

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Service hydrologique

# L'ÉVAPORATION D'UNE NAPPE D'EAU LIBRE DANS LE BASSIN DU JAGUARIBE

(BRÉSIL)

par

Georges GIRARD  
Directeur de recherches à l'O.R.S.T.O.M.

D8  
GIR

PARIS, Juillet 1966

7287

OFFICE de la RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE  
OUTRE-MER  
-----

Service Hydrologique

L'EVAPORATION d'une NAPPE d'EAU LIBRE  
dans le BASSIN du JAGUARIBE (BRESIL)

---

par

Georges GIRARD  
Directeur de recherches à l'ORSTOM

---

PARIS, Juillet 1966

D 8  
GIR

7287 ~~1~~

Au cours des diverses études hydrologiques réalisées au sein du Groupe d'Etudes du Val du JAGUARIBE (BRESIL), nous avons, pour de nombreux bassins versants, mis à jour toutes les caractéristiques hydrologiques de ceux-ci ; à savoir, pluviométrie, corrélation hydropluviométrique, lame écoulée annuelle, interannuelle, débit maximal de crue annuelle ou décennale, etc... Toutes ces données sont contenues dans la monographie hydrologique et les nombreux volumes du rapport "Les Eaux de Surface".

Il est certain qu'une politique rationnelle de gestion des grandes retenues publiques et de construction de nouvelles retenues doit s'appuyer sur la connaissance la plus précise possible du bilan hydraulique de ces retenues et cela sur de nombreuses années puisque nous devons déterminer les possibilités maximales d'utilisation des eaux en essayant de faire fonctionner fictivement ces retenues sur toute une période. Les termes les plus importants de ces bilans sont, par ordre d'importance décroissante :

- a) les apports du bassin versant situé en amont du site de la retenue,
- b) les évaporations mensuelles sur la retenue,
- c) les précipitations directes sur la retenue,
- d) les pertes par infiltration.

De l'application de ces données à un açude défini par ses caractéristiques physiques sur une période fictive, on peut déduire les possibilités d'utilisation en eau de cet ensemble bassin versant-retenue.

A l'heure présente, les termes a) et c) de ces bilans sont relativement bien connus pour l'ensemble des bassins du JAGUARIBE (monographie, étude pluviométrique, étude du CARIRI et du SITIA), mais nous ne connaissons la valeur des évaporations mensuelles sur une grande retenue qu'avec une certaine approximation et nous considérons très souvent comme négligeables, les pertes par infiltration dans nos recherches.

Dans l'étude présente, nous avons voulu mettre en évidence les divers moyens d'obtenir une estimation correcte de l'évaporation mensuelle, annuelle ou même journalière et

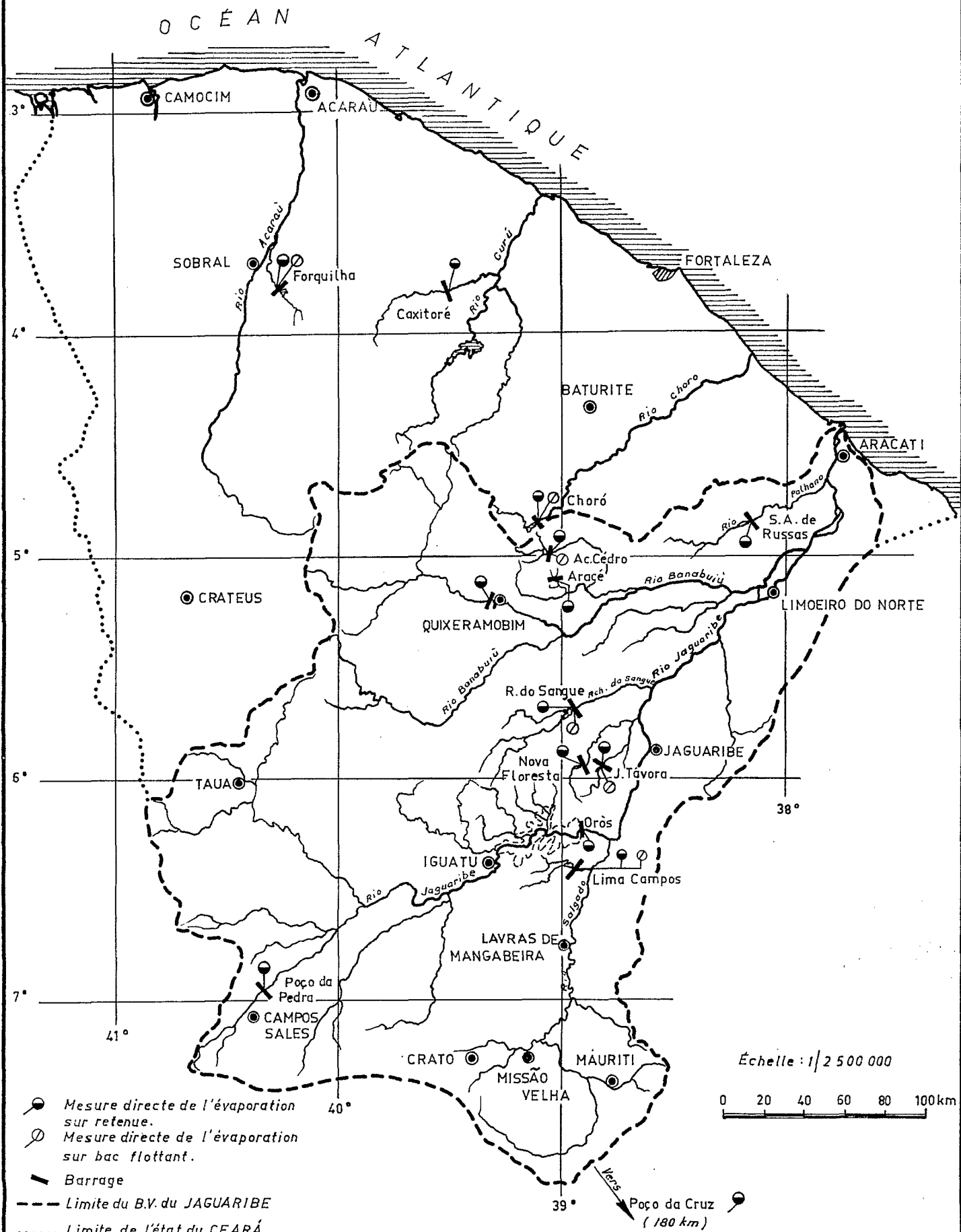
les précautions nécessaires à prendre pour y arriver.

Nous verrons successivement la détermination directe de l'évaporation sur certains açudes par le calcul du bilan hydraulique de celui-ci ; la détermination indirecte de l'évaporation sur nappe d'eau libre par l'intermédiaire des mesures d'évaporation sur bacs évaporatoires de différentes classes (classe A, bac enterré, bac flottant), et l'utilisation des coefficients de passage entre ces bacs et les retenues de superficies différentes.

Toutes les données actuellement connues sont portées dans cette note. Il en existe très certainement d'autres que nous n'avons ni connues ni utilisées, en particulier celles des bacs flottants et des bacs de classe "A" récemment installés et relativement éloignés des retenues. Nous nous sommes efforcés de dépouiller toutes les données fournies par l'observation de tous les açudes du bassin du JAGUARIBE.

Ces travaux longs et fastidieux nous ont permis d'estimer l'évaporation sur une retenue quelconque du bassin du JAGUARIBE ; mais des écarts importants subsistent entre les divers résultats. Des observations très précises durant quelques années pourraient atténuer ces écarts et améliorer nos connaissances de l'évaporation.

# STATIONS DE MESURE DE L'ÉVAPORATION dans le CEARÁ (BRÉSIL)



## C H A P I T R E I

### DETERMINATION DIRECTE de l'EVAPORATION sur une RETENUE (ou ACUDE)

#### 1.1 - EXPRESSION du BILAN HYDRAULIQUE d'un ACUDE -

Après avoir défini tous les termes du bilan hydraulique de l'açude, nous écrirons que le volume des apports est égal pendant un temps donné à la variation du volume du réservoir augmenté du volume utilisé, du volume perdu et du volume déversé.

##### 1.1.1 - Les apports :

Le volume des apports pendant un temps déterminé est égal à la somme des apports propres du bassin versant exondé situé en amont de la retenue et des apports pluviométriques directs sur la retenue :

a) Les apports du bassin versant sont pour tous les açudes du Val du JAGUARIBE pratiquement inconnus tant à leur entrée qu'en un point situé à peu de distance en amont de celle-ci. Ainsi, nous ne pourrions déterminer les termes de ce bilan et les volumes perdus que pendant les périodes où les alimentations du bassin versant sont nulles. C'est ainsi que nous déterminerons les pertes par évaporation sur tous les açudes du Val du JAGUARIBE pour lesquels l'ensemble des autres mesures sont faites pendant la période de Juin à Décembre au cours de laquelle les alimentations sont inexistantes ou accidentelles.

b) Les apports pluviométriques en volume sont connus grâce aux données des stations pluviométriques voisines de l'açude et à la connaissance de la surface moyenne de l'açude pendant la période correspondante.

##### 1.1.2 - Le stockage :

La variation du volume du réservoir est facilement calculable à partir du relevé des cotes du plan d'eau aux termes de la période, à l'aide de la courbe hauteur-volume de l'açude, définie par les relevés topographiques précis de la retenue.

### 1.1.3 - Les pertes et les déversements :

Le volume utilisé et perdu se compose du volume d'eau utilisé pendant la période considérée, des volumes perdus par évaporation et par infiltration. Pour de nombreux açudes du Val du JAGUARIBE, les volumes des eaux destinées soit à l'irrigation, soit aux usages domestiques, sont régulièrement mesurés par les services utilisateurs, donc connus en volume pendant la période considérée.

Les volumes des eaux perdues par infiltration et par évaporation sont des inconnues parmi les termes du bilan quand tous les autres sont connus. Nous pourrions facilement dissocier les pertes par infiltration des pertes par évaporation. Généralement, les pertes par infiltration, surtout pour les açudes de grandes dimensions, sont négligeables devant les pertes par évaporation.

Les pertes par infiltration représentent les pertes directes à travers la digue en terre ou sous les assises de cette digue, les pertes par infiltration profonde dans l'intérieur de la retenue et les pertes occasionnelles aux vannes de vidange ou d'irrigation. Ces dernières peuvent être mesurables et préhensibles (cas de l'açude CEDRO) ; les secondes sont toujours nulles dans l'ensemble du JAGUARIBE où nous rencontrons son substratum granitique imperméable à plus ou moins grande profondeur ; par contre, les premières peuvent être visibles si elles sont de l'ordre de grandeur de 1 l/s, et parfois décelables au-dessous de cette valeur par les traces d'humidité apparaissant dans la vallée à l'aval de la digue où la végétation est luxuriante. Pour une grande retenue, elles deviendront négligeables vis-à-vis du terme évaporation. Quelques calculs aux chapitres suivants montreront l'ordre de grandeur des erreurs commises dans les divers cas étudiés. Mais elles peuvent devenir du même ordre de grandeur que l'évaporation pour de petits açudes (1).

Les volumes déversés peuvent être facilement évalués lorsque sont connus simultanément les cotes de déversement et l'étalonnage du déversoir. Pour l'ensemble des açudes observés, on peut dire qu'aucune mesure directe des débits instantanés déversés n'a été faite et que leur valeur ne peut être observée qu'en fonction des caractéristiques du déversoir.

## 1.2 - CALCUL de l'EVAPORATION sur le PLAN d'EAU d'un ACUDE -

### 1.2.1 - Evaporation annuelle :

L'évaporation annuelle ne peut être calculée, par

---

(1) Cf. "Les Eaux de Surface" volumes 2 et 2B sur le bassin de JUATAMA.

périodes de 15 ou 30 jours, que si nous connaissons parfaitement tous les termes du bilan (excepté le terme évaporation + infiltration) sur toute l'année.

À notre connaissance, le seul exemple de détermination de l'évaporation réelle sur un açude tout au long de l'année est celui de l'açude ARACÉ situé dans le bassin versant représentatif de JUATAMA près de QUIXADA et étudié par le GEVJ au cours des années 1964 et 1965, les résultats obtenus sont mentionnés dans les deux rapports "Eaux de Surface" de Décembre 1964 et de Décembre 1965 (1).

Rappelons les difficultés rencontrées pour obtenir en saison des pluies des valeurs acceptables de l'évaporation. Les apports du bassin versant de 19,2 km<sup>2</sup> sont contrôlés par la station limnigraphique de la CACHOEIRA parfaitement étalonnée et de très bonne qualité hydraulique (stabilité et sensibilité). Notons qu'une première source d'imprécision est due à la nécessité de supposer proportionnel à l'écoulement du bassin de CACHOEIRA (19,2 km<sup>2</sup>) l'apport total à l'açude provenant de 22,8 km<sup>2</sup> :

- Pendant la phase du remplissage, la valeur de l'évaporation déduite reste même assez imprécise bien que l'ordre de grandeur soit valable. Une erreur de 2 % sur la valeur des apports des périodes plus ou moins pluvieuses de 5 jours entraîne, à retenue presque pleine, une erreur de 20 à 40 % sur la détermination de l'évaporation.

- Pendant la phase de déversement, les erreurs sont alors multipliées par deux, même en prenant des précautions spéciales pour la mesure et le contrôle des volumes déversés.

Ces erreurs sont des erreurs maximales pour des courtes périodes de 5 jours. Elles se compensent fort heureusement sur de longues périodes ; l'évaporation ainsi déterminée en 1965 pour les mois pluvieux d'Avril, Mai et Juin est très voisine de l'évaporation probable d'une nappe d'eau libre :

- 133 mm en Avril
- 146 mm en Mai
- 155 mm en Juin

---

(1) Cf. "Les Eaux de Surface" volumes 2 et 2B sur le bassin de JUATAMA.



Pour cet açude, toutes les conditions d'observation et de contrôle sont favorables :

- section de jaugeage contrôlant les apports du riacho ARACÉ constituée par une dalle granitique (fidélité et sensibilité réunies) juste en amont de la retenue,

- contrôle des débits déversés par limnigraphe en aval du déversoir.

Ces mesures d'évaporation seront poursuivies sur la retenue d'ARACÉ au cours de l'année 1966 en améliorant la précision des mesures des apports et des déversements, mais l'erreur commise sur la mesure de l'évaporation en saison des pluies sera toujours élevée. Néanmoins, c'est actuellement le seul açude du JAGUARIBE où puisse être déterminée l'évaporation en saison des pluies.

#### 1.2.2 - Evaporation mensuelle de saison sèche :

Pour tous les mois où les apports du bassin versant sont nuls, c'est-à-dire de Juin à Décembre pour l'ensemble du Val JAGUARIBE, le bilan hydraulique de l'açude s'écrit :

$$\Delta V + \text{irrigation} - \text{précipitation} + \text{évaporation} + \text{infiltration} = 0$$

où si nous englobons E et I (I étant faible ou négligeable), nous avons :

$$E + I = P - \Delta V \quad (1)$$

Les variations de volume sont faciles à déterminer lorsque nous avons les relevés de hauteurs de l'eau dans la retenue et la courbe hauteur-volume de celle-ci ; le volume de précipitations est donné par la hauteur de pluie tombée à une station voisine et la surface moyenne de la retenue. Le volume irrigué ou utilisé est déterminé par le contrôle des débits des vannes de vidange. L'équation (1) est résolue pour tous les mois pour lesquels nous possédons simultanément l'ensemble des éléments ci-dessus.

Dans les tableaux I à V sont portées toutes les valeurs de l'évaporation mensuelle déterminées par cette méthode sur les açudes du Val du JAGUARIBE, où des mesures de tous les éléments ont été effectuées par la DNOCS.

TABLEAU I

CALCUL DIRECT de l'EVAPORATION sur l'ACUDE JOAQUIM TAVORA  
(hauteurs en millimètres)

Année	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Total de Juin à Décembre
1956										253			
1957		180	185	210	234	268	261	253	213	210	205	180	1 591
1958	177	186	197	(223)	(259)	(273)	248	245	204	((188))			1 631
1959		176	191	191	254	273							
1960		((160))	199	209	217	260	263	263	((191))				1 571
1961		171	188	230	(227)	(234)	(241)	(211)	(217)	(151)			1 502
1962		((160))	162	240	204	266	229	((148))	178				1 409
1963		((160))	154	185	210	242	208	242					1 401
Valeur probable ou médiane	160	170	195	210	225	250	245	235	200	180	160	150	1 530

- entre ( ) l'évaporation est estimée

- entre (( )) l'évaporation est douteuse car il y a risque d'écoulement

TABIEAU II

CAICUL DIRECT de l'EVAPORATION ACUDE SANTO ANTONIO DE RUSSAS  
(hauteurs en millimètres)

Année	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct	Nov	Déc	Total de Juin à Décembre
1957	148	195	((150))	((145))	((145))	162	164	259	149	246	231	217	1 428
1958	232	206	211	203	146	176	(186)	(206)	(230)	254	256	236	1 544
1959	157				148	((155))	204	218	251	284	281	264	1 657
1960	239	241					186	188	225	205	204	346	1 659
1961							153	151	239	230	220	240	1 473
1962								176	(204)	(210)	269	216	1 444
1963	96						132	142	217	228	169	215	1 301

- entre ( ) l'évaporation est estimée

- entre (( )) l'évaporation est douteuse car il y a risque d'écoulement

TABLEAU III

CAICUL DIRECT de l'EVAPORATION LIMA CAMPOS  
(hauteurs en millimètres)

Année	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct	Nov	Déc	Total de Juin: à Décembre
1934									223	250			
1935						135	160	218	203	207	227	244	1 394
1936	178					138	200	188	226	237	207	216	1 412
1937						173	186	209	219	238	229	239	1 493
1939						170	187	216	194	164	198	(265)	1 394
1940	182					(140)	174	207	216	237	238	235	1 447
1947	160					181	180	203	216	261			
1948	179	191				169	(190)	(203)	205	265	258	238	1 528
1949	219					174	207	255	251	294	249	236	1 665
1957	156	220	((148))	((153))	183	235	201	205	236	295	264	169	1 605
1958	189	160	206	212	((160))	212	203	265	320	346	312	232	1 890
1959	207					174	237	220	282	317	290	302	1 822
1960	251	175			176	179	222	246	224	280	225	221	1 597
1961	199					174	208	238	257	311	293	254	1 735
1962		(198)				162	194	243	233	270	247	236	1 585
1963	223					180	213	228	241	297	227	215	1 601

- entre ( ) l'évaporation est estimée

- entre (( )) l'évaporation est douteuse car il y a risque d'écoulement

TABLEAU IV

CALCUL DIRECT de l'EVAPORATION ACUDE RIACHO DO SANGUE  
(hauteurs en millimètres)

Année	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct	Nov	Déc
1959						167	127	165	170	215	235	211
1960	144	92					179	164	177	195	205	193
1961	78						176	159	195	172	204	182
1962							51	195	198	157	168	95
1963							118	163	177	172	106	Impos. <0
1964									213	251	213	214
Médiane						(130)	130	165	190	195	205	190

- entre ( ) l'évaporation est estimée

- entre (( )) l'évaporation est douteuse car il y a risque d'écoulement

TABLEAU V

CALCUL DIRECT de l'EVAPORATION sur l'ACUDE CEDRO  
(hauteurs en millimètres)

Année	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Total de Juin à Décembre
1919			223	254							
1925									292	214	
1926			276	248	152	352	250	154			1 602
1928				182	300						
1933		170	175	210	250	259	206	200			1 470
1934		(165)	219	181	204	238	194	139			1 340
1935				186	251	235	189	267			
1936		(149)	155	233	219	250	208	254	221		1 468
1937			180						231		
1938		(173)	209	224	235	253	280	(203)	188	203	1 577
1939		176	(193)	185	289	234	269	(299)	(190)		1 645
1957		115	109	161	176	351	293	284			1 489
1962		192							230	192	
1963		163	198	207	219	233	219	241	255		1 480
1964	((150))	((155))	((160))	170	178	197	186	181			1 227
1965									178	147	

- entre ( ) l'évaporation est estimée

- entre (( )) l'évaporation est douteuse car il y a risque d'écoulement

- 1 : Açude JOAQUIM TAVORA
- 2 : Açude SANTO ANTONIO do RUSSAS
- 3 : Açude LIMA CAMPOS
- 4 : Açude RIACHO do SANGUE
- 5 : Açude CEDRO

Pour que ces déterminations soient précises, il est nécessaire :

a) que l'ensemble des mesures des cotes du niveau de la retenue soient faites au  $\frac{1}{2}$  cm près, ce qui exige en particulier l'installation d'échelles limnimétriques avec graduations centimétriques sur les retenues. Elles rendent plus facile la tâche fastidieuse de l'observateur qui effectue actuellement ces mesures à l'aide d'échelles décimétriques,

b) qu'en ce qui concerne la mesure de la pluviométrie, quelques pluviomètres supplémentaires soient implantés sur la périphérie de la retenue,

c) et que la détermination des eaux utilisables soit réalisée par des contrôles de débits d'évacuation confirmant les valeurs calculées actuellement.

#### 1.2.3 - Evaporation journalière de saison sèche :

Etant donné les erreurs appréciables faites sur l'observation de la cote du niveau du plan d'eau, il est impossible de pouvoir calculer jour par jour l'évaporation. Il est même très délicat de vouloir faire ce calcul pour la période de 5 jours, lorsqu'on ne connaît les niveaux qu'au demi-centimètre près.

#### 1.2.4 - Cas particuliers de détermination de l'évaporation de saison sèche sur un açude et autres données :

##### 1.2.4.1 - Açude POCO da PEDRA :

Cet açude, situé près de CAMPOS SALES (Sud-Ouest du bassin du JAGUARIBE), possède une vanne de vidange ne fonctionnant que  $\frac{3}{4}$  d'heure par an afin d'assurer son entretien. Les évaporations mensuelles dans ce cas, en saison sèche, sont

alors égales à la variation de niveau augmentée de la chute de pluie (l'infiltration étant de l'ordre de 0,3 l/s - mesure d'Août 1964 - ne représente que 0,1 à 0,4 % de l'évaporation).

Ce réservoir est particulièrement favorable aux déterminations de l'évaporation ; malheureusement, les mesures des niveaux d'eau de l'açude sont peu correctes et des estimations sont parfois nécessaires pour certains mois de la période.

L'évaporation brute et l'évaporation corrigée pour la période Juin-Décembre, au cours des années 1960-1964, sont données ci-dessous :

ACUDE POCO da PEDRA

==== Période =====	Evaporation brute	Evaporation corrigée
: Juin à Décembre :	en mm	en mm
: 1960	: 1235 ou 1485 ?	: 1 305
: 1961	: 1 350	: 1 350
: 1962	: 699	: 1 295
: 1963	: 1 528	: 1 278
: 1964	: 1 240	: 1 240
: Moyenne	:	: 1 294

L'évaporation de Juin à Décembre de la nappe d'eau de l'açude POCO da PEDRA est de l'ordre de 1 300 mm malgré certaines incertitudes inhérentes aux observations. Un simple contrôle des observateurs par un ingénieur ou un agent technique qualifié, une ou deux fois par an, permettrait d'obtenir directement sans aucune mesure les valeurs mensuelles de l'évaporation, les irrigations étant nulles. De plus, l'açude ne déversant jamais, un contrôle des apports est facilement réalisable aux moindres frais. La présence de très nombreuses retenues situées à l'amont est responsable de la très faible alimentation du bassin versant actif.



1.2.4.2 - Açude de QUIXERAMOBIM :

Le tarissement final de l'écoulement sur le bassin versant du RIO QUIXERAMOBIM à QUIXERAMOBIM se produit en général entre fin Juillet et fin Août. Il en résulte que les évaporations pour les mois de Juin et Juillet doivent être estimées. Nous avons, au cours des mois de la saison sèche, un pompage régulier dans l'açude QUIXERAMOBIM pour l'alimentation en eau de la ville de QUIXERAMOBIM. En première approximation et selon les données recueillies par l'hydrologue auprès du gérant de la station de pompage, le fonctionnement des pompes dure à peu près 8 heures par jour à un débit maximal voisin de 60 m<sup>3</sup>/h. Ce qui représente au maximum 14 400 m<sup>3</sup> par mois soit environ une tranche de 13 mm de hauteur d'eau au cours de la période (l'açude étant plein en Juillet). Nous pouvons ainsi corriger les valeurs de l'évaporation mensuelle de la nappe d'eau de l'açude QUIXERAMOBIM ; elles figurent dans le tableau ci-dessous pour la période Juin-Décembre :

: ===== :	
: Période Juin-Décembre :	: Evaporation en mm :
: ----- :	
: 1961 :	: (1317) :
: 1962 :	: 986 ?? :
: 1963 :	: (1302) :
: 1964 :	: 1300 :
: ===== :	

(1317) : indique que pour un mois l'évaporation a été estimée

986 ?? : valeur douteuse par suite soit d'un phénomène extérieur inconnu, vidange régulière de nombreux açudes, soit plutôt de l'inexactitude des relevés de hauteurs d'eau au cours de l'année

Pour cet açude, l'évaporation de la période Juin-Décembre est de l'ordre de 1 300 mm.

1.2.4.3 - Açude OROS :

Jusqu'en Novembre 1964, date de la mise en service du tunnel OROS - LIMA-CAMPOS, il n'y a pas eu d'irrigation

Avant cette date, les évaporations des mois de Juin et Juillet ont été estimées en tenant compte des volumes d'eau écoulés à la station hydrométrique d'IGUATU afin d'établir le bilan.

A partir de Novembre 1964, ne connaissant pas les ouvertures de vannes et les volumes écoulés mensuellement par le tunnel, nous avons déterminé ceux-ci grâce au bilan de l'açude LIMA-CAMPOS pendant les mois de Novembre et Décembre 1965 soit  $5,3 \cdot 10^6$  et  $10,95 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>. Il est également possible de calculer ces volumes et les évaporations pour Janvier et Février 1965.

Dans le tableau ci-dessous, sont portées les valeurs des évaporations mensuelles déterminées pour l'açude OROS :

EVAPORATION AÇUDE OROS (en mm)

Année	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Période Sept. à Déc.
1962					251	250	202	536 <sup>⊗</sup>	829
1963					200	(250)	169	(188)	(807)
1964		(160)	185	183	180	212	202	210	804
Valeur mensuelle probable		155	175	185	195	210	210	200	815

- entre ( ), déterminée sur la période visiblement correcte.  
<sup>⊗</sup> valeur douteuse

Comme on peut le constater sur le tableau, des anomalies sont relevées : 536 mm en Décembre 1962 ; quant à Décembre 1963, ni la chute de pluie de Décembre (30 mm), ni les relevés hydrométriques de la station de CORREDORES ne laissent présumer une remontée du plan d'eau de 3,55 m représentant un apport de 30 millions de mètres cubes.

Des contrôles de l'observateur sont nécessaires pour obtenir des valeurs sûres et correctes. Néanmoins, on peut admettre que certaines mesures sont valables sur une période plus ou moins longue ; on voit ainsi que les

évaporations calculées sur la période Septembre-Décembre sont homogènes (829) - 807 et 804 mm. Nous pouvons estimer les valeurs probables de l'évaporation mensuelle sur la période Septembre-Décembre et même Juin-Décembre où l'on admet pour cette période une évaporation de 1 330 mm.

#### 1.2.4.4 - Açude CHORO :

Bien que cet açude ne soit pas dans le bassin du JAGUARIBE, son étude complète favorablement l'étude de l'açude CEDRO, les bassins étant voisins.

Pour cet açude, les eaux de consommation courante sont excessivement faibles en période normale et l'irrigation inexistante. Seule une conduite partiellement obstruée à l'aval, par du béton, coule tout au long des années et sert d'orifice de vidange permanente de l'açude depuis sa construction.

Le nombre d'habitants, d'après notre rapide enquête sur le terrain, est de l'ordre de 3 000 habitants consommant peu d'eau puisqu'il faut la transporter ; nous évaluerons à 30 l/par jour la consommation par habitant et à 40 l/par jour, celle des animaux dont le nombre n'excède pas 6 000 têtes, soit une consommation pour la période de Juin à Décembre de 70 000 m<sup>3</sup> et de 120 000 m<sup>3</sup> pour 1 an.

Le débit de la conduite dont les caractéristiques sont :

- longueur : 180 m
- diamètre : 300 mm
- cote prise : 207,2
- cote extrémité aval : 198,5

est proportionnel à la racine carrée de la charge totale.

Certaines valeurs du débit ont été déterminées le 21 Mai 1965 et le 19 Août 1965 par jaugeage au micromoulinet aux cotes 219,00 et 218,53, débits mesurés : 43,5 et 44,1 l/s. Une première mesure succincte faite au moulinet normal le 11 Avril 1965 donnait 28 l/s à la cote 217,52 et une plus ancienne de 26 l/s relevée dans les archives à des date et cote inconnues.

Il est possible de tracer la courbe donnant pour chaque cote la valeur du débit de cette conduite à l'aide des deux jaugeages récents et de la formule théorique.

Cette vidange permanente et la consommation représentent une tranche d'eau de 45 à 77 mm sur l'açude. Au voisinage de la cote 207,20, il y a interruption de vidange ; de telles interruptions se sont produites en 1954-1958 et 1959. Pour ces deux dernières années, remarquons que les évaporations calculées sur la période Juin-Décembre ne sont pas homogènes aux autres valeurs. Y aurait-il eu une augmentation exceptionnelle en ces années sèches ?

On observe sur le graphique de variation, année par année (graphique I), de l'évaporation mesurée sur la période de référence que les valeurs sont relativement faibles pour les années 1934 à 1940 et que 1958 et 1959 sont des années à évaporation excessivement forte. Le graphique II des évaporations classées confirme ces 2 remarques. 90 % des valeurs de la période 1934-1963 sont comprises entre 1310 et 1490 mm et leur moyenne est de 1410 mm (1425 mm si l'on conserve 1958 et 1959). La valeur de l'évaporation de la nappe d'eau de l'açude CHORO pour la période sèche Juin-Décembre de chaque année est de 1410 mm à  $\pm 6\%$ , 1410 mm étant la valeur moyenne établie sur 90 % des observations de la période 1934-1963.

Toutes ces observations, rassemblées dans un graphique (graphique III) donnant l'évaporation en fonction de la hauteur d'eau maximale dans l'açude, montrent seulement la tendance nette à la diminution de l'évaporation avec l'accroissement de la profondeur totale en eau, ce qui est tout à fait normal, mais cette tendance n'est pas facile à préciser sur cet exemple, étant donné la dispersion des points.

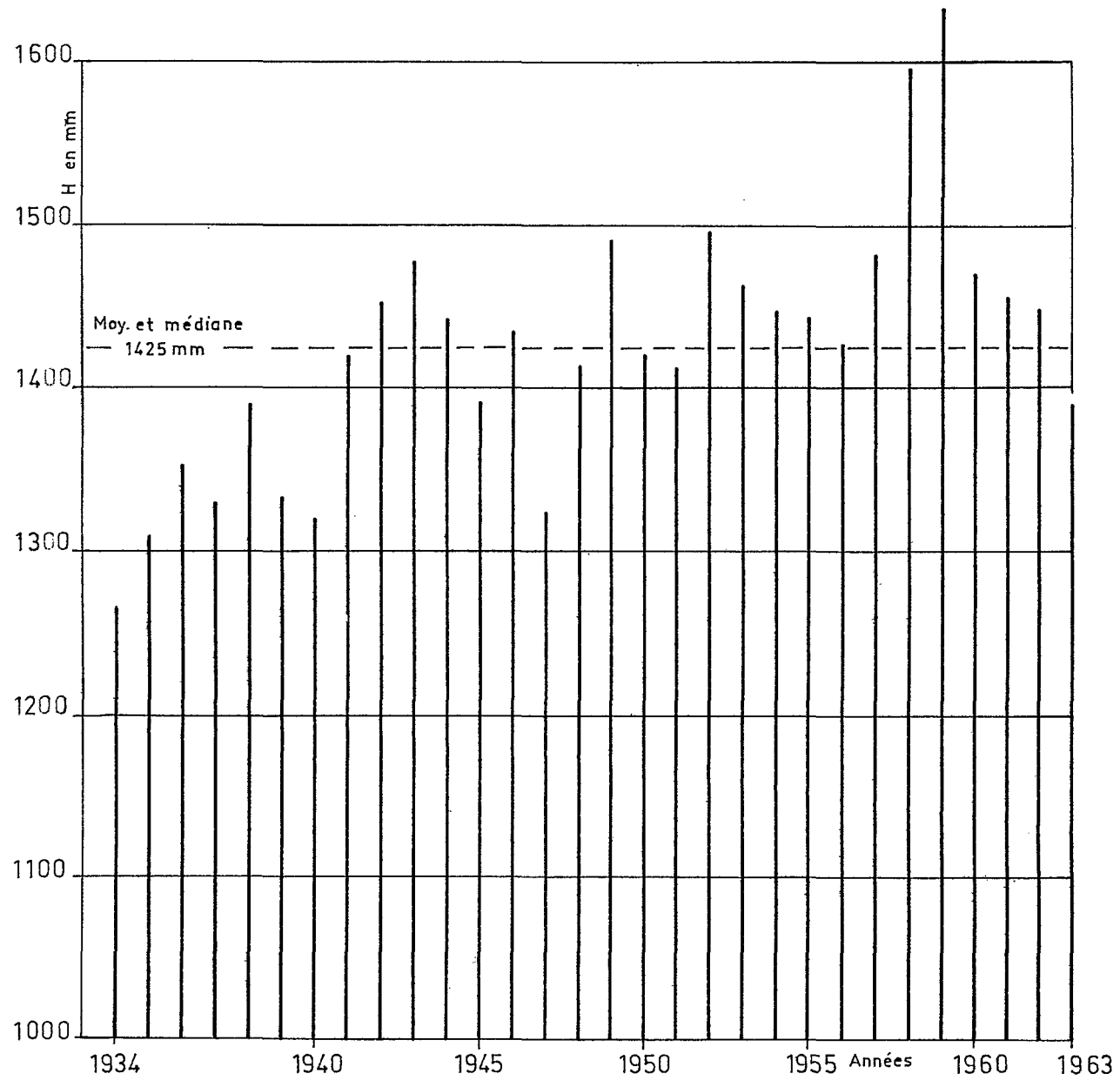
#### 1.2.4.5 - Açude POCO da CRUZ (Etat de PERNAMBOUC) :

Si les observations de niveau sont valables en 1960 et 1961, nous notons de grosses anomalies les années suivantes ; en Mars 1963, les précipitations abondantes n'entraînent même pas une remontée de l'açude (l'açude est un véritable pluviomètre). En Juillet 1962, la remontée du plan est quasi impossible, les pluviométries sont nulles sur le bassin. En 1963, les baisses journalières constantes du niveau au coeur de la saison des pluies sont inexactes ; le comble est atteint en Mai 1964 où l'açude monte régulièrement de 5 mm par jour pendant tout le mois.

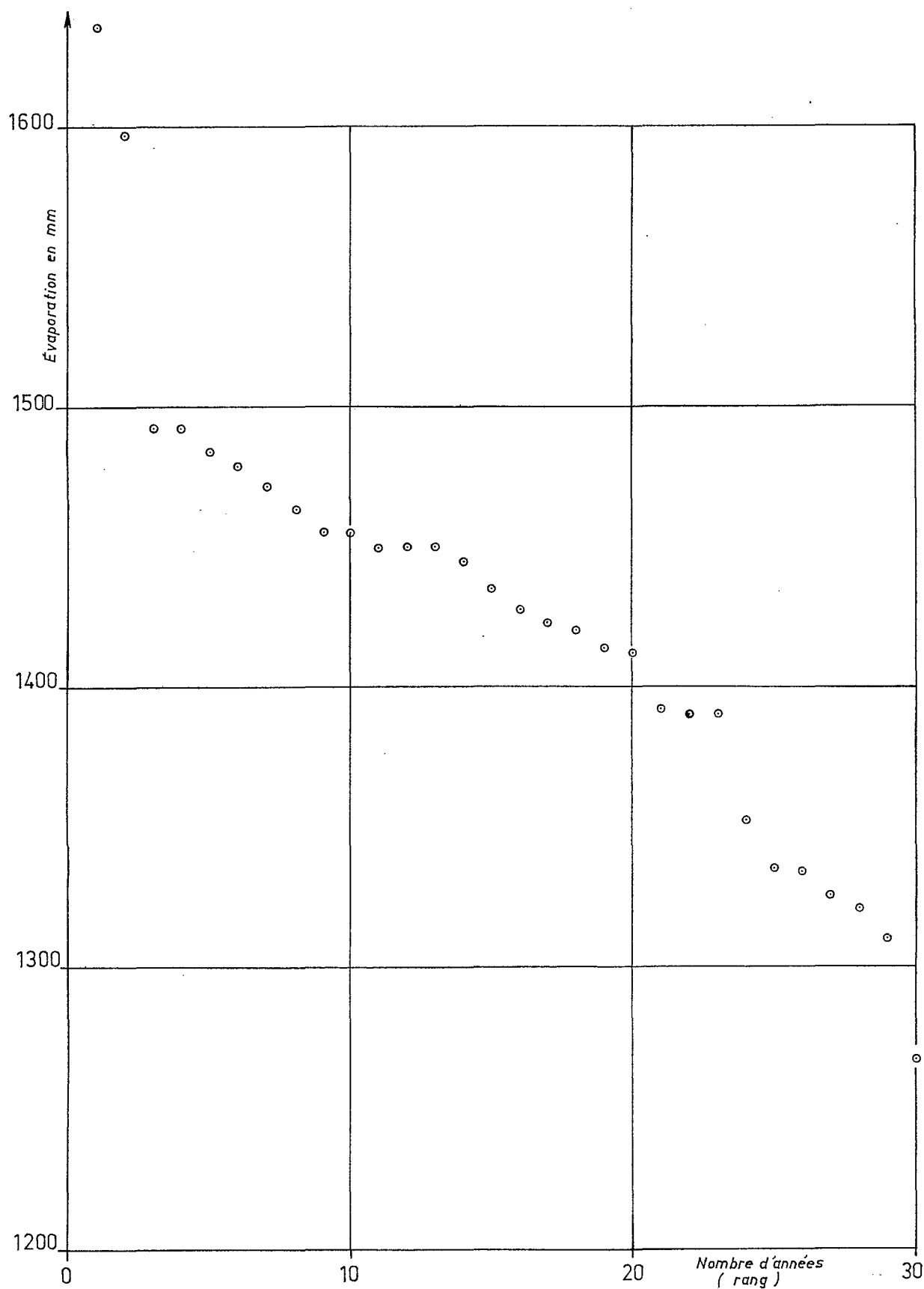
# ÉVAPORATION DE L'AÇUDE CHORÓ

## DE 1934 à 1963

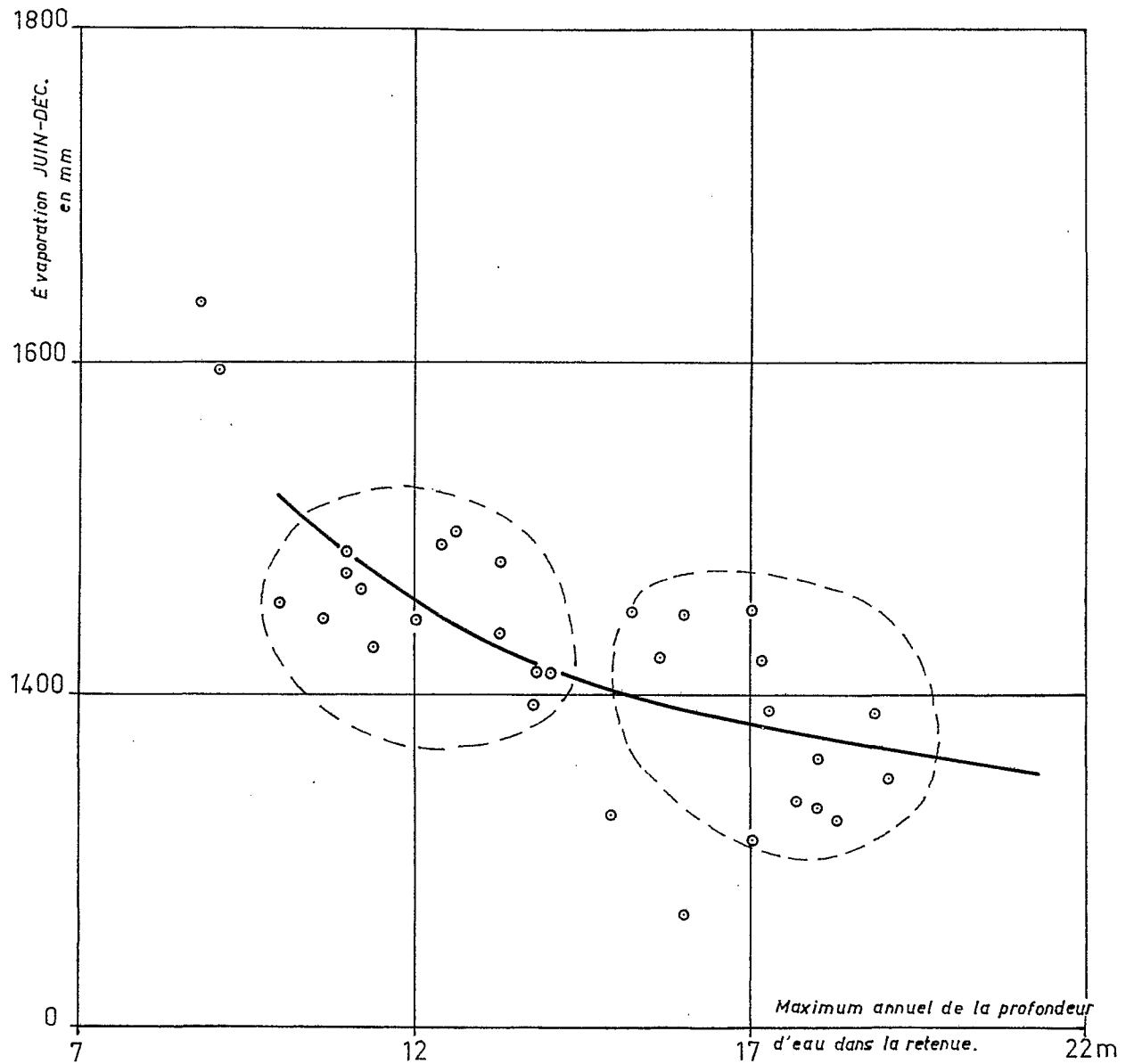
(JUN - DÉCEMBRE)



AÇUDE CHORÓ  
 ÉVAPORATION CLASSÉE (JUN-DEC.)  
 Période 1934-1963



## AÇUDE CHORÓ ( 1934-1963 )

L'évaporation en fonction de la profondeur  
de la retenue

Le tableau ci-dessous résume les données de l'évaporation en mm à l'açude POCO da CRUZ :

Année	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc
1960				(140)	-120	132	158	173	180	210	190	250
1961	(160)	140	(155)	(140)	156	136	140	161	180	200	220	202
1962	211	183	215*	140	144	90	40*	150	170	230	210	167
1963	190	145	163	114	118	103	133	133	120*	184	149*	(158)
1964									69*	200		
1965						110						
Valeur probable	190	170	150	140	140	140	155	170	180	220	220	205

Année	Juin à Déc.	Mai à Avril
1960	1293	2008
1961	1239	2144
1962	1057	1813
1963	980	
Valeur probable	1270	2070

( ) estimation

\* valeurs douteuses

Les mesures d'évaporation sur cet açude, pour être précises, nécessiteraient un contrôle de l'observateur et la mesure des débits entrant dans l'açude, afin de faire le bilan pour les mois à faible écoulement.



1.2.4.6 - Açude CAXITORE :

N'ayant aucune information sur la date de mise en route de la petite centrale hydro-électrique de l'açude CAXITORE, nous n'utiliserons pas les données de 1964 et 1965. Les valeurs de l'évaporation calculée mensuellement et pour la période Juin-Décembre sont données dans le tableau ci-dessous :

Année	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Juin-Décembre
1961		((160))	109	200	200	230	200	241	1340
1962	135	233	125	214	263	173	176	179	1363
1963		158	183	210	221	300	136	235	1443
Valeur probable	150	160	180	190	210	220	210	190	1360

Nota : Les gros écarts entre les évaporations de deux ou trois mois sont imputables aux erreurs d'appréciations des niveaux d'eau sur des échelles graduées de 10 cm en 10 cm.

1.3 - CALCUL APPROCHE des EVAPORATIONS de SAISON SECHE sur NAPPE D'EAU LIBRE -

Bien souvent, nous possédons pour de nombreux açudes les variations journalières de niveau du plan d'eau, et les précipitations recueillies à un poste voisin pendant les périodes sèches au cours desquelles les quantités d'eau utilisées, soit pour l'irrigation, soit par la consommation, ne sont pas connues.

1.3.1 - Première méthode :

Il est une hypothèse qui permet le calcul de l'évaporation réelle sur la nappe et de la quantité d'eau utilisée si l'on admet que l'irrigation en volume et la hauteur évaporée en cm restent dans un rapport constant d'une année à l'autre pour la même période, ce qui se vérifie assez souvent.

Si  $e$  est la hauteur évaporée exprimée en cm, les valeurs  $\Delta H - e$  représentant les hauteurs d'eau utilisées sont dans le rapport inverse des surfaces moyennes de l'açude pour ces mêmes années :

$$\frac{\Delta H_n - e}{\Delta H_{n+1} - e} = \frac{\overline{S}_{n+1}}{\overline{S}_n}$$

Nous déterminons ainsi, pour chaque couple d'années, la valeur de  $e$  et la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation d'autant mieux que les valeurs  $\Delta H_n$  et  $\Delta H_{n+1}$  seront très différentes.

Nous n'obtiendrons que les ordres de grandeurs de ces quantités (voir exemples d'applications ci-après : Açude NOVA FLORESTA).

#### 1.3.2 - Deuxième méthode :

Si nous portons dans un système d'axes de coordonnées rectangulaires en ordonnées les valeurs  $\Delta H$  (ou perte totale de la période Juin-Décembre exprimée en hauteur) et en abscisses la cote moyenne de la retenue, nous obtenons un ensemble de points se situant de part et d'autre d'une courbe moyenne que l'on peut tracer approximativement.

Trois points de cette courbe permettent de calculer trois couples de valeurs de  $e$  et de  $\Delta H - e$ . Les valeurs moyennes obtenues seront utilisées pour évaluer grossièrement l'évaporation en prenant une utilisation constante dans le temps. Elles permettent ainsi de tracer le graphique donnant l'évaporation en fonction de la hauteur d'eau à l'açude.

#### 1.3.3 - Troisième méthode :

Parfois nous savons que la quantité d'eau utilisée reste en général très faible mais non négligeable ; la tranche d'eau utilisée pour l'irrigation est alors minimale à retenue pleine. Ainsi, nous pouvons par excès déterminer l'évaporation en retenant par exemple toutes les années ayant donné lieu à un déversement ; nous avons ainsi un ordre de grandeur de la variation de l'évaporation avec une bonne précision. La valeur moyenne de l'évaporation est également estimable avec une bonne précision.

Ces trois méthodes ne peuvent donner que des ordres de grandeur de la valeur de l'évaporation, en général par excès car pour les années sèches, la quantité d'eau utilisée est toujours supérieure à la valeur moyenne admise et à ces années correspondent en général de faibles hauteurs d'eau dans les açudes.

1.3.4 - Exemples d'application :

a) Açude NOVA FLORESTA :

Appliquons la 1ère méthode aux couples des années consécutives : 1939-1940 ; 1941-1942 ; 1944-1945 ; 1948-1949 ; 1955-1956 ; 1957-1958 ; nous obtenons des évaporations comprises entre 1 100 mm et 1 670 mm et des volumes utilisés de 415 000 à 1 080 000 m<sup>3</sup> avec des valeurs moyennes de 1 383 mm et 680 000 m<sup>3</sup>.

Appliquons la 2ème méthode à l'ensemble des années observées; les trois couples de points choisis sur la courbe (graphique IV) donnent les valeurs suivantes : pour  $e$  1 330, 1 435 et 1 510 mm et pour  $U$  490, 590, 660.10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>. En prenant  $U = 580\ 000\ m^3$ , on calcule pour toutes les années la valeur de  $e$  et l'on trace le graphique  $e$  (H) (graphique V).

On constate que les plus fortes évaporations sont observées les années les plus sèches.

Le fait que la valeur de l'utilisation soit très variable rend aléatoire la détermination de l'évaporation.

Néanmoins, on peut évaluer à 1 300 mm l'évaporation minimale et à 1 600 mm l'évaporation maximale, l'évaporation médiane étant de 1 460 mm.

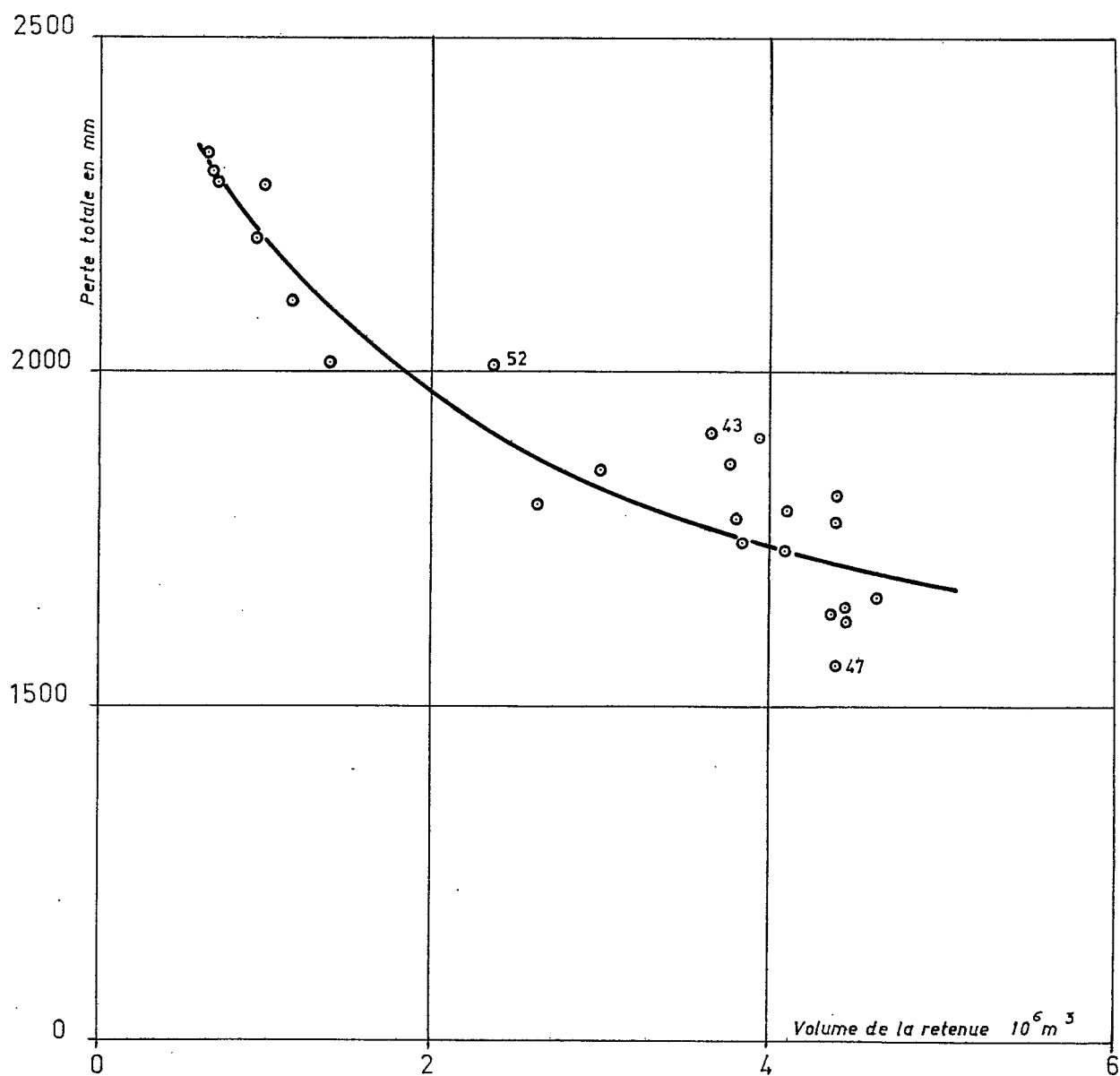
b) Açude JOAQUIM TAVORA :

Appliquons la 2ème méthode à l'ensemble des années observées, les trois couples de points choisis donnent :

pour  $e$  1 310, 1 370 et 1 430 mm avec moy. 1 370 mm  
pour  $U$  500, 565 et 785 000 m<sup>3</sup> d'eau, moy. 600 000 m<sup>3</sup>

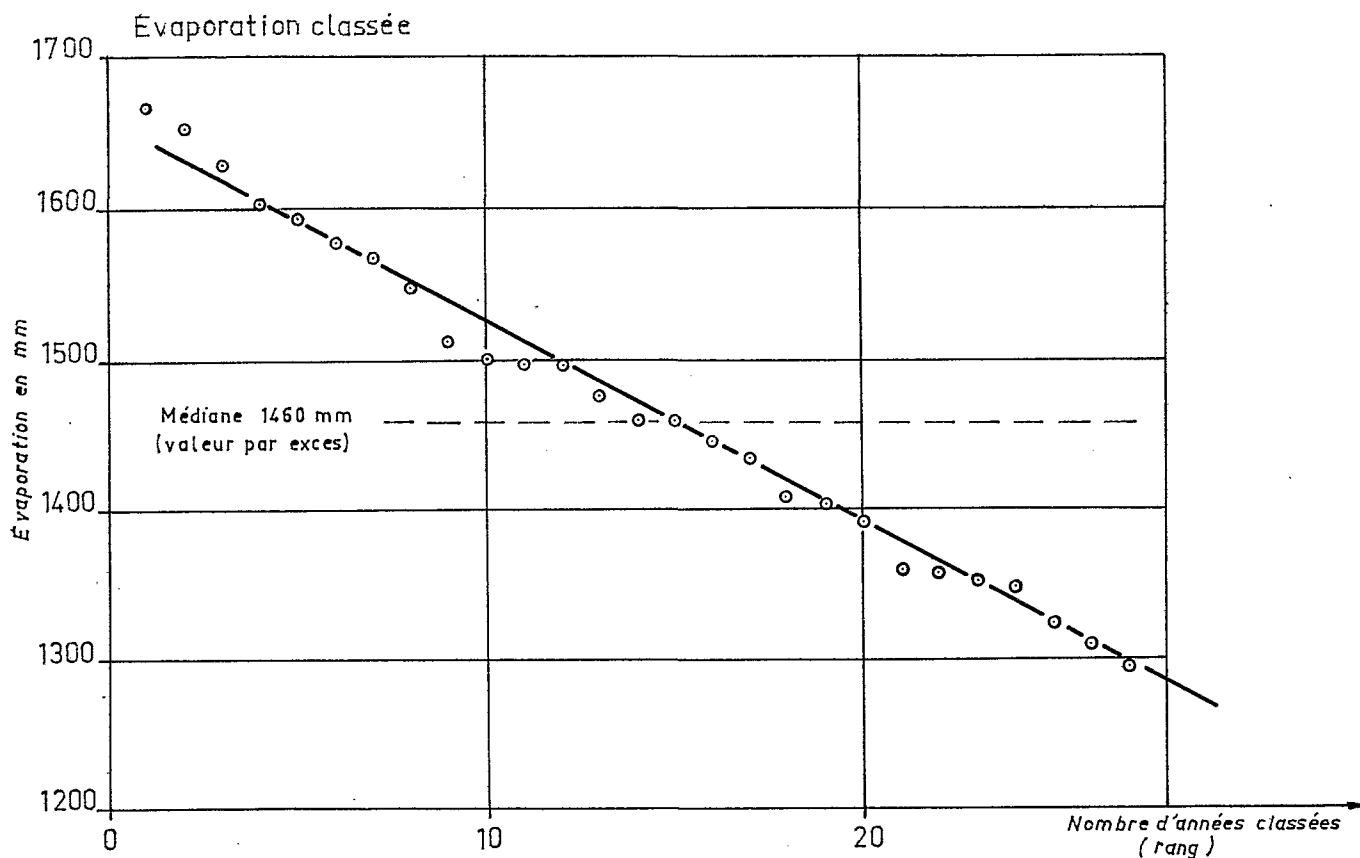
## PERTES DE L'ACUDE NOVA FLORESTA

(PÉRIODES JUIN-DÉCEMBRE)

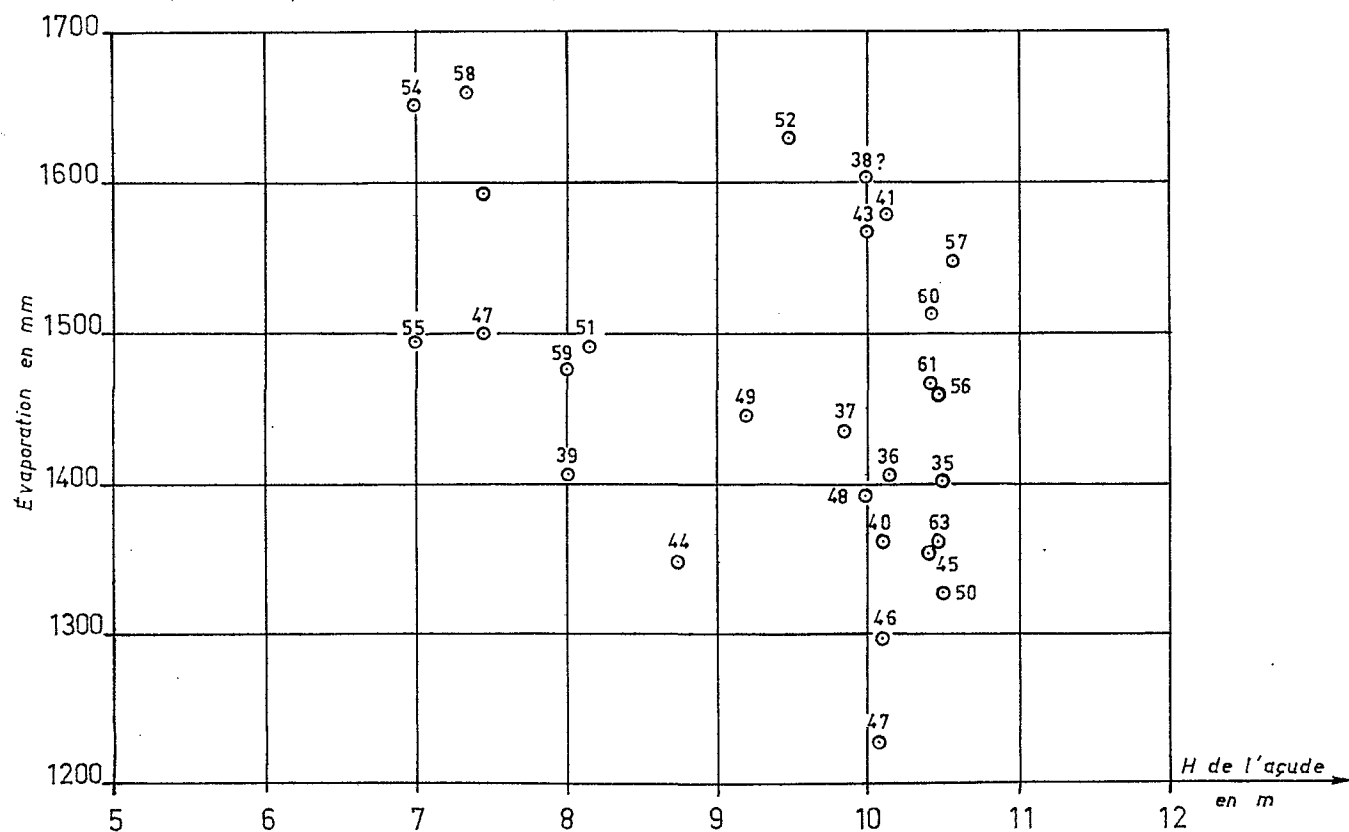


# AÇUDE NOVA FLORESTA

## ÉVAPORATION (JUIN-DEC.)



Évaporation calculée pour une utilisation de 580 000 m<sup>3</sup>



L'évaporation pour la période varierait de 1 250 à 1 550 mm, avec comme valeur médiane 1 420 mm.

Le graphique VI donne la distribution des valeurs observées de l'évaporation pour la période Juin-Décembre.

c) Açude SANTO ANTONIO do RUSSAS :

Nous avons, dans les données pour cet açude, des indications sur la valeur globale des irrigations : elles sont nulles en 1930, 31, 32, 33 et 1934 et relativement faibles jusqu'en 1948.

Nous retiendrons pour l'étude les observations de ces années, de celles où les irrigations sont connues et parmi toutes les autres de cet ensemble, toutes celles pour lesquelles un déversement de l'açude a eu lieu l'année antérieure. On obtient ainsi une série de douze années (1960 a été retenue, étant anormale) dont les extrêmes ont comme valeurs 1 310 et 1 470 mm avec comme valeur médiane 1 380 mm. La profondeur moyenne de l'açude au cours de ces années est de 10,00 mètres environ.

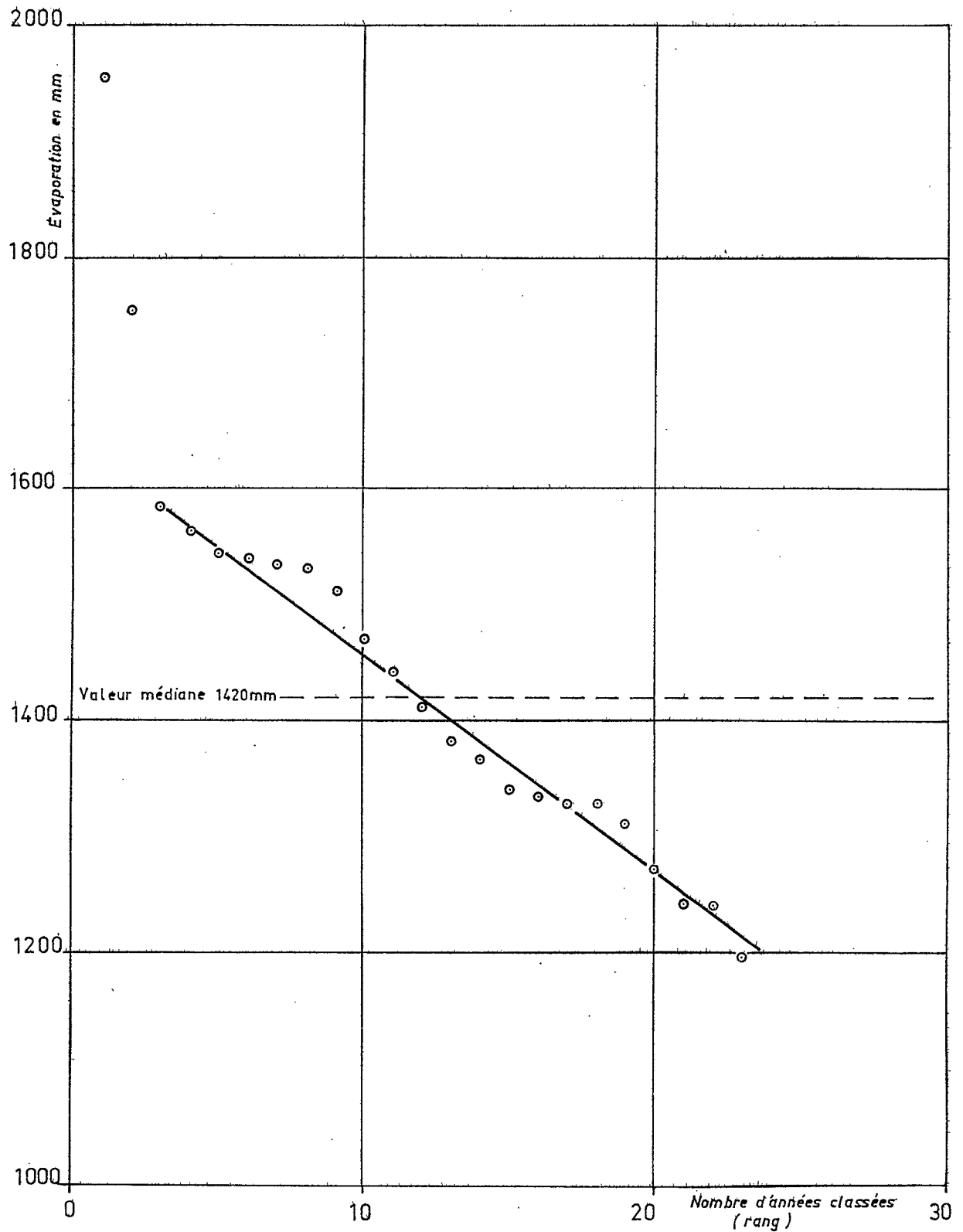
Nous pouvons également utiliser l'ensemble des observations avant 1948 et des valeurs exactes calculées après 1948 pour présenter le graphique donnant la valeur de l'évaporation en fonction de la profondeur moyenne d'eau dans l'açude au cours de la période (graphique VII). On obtient une évaporation de l'ordre de 1 700 mm pour 4 mètres d'eau,  
1 560 mm pour 6 " "  
1 460 mm pour 8 " "  
1 380 mm pour 10 " " au  
cours de la période Juin-Décembre de chaque année.

1.4 - CONCLUSION sur la DETERMINATION DIRECTE de l'EVAPORATION d'une RETENUE -

D'une manière générale, les évaporations mensuelles sont connues sur de nombreux açudes pour les périodes sèches, Juin-Décembre, de chaque année et sont pratiquement inconnues pour les périodes humides de Janvier à Mai, où d'ailleurs elles doivent être excessivement variables suivant que l'année a une pluviométrie faible, moyenne ou très forte.

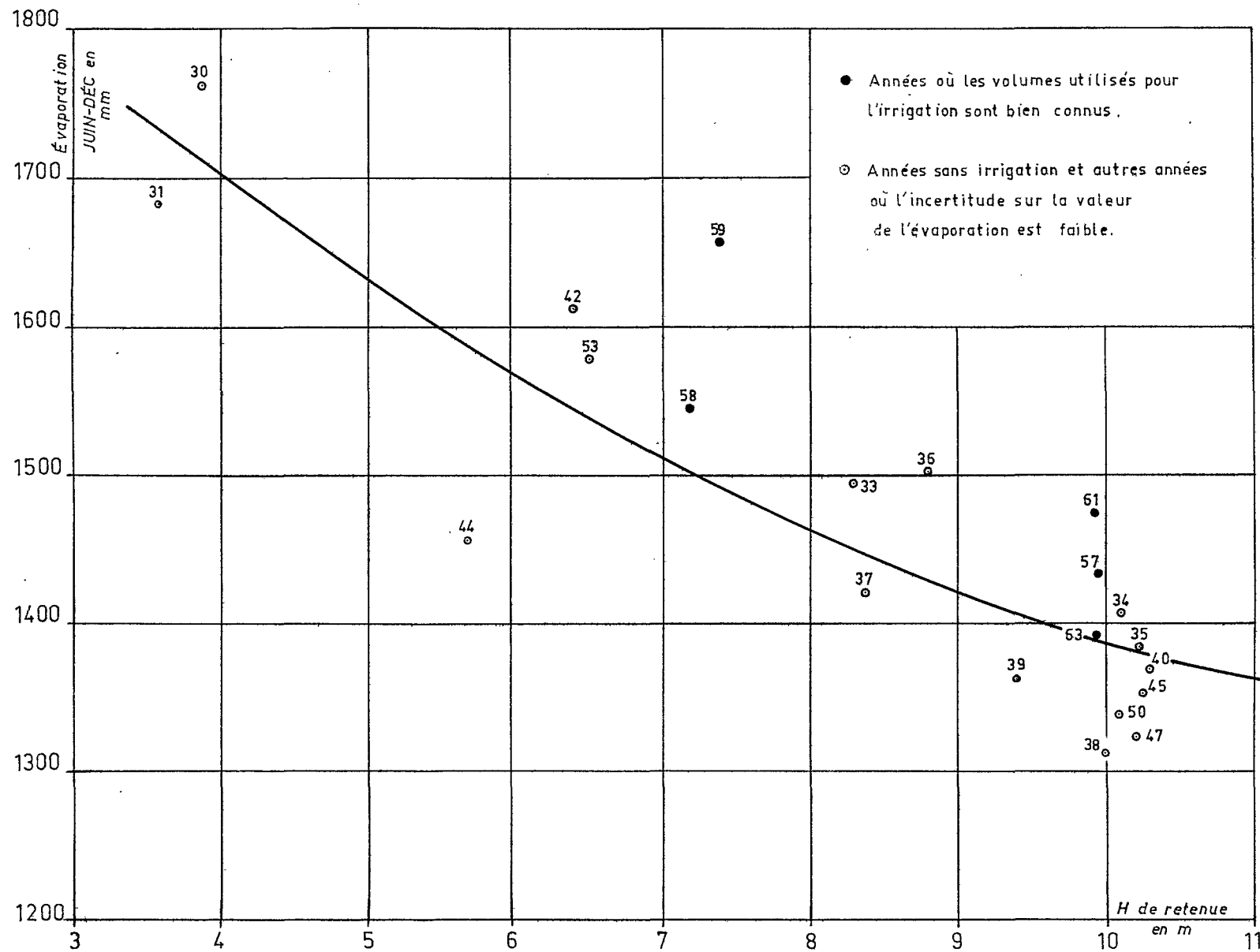
# AÇUDE JOAQUIM TAVORA

## ÉVAPORATION CLASSÉE (JUIN-DEC.)



# AÇUDE S<sup>to</sup> ANTONIO DO RUSSAS

## Évaporation de juin à décembre en fonction de la hauteur de retenue





Le tableau VI résume les données que nous avons obtenues soit par détermination exacte à partir de toutes les observations faites sur les açudes, soit par détermination approchée dans le cas où certaines données de consommation étaient inconnues, soit par estimation à partir de quelques données exactes.

Bien qu'il soit très intéressant de vouloir faire une synthèse de toutes ces données en faisant intervenir les facteurs importants : température de l'air, insolation, vent, altitude, surface et profondeur d'eau de la retenue, nous sortions du but de cette note qui n'avait d'autre ambition que de réunir la documentation et de la classer.

Nous avons donné au paragraphe 1.2.2 les valeurs des évaporations mensuelles déduites des données d'observations. Pour les 4 açudes: JOAQUIM TAVORA, SANTO ANTONIO do RUSSAS, LIMA CAMPOS et CEDRO, nous obtenons comme valeur médiane ou probable de l'évaporation déterminée pour les périodes Juin à Décembre, les chiffres suivants : 1 520, 1 473, 1 540 et 1 473 mm. D'autre part, les estimations ont fourni d'autres valeurs pour les açudes POCO da PEDRA, QUIXERAMOBIM, OROS, CHORO, NOVA FLORESTA, SANTO ANTONIO do RUSSAS, JOAQUIM TAVORA, valeurs exactes pour les premiers et approchées par excès pour les 3 derniers : 1 294, 1 300, 1 340, 1 410, 1 425, 1 380 et 1 420 mm. Les premières valeurs sont nettement supérieures à ces dernières. Ainsi les valeurs déterminées brutalement par la méthode du bilan global doivent être considérées comme entachées d'erreurs provenant très probablement d'une sous-estimation des quantités d'eau utilisées pour l'irrigation ou pour les usages domestiques.

Il est donc recommandable de contrôler les tarages des ouvrages de vidange de ces açudes ou de rechercher des fuites intempestives (vannes défectueuses, pertes importantes à travers la digue).

Signalons que les pertes de la vanne à l'açude CEDRO atteignent en 1965 plus de 17½ soit 310 000 m<sup>3</sup> en 7 mois, soit environ une tranche d'eau de 20 mm pour la retenue pleine.

Les données de l'açude LIMA CAMPOS montrent que l'irrigation reste relativement faible avant les années 1941-1942, et varie de 170 à 350 000 m<sup>3</sup> pour les 7 mois, ainsi la moyenne de  $e$  calculée sur la période 1934-1940 n'est-elle que de 1 410 mm contre 1 540 mm sur toute la période connue.

TABLEAU VI

EVAPORATION sur RETENUE - Période Juin-Décembre (en mm)

Année	Aç. CEDRO	Aç. LIMA CAMPOS	Aç. SANTO ANTONIO de RUSSAS	Aç. JOAQUIM TAVORA	Aç. CHORO	Aç. NOVA FLORESTA	Aç. CAXITORE	Aç. QUIXERAMOBIM	Aç. POCO de PEDRA
1933	1440			1494					
1934	1340			1406	1268				
1935		1404		1384	1310	1402			
1936	1468	1412		1502	1352	1406			
1937		1493		1420	1332	1435			
1938	1577			1312	1391	1604			
1939	1645	1394		1363	1335	1406			
1940		1447		1368	1321	1360			
1941					1421	1578			
1942				1612	1450	1500			
1943					1479	1566			
1944				1456	1445	1349			
1945				1352	1392	1352			
1946					1436	1297			
1947				1313	1324	1221			
1948		1528			1413	1392			
1949		1666			1490	1448			
1950				1338	1420	1326			
1951					1412	1491			
1952					1496	1630			
1953					1464	1592			
1954					1448	1652			
1955					1444	1495			
1956					1428	1460			
1957	1489	1604		1429	1483	1547			
1958		1890		1544	1596	1660			
1959		1822		1657	1628	1477			
1960		1597		1659	1470	1513			
1961		1735		1473	1406	1466			1305
1962		1585		1444	1449	1360	1340	1317	1350
1963	1480	1601		1301	1390		1363		1295
1964	1227						1440	1302	1273
								1300	1240

Le tableau VII donne des valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation qui présentent une certaine homogénéité dans leur ensemble.

Malgré les erreurs d'appréciation sur certaines valeurs, nous pouvons toutefois, d'après ces renseignements, chiffrer à 1 340 mm l'évaporation la plus fréquente dans le Val du JAGUARIBE pour des grandes retenues d'eau dont la profondeur maximale est supérieure à 20 mètres. Il est certain qu'à profondeur égale l'influence de l'altitude et des vents n'interviendront que très peu sur la valeur de l'évaporation autour de cette valeur. A une augmentation d'altitude de 300 m correspondra une diminution de l'évaporation de quelques dizaines de millimètres.

A un accroissement de la ventilation correspondra un accroissement de l'évaporation du même ordre de grandeur. Par contre, l'influence de la hauteur d'eau dans l'açude semble beaucoup plus importante lorsque celle-ci diminue. Plus la retenue d'eau a une hauteur maximale faible, plus l'évaporation semble être importante ; pour une hauteur de 8 mètres, elle serait de l'ordre 1 500 mm et de 1 700 mm pour 4 mètres (tableau VIII). Il est à noter que la manière dont est construit un açude peut intervenir, car dans toutes nos déterminations, nous avons négligé la valeur des pertes par infiltration ou provenant des ouvrages de vidange. Toutes ces pertes seront d'autant plus grandes que la hauteur maximale dans l'açude est plus faible et que la construction de la digue sera faite dans de mauvaises conditions. En général, ces pertes sont relativement faibles pour les grands açudes construits par le DNOCS. Il n'en est pas de même pour les petits açudes particuliers pour lesquels évaporation et pertes atteignent ou dépassent 2 500 mm pour la période sèche (rapport JUATAMA 1965).

Il serait très intéressant, au cours des années à venir, de faire avec précision les mesures de terrain nécessaires des données permettant de calculer les évaporations. Nous pensons aux açudes OROS, POÇO da PEDRA, QUIXERAMOBIM, LIMA CAMPOS, SANTO ANTONIO do RUSSAS et à l'açude ARACE du bassin de JUATAMA pour lesquels, à peu de frais, toutes les observations de base peuvent être faites.

TABLEAU VII

EVAPORATION sur NAPPE d'EAU LIBRE (en mm)

- Valeurs moyennes mensuelles les plus probables -

Açudes	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jun à Déc.	Année
ARACÊ	190	170	145	140	145	160	180	195	200	210	215	200	1 560	2 150
JOAQUIM TÁVORA	200	180	160	150	160	170	185	210	225	250	245	235	1 520	2 370
Sto ANTONIO de RUSSAS	195	160	150	145	145	160	185	210	220	240	230	220	1 465	2 260
POCO da PEDRA													1 300	2 040
QUIXERAMOBIM													1 300	2 040
CHORÓ													1 410	2 210
ORÓS	180	160	140	140	140	165	175	185	195	210	210	200	1 340	2 100
POCO da CRUZ	190	170	150	140	140	140	155	170	180	220	220	205	1 290	2 080
CAXITORE	180	170	150	150	150	160	180	195	210	220	210	195	1 570	2 170

TABLEAU VIII

EVAPORATION (JUIN-DECEMBRE) en FONCTION de la PROFONDEUR  
MAXIMALE d'EAU de la RETENUE

Açude	Evaporation (mm)	Profondeur (m)
POÇO das PEDRAS	1 294	14
QUIXERAMOBIM	1 300	21
ORÓS	1 330	40
CAXITORE	1 360	21
POÇO da CRUZ	1 270	37

Hauteur maximale de l'eau:	18 m	14 m	10 m	8 m	6 m	4 m
ACUDE CHORÓ	1 360	1 410	1 460			
NOVA FLORESTA			1 370	1 480		
SANTO ANTÔNIO			1 380	1 460	1 560	1 700
CEDRO						
LIMA CAMPOS		1 410				
ARACÊ			1 360			

## C H A P I T R E II

### EVAPORATION MESUREE sur BAC FLOTTANT

A la suite de la série d'années sèches 1931-1932, l'IFOCS (organisme fédéral) a entrepris une campagne de détermination de l'évaporation d'une nappe d'eau contenue dans une cuve flottante. La superficie de la cuve employée était de 1 m<sup>2</sup> (forme carrée).

Nous avons obtenu du DNOCS (successeur de l'IFOCS) les relevés mensuels des évaporations ainsi mesurées sur les açudes CEDRO, LIMA CAMPOS, CHORO et FORQUILHA. Nous avons également obtenu à FORTALEZA les originaux des observations faites par l'observateur sur ces açudes et sur ceux de JOAQUIM TAVORA, RIACHO do SANGUE.

Ces dernières observations ont été dépouillées par le GEVJ selon les critères suivants :

a) l'évaporation de la journée avec pluie est prise égale à la moitié de l'évaporation journalière normale du mois,

b) l'évaporation des journées à grand vent pour lesquelles il n'y a pas eu de mesures sera choisie égale à l'évaporation journalière normale du mois.

Il en résulte que les évaporations des mois pluvieux seront probablement légèrement surestimées et que les évaporations des mois secs avec vent seront légèrement sous-estimées. De toute façon, l'erreur commise sur le résultat final est faible.

Pour beaucoup de relevés à partir d'août 1944, on note des évaporations systématiquement trop faibles. En observant les relevés bijournaliers, on constate que les mesures de précipitations au pluviomètre ont servi à retirer du bac la même quantité d'eau avant de faire la mesure sur le bac flottant. S'il y a de gros écarts entre les mesures des précipitations aux deux appareils, on note des phases de plusieurs jours à évaporations anormales pour compenser ces écarts. A partir de cette date, toutes les évaporations mensuelles sont systématiquement très faibles et ne doivent être retenues qu'avec prudence.

Ces mesures sont particulièrement intéressantes car ce sont les seules mesures de nappe d'eau libre qui permettent, lors de la saison des pluies, d'évaluer l'évaporation sur une retenue. Il suffit de connaître, pendant la saison sèche, le coefficient de passage de l'évaporation sur l'açude au bac et avec le coefficient inverse, de passer en saison des pluies du bac à l'açude, puisqu'aucune détermination n'est alors possible sur l'açude même.

## 2.1 - RESULTATS des MESURES - ACUDE CEDRO -

Le tableau IX résume les valeurs de l'évaporation observée sur cuve flottante entre les années 1934 et 1949.

En ne tenant pas compte des années 1945 et 1946 et des valeurs douteuses, nous obtenons pour la période Juin-Décembre une valeur égale à 1 354 mm et 2 136 mm pour l'année. Le rapport K entre l'évaporation annuelle et l'évaporation de la période Juin-Décembre est de : 1,58.

L'écart maximal observé entre les mesures de l'évaporation sur la période Juin-Décembre atteint 97 mm soit 7 % de la valeur moyenne ; l'écart pour la période Janvier-Mai atteint 146 mm soit 19 % de la valeur moyenne. L'évaporation au cours de la saison des pluies varie beaucoup plus que celle de la saison sèche, ce qui est tout à fait normal, l'évaporation dépendant entièrement du climat qui à cette période est instable.

## 2.2 - ACUDE CHORÓ -

On constate pour l'açude CHORÓ (tableau X) la même anomalie dans la mesure des évaporations à partir du mois d'Aôut 1944. Nous ne tiendrons pas compte de ces données.

L'évaporation moyenne pour la période Juin-Décembre varie de 1 288 à 1 402 mm avec comme moyenne 1 362 mm. L'écart maximal est de 114 mm et représente 8,4 % la valeur moyenne. L'évaporation au cours de la saison des pluies (Janvier à Mai) est très variable, on note des écarts de 218 mm soit 29 % de la valeur moyenne (voir tableau X).

TABLEAU IX

EVAPORATION MENSUELLE sur BAC FLOTTANT (mm)

STATION de l'AGUDE CEDRO

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel	Du 1-6 au 31-12
1934		139	160	150	125	132	170	161	149					
1937										161	197	208		
1938	179	159	149	136	157	180	191	198	196	192	194	190	2 121	1 341
1939	188		146	145	180	181	185	191	193	198	192	198	(2 148)	1 338
1940	174	149							184	200	190	197		
1941	186	159	135	136	155	166	170	197	212	221	181	196	2 114	1 343
1942	190	151	173	161	174	171	180	207	224	223	208	190	2 252	1 403
1943	186	173	147	146	173	168	(178)	186	194	217	202	197	(2 138)	1 342
1944	185	184	148	123	127	163	207	226	223	215	205	196	2 202	1 435
1945	190	146	170	138	130	143	168	192	174	178	174	176	1 979	1 205
1946	150	146	166	139	171	169	176	177	173	183	172	(197)	(2 019)	1 247
1948	165	151	116	122	147	160	142	208	208	228	225	200	2 072	1 371
1949	222		153	141	152	151	190	187						



TABLEAU X

EVAPORATION MENSUELLE sur BAC FLOTTANT (mm)

- Station de l'Açude CHORO -

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1937											203	198	
1938	166	164	117	109	131	145	180	197	185	202	203	176	1 975
1939	175	109	115	128	145	164	175	195	205	198	185	192	1 986
1940	138	144							196	211	208	201	
1941	198	141	147	133	155	183	180	194	202	222	208	203	2 166
1942	202	156	175	163	194	180	201	199	200	218	211	185	2 284
1943	197	145	152	156	173	196	185	212	207	215	203	184	2 225
1944	169	153	140	123	148	170	180	186	170	155	142	139	1 875
1945	140	95	137	98	116	142	165	163	158	169	173	167	1 723
1946	113	101	149	137	157	148	170	174	172	178	175	166	1 840
1947	157	123	90	121	130	148	180						
Avant Août 44													
Moyenne	177	144,6	141	135,3	157,7	173,6	184,2	199,4	199,2	211	203	191,3	2 117,3
Maximum	198	164	175	163	194	196	201	212	207	222	211	203	2 346
Après Août 44													
Moyenne	136	106,3	125,3	118,7	134,3	146	171,7	174,3	166,7	167,3	163,3	157,3	1 767,2

2.3 - ACUDE LIMA CAMPOS (tableau XI) -

Nous avons retrouvé les originaux des observations, d'ailleurs incomplètes, et les valeurs mensuelles dépouillées par le DNOCS pour les années 1932 à 1942.

Ces dernières valeurs sont très nettement plus faibles que celles des années 1941 à 1951. Il faut en conclure que toutes les observations faites à cette dernière période sont systématiquement surestimées, nous en ignorons la cause (défaut d'appareillage, cuve percée, erreurs ...). Nous devons retenir les valeurs de la période 1932-1942 comme valables bien que l'écart de 17 % entre les évaporations extrêmes de la période Juin-Décembre soit supérieur à ceux notés pour CHORO et CEDRO.

2.4 - AUTRES STATIONS -

a) Açude JOAQUIM TAVORA :

Nous n'avons retrouvé que peu de données (1944 à 1947). Les caractéristiques sont données dans les tableaux XII et XIII.

b) Açude RIACHO do SANGUE :

Quelques relevés mensuels ont été retrouvés pour la période 1935-1947. Pour bon nombre d'entre eux, les valeurs de l'évaporation nocturne sont identiques à celles de l'évaporation diurne. On note des anomalies en 1944 et 1945.

On peut estimer à 2 200 mm la valeur annuelle de l'évaporation sur bac flottant.

c) Açude FORQUILHA :

Cet açude étant situé au Nord-Ouest du bassin du JAGUARIBE, nous avons étudié toutes les données hydrologiques qui peuvent être déterminées.

Nous ne donnons que les valeurs de l'évaporation sur bac flottant car la détermination de l'évaporation de la surface de la retenue y est impossible.

TABLEAU XI

EVAPORATION MENSUELLE sur BAC FLOTTANT (mm)

- Station de LIMA CAMPOS -

Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1935											201	201	
1936	196	163	164	172	152								
1939										207 <sup>x</sup>			
1940	171 <sup>x</sup>									228			
1941	195	175 <sup>x</sup>	163 <sup>x</sup>	168 <sup>x</sup>	189	204							
1943		166				170	216	228	250	238			
1944	216	204	170	140	166	180	209	223	232	244	242	207	2 433
1945	210	137	190	144	149	160	198	203	218	226	225	226	2 286
1946	165	142	184	174	186	189	202	233	237	259	226	216	2 413
1947	233	161	142	154	163	188	207	220	233	265	205	196	2 367
1948	221	202	144	180	184	188	194	212	221	253	241	221 <sup>⊗</sup>	2 461
1949									(233)	(243)	(217)	(244)	
1950	212	194	134									203	
Moyenne probable	200	171	166	163	169	183	204	221	232	240	222	214	2 385
	190	170	160	160	170	185	203	215	225	230	220	210	2 338
Moyenne probable													1 516
Jun à Décembre													1 488

x mesures douteuses

⊗ réparation cuve en 1948

TABLEAU XII

OBSERVATIONS de l'EVAPORATION BAC FLOTTANT (mm)  
(Période Juin-Décembre)

Année	CEDRO (A)	CHORO (A)	LIMA CAMPOS (A)	LIMA CAMPOS (B)	JOAQUIM TAVORA	FORQUILHA (A)	FORQUILHA (B)	RIACHO DO SANGUE	CEDRO (B)	CHORO (B)
1934				1 431		-1 509)	-1 491)			
1935				1 328		1 475	-1 475)	-1 354)		
1936				1 357		1 586	1 581			
1937				1 379						
1938	1 341	1 288		1 507		1 517	1 480		1 341	1 269
1939	1 338	1 314		1 342		1 492	1 485		1 315	1 286
1940		-1 330)		1 310						
1941	1 343	1 392		1 271		1 574	1 567		1 342	1 388
1942	1 402	1 394		1 450			-1 522)		1 391	1 391
1943	1 342	1 402	-1 544)			1 602		1 447	1 327	1 398
1944	1 435		1 537			-1 580)		-1 432)	1 435	
1945	1 205 <sup>x</sup>	1 137 <sup>x</sup>	1 456		1 423	1 601		1 274	1 172	1 102
1946	1 247 <sup>x</sup>	1 183 <sup>x</sup>	1 562		1 369			1 242	1 239	1 166
1947			1 514							
1948	1 371		1 530						1 375	
1949			1 644							
Maximum	1 435	1 402	1 644	1 507		1 602	1 581	1 447		
Minimum	1 205 <sup>x</sup>	1 137 <sup>x</sup>	1 456	1 271		1 475	1 475	1 242		
Moyenne	1 354	1 362	1 516	1 374	1 409	1 534	1 497	1 350		
Médiane	1 342	1 322	1 544	1 357		1 548	1 491	1 354		

x Douteux, non tenu compte dans la moyenne de chacun des mois

- ) un ou plusieurs mois estimés                      A calcul GEVJ                      B calcul DNOCS

TABLEAU XIII

EVAPORATIONS MENSUELLES et ANNUELLES MOYENNES des BACS "FLOTTANTS"

(en mm)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total: :an- :nuel	Total: :Juin- :Déc.
Aç. Riacho do Sangue	(180)	(150)	(151)	(153)	(155)	168	194	204	209	228	212	195	:2 199	:1 410
Aç. Joaquim Távora	156	119	136	127	131	151	186	218	216	226	220	192	:2 078	:1 409
Aç. Lima Campos (1941-1951) Médiane	210	175	170	170	182	188	202	223	233	243	226	216	:2 438	:1 531
Moyenne	200	171	166	163	169	183	204	221	232	240	222	214	:2 385	:1 516
Aç. Gedro Médiane	186	149	147	138	155	169	180	192	196	210	197	197	:2 116	:1 341
Moyenne	183	156	151	140	159	162	178	195	204	212	199	197	:2 136	:1 347
Aç. Choró Avant 1944	177	145	141	135	158	174	184	199	199	211	203	191	:2 117	:1 361
Aç. Forquilha sur 10 années	182	144	146	150	164	172	195	225	229	226	229	221	:2 283	:1 497
sur 14 années	192	146	143	149		184	199	227	230	245	228	221	:2 334	:1 534
Aç. Lima Campos 1933-1942	195	160	153	161	169	161	184	202	205	217	197	203	:2 207	:1 369

Les résultats annuels (période Juin-Décembre) pour toutes les stations sont réunis dans le tableau XII.

Le tableau XIII donne des valeurs moyennes mensuelles les plus probables.

## 2.5 - INTERPRETATION des RESULTATS -

Grâce à ces mesures sur bacs flottants, on peut :

- évaluer le coefficient de passage entre l'évaporation du bac flottant et celle de la nappe d'eau de l'açude. A l'aide des mesures simultanées de ces deux valeurs et à la comparaison entre les valeurs moyennes de chacune d'elles établies sur une période de quelques années, il est facile de voir que ce coefficient est très voisin de l'unité pour l'açude CHORO.

Dans le tableau XIV, nous avons rassemblé toutes les données utilisables pour l'étude de ce coefficient de passage. Nous avons vu précédemment les anomalies constatées dans la détermination exacte de l'évaporation de certaines retenues. Seul l'açude CHORO donne des valeurs correctes simultanément de l'évaporation sur bac flottant et sur l'açude et le coefficient de passage reste voisin de 1. Nous devons remarquer que d'une manière générale le bac flottant de mesure était placé au voisinage de la digue donc dans une zone de profondeur maximale de l'açude. C'est une raison pour laquelle il est délicat de déterminer le coefficient de passage, l'évaporation mesurée sur l'açude est une intégration des évaporations réelles de tous les points de l'açude et l'évaporation sur bac due à la position de ce dernier dans la zone la plus profonde, correspond vraisemblablement à la valeur minimale de l'évaporation de l'açude.

- on peut également évaluer l'évaporation réelle sur un açude pour une année complète lorsque l'on connaît l'évaporation pour la période Juin-Décembre. Il suffit de prendre le coefficient K moyen qui se dégage du tableau XV, à savoir 1,57, pour passer de l'évaporation sur la période Juin-Décembre à celle de l'année complète.

L'évaporation annuelle moyenne sur une retenue d'eau de grande profondeur est donc de  $1\ 340 \times 1,57$  soit 2 100 mm dans le bassin du JAGUARIBE.

TABLEAU XIV

COMPARAISON EVAPORATION BAC FLOTTANT et AÇUDE pour  
la PERIODE Juin-Décembre (mm)

JOAQUIM TAVORA			LIMA CAMPOS			CEDRO			CHORO		
Année	Bac	Açude	Année	Bac	Açude	Année	Bac	Açude	Année	Bac	Açude
1945	1 423	(1 310)	1934	1 431	1 333	1938	1 341	1 577	1938	1 288	1 391
1946	1 369	(1 272)	1935	1 328	1 404	1939	1 315	1 645	1939	1 314	1 335
			1936	1 357	1 412				1940	1 330	1 321
Moyenne	1 410	1 520	1937	1 379	1 493				1941	1 392	1 421
			1939	1 342	1 394				1942	1 394	1 450
			1940	1 310	1 447				1943	1 402	1 479
			1941	1 271	1 587					B	
				B					1944	(1 142)	1 445
			1947	1 514	1 440				1945	(1 137)	1 392
			1948	1 530	1 528				1946	(1 183)	1 436
			1949	1 644	1 666						
									Moyenne A	1 363	1 399
			Moyenne A	1 345	1 435				Moyenne B	1 154	1 424
			Moyenne B	1 563	1 545						
			Moyenne	1 400	1 471						

TABLEAU XV

EVAPORATION sur BAC FLOTTANT (mm)

- Valeurs caractéristiques -

Açude	Période Janvier-Mai			Période Juin-Décembre			Année			Nombres d'années d'obser- vation
	Moyenne	Ecart maximal	Ecart en % de la moyenne	Moyenne	Ecart	%	Moyenne	K	%	
Cedro .....	782	146	19	1 354	97	7	2 136	1,58	8,8	9
Choró .....	755	218	29	1 362	114	8	2 117	1,56	14,6	8
Lima Campos A ..	869	101	12	1 516	106	7	2 385	1,57	7,3	7
" " B ..	826			1 374	236	17	2 200	1,60		9
Joaquim Távora	669			1 409			2 078	1,48		2
Riacho do Sangue				1 410			2 199	1,56		5
Forquilha A ....				1 497			2 283	1,53		9
" " B ....	800	366	45	1 534	128	8	2 334	1,52	21	7



Les valeurs de l'évaporation sur bac flottant, pour la période Juin à Décembre des açudes CEDRO - CHORO - RIACHO do SANGUE, se situent vers 1 350 mm, chiffre comparable à celui obtenu pour la valeur de l'évaporation directe de l'açude de grande profondeur pour la même période.

On peut donc assurer que l'évaporation d'une nappe d'eau libre de grande profondeur peut varier de 1 300 à 1 360 mm dans l'ensemble du bassin du JAGUARIBE, lorsque les situations sont normales (altitude 100 à 300m, vent moyen) pour la période sèche.

Pour une année complète, l'évaporation varierait dans ces mêmes conditions entre 2 040 et 2 140 mm.

En fonction des renseignements (1.4.1) sur l'influence de la profondeur de la retenue, on peut avancer de la même façon que pour des açudes de l'ordre de 8 mètres de hauteur d'eau maximale l'évaporation annuelle serait de 2 360 mm, et pour des açudes de 4 m de hauteur d'eau maximale, de l'ordre de 2 600 mm, en utilisant le coefficient de passage K précédemment établi.

### C H A P I T R E   I I I

#### EVAPORATION MESUREE sur BAC de CLASSE "A" du WEATHER BUREAU

Nous donnerons les valeurs des évaporations mensuelles déterminées sur bac de classe "A" pour les stations voisines des açudes où des mesures d'évaporation sur bac flottant ont été faites et où l'on connaît, avec une bonne précision, les évaporations sur la nappe d'eau libre de l'açude.

QUIXERAMOBIM, LIMA CAMPOS et ARACÉ<sup>^</sup> sont les trois stations retenues. Le tableau XVI donne les valeurs mensuelles de l'évaporation mesurées sur bac de classe "A".

Le tableau XVII nous donne les évaporations comparées des mesures aux bacs flottants, aux bacs "A" et aux açudes voisins.

Il est délicat de vouloir tirer des conclusions étant donné que certaines valeurs sont incertaines et douteuses, l'évaporation 1 410 mm à l'açude LIMA CAMPOS étant la valeur très probable tirée d'une série d'années à faible irrigation, toutes les autres années étant à rejeter.

On constate que :

a) le coefficient moyen permettant de passer de l'évaporation de la période Juin-Décembre à celle de l'année est plus faible pour le bac "A" que pour le bac flottant : 1,50 pour le premier et 1,57 pour le second.

b) l'évaporation en saison humide est plus forte sur bac flottant que sur bac "A" proportionnellement à l'évaporation de saison sèche de ces mêmes bacs.

En saison sèche, les bacs flottants évaporent environ 0,8 fois moins que les bacs "A" ; c'est aussi l'ordre de grandeur entre l'évaporation des açudes et l'évaporation des bacs "A".

TABLEAU XVI

EVAPORATION MENSUELLE sur BAC de CLASSE "A" (mm)

A) QUIXERAMOBIM

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année	Juin à Décembre
1961							180	229	256	307	264	260		(1 656)
1962	246	191	166	151	144	161	183	246	269	323	249	271	2 601	1 702
1963	191	135	136	132	166	178	188	238	279	335	294	270	2 542	1 783
1964	171	174	159	123	115	124	142	199	245	288	303	323	2 366	1 624
1965	230	257	257	141	150	131	193	259						
Moyenne	210	189	179	137	144	149	177	254	262	314	277	281	2 573	1 713

TABLEAU XVI (suite)

B) Açude LIMA CAMPOS

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année	Juin à Décembre
1961	239	176	189	158	173	210	251	273	285	335	324	291	2 904	1 969
1962	284	201	180	154	165	178	241	296	274	337	301	294	2 905	1 921
1963	241	184	158	154	168	209	243	285	299	330	268	218	2 757	1 852
1964	192	177	163	151	176	133	197	261	253	304	256	319	2 582	1 723
1965	210	216	220	158	159	148	202	250						
Moyenne	233	191	182	155	168	176	227	273	278	326	287	280	2 776	1 847

C) Açude ARACE

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	DD	Année	Juin à Décembre
1964	151	121	172	134	115	128	158	232	245	257	256	276	2 245	1 552
1965	266	238	198	132	157	133	209							

TABLEAU XVII

COEFFICIENTS de PASSAGE entre BACS et RETENUE

	Bac "A"			Açude		Bac flottant "F"			Bac F	Açude	Bac F
	Année	Période	KA Année Période	Année	Période	Année	Période	K <sub>F</sub>	Bac A	Bac A	Bac A
										pour	pour
										période	période
Açude CHORO				2 350	1 410						0,82
QUIXERAMBIM	2 573	1 713	151		1 300	2 117	1 362	156	0,82	0,75	0,795
Açude CEDRO						2 136	1 347	158	0,83		0,785
LIMA CAMPOS	2 777	1 847	150		1 410	2 207	1 369	161	0,79	0,76	0,74
						2 385?	1 531?	156	0,86		0,83
Açude OROS					1 330						0,72
Açude ARACE (année 1964)	2 245	1 552	145		1 332						0,86

En saison des pluies, les bacs flottants évaporent environ 0,84 fois moins que les bacs "A" et sensiblement autant que les açudes.

c) le coefficient de passage de l'évaporation pour le bac "A" (période Juin-Décembre) à l'açude, reste compris entre 0,72 et 0,86. Ces valeurs restent imprécises par suite des estimations sur la détermination de l'évaporation des açudes. Malgré tout, la dispersion des résultats reste assez faible. Il conviendrait d'exécuter des mesures simultanées sur açude sur bac flottant et sur bac de classe "A" pour déterminer l'évaporation sur chacun d'eux et préciser les coefficients de passage de l'un à l'autre. Il ressort de cette étude que le point délicat reste encore la mesure de l'évaporation réelle sur les açudes en saison sèche.

## C O N C L U S I O N

Le but de l'étude de l'évaporation sur bac de différentes classes :

- "A" Weather Bureau,
- "F" bac flottant,
- "C" bac Colorado

est en fait un moyen d'apprécier à sa juste valeur l'évaporation sur une nappe d'eau libre. En général, les caractéristiques physiques de la retenue sont importantes dans l'étude de l'évaporation réelle de la surface libre, étude qui ne peut se faire que par bilan. On voit combien l'étanchéité de la retenue, de la digue, des ouvrages de vidange peuvent apporter un résidu dans l'étude de l'évaporation. Il est souvent faible lorsque la construction de la digue est parfaite et lorsque tous les termes du bilan sont exacts. A ce moment, il est alors possible de préciser quelles sont les influences des conditions physiques de la retenue, profondeur, etc... L'influence des conditions climatiques peut aussi être étudiée, mais elle est beaucoup mieux déterminée par les comparaisons entre les mesures sur bacs évaporatoires en divers sites.

Nous recommandons d'étudier les açudes OROS - QUIXERAMOBIM - POCO da PEDRA - ARAÇE - SANTO ANTONIO do RUSSAS et LIMA CAMPOS. Ce dernier açude présente un cas particulier très intéressant puisque les bacs évaporatoires de classe "A" ou flottant donnent des valeurs supérieures aux mesures des autres stations.

Nous retiendrons de notre étude que l'évaporation d'une grande surface libre dans le Val du JAGUARIBE est de l'ordre de 1 300 à 1 360 mm pour la période sèche Juin à Décembre, et de 2 040 à 2 140 mm pour l'année complète.

L'écart entre maximum et minimum de l'évaporation sur la période Juin-Décembre ne dépasse pas 8 % de la valeur moyenne ; par contre, cet écart pour l'année complète peut atteindre 10 à 12 %.

L'évaporation dépend de la profondeur maximale de l'açude et également de la forme de la cuvette. Elle croît lorsque la profondeur diminue et atteint 1 700 mm pour des faibles profondeurs maximales de l'ordre de 4 m au milieu de la saison sèche.