

Etude de l'évaporation d'un lac en climat soudano-sahélien : le lac de Bam (Haute-Volta)

B. POUYAUD

Maître de Recherches

Directeur du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé en Côte-
d'Ivoire

RÉSUMÉ

Dès 1966 le Service Hydrologique de l'ORSTOM sélectionnait le lac de Bam, en Haute-Volta, pour y développer une étude de l'évaporation d'un lac en climat soudano-sahélien.

Le présent article utilise une partie des résultats recueillis à la station hydrologique du lac depuis cette date, puis, à partir de 1973, à la station climatologique de référence, non influencée par le lac, et à l'Evapotron installé en son milieu.

Il y est démontré qu'il existe une bonne corrélation entre les moyennes mensuelles et décennales de l'évaporation du lac et de certains paramètres climatiques observés à la station climatologique de référence (déficit de saturation de l'air et vitesse du vent). La corrélation entre l'évaporation moyenne décennale et pentadécennale du lac, et les paramètres climatiques moyens correspondants de l'air surplombant le lac, est évidemment encore meilleure.

Plusieurs formules permettant de calculer l'évaporation sur des périodes de temps variables, à partir des paramètres climatiques de référence, sont ainsi proposées. Ces diverses formules sont testées, dans le cas du lac de Bam, en comparant les valeurs calculées de l'évaporation aux valeurs réellement observées.

Ces méthodes sont ensuite extrapolées à l'échelle journalière et horaire ; elles permettent un premier bilan énergétique du lac de Bam pour certaines journées jugées particulièrement représentatives des diverses conditions climatiques annuelles.

L'application brutale de ces formules aux observations climatiques réalisées depuis 1965 à la station climatologique de Bol-Matafo permet une estimation raisonnable de l'évaporation du lac Tchad.

ABSTRACT

From 1966 the Hydrological Service of ORSTOM chose the Bam Lake, located in Upper-Volta, to extend a survey on the lake evaporation under sudano-sahelian climate.

The present note takes into account a part of the results collected at the lake hydrological station since this time and besides from 1973 at the referring climatological station which is not under the lake influence, and at the "Evapotron" device implemented in its middle.

It is pointed out that a good correlation exists between the means of monthly and ten days in succession of lake evaporation and some climatic parameters observed at the referring climatological station (air saturation deficit and wind speed). The correlation between the mean lake evaporation on ten days or five days in succession and the means of the corresponding climatic parameters of the air overhanging the lake is obviously still better.

Several formulae, enabling to compute the evaporation on various periods of time from the referring climatic parameters are in that way submitted. These various formulae are proved, in the case of the Bam Lake, in comparing the computed values of evaporation with the really observed data.

Then, these methods are extrapolated to the daily and hourly scale. Its make it possible a first energetic balance of Bam Lake in the case of some days estimated to be particularly representative of the varied annual climatological conditions.

The rough application of these formulae to the climatic readings carried out since 1965 at the Bol-Matafo climatic station, enables a suitable assessment of the Chad Lake evaporation.

SOMMAIRE

Liste des symboles utilisés

1. *Objectifs de l'étude*
 - 1.1. Motivations théoriques et choix d'une méthodologie
 - 1.2. Renseignements généraux sur le lac de Bam
 - 1.3. Description sommaire du dispositif
2. *Inventaire des données disponibles*
 - 2.1. Mesure de l'évaporation par bilan hydrique
 - 2.2. Résultats des observations climatologiques à la station Saint-Paul
 - 2.3. Résultats des observations climatologiques à l'Evapotron
 - 2.3.1. Mesures climatiques à l'Evapotron même
 - 2.3.2. Mesures du vent
 - 2.3.3. Mesure des températures superficielles du lac
3. *Calcul de l'évaporation du lac de Bam à partir de paramètres climatiques*
 - 3.1. Calcul de l'évaporation à partir des seules observations à Saint-Paul
 - 3.1.1. Corrélations entre moyennes mensuelles de ELAC, ΔE ABRI et U2 ABRI
 - 3.1.2. Corrélations entre moyennes décennales de ELAC, ΔE ABRI et U2 ABRI
 - 3.2. Calcul de l'évaporation à partir des observations à l'Evapotron
 - 3.2.1. Corrélations directes entre ELAC, ΔE LAC et U2 ABRI
 - 3.2.2. Corrélations entre E2 LAC, TLAC, ΔE LAC et E2 ABRI, TCOL, ΔE ABRI
 - 3.2.3. Corrélations directes entre ΔE LAC, ΔE ABRI et U2 ABRI
 - 3.2.4. Corrélations indirectes entre ELAC et ΔE ABRI, U2 ABRI
 - 3.2.5. Estimation de ΔE ABRI à partir de TABRI, TCOL étant inconnu
 - 3.3. Comparaisons entre les évaporations calculées et leur estimation directe
 - 3.3.1. Application des formules établies aux valeurs mensuelles et annuelles 73-74-75-76
 - 3.3.2. Application aux valeurs interannuelles mensuelles
4. *Calcul de l'évaporation du lac de Bam à l'échelle journalière et horaire*
5. *Application des formules mensuelles élaborées au lac Tchad*
 - 5.1. Constitution des données disponibles
 - 5.2. Application et résultats
 - 5.3. Conclusion
6. *Conclusions générales*
7. *Bibliographie*

LISTE DES SYMBOLES UTILISÉS

(On trouvera en 2.3.1. tous les paramètres relatifs à l'Evapotron)

ELAC	évaporation du lac
TLAC	température superficielle du lac
EW	tension de vapeur saturante correspondant à TLAC

E2	tension de vapeur de l'air à 2 m au-dessus du lac
ΔE	EW-E2
U2	vitesse du vent à 2 m
EVAP	évapotron
U2 LAC	vitesse du vent à 2 m au-dessus du lac
U 0.2 LAC	vitesse du vent à 0,2 m au-dessus du lac
U2 ABRI	vitesse du vent à 2 m mesurée à la station Saint-Paul
TABRI	température de l'air sous abri
E2 ABRI	tension de vapeur de l'air sous abri
TCOL	température superficielle du Colorado
EWCOL	tension de vapeur saturante correspondant à TCOL
ΔE ABRI	EWCOL-E2 ABRI
E2 LAC	tension de vapeur d'eau de l'air à 2 m au-dessus du lac, à l'évapotron
EW LAC	tension de vapeur saturante correspondant à TLAC
ΔE LAC	EW LAC - E2 LAC
Q	rayonnement net
β	rapport de Bowen
R _G	rayonnement global
R _d	rayonnement diffus
R _R	rayonnement réfléchi
L \uparrow	rayonnement de grande longueur d'onde du lac
L \downarrow	rayonnement atmosphérique
S	flux de chaleur cédé par le système lac/air
ϵ	émissivité de l'eau
σ	constante de Planck
INSOL	durée d'insolation journalière

1. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

1.1. MOTIVATIONS THÉORIQUES ET CHOIX D'UNE MÉTHODOLOGIE

La connaissance précise de l'évaporation d'une grande nappe d'eau libre reste en zone soudano-sahélienne indispensable à l'élaboration des grands projets d'aménagement, car elle est souvent le paramètre hydrologique déterminant dans le bilan des retenues érigées dans des vallées où le relief ne permet que rarement une profondeur suffisante.

Le lac de Bam présentait l'avantage d'autoriser une mesure directe de l'évaporation, par relevés limnimétriques, plus de la moitié de l'année, si l'on exceptait la période d'hivernage (juin à septembre) et certaines années l'après-hivernage (octobre-novembre). Durant ces périodes les apports directs ou par ruissellement sont difficilement chiffrables, et l'infiltration des surfaces nouvellement ou rarement submergées devient importante.

Tout en reconnaissant au rayonnement solaire son rôle primordial de moteur énergétique des phénomènes climatiques, on peut concevoir, dans ces climats soudano-sahéliens, l'évaporation sous le strict aspect de phénomène de diffusion gazeuse.

Ainsi l'évaporation ELAC d'une nappe d'eau libre serait entièrement définie par sa température de surface TLAC (et la tension de vapeur saturante EW, correspondante) et le profil de tension de vapeur d'eau de l'air surplombant, que nous pouvons grossièrement caractériser par la tension de vapeur d'eau E2 de l'air à une hauteur de référence (2 m). Ces deux paramètres se trouvent intégrés de façon classique (et commode) et par le déficit de saturation $\Delta E \text{ LAC} = EW - E2$.

Le vent (U2, mesuré à la même hauteur caractéristique) intervient sur E2, puis en déterminant la forme du profil de tension de vapeur entre EW et E2, par le remplacement plus ou moins rapide des couches d'air chargées d'humidité surplombant le lac, par des couches d'air sèches venues des alentours du lac. Le gradient de tension de vapeur est d'autant plus grand que la vitesse du vent est plus élevée.

Bien sûr un certain nombre de dispositifs d'autorégulation de l'évaporation existent qui en font un système énergétique stable. C'est ainsi qu'une augmentation de la vitesse du vent, si elle accroît géométriquement le gradient de déficit de saturation, donc l'évaporation, réduit également par les vagues créées la température de surface, donc

EW puis ΔE et l'évaporation. De même une évaporation soutenue, pour s'alimenter, a besoin d'énergie qu'elle trouve entre autres en diminuant la température de l'eau, ce qui a pour conséquence de la stabiliser. L'énergie nécessaire à l'évaporation vient donc bien sûr du rayonnement solaire, mais de façon essentiellement indirecte. Elle peut provenir du stock calorifique représenté par l'eau du lac, mais aussi du sol le contenant, et surtout par advection des masses d'air environnantes surchauffées par les sols secs et dénudés de ces latitudes sahéliennes ; les phénomènes d'advection qui peuvent avoir leur origine dans ces différences de comportements thermiques du sol et de l'eau libre sont évidemment renforcés par les grands vents dominants de ces régions (Harmattan).

Dans cette schématisation, et pour ce régime climatique, le facteur limitant de l'évaporation demeure donc le déficit de saturation de l'air, et non l'énergie, toujours disponible en suffisance si l'état d'humidité de l'air permet une évaporation supplémentaire.

Il faut donc comparer les paramètres climatiques observés au-dessus du lac (E2 LAC, TLAC, ΔE LAC, U2 LAC) avec l'évaporation mesurée directement à l'échelle ELAC.

Mais pour pouvoir extrapoler ces résultats et utiliser les paramètres climatiques classiques obtenus avec les installations plus sommaires, mais habituelles, d'une station météorologique, l'évaporation mesurée ELAC a été directement corrélée avec les paramètres climatiques observés à la station climatologique de Saint-Paul, non perturbée par la proximité du lac (TABRI, TCOL, ΔE ABRI, U2 ABRI).

1.2. RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX SUR LE LAC DE BAM

Situé à 100 km au nord de Ouagadougou, le lac de Bam s'étend sur une vingtaine de kilomètres en moyennes eaux, sans dépasser une largeur de plus de 1 km ; il épouse les formes du lit d'un « affluent très épisodique » de la Volta Blanche. Orienté nord-sud, il est donc perpendiculaire aux vents dominants de secteur est à nord-est (Harmattan). Sa profondeur est faible (quelques mètres) et remarquablement constante. Les fonds remontent parfois, là où les apports de petits affluents sont particulièrement importants, provoquant en basses eaux le morcellement du lac en une chaîne de mares, bien avant son assèchement qui est déjà intervenu six fois depuis 1927.

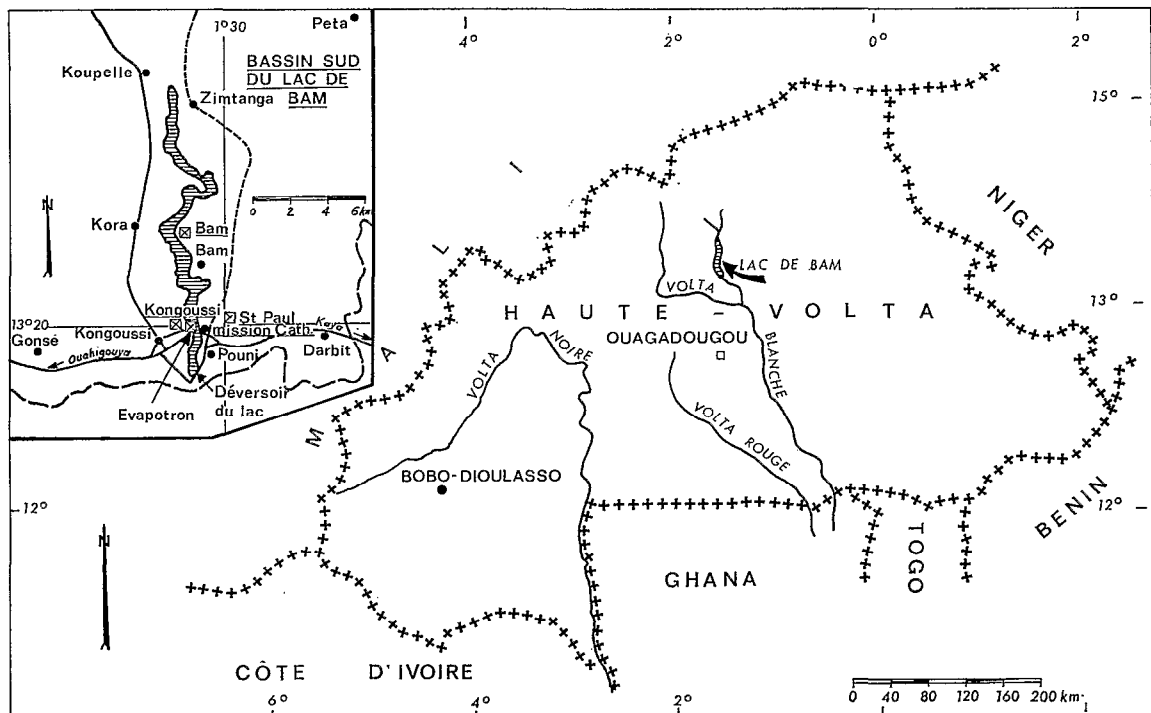


Fig. 1. — Carte de situation

Le bassin versant drainé est de 2 600 km², dont plusieurs zones se révèlent endoréiques, parfois plusieurs années successivement. Les déversements ne sont pas rares, mais sont devenus plus difficiles après le rehaussement artificiel récent du seuil naturel.

L'infiltration est extrêmement réduite, en dehors de très hautes eaux où le lac s'étend sur des zones non colmatées. Il ne semble pas d'ailleurs y avoir de liaisons entre le lac et les nappes exploitées par puits profonds (10 à 20 m) à la périphérie du lac.

Un rapport de synthèse sur le régime hydrologique du lac existe [2] complétant les premiers résultats publiés par D. Ibiza dans *Cahiers de l'ORSTOM* [1].

Le climat est celui, classique, de la zone sahélo-soudanienne. La pluviométrie annuelle varie de 400 à 700 mm du nord au sud du bassin versant groupée sur les mois de juin à septembre. Cette saison des pluies est précédée par une saison chaude et humide en avril-mai. Après l'hivernage, la saison sèche s'installe progressivement d'octobre à mars, caractérisée par des nuits fraîches et la présence constante d'un vent d'harmattan sec et chaud. Des renseignements climatiques généraux ont été publiés [4] [5] [6] [7].

1.3. DESCRIPTION SOMMAIRE DU DISPOSITIF

Un dispositif expérimental important a été mis en place progressivement autour du lac de Bam. La partie proprement hydrologique est décrite dans le rapport [2] :

- Trois stations météorologiques complètes ont été successivement installées, les deux premières à proximité du lac ; la troisième à l'Est, suffisamment éloignée pour ne pas être perturbée par le micro-climat du lac est celle de Saint-Paul, qui nous servira de station de référence ;
- Une station complète était enfin érigée sur un bâti métallique placé au milieu du lac, avec un anneau de garde suffisant. Elle est décrite dans une publication [3] et porte le nom d'évapotron (EVAP).

On y enregistre de début 1973 à fin 1975, avec quelques courtes interruptions dues à des pannes, les différents rayonnements (net, global, diffus, réfléchi), les températures sèches et humides de l'air à deux niveaux (0,20 m et 2,00 m), les vitesses de vents aux mêmes deux niveaux, et un profil de température, de la surface du lac à 2 m de profondeur. Le pas de temps du dépouillement est la demi-heure, il fournit pour chaque journée vingt-quatre valeurs moyennes horaires des différents paramètres retenus.

2. INVENTAIRE DES DONNÉES DISPONIBLES

Les données sur lesquelles repose cette étude ont trois origines distinctes :

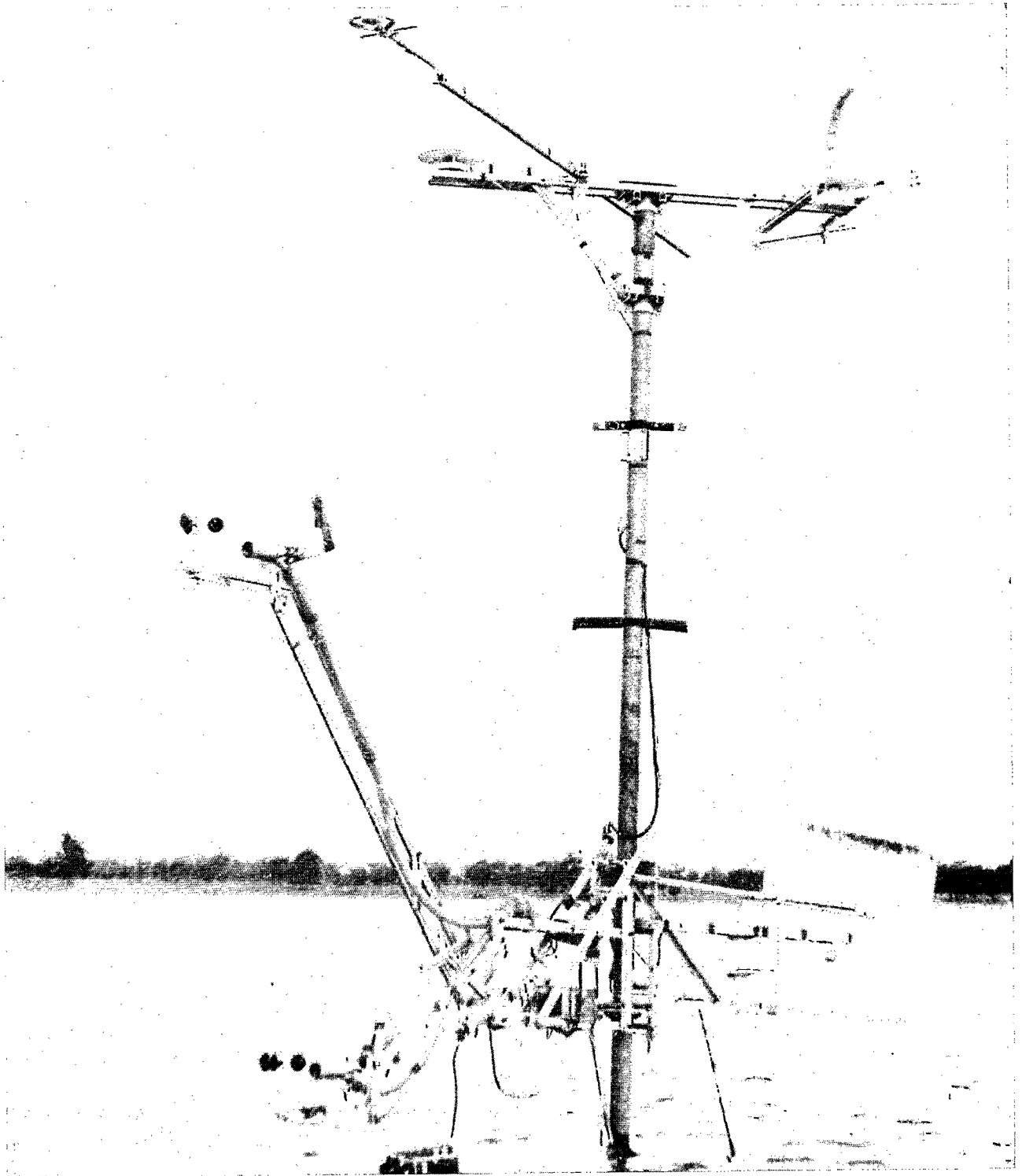
- Des observations limnimétriques, faites à l'échelle du lac de Bam, permettent une évaluation indirecte de l'évaporation ;
- Des observations climatologiques classiques sont effectuées, trois fois par jour, à la station météorologique de référence de Saint-Paul ;
- Des observations climatologiques (températures et rayonnements) sont enregistrées en continu par l'Évapotron, en un point représentatif du lac de Bam.

2.1. MESURE DE L'ÉVAPORATION PAR BILAN HYDRIQUE

Elle repose sur une évaluation suffisamment précise de chacun des termes du bilan hydrique du lac. Certains sont connus sous la forme volumique (apports ruisselés, prélèvements par pompes, déversements), d'autres sous forme de hauteurs d'eau (variation du plan d'eau, pluie, évaporation), l'infiltration enfin sous une forme mixte.

Les relations entre la hauteur d'eau du lac, sa superficie et son volume permettent de passer aisément de l'une à l'autre forme et de réaliser un bilan entre termes de dimensions homogènes.

L'évaluation, pour une période donnée, de ces différentes composantes du bilan hydrique n'est pas toujours facile, et peut prêter à de multiples critiques :



Vue générale du dispositif de mesures de l'évapotron

— Baisse du plan d'eau

Elle ne sera précisément connue que dans la mesure où les erreurs, dues aux vagues, ou tout autre mouvement d'oscillations en masse affectant la surface de l'eau, resteront minimes devant l'amplitude de la baisse en elle-même. Ce ne sera pas le cas lors de changements brutaux de la direction ou de la force du vent dominant, du passage de grosses dépressions barométriques ou au cours de violentes tornades.

Généralement assez bonne au niveau du mois, cette mesure de la cote du plan d'eau, et de ses variations, sera déjà plus critiquable pour une décade, et nettement aléatoire à l'échelle de la journée, même précédée d'un « lissage » des courbes de décrue.

— Apports pluviométriques

La hausse du plan d'eau, due à l'apport direct des précipitations, ne peut être chiffrée que par les observations aux pluviomètres répartis à la périphérie du lac. Malgré leur nombre, la hauteur de pluie moyenne sur le lac sera d'autant mieux estimée que la pluie aura été plus homogène. Dans la certitude de l'absence de tout ruissellement (pluies de faible intensité), la montée brutale du plan d'eau permet une estimation de la hauteur de pluie moyenne sur le lac.

— Apports par ruissellement

Les apports par ruissellement au lac sont de deux sortes :

- Il y a d'abord les ruissellements sur la proche périphérie du lac qui peuvent être extrêmement importants en cas de forte intensité sur les berges désertifiées par l'abondance des troupeaux. N'empruntant pas un réseau hydrographique nettement tracé, ces apports ne sont pratiquement pas mesurables. Malgré tout, leur brèveté et leur rapide tarissement permettent, par l'analyse de la courbe de décrue du lac, une estimation, raisonnable dans bien des cas, qui permettra d'en tenir compte dans le bilan du lac.
- Viennent ensuite les apports prolongés de l'émissaire amont principal, et des principaux émissaires secondaires périphériques. Le peu de stabilité de leurs lits, compliquée par un étalonnage délicat et perturbé par la courbe de remous du lac, dès que ce dernier est un peu haut, nous ont contraint à reconnaître l'impossibilité d'en estimer correctement la valeur.

Nous avons donc renoncé à effectuer le bilan hydrologique du lac pour les mois d'hivernage où existait un apport continu de ces émissaires, lors des fortes séquences pluvieuses.

— Prélèvements par pompages

Les prélèvements par pompage dans le lac sont eux aussi difficilement évaluables. Ils se produisent essentiellement durant la période de culture irriguée du début de la saison sèche (octobre à mars). Ils ont deux origines :

- Deux stations de pompages importantes alimentent les périmètres irrigués de la Scoo Bam. Au début de l'exploitation de ces périmètres on pouvait relativement aisément estimer l'importance de ces prélèvements en notant les horaires de fonctionnement des pompes, ou même la consommation en gas-oil et en huile des groupes. Cela n'est plus valable après 1973, où l'état défectueux des groupes motopompe rend l'estimation des débits pompés parfaitement aléatoire ; même si l'on connaissait avec précision les durées de fonctionnement, le rendement effectif des groupes n'aurait plus de toutes façons qu'un lointain rapport avec l'original.
- Les prélèvements des pompes manuelles ou motorisées, installées tout autour du lac par des particuliers, encadrés ou non, sont très difficilement évaluables, car on ne peut en fait connaître ni leur nombre exact, ni leurs horaires d'utilisation.

Les eaux du lac étant heureusement restées relativement hautes pendant toute la période de l'étude, après l'hivernage 1973 et surtout 1974, l'imprécision introduite par la nécessaire approximation de ce terme du bilan, n'a pas une influence trop catastrophique sur le bilan final.

— Pertes par déversement

Elles ont pu être chiffrées avec précision grâce à l'étalonnage effectué au cours des hautes eaux d'août 1974, puis vérifié en septembre 1975. Cet étalonnage est rendu délicat par la mobilité du seuil bétonné qui « flotte » sur des argiles gonflants, malgré ses 200 m de développement.

Cette précision ne nous sert malheureusement pas à grand chose, puisque ces déversements n'interviennent évidemment qu'au moment où les apports sont suffisamment importants et imprécis pour interdire le bilan du lac.

— Pertes par infiltration

En fait l'infiltration semble négligeable tant que le lac ne recouvre que les sols remarquablement imperméables de son lit habituel. Les puits, souvent très proches du lac, exploitent une nappe profonde (—15 à —20 m), qui n'est pas en communication avec le lac, sauf accidents locaux vite colmatés. Il semblerait même qu'elle soit captive sous les alluvions du lac, ainsi que le prouveraient les remontées d'eau dans les puisards creusés par les villageois dans le fond du lac, lors de ses assèchements antérieurs.

Il en va tout autrement lorsqu'en période de très hautes eaux le lac s'étale sur des terrains non colmatés, beaucoup plus perméables. Il est certain que l'infiltration n'est alors plus négligeable, ce qui arrive dès que la cote 4,00 m est atteinte.

De plus, quelle que soit la cote, une montée brutale du lac s'accompagne du recouvrement de couches superficielles non saturées d'un sol qui va donc s'imprégner avant de devenir imperméable, ce qui entraîne une perte rapide d'eau par humectation de ces couches. Le phénomène sera bien sûr d'autant plus marqué que les sols nouvellement recouverts seront plus éloignés du lit habituel du lac et donc à consistance moins argileuse et plus sableuse.

Dans ces conditions il est pratiquement impossible d'évaluer correctement ces pertes par infiltration, et il nous faudra éliminer les mois où elles sont vraisemblables.

Ces considérations nous ont permis d'évaluer les évaporations mensuelles du lac de Bam depuis le début des études. Les valeurs retenues de 1966 à 1970 ont été prises dans les rapports publiés par D. Ibiza.

Les valeurs entre parenthèses traduisent une large imprécision du bilan causée par des pluies accompagnées ou non de ruissellement. Les mois de plein hivernage n'ont pas été déterminés par suite d'importants apports non précisés du réseau hydrographique. Ils sont traduits par un tiret. La lettre (i), suivant certaines valeurs mensuelles de l'évaporation, signifie qu'elles sont certainement entachées d'une erreur par excès due aux infiltrations non prises en compte.

Les valeurs moyennes annuelles sont obtenues en remplaçant les valeurs mensuelles manquantes par une estimation des valeurs moyennes mensuelles obtenues sur la période plus favorable aux bilans 66-70, ou en évaluant, dans les cas d'infiltration par exemple, une valeur plus vraisemblable de l'évaporation du mois en cause.

Les valeurs mensuelles interannuelles moyennes ont été calculées sur les seules valeurs « sûres ».

TABLEAU 1

Date	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
1966								(5,2)	(4,8)	(5,5)	6,5	5,6	
1967	6,1	6,4	6,6	7,5	7,6	7,5	7,2	(5,1)	(5,7)	6,8	6,5	5,0	6,50
1968	5,4	6,5	6,8	7,1	7,6	6,0	5,6	(6,2)	5,5	5,8	5,6	5,0	6,09
1969	5,1	6,1	7,2	9,0	9,4	8,1	6,8	(5,0)	(5,2)	6,2	6,7	5,5	6,69
1970	5,6	6,3	7,2	7,6	7,5	8,1	6,0	(5,1)	6,0	6,2	6,2	4,4	6,35
1971	5,2	5,6	6,2	7,7	8,4	(8,0)	(6,8)	—	—	—	(7,1) (i)	6,4	(6,48)
1972	5,7	6,7	8,1	7,0	7,4	6,3	6,1	(5,4)	—	(7,2) (i)	6,7	5,6	(6,43)
1973	6,1	6,5	6,8	6,8	(8,1)	(7,3)	(7,4)	—	—	(7,2) (i)	(7,5) (i)	5,5	(6,58)
1974	6,3	6,7	6,8	8,0	8,1	7,7	(6,4)	—	—	(6,9) (i)	(7,2) (i)	(5,9) (i)	(6,67)
1975	6,0	6,3	7,1	8,3	(7,6)	(7,3)	(6,6)	—	—	(6,5) (i)	6,2	5,9	(6,54)
1976	5,7	6,4	7,8	7,3	(6,8)	(8,0)	(6,8)	(4,5)	(5,0)	(6,3) (i)	6,5	5,8	(6,41)
Moyenne 66-70	5,6	6,3	6,9	7,8	8,0	7,4	6,4	(5,3)	(5,4)	6,1	6,3	5,1	6,38
Moyenne 71-76	5,8	6,4	7,1	7,5	(7,7)	(7,4)	(6,7)	(5,0)	(5,0)	(6,8) (i)	(6,5)	(5,8)	6,47
Moyenne 66-76	5,7	6,3	7,0	7,6	7,8	7,4	6,6	5,2	5,2	6,3	6,4	5,5	6,42

ELAC : Evaporations moyennes mensuelles en mm/jour.

Ce tableau 1 contient donc les valeurs de référence des évaporations mensuelles observées, que nous pourrions mettre en corrélation avec celles calculées à partir des données climatologiques sous abri, ou des observations faites à l'évapotron.

Selon la même méthode, nous avons pu également déterminer les évaporations moyennes en mm/jour sur les pentades et décades pour lesquelles les données de l'évaporation ont été dépouillées.

Au premier abord on peut voir sur ces résultats que l'évaporation moyenne annuelle est remarquablement constante d'une année à l'autre. Un ajustement à une loi de Gauss se révèle très satisfaisant, avec les paramètres suivants :

$$\begin{aligned} \text{moyenne : } & \text{ELAC} = 6,47 \text{ mm/jour} \\ \text{écart type : } & \sigma \text{ ELAC} = 0,164 \text{ mm/jour} \end{aligned}$$

l'estimation de ELAC avec un intervalle de confiance de 95% est donc

$$\text{ELAC} = 6,47 \pm 0,10 \text{ mm/jour}$$

soit $2\,325 \text{ mm} < \text{ELAC annuelle} < 2\,398 \text{ mm}$

les variations interannuelles peuvent s'estimer ainsi :

décennale humide	6,26 mm/jour soit 2 289 mm/an
quinquennale humide	6,33 mm/jour soit 2 310 mm/an
moyenne	6,47 mm/jour soit 2 362 mm/an
quinquennale sèche	6,61 mm/jour soit 2 413 mm/an
décennale sèche	6,68 mm/jour soit 2 438 mm/an

Les variations des évaporations mensuelles en cours d'année sont elles aussi assez régulières ; sans que nous ayons jugé utile, faute de données suffisantes, d'étudier la variabilité de chaque mois, elle apparaît plus élevée pour les mois de transition (mars, avril, mai, juin, octobre) que pour les mois de saison bien caractérisée.

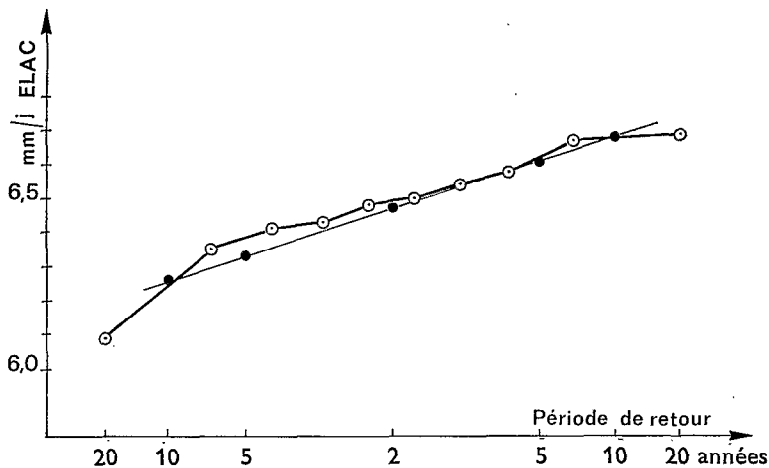


Fig. 2. — Distribution gaussienne des évaporations annuelles

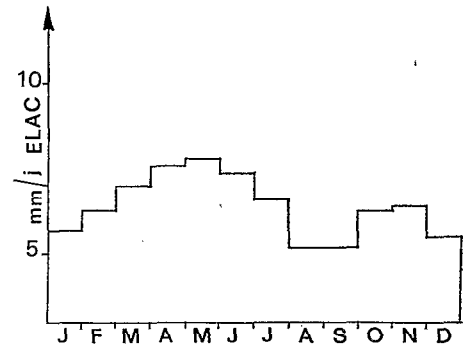


Fig. 3. — Variation mensuelle de l'évaporation

2.2. RÉSULTATS DES OBSERVATIONS CLIMATOLOGIQUES A LA STATION SAINT-PAUL

Cette station climatologique a été installée à quelques kilomètres à l'est du lac, dans le but de fournir des paramètres climatiques, caractéristiques du climat régional, non perturbés par le micro climat induit par le lac. Le régime des vents d'harmattan du nord-est est en effet largement dominant dans cette région.

Les observations sont continues du 1-1-1973 au 31-12-1976.

Les différents paramètres climatiques obtenus ont déjà été publiés dans leur intégralité, ainsi que les évaporations sur bacs et lysimètres, les durées d'insolation et le rayonnement global.

Parmi eux nous retiendrons, pour les besoins particuliers de cette étude, les valeurs moyennes mensuelles et décadaires de certains. Chaque fois que nécessaire, sont aussi calculées les valeurs moyennes pentadaires pour certaines pentades dont les observations à l'évapotron ont aussi été dépouillées.

Les paramètres retenus sont les suivants :

T ABRI	Température moyenne de l'air, sous abri — en °C
E2 ABRI	Tension moyenne de vapeur d'eau de l'air, sous abri — en mb
T COL	Température moyenne superficielle de l'eau du bac Colorado — en °C
ΔE ABRI	Déficit de saturation de l'air : EW COL — E2 ABRI — en mb
U2 ABRI	Vitesse moyenne du vent à 2 m — en m/s
IN SOL	Durée moyenne d'insolation — en heures et 1/100 d'heure
RG	Rayonnement moyen solaire global — en joules/cm ²

Les observations à 6 h, 12 h et 18 h de la température sèche et humide au psychromètre sous abri météo, permettent de calculer E2 ABRI aux mêmes heures.

Les moyennes décadaires et mensuelles de T ABRI, E2 ABRI, T COL sont faites à 6 h, 12 h et 18 h, puis les valeurs journalières, décadaires et mensuelles, calculées par $\bar{X} = \frac{1}{24} (9 X_6 + 6 X_{12} + 9 X_{18})$, qui donne une estimation satisfaisante de la valeur journalière.

EW COL, tension de vapeur saturante correspondant à TCOL, est calculée à partir des valeurs moyennes journalières de T COL par :

$$\text{EW COL} = \text{T COL}^3/1\,386 - \text{T COL}^2/286 + 0,71 \text{T COL} + 4,8$$

et $\Delta\text{E ABRI} = \text{EW COL} - \text{E2 ABRI}$

TABLEAU 2

73	T ABRI (°C)	E2 ABRI (mb)	T COL (°C)	ΔE ABRI (mb)	U2 ABRI (m/s)	IN SOL (h)	RG (J/cm ²)
J	23,1	7,6	21,9	18,6	1,43	8,86	—
F	26,5	8,0	24,0	21,8	1,47	9,79	—
M	30,5	8,7	25,7	24,3	1,64	8,21	—
A	32,6	15,3	28,7	24,1	1,72	8,64	—
M	33,1	21,2	30,8	23,2	2,17	9,54	—
J	31,3	24,0	30,5	19,7	2,36	9,03	—
J	29,0	25,4	30,2	17,5	2,12	8,44	—
A	27,4	26,4	29,9	15,8	1,51	8,95	—
S	27,8	26,2	29,8	15,7	1,46	8,31	—
O	29,5	17,5	29,8	24,4	1,12	10,14	—
N	25,9	9,1	25,1	22,7	1,36	10,35	—
D	23,2	7,6	22,4	19,4	1,09	9,74	—
	28,3	16,4	27,4	20,6	1,62	9,17	—

74	T ABRI (°C)	E2 ABRI (mb)	T COL (°C)	ΔE ABRI (mb)	U2 ABRI (m/s)	IN SOL (h)	RG (J/cm ²)
J	22,2	6,6	21,3	18,7	1,43	8,97	2 145
F	25,2	5,8	23,0	22,3	1,57	9,93	2 450
M	30,1	9,7	26,5	24,9	1,54	9,69	2 439
A	32,3	13,2	29,0	26,8	1,55	9,30	2 538
M	33,2	17,5	30,3	25,7	2,17	9,96	2 627
J	31,6	22,3	30,8	22,1	2,50	9,57	2 480
J	27,0	24,9	28,8	14,7	1,92	7,60	2 209
A	26,6	26,5	29,3	14,2	1,61	7,29	2 394
S	27,2	26,1	30,0	16,3	1,38	8,78	2 625
O	29,0	21,9	30,2	21,0	1,11	9,67	2 550
N	24,9	13,0	25,2	19,0	1,13	10,23	2 256
D	22,3	9,7	21,5	15,9	1,31	9,37	2 060
	27,6	16,4	27,2	20,1	1,60	9,20	2 398

TABLEAU 2 (suite)

75	T ABRI (°C)	E2 ABRI (mb)	T COL (°C)	ΔE ABRI (mb)	U2 ABRI (m/s)	IN SOL (h)	RG (J/cm ²)
J	21,3	6,7	20,3	17,1	1,50	9,90	2 175
F	24,7	7,9	23,2	20,5	1,19	10,89	2 546
M	29,6	10,9	26,8	24,3	1,43	9,44	2 499
A	33,2	14,2	29,5	27,0	1,81	9,55	2 538
M	32,0	21,5	30,6	22,4	2,23	9,39	2 548
J	31,0	22,9	30,2	20,0	2,33	10,00	2 635
J	27,0	25,3	29,2	15,2	1,69	7,23	2 177
A	26,7	27,0	29,8	14,9	1,57	8,09	2 466
S	26,9	27,3	30,2	15,6	1,24	8,36	—
O	28,9	22,0	30,0	20,4	1,02	9,71	—
N	25,4	12,9	25,9	20,5	0,95	8,87	2 220
D	23,3	9,6	23,1	18,6	1,24	9,56	2 067
	27,5	17,3	27,4	19,7	1,52	9,33	—

76	T ABRI (°C)	E2 ABRI (mb)	T COL (°C)	ΔE ABRI (mb)	U2 ABRI (m/s)	IN SOL (h)	RG (J/cm ²)
J	22,6	8,5	22,0	17,9	1,33	10,12	2 195
F	26,0	10,4	24,1	19,6	1,37	10,51	2 389
M	28,5	12,3	25,6	20,5	1,55	10,08	2 575
A	32,0	14,1	28,1	23,9	1,75	9,44	2 494
M	31,4	22,2	30,0	20,2	—	9,20	2 266
J	29,0	22,9	29,5	18,3	—	9,55	2 365
J	27,6	24,9	29,3	15,8	—	9,25	—
A	26,7	25,4	29,5	15,8	—	8,58	—
S	27,4	25,3	30,0	17,1	—	8,75	—
O	27,8	24,2	29,5	17,0	—	7,75	—
N	26,8	11,9	27,0	23,7	—	9,95	—
D	23,9	8,1	23,1	20,1	—	9,90	—
	27,5	17,5	27,3	19,2	—	9,42	—

Le calcul de ΔE ABRI mensuel ou décadaire à partir des moyennes décadaires ou mensuelles de E2 ABRI et de T COL pourrait paraître critiquable, mais des tests ont montré que les valeurs obtenues ne différaient pas sensiblement de celles issues des moyennes journalières de ΔE ABRI calculées avec les moyennes journalières de E2 ABRI et T COL, ou même des valeurs à 6 h, 12 h et 18 h de E2 ABRI et T COL.

Par contre les valeurs moyennes annuelles de ΔE ABRI sont calculées à partir des douze moyennes mensuelles, et non à partir des moyennes annuelles de E2 ABRI et T COL.

U2 ABRI est obtenue comme vitesse moyenne journalière du vent, pour une décade ou un mois, des observations faites à la station de Saint-Paul.

Des valeurs moyennes interannuelles de ces paramètres ont été calculées, afin de mieux caractériser le climat régional :

	T ABRI (°C)	E2 ABRI (mb)	T COL (°C)	ΔE ABRI (mb)	U2 ABRI (m/s)
J	22,3	7,3	21,4	18,2	1,45
F	25,6	8,0	23,6	21,1	1,41
M	29,7	10,4	26,1	23,4	1,54
A	32,5	14,2	28,8	25,4	1,69
M	32,4	20,6	30,4	22,8	2,19
J	30,7	23,0	30,2	19,9	2,39
J	27,6	25,1	29,4	15,9	1,91
A	26,8	26,3	29,6	15,2	1,56
S	27,3	26,2	30,0	16,2	1,36
O	28,8	21,4	29,9	20,8	1,08
N	25,7	11,7	25,8	21,5	1,15
D	23,2	8,7	22,5	18,5	1,21
	27,7	16,9	27,3	19,9	1,58
1973	28,3	16,4	27,4	20,6	1,62
1974	27,6	16,4	27,2	20,1	1,60
1975	27,5	17,3	27,4	19,7	1,52
1976	27,5	17,5	27,3	19,2	(1,58)

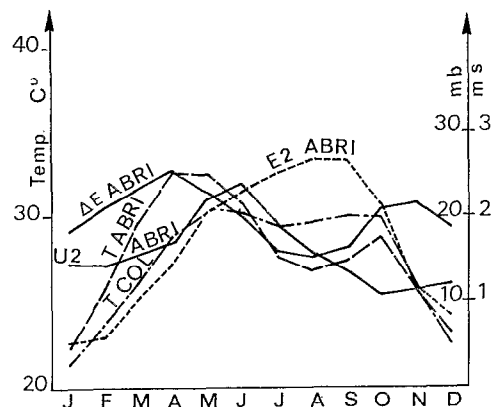


Fig. 4

Valeurs moyennes annuelles et interannuelles

Nous présentons maintenant les résultats obtenus aux différents bacs d'évaporation installés à la station Saint-Paul, ainsi que les valeurs du lysimètre et du Piche. Il s'agit de totaux évaporatoires mensuels, ramenés à une évaporation moyenne journalière en mm/jour.

Les précipitations sont prises en compte dans le bilan des bacs, grâce aux mesures faites sur des pluviomètres calés à la même côte que les rebords des différents bacs.

Les journées où ce bilan ne s'avérait pas possible ont été éliminées.

Le lysimètre et le bac Colorado « pelouse » sont situés au milieu d'un anneau de garde, planté en *cynodon dactylon* de 400 m².

Nous avons répété dans ces tableaux, à titre indicatif, les estimations des évaporations ELAC évaluées précédemment.

TABLEAU 3

E COL SN : Evaporation du bac Colorado sur sol nu : mm/j.
 E COL PEL : Evaporation du bac Colorado sur pelouse : mm/j.
 E CLAS A : Evaporation du bac classe A : mm/j.
 E LYSI : Evaporation du lysimètre : mm/j.
 E PICHE : Evaporation au piche : mm/j.

73	E SN	E PEL	E CL. A	E LYSI	E PICHE	E LAC	74	E SN	E PEL	E CL. A	E LYSI	E PICHE	E LAC
J	8,4				11,2	6,1	J	8,1		8,7		9,7	6,3
F	9,7				10,8	6,5	F	9,7		10,9		11,5	6,7
M	11,3				13,1	6,8	M	10,9		12,3		12,3	6,8
A	11,1				11,9	6,8	A	11,8		13,1		11,8	8,0
M	12,1				9,2	(8,1)	M	13,1		14,1		10,0	8,1
J	10,4				6,6	(7,3)	J	12,4		12,7		7,3	7,7
J	8,9				4,3	(7,4)	J	7,4		7,7		3,3	(6,4)
A	6,5		7,9		3,3	—	A	7,1		7,4		2,3	—
S	7,1		7,1		3,4	—	S	7,1		7,5		2,7	—
O	9,7		9,4		7,2	(7,2)	O	8,8		8,7		5,4	(6,9)
N	9,9		10,3		10,5	(7,5)	N	8,8		9,3		9,3	(7,2)
D	7,4		8,0		8,5	5,5	D	6,1		8,4		9,9	(5,9)
	9,37				8,33	(6,58)		9,44		10,07		7,96	(6,67)

TABLEAU 3 (suite)

75	E SN	E PEL	E CL. A	E LYSI	E PICHE	E LAC	76	E SN	E PEL	E CL. A	E LYSI	E PICHE	E LAC
J	8,2	6,0	8,5	5,6	10,8	6,0	J	7,4	6,0	8,2	5,7	8,9	5,7
F	8,8	6,1	9,5	—	10,3	6,3	F	8,8	7,4	10,0	7,1	10,1	6,4
M	10,7	7,5	11,6	—	12,1	7,1	M	10,5	8,7	11,4	8,3	11,9	7,8
A	12,6	10,5	13,1	—	12,6	8,3	A	11,7	10,1	12,6	8,7	11,0	7,3
M	11,6	9,7	11,1	8,4	8,1	7,6	M	10,7	9,9	10,8	7,5	7,1	(6,8)
J	11,0	9,9	10,8	8,4	6,4	7,3	J	9,3	8,7	9,5	6,7	5,2	(8,0)
J	6,4	5,0	6,5	4,5	2,9	(6,6)	J	7,1	6,4	7,3	5,5	3,7	(6,8)
A	6,7	5,9	6,5	4,9	2,5	—	A	6,2	5,3	6,1	4,0	2,9	(4,5)
S	6,8	5,7	7,0	4,3	2,7	—	S	6,4	5,8	6,6	4,7	3,2	(5,0)
O	8,5	7,2	8,5	5,9	5,9	(6,5)	O	6,6	5,6	6,6	4,6	3,9	(6,3)
N	8,3	6,5	8,5	6,3	8,6	6,2	N	8,4	7,0	8,6	6,1	8,5	6,5
D	7,6	5,8	8,1	5,7	8,8	5,9	D	7,5	6,6	7,9	5,4	8,8	5,8
	8,93	7,15	9,19		7,64	6,54		8,38	7,29	8,80	6,19	7,10	6,41

On peut noter une diminution importante des évaporations sur les bacs sol nu, confirmée par la baisse de l'évaporation Piche et simultanément l'élévation de la tension de vapeur d'eau de l'air mesurée sous abri. Il est à craindre que la présence des 400 m² de gazon irrigué à quelques dizaines de mètres de la station « sol nu », n'ait contribué à perturber les conditions climatiques de la station. Cette pelouse a été installée en effet à la fin de l'année 1974.

Si tel était le cas il est vraisemblable que cette erreur doit être importante surtout en période de saison sèche.

Il faut remarquer toutefois que l'évaporation du lac a également sensiblement diminué au cours de ces quatre années, sans atteindre pourtant l'importante diminution observée à Saint-Paul.

Il est également certain que le vent à 2 m a aussi sérieusement diminué d'intensité de 1973 à 1976. Il serait bien difficile, en ce qui le concerne, de mettre cela au compte d'une modification temporaire du régime des vents; il conviendrait, peut-être, de mettre en cause l'accroissement de taille des arbustes autour de la station, quoique ce fait ne nous soit à l'époque pas apparu.

2.3. RÉSULTATS DES OBSERVATIONS CLIMATOLOGIQUES A L'ÉVAPOTRON

2.3.1. Mesures climatiques à l'Evapotron même

Les sondes de mesure, installées sur un bâti métallique au milieu du lac, relié par câbles à des enregistreurs abrités sur la rive du lac, constituent un dispositif expérimental que nous avons nommé Evapotron. Elles permettent la mesure et l'enregistrement de multiples données climatiques, dépouillées sous la forme de valeurs moyennes sur le pas de temps d'une demi-heure. Ces données sont de plusieurs ordres :

Rayonnements	R _G	Rayonnement global — en joules/cm ²
	R _d	Rayonnement diffus — en joules/cm ²
	R _R	Rayonnement réfléchi — en joules/cm ²
	Q	Rayonnement net — en joules/cm ²
Températures de l'air	TS	Température sèche au niveau supérieur (2 m) — °C
	TH	Température humide au niveau supérieur (2 m) — °C
	ΔTS	Gradient de température sèche entre haut et bas (2 m / 0,2 m) — °C
	ΔTH	Gradient de température humide entre haut et bas (2 m / 0,2 m) — °C
Températures de l'eau	TLAC	Température superficielle du lac à l'Evapotron — °C
	T1 à T8	Température du lac à 8 niveaux (6/12,5/25/50/100/150/200/Fond)
Vitesses du vent	U2 et U0,2	Vitesse du vent aux niveaux supérieur et inférieur — m/s

Dépouillées directement sur les graphiques d'enregistrement, demi-heure après demi-heure, ces données sont ensuite reportées sur des bordereaux de saisie mécanographique, où figure de plus l'heure du début et de la fin de chaque pas de temps.

Nous avons dans un premier temps réalisé un programme de traitement complet qui, à partir de ces données, calcule les valeurs moyennes horaires des 20 paramètres suivants :

TS 2	Température sèche au niveau 2 (2 m) — °C
TS 1	Température sèche au niveau 1 (0,2 m) — °C
T LAC	Température superficielle du lac — °C
TH 2	Température humide au niveau 2 (2 m) — °C
TH 1	Température humide au niveau 1 (0,2 m) — °C
E2	Tension de vapeur au niveau 2 (2 m) — mb
E1	Tension de vapeur au niveau 1 (0,2 m) — mb
EW	Tension de vapeur saturante correspondant à T LAC — mb
β 2 S	Rapport de Bowen entre surface et niveau 2
β 1 S	Rapport de Bowen entre surface et niveau 1
β 21	Rapport de Bowen entre niveaux 1 et 2
ΔE S-2	Déficit de saturation entre niveau 2 et surface = EW-E2 — mb
Q	Rayonnement net — J/cm ²
R _G	Rayonnement global — J/cm ²
R _d	Rayonnement diffus — J/cm ²
R _R	Rayonnement réfléchi — J/cm ²
a	Albedo = R _R /R _G
L ↑	Rayonnement thermique de la surface du lac — J/cm ²
L ↓	Rayonnement atmosphérique, calculé par la formule de Brunt — J/cm ²
Σ Q	Terme résiduel du bilan radiatif, qui devrait être nul — J/cm ²

Ce programme de traitement a été appliqué pour traiter quatre décades choisies pour leur représentativité des diverses situations climatologiques possibles, pour les périodes où l'évaporation du lac pourrait être estimée directement :

1-05-74 au 10-05-74	Saison sèche chaude
1-11-75 au 10-11-75	} Saison sèche fraîche
1-12-75 au 10-12-75	
27-12-75 au 5-01-76	

Ce qui donne une figuration numérique complète, heure par heure, de la climatologie de ces 40 journées représentatives.

L'ensemble de ces résultats a été regroupé en moyennes journalières, pentadaires ou décadaires, afin de faciliter son analyse.

Cette première analyse, que nous examinerons ultérieurement, a permis d'éliminer bon nombre des 20 paramètres retenus initialement. Ce qui nous a conduit à des programmes de traitement allégés ne calculant que les paramètres indispensables. A ce niveau de l'étude un de ces programmes a été utilisé pour traiter d'autres décades qui donnaient des valeurs moyennes horaires des paramètres suivants :

T S2	Température sèche de l'air (2 m) — °C
T LAC	Température superficielle du lac — °C
E 2	Tension de vapeur d'eau de l'air à 2 m — mb
ΔE	Déficit de saturation EW-E2 — mb
β	Rapport de Bowen entre lac et niveau 2 m
Q	Rayonnement net — J/cm ²
R _G	Rayonnement global — J/cm ²
R _d /R _G	Rapport du rayonnement diffus au rayonnement global
L ↑	Rayonnement thermique de la surface du lac — J/cm ²
Σ R	Bilan radiatif résiduel, L ↓ + R _R — J/cm ²

Devant leur nombre, il n'était plus alors possible d'utiliser directement les moyennes journalières de ces paramètres, et nous avons travaillé avec des valeurs moyennes pentadaires et décadaires. Ce qui permit de vérifier qu'au plan de la comparaison des données climatiques de la station de Saint-Paul avec celles observées sur le lac à l'Evapotron le paramètre important était le déficit de saturation : $\Delta E = EW - E2$, que nous avons donc calculé, grâce à un programme très allégé pour 215 journées, réparties sur les périodes des trois années d'observation, où il était possible de calculer directement l'évaporation, condition indispensable aux corrélations ultérieures que nous voulions mener.

Il n'est pas de notre propos de faire figurer ici les résultats exhaustifs obtenus. Dans les chapitres suivants, apparaîtront les valeurs moyennes journalières, pentadaires ou décadaires de ces paramètres pour les corrélations retenues entre observations à Saint-Paul, observations à l'Evapotron et évaporations du lac mesurées.

Dans un dernier chapitre nous reprendrons certaines journées caractéristiques qui seront alors « décortiquées », et la totalité des paramètres climatiques calculés représentés.

2.3.2. Mesures du vent

Les mesures du vent aux deux niveaux de l'évapotron ont d'abord permis de déterminer une relation étroite entre les vitesses du vent à ces deux niveaux, et une estimation de la rugosité aérodynamique du lac dans différentes situations climatiques.

On a pu également dégager une corrélation assez étroite entre les vitesses du vent à l'évapotron et à Saint-Paul, meilleure naturellement à l'échelle journalière qu'à l'échelle horaire.

En fait cette corrélation évolue en cours d'année avec notamment l'orientation du vent. Nous avons par ailleurs dû supporter de nombreuses pannes des anémomètres sophistiqués installés à l'évapotron.

Il apparaît aussi, à la lumière des divers essais effectués sur le lac, que le site de l'évapotron, en ce qui concerne le vent, n'est pas parfaitement représentatif de l'ensemble du lac, puisque certaines directions du vent sont privilégiées par l'orientation des bras du lac et la présence de rideaux d'arbres situés sur la bordure pourtant éloignée de 300 m.

Par contre la situation extrêmement bien dégagée de la station Saint-Paul fait qu'il nous paraît préférable de considérer les mesures de vent faites à Saint-Paul (anémographe Lambrecht), plutôt qu'à l'évapotron, comme représentatives de la totalité du lac, ce qui allie donc aux avantages d'une meilleure représentativité ceux de la continuité absolue de ces mesures.

L'extrapolation des formules, que nous allons dégager, à d'autres sites exigeait aussi que l'on puisse se rattacher à des mesures classiques en station météo, seules mesures accessibles existantes en bien des cas.

2.3.3. Mesure des températures superficielles du lac

Nous avons déjà vu que la température superficielle du lac était enregistrée en permanence à l'évapotron, en même temps qu'un profil de température de l'eau du lac.

Mais afin de s'assurer de la représentativité de cette mesure ponctuelle, et de s'affranchir de pannes éventuelles, étaient faites chaque jour à 6 h, 12 h et 18 h en trois points du lac des mesures de la température de surface, à l'aide d'un thermomètre classique flottant à partir d'une pirogue. Ces mesures exploitées sous la forme de moyennes journalières, décennales et mensuelles ont été comparées à celles de l'évapotron, sans différences significatives, et aussi aux températures superficielles du bac Colorado de Saint-Paul, ainsi que nous verrons par la suite.

3. CALCUL DE L'ÉVAPORATION DU LAC A PARTIR DE PARAMÈTRES CLIMATIQUES

Le but ultime de l'étude du lac de Bam était la détermination de l'évaporation sur lac à partir des seules données climatologiques mesurées en une station de référence (Saint-Paul), non perturbée par la proximité du lac.

Nous allons donc dans un premier temps relier les évaporations estimées du lac de Bam aux observations à Saint-Paul.

Nous verrons dans un second temps que, comme on pouvait s'y attendre, ces évaporations sont mieux corrélées avec les paramètres climatiques de l'air surplombant le lac. A ce stade de l'étude nous avons donc inventorié et testé les corrélations entre les paramètres climatiques sur le lac et leurs homologues à Saint-Paul. Ces corrélations directes trouveront évidemment leur utilisation pour l'évaluation du bilan énergétique à l'échelle horaire.

3.1. CALCUL DE L'ÉVAPORATION A PARTIR DES SEULES OBSERVATIONS A SAINT-PAUL

3.1.1. Corrélation entre moyennes mensuelles de $ELAC$, $\Delta E ABRI$ et $U2 ABRI$

Cette étude a été menée dans un premier temps avec les valeurs moyennes mensuelles observées en 1973-74-75 et 76.

Nous disposons tout d'abord des estimations mensuelles de l'évaporation ELAC, obtenues à partir du bilan hydrologique du lac de Bam. Elles seront donc corrélées avec les valeurs correspondantes moyennes de ΔE ABRI et de U_2 ABRI, déterminées précédemment.

- En fait les imprécisions de la détermination directe de ELAC nous ont contraint à éliminer 23 valeurs moyennes mensuelles sur 48.
- L'absence de mesures du vent à Saint-Paul à partir de mai 1976 nous fait écarter les données postérieures.

TABLEAU 4

		ELAC	U2 ABRI	ΔE ABRI	$U_2 \times \Delta E$	
1973	J	6,1	1,43	18,7	26,7	1
	F	6,1	1,47	21,8	32,0	2
	M	6,8	1,64	24,3	39,9	3
	A	6,8	1,72	24,1	41,4	4
	M	(8,1)	2,17	23,2	—	×
	J	(7,3)	2,36	19,7	—	×
	J	(7,4)	2,12	17,5	—	×
	A	—	1,51	15,8	—	×
	S	—	1,46	15,7	—	×
	O	(7,2)	1,12	24,4	—	×
	N	(7,5)	1,36	22,7	—	×
	D	5,5	1,09	19,4	21,1	5
1974	J	6,3	1,43	18,7	26,7	6
	F	6,7	1,57	22,3	35,0	7
	M	6,8	1,54	24,9	38,3	8
	A	8,0	1,55	26,8	41,5	9
	M	8,1	2,17	25,7	39,8	10
	J	7,7	2,50	22,1	55,2	11
	J	(6,4)	1,92	14,7	—	×
	A	—	1,61	14,2	—	×
	S	—	1,38	16,3	—	×
	O	(6,9)	1,11	21,0	—	×
	N	(7,2)	1,13	19,0	—	×
	D	(5,9)	1,31	15,9	—	×
1975	J	6,0	1,50	17,1	25,6	12
	F	6,3	1,19	20,5	24,4	13
	M	7,1	1,43	24,3	34,7	14
	A	8,3	1,81	27,0	48,9	15
	M	7,6	2,23	22,4	50,0	16
	J	7,3	2,33	20,0	46,6	17
	J	(6,6)	1,69	15,2	—	×
	A	—	1,57	14,9	—	×
	S	—	1,24	15,6	—	×
	O	(6,5)	1,02	20,4	—	×
	N	6,2	0,95	20,5	19,5	18
	D	5,9	1,24	18,6	23,1	19
1976	J	5,7	1,33	17,9	23,8	20
	F	6,4	1,37	19,6	26,9	21
	M	7,8	1,55	(20,5)	—	×
	A	7,3	1,75	23,9	41,8	22
	M	(6,8)	—	20,2	—	×
	J	(8,0)	—	18,3	—	×
	J	(6,8)	—	15,8	—	×
	A	(4,5)	—	15,8	—	×
	S	(5,0)	—	17,1	—	×
	O	(6,3)	—	17,0	—	×
	N	6,5	—	23,7	—	×
	D	5,8	—	20,1	—	×

— Le mauvais fonctionnement du psychromètre de Saint-Paul en mars 1976 nous a fait également abandonner ce mois.

Dans ces conditions seuls restent utilisables 22 triplets de valeurs moyennes mensuelles de ELAC, ΔE ABRI, U2 ABRI.

ELAC a donc été corrélé avec ΔE ABRI et U2 ABRI séparément, ou leur produit ΔE ABRI \times U2 ABRI.

Selon la formule de la corrélation retenue, le coefficient de corrélation est plus ou moins bon, ce qui nous a permis un classement.

$$\begin{aligned} (1a) \text{ ELAC} &= 1,47 + 0,170 \cdot \Delta E \text{ ABRI} + 1,01 \cdot \text{U2 ABRI} & r &= 0,95 \\ (1b) \text{ ELAC} &= 1,22 \cdot \Delta E \text{ ABRI}^{0,520} \cdot \text{U2 ABRI}^{0,244} & r &= 0,94 \\ (1c) \text{ ELAC} &= 2,72 + \Delta E \text{ ABRI} (0,115 + 0,045 \cdot \text{U2 ABRI}) & r &= 0,93 \\ (1d) \text{ ELAC} &= 2,08 \cdot (\Delta E \text{ ABRI} \cdot \text{U2 ABRI})^{0,336} & r &= 0,88 \\ (1e) \text{ ELAC} &= 0,067 \cdot \Delta E \text{ ABRI} \cdot \text{U2 ABRI} + 4,47 & r &= 0,87 \end{aligned}$$

De toutes ces formulations (1b) est la plus satisfaisante physiquement, puisqu'elle est la seule pour laquelle $\text{ELAC} = 0$ si $\Delta E \text{ ABRI} = 0$. Cet avantage théorique n'est en fait pas déterminant pour le domaine de détermination de ces équations entre valeurs moyennes mensuelles. ΔE ABRI ne saurait en effet avoir une valeur moyenne mensuelle nulle.

(1a) présente au contraire l'avantage de faire intervenir séparément ΔE ABRI et U2 ABRI, ce qui peut éventuellement permettre de modifier l'ajustement de l'une de ses variables sans toucher à celui de l'autre.

Il ne faut pas oublier dans tout cela les limites de l'ajustement :

$$\begin{aligned} 5,5 &< \text{ELAC} < 8,3 \text{ mm} \\ 17,1 &< \Delta E \text{ ABRI} < 27,0 \text{ mb} \\ 0,95 &< \text{U2 ABRI} < 2,50 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ni l'amplitude globale de ces mêmes grandeurs mensuelles en 73 \rightarrow 76 :

$$\begin{aligned} (4,5) &< \text{ELAC} < 8,3 \text{ mm} \\ 14,2 &< \Delta E \text{ ABRI} < 27,0 \text{ mb} \\ 0,95 &< \text{U2 ABRI} < 2,50 \text{ m/s} \end{aligned}$$

3.1.2. Corrélations entre moyennes décennales de ELAC, ΔE ABRI et U2 ABRI

Nous avons dans un second temps repris cette étude en utilisant les valeurs moyennes décennales et pentadaires de ces paramètres climatiques à Saint-Paul, obtenues pour les 215 journées dépouillées à l'évapotron.

Cette approche, qui s'appuie sur une quantité d'informations inférieure à la précédente, est cependant intéressante sur deux plans :

- Elle exploite les mêmes périodes d'observation que les corrélations entre ELAC et ΔE LAC et U2 ABRI que nous verrons ultérieurement, ce qui rendra possible des comparaisons et le passage de l'une à l'autre.
- Elle repose sur des valeurs décennales, ce qui nous permettra de voir l'évolution des corrélations ELAC avec ΔE ABRI, U2 ABRI, lorsque diminue la durée de la période sur laquelle s'effectuent les moyennes, accroissant la dispersion des paramètres, et modifiant donc les termes de la corrélation.

Parmi les 215 journées dépouillées, 195 correspondent à des journées pour lesquelles ELAC peut être évalué sur des pentades et des décades.

39 triplets de valeurs pentadaires et 22 valeurs décennales (certains se recouvrant de 5 jours en 5 jours) ont ainsi été obtenus à partir de cet échantillon, en fait également représentatif des 22 mois sélectionnés au paragraphe précédent, et sont regroupés dans le tableau 5 suivant.

Les mêmes types de corrélations ont été essayés :

$$\begin{aligned} (2a) \text{ ELAC} &= 0,75 + 0,172 \cdot \Delta E \text{ ABRI} + 1,51 \cdot \text{U2 ABRI} & r &= 0,93 \\ (2b) \text{ ELAC} &= 1,06 \cdot \Delta E \text{ ABRI}^{0,558} \cdot \text{U2 ABRI}^{0,333} & r &= 0,92 \\ (2c) \text{ ELAC} &= 2,85 + \Delta E \text{ ABRI} (0,079 + 0,066 \cdot \text{U2 ABRI}) & r &= 0,91 \\ (2d) \text{ ELAC} &= 1,67 \cdot (\Delta E \text{ ABRI} \cdot \text{U2 ABRI})^{0,404} & r &= 0,91 \\ (2e) \text{ ELAC} &= 0,083 \cdot \Delta E \text{ ABRI} \cdot \text{U2 ABRI} + 3,99 & r &= 0,91 \end{aligned}$$

TABLEAU 5

	ELAC	ΔE ABRI	U2 ABRI	U2 \times ΔE	
16/25-02-73	7,35	20,2	2,08	42,0	1
1/10-03-73	8,1	20,2	2,37	47,9	2
6/15-03-73	6,6	23,1	1,71	39,5	3
21/30-04-73	7,6	24,9	1,91	47,6	4
1/10-12-73	6,2	20,3	1,10	22,3	5
11/20-12-73	5,8	18,9	1,18	22,3	6
16/25-12-73	5,0	18,6	0,97	18,0	7
21/30-12-73	5,1	19,3	1,00	19,3	8
1/10-01-74	6,9	20,2	1,40	28,3	9
21/30-01-74	6,3	18,4	1,42	26,1	10
11/20-02-74	7,0	23,1	1,67	38,6	11
21/30-03-74	6,85	26,3	1,69	44,4	12
21/30-04-74	8,2	28,1	1,62	45,5	13
1/10-05-74	8,7	27,6	1,78	49,1	14
1/10-03-75	7,45	22,9	1,53	35,0	15
6/15-04-75	8,8	27,7	2,08	57,6	16
1/10-11-75	6,5	22,0	0,97	21,3	17
6/15-11-75	6,25	21,4	0,92	19,7	18
1/10-12-75	5,85	20,7	1,19	24,6	19
10/20-12-75	6,2	17,4	1,46	25,4	20
16/25-12-75	5,5	17,8	1,16	20,6	21
27-12-75/5-1-76	4,95	16,9	1,12	18,9	22

Les corrélations ainsi obtenues sont sensiblement différentes des précédentes. Il faut y voir bien sûr la conséquence d'un échantillon réduit au 1/3 environ du précédent, mais surtout aussi de ce qu'il s'agit cette fois de moyennes décennales, et non plus mensuelles, nécessairement « amorties » ; d'où l'évolution des coefficients et des exposants de ces corrélations.

Les limites de l'ajustement sont aussi plus étendues :

$$\begin{aligned} 4,95 &< \text{ELAC} < 8,8 \text{ mm} \\ 16,9 &< \Delta E \text{ ABRI} < 28,1 \text{ mb} \\ 0,92 &< \text{U2 ABRI} < 2,37 \text{ m/s} \end{aligned}$$

3.2. CALCUL DE L'ÉVAPORATION A PARTIR DES OBSERVATIONS A L'ÉVAPOTRON

3.2.1. Corrélations directes entre ELAC, ΔE LAC et U2 ABRI

Nous venons de voir que 215 journées d'observation à l'évapotron avaient été dépouillées, fournissant les ΔE LAC moyennes journalières, ainsi que les moyennes décennales des 22 décades retenues.

Les corrélations qui suivent sont donc établies pour des valeurs décennales.

Des corrélations analogues ont permis des ajustements meilleurs que dans le cas précédent à partir de ΔE ABRI.

$$(3a) \text{ ELAC} = -0,02 + 0,230 \cdot \Delta E \text{ LAC} + 1,74 \cdot \text{U2 ABRI} \quad r = 0,97$$

$$(3b) \text{ ELAC} = 0,89 \cdot \Delta E \text{ LAC}^{0,651} \cdot \text{U2 ABRI}^{0,372} \quad r = 0,97$$

$$(3c) \text{ ELAC} = 2,56 + \Delta E \text{ LAC} (0,085 + 0,096 \text{ U2 ABRI}) \quad r = 0,97$$

$$(3d) \text{ ELAC} = 1,55 (\Delta E \text{ LAC} \cdot \text{U2 ABRI})^{0,450}$$

$$(3e) \text{ ELAC} = 0,114 \cdot \Delta E \text{ LAC} \cdot \text{U2 ABRI} + 3,64 \quad r = 0,95$$

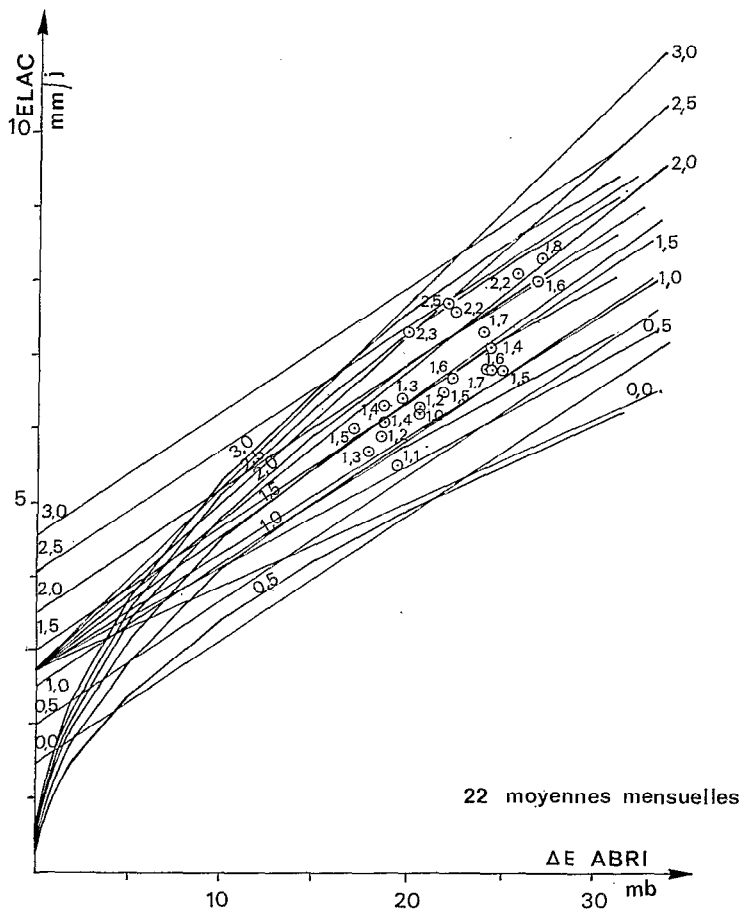
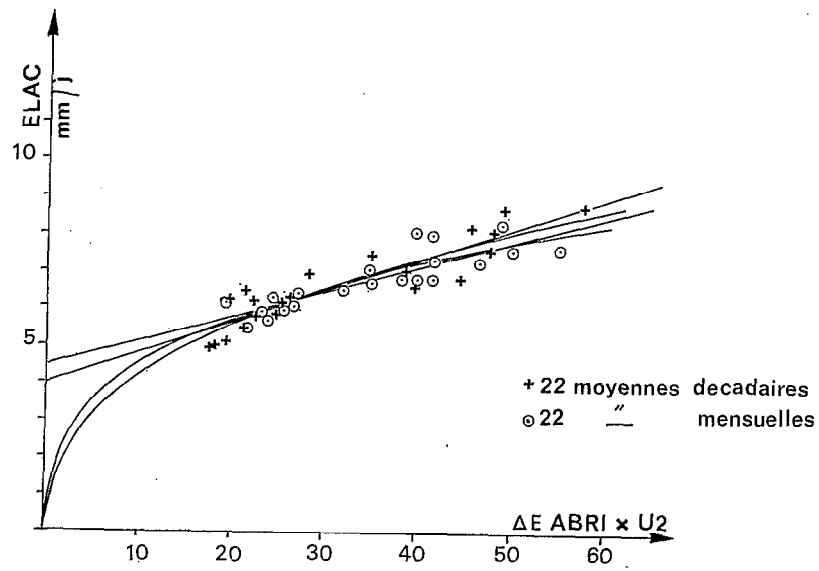


Fig. 5

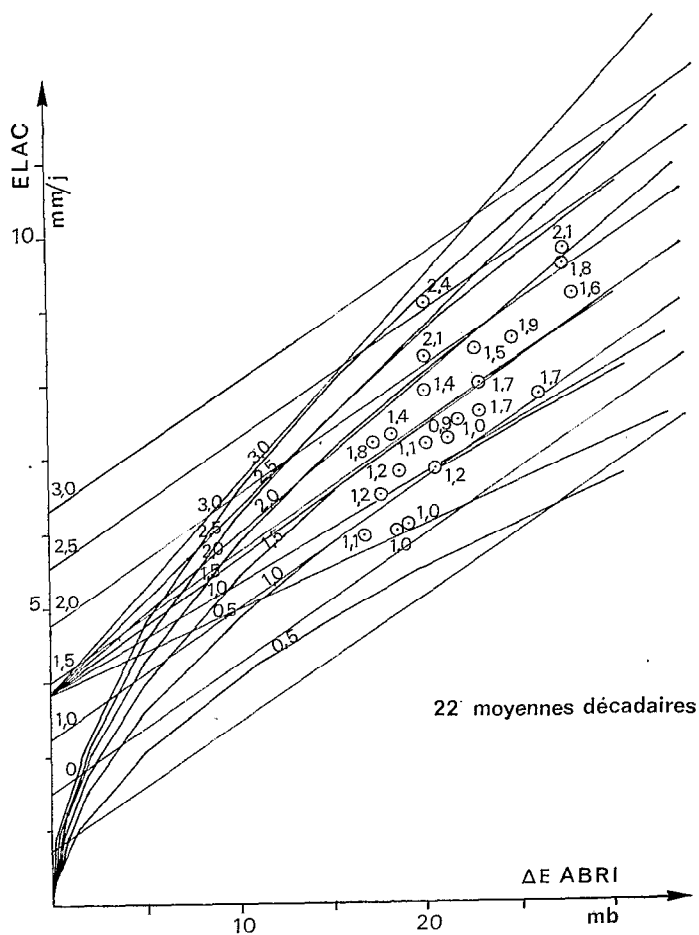


Fig. 6

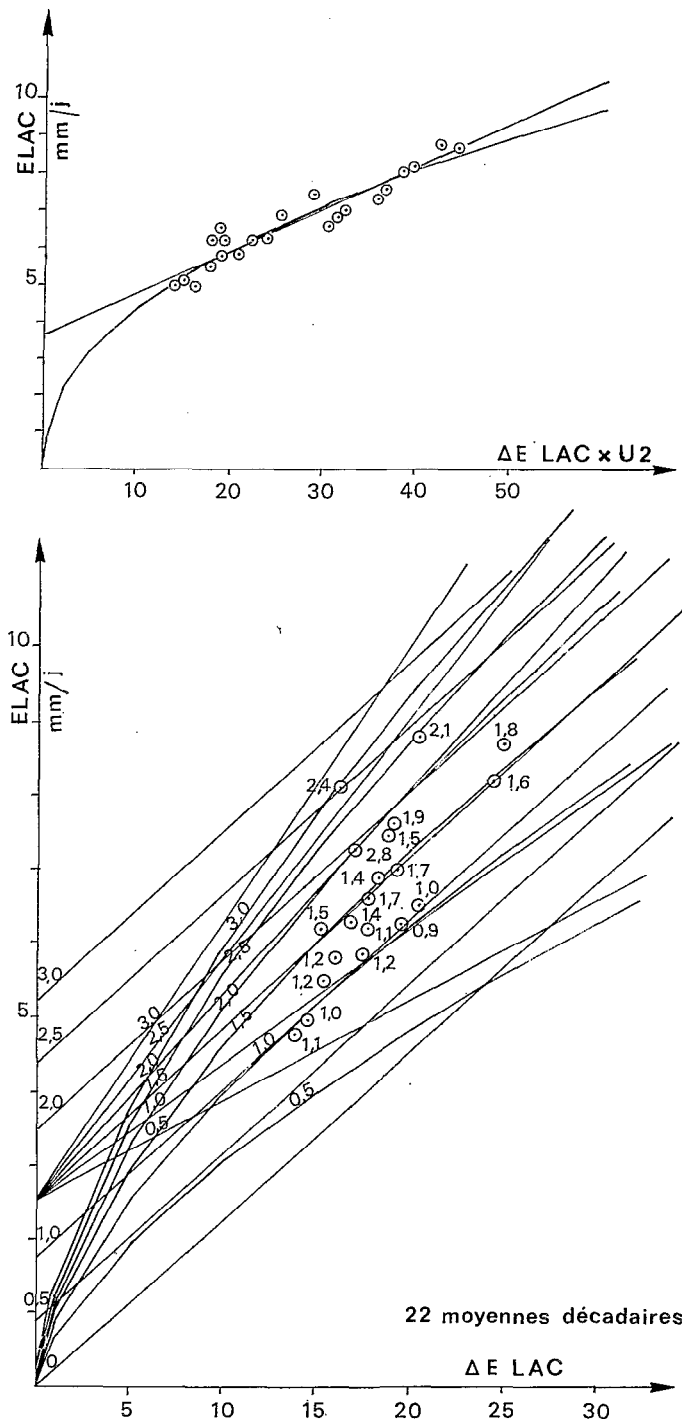


Fig. 7

TABLEAU 6

	ELAC	ΔE ABRI	U2 ABRI	U2 \times ΔE
16/25-02-73	7,35	2,08	17,2	35,8
1/10-03-73	8,1	2,37	16,2	38,4
6/15-03-73	6,6	1,71	17,8	30,4
21/30-04-73	7,6	1,91	19,1	36,5
1/10-12-73	6,2	1,10	17,7	19,5
11/20-12-73	5,8	1,18	16,0	18,9
16/25-12-73	5,0	0,97	14,5	14,1
21/30-12-73	5,1	1,00	14,9	14,9
1/10-01-74	6,9	1,40	18,2	25,5
21/30-01-74	6,3	1,42	16,8	23,9
11/20-02-74	7,0	1,67	19,2	32,1
21/30-03-74	6,85	1,69	18,6	31,4
21/30-04-74	8,2	1,62	24,4	39,5
1/10-05-74	8,7	1,78	24,9	44,3
1/10-03-75	7,45	1,53	18,8	28,8
6/15-04-75	8,8	2,08	20,4	42,4
1/10-11-75	6,5	0,97	20,4	19,8
6/15-11-75	6,25	0,92	19,5	17,9
1/10-12-75	5,85	1,19	17,5	20,8
11/20-12-75	6,2	1,46	15,2	22,2
16/25-12-75	5,5	1,16	15,4	17,9
27-12-75/5-1-76	4,95	1,12	14,5	16,2

Ces relations seront utilisées par la suite, lorsque l'on voudra, dans le bilan énergétique du lac à l'échelle journalière ou horaire, déterminer la part de l'évaporation, à partir des paramètres climatiques enregistrés à l'évapotron (E2 LAC et TLAC), le vent restant toujours celui mesuré et enregistré à Saint-Paul, U2 ABRI.

3.2.2. Corrélations entre E2 LAC, TLAC, ΔE LAC et E2 ABRI, TCOL, ΔE ABRI

Deux démarches sont possibles pour lier les paramètres climatiques de l'air surplombant le lac à ceux de l'air baignant l'abri de Saint-Paul.

La première consiste à établir des corrélations entre E2 LAC et E2 ABRI, puis entre TLAC et TCOL, calculer les ΔE LAC et ΔE ABRI correspondants, ce qui permettrait de passer de l'un à l'autre.

La seconde est de tenter une corrélation directe entre ΔE LAC et ΔE ABRI.

Corrélation E2 LAC - E2 ABRI

Cette étude a été faite avec 8 couples seulement de valeurs moyennes pentadaires obtenues pour des décades représentatives.

La droite de corrélation qui en est issue est bonne pour l'éventail des valeurs prospectées.

$$(4) \quad E2 \text{ LAC} = 0,75 \cdot E2 \text{ ABRI} + 5,39 \quad r = 0,96$$

La corrélation établie avec la totalité des 40 valeurs moyennes journalières est moins bonne.

$$E2 \text{ LAC} = 0,73 \cdot E2 \text{ ABRI} + 5,64 \quad r = 0,89$$

et nous lui avons préféré celle établie avec les 8 valeurs pentadaires.

	E2 LAC	E2 ABRI
1/05-05-74	12,1	9,1
6/10-05-74	18,3	17,7
1/05-11-75	15,1	11,6
6/10-11-75	14,4	12,2
1/05-12-75	13,2	9,4
6/10-12-75	11,6	9,3
27/31-12-75	11,2	8,5
1/05-01-76	15,0	12,2

Corrélation TLAC-TCOL

Nous avons déjà vu que l'on pouvait considérer les mesures de la température de surface du lac faites à l'évaporation comme représentatives de la température superficielle de l'ensemble du lac, car ne s'écartant pas de façon significative de la moyenne des températures observées 3 fois par jour en 3 points du lac à partir d'une pirogue. Les moyennes pondérées de ces 3 observations journalières donnent les valeurs de TLAC. TCOL a déjà été déterminé.

Pour ces deux paramètres, nous disposons des observations complètes de l'année 1975, dépouillées en totalité, décade par décade, soit 12 couples de valeurs mensuelles, ou 36 couples de valeurs décadales.

	TLAC	TCOL
Janvier	21,0	20,3
Février	24,7	23,3
Mars	26,9	26,8
Avril	30,1	29,6
Mai	30,0	30,5
Juin	29,3	30,2
Juillet	28,3	39,2
Août	29,1	29,8
Septembre	29,5	30,2
Octobre	30,1	30,0
Novembre	26,3	25,9
Décembre	23,6	23,1

L'examen de ces couples montre que ces valeurs s'organisent selon deux droites de régression distinctes, pour les mois de saison sèche (octobre à avril) et les mois d'hivernage (mai à septembre).

$$(5a) \text{ TLAC} = 0,93 \cdot \text{TCOL} + 2,44 \quad r = 0,99 \text{ valable d'octobre à avril}$$

$$(5b) \text{ TLAC} = 1,21 \cdot \text{TCOL} - 7,16 \quad r = 0,98 \text{ valable de mai à septembre}$$

Nous avons écarté la corrélation unique, valable pour les 12 mois, qui est moins bonne :

$$(5c) \text{ TLAC} = 0,84 \cdot \text{TCOL} + 4,48 \quad r = 0,98$$

Corrélation ΔE LAC - ΔE ABRI

Une première corrélation portant sur les mêmes 4 décades représentatives avait permis de dégager l'existence d'une liaison très satisfaisante entre ΔE LAC et ΔE ABRI :

	ΔE LAC	ΔE ABRI
1/05-05-74	27,5	31,0
6/10-05-74	22,4	24,3
1/05-11-75	20,6	18,8
6/10-11-75	20,2	21,1
1/05-12-75	17,6	21,9
6/10-12-75	17,4	19,5
27/31-12-75	16,1	17,3
1/05-01-76	12,9	16,5

(6) $\Delta E \text{ LAC} = 0,93 \cdot \Delta E \text{ ABRI} - 1,02 \quad r = 0,96$

Des calculs de $\Delta E \text{ LAC}$, par les diverses formules précédemment établies, avaient alors permis de vérifier que l'on obtenait de meilleurs résultats à partir de la corrélation directe $\Delta E \text{ LAC} \rightarrow \Delta E \text{ ABRI}$ plutôt qu'en calculant indirectement $E2 \text{ LAC} \rightarrow E2 \text{ ABRI}$ et $TLAC \rightarrow TCOL$.

Nous avons donc repris la corrélation directe $\Delta E \text{ LAC} \rightarrow \Delta E \text{ ABRI}$ après l'avoir étendue aux 215 journées dépouillées, et en introduisant le vent $U2 \text{ ABRI}$ comme variable corrective.

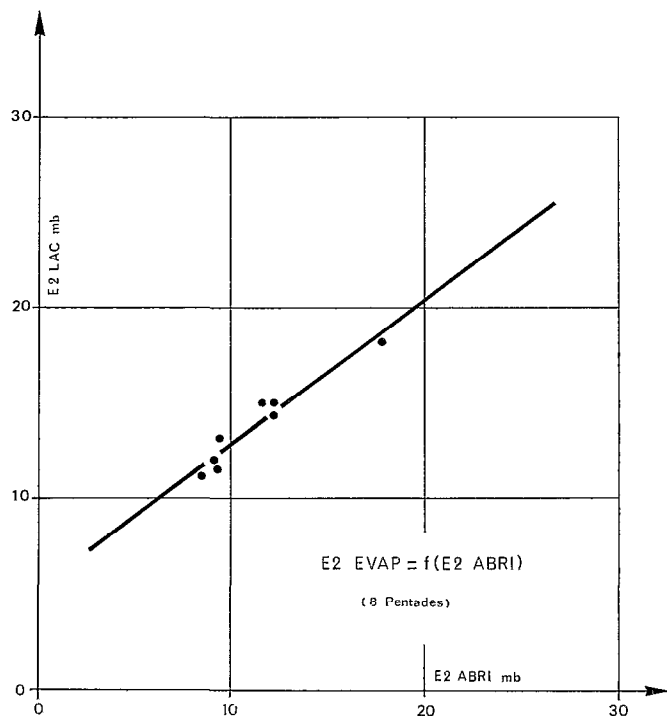


Fig. 8. — Corrélation E2 LAC - E2 ABRI

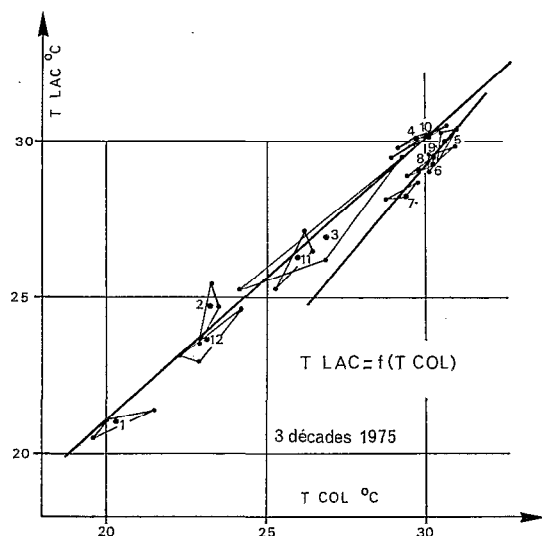


Fig. 9. — Corrélation TLAC-TCOL

3.2.3. Corrélations directes entre $\Delta E \text{ LAC}$, $\Delta E \text{ ABRI}$ et $U2 \text{ ABRI}$

Nous avons regroupé dans un même tableau global les moyennes pentadaires et décadaires des différents paramètres pour les 215 journées dépouillées (cf. tableau).

A partir des 22 couples de valeurs décadaires, nous avons pu faire les ajustements suivants :

Entre valeurs de $\Delta E \text{ LAC}$ et $\Delta E \text{ ABRI}$:

(7a) $\Delta E \text{ LAC} = 0,722 \Delta E \text{ ABRI} + 2,40 \quad r = 0,89$

(7b) $\Delta E \text{ LAC} = 1,36 \cdot \Delta E \text{ ABRI}^{0,842} \quad r = 0,88$

Entre valeurs de $\Delta E \text{ LAC}$ et $\Delta E \text{ ABRI} + U2 \text{ ABRI}$:

(7c) $\Delta E \text{ LAC} = 1,13 \cdot \Delta E \text{ ABRI}^{0,91} \cdot U2 \text{ ABRI}^{-0,07} \quad r = 0,89$

(7d) $\Delta E \text{ LAC} = 2,95 + 0,775 \Delta E \text{ ABRI} - 1,134 U2 \text{ ABRI} \quad r = 0,88$

Les corrélations précédentes ne sont donc guère améliorées par l'introduction de $U2 \text{ ABRI}$ en paramètre correctif.

TABLEAU 7

	ELAC		ΔE LAC		ΔE ABRI		U2 ABRI		ΔE LAC \times U2		ΔE ABRI \times U2	
	5 j	10 j	5 j	10 j	5 j	10 j	5 j	10 j	5 j	10 j	5 j	10 j
16/20-02-73	6,0	\times 7,35	16,8	17,2	19,5	20,2	1,54	2,08	25,9	35,8	30,0	42,0
21/25-02-73	8,7		17,7		20,9		2,63		46,6		54,9	
1/ 5-03-73	8,7	\times 8,1	16,4	16,2	20,4	20,2	2,55	2,37	41,8	38,4	52,0	47,9
6/10-03-73	7,5		16,1		20,0		2,20		35,4		44,0	
11/15-03-73	5,7	\times 6,6	19,6	17,8	26,2	23,1	1,22	1,71	23,9	30,4	31,9	39,5
21/25-04-73	7,2	\times 7,6	21,7	19,1	26,6	24,9	1,46	1,91	31,7	36,5	38,8	47,6
26/30-04-73	8,0		16,6		23,3		2,35		39,0		54,8	
21/25-08-73	—	—	11,9	12,2	17,8	17,2	1,29	1,48	15,4	18,1	22,9	25,5
26/30-08-73	—	—	12,5	12,2	16,6	17,2	1,67	1,48	20,9	18,1	27,7	25,5
1/ 5-12-73	5,8	\times 6,2	18,2	17,7	20,1	20,3	0,92	1,10	16,7	19,5	18,4	22,3
6/10-12-73	6,6		17,1		20,6		1,29		22,1		26,6	
11/15-12-73	6,4	\times 6,5	16,3	16,7	19,0	19,8	1,43	1,36	23,3	22,7	27,1	26,9
16/20-12-73	5,2	\times 5,8	16,3	16,0	19,0	18,9	1,43	1,18	23,3	18,9	27,1	22,3
21/25-12-73	5,2	\times 5,0	15,7	14,5	18,9	18,6	0,96	0,97	15,1	14,1	18,1	18,0
26/30-12-73	4,8	\times 5,1	13,4	14,9	18,2	19,3	0,98	1,00	13,1	14,1	17,8	19,3
1/ 5-01-74	6,4	\times 6,9	19,4	18,2	21,3	20,2	0,93	1,40	18,0	25,5	19,8	28,3
6/10-01-74	7,4		17,0		19,2		1,87		31,8		35,9	
21/25-01-74	6,7	\times 6,3	16,3	16,8	17,9	18,4	1,65	1,42	26,9	23,9	29,5	26,1
26/30-01-74	5,9		17,3		18,8		1,18		20,4		22,2	
11/15-02-74	7,0	\times 7,0	18,6	19,2	22,2	23,1	1,59	1,67	29,6	32,1	35,3	38,6
16/20-02-74	7,0		19,8		24,0		1,76		34,8		42,2	
21/25-03-74	7,4	\times 6,85	18,2	18,6	25,7	26,3	1,59	1,69	28,9	31,4	40,9	44,4
26/30-03-74	6,3		19,0		27,0		1,79		34,0		48,3	
21/25-04-74	8,0	\times 8,2	26,6	24,4	30,0	28,1	1,35	1,62	35,9	39,5	40,5	45,5
26/30-04-74	8,4		22,3		26,3		1,89		42,1		49,7	
1/ 5-05-74	9,3	\times 8,7	27,5	24,9	31,0	27,6	1,50	1,78	41,2	44,3	46,5	49,1
6/10-05-74	8,1		22,4		24,3		2,07		46,4		50,3	
1/ 5-03-75	7,9	\times 7,45	18,4	18,8	22,0	22,9	1,60	1,53	29,4	28,8	35,2	35,0
6/10-03-75	7,0		19,2		23,8		1,46		28,0		34,7	
6/10-04-75	8,2	\times 8,8	18,7	20,4	26,1	27,7	1,93	2,08	36,1	42,4	50,4	57,6
11/15-04-75	9,4		22,2		29,3		2,24		49,7		65,6	
22/26-08-75	—	—	12,6	12,3	14,2	13,3	1,99	1,70	25,1	20,9	28,3	22,6
27/31-08-75	—	—	12,0	12,3	12,4	13,3	1,41	1,70	16,9	20,9	17,5	22,6
1/ 5-11-75	6,8	\times 6,5	20,6	20,4	22,8	22,0	1,01	0,97	20,8	19,8	23,0	21,3
6/10-11-75	6,2		20,2		21,1		0,92		18,6		19,4	
11/15-11-75	6,3	\times 6,25	18,8	19,5	21,7	21,4	0,93	0,92	17,5	17,9	20,2	19,7
1/ 5-12-75	5,8	\times 5,85	17,6	17,5	21,9	20,7	1,04	1,19	18,3	20,8	22,8	24,6
6/10-12-75	5,9		17,4		19,5		1,34		23,3		26,1	
11/15-12-75	6,3	\times 6,1	15,6	16,5	17,6	18,5	1,63	1,48	25,4	24,4	28,7	27,4
16/20-12-75	6,1	\times 6,2	14,8	15,2	17,2	17,4	1,29	1,46	19,1	22,2	22,2	25,4
21/25-12-75	4,9	\times 5,5	16,1	15,4	18,4	17,8	1,03	1,16	16,6	17,9	18,9	20,6
27/31-12-75	5,5	\times 4,95	16,1	14,5	17,3	16,9	1,21	1,12	19,5	16,2	20,9	18,9
1/ 5-01-76	4,4		12,9		16,5		1,03		13,3		17,0	

Par contre les corrélations entre les produits $\Delta E \text{ LAC} \times U2 \text{ ABRI}$ et $\Delta E \text{ ABRI} \times U2 \text{ ABRI}$ sont extrêmement satisfaisantes :

$$(7e) \Delta E \text{ LAC} \cdot U2 \text{ ABRI} = 0,745 \Delta E \text{ ABRI} \cdot U2 \text{ ABRI} + 2,68 \quad r = 0,97$$

$$(7f) \Delta E \text{ LAC} \cdot U2 \text{ ABRI} = 1,10 \cdot (\Delta E \text{ ABRI} \cdot U2 \text{ ABRI})^{0,919} \quad r = 0,98$$

d'où l'on extrait :

$$(7g) \Delta E \text{ LAC} = 0,745 \cdot \Delta E \text{ ABRI} + \frac{2,68}{U2 \text{ ABRI}}$$

$$(7h) \Delta E \text{ LAC} = 1,10 \cdot \Delta E \text{ ABRI}^{0,919} \cdot U2 \text{ ABRI}^{-0,081}$$

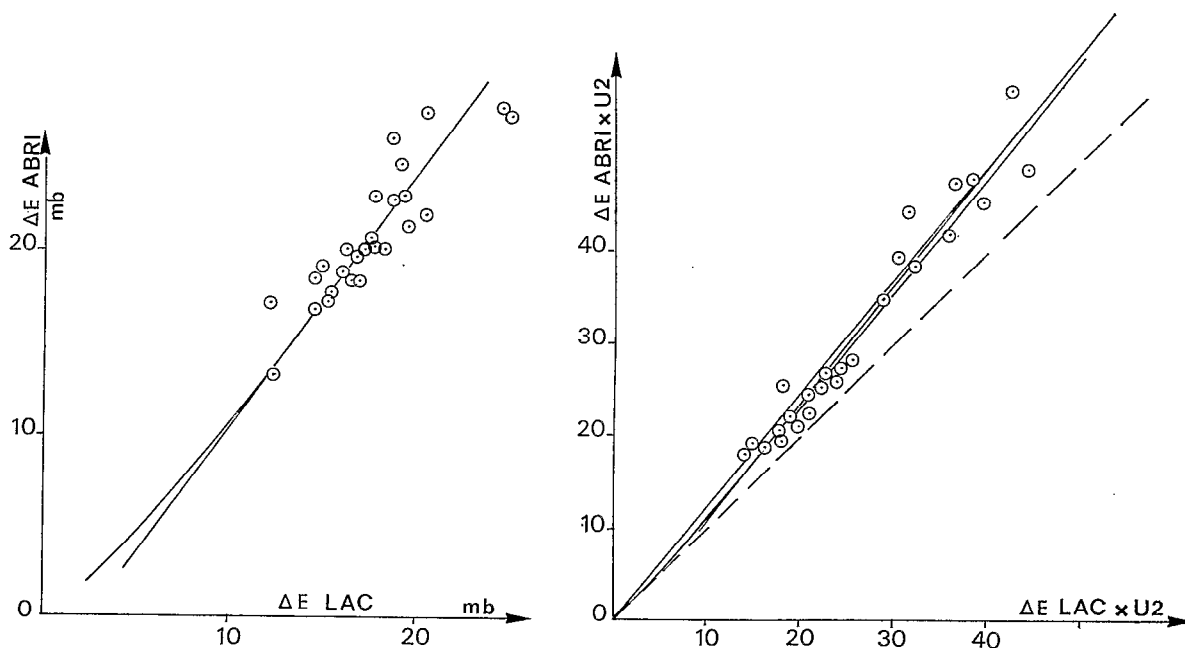


Fig. 10

3.2.4. Corrélations indirectes entre ELAC et $\Delta E \text{ ABRI}$, $U2 \text{ ABRI}$

Ces formules (3a) à (3e) peuvent être transformées par les relations (7a) à 7(h)

$$(3a) \text{ par } (7d) \rightarrow (8a) \quad ELAC = 0,65 + 0,18 \cdot \Delta E \text{ ABRI} + 1,48 \cdot U2 \text{ ABRI}$$

$$(3b) \text{ par } (7e) \rightarrow (8b) \quad ELAC = 0,96 \cdot \Delta E \text{ ABRI}^{0,59} \cdot U2 \text{ ABRI}^{0,32}$$

$$(3b) \text{ par } (7f) \rightarrow (8b') \quad ELAC = 0,95 \cdot \Delta E \text{ ABRI}^{0,60} \cdot U2 \text{ ABRI}^{0,32}$$

$$(3d) \text{ par } (7f) \rightarrow (8d) \quad ELAC = 1,61 \cdot (\Delta E \text{ ABRI} \cdot U2 \text{ ABRI})^{0,41}$$

$$(3e) \text{ par } (7e) \rightarrow (8e) \quad ELAC = 0,085 \cdot \Delta E \text{ ABRI} \cdot U2 \text{ ABRI} + 3,95$$

Les formules obtenues (8a) à (8e) sont très semblables à celles obtenues directement (2a) à (2e), ce qui prouve la compatibilité des ajustements entre moyennes décennales de ELAC, $\Delta E \text{ LAC}$, $U2 \text{ ABRI}$ d'une part, et ELAC, $\Delta E \text{ ABRI}$, $U2 \text{ ABRI}$ d'autre part.

Les diverses formules obtenues seront ultérieurement testées en comparant pour les 4 années d'observation les valeurs ELAC calculées à partir des paramètres climatiques $\Delta E \text{ ABRI}$ et $U2 \text{ ABRI}$ avec les estimations des ELAC correspondants par bilans hydrologiques, pour les mois où cela était possible.

3.2.5. Estimation de ΔE ABRI à partir de TABRI, TCOL étant inconnu

Toutes les stations météorologiques n'étant pas équipées d'un bac Colorado, il peut être intéressant de connaître les corrélations entre la température moyenne sous abri et la température superficielle moyenne d'un Colorado sous sol nu.

Nous disposons de 4 années d'observations, soit 48 couples de valeurs moyennes mensuelles ou 12 couples de valeurs moyennes mensuelles interannuelles. Les valeurs mensuelles figurent dans des tableaux précédents, et nous regroupons ci-dessous les valeurs interannuelles concernées.

	TABRI	TCOL
Janvier	22,3	21,4
Février	25,6	23,6
Mars	29,7	26,8
Avril	32,5	28,8
Mai	32,4	30,4
Juin	30,7	30,2
Juillet	27,6	29,4
Août	26,8	29,6
Septembre	27,3	30,0
Octobre	28,9	29,9
Novembre	25,7	25,8
Décembre	23,2	22,5

Ces doublets s'organisent selon trois droites de régression (fig. 11), selon la période de l'année considérée :

Janvier à avril

$$TCOL = 0,711 \cdot TABRI + 5,42 \quad r = 0,99$$

Mai à octobre

$$TCOL = 0,141 \cdot TABRI + 25,84 \quad r = 0,84$$

Octobre à janvier

$$TCOL = 1,312 \cdot TABRI - 7,90 \quad r = 0,99$$

Ces corrélations, dans l'ensemble très satisfaisantes à l'exception de celle plus lâche de la période d'hivernage, permettent donc d'estimer TCOL si l'on connaît TABRI, et donc de déterminer ΔE ABRI à partir des seules observations sous abri, tout au moins dans le cas de conditions climatiques comparables à celles de la station Saint-Paul.

3.3. COMPARAISONS ENTRE LES ÉVAPORATIONS CALCULÉES ET LEUR ESTIMATION DIRECTE

3.3.1. Application des formules établies aux valeurs mensuelles et annuelles 73-74-75-76

Afin de tester dans la réalité la qualité des corrélations obtenues, nous les avons utilisées pour calculer les valeurs mensuelles des évaporations durant les quatre années d'observation à Saint-Paul (73-74-75-76), à partir des valeurs mensuelles de ΔE ABRI et U2 ABRI.

Ce test est donc fait dans l'ordre pour les 10 équations (1a) à (1e) et (2a) à (2e).

Nous n'avons pas jugé utile de tester les 5 équations (8a) à (8e), fort peu différentes des équations (2a) à (2e).

L'ensemble de ces résultats est regroupé dans le tableau 9. Les mêmes calculs ont été effectués avec les valeurs moyennes annuelles de ΔE ABRI et U2 ABRI, et leurs résultats figurent sous les moyennes annuelles des 12 valeurs mensuelles de l'évaporation, dont ils ne diffèrent pas sensiblement.

Nous avons alors calculé une régression linéaire entre chacune des valeurs calculées par (1a) ... (1e), (2a) ... (2e) et les valeurs correspondantes de l'évaporation mesurée, si elle était connue avec assez de précision. Ce qui donne 10 ajustements de 10×22 couples de valeurs, dont nous avons regroupé les résultats ci-dessous, concernant la régression :

$$Y = m \cdot X + b_0 \quad \text{avec} \quad Y = \text{ELAC CALCULÉE} \quad X = \text{ELAC MESURÉE}$$

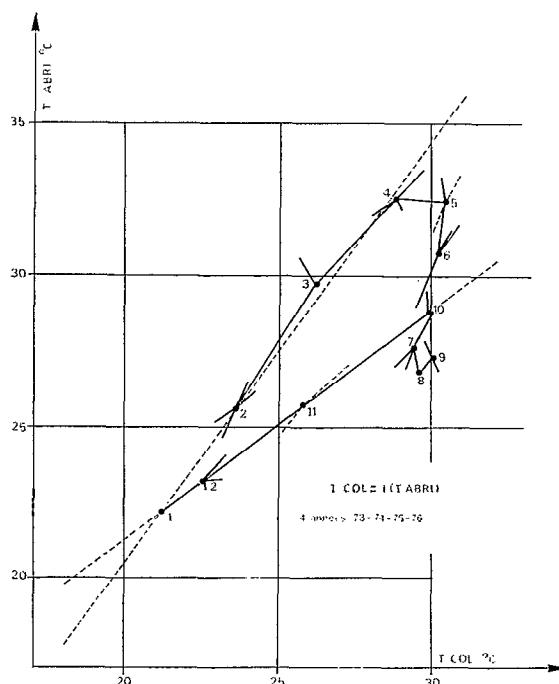


Fig. 11

TABLEAU 8

		Equations sur moyennes mensuelles					Equations sur moyennes décadaires				
		(1a)	(1b)	(1c)	(1d)	(1e)	(2a)	(2b)	(2c)	(2d)	(2e)
Ordonnée à l'origine	b_0	1,223	1,339	1,041	1,510	1,439	0,130	0,258	0,115	0,458	0,246
Pente	m	0,815	0,794	0,844	0,775	0,789	0,993	0,971	0,993	0,950	0,976
Coefficient de corrélation	r	0,888	0,886	0,885	0,866	0,861	0,884	0,887	0,886	0,865	0,861
Moyenne des Y : \bar{Y}		6,790	6,764	6,807	6,810	6,829	6,913	6,896	6,910	6,950	6,919
Moyenne des X : \bar{X}		6,835	6,835	6,835	6,835	6,835	6,835	6,835	6,835	6,835	6,835
\bar{X} / \bar{Y}		1,007	1,010	1,004	1,004	1,001	0,989	0,991	0,989	0,983	0,988

L'examen des coefficients de corrélation obtenus permet dans tous les cas de constater que les équations les plus simples (1d) (1e) (2d) et (2e), du type $a \cdot \Delta E \cdot U2 + b$ et $a(\Delta E \cdot U2)^b$ sont les moins satisfaisantes, qu'il s'agisse de celles établies à partir de valeurs mensuelles (1) ou de valeurs décadaires (2).

Le classement entre les 3 premiers types d'équation n'est pas net, puisqu'il varie d'un ajustement à l'autre, de façon d'ailleurs peu sensible puisque r varie de 0,884 à 0,888.

Mais l'examen du seul coefficient de corrélation n'est pas suffisant, puisque notre but n'est pas seulement d'avoir des évaporations mensuelles calculées étroitement corrélées aux évaporations mensuelles réellement observées, mais aussi qu'elles soient, si possible, égales.

La pente de la droite de régression devrait donc être aussi proche de 1 que possible, et à ce titre on doit constater que les équations issues de l'ajustement entre moyennes décadaires sont plus satisfaisantes, puisque leurs

pentés sont comprises entre 0,971 et 0,993, alors que celles concernant les équations obtenues à partir des valeurs moyennes mensuelles ont des pentés comprises entre 0,794 et 0,844.

Nous serions donc tentés de préférer les équations (2a) (2b) et (2c) quoiqu'elles surestiment légèrement (environ 1%) l'évaporation, si l'on examine les valeurs du rapport \bar{X}/\bar{Y} .

Il est bien difficile maintenant de recommander une équation plutôt qu'une autre et de choisir entre les formes (a) ou (c). En fait le choix peut être guidé par la liaison souhaitée entre ΔE ABRI et U2 ABRI, dans le cas d'extrapolation de ces formules à des environnements où l'importance respective de U2 et de ΔE varierait. La forme (a) : $a + b \cdot U2 + c \cdot \Delta E$ peut être alors intéressante dans la mesure où l'influence de U2 et ΔE est nettement individualisée.

TABLEAU 9
ELAC CALCULÉE

1973													
ELAC MES	ΔE ABRI	U2 ABRI	(1a)	(1b)	(1c)	(1d)	(1e)	(2a)	(2b)	(2c)	(2d)	(2e)	
6,1	18,6	1,43	6,08	6,10	6,05	6,26	6,25	6,11	6,12	6,08	6,27	6,20	
6,5	21,8	1,47	6,66	6,67	6,67	6,66	6,61	6,72	6,75	6,69	6,77	6,65	
6,8	24,3	1,64	7,26	7,24	7,30	7,17	7,14	7,41	7,43	7,40	7,39	7,30	
6,8	24,1	1,72	7,31	7,30	7,35	7,27	7,24	7,49	7,52	7,49	7,51	7,43	
(8,1)	23,2	2,17	7,61	7,57	7,65	7,76	7,84	8,02	7,95	8,01	8,12	8,12	
(7,3)	19,7	2,36	7,21	7,10	7,07	7,55	7,58	7,70	7,46	7,48	7,86	7,85	
(7,4)	17,5	2,12	6,59	6,50	6,40	7,00	6,95	6,96	6,74	6,69	7,18	7,07	
(—)	15,8	1,51	5,68	5,68	5,61	6,04	6,07	5,75	5,69	5,68	6,00	5,97	
(—)	15,7	1,46	5,61	5,61	5,55	5,96	6,00	5,66	5,60	5,61	5,91	5,89	
(7,2)	24,4	1,12	6,74	6,61	6,75	6,32	6,30	6,64	6,56	6,59	6,34	6,26	
(7,5)	22,7	1,36	6,70	6,68	6,72	6,58	6,54	6,71	6,72	6,88	6,66	6,56	
5,5	19,4	1,09	5,87	5,83	5,90	5,80	5,88	5,73	5,72	5,78	5,72	5,75	
(6,58)	20,6	1,62	*6,61 → 6,61	6,57 6,63	6,59 6,59	6,69 6,76	6,70 6,70	6,74 6,74	6,69 6,75	6,68 6,68	6,81 6,88	6,76 6,76	
1974													
6,3	18,7	1,43	6,09	6,11	6,07	6,27	6,26	6,13	6,14	6,10	6,29	6,21	
6,7	22,3	1,57	6,85	6,85	6,86	6,87	6,81	6,96	6,98	6,93	7,01	6,90	
6,8	24,9	1,54	7,26	7,23	7,31	7,08	7,04	7,36	7,38	7,35	7,27	7,18	
8,0	26,8	1,55	7,59	7,52	7,67	7,27	7,25	7,70	7,71	7,71	7,51	7,44	
8,1	25,7	2,17	8,03	7,99	8,18	8,03	8,20	8,45	8,42	8,57	8,46	8,62	
7,7	22,1	2,50	7,76	7,64	7,74	8,00	8,17	8,33	8,11	8,25	8,43	8,58	
(6,4)	14,7	1,92	5,91	5,80	5,68	6,39	5,36	6,18	5,92	5,88	6,43	6,34	
(—)	14,2	1,61	5,51	5,45	5,38	5,95	6,00	5,62	5,47	5,48	5,90	5,89	
(—)	16,3	1,38	5,64	5,64	5,60	5,92	5,97	5,64	5,62	5,63	5,86	5,86	
(6,9)	21,0	1,11	6,16	6,10	6,18	5,99	6,03	6,04	6,02	6,05	5,95	5,93	
(7,2)	19,0	1,13	5,84	5,82	5,87	5,83	5,91	5,73	5,72	5,77	5,75	5,77	
(5,9)	15,9	1,31	5,50	5,50	5,48	5,77	5,86	5,46	5,44	5,48	5,68	5,72	
(6,67)	20,1	1,60	*6,51 → 6,50	6,47 6,52	6,50 6,47	6,61 6,67	6,65 6,62	6,63 6,62	6,58 6,63	6,60 6,56	6,71 6,77	6,70 6,66	

TABLEAU 9 (suite)

1975

ELAC	MES	ΔE ABRI	U2 ABRI	(1a)	(1b)	(1c)	(1d)	(1e)	(2a)	(2b)	(2c)	(2d)	(2e)
6,0	17,1	1,50	5,89	5,90	5,84	6,18	6,19	5,96	5,93	5,90	6,18	6,12	
6,3	20,5	1,19	6,16	6,13	6,17	6,08	6,10	6,07	6,08	6,08	6,06	6,02	
7,1	24,3	1,43	7,05	7,01	7,07	6,85	6,80	7,09	7,10	7,07	6,99	6,88	
8,3	27,0	1,81	7,89	7,84	8,02	7,68	7,74	8,13	8,15	8,21	8,02	8,05	
(7,6)	22,4	2,23	7,53	7,48	7,54	7,74	7,81	7,97	7,87	7,92	8,09	8,14	
(7,3)	20,0	2,33	7,23	7,13	7,11	7,56	7,59	7,71	7,50	7,51	7,87	7,86	
(6,6)	15,2	1,69	5,76	5,72	5,62	6,19	6,19	5,92	5,78	5,75	6,19	6,13	
—	14,9	1,57	5,59	5,56	5,48	6,00	6,03	5,68	5,58	5,58	5,96	5,93	
—	15,6	1,24	5,37	5,37	5,38	5,63	5,76	5,31	5,29	5,36	5,52	5,60	
(6,5)	20,4	1,02	5,97	5,89	6,00	5,76	5,86	5,80	5,76	5,84	5,68	5,72	
6,2	20,5	0,95	5,91	5,80	5,95	5,64	5,77	5,71	5,64	5,76	5,53	5,61	
5,9	18,6	1,24	5,88	5,89	5,89	5,97	6,01	5,82	5,83	5,85	5,92	5,91	
(6,54)	19,7	1,52	*6,35 → 6,36	6,31 6,38	6,34 6,33	6,44 6,51	6,49 6,47	6,43 6,43	6,37 6,45	6,40 6,39	6,50 6,58	6,50 6,48	

1976

5,7	17,9	1,33	5,86	5,87	5,85	6,03	6,06	5,84	5,85	5,84	6,00	5,97
6,4	19,6	1,37	6,19	6,20	6,18	6,28	6,27	6,19	6,21	6,17	6,30	6,22
7,8	(20,5)	1,55	6,52	6,54	6,50	6,65	6,60	6,62	6,64	6,57	6,74	6,63
7,3	23,9	1,75	7,30	7,30	7,35	7,29	7,27	7,50	7,53	7,50	7,53	7,46
(6,8)	20,2	—	6,85	6,84	6,78	7,11	7,07	7,12	7,07	7,01	7,31	7,21
(8,0)	18,3	—	7,00	6,85	6,79	7,40	7,40	7,51	7,19	7,19	7,67	7,62
(6,8)	15,8	—	6,09	6,01	5,89	6,53	6,49	6,35	6,15	6,09	6,60	6,50
(4,5)	15,8	—	5,73	5,72	5,64	6,10	6,12	5,82	5,75	5,73	6,08	6,04
(5,0)	17,1	—	5,75	5,77	5,73	5,98	6,03	5,75	5,74	5,74	5,94	5,92
(6,3)	17,0	—	5,45	5,43	5,50	5,53	5,70	5,31	5,30	5,41	5,40	5,52
6,5	23,7	—	6,66	6,56	6,67	6,31	6,29	6,56	6,51	6,53	6,34	6,26
5,8	20,1	—	6,11	6,09	6,12	6,07	6,10	6,04	6,04	6,05	6,05	6,01
(6,41)	19,2	(1,58)	*6,29 → 6,33	6,27 6,35	6,25 6,29	6,44 6,54	6,45 6,50	6,38 6,44	6,33 6,44	6,32 6,37	6,50 6,62	6,45 6,51

* la ligne supérieure est la moyenne des valeurs mensuelles

la ligne inférieure est calculée à partir des ΔE ABRI et U2 ABRI moyens annuels.

3.3.2. Application aux valeurs interannuelles mensuelles

Nous avons précédemment caractérisé le climat régional à la station Saint-Paul par des moyennes mensuelles interannuelles de ΔE ABRI et U2 ABRI (73 → 76). Nous avons utilisé ces valeurs pour calculer ELAC à partir des équations (1a) → (1e), (2a) → (2e) que nous pourrions comparer aux moyennes interannuelles estimées de l'évaporation du lac, sur la période 1966 → 1976, sans doute mieux représentative que la seule période 73 → 76.

TABLEAU 10

	ELAC	MES	ΔE	ABRI	U2	ABRI	(1a)	(1b)	(1c)	(1d)	(1e)	(2a)	(2b)	(2c)	(2d)	(2e)
J	5,7	18,2	1,45	6,02	6,05	6,00	6,24	6,23	6,07	6,07	6,03	6,25	6,18			
F	6,3	21,1	1,41	6,48	6,49	6,48	6,50	6,46	6,51	6,53	6,48	6,56	6,46			
M	7,0	23,4	1,54	7,00	7,00	7,03	6,93	6,88	7,10	7,13	7,08	7,09	6,98			
A	7,6	25,4	1,69	7,50	7,50	7,57	7,35	7,34	7,67	7,70	7,69	7,61	7,56			
M	7,8	22,8	2,19	7,56	7,52	7,58	7,74	7,81	7,98	7,90	7,95	8,09	8,14			
J	7,4	19,9	2,39	7,27	7,16	7,14	7,61	7,65	7,78	7,54	7,56	7,93	7,94			
J	6,6	15,9	1,91	6,10	6,03	5,91	6,55	6,50	6,37	6,17	6,11	6,62	6,51			
A	5,2	15,2	1,56	5,63	5,61	5,53	6,02	6,06	5,72	5,63	5,62	5,99	5,96			
S	5,2	16,2	1,36	5,60	5,61	5,57	5,88	5,94	5,59	5,57	5,59	5,81	5,82			
O	6,3	20,8	1,08	6,10	6,03	6,12	5,91	5,97	5,96	5,93	5,98	5,86	5,86			
N	6,4	21,5	1,15	6,29	6,23	6,30	6,11	6,12	6,19	6,17	6,18	6,09	6,05			
D	5,5	18,5	1,21	5,84	5,84	5,85	5,91	5,97	5,76	5,77	5,79	5,85	5,85			
	6,42	19,9	1,58	*6,45 6,45	6,42 6,47	6,42 6,42	6,56 6,62	6,58 6,57	6,56 6,56	6,51 6,57	6,51 6,50	6,65 5,71	6,60			

* même remarque que tableau précédent.

Nous allons maintenant rassembler tous ces résultats annuels et interannuels, en éliminant les résultats des équations (1d), (1e), (2d) et (2e), et en ne retenant qu'une valeur moyenne (1) pour les 3 résultats (1a), (1b), (1c) et (2) pour les résultats (2a), (2b), (2c).

TABLEAU 11

		ELAC mesurée	ELAC calculée (1)	ELAC calculée (2)
INTERANNUUEL	Janvier	5,7	6,02	6,06
	Février	6,3	6,48	6,51
	Mars	7,0	7,01	7,10
	Avril	7,6	7,52	7,69
	Mai	7,8	7,55	7,94
	Juin	7,4	7,20	7,63
	Juillet	6,6	6,01	6,22
	Août	5,2	5,59	5,66
	Septembre	5,2	5,59	5,88
	Octobre	6,3	6,08	5,96
	Novembre	6,4	6,27	6,18
	Décembre	↓ 5,5	↓ 5,84	↓ 5,77
	Moy.	6,42	6,43	6,55
		6,55	6,44	6,53
	1973	6,58 ↑	6,61 ↑	6,72 ↑
	1974	6,67	6,50	6,60
	1975	6,54	6,36	6,42
	1976	6,41	6,29	6,37

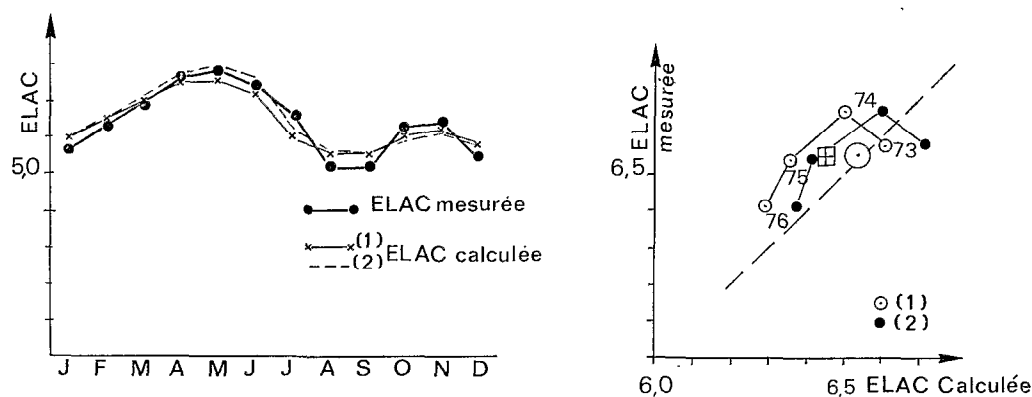


Fig. 12

Ce tableau 11 et les deux graphiques de la figure 12 dont il permet la construction montrent, à nos yeux, que les formules (2) paraissent mieux appropriées que les (1), car elles paraissent plus sensibles aux variations mensuelles de l'évaporation qui sont assez remarquablement suivies en cours d'année.

Nous les préférons donc, et sans choisir entre elles recommandons leur utilisation pour des climats comparables à celui du lac de Bam.

4. CALCUL DE L'ÉVAPORATION DU LAC DE BAM A L'ÉCHELLE JOURNALIÈRE ET HORAIRE

Nous avons effectué, heure par heure, les calculs de l'évaporation d'après une formule moyenne issue de (3a), (3b), (3c). Ces résultats figurent dans les tableaux 13 à 27 concernant trois pentades représentatives :

2 au 6-5-1974

1 au 5-11-75

1 au 5-1-76

Ces tableaux regroupent :

ΔE	Déficit de saturation à l'évaporation, ΔE LAC — en mb
U2	Vitesse du vent à Saint-Paul — en m/s
ELAC	Evaporation calculée par (3a), (3b), (3c), à partir de ΔE et U2 horaires, en mm/jour. La moyenne journalière (a) supérieure est obtenue à partir des valeurs horaires. La valeur journalière (b) inférieure à partir des valeurs moyennes journalières de ΔE et U2.
ELAC	Equivalent énergétique de l'évaporation en joules obtenu à partir de la colonne précédente pondérée pour retrouver une valeur journalière (b).
Q	Rayonnement net — en J
β	Rapport de Bowen
R_G	Rayonnement global — en J
R_d	Rayonnement diffus — en J
R_R	Rayonnement réfléchi — en J
$L \uparrow$	Rayonnement de grande longueur d'onde de l'environnement : $L \uparrow = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{LAC}^4$
$L \downarrow$ Bilan	est obtenue par $L \downarrow = Q - R_G + R_R + L \uparrow$
$L \downarrow$ Brunt	est obtenue par calcul avec la formule de Brunt : $L \downarrow = \sigma \cdot T_{AIR}^4 \cdot (0,60 + 0,05 \sqrt{E2 LAC})$
S	Energie sortant du système (par transmission de chaleur à l'eau, ou par advection).

Les moyennes journalières de ces tableaux journaliers sont regroupées dans un tableau 12 unique, où figure de plus le rapport du rayonnement diffus au rayonnement global R_d/R_G .

TABLEAU 12

	ΔE	U2	ELAC (a) Σ Horaire	ELAC (b) Journée \rightarrow	ELAC	Q	$1+\beta$	R_G	R_d	R_R	$L \uparrow$	$L \downarrow$ Bilan	$L \downarrow$ Brunt	S	R_d/R_G
2/5	25,13	1,93	9,11	9,25	2 247	1 722	0,942	2 620	800	-194	-3 896	3 193	3 271	-313	0,31
3/5	29,52	1,13	8,39	8,46	2 049	1 910	0,987	2 537	1 240	-197	-3 940	3 511	3 168	-73	0,49
4/5	29,57	1,51	9,13	9,35	2 271	1 771	0,968	2 459	1 105	-159	-3 936	3 407	3 190	-378	0,45
5/5	29,36	1,28	8,59	8,79	2 136	1 685	0,995	1 507	1 085	-185	-3 941	3 300	3 166	-372	0,43
6/5	27,55	1,84	9,33	9,57	2 325	1 565	0,992	2 296	909	-185	-3 963	3 417	3 263	-721	0,40
1/11	22,00	1,11	6,67	6,89	1 667	1 189	1,05	2 305	995	-205	-3 837	2 926	3 090	-472	0,43
2/11	20,92	1,03	6,38	6,50	1 379	1 359	1,07	2 513	684	-214	-3 844	2 904	3 122	-255	0,27
3/11	20,40	0,91	6,10	6,16	1 497	1 250	1,06	2 310	1 120	-212	-3 843	3 015	3 135	-247	0,48
4/11	18,97	0,84	5,66	5,73	1 392	1 225	1,08	2 300	956	-208	-3 835	2 968	3 138	-209	0,42
5/11	20,80	1,14	6,62	6,69	1 626	1 287	1,03	2 436	524	-212	-3 811	2 874	3 098	-313	0,22
1/1	15,60	1,00	5,21	5,37	1 301	811	1,00	1 514	1 036	-98	-3 601	2 998	2 882	-448	0,68
2/1	14,85	1,12	5,31	5,39	1 309	895	1,01	1 556	1 024	-106	-3 614	3 059	2 919	-388	0,66
3/1	13,95	1,16	5,22	5,23	1 272	932	1,00	1 562	1 000	-80	-3 604	3 054	2 959	-253	0,64
4/1	9,24	1,05	3,91	4,02	978	763	0,89	1 337	801	-79	-3 616	3 121	3 133	-68	0,60
5/1	11,21	0,72	3,96	3,98	967	1 043	1,03	1 659	787	-80	-3 701	3 165	3 154	+ 71	0,47

TABLEAU 13

2-5-74	ΔE LAC (mb)	U2 ABRI (m/s)	ELAC (mm)	ELAC (J) Homog.	Q (J)	$1+\beta$	R_G (J)	R_d (J)	R_R (J)	$L \uparrow$ (J)	$L \downarrow$ (J) Bilan	$L \downarrow$ (J) Brunt	S (J)
0	19,7	0,2	4,29	44	— 35	1,05	0	0	0	— 162	127	135	— 81
1	22,2	0,3	4,99	51	— 35	1,03	0	0	0	— 162	127	133	— 88
2	24,3	0,3	5,32	55	— 35	1,04	0	0	0	— 162	127	129	— 92
3	24,7	0,2	5,03	52	— 35	1,04	0	0	0	— 162	127	129	— 89
4	23,1	0,3	5,13	53	— 35	1,06	0	0	0	— 162	127	129	— 91
5	23,0	0,4	5,41	56	— 27	1,04	1	1	0	— 162	134	130	— 85
6	23,5	0,4	5,49	56	26	1,01	24	21	— 10	— 161	173	131	— 30
7	24,1	2,0	9,13	94	70	0,99	116	46	— 12	— 161	127	131	— 23
8	25,6	4,2	13,59	140	159	0,92	208	62	— 15	— 161	127	134	+ 30
9	26,6	4,7	14,83	152	228	0,88	271	78	— 18	— 161	136	136	+ 94
10	27,9	4,7	15,30	157	275	0,85	323	80	— 20	— 162	134	138	+ 142
11	28,9	4,9	16,04	165	310	0,84	357	79	— 20	— 162	137	139	+ 171
12	29,5	4,6	15,69	161	304	0,84	348	80	— 21	— 163	140	140	+ 169
13	30,4	3,7	14,24	146	274	0,83	325	83	— 20	— 163	132	140	+ 153
14	30,9	3,6	14,20	146	221	0,84	277	84	— 18	— 164	126	141	+ 98
15	30,2	3,3	13,37	137	149	0,84	203	89	— 15	— 164	125	142	+ 34
16	28,6	3,0	12,30	126	73	0,83	124	69	— 12	— 163	124	144	— 32
17	28,6	2,2	10,67	110	11	0,84	44	28	— 11	— 163	141	142	— 81
18	27,4	1,0	7,74	79	— 21	0,88	0	0	0	— 163	142	140	— 91
19	19,9	0,3	4,63	48	— 31	0,97	0	0	0	— 163	132	141	— 77
20	21,5	0,4	5,17	53	— 31	0,98	0	0	0	— 163	132	138	— 83
21	21,8	0,6	5,73	59	— 31	0,98	0	0	0	— 163	132	138	— 89
22	18,3	0,3	4,38	45	— 31	1,04	0	0	0	— 162	132	137	— 78
23	22,4	0,7	6,07	62	— 31	1,01	0	0	0	— 162	132	134	— 94
24													
	25,13	1,93	Entre 9,11 et 9,25	2 247	1 722	0,942	2 620	800	-194	-3 896	3 193	3 271	-313

$R_d/R_G = 0,31$

TABLEAU 14

3-5-74	ΔE LAC (mb)	U2 ABRI (m/s)	ELAC (mm)	ELAC (J) Homog.	Q (J)	$1+\beta$	R _G (J)	R _d (J)	R _R (J)	L _↑ (J)	L _↓ (J)	L _↓ (J)	S (J)				
0	24,1	1,2	7,52	77	—	31	1,00	0	0	0	—	162	131	132	—	108	
1	26,3	0,4	5,95	56	—	31	1,02	0	0	0	—	162	131	127	—	88	
2	27,1	0,2	5,38	55	—	31	1,03	0	0	0	—	161	130	125	—	88	
3	27,6	0,4	6,16	63	—	31	1,05	0	0	0	—	161	130	122	—	97	
4	26,4	0,1	4,82	49	—	31	1,06	0	0	0	—	161	130	123	—	83	
5	26,5	0,2	5,29	54	—	31	1,04	0	0	0	—	160	130	123	—	87	
6	26,1	1,3	8,16	83	—	24	1,03	58	44	—	10	—	160	136	123	—	61
7	25,5	0,5	6,11	62	—	82	1,01	114	77	—	12	—	160	140	126	+	19
8	28,0	1,0	7,86	80	—	149	0,98	173	88	—	15	—	161	152	126	+	71
9	31,3	1,7	10,22	104	—	241	0,96	253	223	—	17	—	162	167	127	+	141
10	33,0	1,9	11,09	113	—	273	0,96	282	164	—	20	—	164	175	130	+	164
11	32,0	2,4	11,98	122	—	299	0,92	322	169	—	21	—	164	162	133	+	187
12	33,1	2,7	12,94	132	—	347	0,91	348	144	—	22	—	165	186	134	+	227
13	35,1	2,8	13,71	140	—	316	0,91	329	117	—	21	—	166	174	136	+	189
14	35,2	2,8	13,74	140	—	276	0,91	291	97	—	20	—	167	172	138	+	149
15	36,3	1,9	11,87	121	—	167	0,91	197	95	—	16	—	168	154	140	+	57
16	37,9	1,5	11,19	114	—	79	0,92	115	77	—	12	—	170	146	140	—	26
17	36,9	1,4	10,71	109	—	26	0,92	53	43	—	10	—	169	152	139	—	74
18	30,5	1,0	8,35	85	—	28	0,95	2	2	—	1	—	168	139	142	—	109
19	27,3	0,7	6,97	71	—	31	0,98	0	0	—	0	—	167	136	142	—	101
20	24,2	0,4	5,81	59	—	31	1,03	0	0	—	0	—	166	135	139	—	92
21	24,6	0,2	5,01	51	—	31	1,05	0	0	—	0	—	166	135	136	—	85
22	25,2	0,3	5,46	56	—	31	1,06	0	0	—	0	—	165	134	134	—	90
23	26,1	0,2	5,23	53	—	31	1,08	0	0	—	0	—	165	134	131	—	88
24																	
	29,42	1,13	Entre 8,39 et 8,46	2 049		1 910	0,987	2 537	1 240	—	197	—	3 940	3 511	3 168	—	73

$$R_d/R_G = 0,49$$

TABLEAU 15

4-5-74	ΔE LAC (mb)	U2 ABRI (m/s)	ELAC (mm)	ELAC (J) Homog.	Q (J)	$1+\beta$	R_G (J)	R_d (J)	R_R (J)	$L \uparrow$ (J)	$L \downarrow$ (J) Bilan	$L \downarrow$ (J) Brunt	S (J)			
0	29,2	0,3	6,16	64	—	32	1,05	0	0	0	—	165	133	128	— 99	
1	30,6	0,3	6,37	66	—	32	1,04	0	0	0	—	163	131	125	— 101	
2	31,0	0,5	7,09	74	—	32	1,04	0	0	0	—	163	131	123	— 109	
3	30,5	0,4	6,70	69	—	18	1,04	0	0	0	—	162	144	122	— 90	
4	30,7	0,6	7,33	76	—	36	1,04	0	0	0	—	162	126	121	— 115	
5	29,1	0,6	7,06	73	—	44	1,06	1	1	—	1	—	162	118	122	— 121
6	27,7	0,2	5,56	58	—	7	1,07	33	29	—	7	—	162	143	123	— 55
7	28,7	1,2	8,46	88	—	79	1,02	118	72	—	10	—	162	133	126	— 11
8	30,6	2,7	12,09	125	—	154	0,95	185	85	—	11	—	163	143	130	+ 35
9	28,7	4,4	14,77	153	—	230	0,89	248	120	—	15	—	162	159	135	+ 94
10	28,3	4,6	14,99	155	—	304	0,88	317	121	—	17	—	163	167	138	+ 168
11	30,0	3,2	12,92	134	—	325	0,88	330	126	—	18	—	163	176	138	+ 207
12	31,4	2,6	12,11	126	—	329	0,87	349	113	—	19	—	164	163	139	+ 219
13	33,1	2,5	12,34	128	—	284	0,88	307	113	—	17	—	165	159	138	+ 171
14	33,5	2,5	12,45	129	—	224	0,88	254	117	—	15	—	166	151	140	+ 110
15	33,6	2,8	13,12	136	—	149	0,88	179	104	—	10	—	166	146	141	+ 29
16	32,2	2,4	11,90	123	—	69	0,88	99	69	—	9	—	166	145	141	— 39
17	30,4	1,5	9,50	99	—	6	0,90	37	33	—	8	—	166	143	143	— 83
18	28,2	0,7	7,16	74	—	30	0,94	2	2	—	42	—	167	137	142	— 100
19	26,9	0,5	6,40	66	—	33	0,97	0	0	—	0	—	166	133	139	— 97
20	24,8	0,4	5,77	60	—	33	1,02	0	0	—	0	—	165	132	137	— 94
21	23,1	0,2	4,88	51	—	33	1,06	0	0	—	0	—	165	132	136	— 87
22	28,2	0,8	7,42	77	—	33	1,00	0	0	—	0	—	164	131	133	— 110
23	29,3	0,4	6,50	67	—	33	1,00	0	0	—	0	—	164	131	130	— 100
24																
	29,57	1,51	Entre 9,13 et 9,35	2 271		1 771	0,968	2 459	1 105	— 159	— 3 936	3 407	3 190	— 378		

$$R_d/R_G = 0,45$$

TABLEAU 16

5-5-74	ΔE_{LAC} (mb)	U2 ABRI (m/s)	ELAC (mm)	ELAC (J) <i>Homog.</i>	Q (J)	$1+\beta$	R_G (J)	R_d (J)	R_R (J)	$L \uparrow$ (J)	$L \downarrow$ (J) <i>Bilan</i>	$L \downarrow$ (J) <i>Brut</i>	S (J)
0	23,9	0,1	4,58	47	— 37	1,08	0	0	0	— 163	126	130	— 88
1	26,6	0,3	5,75	60	— 37	1,09	0	0	0	— 163	126	125	— 102
2	28,1	0,2	5,62	58	— 37	1,09	0	0	0	— 163	126	126	— 100
3	26,2	0,4	6,00	62	— 37	1,10	0	0	0	— 162	125	124	— 105
4	26,2	0,4	6,00	62	— 37	1,10	0	0	0	— 162	125	123	— 105
5	26,2	0,2	5,34	55	— 37	1,11	0	0	0	— 162	125	122	— 98
6	26,5	0,4	6,05	63	4	1,09	27	22	— 10	— 162	149	123	— 65
7	28,8	0,5	6,72	70	64	1,02	105	64	— 12	— 162	133	125	— 7
8	30,8	2,8	12,35	128	120	0,97	156	87	— 15	— 162	141	127	— 4
9	30,4	3,5	13,63	141	260	0,92	286	108	— 18	— 162	154	132	+ 130
10	30,9	3,6	13,97	145	292	0,90	322	136	— 20	— 163	153	135	+ 161
11	32,6	2,9	13,06	135	317	0,89	351	127	— 20	— 164	150	135	+ 197
12	32,7	3,2	13,71	142	312	0,89	337	133	— 20	— 165	160	137	+ 186
13	34,0	2,8	13,23	137	306	0,89	328	146	— 18	— 166	162	138	+ 184
14	35,4	2,6	13,17	136	260	0,89	286	114	— 15	— 166	155	138	+ 139
15	33,9	2,2	11,89	123	109	0,89	159	80	— 12	— 166	128	140	0
16	33,6	1,7	10,68	111	83	0,89	119	51	— 11	— 167	142	141	— 16
17	33,7	1,4	9,98	103	— 10	0,92	31	17	— 10	— 168	137	141	— 104
18	27,5	0,3	5,89	61	— 34	0,95	0	0	0	— 167	133	144	— 92
19	27,0	0,1	5,01	52	— 34	0,89	0	0	0	— 166	132	143	— 80
20	26,5	0,3	5,74	59	— 34	1,05	0	0	0	— 166	132	134	— 96
21	28,4	0,2	5,66	59	— 34	1,07	0	0	0	— 165	131	129	— 97
22	28,7	0,3	6,08	63	— 37	1,08	0	0	0	— 165	128	126	— 105
23	26,0	0,4	5,97	62	— 37	1,10	0	0	0	— 164	127	128	— 105
24													
	29,36	1,28	Entre 8,59 et 8,79	2 136	1 685	0,995	2 507	1 085	— 181	— 3 941	3 300	3 166	— 372

$$R_d/R_G = 0,43$$

TABLEAU 17

6-5-74	ΔE LAC (mb)	U2 ABRI (m/s)	ELAC (mm)	ELAC (J) Homog.	Q (J)	1+ β	R _G (J)	R _d (J)	R _R (J)	L \uparrow (J)	L \downarrow (J) Bilan	L \downarrow (J) Brunt	S (J)				
0	26,2	0,3	5,69	59	—	37	1,07	0	0	0	—	164	127	129	—	100	
1	28,9	0,3	6,11	63	—	37	1,04	0	0	0	—	164	127	127	—	102	
2	30,2	0,3	6,31	66	—	37	1,04	0	0	0	—	163	126	124	—	106	
3	31,2	2,4	11,64	121	—	37	1,02	0	0	0	—	162	125	123	—	160	
4	23,6	1,8	8,55	89	—	37	1,06	0	0	0	—	162	125	130	—	131	
5	20,1	1,5	7,19	75	—	37	1,08	0	0	0	—	162	125	132	—	118	
6	18,0	2,1	7,66	79	—	0	1,06	35	24	—	10	—	162	137	135	—	84
7	16,5	3,9	9,79	102	—	80	1,05	116	42	—	12	—	161	137	137	—	27
8	17,2	3,6	9,61	100	—	179	1,01	205	57	—	17	—	162	153	139	+	78
9	20,6	2,6	9,15	95	—	259	0,96	272	67	—	18	—	163	168	140	+	168
10	26,5	1,8	9,24	96	—	299	0,94	315	64	—	20	—	165	169	140	+	209
11	31,9	1,9	10,74	111	—	336	0,96	361	79	—	21	—	167	163	138	+	229
12	34,0	2,5	12,58	131	—	320	0,95	343	103	—	20	—	168	165	139	+	196
13	33,5	2,4	12,23	127	—	216	0,91	244	167	—	18	—	167	157	139	+	100
14	35,0	2,2	12,16	126	—	195	0,92	214	150	—	17	—	168	166	139	+	79
15	34,2	1,8	11,05	115	—	74	0,91	99	85	—	12	—	168	155	140	—	31
16	34,6	1,9	11,37	118	—	37	0,91	67	52	—	10	—	167	147	139	—	70
17	35,9	2,1	12,15	126	—	2	0,92	25	19	—	10	—	167	154	137	—	114
18	32,1	0,7	7,86	82	—	35	0,95	0	0	—	0	—	167	132	139	—	113
19	25,8	0,6	6,48	67	—	35	0,99	0	0	—	0	—	168	133	143	—	101
20	25,0	0,4	5,80	60	—	35	1,00	0	0	—	0	—	167	132	142	—	95
21	29,1	1,0	8,08	84	—	35	0,98	0	0	—	0	—	167	132	138	—	117
22	25,3	3,0	11,17	116	—	35	1,03	0	0	—	0	—	166	131	138	—	154
23	25,7	3,0	11,29	117	—	35	1,04	0	0	—	0	—	166	131	136	—	157
24																	
	27,55	1,84	Entre 9,33 et 9,57	2 325		1 565	0,992	2 296	909	—	185	—	3 963	3 417	3 263	—	721

$R_d/R_G = 0,40$

TABLEAU 18

1-11-75	ΔE LAC (mb)	U2 ABRI (m/s)	ELAG (mm)	ELAG (J) <i>Homog.</i>	Q (J)	$1+\beta$	R_G (J)	R_d (J)	R_R (J)	L \uparrow (J)	L \downarrow (J) <i>Bilan</i>	L \downarrow (J) <i>Brut</i>	S (J)				
0	22,8	0,08	4,23	44	—	41	1,10	0	0	0	—	160	119	124	—	89	
1	22,7	0,06	4,10	43	—	41	1,08	0	0	0	—	159	118	124	—	90	
2	19,8	0,11	3,97	42	—	41	1,16	0	0	0	—	159	118	124	—	90	
3	20,1	0,31	4,69	49	—	41	1,18	0	0	0	—	159	118	122	—	99	
4	20,1	0,25	4,51	47	—	41	1,23	0	0	0	—	159	118	119	—	99	
5	19,3	0,22	4,30	45	—	41	1,25	0	0	0	—	159	118	119	—	97	
6	20,4	0,03	3,60	38	—	36	1,22	10	8	—	4	—	159	117	118	—	82
7	20,4	0,17	4,29	45	+	2	1,18	79	44	—	14	—	159	96	121	—	51
8	18,4	0,50	4,89	51		82	1,12	171	73	—	17	—	159	88	128	+	25
9	22,2	2,00	8,65	90		166	1,02	247	105	—	21	—	160	101	131	+	74
10	25,7	2,75	10,98	114		240	0,94	305	122	—	24	—	162	121	135	+	133
11	25,6	3,44	12,22	127		276	0,90	333	127	—	21	—	161	125	136	+	162
12	25,5	3,28	11,90	124		289	0,89	339	121	—	22	—	161	134	137	+	179
13	25,5	3,11	11,59	120		264	0,88	308	116	—	23	—	162	141	139	+	158
14	26,3	3,00	11,62	120		209	0,87	245	111	—	21	—	162	147	139	+	105
15	26,5	2,67	11,05	115		139	0,86	169	94	—	19	—	162	151	139	+	40
16	26,0	1,78	9,16	95		52	0,87	83	59	—	13	—	161	143	139	—	31
17	23,4	0,61	6,04	63	—	21	0,94	16	15	—	4	—	161	128	135	—	80
18	21,1	0,56	5,51	57	—	36	1,01	0	0	0	—	160	124	131	—	94	
19	21,8	0,61	5,75	60	—	36	1,02	0	0	0	—	159	123	128	—	97	
20	21,4	0,50	5,41	56	—	38	1,06	0	0	0	—	158	120	125	—	97	
21	18,5	0,17	4,01	42	—	39	1,10	0	0	0	—	158	119	127	—	85	
22	16,4	0,14	3,61	37	—	39	1,15	0	0	0	—	158	119	127	—	82	
23	18,2	0,22	4,13	43	—	39	1,15	0	0	0	—	158	119	124	—	88	
24																	
	22,00	1,11	Entre 6,67 et 6,89	1 667		1 189	1,05	2 305	995	—	205	—	3 837	2 926	3 090	—	472

$$R_d/R_G = 0,43$$

TABLEAU 19

2-11-75	ΔE LAC (mb)	U2 ABRI (m/s)	ELAC (mm)	ELAC (J) Homog.	Q (J)	$1+\beta$	R_G (J)	R_d (J)	R_R (J)	$L \uparrow$ (J)	$L \downarrow$ (J) Bilan	$L \downarrow$ (J) Brunt	S (J)				
0																	
1	18,1	0,25	4,20	43	—	40	1,18	0	0	0	—	158	118	123	—	91	
2	16,8	0,25	4,00	41	—	41	1,25	0	0	0	—	158	117	122	—	92	
3	16,7	0,31	4,15	43	—	41	1,27	0	0	0	—	158	117	121	—	96	
4	16,8	0,22	3,92	40	—	42	1,29	0	0	0	—	158	116	120	—	94	
5	15,1	0,17	3,51	36	—	43	1,32	0	0	0	—	158	115	119	—	91	
6	19,0	0,47	4,92	51	—	44	1,31	0	0	0	—	158	114	115	—	111	
7	19,9	0,14	4,11	42	—	38	1,26	32	6	—	6	—	158	94	116	—	91
8	20,6	0,14	4,21	43	+	16	1,14	115	39	—	17	—	158	77	122	—	33
9	22,1	1,39	7,47	77		117	1,01	205	65	—	17	—	159	88	128	+	39
10	24,8	3,00	11,18	115		205	0,95	279	83	—	21	—	160	107	130		96
11	25,1	3,39	11,98	123		266	0,90	329	83	—	21	—	161	118	135		155
12	25,6	2,86	11,16	115		299	0,88	354	77	—	21	—	161	127	137		198
13	26,2	2,28	10,21	105		295	0,88	342	80	—	24	—	162	139	139		203
14	27,1	2,47	10,82	112		268	0,89	315	70	—	25	—	163	141	139		168
15	26,9	2,17	10,17	105		216	0,88	255	66	—	23	—	163	147	141		124
16	26,4	1,92	9,54	98		114	0,87	180	56	—	21	—	163	148	141		29
17	25,3	1,58	8,58	88		59	0,87	91	41	—	15	—	162	146	141	---	18
18	21,5	0,56	5,58	57	—	21	0,92	16	10	—	3	—	161	127	139	—	73
19	17,2	0,42	4,50	46	—	36	1,01	0	0	0	—	161	125	137	—	82	
20	16,9	0,31	4,18	43	—	36	1,06	0	0	0	—	161	125	135	—	82	
21	17,7	0,08	3,55	37	—	36	1,08	0	0	0	—	161	125	133	—	76	
22	18,8	0,11	3,83	39	—	36	1,10	0	0	0	—	161	125	131	—	79	
23	18,4	0,06	3,54	37	—	36	1,11	0	0	0	—	160	124	130	—	77	
24	19,1	0,11	3,87	40	—	36	1,12	0	0	0	—	160	124	129	—	81	
	20,92	1,03	Entre 6,38 et 6,50	1 579		1 359	1,07	2 513	684	—	214	—	3 844	2 904	3 122	—	255

$$R_d/R_G = 0,27$$

TABLEAU 20

3-11-75	ΔE_{LAC} (mb)	$U_2 ABRI$ (m/s)	$ELAC$ (mm)	$ELAC$ (J) <i>Homog.</i>	Q (J)	$I+\beta$	R_G (J)	R_d (J)	R_R (J)	$L \uparrow$ (J)	$L \downarrow$ (J) <i>Bilan</i>	$L \downarrow$ (J) <i>Brunt</i>	S (J)				
0	21,8	0,14	4,46	46	—	36	1,11	0	0	0	—	160	124	125	—	87	
1	22,0	0,31	5,06	52	—	36	1,09	0	0	0	—	160	124	125	—	93	
2	18,9	0,28	4,48	46	—	36	1,18	0	0	0	—	159	123	125	—	90	
3	18,1	0,19	4,09	42	—	37	1,23	0	0	0	—	159	122	123	—	89	
4	17,8	0,08	3,64	37	—	39	1,23	0	0	0	—	159	120	123	—	84	
5	16,4	0,17	3,77	39	—	37	1,25	0	0	0	—	159	122	124	—	86	
6	18,0	0,22	4,17	43	—	26	1,25	15	14	—	5	—	159	123	121	—	80
7	17,4	0,36	4,44	45	+	21	1,22	84	62	—	12	—	159	108	123	—	34
8	22,7	1,33	7,46	76		107	1,05	177	100	—	18	—	159	107	125	+	27
9	24,0	1,83	8,70	89		185	0,97	256	121	—	23	—	160	112	131		97
10	24,1	2,41	9,79	100		246	0,92	311	134	—	25	—	161	121	135		154
11	25,6	3,08	11,40	117		280	0,91	336	140	—	25	—	161	130	136		174
12	25,8	2,92	11,17	114		284	0,89	333	139	—	25	—	162	138	137		183
13	27,6	2,22	10,34	106		256	0,90	304	131	—	24	—	164	140	139		161
14	27,2	1,78	9,37	96		201	0,89	238	115	—	21	—	163	147	140		116
15	26,5	1,69	9,02	92		132	0,88	168	95	—	19	—	163	146	140		51
16	24,4	0,97	7,08	72		49	0,87	75	57	—	12	—	162	148	140	—	14
17	19,3	0,47	5,02	51	—	21	0,93	13	12	—	3	—	160	129	138	—	68
18	13,1	0,19	3,32	34	—	36	1,03	0	0	—	0	—	159	123	137	—	71
19	14,1	0,28	3,70	38	—	36	1,09	0	0	—	0	—	159	123	134	—	77
20	19,2	0,22	4,35	45	—	36	1,06	0	0	—	0	—	159	123	129	—	84
21	16,3	0,25	3,99	41	—	37	1,14	0	0	—	0	—	159	122	128	—	84
22	14,5	0,22	3,62	37	—	39	1,18	0	0	—	0	—	159	120	129	—	83
23	14,8	0,28	3,82	39	—	39	1,21	0	0	—	0	—	159	120	128	—	86
24																	
	20,40	0,91	Entre 6,10 et 6,16	1 497		1 250	1,06	2 310	1 120	—	212	—	3 843	3 015	3 135	—	247

$$R_d/R_G = 0.48$$

TABLEAU 21

4-11-75	ΔE LAC (mb)	U2 ABRI (m/s)	ELAC (mm)	ELAC (J) Homog.	Q (J)	$1+\beta$	R_G (J)	R_d (J)	R_R (J)	$L \uparrow$ (J)	$L \downarrow$ (J) Bilan	$L \downarrow$ (J) Brunt	S (J)				
0	15,7	0,19	3,73	38	—	39	1,21	0	0	0	—	159	120	127	—	85	
1	15,6	0,33	4,07	42	—	39	1,25	0	0	0	—	159	120	125	—	91	
2	18,0	0,33	4,47	46	—	39	1,24	0	0	0	—	159	120	121	—	96	
3	19,2	0,17	4,19	43	—	39	1,21	0	0	0	—	159	120	121	—	91	
4	16,1	0,36	4,22	43	—	39	1,28	0	0	0	—	158	119	122	—	94	
5	16,1	0,19	3,79	39	—	39	1,28	0	0	0	—	158	119	122	—	89	
6	15,9	0,28	4,00	41	—	25	1,27	25	19	—	4	—	158	112	122	—	77
7	14,4	0,28	3,75	38	+	26	1,25	92	57	—	12	—	157	103	124	—	21
8	15,4	0,42	4,23	43		95	1,13	168	83	—	17	—	157	101	127	+	46
9	21,7	1,67	7,86	81		179	0,99	251	101	—	18	—	159	105	130		99
10	24,5	2,44	9,95	102		242	0,91	304	111	—	21	—	159	118	132		149
11	25,3	1,89	9,13	94		274	0,89	327	114	—	21	—	160	128	135		190
12	24,2	2,22	9,47	97		269	0,90	315	113	—	24	—	161	139	137		182
13	24,2	1,94	8,96	92		252	0,90	298	108	—	25	—	162	141	139		169
14	25,3	1,86	9,07	93		204	0,90	247	98	—	25	—	163	145	140		120
15	21,5	2,36	9,00	92		139	0,88	167	82	—	21	—	161	154	141		58
16	18,7	1,17	6,29	65		59	0,87	86	54	—	16	—	160	149	142		2
17	18,2	0,50	4,90	50	—	15	0,90	20	16	—	4	—	161	130	141	—	60
18	19,7	0,53	5,23	54	—	39	1,00	0	0	0	—	161	122	135	—	93	
19	18,1	0,36	4,56	47	—	39	1,05	0	0	0	—	161	122	134	—	88	
20	18,6	0,28	4,43	45	—	39	1,09	0	0	0	—	161	122	132	—	88	
21	16,2	0,11	3,54	36	—	41	1,16	0	0	0	—	161	120	132	—	83	
22	16,3	0,17	3,76	39	—	41	1,18	0	0	0	—	161	120	130	—	87	
23	16,4	0,03	3,17	33	—	41	1,21	0	0	0	—	160	119	127	—	81	
24																	
	18,97	0,84	Entre 5,66 et 5,73	1 392		1 225	1,08	2 300	956	— 208	— 3 835	2 968	3 138			— 209	

$$R_d/R_G = 0,42$$

TABLEAU 22

5-11-75	ΔE_{LAC} (mb)	$U_2 ABRI$ (m/s)	ELAC (mm)	ELAC (J) Homog.	Q (J)	$1+\beta$	R_G (J)	R_d (J)	R_R (J)	$L \uparrow$ (J)	$L \downarrow$ (J) Bilan	$L \downarrow$ (J) Brut	S (J)				
0	15,3	0,19	3,67	38	—	41	1,19	0	0	0	—	160	119	127	—	86	
1	16,0	0,14	3,62	37	—	44	1,25	0	0	0	—	160	116	126	—	90	
2	16,6	0,31	4,19	43	—	42	1,26	0	0	0	—	159	117	124	—	96	
3	17,6	0,64	5,08	52	—	44	1,22	0	0	0	—	159	115	124	—	107	
4	21,9	0,31	5,04	52	—	42	1,19	0	0	0	—	159	117	118	—	104	
5	20,0	0,31	4,74	48	—	44	1,21	0	0	0	—	159	115	120	—	102	
6	17,2	0,19	3,96	40	—	36	1,28	21	10	—	6	—	158	107	121	—	87
7	15,7	0,14	3,57	37	+	14	1,15	101	35	—	14	—	157	84	126	—	28
8	20,4	0,86	6,06	62		107	1,08	192	49	—	19	—	157	91	124	+	40
9	23,5	2,64	10,03	103		189	0,95	271	57	—	21	—	158	97	129		91
10	24,7	2,47	10,06	103		257	0,89	318	57	—	21	—	159	119	132		165
11	25,1	2,78	10,72	110		289	0,88	341	59	—	21	—	159	128	134		192
12	25,4	2,97	11,15	114		288	0,86	339	59	—	23	—	160	132	136		190
13	25,7	2,22	9,86	101		263	0,86	310	57	—	21	—	161	135	138		176
14	24,7	2,33	9,80	100		219	0,85	257	51	—	23	—	160	145	138		134
15	23,9	2,14	9,25	95		150	0,84	180	47	—	21	—	160	151	139		70
16	22,3	2,42	9,32	95		64	0,83	90	33	—	17	—	159	150	139	—	15
17	20,4	1,08	6,49	66	—	19	0,87	16	10	—	5	—	159	129	137	—	76
18	21,1	0,50	5,41	55	—	37	0,95	0	0	—	0	—	159	122	133	—	89
19	21,3	0,67	5,83	60	—	39	1,00	0	0	—	0	—	158	119	129	—	99
20	21,0	1,03	6,52	67	—	40	0,98	0	0	—	0	—	158	118	130	—	106
21	21,4	0,39	5,18	53	—	41	1,04	0	0	—	0	—	158	117	125	—	96
22	19,8	0,36	4,84	50	—	42	1,08	0	0	—	0	—	157	115	124	—	96
23	18,3	0,33	4,52	46	—	42	1,13	0	0	—	0	—	158	116	125	—	94
24																	
	20,80	1,14	Entre 6,62 et 6,69	1 626		1 287	1,03	2 436	524	—	212	—	3 811	2 874	3 098	—	313

$$R_d/R_G = 0,22$$

TABLEAU 23

1-1-76	ΔE LAC (mb)	U2 ABRI (m/s)	ELAC (mm)	ELAC (J) <i>Homog.</i>	Q (J)	$1+\beta$	R_G (J)	R_d (J)	R_R (J)	$L \uparrow$ (J)	$L \downarrow$ (J) <i>Bilan</i>	$L \downarrow$ (J) <i>Brunt</i>	S (J)
0	19,5	0,08	3,79	39	— 31	1,09	0	0	0	— 151	120	113	— 73
1	18,8	0,17	4,06	42	— 32	1,09	0	0	0	— 150	118	112	— 78
2	17,4	0,39	4,46	46	— 33	1,10	0	0	0	— 150	117	113	— 84
3	16,8	0,36	4,29	45	— 33	1,07	0	0	0	— 149	116	114	— 81
4	16,7	0,53	4,66	48	— 33	1,11	0	0	0	— 149	116	112	— 86
5	16,8	0,58	4,78	50	— 33	1,10	0	0	0	— 148	115	111	— 88
6	16,4	0,28	4,02	42	— 25	1,10	7	6	— 4	— 148	120	112	— 71
7	15,3	0,33	3,97	41	+ 10	1,12	47	38	— 7	— 149	119	114	— 36
8	15,6	1,17	5,63	58	66	1,09	110	79	— 10	— 149	115	115	+ 3
9	17,5	3,81	10,17	106	133	0,97	171	117	— 10	— 149	121	118	+ 30
10	17,9	3,31	9,57	99	183	0,92	216	141	— 10	— 150	127	120	+ 92
11	17,8	2,67	8,57	89	213	0,87	242	252	— 12	— 150	133	123	+ 136
12	18,2	2,69	8,72	91	216	0,84	237	150	— 11	— 151	141	126	+ 140
13	18,7	1,78	7,38	77	190	0,82	207	140	— 9	— 152	144	128	+ 127
14	18,1	1,75	7,18	75	135	0,79	158	113	— 9	— 151	137	129	+ 76
15	17,6	1,25	6,21	65	72	0,78	87	70	— 9	— 151	145	129	+ 21
16	16,5	0,81	5,18	54	10	0,80	29	27	— 5	— 151	137	129	— 33
17	11,8	0,42	3,56	37	— 21	0,90	3	3	— 2	— 151	129	128	— 54
18	10,3	0,44	3,33	35	— 27	0,99	0	0	0	— 150	123	126	— 62
19	9,5	0,47	3,23	34	— 29	1,04	0	0	0	— 150	121	126	— 64
20	10,9	0,33	3,23	34	— 30	1,08	0	0	0	— 151	121	124	— 67
21	12,0	0,08	2,77	28	— 30	1,09	0	0	0	— 151	121	122	— 61
22	13,0	0,22	3,33	35	— 30	1,09	0	0	0	— 150	121	120	— 68
23	12,3	0,17	3,09	32	— 30	1,16	0	0	0	— 150	121	118	— 67
24													
	15,60	1,00	Entre 5,21 et 5,35	1 301	811	1,00	1 514	1 036	— 98	— 3 601	2 998	2 882	— 448

$$R_d/R_G = 0,68$$

TABLEAU 24

2-1-76	ΔE LAC (mb)	U2 ABRI (m/s)	ELAC (mm)	ELAC (J) Homog.	Q (J)	$1+\beta$	R_G (J)	R_d (J)	R_R (J)	$L \uparrow$ (J)	$L \downarrow$ (J) Bilan	$L \downarrow$ (J) Brut	S (J)
0													
1	12,8	0,11	2,99	31	— 30	1,18	0	0	0	— 150	120	117	— 66
2	12,4	0,17	3,11	32	— 30	1,19	0	0	0	— 150	120	117	— 68
3	14,9	0,08	3,17	33	— 30	1,13	0	0	0	— 149	119	115	— 67
4	14,4	0,11	3,21	33	— 30	1,15	0	0	0	— 149	119	115	— 68
5	16,1	0,42	4,31	44	— 30	1,12	0	0	0	— 149	119	113	— 79
6	15,4	0,42	4,31	44	— 30	1,12	0	0	0	— 149	113	113	— 79
7	17,2	0,89	5,47	56	— 27	1,11	6	6	— 3	— 149	119	112	— 89
8	16,4	2,19	7,44	76	7	1,09	43	36	— 4	— 149	117	113	— 76
9	16,6	3,33	9,18	94	66	1,02	106	75	— 8	— 149	117	116	— 30
10	18,0	3,25	9,51	98	136	0,95	176	113	— 10	— 149	119	117	+ 43
11	18,5	3,28	9,72	100	190	0,89	224	135	— 12	— 149	127	120	+ 101
12	19,0	3,03	9,49	97	216	0,83	245	145	— 14	— 150	135	123	+ 135
13	19,0	2,53	8,70	89	216	0,81	239	145	— 13	— 150	140	126	+ 144
14	17,6	1,44	6,54	67	192	0,82	211	133	— 13	— 152	146	129	+ 137
15	19,3	1,47	6,99	72	146	0,82	163	114	— 11	— 153	147	129	+ 87
16	18,8	1,00	6,01	62	78	0,85	97	79	— 9	— 154	144	130	+ 25
17	13,4	0,39	3,78	39	17	0,84	40	37	— 6	— 153	136	133	— 16
18	11,4	0,31	3,27	34	— 15	0,96	6	6	— 3	— 153	135	131	— 48
19	10,4	0,47	3,40	35	— 25	0,99	0	0	0	— 152	127	129	— 60
20	10,4	0,44	3,34	34	— 23	1,04	0	0	0	— 152	129	127	— 58
21	10,7	0,44	3,40	35	— 19	1,08	0	0	0	— 152	133	126	— 57
22	10,4	0,42	3,31	34	— 22	1,13	0	0	0	— 151	129	124	— 60
23	11,3	0,42	3,47	36	— 28	1,11	0	0	0	— 151	125	123	— 68
24	11,9	0,42	3,58	37	— 30	1,10	0	0	0	— 150	120	121	— 71
	14,85	1,125	Entre 5,31 et 5,39	1 309	895	1,01	1 556	1 024	— 106	— 3 614	3 059	2 919	— 388

$$R_d/R_G = 0,66$$

TABLEAU 25

3-1-76	ΔE LAC (mb)	U2 ABRI (m/s)	ELAC (mm)	ELAC (J) Homog.	Q (J)	$1+\beta$	R_G (J)	R_d (J)	R_R (J)	$L \uparrow$ (J)	$L \downarrow$ (J) Bilan	$L \downarrow$ (J) Brunt	S (J)
0	12,5	0,4	3,68	37	— 30	1,16	0	0	0	— 150	120	118	— 73
1	11,4	0,4	3,49	35	— 30	1,21	0	0	0	— 150	120	118	— 72
2	11,9	0,4	3,58	36	— 30	1,21	0	0	0	— 150	120	117	— 74
3	11,0	0,4	3,42	35	— 30	1,25	0	0	0	— 149	119	117	— 74
4	10,2	0,4	3,27	33	— 30	1,26	0	0	0	— 149	119	118	— 72
5	12,1	0,4	3,61	37	— 30	1,18	0	0	0	— 149	119	117	— 74
6	18,2	0,4	4,67	47	— 29	1,01	1	1	— 1	— 149	120	115	— 76
7	16,1	1,0	5,44	55	+ 3	1,06	37	31	— 2	— 149	117	115	— 55
8	17,7	2,1	7,58	77	71	0,96	109	74	— 7	— 149	118	117	— 3
9	18,9	3,4	9,88	100	134	0,87	170	104	— 11	— 149	124	120	+ 47
10	18,7	3,7	10,25	104	194	0,82	221	231	— 11	— 149	133	123	109
11	18,6	2,8	8,89	90	216	0,79	242	143	— 12	— 150	136	126	145
12	18,6	3,1	9,34	95	225	0,76	148	145	— 11	— 150	138	128	153
13	17,3	2,2	7,62	77	199	0,76	215	137	— 7	— 151	142	131	140
14	17,0	1,7	6,78	69	150	0,77	170	114	— 7	— 153	140	133	97
15	16,7	1,9	7,01	71	87	0,76	105	80	— 5	— 152	139	134	33
16	14,0	1,5	5,75	58	21	0,78	39	35	— 2	— 152	136	133	— 24
17	14,2	0,3	3,77	38	— 19	0,86	5	5	— 4	— 151	131	129	— 52
18	10,8	0,2	2,98	30	— 24	0,93	0	0	0	— 151	127	128	— 52
19	10,1	0,4	3,25	33	— 24	1,17	0	0	0	— 150	126	126	— 63
20	8,3	0,2	2,58	26	— 23	1,09	0	0	0	— 151	128	126	— 51
21	7,8	0,2	2,49	25	— 23	1,13	0	0	0	— 151	128	126	— 51
22	11,1	0,2	3,03	31	— 23	1,13	0	0	0	— 150	127	122	— 58
23	11,6	0,1	2,84	29	— 23	1,05	0	0	0	— 150	127	122	— 53
24													
	13,95	1,16	Entre 5,22 et 5,23	1 272	932	1,00	1 562	1 000	— 80	— 3 604	3 054	2 959	— 253

$$R_d/R_G = 0,64$$

TABLEAU 26

4-1-76	ΔE LAC (mb)	U2 ABRI (m/s)	ELAC (mm)	ELAC (J) Homog.	Q (J)	$1+\beta$	R _G (J)	R _d (J)	R _R (J)	L _↑ (J)	L _↓ (J) Bilan	L _↓ (J) Brunt	S (J)
0	8,8	0,1	2,43	25	— 19	1,13	0	0	0	— 149	130	123	— 47
1	10,5	0,3	3,14	33	— 19	1,14	0	0	0	— 149	130	120	— 57
2	13,5	0,6	4,23	44	— 19	0,99	0	0	0	— 149	130	121	— 53
3	11,6	0,3	3,33	35	— 19	0,99	0	0	0	— 149	130	123	— 54
4	11,5	0,3	3,31	35	— 19	0,96	0	0	0	— 149	130	124	— 53
5	9,4	0,4	3,13	33	— 19	0,99	0	0	0	— 149	130	125	— 52
6	8,0	0,5	3,02	31	— 14	0,98	3	3	3	— 149	135	126	— 4
7	7,2	0,5	2,86	30	+ 22	0,99	35	32	5	— 149	141	127	— 8
8	7,2	2,3	4,88	51	76	0,86	101	80	— 8	— 149	132	130	+ 32
9	7,2	2,8	5,38	56	94	0,81	112	95	— 7	— 150	139	132	+ 49
10	7,3	2,4	5,01	52	89	0,76	140	148	— 7	— 150	106	132	+ 49
11	8,9	1,9	4,95	52	107	0,71	150	139	— 7	— 151	115	135	+ 70
12	10,7	2,8	6,51	68	200	0,65	255	70	— 10	— 151	106	136	+ 156
13	12,1	2,6	6,70	70	239	0,64	242	68	— 10	— 152	159	139	+ 194
14	11,5	2,1	5,91	62	114	0,62	131	83	— 8	— 152	143	139	+ 76
15	11,2	1,6	5,19	54	104	0,65	125	59	— 10	— 152	141	139	+ 69
16	9,9	1,0	4,10	43	4	0,71	42	23	— 3	— 153	117	138	— 27
17	8,3	0,9	3,62	38	— 20	0,86	1	1	— 1	— 154	134	137	— 53
18	8,0	0,5	3,02	31	— 23	0,90	0	0	0	— 153	130	135	— 51
19	7,3	0,2	2,41	25	— 23	0,90	0	0	0	— 152	129	134	— 46
20	7,3	0,2	2,41	25	— 23	1,00	0	0	0	— 152	129	131	— 48
21	6,6	0,3	2,46	26	— 23	1,05	0	0	0	— 152	129	131	— 50
22	8,6	0,5	3,13	33	— 23	1,02	0	0	0	— 151	128	129	— 57
23	9,2	0,2	2,72	28	— 23	1,07	0	0	0	— 151	128	127	— 53
24													
	9,24	1,05	Entre 3,91 et 4,02	978	763	0,89	1 337	801	— 79	— 3 616	3 121	3 133	— 68

$$R_d/R_G = 0,60$$

TABLEAU 27

5-1-76	ΔE LAC (mb)	U2 ABRI (m/s)	ELAC (mm)	ELAC (J) Homog.	Q (J)	$1+\beta$	R_G (J)	R_d (J)	R_R (J)	$L \uparrow$ (J)	$L \downarrow$ (J) Bilan	$L \downarrow$ (J) Brut	S (J)		
0															
1	6,9	0,1	2,14	22	— 24	1,14	0	0	0	— 151	127	128	— 49		
2	8,2	0,2	2,56	26	— 24	1,11	0	0	0	— 151	127	127	— 53		
3	8,6	0,4	2,98	30	— 24	1,11	0	0	0	— 151	127	126	— 57		
4	7,2	0,4	2,72	28	— 24	1,20	0	0	0	— 150	126	125	— 58		
5	8,7	0,2	2,64	27	— 24	1,18	0	0	0	— 150	126	123	— 56		
6	10,9	0,5	3,57	36	— 24	1,12	0	0	0	— 150	126	121	— 64		
7	10,9	0,4	3,40	35	— 16	1,19	10	9	— 2	— 150	126	119	— 58		
8	11,0	0,3	3,23	33	+	11	1,16	41	32	— 2	— 151	123	121	— 27	
9	12,0	0,5	3,78	38	—	59	1,10	102	59	— 7	— 151	115	123	+	17
10	14,7	1,1	5,31	53	—	144	1,01	181	83	— 7	— 152	122	125	—	89
11	14,4	1,7	6,14	62	—	184	0,94	251	114	— 10	— 154	97	131	—	126
12	12,9	2,1	6,29	64	—	239	0,89	249	122	— 11	— 154	155	134	—	182
13	14,5	1,4	5,72	58	—	239	0,86	256	95	— 7	— 157	147	139	—	189
14	15,4	1,2	5,62	57	—	207	0,92	218	95	— 10	— 159	158	139	—	155
15	14,0	1,1	5,15	52	—	162	0,91	176	84	— 9	— 159	154	141	—	115
16	14,6	1,3	5,59	57	—	104	0,88	130	59	— 9	— 159	142	142	—	54
17	11,3	1,1	4,55	46	—	24	0,84	41	31	— 5	— 158	146	144	—	15
18	9,4	0,4	3,13	32	—	17	0,90	4	4	— 1	— 158	138	142	—	46
19	9,5	0,3	2,97	30	—	24	0,99	0	0	— 0	— 157	133	138	—	54
20	11,6	0,7	4,03	41	—	24	0,99	0	0	— 0	— 156	132	136	—	65
21	9,7	0,6	3,50	36	—	24	1,06	0	0	— 0	— 156	132	135	—	62
22	10,8	0,7	3,87	39	—	27	1,08	0	0	— 0	— 156	129	133	—	69
23	11,5	0,3	3,31	34	—	27	1,07	0	0	— 0	— 156	129	131	—	63
24	11,04	0,2	2,92	30	—	27	1,11	0	0	— 0	— 155	128	131	—	60
	11,21	0,72	Entre 3,96 et 3,98	967	—	1 043	1,03	1 659	787	— 80	— 3 701	3 165	3 154	+	71

$R_d/R_G = 0,47$

Les résultats de ces tableaux sont intéressants, et sous réserve d'admettre la bonne représentativité de ELAC calculée par nos formules, permettent de tirer quelques conclusions partielles :

— Concernant le flux S

Ce système constitué par le lac et l'air environnant est presque systématiquement déficitaire en énergie. Il faut donc que le milieu extérieur lui cède de l'énergie. Celle-ci provient pour une part de l'eau du lac et, avant, du sol le contenant, tout se passant comme si le lac, froid, était réchauffé par son contenant plus chaud (ce que vérifient les mesures de températures des sols à 1 m à Saint-Paul, systématiquement plus élevées que les températures de l'eau du lac de plusieurs degrés, à toutes époques de l'année).

Mais cela provient pour une autre part, certainement déterminante les jours de forte évaporation, des échanges d'énergie latéraux *par advection*, l'air chaud continental venant remplacer, poussé par le vent, l'air froid et humide surplombant le lac.

Ceci est donc une très bonne illustration de l'effet d'oasis, malgré les dimensions déjà importantes du lac, qui donne aussi quelques doutes sur les qualités « conservatives » des différents flux énergétiques que nécessite pourtant l'application des théories du bilan énergétique.

— Concernant le rayonnement atmosphérique $L \downarrow$

Il est certain que la valeur obtenue par bilan énergétique de $L \downarrow$ diffère assez sensiblement de la valeur calculée par la formule de Brunt (avec les coefficients recommandés par C. Riou) pour ce qui concerne les valeurs horaires, les valeurs journalières n'étant point trop différentes.

Ceci provient certainement de ce que nos calculs ne tiennent pas compte de la nébulosité qui n'était pas mesurée. Il est certain que ces calculs n'intègrent pas non plus les variations dues à l'importance relative du rayonnement diffus dans le rayonnement global.

Mais l'évolution journalière de cette valeur de $L \downarrow$ obtenue par bilan est caractéristique. Le matin cette valeur est systématiquement inférieure à la valeur annoncée par Brunt, est presque similaire en milieu de journée, pour être nettement supérieure en cours de soirée. Les valeurs nocturnes sont très comparables.

Nous croyons qu'il faut voir là l'influence du niveau où était mesuré le rayonnement net Q à 3 m au-dessus du lac, qui intégrait donc tout ce qui se passait entre la surface de l'eau et le niveau 3 m, résumé par la seule formulation $\epsilon \cdot \text{TLAC}^4$, alors qu'au moment des forts gradients (matin et soir), il y a forcément d'importants stockages et destockage énergétiques à ce niveau, correspondant aux rapides variations d'humidité durant ces périodes de brutaux déséquilibres énergétiques.

Il conviendrait donc de généraliser ces calculs pour déboucher sans doute sur une meilleure approximation de la formule de Brunt s'appuyant sur la connaissance de la nébulosité et la part de rayonnement diffus dans le rayonnement global, ce qui n'était pas encore le but de cette note, l'échantillon des 15 journées totalement dépouillées n'étant pas suffisant pour formuler des conclusions définitives, mais permettant seulement une illustration à l'échelle horaire de formules précédemment exposées.

5. APPLICATION DES FORMULES MENSUELLES ÉLABORÉES AU LAC TCHAD

5.1. CONSTITUTION DES DONNÉES DISPONIBLES

Deux stations climatologiques furent installées par l'ORSTOM sur la rive nord du lac Tchad, lors de l'étude climatologique de Ch. Riou dont le dispositif s'étendait de Faya-Largeau au nord du Tchad, à Brazzaville au Congo.

Les données météorologiques mensuelles et annuelles en ces deux stations sont publiées et facilement accessibles : « Contribution à la connaissance du bassin Tchadien ». Données climatologiques mensuelles :

Station de Matafo	1965-1973	—	Décembre 1974
Station de Matafo	1974-1977	—	Mars 1978
Station de Bol-Dune	1965-1970	—	Décembre 1974

Elles se présentent sous forme de moyennes mensuelles à 6 h, 12 h et 18 h. Nous avons donc calculé pour chaque année d'observation les moyennes journalières mensuelles de la température sous abri TABRI, de la tension de vapeur d'eau E2 ABRI et de la température superficielle du Colorado sol nu T COL.

La station de Bol-Matafa a été retenue pour deux raisons :

- plus longue période d'observations,
- surtout, sa position plus éloignée du lac dans un polder au N.-E. la met à l'abri des influences de la nappe d'eau du lac Tchad, ce qui la rend plus apte à vérifier les formules établies pour Bam et Saint-Paul.

Les valeurs du vent U2 ABRI sont celles données par un anémomètre placé à 2 m. Il y a une discontinuité très nette des valeurs du vent pour les années 1965 et 1966 par rapport aux années suivantes.

Nous avons en tout état de cause utilisé ces valeurs de T ABRI, E2 ABRI et T COL pour calculer le déficit de saturation sous abri ΔE ABRI qui, avec U2 ABRI, nous permettra le calcul de ELAC pour le lac Tchad.

On trouvera ci-après (tableau 29) les résultats de ces calculs pour chaque année d'observation. Nous avons regroupé ci-dessous les valeurs interannuelles moyennes de ces paramètres, et les moyennes annuelles obtenues.

TABLEAU 28

	T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI		T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI
Janvier	19,9	7,5	19,6	2,10	15,3	1965	26,0	(17,0)	26,5	1,3	18,4
Février	22,9	8,2	21,7	2,15	17,7	1966	25,3	18,8	(26,7)	(1,67)	17,1
Mars	26,8	9,6	24,0	2,18	20,2	1967	26,9	18,3	(26,3)	2,2	16,6
Avril	30,3	14,3	27,2	2,18	21,7	1968	(26,2)	(18,8)	(26,3)	1,9	16,2
Mai	31,1	20,8	29,3	1,91	19,9	1969	26,9	20,6	27,0	2,0	15,8
Juin	30,5	24,8	30,2	2,18	18,1	1970	26,7	15,6	25,6	2,2	17,8
Juillet	28,9	26,8	30,1	2,35	15,9	1971	26,6	15,2	25,4	2,3	18,1
Août	27,4	27,8	29,8	1,92	14,1	1972	27,3	17,0	25,8	2,4	17,3
Septembre	28,1	27,1	30,4	1,68	16,3	1973	27,8	14,2	25,4	(2,3)	19,0
Octobre	27,8	17,2	27,4	1,67	19,3	1974	26,3	15,1	25,7	2,1	18,8
Novembre	24,4	9,2	22,7	2,08	18,4	1975	26,5	15,5	25,8	(2,1)	18,7
Décembre	21,2	8,0	20,1	2,04	15,5	1976	26,2	17,2	26,5	(1,9)	18,3
						1977	26,4	14,7	25,4	(2,1)	18,8
Moyenne annuelle	26,6	16,8	26,0	2,04	17,7	Int. Ann.	26,6	16,8	26,0	2,04	17,7

TABLEAU 29

1965					1966				
T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI	T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI
21,0	(7,5)	21,6	1,9	(18,3)	18,7	9,2	19,9	0,7	14,0
22,3	(8,2)	23,2	1,8	(20,2)	19,9	8,8	21,1	1,0	16,2
25,5	(9,6)	24,5	1,6	(21,1)	23,8	13,4	24,9	0,8	18,0
29,5	(14,3)	28,2	1,3	(23,9)	28,5	17,2	28,3	1,0	21,2
29,5	17,3	28,9	1,1	22,5	29,3	24,3	29,7	1,3	17,4
30,0	26,7	30,2	1,5	16,2	(29,1)	25,4	(30,2)	(2,2)	(17,5)
28,8	27,5	30,6	1,3	16,4	29,3	28,8	30,8	2,5	15,6
27,2	28,3	29,9	0,6	13,9	28,4	28,9	30,2	2,5	14,0
28,0	28,5	30,4	0,8	14,9	28,5	29,0	30,8	2,1	15,4
26,8	19,8	28,1	1,0	18,2	28,9	20,7	28,9	1,7	19,1
23,0	9,9	22,6	1,2	17,5	26,5	11,7	24,8	2,1	19,6
19,9	6,4	20,2	0,9	17,3	22,3	8,9	21,4	2,1	16,6
26,0	(17,0)	26,5	1,3	18,4	25,3	18,8	(26,7)	(1,67)	17,1

TABLEAU 29 (suite)

1967

T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI
20,6	8,5	19,8	2,5	14,6
23,9	8,5	22,1	2,4	18,1
26,4	7,5	24,3	2,7	22,8
31,1	17,5	28,0	2,4	20,3
32,1	23,6	29,8	2,1	18,3
30,7	28,5	30,5	2,3	15,2
29,0	27,3	30,0	2,8	15,1
27,0	27,9	(29,8)	2,3	(14,0)
28,0	28,4	(30,4)	1,8	(15,0)
27,7	18,5	(27,4)	1,5	(18,0)
23,8	11,6	22,4	1,9	15,5
22,7	11,8	20,8	1,6	12,7
26,9	18,3	(26,3)	2,2	16,6

1968

T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI
19,4	10,7	20,1	1,7	12,8
21,1	11,6	21,8	1,7	14,5
(26,8)	(2,6)	(24,0)	1,9	(20,2)
29,1	16,6	27,2	2,2	19,4
30,5	23,0	29,2	2,1	17,5
29,3	28,3	30,4	2,3	15,1
27,7	29,1	30,2	1,9	13,8
28,6	28,5	30,6	2,0	15,4
28,4	29,1	30,3	1,8	14,1
27,8	17,4	27,3	1,7	18,9
24,4	11,5	23,9	1,8	18,1
21,3	10,5	21,2	1,8	14,7
(26,2)	(18,8)	(26,3)	1,9	16,2

1969

T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI
18,9	9,2	19,6	(2,2)	13,6
23,1	11,4	22,9	1,8	16,5
27,8	16,2	26,7	(1,7)	18,8
30,3	19,7	28,3	2,1	18,7
30,4	24,5	29,8	(1,8)	17,4
30,6	29,2	30,8	2,3	15,2
29,4	28,9	29,8	2,6	13,0
27,9	28,7	29,7	(2,1)	13,0
28,7	29,8	31,0	1,9	15,1
29,2	27,1	29,8	1,8	14,8
24,8	10,8	23,8	2,0	18,6
21,7	11,0	21,3	1,7	14,3
26,9	20,55	27,0	2,0	15,8

1970

T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI
20,6	8,4	20,8	1,9	16,1
22,4	6,9	21,1	2,4	18,1
26,1	11,2	23,6	2,5	17,9
30,7	11,4	26,3	2,5	22,8
31,7	21,0	29,3	2,4	19,7
31,6	22,0	29,4	2,3	19,0
29,4	26,7	29,5	2,8	14,5
27,4	28,5	29,9	2,1	13,7
27,7	27,2	30,3	1,7	16,0
27,4	12,0	25,8	1,1	21,2
24,9	8,4	22,2	2,6	18,3
20,2	6,5	19,2	2,5	15,7
26,7	15,6	25,6	2,2	17,8

1971

T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI
18,6	7,0	19,0	2,2	15,0
22,5	6,8	21,0	2,3	18,0
28,6	9,3	24,5	2,5	21,4
30,1	10,2	25,8	2,7	23,0
31,8	20,7	29,1	2,3	19,6
31,3	21,4	29,5	2,3	19,8
29,5	25,5	29,9	2,8	16,7
27,1	26,9	29,4	2,0	14,1
27,4	24,6	29,8	1,7	17,3
27,8	12,6	25,6	2,0	20,2
24,1	8,5	21,8	2,3	17,6
20,8	8,6	19,5	2,6	14,1
26,6	15,2	25,4	2,3	18,1

1972

T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI
20,1	6,9	19,0	2,1	15,1
23,7	8,6	20,9	2,6	16,1
28,2	11,5	24,2	2,6	18,7
30,3	14,8	27,0	2,2	20,8
31,8	22,4	29,3	2,2	18,3
30,9	25,9	30,4	2,6	17,5
30,5	26,1	30,5	2,6	17,6
28,6	27,3	29,9	2,5	14,9
29,4	26,1	30,4	1,9	17,3
28,6	18,8	27,8	2,1	18,5
24,0	7,4	21,0	2,7	17,4
21,9	7,7	19,8	2,3	15,4
27,3	17,0	25,8	2,4	17,3

TABLEAU 29 (suite)

1973

T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI
22,1	6,7	19,9	2,3	16,5
25,0	8,0	21,8	2,3	18,1
28,0	8,1	23,1	2,7	20,1
32,5	12,1	26,5	2,5	22,5
32,9	12,9	27,2	(1,9)	23,1
32,2	20,4	29,8	(2,2)	21,5
30,1	23,7	29,6	2,5	17,8
27,2	26,2	29,7	1,9	15,5
28,6	25,6	30,1	1,9	17,1
28,5	12,3	26,1	2,0	21,5
23,9	7,0	21,0	2,6	17,8
22,9	6,8	20,1	2,2	16,7
27,8	14,2	25,4	(2,25)	19,0

1974

T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI
20,0	5,8	18,4	2,9	15,4
22,9	6,2	20,8	2,5	18,3
27,4	6,0	23,1	2,8	22,2
30,9	15,3	28,3	2,0	23,1
31,1	16,7	28,6	2,0	22,4
30,9	22,2	30,1	1,9	20,5
27,0	26,2	29,4	2,0	14,8
26,6	27,9	30,1	1,6	14,8
27,2	26,0	30,4	1,6	17,4
27,1	14,6	27,0	1,7	21,0
24,9	8,2	22,7	2,1	19,4
19,9	6,3	19,0	2,3	15,7
26,3	15,1	25,7	2,1	18,8

1975

T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI
18,3	5,7	18,1	2,5	15,1
23,0	6,7	21,4	2,1	18,8
27,8	6,9	23,8	2,4	22,5
30,3	14,7	27,4	2,1	21,8
31,2	22,4	30,4	2,0	21,0
30,2	23,6	30,2	2,2	19,3
27,8	25,8	29,6	2,2	15,7
27,3	26,9	29,9	2,2	15,3
27,5	25,9	30,0	1,7	16,5
27,9	12,9	26,3	2,1	21,3
25,6	8,3	23,2	2,1	20,1
21,1	6,3	19,7	(2,0)	16,6
26,5	15,5	25,8	(2,13)	18,7

1976

T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI
20,1	6,7	19,9	(2,1)	16,5
24,2	9,2	23,2	(2,2)	19,2
25,4	9,4	24,5	2,0	21,3
30,2	14,4	27,7	2,2	22,7
30,5	21,4	30,7	1,7	20,8
29,7	25,1	30,7	2,1	19,1
28,1	26,3	30,3	2,2	16,9
26,2	27,5	29,2	1,7	13,0
27,7	26,2	30,1	1,5	16,5
26,9	21,7	28,8	1,5	17,9
24,2	9,2	23,5	1,9	19,7
21,2	7,6	19,9	1,9	15,6
26,2	117,2	26,5	(1,92)	18,3

1977

T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI
20,1	5,8	19,0	2,2	16,2
24,3	5,4	21,4	2,9	20,1
26,4	5,7	20,8	2,2	18,8
30,8	8,1	24,5	3,2	22,6
31,2	18,5	29,1	1,9	21,8
30,6	23,6	30,6	2,2	20,3
28,6	26,6	30,5	2,3	17,1
26,5	28,2	29,7	1,5	13,5
28,2	25,9	31,0	1,4	19,0
27,0	15,3	27,1	1,5	20,5
23,5	7,4	22,2	1,7	19,3
19,9	5,9	18,9	2,6	15,9
26,4	14,7	25,4	(2,13)	18,8

5.2. APPLICATION ET RÉSULTATS

Nous avons utilisé les résultats précédents avec les formules (1a)→ (1e) et (2a)→ (2e).

Après avoir écarté les résultats (1d), (1e), (2d), (2e) comme précédemment, nous donnons les moyennes (1) et (2) de (1a), (1b), (1c) et (2a), (2b), (2c).

On peut voir que les résultats (1) et (2) sont assez significativement dissemblables.

		ELAC calc. (1)	ELAC calc. (2)
Moyennes interannuelles	Janvier	6,39	6,32
	Février	6,56	6,87
	Mars	7,06	7,42
	Avril	7,34	7,71
	Mai	6,76	7,00
	Juin	6,66	6,99
	Juillet	6,37	6,74
	Août	5,68	5,87
	Septembre	5,89	6,01
	Octobre	6,43	6,56
	Novembre	6,63	6,93
	Décembre	6,04	6,29
		6,48	6,73
		6,46	6,73
1965		5,88	5,84
1966		6,00	6,11
1967		6,39	6,70
1968		6,07	6,27
1969		6,06	6,30
1970		6,62	6,95
1971		6,76	7,14
1972		6,68	7,07
1973		6,89	7,26
1974		6,72	7,02
1975		6,73	7,04
1976		6,47	6,69
1977		6,74	7,06

Si l'on compare les moyennes climatiques interannuelles du lac Tchad et du lac de Bam

TABLEAU 30

	T ABRI	E2 ABRI	T COL	U2 ABRI	ΔE ABRI	ELAC calculée	
						(1)	(2)
Lac Tchad	26,6	16,8	26,0	2,04	17,7	6,48	6,73
Lac de Bam	27,7	16,9	27,3	1,58	19,9	6,45	6,54

On peut voir qu'il n'y a pas de différences considérables sur les moyennes climatiques interannuelles, à l'exception du vent :

- La température sous abri est plus faible à Bol-Matafo qu'à Saint-Paul, l'influence rafraîchissante du lac et sans doute les minimas annuels sont déterminants ;
- Les tensions de vapeur d'eau de l'air sont identiques ;
- La température superficielle du Colorado est encore inférieure à Bol ;
- Le vent à Bol-Matafo est très nettement supérieur à celui de Bam ;
- Le déficit de saturation est par contre assez nettement plus grand à Bam qu'au lac Tchad.

Au total l'évaporation du lac Tchad serait donc sensiblement supérieure à celle du lac de Bam, et surtout répartie beaucoup plus uniformément en cours d'année. Mais l'irrégularité interannuelle est plus élevée.

L'ajustement des distributions de l'évaporation annuelle des treize années d'observations à une loi de Gauss demeure satisfaisante.

$$\begin{array}{l|l} \text{formules (2)} \quad \overline{\text{ELAC}} = 6,73 \text{ mm/j} & \text{formules (1)} \quad \overline{\text{ELAC}} = 6,46 \text{ mm/j} \\ \sigma\text{ELAC} = 0,454 \text{ mm/j} & \sigma\text{ELAC} = 0,346 \text{ mm/j} \\ \text{Int. conf. à 95\%} \quad \overline{\text{ELAC}} = 6,73 \pm 0,25 \text{ mm/j} & \overline{\text{ELAC}} = 6,46 \pm 0,19 \text{ mm/j} \end{array}$$

soit

$$\begin{array}{l} (1) \quad 2289 \text{ mm} < \overline{\text{ELAC}} \text{ annuelle} < 2427 \text{ mm} \\ (2) \quad 2365 \text{ mm} < \overline{\text{ELAC}} \text{ annuelle} < 2548 \text{ mm} \end{array}$$

Les variations interannuelles peuvent s'estimer à :

	ELAC (1)	ELAC (2)
Décennale sèche	6,02 mm/j - 2 197 mm	6,15 mm/j - 2 245 mm
Quinquennale sèche	6,17 mm/j - 2 252 mm	6,35 mm/j - 2 318 mm
Moyenne	6,46 mm/j - 2 358 mm	6,73 mm/j - 2 456 mm
Quinquennale humide	6,75 mm/j - 2 464 mm	7,11 mm/j - 2 595 mm
Décennale humide	6,90 mm/j - 2 519 mm	7,31 mm/j - 2 668 mm

Il est bien difficile de faire un choix entre les ajustements (1) et (2) comme nous l'avons déjà dit précédemment, particulièrement dans ce cas où le vent U2 ABRI est nettement plus élevé que celui pour lequel les formules avaient été établies au lac de Bam.

Nous donnerons toutefois la préférence aux équations (2) qui nous paraissent plus sensibles.

5.3. CONCLUSION

En fait, si l'on peut à juste titre accorder aux valeurs de ΔE ABRI une représentativité assez bonne du climat régional, il est probable que U2 ABRI n'est que très médiocrement représentatif des vents régionaux sur le lac Tchad. Or nos estimations de l'évaporation dépendent directement de ce paramètre mal connu.

Il semble donc bien difficile de faire confiance à des formules de ce type pour le calcul de l'évaporation annuelle. Il serait préférable, cette dernière étant estimée par une autre méthode, de déterminer avec nos formules le vent moyen correspondant, et de ramener les vents mensuels à des valeurs homogènes. L'utilisation de nos formules permettrait alors de déterminer une répartition mensuelle des évaporations satisfaisante.

Il y a donc lieu en fait de « caler » ces formules dans chaque cas, car il est bien délicat de définir précisément la notion de représentativité pour des vitesses de vent mesurées en un lieu et à une hauteur de toutes façons arbitraires.

6. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Nous avons donc essayé de rédiger une première synthèse partielle des données dépouillées de l'étude de l'évaporation du lac de Bam. Les résultats et formules proposées s'appuient sur des dépouillements certes fragmentaires, mais choisis de façon à être représentatifs des différentes situations climatiques du lac ; la bonne adéquation entre les valeurs calculées et mesurées directement de l'évaporation paraît à nos yeux justifier l'extrapolation de ces résultats à des situations comparables, et permet une meilleure connaissance de l'ampleur du phénomène évaporatoire à diverses échelles de temps allant de la journée à l'année.

Ces résultats sont donc généralisables aux observations météorologiques existant, dans des régions de climat comparables, à des stations météorologiques de situation similaire. La méthode repose en effet sur deux paramètres ΔE ABRI et U2 ABRI. Il ne semble pas qu'il y ait lieu de craindre une trop grande variabilité dans la représentativité de ΔE ABRI. Par contre le concept de « vent à 2 m » est essentiellement aléatoire, car beaucoup trop lié aux conditions du micro relief aux abords immédiats de la station choisie, et nous croyons qu'il y a lieu de procéder à des ajustements des formules, au niveau annuel si cela est possible, pour les utiliser au niveau mensuel plus rarement accessible.

Il convient également de conserver à l'esprit la forme et l'orientation très singulières du lac de Bam, support de cette étude.

Nous avons néanmoins appliqué brutalement ces résultats sans ajustements au lac Tchad, avec une réussite inespérée, due certainement aux implantations très comparables des stations de Saint-Paul et de Bol-Matafo, ce qui traduit, au moins, une certaine continuité dans la définition d'une station météorologique représentative aux yeux des hydrologues de l'ORSTOM !

Il faut souhaiter que le travail ainsi amorcé puisse se poursuivre et déboucher sur une meilleure connaissance des échanges énergétiques, à l'échelle horaire, journalière, mensuelle et annuelle, entre les différentes composantes du système : « énergie solaire, atmosphère, lac, sol ». Il est certain que le bilan de grande longueur d'onde n'est actuellement qu'à peine ébauché avec les moyens d'investigation disponibles.

Le principal intérêt de cette note nous semble être d'avoir mis en évidence que, sous ce type de climat, l'évaporation d'une grande nappe d'eau libre est avant tout dépendante de l'état de sécheresse de l'air environnant, beaucoup plus que de l'énergie radiative solaire disponible, le « système » parvenant toujours à trouver à côté toute l'énergie nécessaire à l'évaporation potentiellement possible.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] IBIZA (D.) — Mesure de l'évaporation d'un lac en climat sahélien. Lac de Bam (premiers résultats). *Cahiers ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. IX, n° 3, 1972, pp. 45-64.
- [2] POUYAUD (B.) — *Etude du lac de Bam* — Le régime hydrologique. Document ronéotypé, juin 1975, 37 p. + graph.
- [3] POUYAUD (B.) — *Etude du lac de Bam* — Description d'une installation pour la mesure continue de l'évaporation d'une nappe d'eau libre. Document ronéotypé, juin 1975, 38 p. + graph.
- [4] POUYAUD (B.), DUBOIS (G. J.), LEDUC (P.) — *Etude du lac de Bam* — 3 années d'observations du vent à la station climatologique de Saint-Paul : 1973-1974-1975. Document ronéotypé, juillet 1976, 48 p. + graph.
- [5] POUYAUD (B.), DUBOIS (G. J.), LEDUC (P.) — *Etude du lac de Bam* — Observations climatologiques aux stations de Saint-Paul, Kongoussi et Bam — année 1973. Document ronéotypé, 1975, 116 p.
- [6] POUYAUD (B.), DUBOIS (G. J.), LEDUC (P.) — *Etude du lac de Bam* — Observations climatologiques aux stations de Saint-Paul, Kongoussi et Bam — année 1974. Document ronéotypé, 1976, 142 p. + graph.
- [7] POUYAUD (B.), DUBOIS (G. J.), LEDUC (P.) — *Etude du lac de Bam* — Observations climatologiques aux stations de Saint-Paul, Kongoussi et Bam — année 1975. Document ronéotypé, 1976, 138 p. + graph.

- [8] POUYAUD (B.), DUBOIS (G. J.), LEDUC (P.) — *Etude du lac de Bam* — Observations climatologiques aux stations de Saint-Paul, Kongoussi et Bam — année 1976.
Document ronéotypé, 1977, 109 p. + graph.
- [9] POUYAUD (B.) — *Etude de l'évaporation d'un lac en climat soudano-sahélien. Le lac de Bam.*
Rapport provisoire, 33 p., janvier 1979.