

qui est satisfaisante à l'échelle mensuelle.

Il nous a paru intéressant de vérifier cette loi sur le bac de Kongoussi pendant l'année 1970-1971, au cours de laquelle nous disposons des températures du bac, pour pouvoir comparer les résultats de ce bac aux autres.

Le tableau IV et le graphique 1 montrent que la loi est vérifiée sauf pour le mois de juin pour lequel l'écart à la droite est important.

Le coefficient A, calculé d'après le mois d'octobre où il n'y a pas de vent, est égal à 0,28.

TABLEAU III
DÉFICITS PAR SATURATION DE L'AIR
à 2 m du sol en mb
(Années allant du 1^{er} juillet au 30 juin)

Lac de Bam, Station de Kongoussi

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Moyenne annuelle
1966-1967						19,2 *	20,0 *	24,2 *	25,0 *	32,1 *	28,1 *	22,6 *	
1967-1968	18,8	7,4	7,8	18,8	23,2	19,4	21,0	26,2	27,3	27,0	23,2	17,0	19,8
1968-1969	9,6	11,3	9,1	18,1	23,2	22,9	24,0	29,6	35,4	33,8	30,8	18,5	22,0
1969-1970	12,3	7,2	8,4	15,7	22,7	24,1	25,9	—	—	—	—	26,2	
1970-1971	14,8	9,0	10,2	21,3	26,9	22,8	23,2	30,8	33,4	36,6	34,4	23,4	23,8

VALEUR DE LA DIFFÉRENCE $D' = e_s (b) - e_d$
 $e_s (b)$ = tension de vapeur saturante à la température de l'eau du bac
 e_d = tension de vapeur de l'air à 2 m

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Moyenne annuelle
1970-1971	18,2	16,3	18,7	24,2	23,7	19,3	20,0	23,6	24,6	27,8	26,8	23,3	22,2

TABLEAU IV
VÉRIFICATION DE LA LOI DE DALTON SUR LE BAC DE KONGOUSSI
 $E = A [1 + B (V - V_0)] D$
Année 1970-1971

Lac de Bam, Bac de Kongoussi

	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
E mm	8,9	5,1	5,6	7,0	6,4	6,3	6,7	7,9	9,5	12,2	13,0	9,1
D mb	18,2	16,3	18,7	24,2	23,7	19,3	20,0	23,6	24,6	27,8	26,8	23,3
E/D	0,49	0,312	0,30	0,29	0,27	0,33	0,335	0,33	0,385	0,44	0,48	0,39
V 10 ³ unités compteur	26,2	12,2	8,4	5,6	7,5	9,5	12,8	11,6	14,2	19,7	28,0	31,0

$$A = 0,28 \times 1,15 = 0,32$$

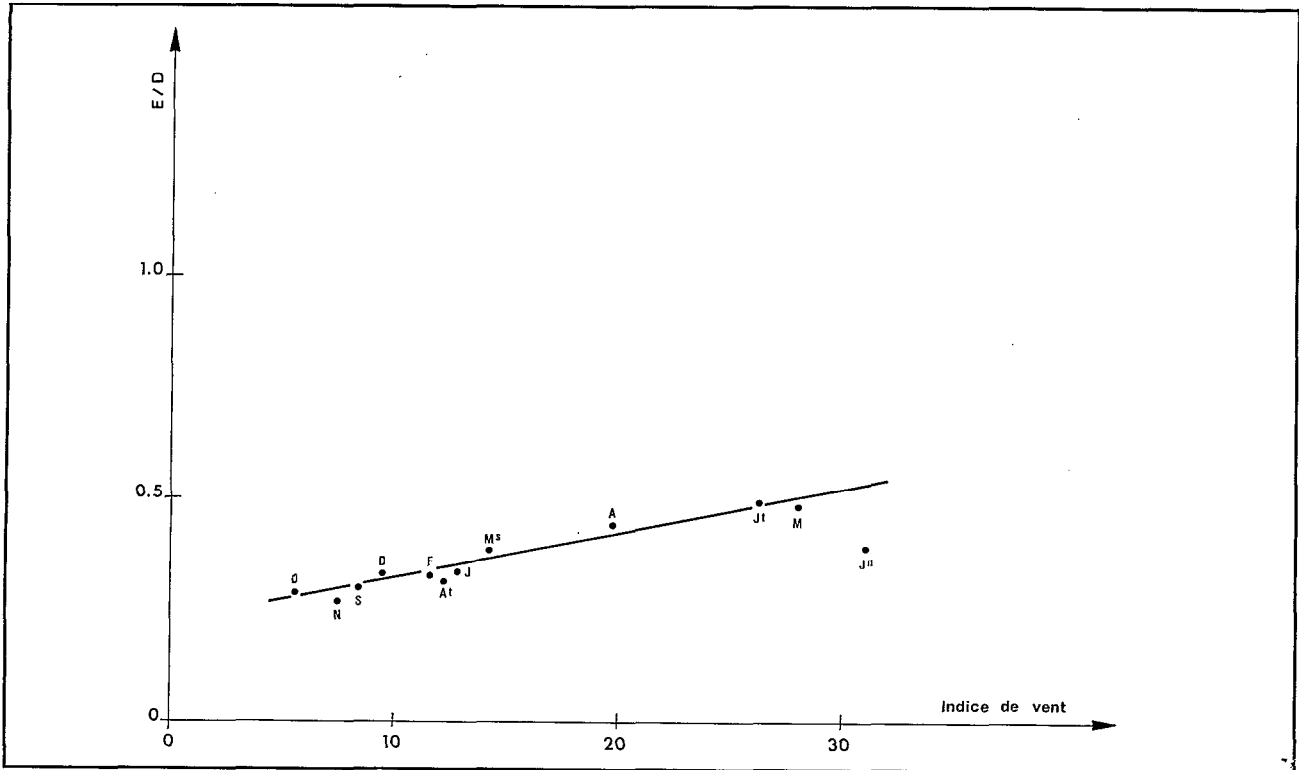


Fig. 1. — Vérification de la loi de Dalton en 1970-71. Bac de Kongoussi.

On a donc :

$$A = 0,28 \times 1,15 = 0,32$$

si on tient compte du fait que les valeurs des déficits de saturation sont surestimées de 15%.

La valeur de ce coefficient A reste inférieure à la valeur théorique de 0,356 d'environ 10% et cela confirmerait notre hypothèse selon laquelle le bac se trouve bien dans le microclimat.

4. COMPARAISON ENTRE L'ÉVAPORATION SUR LE LAC DE BAM ET CELLE DU BAC DE KONGOUSSI (cf. tableaux V, VI, VII).

Afin de respecter le cycle annuel de l'évaporation, nous faisons commencer l'année au 1^{er} juillet. C'est en effet au cours de l'hivernage que les températures de l'air, du bac et du lac sont les plus proches et que

TABLEAU V
ÉVAPORATION MENSUELLES ET ANNUELLES (en mm)
Comparaisons entre l'évaporation du lac et l'évaporation du bac de Kongoussi
(Année allant du 1^{er} juillet au 30 juin)

Lac de Bam

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Total annuel
1966-1967	Lac (190,0) *	(161,1)	(144,0)	(175,0)	196,9	175,5	188,0	177,7	205,9	226,0	235,8	223,8	2 300
	Bac 196,9	161,1	144,0	169,0	214,6	192,0	201,2	187,6	216,0	244,2	288,6	256,2	2 471
1967-1968	Lac 221,4	(158,0)	(169,8)	(211,2)	196,5	155,4	168,5	188,0	209,3	211,5	235,6	183,0	2 308
	Bac 241,3	161,7	169,8	211,2	212,0	207,2	233,2	229,2	274,0	286,3	294,8	269,0	2 790
1968-1969	Lac 173,0	(192,0)	(165,0)	179,0	167,7	154,0	158,4	171,8	224,0	270,0	290,5	(244,0)	2 389
	Bac 178,6	190,9	163,8	211,1	220,2	212,8	224,8	228,8	329,2	351,6	379,2	311,1	3 002
1969-1970	Lac 211,7	(155,0)	(154,3)	202,9	205,5	170,3	172,7	177,8	224,0	229,0	232,5	244,2	2 380
	Bac 208,9	124,8	154,3	192,1	192,4	187,6	213,2	196,0	304,0	306,8	330,5	375,6	2 786
1970-1971	Lac 187,0	(157,5)	(179,0)	190,1	186,7	136,8	161,6	163,2	203,2	250,0	278,4	259,0	2 352
	Bac 275,7	157,5	168,8	215,3	192,8	194,4	209,2	220,0	294,0 *	365,9 *	403,4 *	272,0	2 969

() Valeur estimée à partir de totaux partiels ou interpolée.

* Douteux (en mars, avril, mai 1971 le bac percé, avait été ressoudé provisoirement, puis remplacé début juin).

TABLEAU VI
ÉVAPORATION ANNUELLE (mm)

Lac de Bam

Année	Lac	Bac	Rapport Lac/Bac en %
1966-1967	2 300	2 471	93
1967-1968	2 308	2 790	83
1968-1969	2 389	3 002	79
1969-1970	2 380	2 786	86
1970-1971	2 352	2 969	79

les conditions initiales sont identiques. Le point de rencontre de ces trois variables se fait, suivant les années, au cours du mois de juillet ou du mois d'août, mais c'est en faisant démarrer l'année au 1^{er} juillet que nous avons obtenu les meilleurs résultats.

4.1. ÉVAPORATION ANNUELLE.

Le tableau VI appelle les remarques suivantes :

— Les coefficients permettant de passer de l'évaporation du bac à l'évaporation du lac sont tous très forts, mais ce résultat ne nous surprend pas car il confirme le fait que le bac se trouve placé dans le microclimat humide du lac.

Le coefficient correspondant à l'année 1966-1967 est cependant anormalement fort et il est possible que

les mesures d'évaporation sur bac faites au cours de cette année soient fausses et doivent être éliminées. En effet, le lecteur faisait au début les lectures avec une éprouvette de pluviomètre et donnait les résultats en millimètres de pluies. Il est possible qu'il ait fait de nombreuses erreurs de calcul dans le décompte des millimètres. Ce n'est qu'au cours de l'année 1967 qu'on simplifia les mesures en demandant au lecteur de rétablir le niveau du bac avec un nombre entier d'éprouvettes et d'inscrire sur son carnet le nombre d'éprouvettes ajoutées ou enlevées.

— L'évaporation sur le lac est remarquablement constante et cela traduit le fait que le lac est moins sensible aux variations climatologiques que le bac.

— Le « coefficient de bac » admet en fonction de l'évaporation sur bac une loi décroissante en $1/x$ et cette particularité ne fait que traduire le fait que l'évaporation sur le lac est constante.

Cette courbe pourrait être utile pour des applications pratiques parce qu'elle est auto-corrigeante, c'est-à-dire qu'elle corrige d'éventuelles erreurs dans la mesure de l'évaporation sur bac.

En raison de l'invariance de l'évaporation sur lac, il nous paraîtrait cependant plus logique de déterminer cette valeur directement à partir d'une donnée climatologique simple, représentative du climat, qui pourrait être, par exemple, la moyenne annuelle des températures sèches à 12 H.

4.2. ÉVAPORATION MENSUELLE.

Le tableau VII des moyennes journalières mensuelles permet de comparer l'évaporation sur bac et sur lac.

On voit que les deux valeurs sont très voisines en hivernage, puisque l'écart croît brutalement à partir de janvier, avec l'augmentation du vent et du déficit de saturation, jusqu'au mois de mai.

TABLEAU VII
ÉVAPORATION JOURNALIÈRE
Comparaison entre les moyennes mensuelles du lac et du bac de Kongoussi (mm)

Lac de Bam

Année		J	A	S	O	D	D	J	F	M	A	M	J
1966-1967	Lac		(5,2)	(4,8)	(5,5)	6,5	5,6	6,1	6,4	6,6	7,5	7,6	7,5
	Bac	6,3	5,2	4,8	5,5	7,2	6,2	6,5	6,7	7,0	8,1	9,3	8,5
1967-1968	Lac	7,2	(5,1)	(5,7)	6,8	6,5	5,0	5,4	6,5	6,8	7,1	7,6	6,0
	Bac	7,8	5,2	5,7	6,8	7,1	6,7	7,5	7,9	8,8	9,5	9,5	9,0
1968-1969	Lac	5,6	(6,2)	5,5	5,8	5,6	5,0	5,1	6,1	7,2	9,0	9,4	8,1
	Bac	5,8	6,2	5,5	6,8	7,3	6,9	7,3	8,2	10,6	11,8	12,2	10,4
1969-1970	Lac	6,8	(5,0)	(5,2)	6,2	6,7	5,5	5,6	6,3	7,2	7,6	7,5	8,1
	Bac	6,7	4,0	5,2	6,2	6,5	6,1	6,9	7,0	9,8	10,2	10,7	12,5
1970-1971	Lac	6,0	5,1	6,0	6,2	6,2	4,4	5,2	5,8	6,6	8,3	8,9	8,6
	Bac	8,9	5,1	5,6	7,0	6,4	6,3	6,7	7,9	9,5 *	12,2 *	13,0 *	9,1

Les formules de PENMAN et, plus particulièrement, celles qui ont été établies par RIOU¹ semblent très satisfaisantes parce qu'elles restituent correctement ce phénomène.

Elles présentent, d'autre part, l'avantage de permettre d'utiliser les données climatologiques recueillies sous abri à 2 m du sol.

4.2.1. Discussion des formules de PENMAN.

Ces formules sont les suivantes :

$$E_{Bac} = \frac{\Delta R_n + 2 \gamma E_a}{\Delta + 2 \gamma} \quad (1)$$

$$E_{Lac} = \frac{\Delta R_n + \lambda \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \quad (2)$$

$$E_{Lac} = \frac{\Delta + 2 \gamma}{\Delta + \gamma} \left(E_{Bac} - \frac{(2 - 0,59) \gamma E_a}{\Delta + 2 \gamma} \right) \quad (3)$$

Avec les notations suivantes :
 R_n = Rayonnement net

E_a = Evaporation fictive au niveau de l'abri

λ = Coefficient caractéristique du lac

γ = Constante psychrométrique

$$\Delta = \frac{e_s(a) - e_s(b)}{\bar{T}_a - \bar{T}_b}$$

la formule (3) étant déduite des deux premières par élimination du terme R_n .

a) Variation de E_a

La formule (2) diffère essentiellement de la formule (1) par la diminution de l'influence du terme en E_a qui peut s'expliquer selon une loi de Dalton $E_a = f(u) (e_a - e_d)$.

En effet, le coefficient en E_a est à peu près égal à 0,1 si on prend $\lambda = 0,59$, valeur proposée par RIOU pour le lac Tchad.

Il s'ensuit que le terme E_a que l'on peut supposer à l'échelle annuelle de la même grandeur que l'évaporation du lac ne contribue que dans la proportion de 10% à l'évaporation du lac.

En début de saison sèche, le terme e_d devient négligeable et, en hivernage, c'est le terme E_a tout entier qui le devient.

L'évaporation sur lac, sauf pendant les mois d'avril, mai, juin, est donc pratiquement indépendante de la tension de vapeur de l'air ambiant.

¹ RIOU, Cahiers O.R.S.T.O.M. VII, n° 3, 1970.

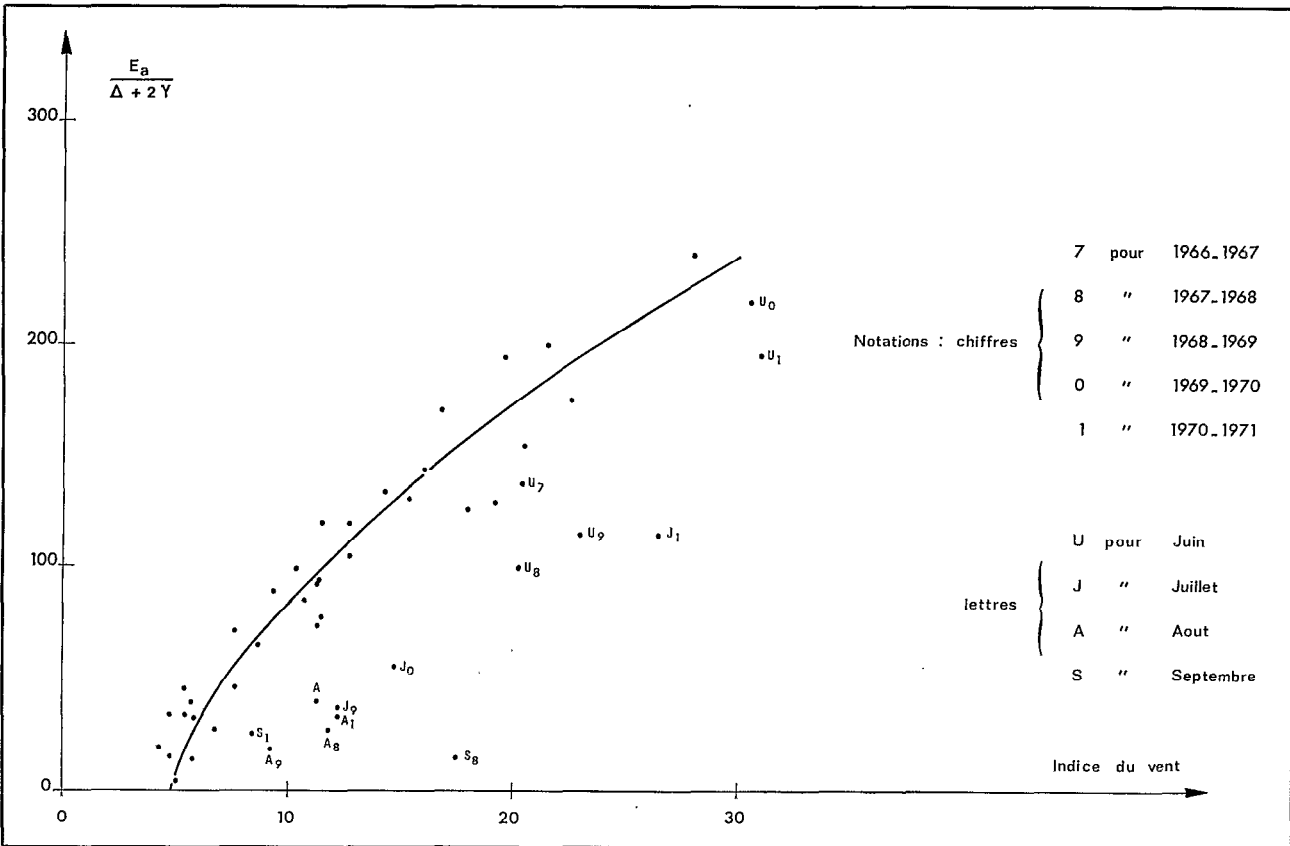


Fig. 2. — Corrélation entre le vent et le terme de Penman $E_a / \Delta + 2 \gamma$.

En quelque sorte, le lac se comporte comme s'il était recouvert d'un coussin d'air humide qui l'isole de l'air ambiant. De façon plus correcte, on peut dire que le gradient de tension de vapeur à la surface du lac arrive rapidement à une position d'équilibre indépendante de la tension de vapeur dans l'air libre.

b) Influence du vent

La formule de PENMAN est établie en supposant le flux évaporatoire conservatif suivant un cylindre à génératrice verticale et cette hypothèse revient à supposer qu'il n'y a pas de vent. On réintroduit un peu artificiellement le vent dans le terme E_a de la formule de PENMAN en prenant $f(u) = U$, de sorte que le vent n'intervient que lié au déficit de saturation de l'air.

Cette combinaison est très logique car l'action du vent consiste à chasser le coussin d'air humide et à mettre en présence les masses d'air sec avec la surface du lac. Le gradient de tension de vapeur croît alors et cela en fonction du déficit de saturation de l'air ambiant.

c) Le terme Δ dans la formule de PENMAN

$$\Delta = \frac{e_s(b) - e_s(a)}{\bar{t}_b - \bar{t}_a}$$

ce terme intervient dans les coefficients des termes en E_a et en R_n de façon différente. Il pondère les variations saisonnières excessives du terme en E_a , alors qu'en figurant au numérateur du coefficient en R_n , il accentue au contraire les variations du rayonnement net.

D'autre part, en faisant intervenir la température superficielle du lac, ce terme permet de tenir compte de l'inertie thermique de ce dernier par rapport à la température sèche sous abri.

On obtient une très bonne approximation de Δ en prenant la valeur de la dérivée de la fonction tension de vapeur correspondant à la température.

$$\frac{\bar{t}_b + \bar{t}_a}{2}$$

En l'absence de mesure de la température superficielle du lac, on en est réduit à prendre la valeur de cette dérivée correspondant à la température moyenne journalière au niveau de l'abri.

d) Corrélation entre le 2^e terme de PENMAN et le vent

Le graphique 2 représente les points ayant en abscisse la valeur du vent et en ordonnée la valeur du 2^e terme de la formule de PENMAN. Cette corrélation dégage nettement l'influence du vent dans le processus de l'évaporation. On voit en effet que le terme en E_a

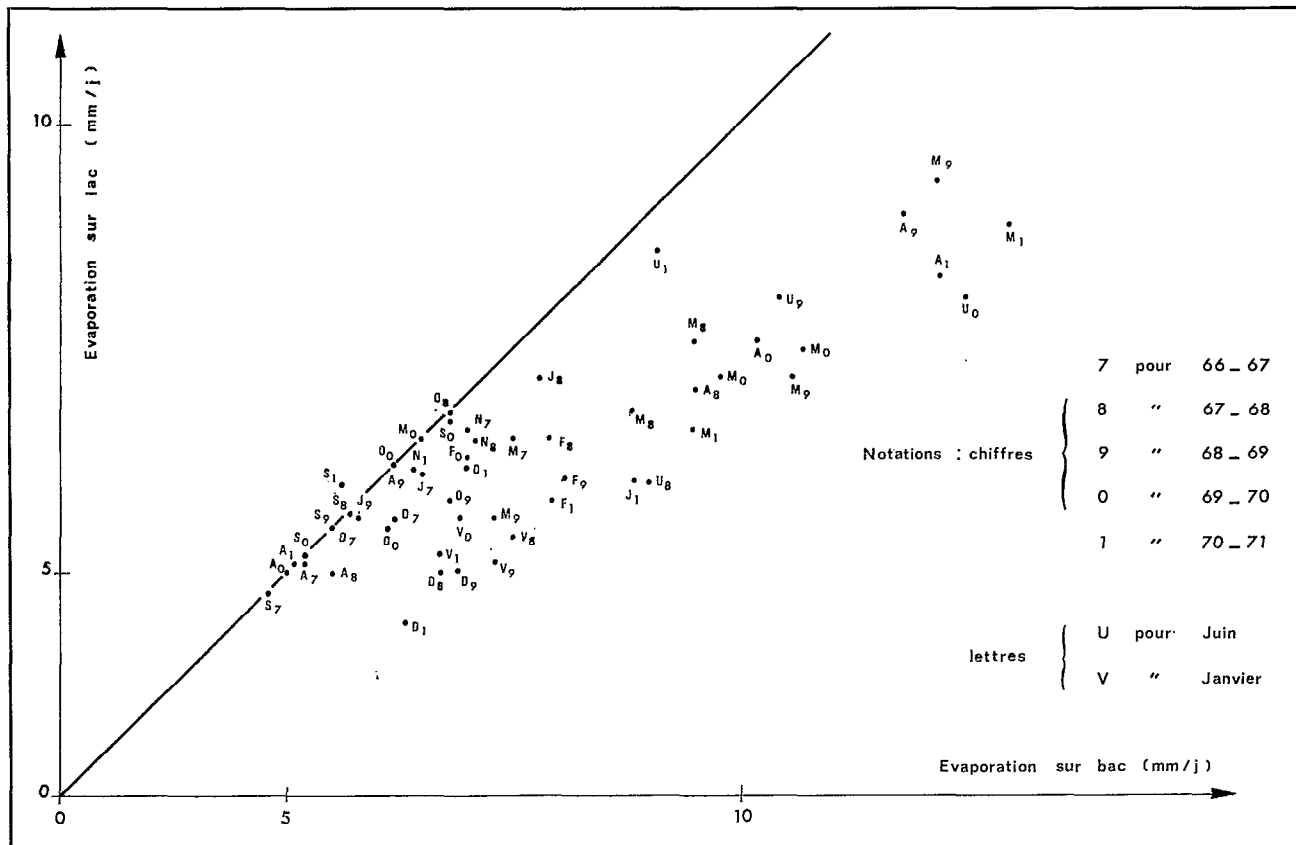


Fig. 3. — Corrélation entre l'évaporation sur le lac et celle mesurée au bac de Kongoussi.

de la formule est en assez bonne corrélation avec la valeur du vent pendant toute la durée de la saison sèche d'octobre à mai, c'est-à-dire pendant toute la durée de l'Harmattan. En hivernage, les deux variables sont indépendantes.

4.2.2. Vérification de la formule (3) de PENMAN.

Le coefficient $\frac{\Delta + 2\gamma}{\Delta + \gamma}$ de cette formule est pratiquement invariant et nous le supposons constant. Il convient de remarquer cependant que ce coefficient est supérieur à 1 (environ égal à 1,2) et que la formule de PENMAN risque de donner des valeurs de l'évaporation sur lac supérieures à celles du bac en hivernage, le terme E_a étant très faible pendant cette saison.

Cette anomalie, qui provient peut-être des hypothèses simplificatrices de la formule, n'est pas mise en évidence par nos mesures, mais les mesures sur lac et sur bac sont de mauvaise qualité en hivernage et, d'autre part toutes les valeurs de l'évaporation sur lac, légèrement supérieures à celles du bac, ont été ramenées à la valeur de l'évaporation sur bac.

Quoi qu'il en soit, les résultats des dépouillements donnent en hivernage une valeur de l'évaporation sur lac égale à celle du bac.

Nous avons porté sur le graphique 3 les points ayant en abscisse la valeur de l'évaporation sur bac (moyenne journalière) et en ordonnée celle de l'évaporation sur lac.

Les points s'ordonnent grossièrement suivant une droite de la forme $E_L = KE_B + K_0$ mais la corrélation est assez lâche.

La valeur de l'écart $E_B - E_L$ est reportée ensuite sur le graphique 4 en fonction de la valeur du 2^e terme en E_a de la formule (3) et la corrélation est très satisfaisante. On peut, en effet, sans contestation possible, éliminer les points U_8 , Y_8 et U_1 , qui correspondent à des mois de début d'hivernage, puisque la détermination de l'évaporation sur lac pendant cette période est très imprécise. Les autres points aberrants N_9 et N_1 (novembre 1968-1969 et novembre 1970-1971) correspondent à des années où les volumes pompés ont joué un rôle important du fait de la faible profondeur du lac. Les estimations des volumes pompés pendant ces deux mois étaient peut-être fausses.

Ces points écartés, la dispersion par rapport à la courbe est très inférieure à 10%.

Le nuage de points est convenablement représenté par une loi linéaire passant par l'origine (sauf peut-être pour les faibles valeurs de l'écart $E_B - E_L$) et la formule (3) est bien vérifiée.

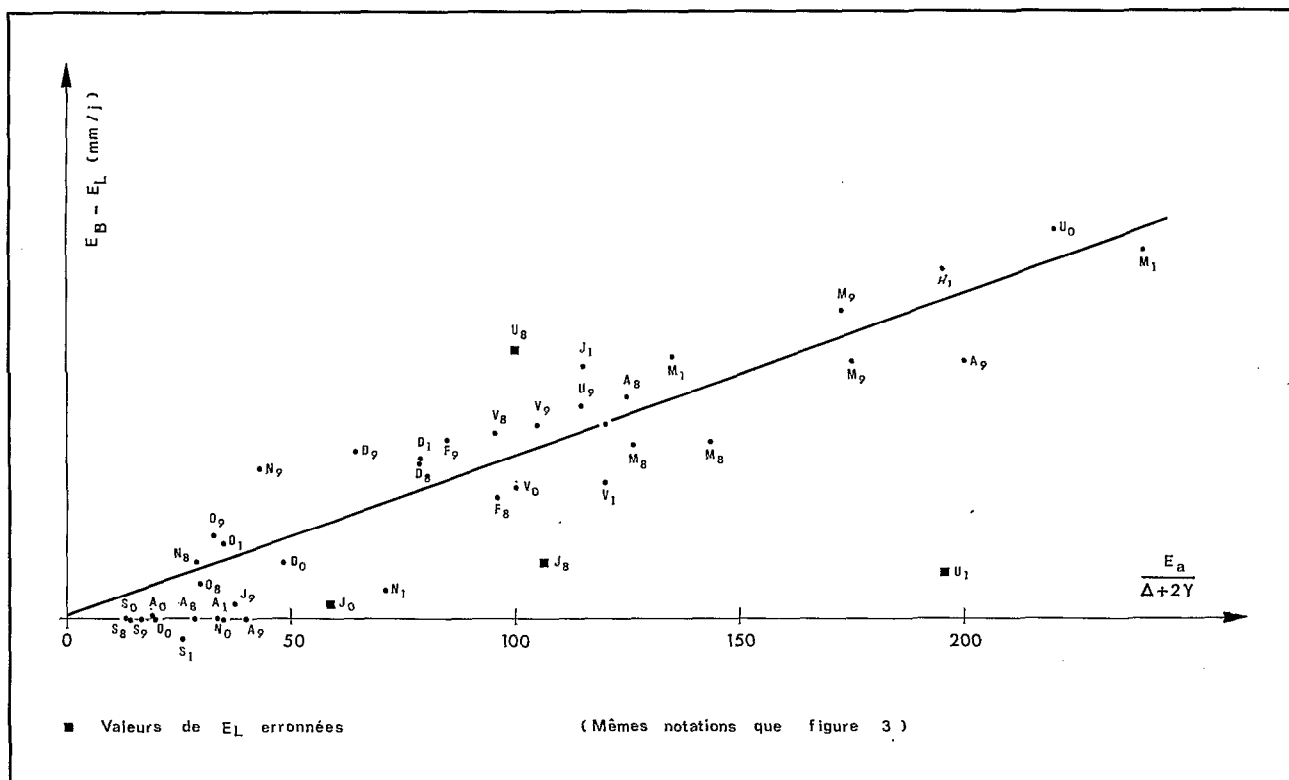


Fig. 4. — Correction de l'écart $E_B - E_L$ en fonction de $E_a / \Delta + 2\gamma$.

TABLEAU VIII

Variation de la valeur de la dérivée Δ de la fonction tension de vapeur correspondant à la température moyenne de l'air au niveau de l'abri (mb/°C)

Lac de Bam

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
1966-1967							1,5	1,9	2,2	2,7	2,8	2,4
1967-1968	2,1	2,0	2,0	2,2	1,8	1,6	1,5	2,0	2,1	2,8	2,6	2,4
1968-1969	2,1	2,2	2,0	2,2	2,0	1,7	1,6	2,0	2,5	2,6	3,0	2,7
1969-1970	2,3	2,2	2,2	2,4	2,0	1,7	1,7	1,8	2,2	2,7	2,7	2,7
1970-1971	(2,4)	2,2	2,2	2,4	1,8	1,7	1,5	2,0	2,5	2,7	3,0	2,7

TABLEAU IX

Valeur du deuxième terme de la formule de Penman

$$\frac{E_g}{\Delta + 2\gamma}$$

Lac de Bam

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
1966-1967							86	96	67	132	155	138
1967-1968	106	29	14	30	29	78	96	106	144	125	127	100
1968-1969	37	40	17	33	43	65	105	90	172	200	175	115
1969-1970	57	20	14	20	35	48	100	—	—	—		200
1970-1971	114	34	26	35	71	79	120	120	135	195	240	196

Le vent est exprimé en 10^3 unités de compteur.

5. CONCLUSION.

Il est impossible de poursuivre plus avant l'exploitation de ces résultats tant que nous ne disposons pas de la formule d'étalonnage de l'anémomètre, car on ne peut dégager la valeur de certains paramètres caractéristiques et, en particulier, la valeur de λ , qui est caractéristique du lac.

D'autre part, avant de rechercher des lois simples qui traduisent convenablement l'évaporation du lac, avec ou sans le support des mesures effectuées sur le lac (ces dernières, rappelons-le, n'étant pas représentatives), il faudrait pouvoir vérifier la loi (2) de PENMAN en essayant de calculer la valeur du rayonnement net par les formules empiriques usuelles. On se rend compte en effet du grand intérêt que peut représenter l'utilisation de cette formule en climat sahélien quand on sait que l'insolation y est pendant huit mois de l'année pratiquement égale à l'insolation

théorique (durée du jour) et que le terme $\frac{\Delta R_n}{\Delta + \gamma}$ est pratiquement invariant d'une année sur l'autre à une période de l'année donnée, pendant la saison sèche.

Ainsi, l'évaporation sur un lac en climat sahélien à une période déterminée de l'année serait pratiquement invariante, d'une année sur l'autre, entre les mois d'octobre et janvier où le rôle du vent est pratiquement négligeable, et faiblement variable en fonction du vent pour les autres mois de la saison sèche.

Malheureusement, le calcul de R_n par des formules empiriques en l'absence totale de mesures de rayonnement risque de s'avérer peu satisfaisant et cette constatation dégage, une fois de plus, l'importance des mesures directes de rayonnement dans les études d'évaporation.

Le protocole des mesures de l'étude du lac de Bam prévoit l'installation en 1972 de solarimètres destinés à mesurer le rayonnement global et le rayonnement diffus.

LAC DE BAM
ANNEXE I
BILAN HYDRIQUE

(Les chiffres marqués d'une astérisque représentent des valeurs douteuses)

TABLEAU I

Année 1966

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Période										12 au 31	complet	complet
Durée (jours)										20	30	31
Cote début (mm)										28 400	27 320	25 330
Cote fin (mm)										27 320	25 330	23 540
Sorties (V) (M m ³)										0,010	0,020	0,030
Sorties (H) (mm)										10	21	35
Pluies (mm)										(6,2)	0	0
Crues (M m ³) E. Lac										0	0	0
Tot. partiel (mm)										11,30	1 969	1 755
Tot. mensuel (mm)										(17,50)	1 969	1 755
Moy. journal. (mm)										5,5	6,5	5,6

TABLEAU II

Année 1967

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Période	complet	complet	complet	complet	complet	complet	complet	1 au 17		10 au 31	complet	complet
Durée (jours)	31	28	31	30	31	30	31	16		22	30	31
Cote début (1/10 mm)	23 540	21 620	19 800	17 700	15 390	13 470	12 370	19 700		30 420	28 800	26 790
Cote fin (1/10 mm)	21 620	19 800	17 700	15 390	13 470	12 370	19 700	19 780		28 800	26 790	25 170
Sorties (V) (M m ³)	0,030	0,030	0,025	0,025	0,010	0	0	0	0	0,020	0,045	0,060
Sorties (H) (1/10 mm)	40	43	41	50	22	0	0	0	0	19	45	66
Pluies (1/10 mm)	0	0	0	0	(460)	(538)	1 344	626			0	0
Crues (1 000 m ³) E. Lac	0	0	0	0	0	(600)	8 200	270		0	0	0
Tot. partiel (1/10 mm)	1 880	1 777	2 059	2 260	2 358	2 238	2 214	816		1 601	1 965	1 554
Tot. mensuel (1/10 mm)	1 880	1 777	2 059	2 260	2 358	2 238	2 214	(1 580)		2 271	1 965	1 554
Moy. journ. (mm)	6,1	6,4	6,6	7,5	7,6	7,5	7,2	(5,1)	(5,6)	7,3	6,5	5,0

TABLEAU III

Année 1968

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Période	complet	complet	complet	complet	complet	complet	complet	1 au 27		complet	complet	complet
Durée (jours)	31	29	31	30	31	30	31	26		31	30	31
Cote début (1/10 mm)	25 170	23 410	21 450	19 280	17 690	16 240	16 850	22 830		25 080	23 550	21 740
Cote fin (1/10 mm)	23 410	21 450	19 280	17 690	16 240	16 850	22 830	23 380		23 550	21 740	20 000
Sorties (V) (M m ³)	0,060	0,060	0,050	0,045	0,020	0	0	0		0,049	0,100	0,141
Sorties (H) (1/10 mm)	75	80	77	75	40	0	0	0		57	133	200
Pluies (1/10 mm)	0	0	0	300	586	1 790	1 790	1 135		317	0	0
Crues (1 000 m ³) E. Lac	0	0	0	300	360	1 650	5 920	1 075		0	0	0
Tot. partiel (1/10 mm)	1 685	1 880	2 093	2 115	2 356	1 830	1 730	1 660		1 790	1 677	1 540
Tot. mensuel (1/10 mm)	1 685	1 880	2 093	2 115	2 356	1 830	1 730	(1 920)		1 790	1 677	1 540
Moy. journ. (mm)	5,4	6,5	6,8	7,1	7,6	6,0	5,6	(6,2)		5,8	5,6	5,0

TABLEAU IV

Année 1969

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Période	complet	complet	complet	complet	complet	1 au 29	complet	1 au 22		complet	complet	complet
Durée (jours)	31	28	31	30	31	28	31	21		31	30	31
Cote début (1/10 mm)	20 000	18 200	16 300	14 000	11 300	8 780	11 100	22 110		30 250	28 600	26 500
Cote fin (1/10 mm)	18 200	16 300	14 000	11 300	8 780	7 400	22 110	23 590		28 600	26 500	24 640
Sorties (V) (M m ³)	0,130	0,090	0,03	0	0	0	0	0		0,049	0,100	0,141
Sorties (H) (1/10 mm)	216	182	60	0	0	0	0	0		46	105	157
Pluies (1/10 mm)	0	0	0	0	285	606	1 382	960		325	0	0
Crues (1 000 m ³) E. Lac	0	0	0	0	100	280	11 745	1 570		0	0	0
Tot. partiel (1/10 mm)	1 584	1 718	2 240	2 700	2 905	2 266	2 117	(1 050)		1 929	1 995	1 703
Tot. mensuel (1/10 mm)	1 584	1 718	2 240	2 700	2 905	(2 440)	2 117	(1 550)		1 929	1 995	1 703
Moy. journ. (mm)	5,1	6,1	7,2	9,0	9,4	8,1	6,8	5,0		6,2	6,7	5,5

TABLEAU V

Année 1970

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Période	complet	complet	complet	complet	complet	complet	1 au 26	13 au 23	1 au 17	complet	complet	complet
Durée (jours)	31	28	31	30	31	30	25	10	16	31	30	31
Cote début (1/10 mm)	24 640	22 750	20 830	18 420	16 130	14 030	11 800	18 680	22 390	23 470	21 500	19..00
Cote fin (1/10 mm)	22 750	20 830	18 420	16 130	14 030	11 800	11 950	18 670	22 050	21 500	19 500	17 880
Sorties (V) (M m ³)	0,130	0,100	0,110	0	0	0	0	0,003	0,004	0,05	0,09	0,153
Sorties (H) (1/10 mm)	163	142	170	0	0	0	0		5	69	133	252
Pluies (1/10 mm)	0	0	0	0	22,5	212	1 110	307	570	0	0	0
Crues (1 000 m ³) E. Lac	0	0	0	0	0	0	550	100	50	0	0	0
Tot. partiel (1/10 mm)	1 727	1 778	2 240	2 290	2 325	2 442	1 510	417	955	1 901	1 867	1 368
Tot. mensuel (1/10 mm)	1 727	1 778	2 240	2 290	2 325	2 242	1 870	(1 280) *	(1 790)	1 901	1 867	1 368
Moy. journ. (mm)	5,6	6,3	7,2	7,6	7,5	8,1	6,0	5,1 *	6,0	6,2	6,2	4,4

TABLEAU VI

Année 1971

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Période	complet	complet	complet	complet	complet	21 au 30	complet	1 au 13				
Durée (jours)	31	28	31	30	31	10	31	12				
Cote début (1/10 mm)	17 880	16 000	14 120	11 880	9 580	14 200	16 900	18 000				
Cote fin (1/10 mm)	16 000	14 120	11 880	9 580	7 040	16 900	18 000	17 900				
Sorties (V) (M m ³)	0,143	0,124	0,083	0	0	0	0					
Pluies (1/10 mm)	0	0	0	(200)	74	387	872					
Crues (1 000 m ³) E. Lac	0	0	0		170	3 180	1 805 *					
Tot. partiel (1/10 mm)	1 616	1 632	2 032	2 500	2 784	867	1 577 *					
Tot. mensuel (1/10 mm)	1 616	1 632	2 032	2 500	2 784	(2 590) *	(1 577) *					
Moy. journ. (mm)	5,2	5,8	6,6	8,3	8,9	8,6	5,1					

LAC DE BAM
ANNEXE II
(Mesures d'évaporation sur bac et de climatologie)

TABLEAU I a
ÉVAPORATION SUR BAC O.R.S.T.O.M. (en mm)
(Année calendaire)

Lac de Bam
Station de Kongoussi

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
1966	Total	—	—	—	—	—	—	196,9	161,1	144,0	169,0	214,6	192,0	
	Moy. j.							6,3	5,2	4,8	5,5	7,2	6,2	
1967	Total	201,2	187,6	216,0	244,2	288,6	256,2	241,3	161,7	169,8	211,2	212,0	207,2	2 597
	Moy. j.	6,5	6,7	7,0	8,1	9,3	8,5	7,8	5,2	5,7	6,8	7,1	6,7	
1968	Total	233,2	229,2	274,0	286,3	294,8	269,0	178,6	190,9	163,8	211,1	220,2	212,8	2 764
	Ev./j.	7,5	7,9	8,8	9,5	9,5	9,0	5,8	6,2	5,5	6,8	7,3	6,9	
1969	Total	224,8	228,8	329,2	351,6	379,2	311,1	208,9	124,8	154,3	192,1	192,4	187,6	2 885
	Ev./j.	7,3	8,2	10,6	11,8	12,2	10,4	6,7	4,0	5,2	6,2	6,5	6,1	
1970	Total	213,2	196,0	304,0	306,8	330,5	375,6	275,7	157,5	168,8	215,3	192,8	194,4	2 931
	Moyenne	6,9	7,0	9,8	10,2	10,7	12,5	8,9	5,1	5,6	7,0	6,4	6,3	
1971	Total	209,2	220,0	294,0 *	365,9 *	403,4 *	272,0	224,1	176,3	173,1				
	Moyenne	6,7	7,9	9,5	12,2	13,0	9,1	7,2	5,7	5,8				

* En mars, avril, mai 1971, le bac percé avait été provisoirement ressoudé, puis remplacé début juin.

TABLEAU I b
ÉVAPORATION SUR BAC O.R.S.T.O.M. (en mm)
(Année calendaire)

Lac de Bam
Station de Bam

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1969	Total	—	—	337,2	370,3	344,1	307,6	222,7	(155,0)	160,1	222,7	194,0	195,2	
	Moyenne			10,8	12,4	11,1	10,2	7,2	5,0	5,3	7,2	6,4	6,3	
1970	Total	214,0	(201,6)	278,8	321,0	347,0	356,3	246,0	168,7	141,0	210,8	204,4	204,6	2 892
	Moyenne	6,9	7,2	9,0	10,7	11,2	11,8	7,9	5,4	4,7	6,8	6,7	6,6	
1971	Total													
	Moyenne													

Les mesures ont été interrompues pendant les mois de février, mars, avril, mai 1971, le bac étant percé pendant cette période.

TABLEAU II
TEMPÉRATURES SOUS ABRI EN 1966 (1/10 °C)

Lac de Bam
Station de Kongoussi (II)

1966	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
7 heures	—	—	—	—	—	—	245	242	237	240	—	159
11 heures	—	—	—	—	—	—	297	287	296	320	345	314
15 heures	—	—	—	—	—	—	323	309	307	339	357	333
19 heures	—	—	—	—	—	—	288	272	264	272	258	238
T. max.	—	—	—	—	—	—	—	328 *	335 *	356 *	379 *	352 *
T. min.	—	—	—	—	—	—	—	232	226	222	—	147

— lacunes : pas de mesures ou mesures inexploitable.

* lectures douteuses ou matériel peu sûr.

Remarque. — Il existe également des lectures à 22 heures.

TABLEAU III
TEMPÉRATURES SOUS ABRI EN 1967 (1/10 °C)

Lac de Bam
Station de Kongoussi (II)

1967	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D(a)
7 heures	140	186	206	269	283	282	248	234	231	232	164 *	162
11 heures	277	337	340	356	356	326	294	280	280	334	343	296
15 heures	306	355	360	392	387	353	313	288	299	355	354	309
19 heures	221	277	285	330	328	316	285	—	259	277	286	255
T. max. *	310	353	379	403	387	353	325	306	309	350	347	317
T. min. *	106	144	179	238	256	236	216	215	208	204	141	128

— pas de mesures ou mesures inexploitable.

* mesures douteuses, matériel peu sûr.

(a) mesures effectuées à 6 heures, 12 heures, 15 heures et 18 heures.

TABLEAU IV
TEMPÉRATURES SOUS ABRI EN 1968 (1/10 °C)

Lac de Bam
Station de Kongoussi (II)

1968	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
6 heures	142	179	212	254	260	253	235	227	229	224	175	149
12 heures	287	330	349	357	350	323	299	307	305	340	347	334
15 heures	304	342	368	368	363	338	309	—	—	—	—	—
18 heures	252	307	328	336	327	317	285	292	283	300	292	271
T. max. *	—	—	378	381	378	352	313	328	323	360	362	349
T. min. *	098	147	150	236	240	236	219	221	211	206	145	125

— pas de mesures ou mesures inexploitable.

* mesures douteuses ou matériel défectueux.

TABLEAU V
TEMPÉRATURES SOUS ABRI EN 1969 (1/10 °C)

Lac de Bam
Station de Kongoussi (II)

1969	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
6 heures	135	156	205	(259)	275	261	243	231	231	232	173	(135)
12 heures	311	357	379	(360)	370	330	306	287	302	330	333	(336)
15 heures	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18 heures	279	320	359	(349)	350	327	299	274	284	301	284	(275)
T. max. *	333	379	402	(395)	399	367	341	320	325	355	355	(350)
T. min. *	109	135	192	(228)	268	267	231	228	227	228	169	(120)

— lacunes : pas de mesures ou mesures inexploitable.

* mesures douteuses ou matériel défectueux.

() valeurs obtenues à partir de mesures partielles ou interpolées.

TABLEAU VI
TEMPÉRATURE EN 1970 (1/10 °C)

Lac de Bam
Station de Kongoussi (II)

1970		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	6 heures	128	148	185	261	281	272	240	234	228	225	168	165
	12 heures	333	—	—	—	—	357	308	289	306	355	345	309
Abri	15 heures	—	—	—	—	—	—	—	300	314	365	348	321
	18 heures	285	310	339	—	—	342	303	281	283	306	259	273
	T. max.	347	362	389	403	378	392	—	308	323	368	358	347
	T. min.	121	142	176	238	262	239	—	227	222	216	150	121
	6 heures	—	—	—	—	—	*	*	*	274	270	228	195
Bac	12 heures	—	—	—	—	—	*	*	*	335	347	287	254
	18 heures	—	—	—	—	—	*	*	*	318	313	274	246

— lacunes : pas de mesures ou mesures inexploitablees.

* valeurs douteuses.

() valeurs obtenues à partir de mesures partielles ou interpolées.

TABLEAU VII
TEMPÉRATURES EN 1971 (1/10 °C)

Lac de Bam
Station de Kongoussi (II)

1971		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	6 heures	116	170	232	254	277	263	245	231	235	227	171	—
	12 heures	296	338	367	379	370	336	308	288	308	341	342	—
Abri	15 heures	314	363	388	392	392	362	329	300	321	355	352	—
	18 heures	273	323	338	365	370	337	301	280	288	310	294	—
	T. max.	319	366	392	400	—	—	—	312	328	361	355	—
	T. min.	099	153	213	240	270	254	235	224	225	212	163	—
	6 heures	183	222	248	268	270	268	269	266	276	267	—	—
Bac	12 heures	246	281	305	330	—	—	—	—	—	—	—	—
	15 heures	—	—	—	—	342	334	333	329	332	332	—	—
	18 heures	238	270	289	308	308	307	312	303	321	309	—	—

TABLEAU VIII
TEMPÉRATURES SUPERFICIELLES EN 1971 (1/10 °C)

Lac de Bam

1971		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
6 h.	Bac Kon.	183	222	248	268	270	268	269	266	276	267	—	—
	Lac	—	—	—	—	—	—	(265)	261	268	271	—	—
12 h.	Bac Kon.	246	281	305	330	—	—	—	—	—	—	—	—
	Lac	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Bac Kon.	—	—	—	—	342	334	333	329	332	332	—	—
	Lac	—	—	—	—	—	—	(324)	317	320	314	—	—
	Bac Kon.	238	270	289	308	308	307	312	303	321	309	—	—
	Lac	—	—	—	—	—	—	(305)	295	308	302	—	—

— lacunes : pas de mesures ou mesures inexploitablees.

* mesures douteuses.

() mois incomplet.