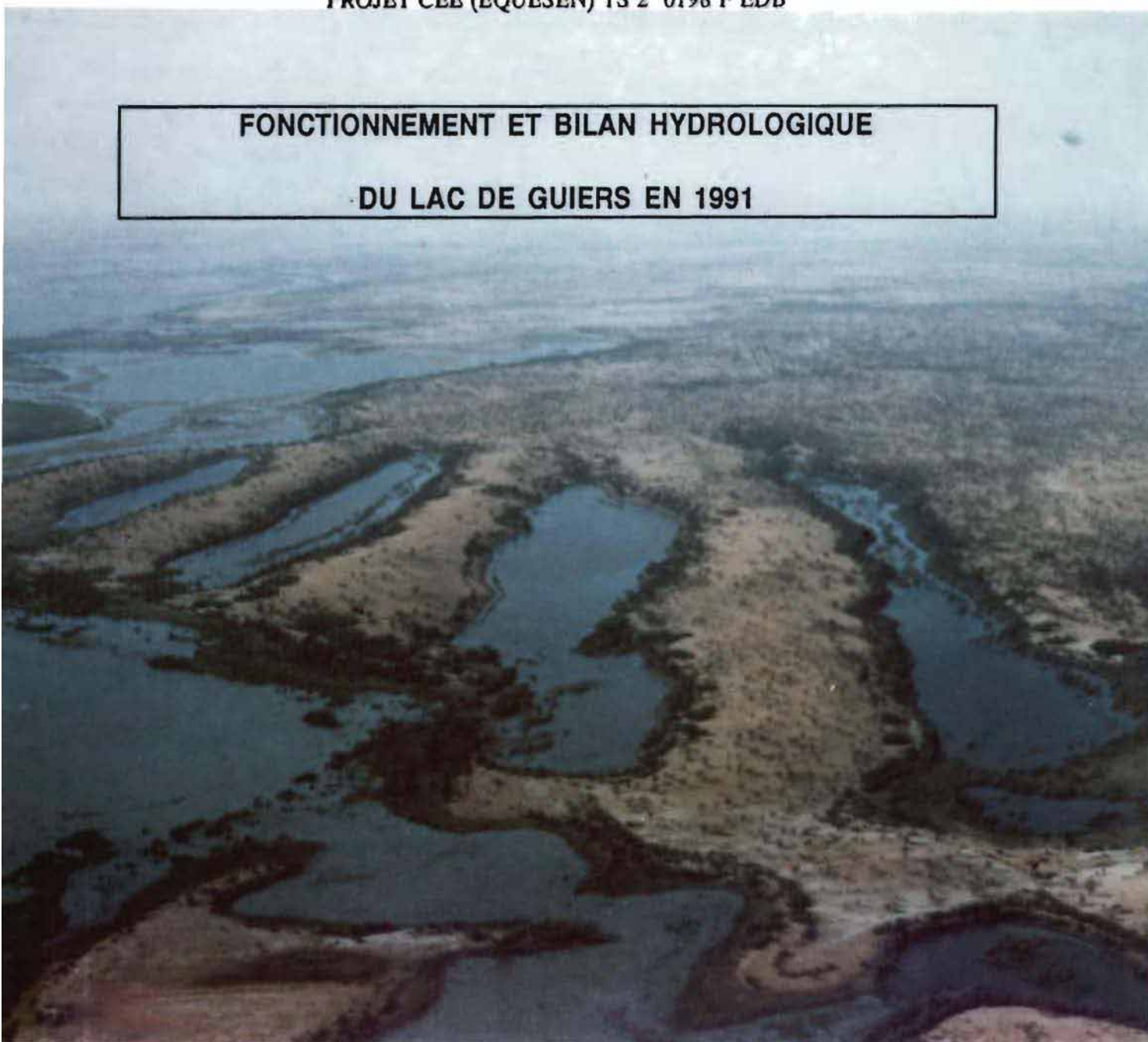


Jean Yves GAC ⁽¹⁾, Michel CARN ⁽¹⁾, Noël EVORA ⁽²⁾, François Xavier COGELS ⁽²⁾

avec la collaboration d'Adrien COLY ⁽³⁾

PROJET CEE (EQUESEN) TS 2 0198 F EDB

**FONCTIONNEMENT ET BILAN HYDROLOGIQUE
DU LAC DE GUIERS EN 1991**



Février 1992

(1) Institut Français de recherche scientifique pour le développement en coopération, ORSTOM, B.P. 1386, Dakar (Sénégal).

(2) Fondation Universitaire Luxembourgeoise, FUL, 185 avenue de Longwy, B 6700, Arlon (Belgique).

(3) Département de Géographie de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD).

Jean Yves GAC ⁽¹⁾, Michel CARN ⁽¹⁾, Noël EVORA ⁽²⁾, François Xavier COGELS ⁽²⁾

avec la collaboration d'Adrien COLY ⁽³⁾

PROJET CEE (EQUESEN) TS 2 0198 F EDB

FONCTIONNEMENT ET BILAN HYDROLOGIQUE

DU LAC DE GUIERS EN 1991

Février 1992

(1) Institut Français de recherche scientifique pour le développement en coopération, ORSTOM, B.P. 1386, Dakar (Sénégal).

(2) Fondation Universitaire Luxembourgeoise, FUL, 185 avenue de Longwy, B 6700, Arlon (Belgique).

(3) Département de Géographie de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD).

Jean Yves GAC ⁽¹⁾, Michel CARN ⁽¹⁾, Noël EVORA ⁽²⁾, François Xavier COGELS ⁽²⁾

avec la collaboration d'Adrien COLY ⁽³⁾

PROJET CEE (EQUESEN) TS 2 0198 F EDB

FONCTIONNEMENT ET BILAN HYDROLOGIQUE

DU LAC DE GUIERS EN 1991

Résumé:

Le bilan hydrique du lac de Guiers est établi pour l'année 1991. Les composantes essentielles du bilan sont d'ordre purement physique : les apports en eau sont tributaires de la crue fluviale (87,3 %) et des précipitations (6,4 %) et les pertes occasionnées par les processus évaporatoires (81,3 %). Les composantes secondaires sont de nature anthropique et liées à l'action de l'homme soit pour les apports aux rejets de la CSS (6,3 %) soit au chapitre des pertes par les prélèvements de la CSS (3,8 %), de la SONEES (2,2 %) ou encore de la SAED (1,4 %).

Mots clefs

Lac de Guiers, bilan hydrologique, environnement, aménagement, Sénégal.

Illustration de la couverture

Vue du lac de Guiers dans la partie centrale. Rive Ouest au sud de la station de N'Gnith. Cote approximative du lac + 1,70 m IGN.

Février 1992

(1) Institut Français de recherche scientifique pour le développement en coopération, ORSTOM, B.P. 1386, Dakar (Sénégal).

(2) Fondation Universitaire Luxembourgeoise, FUL, 185 avenue de Longwy, B 6700, Arlon (Belgique).

(3) Département de Géographie de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD).

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I. - DESCRIPTION SUCCINCTE DU LAC DE GUIERS

A. - CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE LA DEPRESSION LACUSTRE

1. La surface
2. Le volume

B. - EQUATION GENERALE DU BILAN HYDROLOGIQUE

II. - CHRONOLOGIE DES AMENAGEMENTS SUR LE FLEUVE ET LE LAC DE GUIERS

III. - PHASES POTENTIELLES AU COURS D'UNE ANNEE HYDROLOGIQUE

A. - LES ALTERNATIVES DE GESTION

B. - CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS EN 1991

IV. - QUANTIFICATION DES DIFFERENTS TERMES DU BILAN HYDROLOGIQUE

A. - LES PERTES

1. Les prélèvements de la SONEES
2. Les prélèvements de la CSS
3. Les prélèvements de la SAED
4. L'évaporation
5. Les déversements vers la vallée du Ferlo
6. Les transferts du lac vers le fleuve

B. - LES APPORTS

1. Les précipitations
2. Les rejets des zones irriguées
3. Les apports du fleuve

V. - BILAN HYDROLOGIQUE DU LAC DE GUIERS EN 1991

A. - PHASE 4

1. Période 2 (du 31 janvier au 11 juin)
2. Période 8 (du 21 novembre au 31 décembre)

B. - PHASE 7 ou 8

1. Période 1 (du 1 au 30 janvier)
2. Période 3 (du 12 juin au 27 août)

C. - PHASE 5 ou 6

1. Période 5 (du 4 au 10 octobre)
2. Période 7 (du 15 novembre au 20 novembre)

D. - PHASE 9, 10 ou 11

1. Période 4 (du 28 août au 3 octobre)
2. Période 6 (du 11 octobre au 14 novembre)

E. - BILAN HYDROLOGIQUE GLOBAL

CONCLUSIONS

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

INTRODUCTION

L'établissement du bilan hydrologique du lac de Guiers pour l'année 1991 complète la série des observations et des mesures établies sur la période 1976-1990 (COGELS et *al.* 1982, 1990; GAC et *al.* 1991). Les fondements théoriques du calcul du bilan demeurent inchangés.

La connaissance précise du bilan hydrologique du lac en 1991 est importante à plus d'un titre. En effet, chaque année introduit de nouvelles combinaisons d'ouverture et de fermeture des barrages de Richard-Toll, de N'Dombo et de la digue de Keur Momar Sarr qui sont assujetties à la gestion encore "expérimentale" des grands barrages de Manantali et de Diama sur le fleuve Sénégal. La mise en cultures, en 1991, de nouveaux périmètres en bordure du canal de la Taoué et à la périphérie du lac rend encore plus délicate la compréhension des mouvements, déjà très complexes, des masses d'eaux qui régissent l'évolution relative des plans d'eaux fluviolacustres.

L'ouverture, du 28 août au 20 novembre 1991, des vannes de la digue de Keur Momar Sarr en recréant momentanément les conditions naturelles de libre circulation des eaux entre le fleuve Sénégal et la vallée du Ferlo, constitue la phase où les termes du bilan sont les plus difficiles à quantifier.

I. - DESCRIPTION SUCCINCTE DU LAC DE GUIERS

Le lac de Guiers est l'un des principaux défluents du fleuve Sénégal. Il peut être assimilé, au cours de la période de sécheresse actuelle, à la seule plaine d'inondation de la basse vallée qui reçoit eau et alluvions du haut bassin versant. Situé en rive gauche dans la région du delta entre 15°55' et 16°23' de latitude Nord et 16°04' et 16°12' de longitude Ouest (Fig. 1), le lac constitue un important réservoir d'eau douce exploité principalement à des fins d'irrigation et de production d'eau potable. Il est relié au fleuve Sénégal par la Taoué, marigot sinueux dont le tracé a été rectifié à l'aide d'un chenal d'une longueur de 17 km. C'est sur ce chenal qu'ont été construits les deux barrages de Richard-Toll (1947) et de N'Dombo (1980).

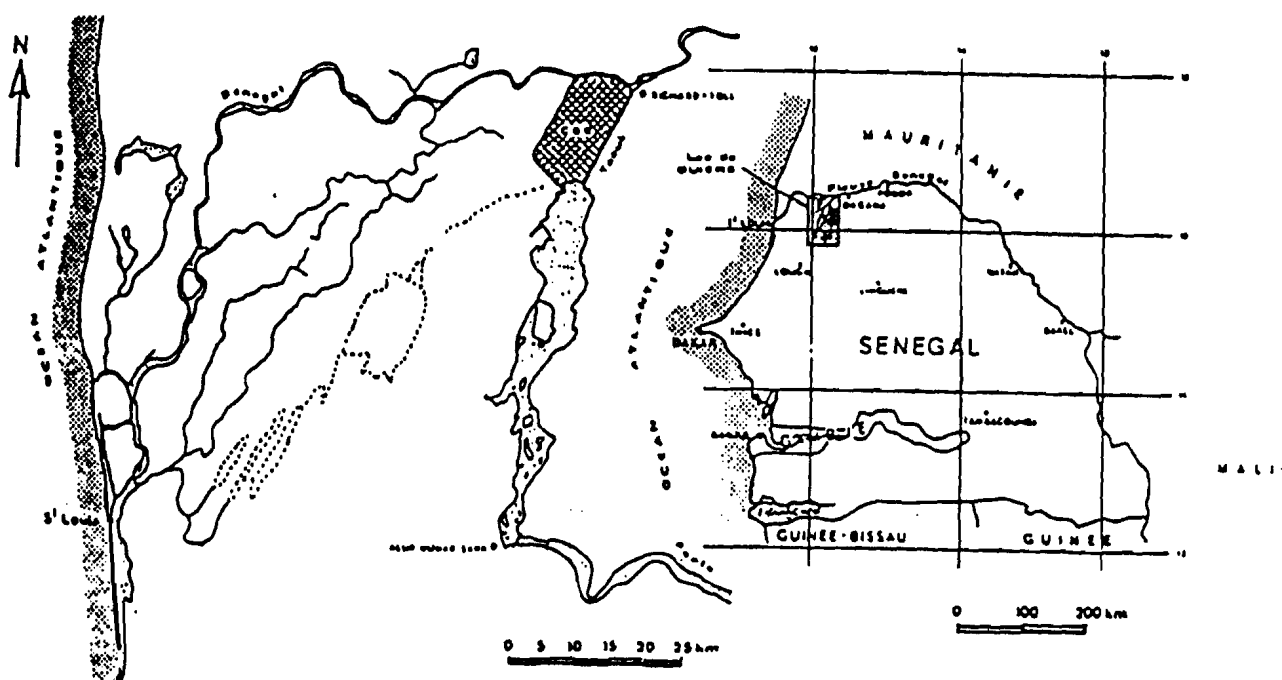


Fig. 1 - Localisation géographique du lac de Guiers

Le lac de Guiers se présente comme une dépression étroite de 50 km de longueur d'orientation nord-sud. Sa largeur maximale est de 7 km. Dans son état moyen le lac occupe une

superficie de 200 km² et contient 250 millions de m³ d'eau avec une profondeur moyenne de 1,25 m. Sa configuration évolue considérablement dans le temps et dans l'espace (Fig. 2).

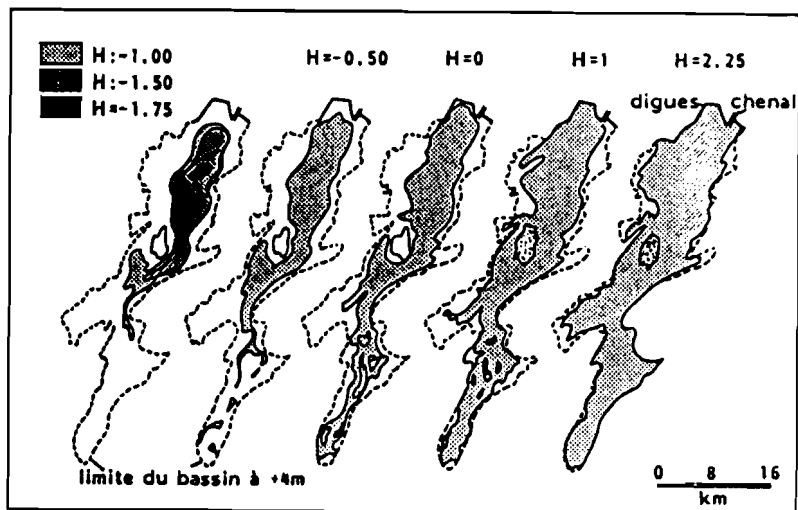
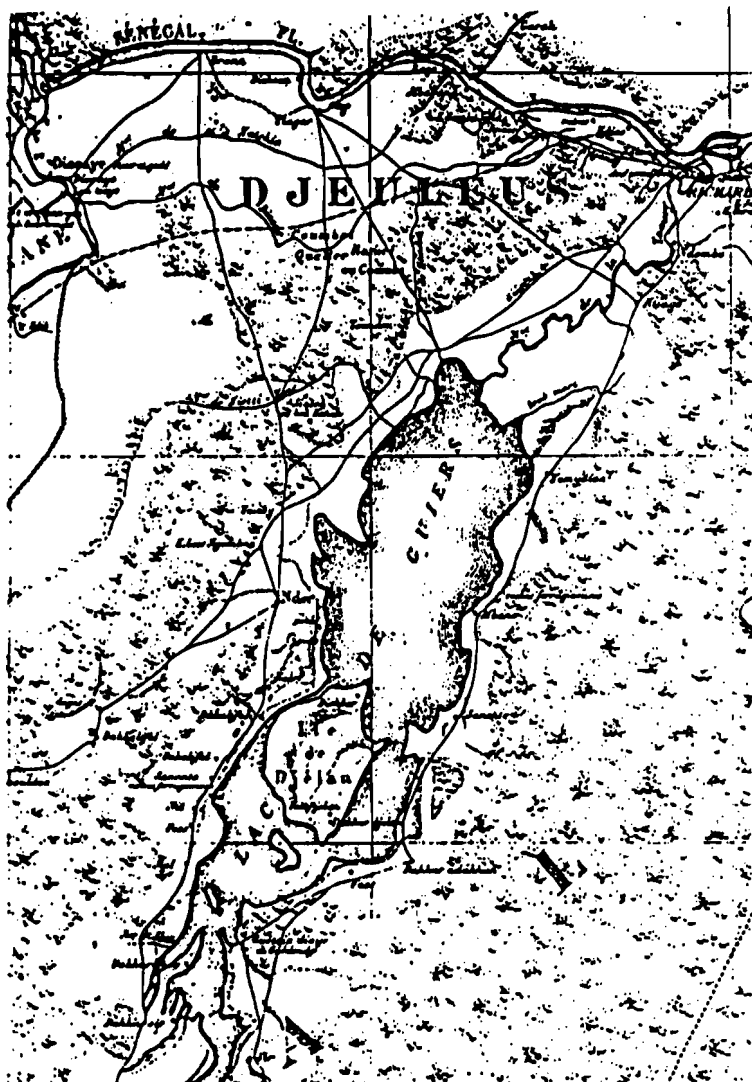


Fig. 2 - Configuration du lac de Guiers à différentes côtes IGN (m)



Une particularité tout à fait remarquable mérite d'être signalée. Elle est en effet d'une importance capitale pour la reconstitution historique des crues du fleuve Sénégal. *L'île centrale du lac devient une presqu'île lorsque la côte du lac s'abaisse en dessous de 1 m IGN.* A titre d'exemple la portion de carte de la figure 3 permet d'affirmer qu'en mai 1870 le niveau du plan d'eau du lac se situait légèrement au dessus de la côte + 1 m IGN.

Fig.3 - Partie de la "Carte de la banlieue de Saint Louis, du Oualo et du Ndiambour" dressée en mai 1870 par BOIS.

A. - CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE LA DEPRESSION LACUSTRE

La surface et le volume du lac sont des éléments de base du calcul du bilan hydrologique (Fig. 4).

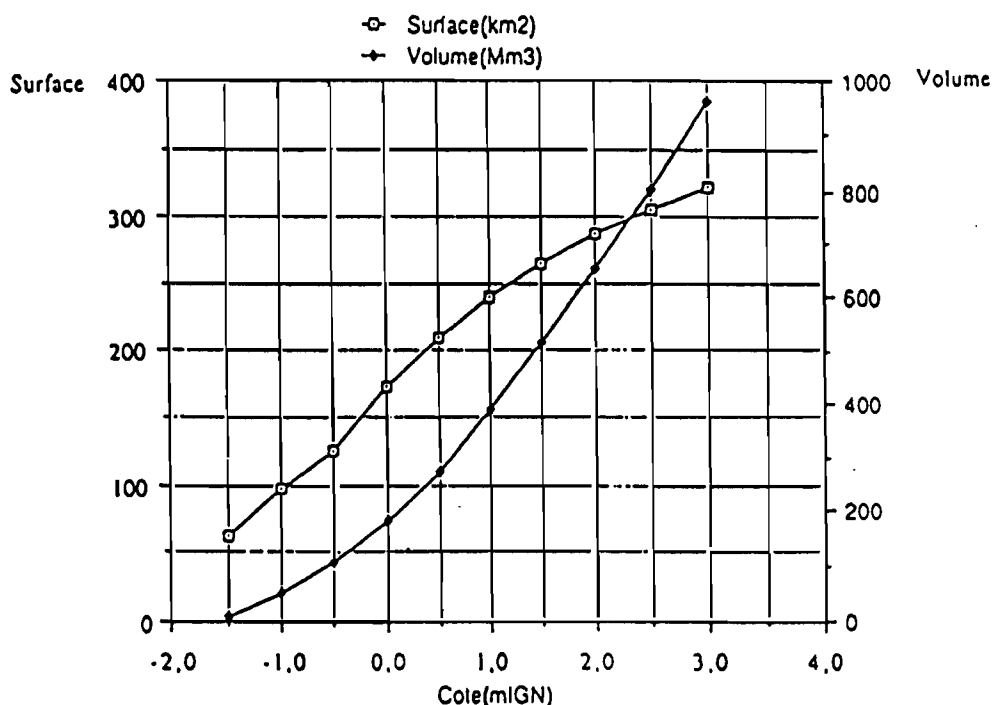


Fig. 4 - Relation entre la cote (m), la surface (km²) et le volume (10⁶ m³).

1. La surface

La surface du lac est calculée en fonction de la cote du plan d'eau pour différentes tranches d'altitude. La cote du lac (H) est exprimée en mètres par rapport au 0 IGN et la surface (S) en km². Les formules suivantes sont utilisées pour des cotes comprises entre -1,75 m et +3,00 m IGN :

Cote du lac (m)	Surface (km ²)
de - 1,75 à - 1,51	$S = 121,255 + 85,194 \ln (H+2)$
de - 1,50 à - 0,51	$S = 98,399 (H+2)^{0,662}$
de - 0,50 à + 3,00	$S = 58,603 + 164,822 \ln (H+2)$

2. Le volume

Une équation polynomiale permet d'évaluer la contenance du lac en fonction du niveau du plan d'eau (H) exprimé en m IGN. La formule est valable pour des cotes du lac comprises entre - 1,50 m et + 2,00 m IGN :

$$V = 181,69 + 169,54 H + 39,48 H^2 + 1,137 H^3 - 1,246 H^4 - 0,411 H^5$$

V est exprimé en millions de m³.

B. - EQUATION GENERALE DU BILAN HYDROLOGIQUE

L'équation du bilan hydrologique du lac s'établit à partir de la connaissance des différents termes d'entrées et de sorties d'eau de la réserve lacustre (Fig. 5). Durant une période déterminée, le bilan entre un état final V_f et un état initial V_i s'écrit :

$$V_f - V_i = (V_F + V_{p0} + V_r + V_{r'} + V_{fL}) - (V_E + V_{p1} + V_{p'1} + V_{p2} + V_{Lf} + V_{LF} + V_{ir})$$

APPORTS	PERTES
V_F : apports fluviaux	V_E : évaporation
V_{p0} : apports des pluies	V_{p1} : pompages CSS (Ouest)
V_r : rejets CSS (casier Ouest)	$V_{p'1}$: pompages CSS (Sud)
$V_{r'}$: rejets CSS (casier Sud)	V_{p2} : pompages SONEES
V_{fL} : transferts Ferlo-lac	V_{Lf} : transferts lac-Ferlo
	V_{LF} : transferts lac-fleuve
	V_{ir} : pompages SAED (Ouest)

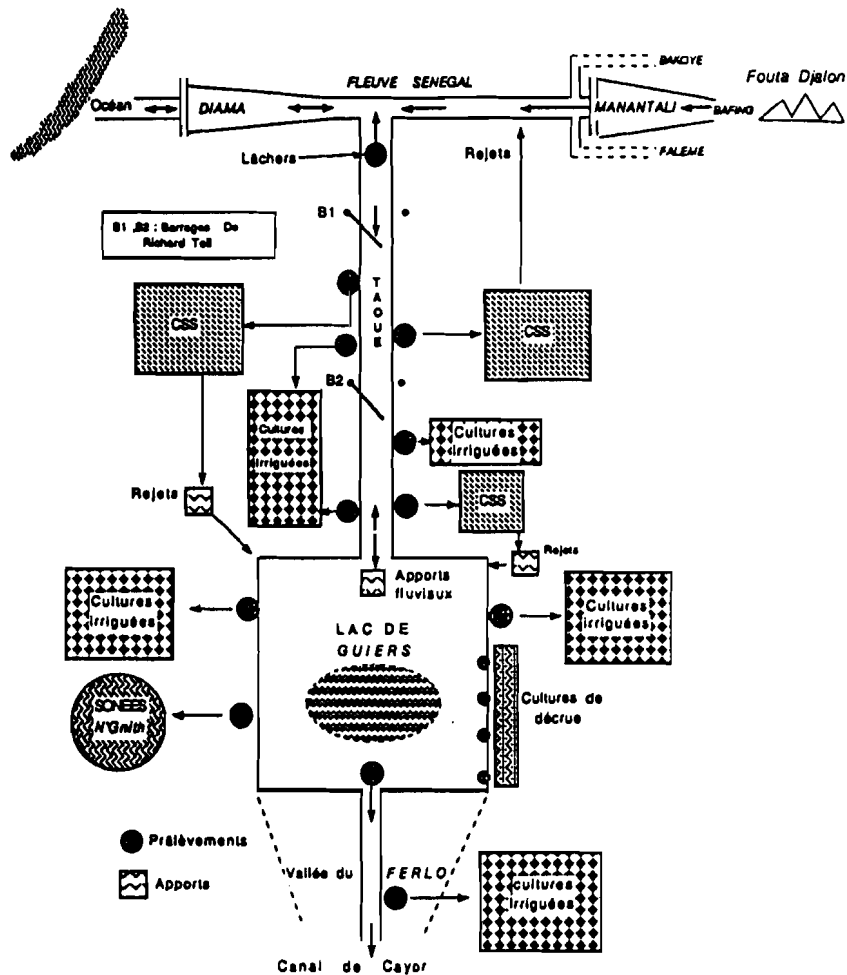


Fig. 5 - Les composantes du bilan hydrologique du lac de Guiers.

L'équation générale du bilan hydrologique ne prend pas en compte les pertes par infiltration et les échanges entre les nappes et les eaux de surface, ces deux composantes potentielles du bilan sont considérées comme étant du même ordre de grandeur.

A la périphérie du lac se sont développées depuis 1 an de nombreuses exploitations agricoles dont la taille varie de quelques hectares à plusieurs km². Ces parcelles sont pour l'instant incontrôlables aussi bien au niveau de leurs prélèvements dans le lac que des rejets éventuels.

II. - CHRONOLOGIE DES AMENAGEMENTS SUR LE FLEUVE ET LE LAC

Les différents aménagements construits sur le fleuve Sénégal ou sur le pourtour immédiat du lac n'ont pas été sans conséquences sur le fonctionnement hydrologique du lac de Guiers. Les causes essentielles des transformations successives de l'environnement sont naturellement liées à plus de deux décennies de sécheresse et en corollaire à des ressources en eau de plus en plus limitées devant une demande de plus en plus croissante.

Dans son état naturel, le fleuve Sénégal était marqué dans sa période de basses eaux par une remontée saline engendrée par les étiages sévères du fleuve Sénégal (GAC et al. 1981, 1986 a et b, 1990, 1991). Chronologiquement, cette remontée saline autrefois néfaste par la pénétration d'eau saumâtre dans le lac a été contrecarrée par la construction du pont-barrage de Richard-Toll sur la Taoué (1947) et la mise en service des barrages en terre de Kheune I et II (1983 et 1984) sur le fleuve Sénégal. Le barrage en terre de Kheune I construit à 50 km en aval de Richard-Toll et mis en service le 25 novembre 1983 a permis un relèvement du plan d'eau lacustre et empêché ainsi son assèchement probable après un faible remplissage du lac, la crue fluviale de 1983 ayant été l'une des plus faibles du siècle (OLIVRY, 1984). Après la destruction de Kheune I sous les assauts de la crue de 1984, un scénario identique à celui de l'année précédente risquant de se reproduire, la brèche de Kheune I fût colmatée donnant naissance à Kheune II. Auparavant la construction d'un deuxième pont-barrage sur la Taoué, celui de Ndombo en 1980, permettait à la CSS de retarder le début de ses prélèvements dans la réserve lacustre.

Avant 1980, deux phases distinctes marquent donc l'année hydrologique du lac : une phase de baisse progressive du niveau des eaux dûe aux différents prélèvements effectués et à l'évaporation et une phase de remontée du plan d'eau lacustre lors de la crue fluviale. Postérieurement à 1980, une troisième phase fait son apparition, la sollicitation maximale de la dépression lacustre étant différée suite à la possibilité offerte à la CSS de prolonger ses pompages dans le fleuve.

La remontée saline est définitivement circonscrite à la portion de fleuve comprise entre l'embouchure et le km 50 après la mise en eau du barrage anti-sel de Diama le 14 novembre 1985. Depuis, la retenue du réservoir de Diama permet théoriquement des remplissages complémentaires ou d'appoint du lac en dehors de la période de crue fluviale.

Le barrage de Manantali édifié sur le Bafing à 90 km au sud de Bafoulabé au Mali a été achevé au printemps 1987. Ce barrage devait théoriquement créer, en moins de 4 ans, un lac de retenue d'une superficie de 400 km² et d'une capacité en eau de 10 milliards de m³. Son but final est de normaliser le débit du fleuve en garantissant pendant toute l'année un débit minimum de 300 m³/s à l'exutoire de Bakel, de permettre l'irrigation de 375.000 ha, d'autoriser la navigation fluviale jusqu'à Kayes et de produire de l'électricité (800 GWh/an). Les débits transitant à Richard-Toll sont donc en partie liés à l'exploitation du réservoir amont de Manantali dont les objectifs fixés sont cependant loin d'être atteints. En effet, au cours de l'année 1991, le débit à Bakel n'a été supérieur à 300 m³/s que pendant 114 jours ; en revanche, il a été inférieur à 100 m³/s pendant 198 jours (voir Tableau en annexe : débits journaliers en 1991).

III. - PHASES POTENTIELLES AU COURS D'UNE ANNEE HYDROLOGIQUE

La complexité ancienne, récente et actuelle du fonctionnement hydrologique du lac de Guiers impose, avant toute tentative de bilan hydrique, de clarifier de manière très précise les différentes situations ou phases qui peuvent se présenter. Il s'agit de caractériser à tout moment les flux et reflux des masses d'eaux entre le fleuve Sénégal, le lac de Guiers et la vallée du Ferlo en fonction des différentes combinaisons possibles d'ouvertures et de fermetures des barrages ou des digues.

La mémorisation annuelle de la chronologie des événements, archivés partiellement et sans concertation préalable dans différents organismes (CSS, SONEES, SAED, ONG), Universités ou Ministères, est indispensable pour la reconstitution de l'histoire du lac, la compréhension de son évolution dans un passé récent et surtout pour la prévision des modalités de sa gestion dans un futur proche.

A. - LES ALTERNATIVES DE GESTION

En considérant tous les cas de figures, treize situations ont été répertoriées (voir illustration schématique en annexe). Cependant l'état actuel des aménagements autour de la cuvette lacustre, conçus pour y constituer une réserve d'eau douce la plus importante possible, limite en réalité les alternatives plausibles à 11 phases dont 5 constitueraient des pis aller ou des palliatifs dans un contexte climatique difficile allié à une gestion encore "expérimentale" et de ce fait peu rigoureuse de la crue artificielle à partir de Manantali.

Naturellement toutes les phases, du fait du principe fondamental de l'écoulement par gravité, ne peuvent être simultanées. Elles ne se présentent pas non plus obligatoirement au cours d'une même année ou d'un cycle hydrologique et leur alternance, qui dépend des différents scénarios de fonctionnement de l'ensemble fluvio-lacustre, est souvent fortuite.

Dans le tableau 1 sont présentées toutes les possibilités synchrones ou non des combinaisons d'ouverture et de fermeture des barrages de Richard-Toll (B1), de N'Dombo (B2) et de la digue de Keur Momar Sarr (KMS) qui permet la remise en eau du Ferlo. Les pertes ou les apports, qui selon la phase choisie, peuvent participer au bilan hydrologique du lac sont en fonction du sens des transferts d'eaux indiqués par un signe + ou -. Il n'a pas été tenu compte des pertes (évaporation et pompages de la SONEES) ni des apports (pluies et rejets des zones irriguées) qui contribuent de manière continue à la baisse ou à l'élévation du plan d'eau du lac.

Les situations 12 et 13, qui correspondent à la fermeture des 2 barrages B1 et B2 sur le canal de la Taoué, sont dénuées de sens dans le contexte des aménagements entrepris autour du lac. Elles consisteraient en effet à isoler la portion du chenal où s'effectuent les pompages les plus importants de la CSS. Au rythme de prélèvement quotidien de 600.000 m³, cette section dont la contenance est de l'ordre de 130.000 m³ (790 m de long, 45 m de large et 3,70 m de profondeur) serait mise à sec en un peu plus de 5 heures !!!.

Phases 1, 2 et 3 : B1 fermé, B2 ouvert, KMS est ouvert ou fermé

En phase 1, le lac est isolé et fonctionne en "vase clos" . Il subit les sollicitations de toutes les formes d'irrigation (CSS, SAED et cultures de décrue) et de la production d'eau potable (SONEES).

$$(1) \quad V_f - V_i = (V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{p2} + V_{p1} + V_{p'1} + V_{ir})$$

En phases 2 et 3, la communication est établie entre le lac de Guiers et la vallée du Ferlo. Le sens des écoulements est plus vraisemblable dans le sens lac-Ferlo (phase 2).

$$(2) \quad V_f - V_i = (V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{p2} + V_{Lf} + V_{p1} + V_{p'1} + V_{ir})$$

On ne peut cependant exclure des transferts de la vallée du Ferlo vers le lac (phase 3) jusqu'à l'établissement d'un équilibre des plans d'eau de part et d'autre de la digue de Keur Momar Sarr. Cette situation, dont la durée devrait être suffisamment longue, nécessiterait d'une part, un bon remplissage du Ferlo et d'autre part, une croissance des prélèvements pour l'irrigation dans le lac.

$$(3) \quad V_f - V_i = (V_{p0} + V_r + V_{r'} + V_{fL}) - (V_E + V_{p2} + V_{p1} + V_{p'1} + V_{ir})$$

Tableau 1

Les différents états du lac engendrés par l'ouverture (O) ou la fermeture (F) des barrages B1, B2 et de la digue de Keur Momar Sarr (KMS). Les flèches précisent le sens des écoulements. Le signe (+) indique que le terme correspondant participe au bilan du lac et le signe (-) qu'il en est exclu.

Phases	Etat des barrages et de la digue			Apports		Pertes				
	B1	B2	KMS	V_f	V_{fL}	V_{Lf}	V_{Lr}	V_{p1}	$V_{p'1}$	
1	F	O	F	-	-	-	-	+	+	
2	F	O =>	O	-	-	-	+	+	+	
3	F	O <=	O	-	+	-	-	+	+	
4	O	F	F	-	-	-	-	-	+	
5	O	F =>	O	-	-	-	+	-	+	
6	O	F <=	O	-	+	-	-	-	+	
7	O =>	O	F	+	-	-	-	-	-	
8	O <=	O	F	-	-	+	-	+	+	
9	O =>	O =>	O	+	-	-	+	-	-	
10	O <=	O <=	O	-	+	+	-	+	+	
11	O <=	O =>	O	-	-	+	+	+	+	
<hr/>										
Cas particuliers										
12	F	F	F	-	-	-	-	-	+	
13	F	F	O	-	+/-	-	+/-	-	+	

Apports V_f : Apports du fleuve au lac V_{fL} : Apports de la vallée du Ferlo au lac**Pertes** V_{Lf} : Pertes du lac vers le fleuve V_{Lr} : Pertes du lac vers le Ferlo V_{p1} : Pompages de la CSS dans le lac $V_{p'1}$: Pompages sur la rive Est de la Taoué

Phases 4, 5 et 6 : B1 ouvert, B2 fermé, KMS ouvert ou fermé

La liaison fleuve-lac est interrompue. Rappelons que dans cette situation la majeure partie (90 à 95 %) des prélèvements de la CSS pour l'irrigation des champs de canne à sucre se fait à partir des eaux du fleuve. Au cours de la phase 4 le lac évolue en milieu fermé.

$$(4) \quad V_f - V_i = (V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{p2} + V_{p'1} + V_{ir})$$

Lors des phases 5 et 6 les transferts d'eaux sont possibles entre le lac et le Ferlo. La phase 6 est cependant plus hypothétique la phase 3 précédente, les prélèvements de la CSS dans le lac étant considérablement réduits.

$$(5) \quad V_f - V_i = (V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{Lf} + V_{p2} + V_{p'1} + V_{ir})$$

$$(6) \quad V_f - V_i = (V_{p0} + V_r + V_{r'} + V_{fL}) - (V_E + V_{p2} + V_{p'1} + V_{ir})$$

Phases 7 et 8 : B1 et B2 ouverts, KMS fermé

Le Ferlo est isolé du dispositif fluviolacustre. C'est la situation habituelle d'hivernage au moment de l'arrivée de la crue annuelle. L'évolution relative des niveaux du fleuve et du lac gère les flux et les reflux des masses d'eaux.

$$(7) \quad V_f - V_i = (V_F + V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{p2})$$

La phase 8 est un anachronisme. Elle résulte de la trop faible élévation du réservoir de Diama, qui découle de la gestion du barrage amont de Manantali. Cette situation peut-être d'actualité au moment des marnages importants engendrés par les périodes équinoxiales de printemps (mars) mais aussi plus tardivement dans l'année selon "l'état" de la réserve de Diama. La conception de l'ouvrage impose en effet certaines contraintes techniques et entre autre que le dénivelé entre l'amont et l'aval du barrage ne soit pas excessif (< à 0,50 m).

$$(8) \quad V_f - V_i = (V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{LF} + V_{p2} + V_{p1} + V_{p'1} + V_{ir})$$

Phases 9,10 et 11 : B1, B2 et KMS ouverts

L'ensemble du dispositif fonctionne en milieu ouvert; les eaux circulent librement entre les trois milieux au gré des variations relatives des niveaux : la distinction de trois phases ne résulte que du sens du flux et du reflux des eaux. La phase 9 qui correspond à la submersion de la vallée du Ferlo par les eaux fluviales, via le lac de Guiers, est la plus fréquente.

$$(9) \quad V_f - V_i = (V_F + V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{Lf} + V_{p2})$$

La phase 10 avec le reflux des eaux de la vallée du Ferlo vers le fleuve Sénégal est hypothétique.

$$(10) \quad V_f - V_i = (V_{p0} + V_{fL} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{LF} + V_{p2} + V_{p1} + V_{p'1} + V_{ir})$$

La phase 11 qui aboutit à la situation du lac en position haute par rapport au fleuve et au Ferlo ne peut être qu'éphémère et fugace.

$$(11) \quad V_f - V_i = (V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{LF} + V_{Lf} + V_{p2} + V_{p1} + V_{p'1} + V_{ir})$$

Il ressort de cette brève présentation que les situations les plus avantageuses pour le lac de Guiers, qui découlent d'un bon remplissage par la crue fluviale et d'une diminution importante des prélèvements pour l'irrigation correspondent aux phases 4 et 7. Depuis quelques années ces options ont été les plus fréquentes.

B. - CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS EN 1991

L'année 1991 a été marquée par deux faits nouveaux si l'on fait abstraction du développement des cultures traditionnelles de décrue sur le pourtour du lac (opportunités fonctions du niveau du plan d'eau) ou encore des périmètres "sauvages" ou incontrôlés de complaisance :

- l'extension des casiers de la CSS (parcelle Taoué 2 de cultures de canne à sucre) en amont du barrage B2 ce qui signifie des prélèvements (V_{p1}) dans le chenal de la Taoué et éventuellement dans le lac lorsque B2 est fermé, mais aussi des rejets (V_r) dans le lac.

- le développement des casiers rizicoles (riz d'hivernage d'août à novembre et de contre-saison de février à juin) en rive Ouest de la Taoué et de la polyculture (tomate, arachide...) en rive Est dans le cadre du projet JICA actuellement géré par la SAED (Société d'Aménagements et d'Exploitation des terres du Delta).

On peut aussi remarquer que le pont-barrage de Richard-Toll (B1) n'a pas été fermé depuis le 14 juillet 1987 c'est à dire depuis la tentative de normalisation partielle (60 % environ) des crues du Sénégal par le barrage amont de Manantali. Si son utilité comme pont routier est certaine, son ouverture permanente permet aussi à la CSS de maintenir, sinon d'agrandir, son réseau d'exploitations agricoles de canne à sucre quasi-uniquement à partir des eaux du fleuve. Ceci n'est naturellement exact que dans la mesure où les transferts ne se font pas dans le sens lac/fleuve (cas évoqué précédemment d'un soutien du lac au réservoir de Diama).

La figure 6 illustre les variations du plan d'eau lacustre observées en 1991 (voir aussi le tableau des hauteurs journalières en annexe).

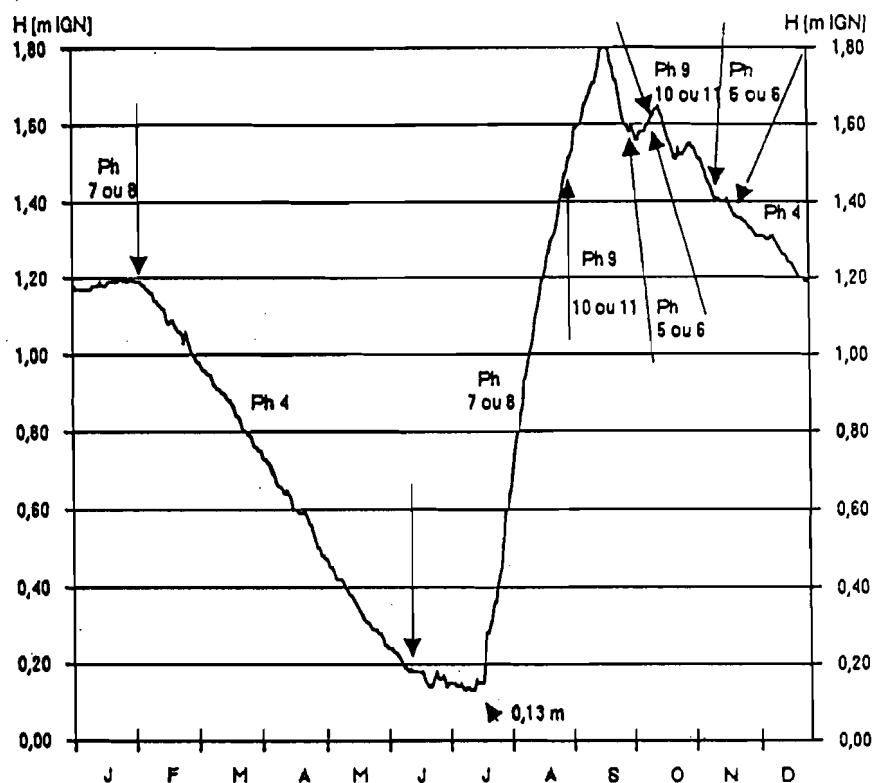


Fig. 6 - Evolution du niveau du lac en 1991

L'année se subdivise en quatre périodes : une légère hausse du 1 au 30 janvier, une décroissance régulière du 31 janvier au 17 juillet jusqu'à la cote minimale de + 0,13 IGN du 15 au 17 juillet (le lac évolue en milieu fermé), une élévation continue entre le 18 juillet et le 25 septembre (maximum du 22 au 25 septembre : 1,80 m IGN) et enfin un épisode ultime entre le 25 septembre et le 31 décembre marqué par une tendance générale à la baisse du niveau entrecoupée par d'éphémères reprises et de hausses passagères du plan d'eau.

Parmi les quinze années d'observations, l'année 1991 se situe au troisième rang des meilleurs remplissages après les années 1981 et 1988. Le niveau minimum est assez remarquable : comme en 1988 il s'est maintenu au-dessus du 0 IGN. Si l'oscillation annuelle de la hauteur d'eau a été de 1,67 m, les contours du lac présentent la même physionomie en début et fin d'année ($H = 1,18$ m le 1/01 et $H = 1,19$ m le 31/12).

En résumé les situations en 1991 peuvent vraisemblablement, si on exclut la possibilité du retour des eaux de la vallée du Ferlo vers la dépression lacustre, être limitées à 6 phases : 4 (OFF), 5(OFO), 7 et 8 (OOF), 9 et 11 (OOO).

La figure 7 précise la tendance globale de l'évolution du niveau du lac entre 1976 et 1991.

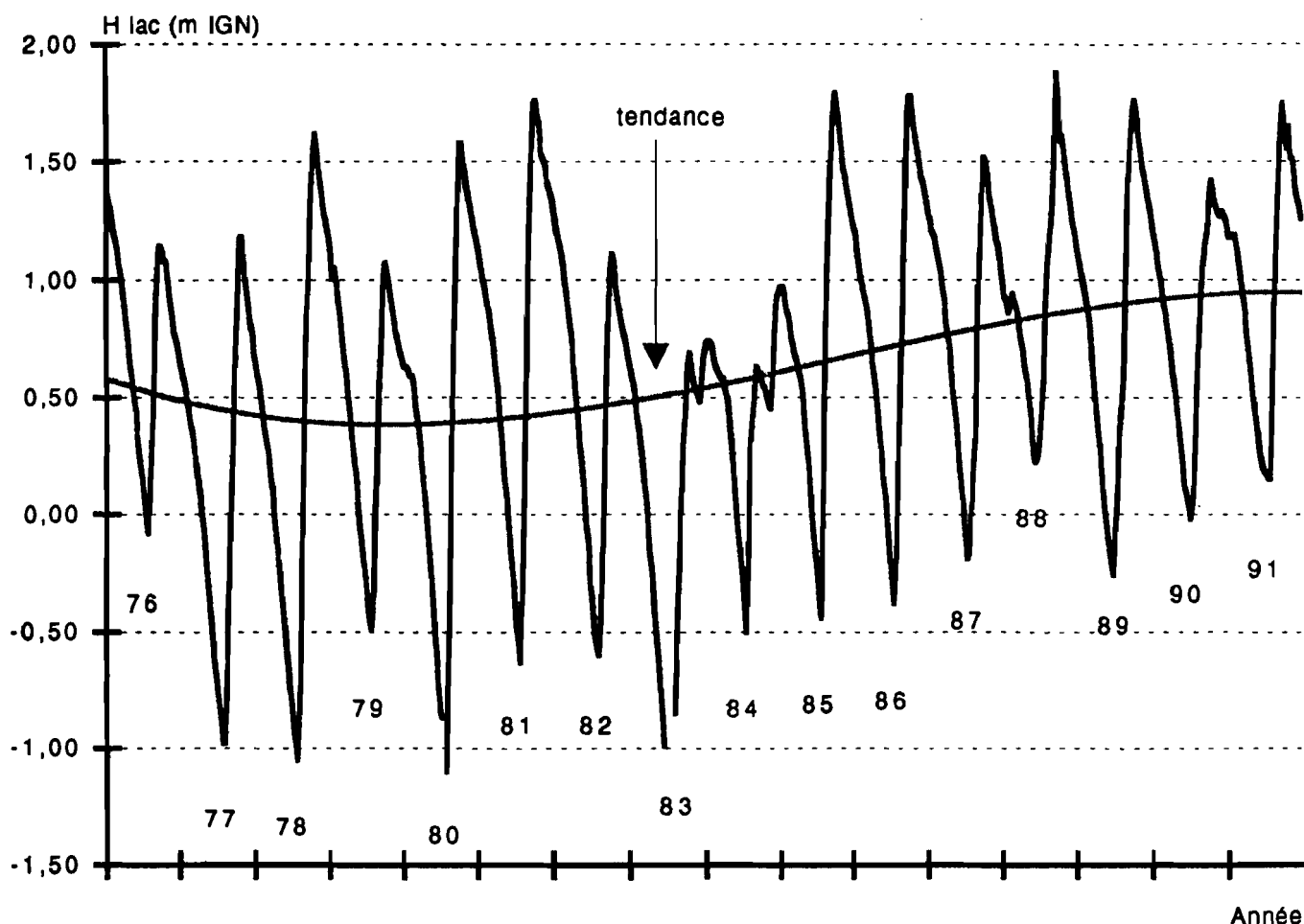


Fig. 7 - Variations du niveau du lac de 1976 à 1991

La courbe de tendance générale représentée sur la figure 7 a été établie à partir d'une équation polynomiale du 3^{ème} degré qui intègre l'ensemble des données limnimétriques. Après une relative stabilité autour de 0,50 m IGN entre 1976 et 1983, la position moyenne du plan d'eau indique une nette tendance à une hausse continue de 1984 à 1991. Elle découle des aménagements successifs entrepris sur l'environnement fluvio-lacustre.

Le tableau 2 précise la succession des différentes phases observées en 1991.

Tableau 2

Etat des barrages et situations observées en 1991. Le barrage B2 de N'Dombo comporte 32 vannes; son ouverture peut être intégrale ou partielle (les pourcentages indiqués correspondent au degré d'ouverture). Les niveaux du lac de Guiers (hi : hauteur initiale et hf, hauteur finale) sont précisées en m (IGN). Le pont-barrage de Richard-Toll (B1) est ouvert toute l'année.

Date	Barrages		Phases	Niveaux du lac		
	B2	KMS		hi	hf	h
<u>I- 01/01 - 30/01</u>						
- 01/01 - 09/01	0	F	7 ou 8	1,18	1,17	- 0,01
- 10/01 - 30/01	0	F	7 ou 8	1,17	1,19	+ 0,02
<u>II- 31/01 - 11/06</u>	F	F	4	1,20	0,20	- 1,00
<u>III- 12/06 - 03/10</u>						
- 12/06 - 03/07	0 (50%)	F	7 ou 8	0,19	0,15	- 0,04
- 04/07 - 13/07	0 (88%)	F	7 ou 8	0,15	0,14	- 0,01
- 14/07 - 17/07	0 (50%)	F	7 ou 8	0,14	0,13	- 0,01
(minimum du 15 au 17 juillet : 0,13 m)						
- 18/07 - 31/07	0 (88%)	F	7 ou 8	0,13	0,45	+ 0,32
- 01/08 - 27/08	0	F	7 ou 8	0,45	1,32	+ 0,87
- 28/08 - 03/10	0	0	9,10,11	1,32	1,60	+ 0,28
(maximum du 22 au 25 septembre : 1,80 m)						
<u>IV- 04/10 - 10/10</u>	F	0	5 ou 6	1,60	1,58	- 0,02
<u>V- 11/10 - 14/11</u>						
- 11/10 - 13/10	0 (19%)	0	9,10,11	1,58	1,58	+ 0,00
- le 14/10	0 (25%)	0	9,10,11	1,58	1,60	+ 0,02
- 15/10 - 14/11	0 (44%)	0	9,10,11	1,60	1,44	- 0,16
<u>VI- 15/11 - 31/12</u>						
- 15/11 - 20/11	F	0	5 ou 6	1,44	1,40	- 0,04
- 21/11 - 31/12	F	F	4	1,40	1,19	- 0,21

IV. - QUANTIFICATION DES DIFFERENTS TERMES DU BILAN HYDROLOGIQUE

A. - LES PERTES

1. Les prélèvements de la SONEES (V_{p2})

La SONEES (société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal) effectue ses prélèvements en rive Ouest dans la partie centrale du lac. Les eaux traitées sur place (station d'épuration de N'Gnith) sont destinées à l'approvisionnement en eau potable de Dakar et de sa proche banlieue.

La société comptabilise quotidiennement ses prélèvements d'eaux (Tableau 3) qui oscillent autour d'une moyenne de 40.000 m³/jour avec des pompages plus réduits d'octobre à décembre (35.000 m³) et des pointes (42.000 m³) entre mars et juin en fin de saison sèche .

Remarque: En début d'année 1992, l'usine de N'Gnith a été confrontée à de réelles difficultés par suite de la trop forte turbidité des eaux.

Tableau 3

Prélèvements journaliers de la SONEES en 1991 (en m³)

Mois	Volume	Mois	Volume	Mois	Volume
Janvier	40.882	Mai	41.794	Septembre	37.467
Février	40.526	Juin	42.126	Octobre	35.598
Mars	40.890	Juillet	40.538	Novembre	39.653
Avril	41.376	Août	37.886	Décembre	35.616

2. - Les prélèvements de la CSS pour l'irrigation de la canne à sucre (V_{p1} et $V_{p'1}$)

a) Le casier principal

Les pompages de la CSS peuvent se faire indifféremment dans le fleuve Sénégal ou dans le lac de Guiers, via le canal de la Taoué grâce au jeu des barrages de Richard-Toll (B1) et de Ndombo (B2), et en fonction du sens des écoulements.

Le système est suffisamment complexe pour s'y attarder un instant. La CSS exploite 3 casiers de canne à sucre dont la superficie totale est de l'ordre de 8.000 hectares. Les besoins en eau sont estimés à 100 m³/jour/hectare. Les deux principaux casiers, dont on évalue les superficies cultivées en continu à 6000 ha, soutirent leur prélèvements (V_{p1}) dans la portion du canal de la Taoué située entre les deux barrages.

Le plus important situé en rive Ouest de la Taoué rejette les eaux de drainage (V_r) dans la partie septentrionale du lac par l'intermédiaire de l'ancien lit du marigot sinueux de la Taoué. Le second en rive Est de la Taoué évacue ses eaux "usées" directement dans le fleuve en amont de Richard-Toll. Quelle que soit la situation et le sens du mouvement des masses d'eaux le terme V_r

est à prendre en compte dans le bilan des apports au lac. En revanche, le terme V_{p1} peut être exclu du bilan hydrologique du lac ou y figurer au titre des pertes. Les deux possibilités comportent aussi deux cas de figures :

- Les pompages de la CSS sont exclus du bilan d'une part, lorsque les deux barrages B1 et B2 sont ouverts et que la crue du Sénégal pénètre dans le lac (phases 7 et 9) et d'autre part, lorsque B1 est ouvert et B2 fermé (phases 4,5 et 6)

- Les pompages de la CSS sont à comptabiliser dans le bilan du lac lorsqu'inversement B1 est fermé et B2 ouvert (phases 1,2 et 3) ou encore pendant les périodes de libre circulation des eaux et que les écoulements se font dans le sens lac/fleuve (phases 8, 10 et 11).

b) La parcelle Taoué 2

Le dernier casier appelé "Taoué 2", qui couvre une superficie exploitable de 550 ha (440 ha sous cultures en continu), se situe sur la bordure Nord du lac de Guiers, en rive Est du canal de la Taoué en amont du barrage B2. Les prélèvements V_{p1} interviennent dans le bilan hydrologique du lac sauf pendant les phases 7 et 9 lorsque le fleuve se déverse dans la dépression lacustre. Naturellement cette nouvelle exploitation génère également des rejets V_r transférés dans la partie nord-est du lac.

En résumé les pompages de la CSS sont quotidiennement de l'ordre de :

$$V_{p1} = 600.000 \text{ m}^3 \text{ et } V_{p'1} = 44.000 \text{ m}^3$$

3. - Les prélèvements de la SAED (V_{lr})

Depuis décembre 1990, la SAED (Société d'Aménagements et d'Exploitation des terres du Delta) a développé de part et d'autre du canal de la Taoué deux types d'exploitations agricoles : casier rizicole en rive Ouest et polyculture (tomate et arachide) en rive Est.

a) Le casier rizicole

Le casier rizicole couvre une superficie de 500 hectares. Il s'agit de riz d'hivernage d'août à novembre et de riz de contre-saison de février à juin. Les données sur les prélèvements sont inexistantes et elles ne peuvent qu'être estimées à partir des normes habituellement admises pour les besoins en eau de ce type de culture. La difficulté réside dans le fait que les pompages pour l'irrigation des parcelles rizicoles se font simultanément de part et d'autre du barrage de N'Dombo (B2). En termes de bilan pour le lac une partie (60 %) de ses prélèvements proviennent de l'ancien marigot de la Taoué, dont l'embouchure dans le canal se situe entre les deux ponts barrages; ils sont donc assimilables aux pompages principaux (V_{p1}) de la CSS. Le complément de 40 % est quant à lui associé au V_{p1} du casier Taoué 2. L'exclusion ou la participation de ces prélèvements dans le bilan du lac suit les mêmes règles énoncées pour la CSS.

Les besoins quotidiens (en m^3/ha) pour la culture du riz, en admettant une irrigation efficace de 60 %, sont évalués à :

<u>Riz de contre-saison</u>		<u>Riz d'hivernage</u>	
Janvier	: 0	Juillet	: 0
Février	: 140	Août	: 150
Mars	: 200	Septembre	: 210
Avri	: 200	Octobre	: 210
Mai	: 200	Novembre	: 110
Juin	: 150	Décembre	: 0

Par exemple, supposons une phase 4 en février (situation OFF). Seuls 40 % des pompages de la SAED (soit 56 m³/ha/jour) sont soutirés au lac. Les 60 % restant (soit 84 m³/ha/jour) sont prélevés dans l'ancienne Taoué, elle-même alimentée par le fleuve, et donc non pris en compte dans le bilan du lac.

Dans l'hypothèse d'une phase 1 (situation FOF) et donc d'une rupture de la liaison fluvio-lacustre, l'intégralité des prélèvements de la SAED doit être prise en considération dans la formulation du bilan hydrologique du lac.

b) La polyculture en rive Est de la Taoué (projet SAED/JICA)

Le périmètre irrigué couvre une superficie de 150 hectares. Initialement dans le cadre du projet japonais JICA, 127 ha étaient destinés à la polyculture (tomate, arachide...) et 23 ha à la riziculture. L'approvisionnement en eau à partir du canal de la Taoué est assuré par deux pompes identiques dont le débit est de 740 m³/heure.

En 1991, la totalité du périmètre a été réservée à la culture de la tomate, d'abord de janvier à avril puis de novembre à décembre. Les besoins journaliers en eaux de la parcelle sont estimés à 60 m³/hectares. Compte tenu de l'irrigation efficace (60 %) on évalue à environ 15.000 m³/jour le volume à prendre en compte dans le bilan du lac.

A noter que les objectifs de la SAED sont fondés sur 10 heures quotidiennes de fonctionnement des 2 pompes. La consommation est de l'ordre de 14.800 m³/jour, résultat très voisin de notre estimation. Quelle que soit la provenance des eaux nécessaires aux projets agricoles de la SAED, les besoins théoriques peuvent être résumés en fonction des cultures et selon les saisons (Tableau 4).

Tableau 4

Prélèvements journaliers de la SAED en 1991 (en m³)

Mois	Riz 500 ha	Tomate 150 ha	Total (m ³) jour/ha	Total (m ³) jour/SAED
Janvier	0	100	100	15.000
Février	140	100	240	85.000
Mars	200	100	300	115.000
Avril	200	100	300	115.000
Mai	200	0	200	100.000
Juin	150	0	150	75.000
Juillet	0	0	0	0
Août	150	0	150	75.000
Septembre	210	0	210	105.000
Octobre	210	0	210	105.000
Novembre	210	100	310	120.000
Décembre	0	100	100	15.000

4. Les pertes par évaporation (V_E)

L'évaporation d'une nappe d'eau libre n'est naturellement pas quantifiable directement comme le sont globalement les prélèvements pour l'irrigation ou la production d'eau potable. Selon la phase de l'année hydrologique et en se référant aux seules équations définies précédemment (4, 5, 7, 8 et 9) qui correspondent à des situations vécues, le terme V_E peut être :

- soit la seule inconnue de l'équation du bilan : cas simple de la phase 4 (état OFF, lac isolé),
- soit l'une des 2 composantes inconnues : cas de la phase 5 (état OFO, VE et VLf), 7 (état OOF, VE et VF), 8 (état OOF, VE et VLF),
- soit l'une des trois inconnues : cas complexe de la phase 9 (OOO, VE, VF et VLf, libre circulation des eaux)

a) Phase 4

Lorsque le lac évolue en système fermé la résolution de l'équation 4 donne directement la valeur de VE. En tenant compte de la surface moyenne du lac pendant l'intervalle de temps considéré, le volume d'eau perdue par évaporation se traduit en hauteur d'eau EL. Cette hauteur d'eau est comparée aux résultats fournis (EB) par le bac d'évaporation de classe A de la station météorologique de la CSS et à ceux obtenus dans un bac flottant (Ebf) installé depuis 1990 dans le chenal principal d'irrigation des champs de canne à sucre.

b) Phases 5, 7, 8 et 9

Les équations 5,7,8 et 9 comportent, outre l'évaporation VE, plusieurs termes qui seraient éventuellement mesurables directement tels que VF (apports du fleuve au lac), VLf (déversements du lac vers la vallée du Ferlo). La composante VLF (transferts des eaux du lac vers le fleuve ou le réservoir de Diama) est plus difficilement quantifiable du fait de son caractère imprévisible.

Le terme VE peut être estimée à partir de l'évaporation observée quotidiennement dans les bacs d'évaporation (EB ou Ebf) ou également en fonction de leur valeur relative Ebf/EB. Les données complètes sur l'évaporation du bac flottant figurent en annexe. Le tableau 5 résume, par décade les observations en 1991.

En partant du principe que l'évaporation du bac de classe A doit être toujours supérieure à celle du bac flottant les observations en 1991 permettent de faire ressortir 6 valeurs anormales (Fig.8). Le coefficient de corrélation est de 0,77 entre les 36 valeurs décadaires et de 0,93 en éliminant les 6 anomalies. Les équations de régression sont les suivantes:

$$n = 36 \Rightarrow E_B = 2,87 + 0,77 E_{bf}$$

$$n = 30 \Rightarrow E_B = 1,71 + 0,97 E_{bf}$$

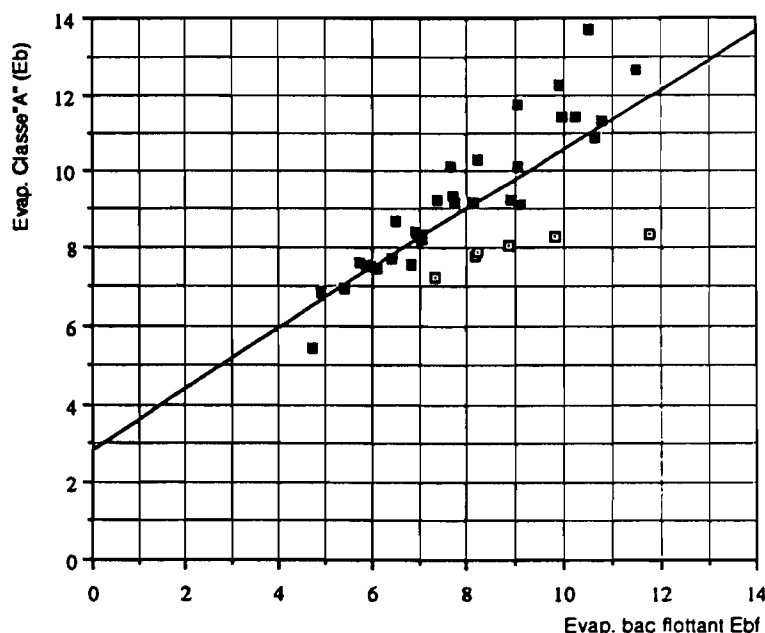


Fig. 8 - Relation entre l'évaporation en bac A et le bac flottant

Tableau 5

Evaporation décadaire (Ebf) en 1991 dans le bac flottant (mm/jour). Evaporation décadaire (EB) en 1991 dans le bac de classe A (mm/jour). Le protocole de lecture dans le bac flottant (pointe immergée) consiste lors de chaque observation à des ajouts variables de volumes d'eau auxquels sont additionnées les pluies éventuelles.

Mois	Décade Ebf	EB	Mois	Décade Ebf	EB
Janvier			Juillet		
- 01/10	7,08	8,34	- 01/10	7,68	10,16
- 11/20	5,97	7,50	- 11/20	7,38	9,23
- 21/31	5,90	7,58	- 21/31	7,76	9,20
Février			Août		
- 01/10	8,20	10,31	- 01/10	8,85*	8,07
- 11/20	11,77*	8,37	- 11/20	6,52	8,67
- 21/28	9,01	11,76	- 21/31	6,91	8,42
Mars			Septembre		
- 01/10	9,09	9,15	- 01/10	7,33*	7,21
- 11/20	9,89	12,25	- 11/20	6,41	7,75
- 21/31	10,61	10,87	- 21/30	6,85	7,58
Avril			Octobre		
- 01/10	10,77	11,32	- 01/10	5,41	6,92
- 11/20	9,96	11,42	- 11/20	6,09	7,47
- 21/30	11,47	12,65	- 21/31	7,06	8,23
Mai			Novembre		
- 01/10	10,22	11,40	- 01/10	8,23*	7,91
- 11/20	10,49	13,74	- 11/20	5,75	7,62
- 21/31	7,70	9,37	- 21/30	4,92	6,82
Juin			Décembre		
- 01/10	9,03	10,16	- 01/10	4,73	5,44
- 11/20	8,89	9,23	- 11/20	8,15*	7,77
- 21/30	8,11	9,20	- 21/31	9,82*	8,31

(*) valeurs douteuses

Une autre approche du terme évaporatoire consiste à considérer les relations entre l'évaporation en bac A (EB) et l'évaporation calculée du lac (EL) définies pour la période 1976-1989 par COGELS et *al.* (1991).

Rappelons que ces rapports mensuels ont été estimés au cours des années où le lac fonctionnait en système fermé (état OFF ou FOF), c'est à dire quand l'évaporation constituait, la majeure partie de l'année, la seule inconnue du bilan hydrologique et donc quantifiable directement. Ces rapports EL/EB figurent dans le tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6

Evaluation du rapport mensuel entre l'évaporation du lac (EL) et l'évaporation en bac de classe A (EB) selon COGELS et al. (1991).

Mois	EL/EB	Mois	EL/EB	Mois	EL/EB
Janvier	0,56	Mai	0,58	Septembre	0,73
Février	0,55	Juin	0,62	Octobre	0,82
Mars	0,53	Juillet	0,57	Novembre	0,72
Avril	0,57	Août	0,65	Décembre	0,59

5. Les déversements vers la vallée du Ferlo (V_{L_f})

La vallée du Ferlo isolé du dispositif fluvio-lacustre en 1957 a été remise en eau à partir de 1988. Deux crues artificielles successives du fleuve Sénégal (1987 et 1988) gérées par le barrage amont de Manantali laissaient en effet entrevoir la possibilité de submerger cette vallée morte, sans risque de pénurie d'eau dans le lac. Dans l'incertitude cependant, l'ouverture des vannes de la digue de Keur Momar Sarr ne fût réalisée qu'à la cote maximum du lac (+ 1,88 m IGN) le 20 septembre 1988 (GAC et al., 1990). L'expérience fût renouvelée en 1989 (COGELS et al., 1991) à partir d'une élévation plus faible du plan d'eau (+ 1,30 m IGN). En 1990 les déversements vers le Ferlo furent très brefs par suite d'un remplissage tardif et réduit (+ 1,42 m IGN) de la dépression lacustre (Gac et al. 1991). Il semble établi que la submersion de la vallée du Ferlo puisse être réalisée dès le franchissement du seuil de + 1,30 m IGN par le niveau du plan d'eau du lac. (Tableau 7)

Tableau 7

Périodes de déversements du lac dans la vallée du Ferlo, côtes IGN (en m) au moment des ouvertures et fermetures de la digue de Keur Momar Sarr, volumes estimés (en millions de m³) de la lame de submersion.

Année	1988	1989	1990	1991
Ouverture Côtes	20/09 (1,88)	31/08 (1,30)	09/10 (1,42)	28/08 (1,32)
Fermeture Côtes	04/11 (1,48)	18/10 (1,62)	13/12 (1,28)	20/11 (1,40)
Durée (j)	45	49	65	84
Volumes estimés	46	75	7,8	?

En 1988, l'objectif des transferts vers la vallée du Ferlo était d'éliminer l'accumulation de masses d'eaux stagnantes très minéralisées dans la région méridionale du lac (COGELS, 1984). Il s'est avéré au fil des années qu'amalgamées et diluées par les crues fluviales ces inondations intermittentes se soient révélées d'un intérêt temporaire pour les populations et le cheptel de la vallée du Ferlo.

Les quantités déversées peuvent être évaluées directement au moment de l'interruption de la liaison fleuve/lac (phases 2 et 5 correspondant aux situations FOO et OFO). L'évaporation est alors estimée et V_{Lf} devient la seule inconnue dans l'équation du bilan.

Lorsque la libre circulation des eaux est de règle entre les trois milieux (phase 9, état OOO), les volumes V_{Lf} sont calculés par la méthode d'estimation présentée par GAC et al. (1990) et basée sur les vitesses du courant.

6. Les transferts du lac vers le fleuve (V_{LF})

Ces transferts existaient bien avant la mise en place des barrages lorsque le dispositif fluvio-lacustre fonctionnait à l'état naturel. Depuis les aménagements et au cours de la dernière décennie ces transferts, qui imposent naturellement que les deux barrages B1 et B2 soient simultanément ouverts, ont été observés en 1983, 1984, 1988, 1989, probablement en 1990 et en 1991.

Les situations correspondantes OOF et OOO concernent les phases 8 (la plus fréquente), 10 et 11. En phase 8 le terme V_{LF} est estimé directement après approximation de l'évaporation.

B. - LES APPORTS

1. Les précipitations sur le lac et son bassin versant (V_{p0})

Le laboratoire d'hydrologie-pédologie de la CSS dispose, à Richard-Toll et dans le périmètre sucrier qu'elle exploite, de 16 postes pluviométriques et de 3 stations météorologiques bien équipées dont les données fiables ont été extrapolées au lac de Guiers. En raison de la grande variabilité des contours du lac et donc de sa surface, les apports par les pluies ont été dissociés en apports directs sur le plan d'eau et en apports indirects par ruissellement sur le bassin versant.

Les retombées directes sur le lac sont fonction de l'importance des précipitations et de sa surface le jour de l'averse. Les apports indirects sont considérés sur la surface dite "sèche" disponible du bassin versant limité à la cote + 4 m IGN en tenant compte d'un coefficient de ruissellement de 10 %. La superficie du bassin versant a été évaluée à 354 km² par COGELS et GAC (1981). Le coefficient de ruissellement adopté peut paraître excessif (1% d'après IBIZA, 1972, sur le bassin du lac de Bam au Burkina) : il a été retenu en raison de l'étroitesse du bassin, de la rareté de la végétation et de l'occurrence des précipitations en période d'hivernage lorsque le lac est le plus étendu. En tout état de cause, le ruissellement ne représente en volume qu'environ 5 à 6 % de l'apport global par les pluies (Tableau 8).

L'apport (V_{p0} en 10^6 m^3) au cours de chaque averse est calculé à partir de l'équation suivante :

$$V_{p0} = P \cdot 10^{-3} (35,4 + 0,9 S)$$

P (pluie) en mm

S (surface du lac) en km².

Tableau 8

Apports pluviométriques (V_{p0}) en 1991 (en 10^6 m³)

Date	Pluie (mm)	Cote (m)	Surface (km ²)		Direct	V_{p0}	
			Lac	B.V.		Ruis.	Total
24/01	2,2	1,20	250,3	103,7	0,55	0,02	0,57
04/06	0,4	0,24	191,5	162,5	0,08	0,01	0,09
31/07	23,2	0,45	206,3	147,7	4,79	0,34	5,13
01/08	6,1	0,52	210,9	143,1	1,29	0,09	1,38
25/08	12,4	1,27	253,9	100,1	3,15	0,12	3,27
30/08	1,3	1,38	259,3	94,7	0,34	0,01	0,35
31/08	2,6	1,41	260,8	93,2	0,68	0,02	0,70
01/09	10,3	1,44	262,2	91,8	2,70	0,09	2,79
02/09	2,0	1,47	263,7	90,3	0,53	0,02	0,55
04/09	13,4	1,51	265,6	88,4	3,56	0,12	3,68
07/09	10,7	1,59	269,3	84,7	2,88	0,09	2,97
20/09	30,8	1,75	276,4	77,6	8,51	0,24	8,75
27/09	0,6	1,76	276,9	77,1	0,17	0,00	0,17
05/10	1,4	1,59	269,3	84,7	0,38	0,01	0,39
09/10	40,7	1,56	267,9	86,1	10,90	0,35	11,25
<hr/>							
Totaux	158,1				40,51	1,53	42,04

Le cumul des pluies en 1991 s'élève à 158,1 mm. Le déficit est de 25 % par rapport à la moyenne interannuelle (211 mm) observée entre 1976 et 1991. COGELS et al. (1990) ont proposé, à titre de contrôle, une relation linéaire entre la pluie annuelle (P) et les apports totaux (V_{p0}) au lac :

$$V_{p0} = 0,214 P + 0,85 \text{ avec } V_{p0} \text{ en } 10^6 \text{ m}^3 \text{ et } P \text{ en mm}$$

2. Les rejets des zones irrigués (V_r et $V_{r'}$)

Les excédents d'eau des zones irriguées sont évacués par un système complexe de drainage soit souterrain soit superficiel. Les stations de drainage de la CSS comportent 7 points de rejets (4 dans le casier Ouest, 2 dans le casier Est de Khouma-Mbilor et 1 dans le nouveau périmètre de Taoué 2).

Les eaux usées et minéralisées (de 0,8 à 2 g/l) à faciès chloruré-sulfato sodiques sont acheminées vers le fleuve Sénégal, le marigot du Diovol et vers la zone nord du lac de Guiers, de part et d'autre du chenal de la Taoué. Selon CISSE (1989), la quantité totale d'eau drainée est de l'ordre de 120 millions de m³/an.

Les rejets V_r du casier Ouest sont connus par le débit et le temps de fonctionnement de la pompe X6 située à l'embouchure de la Taoué dans la partie nord-ouest du lac. Ils proviennent des casiers sud de la CSS, dont la superficie est de 1.875 ha, et ils ont été estimés par CISSE (1989) à 33,265 millions de m³/an (91.000 m³/jour).

Les rejets $V_{r'}$ du nouveau périmètre de 550 ha (440 ha en culture continue) en rive Est de la Taoué peuvent être évalués en considérant l'ensemble des débits quotidiens des 6 autres stations de drainage et en adoptant la valeur moyenne par ha (Tableau 9).

Tableau 9

Caractéristiques des stations de drainage et évaluation des rejets

Station	Superficie Parcelles (en ha)	Rejets annuels (en 10 ⁶ m ³)	Rejet moyen annuel (en m ³ /ha)
Casier Ouest			
- X 1 (fleuve)	1425	25,27	17.730
- X 3 (fleuve)	975	16,71	17.140
- X 5 (fleuve)	675	12,18	18.040
- X 6 (lac)	1875	33,26	17.740
Casier Est			
- KH 1 (fleuve)	1200	20,96	17.470
- KH 2 (fleuve)	1350	23,79	17.620

Les données des différentes pompes sont très voisines et on peut estimer les rejets moyens V_r à environ 17.620 m³/ha/an et pour la totalité du périmètre à 21. 240 m³/jour.

3. Les apports du fleuve (V_F)

a) Abaque OMVS

Le flot entrant dans le chenal de la Taoué est estimé à partir de l'abaque de l'OMVS (1976) :

$$Q^2 = 21,7 [(Z + 2)^{4,8} - (z + 2)^{4,8}]$$

Q : débit en m³/s

Z : cote du fleuve à Richard-Toll (en m IGN)

z : cote du lac de Guiers (en m IGN)

Cet abaque ne peut fournir qu'une évaluation approximative des apports du fleuve. En effet depuis 1976 où elle fût établie le profil et la section du chenal de la Taoué ont été profondément modifiés.

b) Courbe d'étalonnage OMVS/ORSTOM

L'installation d'échelles de crue en 1989, et la campagne de jaugeages réalisés sur la Taoué en 1990 (LAMAGAT et al., 1990) a permis de définir une nouvelle courbe d'étalonnage qui devrait cependant être validée par de nouveaux tarages.

Deux échelles sont prises en considération :

- l'échelle du quai de Richard-Toll qui donne le niveau du fleuve (zéro de l'échelle à - 0,40 m IGN). La lecture de cette échelle est notée h_{quai}

- l'échelle située à l'extrémité sud du chenal de la Taoué à proximité de l'embouchure dans le lac (zéro de l'échelle à - 0,37 m IGN).

Le débit Q est associé à une hauteur d'eau h du fleuve et à la différence de charge entre le fleuve et le lac, exprimée par la dénivelée D. Le tarage de la station est effectué à l'aide de la

méthode de la dérivée normale (JACCON, 1986). Cette méthode recherche la correction qui sera appliquée au débit Q correspondant à une hauteur h , lorsque la dénivelée D entre les deux échelles diffère de la valeur normale D_n pour laquelle la courbe $Q(h)$ a été déterminée. Il faut donc prendre en compte deux courbes qui sont les suivantes :

(1) la courbe de tarage à dénivelée normale D_n : $Q_n = f(h, D_n)$

(2) la courbe de correction du débit : $Q_n = Q [D_n / (D + dh)]^n$

Q_n : débit correspondant à la dénivelée normale D_n

D_n : dénivelée normale

dh : erreur de calage entre les deux échelles

D : dénivelée entre les deux échelles

Les paramètres n , D_n et dh valent respectivement 0,57; 8 et 5. Ainsi Q_n ne dépend que de la hauteur d'eau du fleuve à l'échelle du quai de Richard-Toll. La courbe $Q_n = f(h_{\text{quai}})$ a été discrétisée de la façon suivante :

- 0,60 m \leq $h_{\text{quai}} \leq$ 0,80 m $Q_n = 0,01 h + 23,4$

- 0,80 m \leq $h_{\text{quai}} \leq$ 1,00 m $Q_n = 0,11 h + 15,4$

- 1,00 m \leq $h_{\text{quai}} \leq$ 1,20 m $Q_n = 0,36 h - 9,6$

- 1,20 m \leq $h_{\text{quai}} \leq$ 1,40 m $Q_n = 0,50 h - 26,4$

- 1,40 m \leq $h_{\text{quai}} \leq$ 1,60 m $Q_n = 0,64 h - 46,0$

Le calcul de h_{quai} se fait par itérations successives jusqu'à ce que la différence des Q_n pour les équations (1) et (2) soit faible. Q_n n'est déterminé que pour des hauteurs du fleuve au quai de Richard-Toll comprises entre 0,60 et 1,60 m. Ainsi lorsque pour une hauteur donnée du lac, h_{quai} n'est pas trouvé dans la gamme de hauteurs précédentes, le processus itératif défini par le logiciel de gestion prévisionnelle du lac (LGPLG) mis au point par EVORA et al. (1991) s'arrête pour $h_{\text{quai}} = 1,61$ m. Si le débit Q est nul, alors $h_{\text{quai}} = 0$.

La courbe de tarage à dénivelée normale est une courbe bi-univoque $Q_n = f(h)$, D_n étant connu. La courbe de correction de débit s'écrit selon LAMAGAT et al. (1990) :

$$Q = Q_n [(D + 5) / 8]$$

les hauteurs d'eau sont exprimées en cm.

Exemple d'utilisation :

Le 18 juillet 1990, les hauteurs au quai et au lac étaient respectivement de 68 et de 40 cm. La dénivelée D est égale à 28 cm. On en déduit $(D/d_h)/D_n = (28+5)/8 = 4.13$

Sur la courbe de tarage à dénivelée normale $Q_n = f(h_{\text{quai}})$ de la figure 9, on détermine (pour $h = 68$ cm) un débit Q_n de $24,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Sur la courbe de correction de débit (Fig. 10), on trouve $Q/Q_n = 2,24$ rapport qui permet d'évaluer Q à $55 \text{ m}^3/\text{s}$. Le jaugeage réalisé ce jour là donnait un débit de $54,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Courbe de tarage

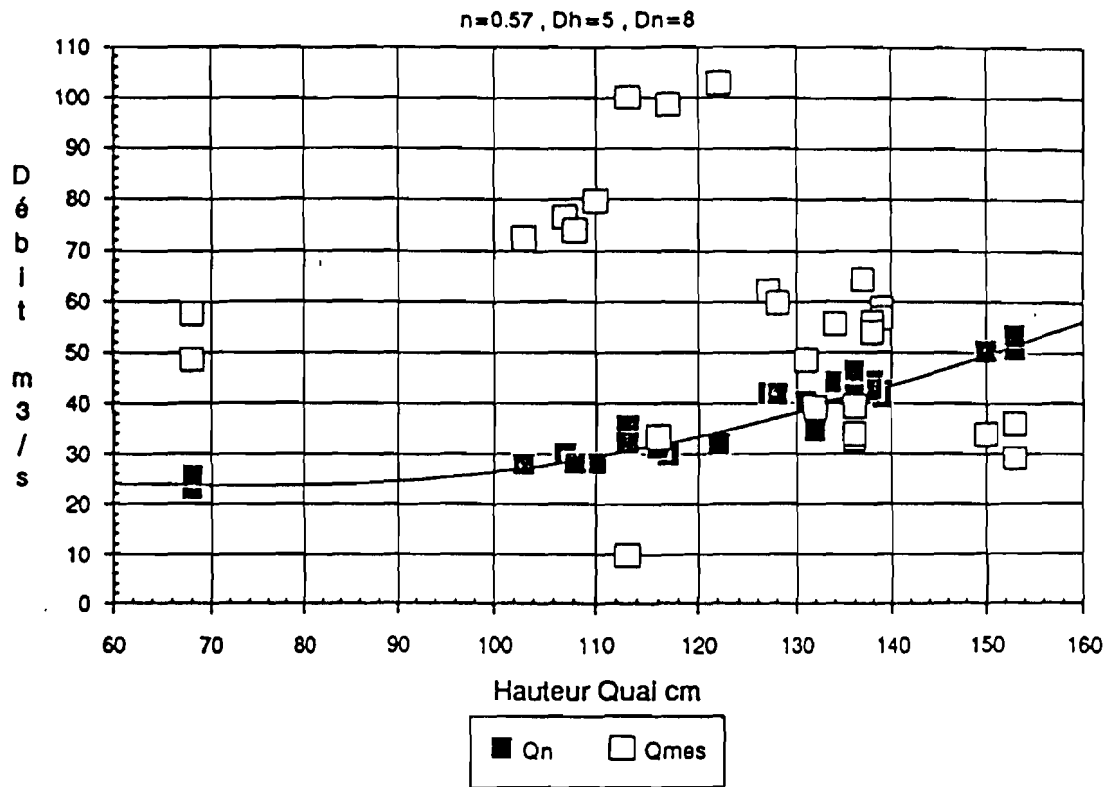


Fig. 9 - Courbe de tarage à dénivelée normale (LAMAGAT et al. 1990)

Courbe de correction du débit

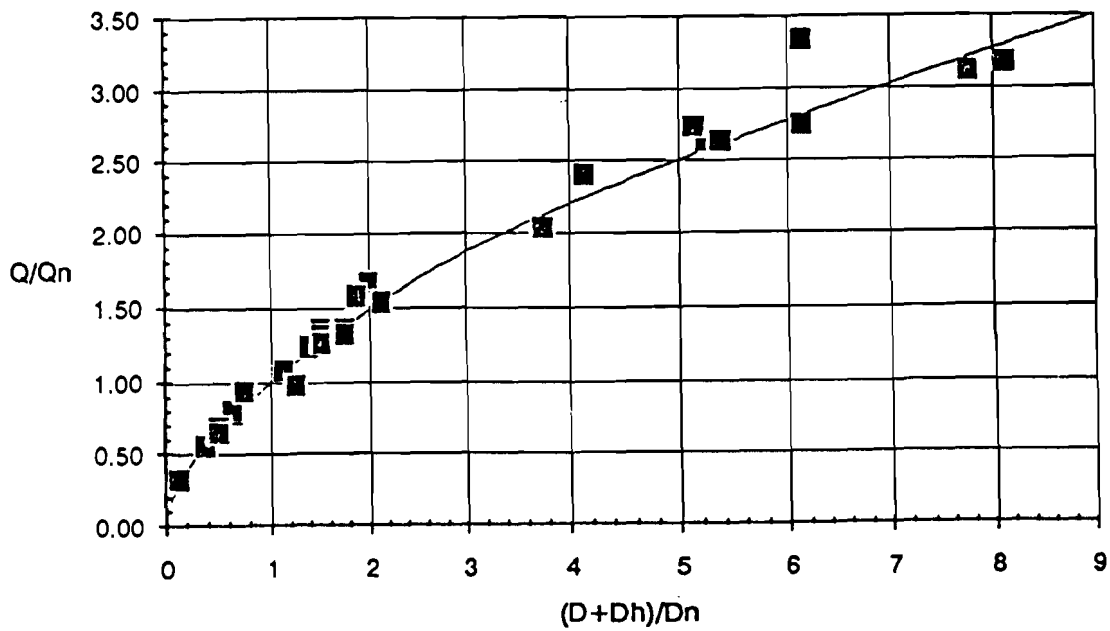


Fig. 10 - Courbe de correction du débit (LAMAGAT et al. 1990)

V. - BILAN HYDROLOGIQUE DU LAC DE GUIERS EN 1991

Pour mémoire on peut résumer brièvement et dans l'ordre chronologique les différentes phases répertoriées plus en détail dans le tableau 2. En 1991 on dénombre 8 phases potentielles réparties sur 8 périodes :

1 - du 01/01 au 30/01	: phases 7 ou 8 (état OOF)
2 - du 31/01 au 11/06	: phase 4 (état OFF)
3 - du 12/06 au 27/08	: phases 7 ou 8 (état OOF)
4 - du 28/08 au 03/10	: phases 9, 10 ou 11 (état OOO)
5 - du 04/10 au 10/10	: phases 5 ou 6 (état OFO)
6 - du 11/10 au 14/11	: phases 9, 10 ou 11 (état OOO)
7 - du 15/11 au 20/11	: phase 5 ou 6 (état OFO)
8 - du 21/11 au 31/12	: phase 4 (état OFF)

Les états indiqués correspondent à l'ouverture (O) ou à la fermeture (F) dans l'ordre de B1 (barrages de Richard-Toll), B2 (barrages de Ndombo) et de la digue de Keur Momar Sarr.

Afin d'éviter les répétitions des équations du bilan pour chaque épisode l'étude hydrologique en 1991 a été menée par phases en allant des relativement simples (4) aux plus complexes (9, 10 et 11). Les calculs intermédiaires figurent dans le rapport de stage de COLY (1992).

A. - PHASE 4

Elle concerne les périodes 2 et 8. C'est la phase la plus simple. Le lac est isolé (Fig. 11) et fonctionne en vase clos, la seule composante inconnue dans l'équation du bilan est l'évaporation.

$$V_f - V_i = (V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{p2} + V_{p'1} + V_{ir})$$

Tous les volumes sont exprimés en millions de m³ (Mm³)

1. Période 2

Elle s'étend du 31 janvier au 11 juin inclus soit pendant 132 jours. Le plan d'eau du lac varie de 1,20 m à 0,20 m. La contenance du lac diminue de 223,17 Mm³ et la superficie de 61,7 km².

Apports (en Mm3)			Pertes (en Mm3)		
Pluies	0,090	(V _{p0})	Evaporation	?	(V _E)
Rejets CSS	12,012	(V _r)	Pompage SONEES	5,442	(V _{p2})
Rejets CSS	2,772	(V _{r'})	Pompage CSS	5,808	(V _{p'1})
			Pompage SAED	6,144	(V _r)

On en déduit l'évaporation, chiffrée à 220,65 Mm³. La surface moyenne du lac pendant cette période ayant été de 222 km² on estime l'évaporation moyenne E_{lac} à 7,53 mm/jour. La comparaison avec les données moyennes obtenues en bac classe A (E_{Ba} = 11,07 mm/jour) et en bac flottant (E_{Bf} = 9,83 mm/jour) permet d'estimer les 2 rapports d'évaporation : E_{lac}/E_{Ba} = 0,68 et E_{lac}/E_{Bf} = 0,77. La relation entre l'évaporation sur la nappe d'eau libre du lac et celle du bac A est très proche de celle évaluée par COGELS et al. 1991) : E_{lac}/E_{Ba} = 0,56.

PHASE 4

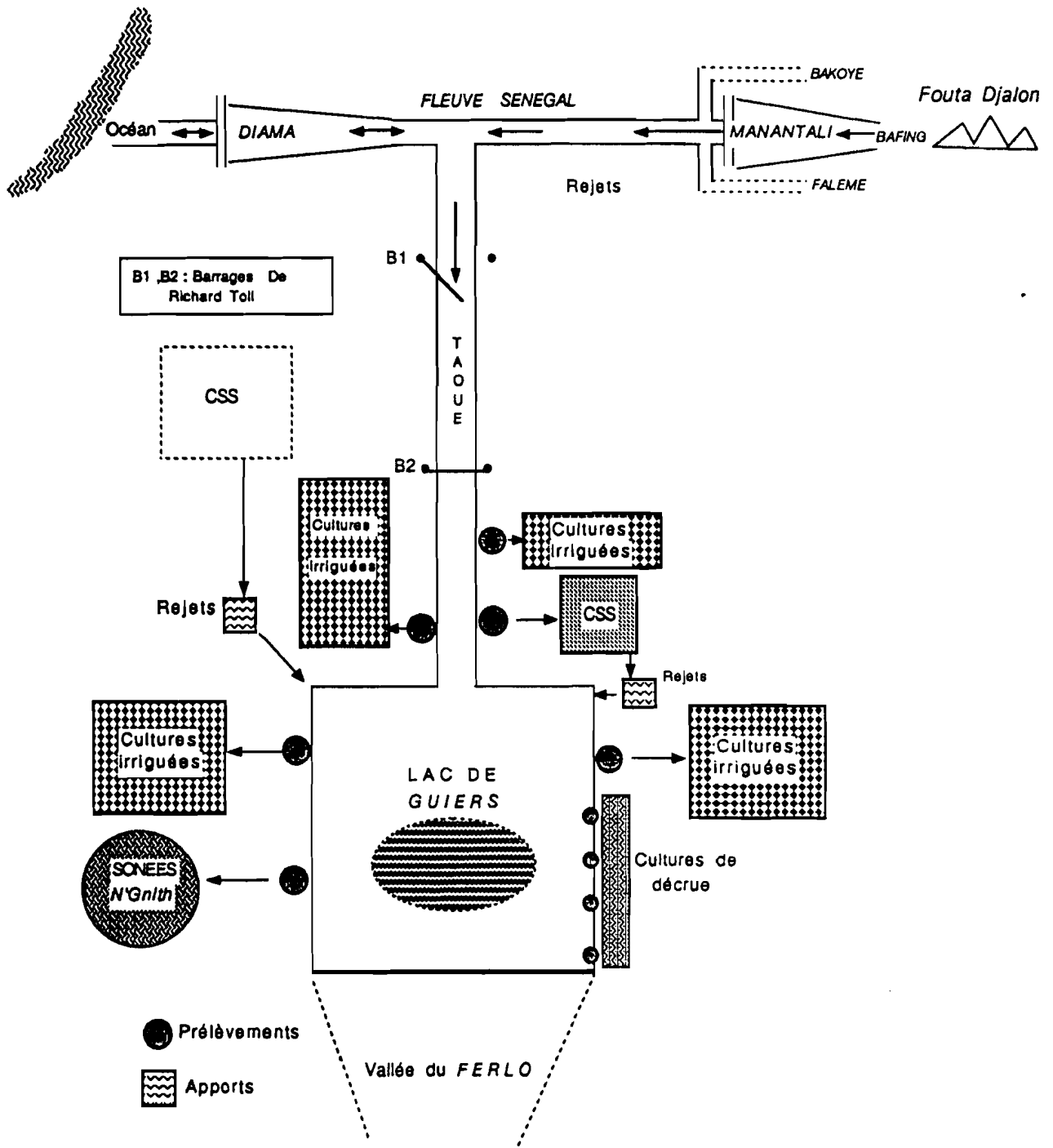


Fig. 11 - Schéma du dispositif en phase 4

2. Période 8

Elle dure 41 jours du 21 novembre au 31 décembre. La cote du lac s'abaisse de 1,40 m à 1,19 m, la réduction de volume est de 54,76 Mm³.

Les termes du bilan s'élèvent à :

Apports (en Mm ³)			Pertes (en Mm ³)		
Pluies	0,000	(V _{p0})	Evaporation	?	(V _E)
Rejets CSS	3,731	(V _r)	Pompage SONEES	1,501	(V _{p2})
Rejets CSS	0,861	(V _{r'})	Pompage CSS	1,804	(V _{p'1})
			Pompage SAED	1,035	(V _p)

L'évaporation se chiffre à 55,012 Mm³ ce qui représente pour une superficie moyenne du lac de 257 km² une évaporation moyenne de 5,22 mm/jour.

B. - PHASE 7 OU 8

Elles concernent en 1991 les périodes 1 et 3 allant du 1 au 30 janvier et du 12 juin au 27 août. Les barrages sur la Taoué sont ouverts et la digue de Keur Momar Sarr fermée (état OOF). Cette situation autorise, selon les positions relatives des plans d'eau, des écoulements dans le sens fleuve/lac ou inversement dans le sens lac/fleuve (Fig.12 et 13) qui correspondent aux deux équations suivantes :

$$\text{Phase 7 : } V_f - V_i = (V_{p0} + V_r + V_{r'} + V_F) - (V_E + V_{p2})$$

$$\text{Phase 8 : } V_f - V_i = (V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{LF} + V_{p1} + V_{p'1} + V_{p2} + V_{ir})$$

Dans les deux cas les équations comportent deux inconnues : le terme évaporatoire et, selon le sens des transferts d'eau, les apports du fleuve ou les pertes du lac.

Pendant une grande partie des deux périodes le fait marquant réside dans les faibles variations du niveau du lac et du fleuve. Ceci semble indiquer que les deux plans d'eau sont à la recherche d'un "état d'équilibre" et qu'à tout moment le mouvement des masses d'eau a pu s'inverser.

La démarche du calcul s'appuie sur deux hypothèses :

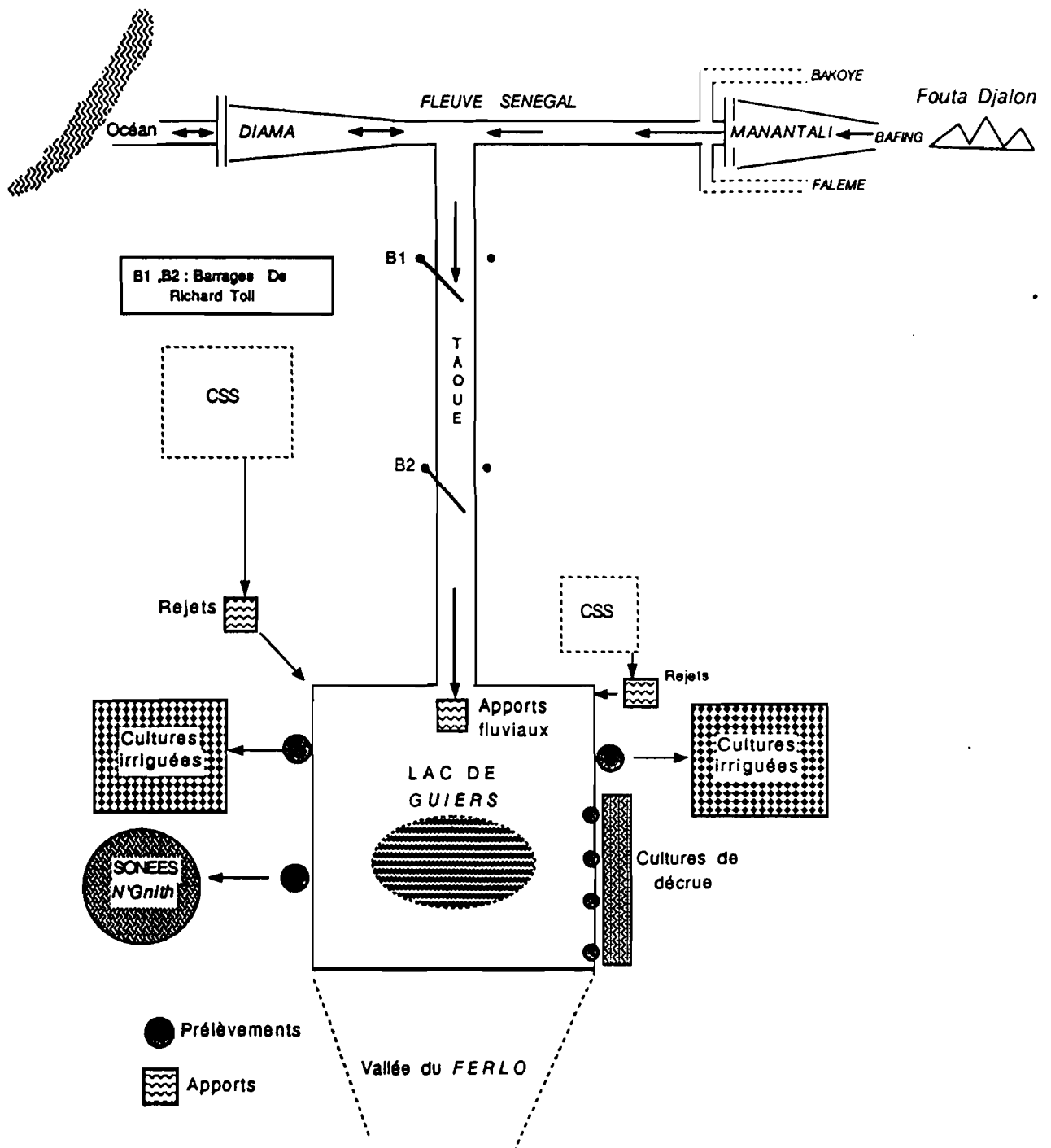
- on admet que l'évaporation du lac est connue à partir des rapports E_{lac}/E_{Bac} précisés mensuellement par COGELS et al. (1991). Le calcul se fait chaque jour à partir des valeurs quotidiennes de E_{Bac} et de la superficie du lac. Les superficies sont obtenues en tenant compte de la cote moyenne de deux journées consécutives,

- on suppose a priori que les écoulements se font dans le sens fleuve/lac (phase 7),

La seule inconnue est alors l'apport fluvial VF puisque les termes V_{p1}, V_{p'1}, V_{ir} sont considérés comme exclus du bilan du lac.

Quand le calcul aboutit à des valeurs négatives pour VF, la seule alternative est de supputer l'existence d'une phase 8 c'est à dire des transferts d'eau du lac vers le fleuve et la réserve de Diama. Lorsque les deux tests aboutissent à des équations insolubles (par exemple lorsque simultanément VF et VLF sont < 0), la seule solution consiste à admettre une surestimation de l'évaporation. La valeur douteuse est alors corrigée en faisant la moyenne entre celles observées pendant les jours qui l'encadrent. Cette interprétation peut aboutir à une phase 7 ou 8.

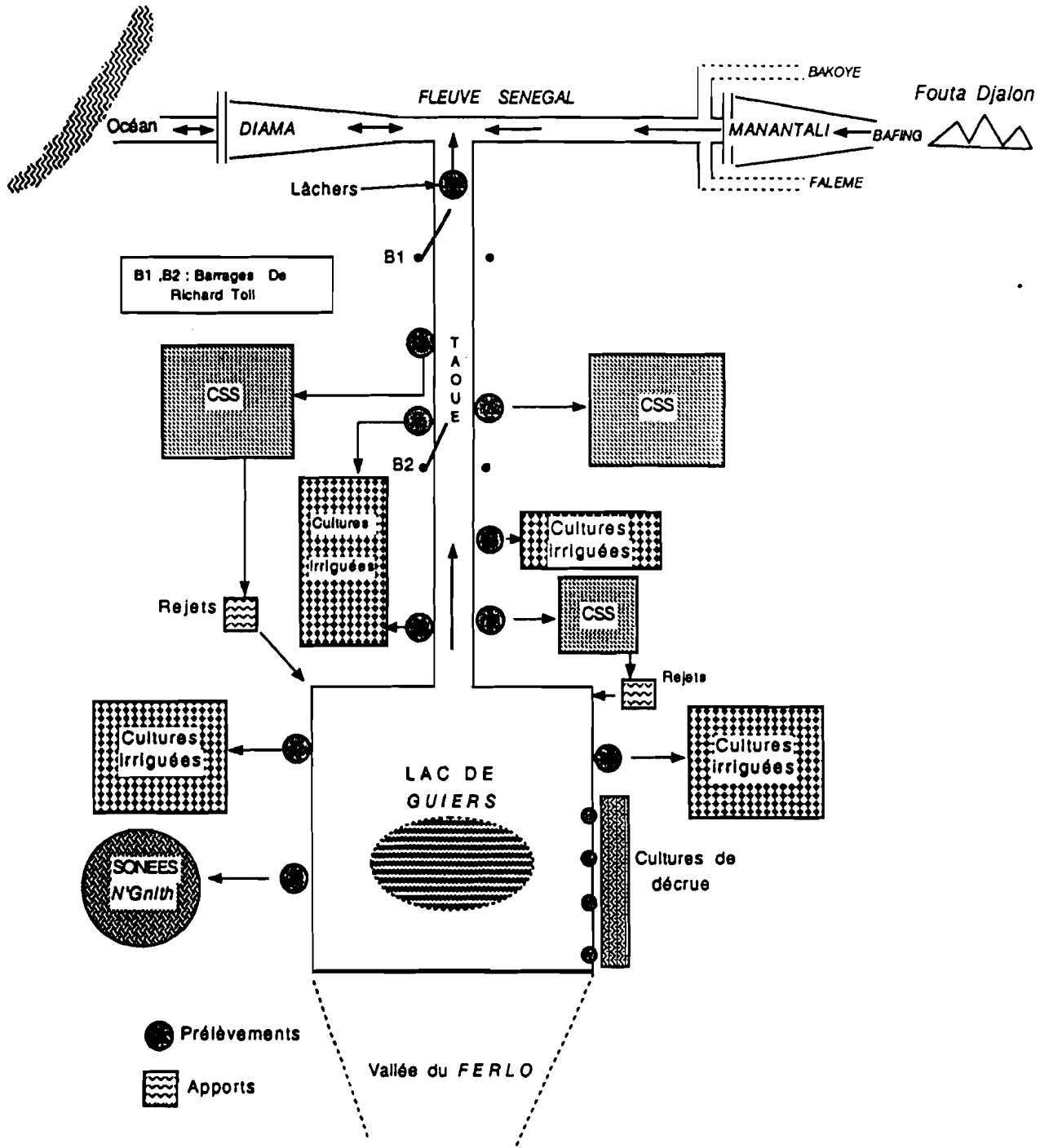
PHASE 7



$$\Delta V = (VF + V_{po} + Vr + Vr') - (VE + V_{p2})$$

Fig. 12 - Schéma du dispositif lors de la phase 7

PHASE 8



$$\Delta V = (V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{LF} + V_{p1} + V_{p1'} + V_{p2} + V_{ir})$$

Fig. 13 - Schéma du dispositif lors de la phase 8

1. Période 1

Pendant cette période de 30 jours, du 1 au 30 janvier, les transferts d'eau se font surtout dans le sens fleuve/lac. Les seules exceptions concernent les journées suivantes : 1er, 14, 25, 27 et 30 janvier. L'unique aberration (V_F et $V_{LF} < 0$) s'est produite le 24 janvier qui, après réévaluation de l'évaporation, est assimilable à une phase 7.

Pour l'intégralité de cette période qui se traduit par une hausse du plan d'eau de 1 cm (de 1,18 m à 1,19 m) et une augmentation de volume de 2,56 Mm³, le bilan des apports et des pertes s'établit de la façon suivante :

Apports (en Mm ³)			Pertes (en Mm ³)		
Pluies	0,570	(V_{p0})	Evaporation	33,317	(V_z)
Rejets CSS	2,730	(V_r)	Pompage SONEES	1,230	(V_{p2})
Rejets CSS	0,640	($V_{r'}$)	Pompage CSS	0,220	($V_{p'1}$)
Fleuve	40,620	(V_f)	Pompage CSS	3,000	(V_{p1})
			Transf. Diama	4,158	(V_{Lr})
			Pompage SAED	0,075	(V_{ir})

Les débits moyens journaliers dans le sens fleuve/lac ont été de l'ordre de 18,8 m³/s et dans le sens lac/fleuve d'environ 9,6 m³/s. Pour une superficie moyenne du lac de 249,5 km², l'évaporation moyenne a été de 4,45 mm/jour.

2. Période 3

Elle s'étend sur 77 jours du 12 juin au 27 août. La cote du lac passe de 0,19 m à 1,32 m ; cette élévation du plan d'eau correspond à une augmentation de volume de 256,13 Mm³.

Cet épisode est tout d'abord marqué par une temporisation dans l'ouverture complète du barrage B2 de N'Dombo, sorte de valse-hésitation dans l'attente de l'arrivée de la crue fluviale.

Il en découle d'une part que le lac de Guiers se situe à son niveau le plus bas (0,13 m) entre le 15 et le 17 juillet et d'autre part que des transferts d'appoint du lac vers Diama (V_{LF}) se sont produits. Ces derniers ont d'ailleurs été visuellement constatés en juin (les 13, 15, 21, 22, 23 et 28) et en juillet (les 1, 2, 7, 10, 11, 14 et 18). Ces dates qui correspondent à des phases 8 sont confirmées par la méthode de calcul précédemment développée au cours de la période similaire de janvier.

Apports (en Mm ³)			Pertes (en Mm ³)		
Pluies	9,780	(V_{p0})	Evaporation	89,260	(V_z)
Rejets CSS	7,010	(V_r)	Pompage SONEES	3,090	(V_{p2})
Rejets CSS	1,620	($V_{r'}$)	Pompage CSS	0,570	($V_{p'1}$)
Fleuve	345,910	(V_f)	Pompage CSS	7,810	(V_{p1})
			Transf. Diama	7,020	(V_{Lr})
			Pompage SAED	0,450	(V_{ir})

C. - PHASE 5 ou 6

Elles correspondent aux périodes 5 (du 4 au 10 octobre soit 7 jours) et 7 (du 15 novembre au 20 novembre soit 6 jours) et à l'état OFO la digue de Keur Momar Sarr étant

ouverte et le barrage de N'Dombo fermé. Le système lacustre et la vallée du Ferlo communique mais la liaison avec le fleuve est interrompue (Fig. 14 et 15).

PHASE 5

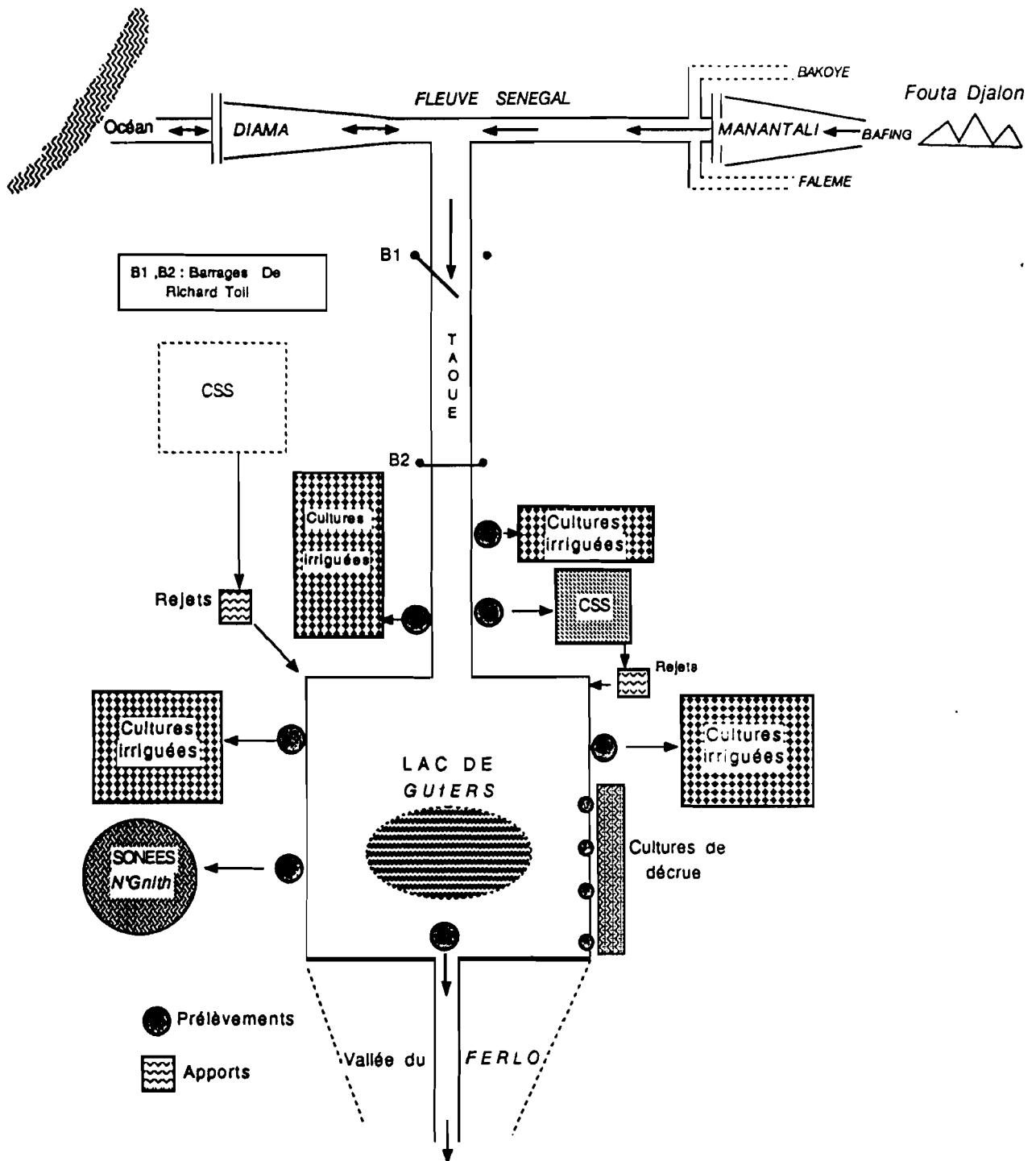
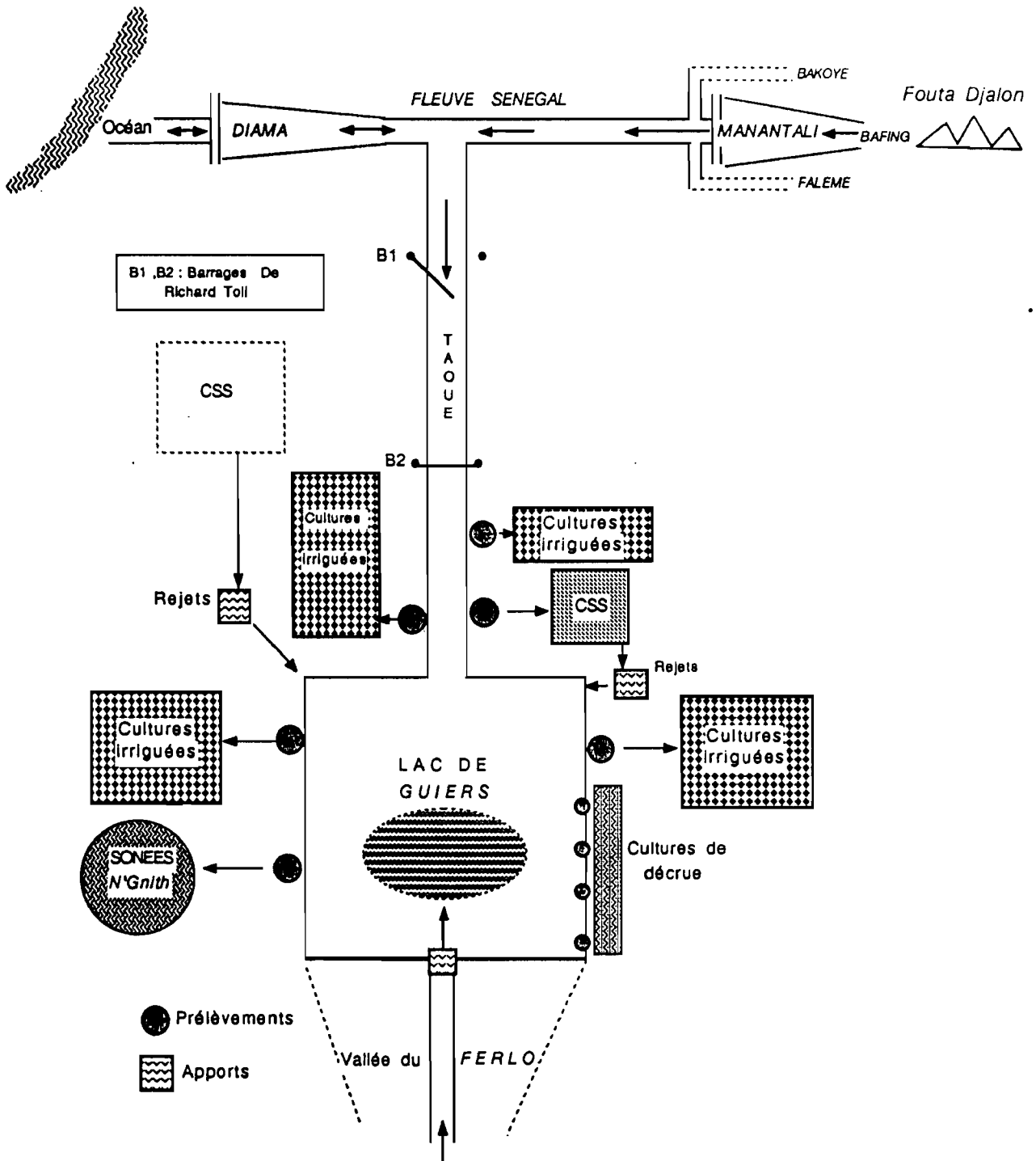


Fig. 14 - Schéma du dispositif lors d'une phase 5

PHASE 6



$$\Delta V = (V_{po} + V_r + V_{r'} + V_{fL}) - (V_E + V_{p1'} + V_{p2} + V_{ir})$$

Fig. 15 - Schéma du dispositif lors d'une phase 6

1. Période 5

La dénivelée observée entre les plans d'eau du lac et de la vallée du Ferlo de part et d'autre de la digue de Keur Momar Sarr plaide naturellement en faveur d'une phase 5. La cote du lac décroît de 2 cm (de 1,60 m à 1,58 m) et le volume du lac diminue de 5,41 Mm³. L'équation du bilan est la suivante :

$$V_f - V_i = (V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{Lf} + V_{p'1} + V_{p2} + V_{ir'})$$

Les pertes par évaporation sont évaluées de manière classique et les transferts d'eaux vers la vallée du Ferlo calculés à partir de l'équation ci-dessus.

Apports (en Mm ³)			Pertes (en Mm ³)		
Pluies	11,640	(V _{p0})	Evaporation	9,730	(V _E)
Rejets CSS	0,640	(V _r)	Pompage SONEES	0,250	(V _{p2})
Rejets CSS	0,150	(V _{r'})	Pompage CSS	0,310	(V _{p'1})
			Transf. Ferlo	?	(V _{Lf})
			Pompage SAED	0,290	(V _{ir})

Les déversements vers la vallée du Ferlo sont évalués à 7,25 Mm³. Les transferts journaliers sont de 1,04 Mm³ et le débit moyen de l'ordre de 12 m³/s.

Pour sa part COLY (1992) différencie au cours de cette période deux épisodes distincts. Il aboutit ainsi à la nécessité de considérer une phase 6 pour les 6 et 10 octobre qu'il affirme comme plausible par suite des précipitations le 5/10 (1,4 mm) et surtout le 9/10 (40,7 mm). Il paraît difficile de trancher...

2. Période 7

Il s'agit vraisemblablement, entre le 15 et le 20 novembre, des derniers écoulements du lac vers la vallée du Ferlo. Une phase 5 est ici plus que probable avant la fermeture des vannes de la digue de Keur Momar Sarr. Le plan d'eau du lac décroît de 1,44 à 1,40 m et son volume diminue de 10,63 Mm³.

L'équation du bilan est identique au cas précédent. Cependant cette période étant suivie d'une phase 4 au cours de laquelle l'évaporation est mesurée directement, le rapport E_{lac}/E_{bac} adopté est celui de la dernière décade de novembre (0,732).

Apports (en Mm ³)			Pertes (en Mm ³)		
Pluies	0	(V _{p0})	Evaporation	7,950	(V _E)
Rejets CSS	0,550	(V _r)	Pompage SONEES	0,240	(V _{p2})
Rejets CSS	0,130	(V _{r'})	Pompage CSS	0,260	(V _{p'1})
			Pompage CSS	0	(V _{p1})
			Transf. Ferlo	2,520	(V _{Lf})
			Pompage SAED	0,340	(V _{ir})

Les transferts vers le Ferlo de 2,52 Mm³ correspondent à des écoulements moyens journaliers de 0,42 Mm³ et à un débit moyen de 4,9 m³/s (vitesse moyenne de 0,5 m/s pour une section de 9,6 m²).

D. - PHASES 9, 10 et 11

C'est le rétablissement des conditions naturelles d'écoulement entre le fleuve Sénégal et la vallée du Ferlo via le lac de Guiers (état 000). Ces conditions ont prévalu du 28 août au 3 octobre (période 4) et du 11 octobre au 14 novembre (période 6). Quelle que soit la phase considérée l'équation du bilan hydrologique comporte deux inconnues : les apports du fleuve ou les transferts du lac vers Diama et les écoulements du lac vers le Ferlo. Le problème est apparemment insoluble faute d'équipement limnimétrique sur le chenal de la Taoué et à Keur Momar Sarr qui permettrait de préciser les débits entrant et sortant.

Dans un premier temps la seule méthode d'évaluation et d'approche du bilan consiste à déterminer la différence entre les entrées et les sorties (cas de la phase 9 : $V_F - V_{L_f}$) ou la somme des sorties (cas de la phase 11 : $V_{L_F} + V_{L_f}$).

Au cours de ces périodes nous avons exclu la possibilité d'une phase 10 c'est à dire des écoulements dans le sens Ferlo-lac-fleuve qu'il serait d'ailleurs bien difficile de quantifier.

Les phases 9 et 11 (Fig. 16 et 17) correspondent aux équations suivantes :

$$(9) : V_f - V_i = (V_F + V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{L_f} + V_{p2})$$

$$(11) : V_f - V_i = (V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{L_F} + V_{L_f} + V_{p1} + V_{p'1} + V_{p2} + V_{ir})$$

On obtient :

$$(9) V_F - V_{L_f} = (V_f + V_E + V_{p2}) - (V_i + V_{p0} + V_r + V_{r'})$$

$$(11) V_{L_F} + V_{L_f} = (V_i + V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_f + V_E + V_{p1} + V_{p'1} + V_{p2} + V_{ir})$$

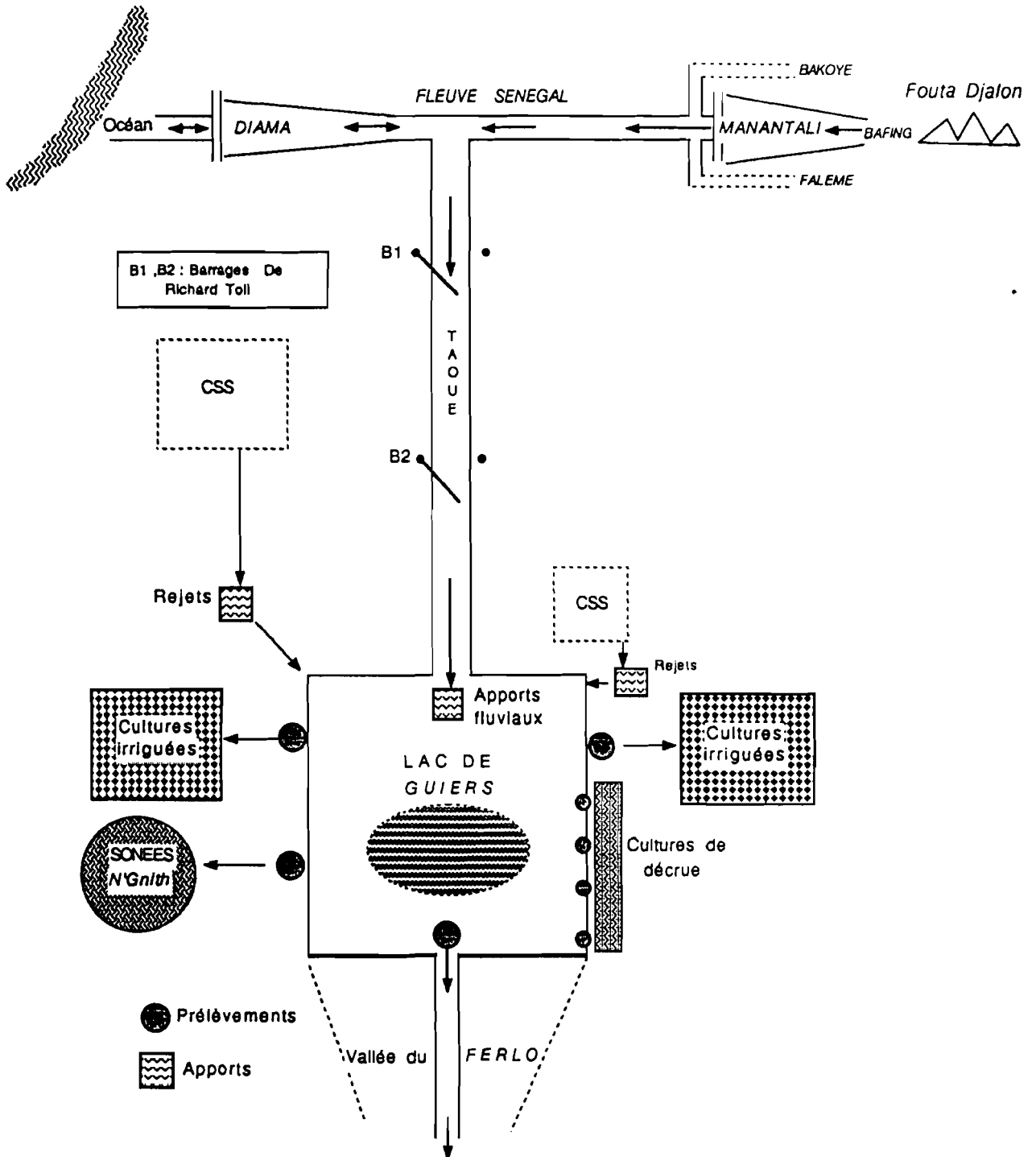
1. Période 4

Il est indispensable de la dissocier en deux épisodes qui correspondent à deux phases distinctes : phase 9 du 28 août au 25 septembre et phase 11 du 26 septembre au 3 octobre.

En effet le plan d'eau du lac atteint sa cote maximale (1,80 m IGN) entre le 22 et le 25 septembre. Le lac se situait alors en position haute par rapport au fleuve et au Ferlo. Le barrage de N'Dombo (B2) aurait dû être fermé le 26 septembre ; sa fermeture n'a eu lieu que le 3 octobre. En 8 jours (du 26/09 au 3/10) le plan d'eau s'est abaissé de 20 cm (baisse très rapide observable sur la fig. 6) occasionnant une diminution globale de volume de l'ordre de 54 Mm^3 (près de 10 % de sa contenance à cette époque) qui aurait pu être évitée si....

Ces pertes inutiles représentent à elles seules plus de 3 fois la production annuelle de la station de traitement de N'Gnith et la moitié des besoins annuels en eau potable de la presqu'île du Cap Vert !!!.

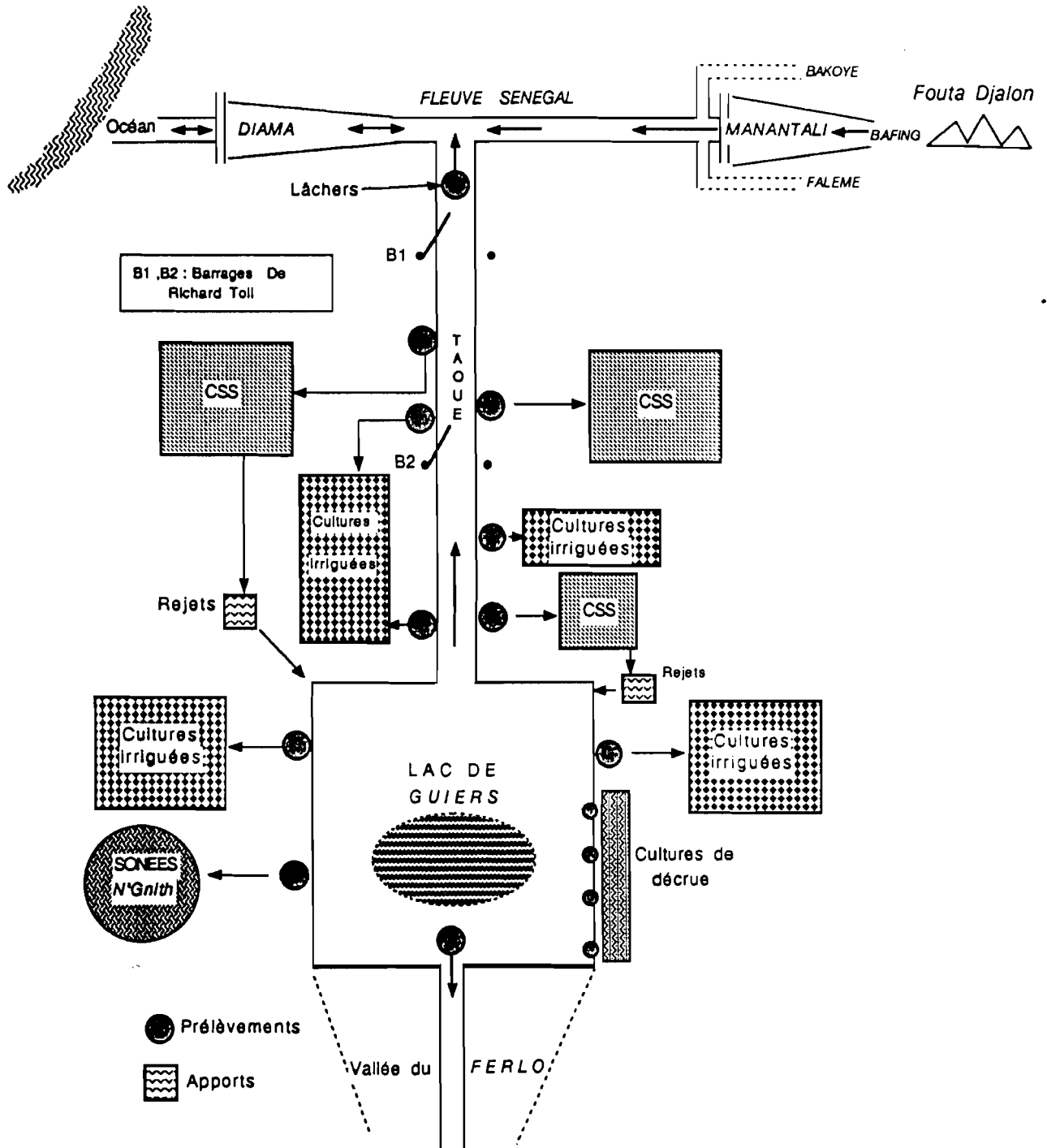
PHASE 9



$$\Delta V = (V_F + V_{po} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{Lf} + V_{p2})$$

Fig. 16 - Schéma du dispositif lors de la phase 9

PHASE 11



$$\Delta V = (V_{po} + V_r + V_r') - (V_E + V_{LF} + V_{Lf} + V_{p1} + V_{p1'} + V_{p2} + V_{ir})$$

Fig. 17 - Schéma du dispositif lors de la phase 11

a) du 28 août au 25 septembre (phase 9)

Au cours de ces 29 jours le niveau du lac s'élève de 1,32 à 1,80 m et le volume du lac augmente de $129,1 \text{ Mm}^3$. Les pertes par évaporation sont calculées à partir des critères de COGELS et al. (1991).

Apports (Mm^3)			Pertes (Mm^3)		
Pluies	19,790	(V_{po})	Evaporation	42,337	(V_E)
Rejets CSS	2,639	(V_r)	Pompage SONEES	1,089	(V_{p2})
Rejets CSS	0,609	(V_r)	Trans. Ferlo	?	(V_{Lr})
Fleuve	?	(V_r)			

On aboutit à une évaluation de $V_F - V_{Lr} = 149,49 \text{ Mm}^3$ qui représente en fait la différence des entrées et des sorties d'eaux fluviales dans le lac autrement dit le remplissage effectif. Le remplissage moyen journalier en eau douce s'élève à $5,15 \text{ Mm}^3$ (débit de l'ordre de $60 \text{ m}^3/\text{s}$).

L'utilisation de l'abaque de l'OMVS (1976) pour estimer les apports du fleuve V_F pendant cette période donne un résultat aberrant de $129,3 \text{ Mm}^3$. Dans ce cas en effet les transferts vers le Ferlo seraient négatifs.

b) du 26 septembre au 3 octobre (phase 11)

Le niveau du lac descend de 20 cm et les pertes totales en eau sont évaluées à $54,36 \text{ Mm}^3$.

Apports (en Mm^3)			Pertes (en Mm^3)		
Pluies	0,170	(V_{po})	Evaporation	13,216	(V_E)
Rejets CSS	0,728	(V_r)	Pompage SONEES	0,294	(V_{p2})
Rejets CSS	0,168	(V_r)	Pompage CSS	0,352	(V_{p1})
			Pompage CSS	4,800	(V_{p1})
			Transf. Ferlo	?	(V_{Lr})
			Transf. Diama	?	(V_{Lr})
			Pompage SAED	0,840	(V_{ir})

Le bilan des sorties ($V_{LF} + V_{Lr}$) s'élève à $35,92 \text{ Mm}^3$. Elles correspondent aux sortants et à une perte journalière de $4,5 \text{ Mm}^3$ et à un débit moyen de "vidange" au nord et au sud du lac de $52 \text{ m}^3/\text{s}$.

2. Période 6

Cette période s'étend du 11 octobre au 14 novembre. Le retour à la situation de libre circulation des eaux se fait par à coups avec l'ouverture partielle (19 %, puis 25 et 44 % des vannes) du barrage de N'Dombo. On peut présumer que toute cette période correspond à une phase 9 destinée à maintenir le remplissage du lac et à accroître le volume de la lame de submersion dans le Ferlo. La présence d'un maximum secondaire (1,65 m) le 20 octobre impose de scinder cette période en deux épisodes : du 11 au 20 octobre et du 21 octobre au 14 novembre.

a) du 11 au 20 octobre

Le niveau du lac s'élève de 1,58 m à 1,65 m et le volume du lac augmente de 18,97 Mm³.

Apports (Mm ³)			Pertes (Mm ³)		
Pluies	0	(V _{p0})	Evaporation	16,547	(V _E)
Rejets CSS	0,910	(V _r)	Pompage SONEES	0,356	(V _{p2})
Rejets CSS	0,210	(V _{r'})	Trans. Ferlo	?	(V _{Lf})
Fleuve	?	(V _F)			

Le remplissage du lac par les écoulements de surface ($V_F - V_{Lf}$) s'élève à 34,753 Mm³.

En tenant compte des entrées et des sorties le débit moyen de remplissage est de 40 m³/s. Cette valeur est tout à fait acceptable par rapport au débit de 60 m³/s de la période précédente les dénivelées entre les trois milieux s'étant réduites.

Ce remplissage secondaire du lac n'a pas de répercussions à cette époque de l'année sur les pratiques culturales à la périphérie du lac. Un rehaussement conséquent du niveau à une période plus tardive peut en revanche se traduire par une submersion des cultures de décrue (exemple récent du 9 au 19 mars 1992 avec une élévation de plus de 20 cm du plan d'eau dû à l'ouverture des barrages sur la Taoué).

b) du 21 octobre au 14 novembre

Le niveau du lac s'abaisse de 1,65 m à 1,44 m, la diminution de volume est de 56,58 Mm³.

Apports (Mm ³)			Pertes (Mm ³)		
Pluies	0	(V _{p0})	Evaporation	41,661	(V _E)
Rejets CSS	2,275	(V _r)	Pompage SONEES	0,947	(V _{p2})
Rejets CSS	0,525	(V _{r'})	Trans. Ferlo	?	(V _{Lf})
Fleuve	?	(V _F)			

Le bilan des transferts du fleuve vers le lac et du lac vers le Ferlo est négatif $V_F - V_{Lf} = -16,77$ Mm³. Ce résultat signifie que les pertes vers le Ferlo sont supérieures aux apports du fleuve. Les vannes de la digue de Keur Momar Sarr sont restées inutilement ouvertes si on se place naturellement du point de vue d'un meilleur remplissage possible du lac. En définitive, le bilan des pertes s'écrit : $V_{Lf} - V_F = 16,77$ Mm³. Les pertes journalières se chiffrent à 0,67 Mm³ au rythme de 7,8 m³/s.

E. BILAN HYDROLOGIQUE GLOBAL EN 1991

Le bilan hydrologique global présenté dans le tableau 10 fait ressortir que la masse d'eau totale mise en jeu autour du lac de Guiers au cours de l'année 1991 a été de plus de 1,3 milliards de m³. A titre indicatif, ce volume représente un peu plus de 10 % des écoulements du Sénégal observés à Bakel en 1991 (module de 392 m³/s soit 12,4 milliards de m³).

Tableau 10 - Bilan hydrologique du lac de Guiers en 1991 (10^6 m^3)

Périodes	1	2	3	4a	4b	5	6a	6b	7	8	Année
Phases	01/01 30/01 7-8	31/01 11/06 4	12/06 27/08 7-8	28/08 25/09 9	28/09 03/10 11	04/10 10/10 6	11/10 20/10 9	21/10 14/11 9	15/11 20/11 5	21/11 31/12 4	
Apports	44,56	14,87	364,32	172,53	1,08	12,43	35,88	2,80	0,88	4,59	653,72
V_{po}	0,57	0,09	9,76	10,79	0,17	11,84	0,00	0,00	0,00	0,00	42,04
V_I	2,73	12,01	7,01	2,64	0,73	0,64	0,91	2,27	0,55	3,73	33,22
V_P	0,84	2,77	1,82	0,61	0,16	0,15	0,21	0,53	0,13	0,86	7,68
V_F	40,82		345,91					?			570,76
$V_F - V_{LI}$				149,49			34,76				
Pertes	42,00	238,04	108,20	43,43	55,42	17,84	18,91	59,38	11,31	59,35	651,86
V_E	33,32	220,65	89,26	42,34	13,22	9,74	18,55	41,86	7,95	55,01	529,70
V_{p2}	1,23	5,44	3,09	1,09	0,29	0,25	0,36	0,95	0,24	1,50	14,44
V_{p1}	3,00		7,81		4,80						15,61
$V_{p'1}$	0,22	5,61	0,57		0,35	0,31			0,28	1,80	9,32
V_{LF}	4,15		7,02								56,86
$V_{L\ddagger}$						7,25	?		2,52		
V_V	0,08	6,14	0,45		0,84	0,20			0,34	1,04	9,18
$V_{L\ddagger} - V_F$								18,77			18,77
ΔV	+2,56	-223,17	+256,12	+129,10	-54,36	-5,41	+18,97	-56,58	-10,63	-54,76	+1,84

La variation calculée de la contenance du lac de Guiers entre le premier janvier et le 31 décembre 1991 est extrêmement faible puisqu'elle se traduit par une augmentation de volume de 1,84 Mm³. Dans la réalité la différence de cote observée est de 1 cm (1,18 m le 1/01 et 1,19 m le 31/12) qui se traduit par une diminution de 2,56 Mm³. La marge d'erreur de 4,40 Mm³ ne représente que 0,3 % de la masse globale des transferts d'eaux.

Les composantes essentielles du bilan hydrique sont d'ordre purement physique : apports fluvial (87,3 %), météoriques (6,4 %) et pertes par évaporation (81,3 %).

Les composantes secondaires sont anthropiques et liées aux actions, au prélèvements ou au rejets provoqués par les hommes; ce sont aussi les termes les plus incertains du bilan. Dans ce domaine il faut citer:

- au chapitre des apports les rejets de la CSS provenant du drainage des casiers rizicoles (6,3 %)
- au chapitre des pertes, les transferts simultanés ou non du lac vers le fleuve et la vallée du Ferlo (11,3 %), les prélèvements par la CSS (3,8 %), par la SONEES (2,2 %) et par la SAED (1,4 %).

Les apports du fleuve ne sont pas estimables dans leur totalité. L'évaluation directe au cours des périodes 1 et 3 indique un débit entrant de l'ordre de 386 Mm³. Lors des phases 4a et 6a (Tableau 10), la différence entre les apports du fleuve et les pertes vers la vallée du Ferlo s'élève à 184 Mm³. En 1991, l'apport fluvial a donc été supérieur à 570 Mm³ et le débit moyen supérieur à 45 m³/s.

CONCLUSIONS

Le premier enseignement qui transparaît au terme de cette étude sur le fonctionnement et le bilan hydrologique du lac de Guiers en 1991 c'est naturellement que la gestion des différents ouvrages sur le fleuve Sénégal et sur la dépression lacustre manque de rigueur et de concertation. Elle s'est traduite dans le temps et dans l'espace par des arrivées d'eau tardives et inopinées (submersion par exemple de cultures de décrue) ou encore par le déversement précoce et aussi parfois trop prolongé des eaux du lac de Guiers vers le réservoir de Diama ou la vallée du Ferlo.

Au fil des années, depuis 1983 (construction du barrage de Rheune , premier lien de terre ferme entre le Sénégal et la Mauritanie) et après 1985 (construction de Diama) et 1987 (mise en service de Manantali), les combinaisons d'ouverture et de fermeture des différents barrages se sont succédées sans aboutir pleinement au but final de leur conception : assurer de l'eau pour tous en quantité et en qualité et au moment voulu. Ce constat est assez édifiant des difficultés rencontrées pour la maîtrise d'un environnement fluvio-lacustre de cette envergure.

L'étude de l'année 1991 a montré que les composantes essentielles du bilan hydrique du lac de Guiers sont d'ordre purement physique : les apports en eau sont tributaires de la crue fluviale (87,3 %) et des précipitations (6,4 %) et les pertes occasionnées par les processus évaporatoires (81,3 %). Les composantes secondaires sont de nature anthropique et liées à l'action de l'homme soit pour les apports aux rejets de la CSS (6,3 %) soit au chapitre des pertes par les prélèvements de la CSS (3,8 %), de la SONEES (2,2 %) ou encore de la SAED (1,4 %).

Les volumes des déversements vers la vallée du Ferlo ont certainement été plus importants qu'au cours des trois années précédentes. La lame de submersion s'est étendue sur près de 70 km ce qui laisse supposer une inondation supérieure à 80 Mm³. L'accès aux quantités d'eaux réelles est cependant délicat, l'estimation se faisant souvent en couple avec les appoints du lac au fleuve.

Paradoxalement aussi, il faut souligner que l'adoucissement progressif des eaux du lac s'est traduit par un "boum" algal (développement de macrophytes enracinés tels que *Sphenoclea zeylanica* et surtout de prairies flottantes de *Pistia stratiotes* plus connues pour le profane sous le nom de laitues d'eau) et les risques d'eutrophisation à court terme sont certains.

En conclusion, il faut souligner la difficulté majeure que représente la maîtrise de toutes les composantes de cet environnement particulièrement vulnérable. Il est impératif que certaines résolutions soient rapidement prises selon trois orientations majeures : topographie précise de la région, équipement limnimétrique sophistiqué et surveillance rigoureuse du fonctionnement des ouvrages. La gestion multiforme de cet écosystème ne peut qu'en être valorisée pour, selon l'expression de MIETTON et al. 1991, " un heureux partage de l'espace, la protection de la nature en harmonie avec le développement économique et social". Elle est d'autant plus nécessaire avec les échéances proches du canal du Cayor et l'éventualité d'une remise en eau de la cuvette du N'Diael.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CISSE P. (1989) - La mesure des cholinestérases chez les poissons des genres Tilapia et Clarias au Sénégal. Application au suivi de la contamination du milieu aquatique par les insecticides organophosphorés. Thèse de Doctorat d'Etat, E.I.S.M.V. (Ecole Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires), n° 58, Université de Dakar, 144 p.

COGELS F.X. (1984) - Etude limnologique d'un lac sahélien : le lac de Guiers (Sénégal). Thèse Doctorale, Fondation Universitaire Luxembourgeoise (FUL), Arlon (Belgique), 329 p.

COGELS F.X. et GAC J.Y. (1981/1982) - Le lac de Guiers : Fonctionnement, bilans hydriques; évaporation d'une nappe d'eau libre en zone sahélienne (Sénégal). Cah. ORSTOM, série Géologie, vol. VII, n° 1, pp. 41-60.

COGELS F.X., DACRUZ EVORA N. et GAC J.Y. (1991) - L'évaporation du lac de Guiers (Sénégal) de 1976 à 1989. Bilan et essai d'interprétation. Rapport CEE (Projet EQUASEN), Bruxelles, 25 p.

COGELS F.X. et GAC J.Y. (1990) - Bilan limnologique du lac de Guiers avant la mise en fonction du barrage de Diama : hydrologie, qualité et gestion des eaux. Rapport CEE (Projet EQUASEN), Bruxelles, 38 p.

COGELS F.X., GAC J.Y., APPAY J. L., EVORA N., LABROUSSE B. (1990) - Fonctionnement et bilans hydrologiques du lac de Guiers de 1976 à 1989. Rapport CEE (Projet EQUASEN), Bruxelles, 60 p.

COLY A. (1992) - Le lac de Guiers : Modalités de gestion hydrologique et approche quantitative en 1991. Rapport de stage, Dpt de Géographie de l'Université de Dakar (sous presse).

GAC J.Y. (1991) - Salt water intrusion in the Senegal river valley. VII^{ème} Congrès Mondial des ressources en Eau, Rabat, mai 1991, pp. 1-12.

GAC J.Y., APPAY J.L., LABROUSSE B. (1990) - L'intrusion des eaux océaniques dans la basse vallée du Sénégal au cours du XX^{ème} siècle. Rapport CEE (Projet EQUASEN), Bruxelles, 52 p.

GAC J.Y., CARN M., SAOS J.L. (1986 a) - L'invasion marine dans la basse vallée du fleuve Sénégal. I - Période 1903-1980. Revue d'hydrobiologie Tropicale, 19, 1, pp. 3-17.

GAC J.Y., CARN M., SAOS J.L. (1986 b) - L'invasion marine dans la basse vallée du fleuve Sénégal. II - Période 1980-1983, proposition d'un nouveau modèle d'intrusion continentale des eaux océaniques. Revue d'Hydrobiologie Tropicale, 19, 2, pp. 93-108.

GAC J.Y., COGELS F.X., APPAY J.L., BOUCHEZ J.M., DUPREY J.L., LABROUSSE B., ORANGE D. (1990) - Reconnaissance géochimique sur les eaux de la lame de submersion de la vallée du Ferlo (Sénégal). Rapport CEE (Projet EQUASEN), Bruxelles, 85 p.

GAC J.Y., COGELS F.X., EVORA N., LABROUSSE B. (1991) - Bilan hydrologique du lac de Guiers en 1990. Rapport CEE (Projet EQUASEN), Bruxelles, 16 p.

GAC J.Y., MONTEILLET J., FAURE H. (1981) - Marine shorelines in estuaries as a paleoprecipitation indicators. Symposium on " Variation in the global water budget", Oxford 1981, Ed. A Street Perrot et al. (1983), Reidel Publ. Cie, pp. 361-370.

IBIZA D. (1972) - Mesure de l'évaporation d'un lac en climat sahélien. Lac de Bam. Cahier ORSTOM, série Hydrologie, vol. IX, 3, pp. 47-65.

JACCON G. (1986) - Tracé de la courbe de tarage et calcul de débits. ORSTOM, Paris 225 p.

LAMAGAT J.P., SEGUIS L., DUBEE G., PEPIN Y. (1990) - Campagne de jaugeages sur le canal de la Taoué (hivernage 1990). Rapport OMVS et ORSTOM, multigr., Dakar, 11 p.

MIETTON M. et HUMBERT J. (1991) - Le projet de remise en eau du N'Diael (Sénégal). Pré-faisabilité hydraulique, bilan hydrologique et impacts. Rapport CEREG- U.R.A. 95, CNRS, Université Louis Pasteur (ULP) de Strasbourg, 75 p.

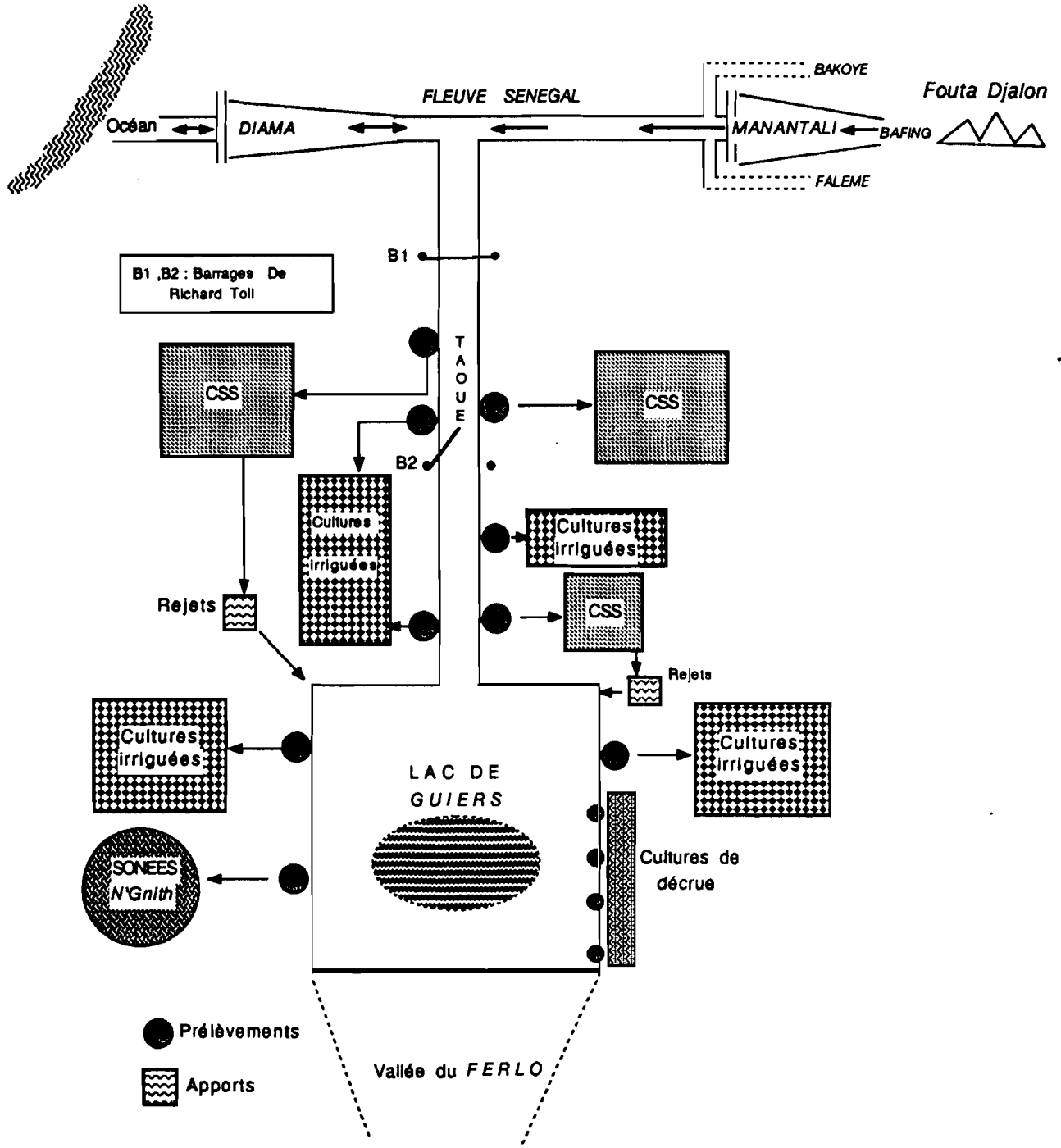
OLIVRY J.C. (1984) - Contribution de la prévision en hydrologie à l'éventuelle maîtrise des ressources déficitaires du fleuve Sénégal pour la saison sèche 1983-1984. Rapport multigr., ORSTOM, Dakar, 9 p.

O.M.V.S. (PETER D.) (1976) - Lac de Guiers et le marigot de la Taoué. Rapport de l'OMVS, multigr., 8 p.

ANNEXES

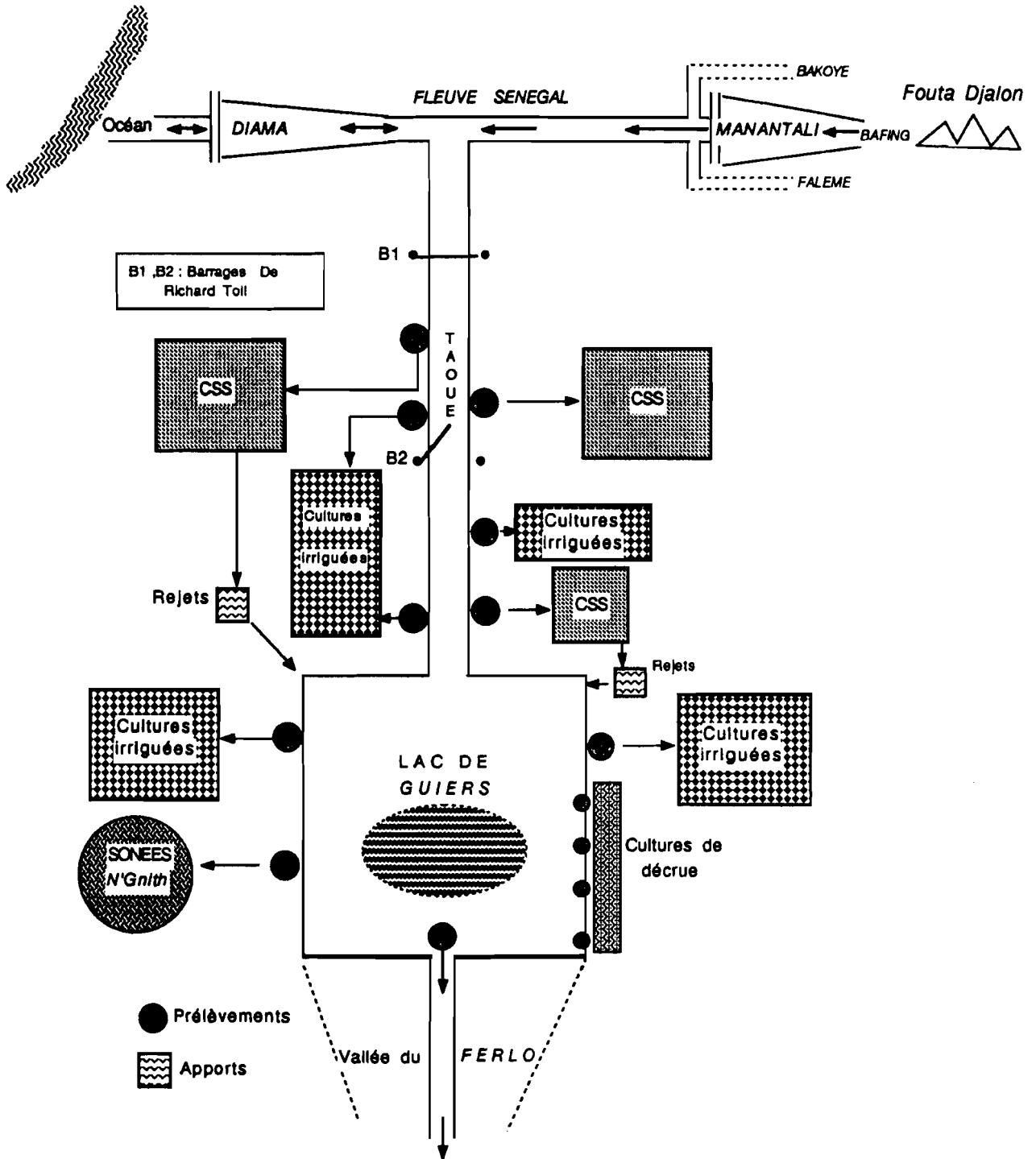
- I. Représentation schématique du dispositif fluvio-lacustre au cours des phases potentielles 1, 2, 3, 10, 12, 13.
- II. Débits journaliers du Sénégal à Bakel et hydrogramme de crue en 1991.
- III. Hauteurs d'eau journalières et volume du lac de Guiers en 1991.
- IV. Evaporation en bac flottant en 1991.
- V. Evaluation de l'évaporation du lac de Guiers à partir des observations en bac de Classe A.
- VI. Description de *Pistia stratiotes* (Aracées)

PHASE 1



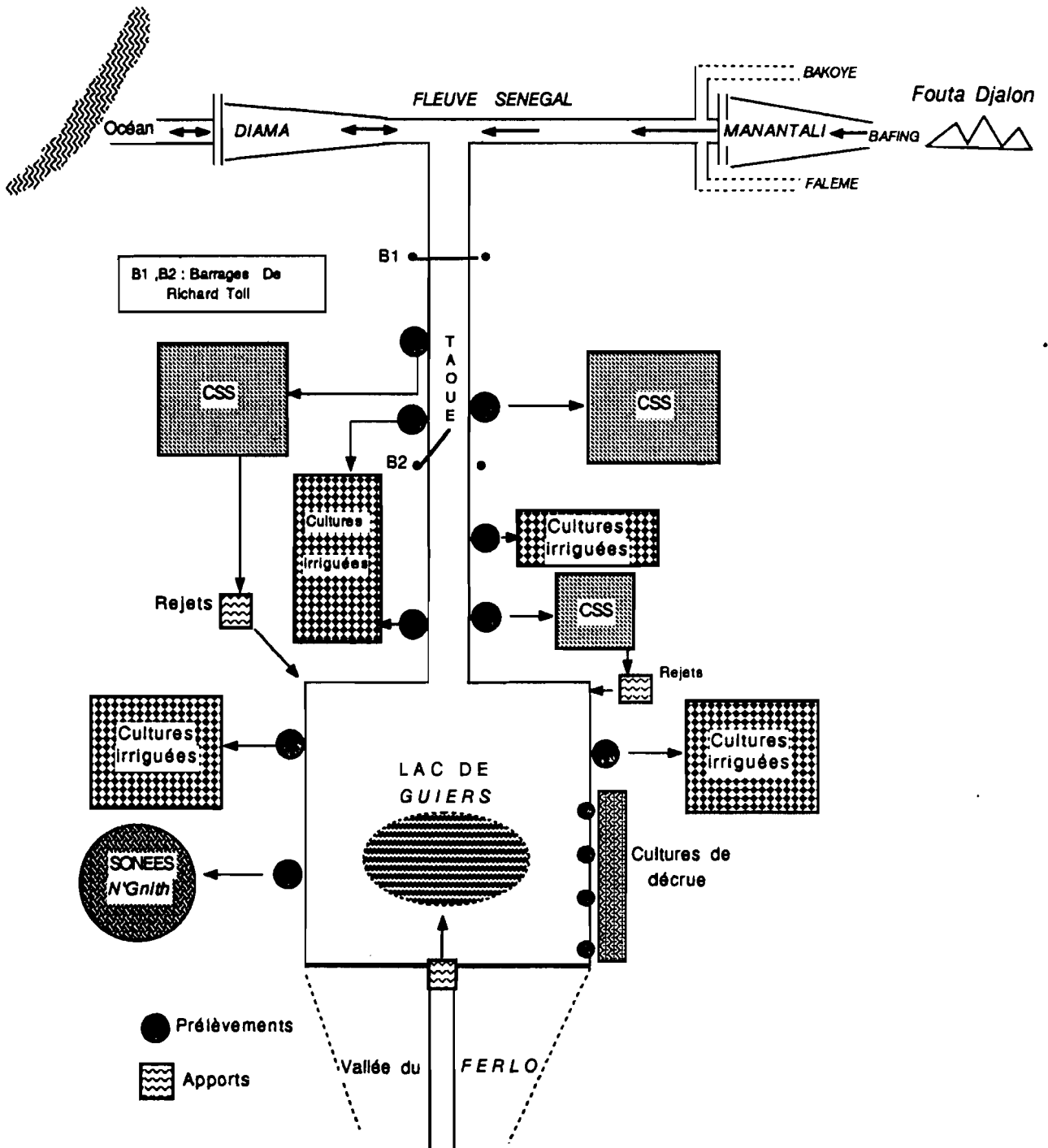
$$\Delta V = (V_{po} + V_r + V_r') - (V_E + V_{p1} + V_{p1}' + V_{p2} + V_{ir})$$

PHASE 2



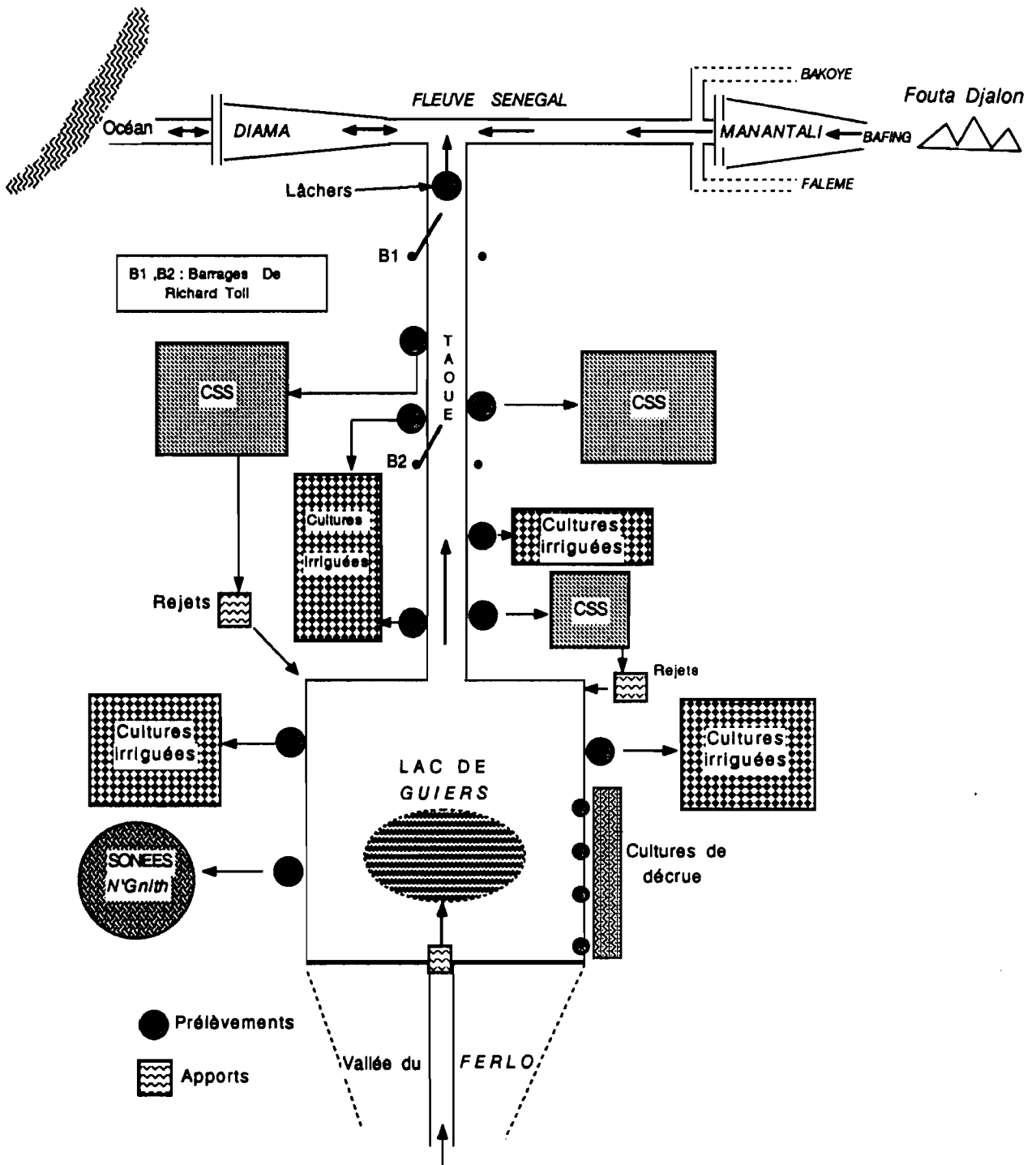
$$\Delta V = (V_{po} + V_r + V_r') - (V_E + V_{Lf} + V_{p1} + V_{p1'} + V_{p2} + V_{ir})$$

PHASE 3



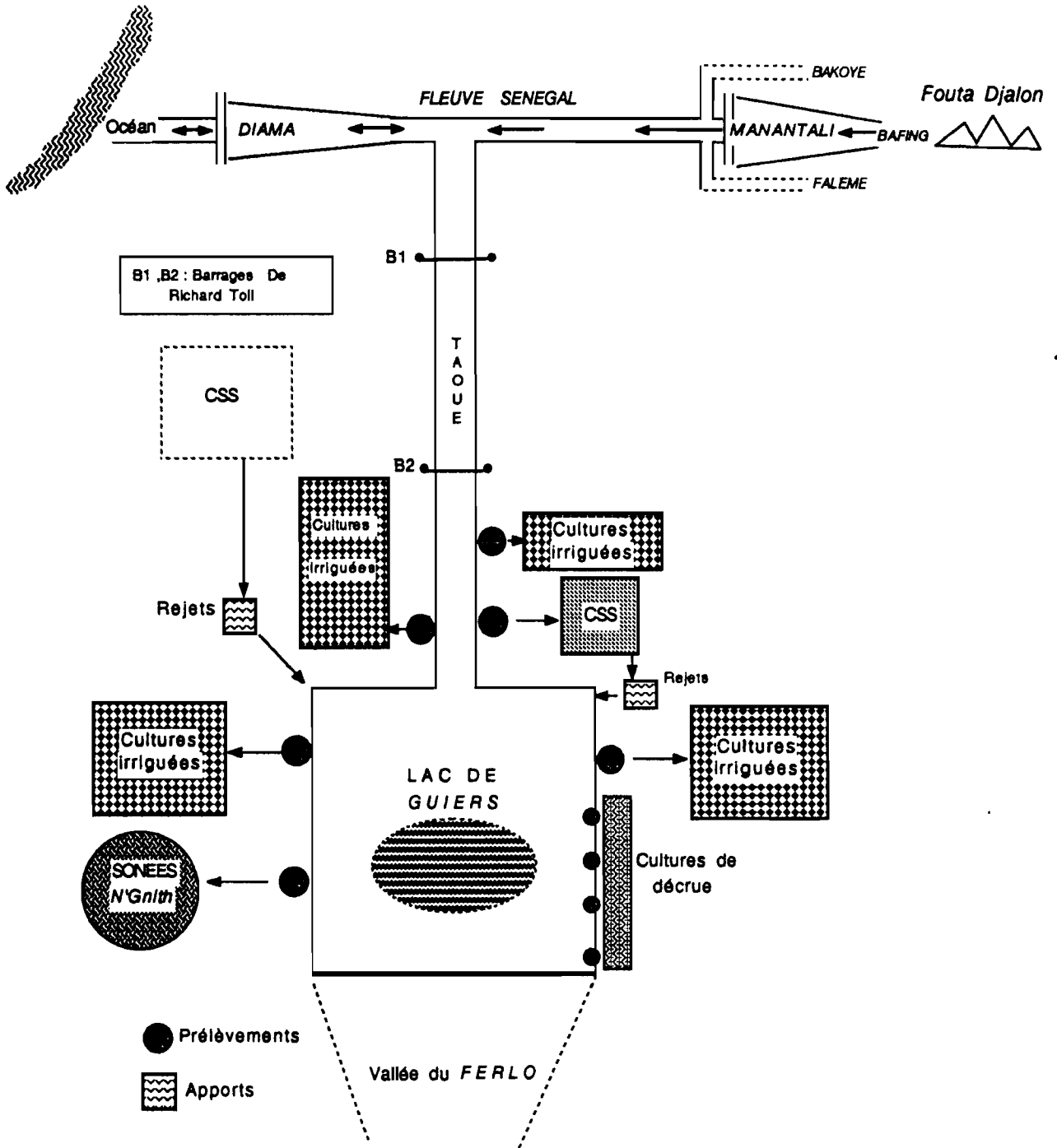
$$\Delta V = (V_{po} + V_r + V_{r'} + V_{fL}) - (V_E + V_{p1} + V_{p1'} + V_{p2} + V_{ir})$$

PHASE 10



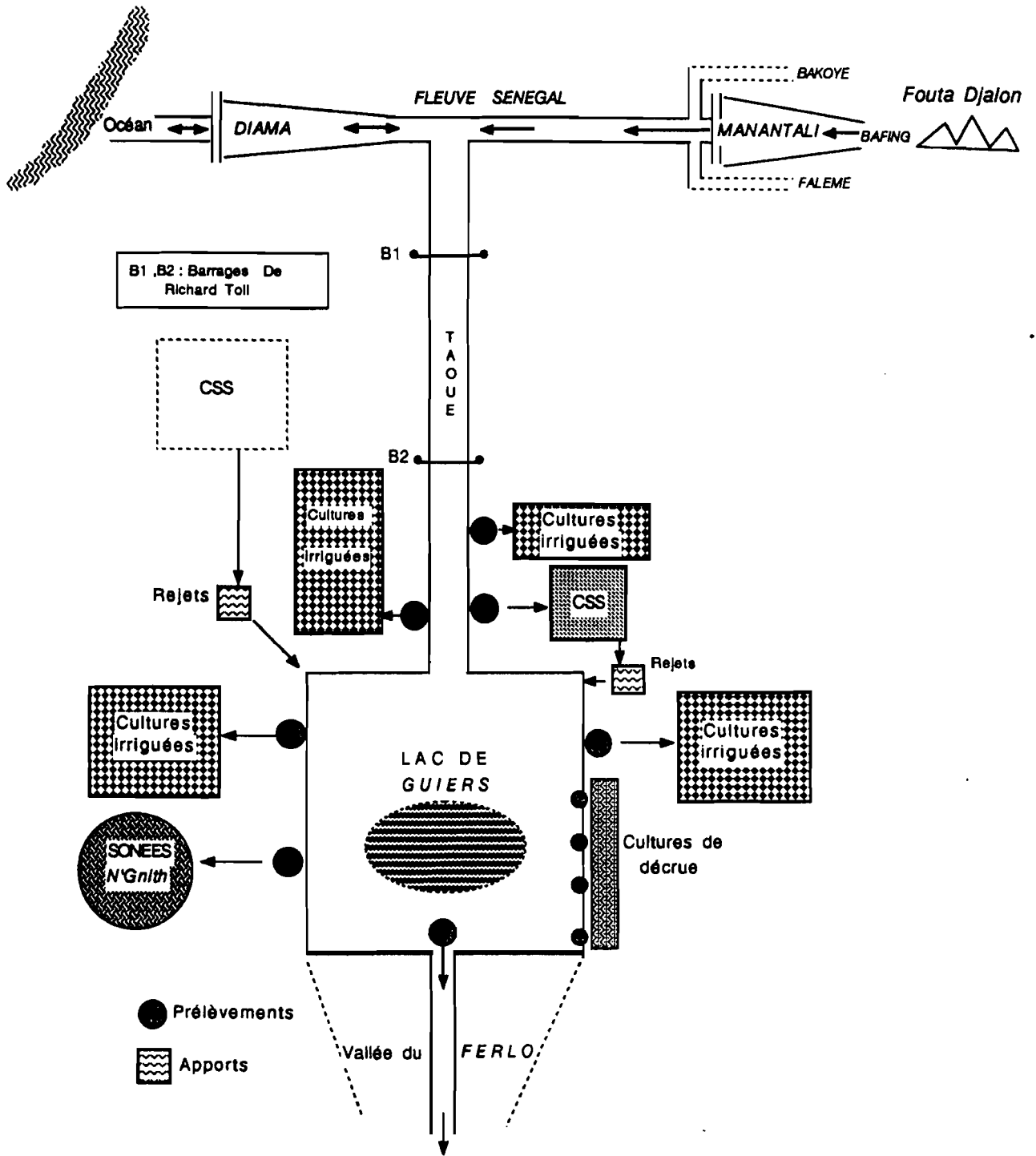
$$\underline{AV = (V_{po} + V_r + V_r' + V_{fL}) - (V_E + V_{LF} + V_{p1} + V_{p1}' + V_{p2} + V_{ir})}$$

PHASE 12



$$\Delta V = (V_{p0} + V_r + V_{r'}) - (V_E + V_{p1'} + V_{p2} + V_{ir})$$

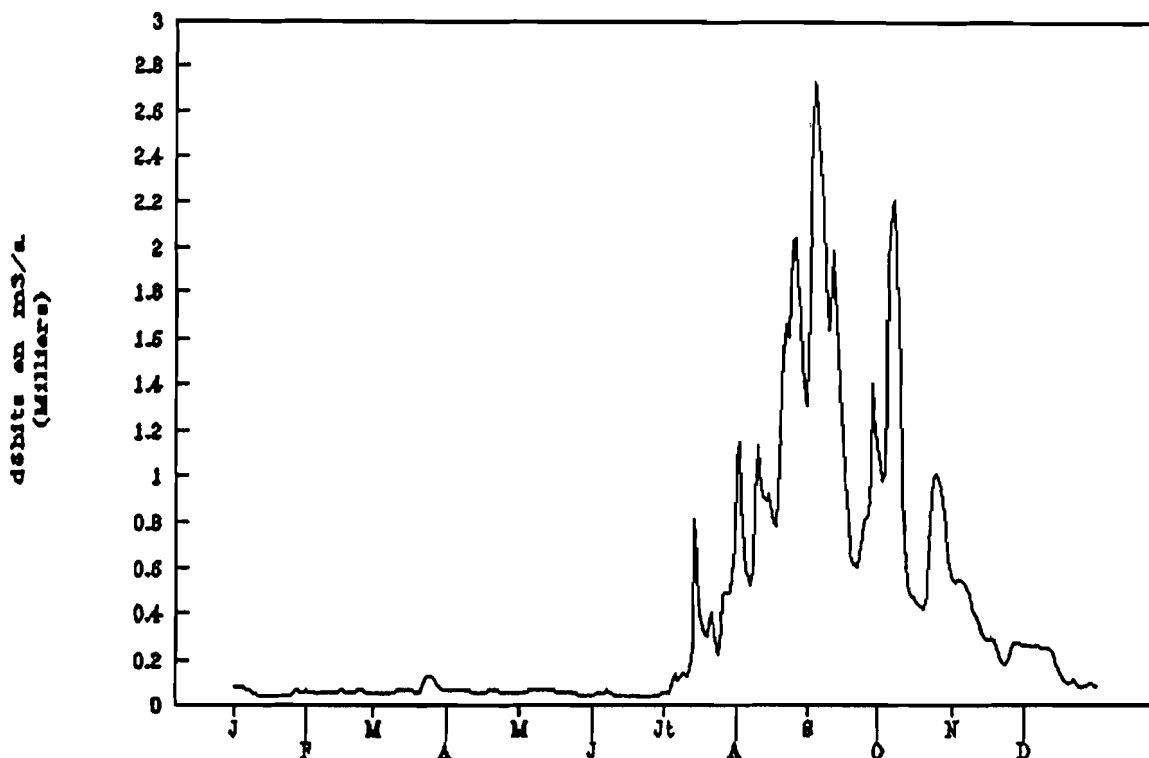
PHASE 13



$$\Delta V = (V_{po} + V_r + V_r') - (V_E + V_{Lf} + V_{p1'} + V_{p2} + V_{ir})$$

DEBITS JOURNALIERS DU SENEGAL A BAKEL EN 1991 (EN M³/S)

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
1	77.1	63.8	54.5	66.3	57.2	46.2	56.5	1077	1310	1134	550	268
2	77.1	59.5	53.3	65.2	57.5	48.8	56.1	1147	1726	1050	536	269
3	77.1	56.9	53.4	65.3	60.4	51.2	54.9	883	2294	979	548	268
4	77.1	55.8	53.5	65.3	61.7	51.1	63.3	679	2733	1012	549	265
5	76.8	54.6	54.8	65.3	64.2	51.6	127	592	2700	1425	539	260
6	74.7	54.8	54.7	64	62.7	57	137	552	2489	1925	527	261
7	69.2	56.3	54.7	65.4	62.7	65.6	108	529	2377	2182	509	260
8	61	57.6	54.8	65.4	64	59	119	592	2179	2203	483	258
9	53.5	58.8	56.4	65.2	62.6	49.9	145	906	1861	1947	432	255
10	50.2	58.7	58	64.9	62.7	47.8	136	1137	1640	1428	402	255
11	46.8	58.7	63.6	60.7	62.7	45.6	131	1027	1702	994	385	252
12	47.1	58.8	67.4	58.2	62.7	43.3	159	914	1990	718	356	249
13	47.2	59	68.3	57	62.8	44.7	258	905	1806	538	318	233
14	47.1	61.8	68	54.7	64.2	44.6	813	896	1564	477	293	202
15	45.7	64.3	67.9	57.7	64	44.5	645	923	1367	468	288	168
16	44.5	63.9	66.4	59.1	63.8	40.8	406	877	1185	467	292	140
17	43.3	61.1	65.1	60.4	61.1	42.3	345	803	980	445	294	118
18	43.4	61.2	64.9	63	61.3	43.4	319	784	819	435	287	105
19	43.4	59.9	60.8	62.9	61.4	42	300	916	663	424	265	96.7
20	43.4	60.1	58.9	62.9	61.3	39.5	366	1064	618	425	228	98.7
21	43.4	60.3	60.8	65.4	61.1	38.5	401	1365	621	486	200	110
22	43.5	63.2	83.1	63.7	59.5	38.5	321	1533	605	695	185	107
23	43.6	65.9	115	61	55.3	38.6	253	1661	651	904	186	90.1
24	45	68.1	127	59.8	51.5	38.7	226	1609	737	995	203	78.7
25	46.7	66.1	125	60	49.2	39.9	333	1769	810	1012	240	78.9
26	54.7	61.8	118	60	46.8	42.4	476	2022	821	988	276	86.2
27	62.4	56.6	101	60	44.5	42.3	495	2041	829	950	278	89.5
28	62.9	54.3	84.7	60	44.6	42.5	483	1873	997	888	274	93.9
29	61.3		73.5	60	44.7	44.2	489	1698	1405	778	273	94.6
30	61.4		71.2	59.8	44.8	53.2	567	1488	1282	644	270	90.6
31	61.5		67.4		46.1		696	1349		579		85.6
=====												
	55.9	60.1	71.8	62.0	57.7	45.9	306	1149	1425	955	349	171



HAUTEURS D'EAU ET VOLUMES DU LAC DE GUIERS EN 1991

(H_{lac} en m. IGN et V_{lac} en millions de m³)

	H _{lac}	V _{lac}		H _{lac}	V _{lac}		H _{lac}	V _{lac}		H _{lac}	V _{lac}
1-Jan	1,10	435,23	1-Avr	0,76	333,32	1-Jul	0,17	211,68	1-Oct	1,65	550,76
2-Jan	1,17	432,68	2-Avr	0,76	331,04	2-Jul	0,18	209,63	2-Oct	1,62	551,62
3-Jan	1,17	432,68	3-Avr	0,76	331,04	3-Jul	0,14	206,20	3-Oct	1,6	546,20
4-Jan	1,17	432,68	4-Avr	0,73	326,50	4-Jul	0,16	208,01	4-Oct	1,6	546,20
5-Jan	1,17	432,68	5-Avr	0,73	326,50	5-Jul	0,16	208,01	5-Oct	1,58	543,48
6-Jan	1,17	432,68	6-Avr	0,72	324,24	6-Jul	0,16	208,01	6-Oct	1,58	540,79
7-Jan	1,17	432,68	7-Avr	0,72	324,24	7-Jul	0,16	208,01	7-Oct	1,6	546,20
8-Jan	1,17	432,68	8-Avr	0,70	319,74	8-Jul	0,14	206,20	8-Oct	1,58	540,79
9-Jan	1,17	432,68	9-Avr	0,69	317,50	9-Jul	0,14	206,20	9-Oct	1,58	535,39
10-Jan	1,18	436,23	10-Avr	0,67	313,04	10-Jul	0,16	208,01	10-Oct	1,58	536,39
11-Jan	1,14	436,23	11-Avr	0,66	310,82	11-Jul	0,14	206,20	11-Oct	1,58	540,79
12-Jan	1,18	436,23	12-Avr	0,66	310,82	12-Jul	0,13	204,49	12-Oct	1,58	540,79
13-Jan	1,18	436,23	13-Avr	0,66	308,61	13-Jul	0,14	206,20	13-Oct	1,58	540,79
14-Jan	1,18	437,79	14-Avr	0,64	306,41	14-Jul	0,14	206,20	14-Oct	1,6	546,20
15-Jan	1,18	436,23	15-Avr	0,66	308,61	15-Jul	0,13	204,49	15-Oct	1,6	546,20
16-Jan	1,18	436,23	16-Avr	0,64	306,41	16-Jul	0,13	204,49	16-Oct	1,62	551,62
17-Jan	1,18	436,23	17-Avr	0,63	304,22	17-Jul	0,13	204,49	17-Oct	1,62	551,62
18-Jan	1,19	437,79	18-Avr	0,60	297,68	18-Jul	0,16	208,01	18-Oct	1,64	557,04
19-Jan	1,19	437,79	19-Avr	0,60	297,68	19-Jul	0,16	208,01	19-Oct	1,64	557,04
20-Jan	1,19	437,79	20-Avr	0,60	297,68	20-Jul	0,16	208,01	20-Oct	1,65	559,76
21-Jan	1,19	437,79	21-Avr	0,60	295,62	21-Jul	0,16	208,01	21-Oct	1,63	554,33
22-Jan	1,19	437,79	22-Avr	0,60	295,62	22-Jul	0,16	208,01	22-Oct	1,62	551,62
23-Jan	1,19	437,79	23-Avr	0,60	295,62	23-Jul	0,20	232,27	23-Oct	1,6	546,20
24-Jan	1,2	440,36	24-Avr	0,60	295,62	24-Jul	0,20	232,27	24-Oct	1,58	540,79
25-Jan	1,2	440,36	25-Avr	0,60	293,36	25-Jul	0,3	238,13	25-Oct	1,58	535,39
26-Jan	1,19	437,79	26-Avr	0,60	289,07	26-Jul	0,32	240,61	26-Oct	1,55	532,69
27-Jan	1,2	440,36	27-Avr	0,60	289,07	27-Jul	0,36	247,67	27-Oct	1,53	527,30
28-Jan	1,19	437,79	28-Avr	0,64	284,81	28-Jul	0,36	247,67	28-Oct	1,61	521,92
29-Jan	1,2	440,36	29-Avr	0,62	280,66	29-Jul	0,4	265,98	29-Oct	1,61	521,92
30-Jan	1,2	440,36	30-Avr	0,60	276,36	30-Jul	0,43	261,93	30-Oct	1,64	529,09
31-Jan	1,19	437,79	1-Mai	0,60	276,36	31-Jul	0,46	268,02	31-Oct	1,62	524,61
1-Fév	1,19	437,79	2-Mai	0,48	272,22	1-Août	0,62	280,68	1-Nov	1,52	524,61
2-Fév	1,19	437,79	3-Mai	0,48	272,22	2-Août	0,6	297,68	2-Nov	1,53	527,30
3-Fév	1,19	437,79	4-Mai	0,47	270,14	3-Août	0,6	297,68	3-Nov	1,54	529,09
4-Fév	1,18	436,23	5-Mai	0,47	270,14	4-Août	0,64	308,61	4-Nov	1,55	532,69
5-Fév	1,18	436,23	6-Mai	0,46	268,02	5-Août	0,66	308,61	5-Nov	1,55	532,69
6-Fév	1,17	432,68	7-Mai	0,46	268,02	6-Août	0,7	319,74	6-Nov	1,54	529,09
7-Fév	1,17	432,68	8-Mai	0,44	263,98	7-Août	0,76	331,04	7-Nov	1,54	529,09
8-Fév	1,18	430,14	9-Mai	0,42	260,90	8-Août	0,79	340,22	8-Nov	1,52	524,61
9-Fév	1,18	430,14	10-Mai	0,42	260,90	9-Août	0,81	344,65	9-Nov	1,51	521,92
10-Fév	1,14	428,06	11-Mai	0,42	260,90	10-Août	0,86	364,19	10-Nov	1,61	521,92
11-Fév	1,14	428,06	12-Mai	0,42	260,90	11-Août	0,87	368,90	11-Nov	1,49	516,55
12-Fév	1,13	422,63	13-Mai	0,41	267,88	12-Août	0,93	373,21	12-Nov	1,48	513,67
13-Fév	1,13	422,63	14-Mai	0,40	266,86	13-Août	0,95	378,03	13-Nov	1,46	508,52
14-Fév	1,12	420,01	15-Mai	0,39	263,84	14-Août	0,98	385,31	14-Nov	1,45	505,85
15-Fév	1,12	420,01	16-Mai	0,38	261,66	15-Août	1,01	392,64	15-Nov	1,44	503,18
16-Fév	1,09	412,48	17-Mai	0,38	261,66	16-Août	1,03	397,56	16-Nov	1,42	497,88
17-Fév	1,08	409,99	18-Mai	0,37	249,88	17-Août	1,07	407,48	17-Nov	1,41	495,20
18-Fév	1,09	412,48	19-Mai	0,36	247,67	18-Août	1,1	414,98	18-Nov	1,41	495,20
19-Fév	1,09	412,48	20-Mai	0,36	246,68	19-Août	1,12	420,01	19-Nov	1,41	495,20
20-Fév	1,08	409,99	21-Mai	0,34	243,92	20-Août	1,16	427,80	20-Nov	1,4	492,55
21-Fév	1,07	407,48	22-Mai	0,33	241,88	21-Août	1,19	437,79	21-Nov	1,4	492,55
22-Fév	1,08	409,99	23-Mai	0,32	240,01	22-Août	1,2	440,35	22-Nov	1,4	492,55
23-Fév	1,08	409,99	24-Mai	0,31	238,08	23-Août	1,22	446,48	23-Nov	1,41	495,20
24-Fév	1,03	397,68	25-Mai	0,31	238,08	24-Août	1,26	463,23	24-Nov	1,39	489,90
25-Fév	1,08	409,99	26-Mai	0,30	238,13	25-Août	1,27	468,41	25-Nov	1,38	487,25
26-Fév	1,06	402,61	27-Mai	0,29	234,20	26-Août	1,3	486,22	26-Nov	1,37	484,61
27-Fév	1,03	397,68	28-Mai	0,29	234,20	27-Août	1,31	488,84	27-Nov	1,36	481,97
28-Fév	1,01	392,64	29-Mai	0,29	234,20	28-Août	1,32	471,48	28-Nov	1,36	481,97
			30-Mai	0,28	232,27	29-Août	1,35	479,34	29-Nov	1,36	481,97
						30-Août	1,38	487,25	30-Nov	1,35	479,34
1-Mar	0,99	367,74	1-Jul	0,27	230,36	31-Août	1,41	495,20	1-Déc	1,35	479,34
2-Mar	0,99	367,74	2-Jul	0,26	228,66	1-Sep	1,44	503,18	2-Déc	1,34	476,70
3-Mar	0,99	366,31	3-Jul	0,26	228,66	2-Sep	1,47	511,20	3-Déc	1,33	474,08
4-Mar	0,97	362,87	4-Jul	0,24	224,87	3-Sep	1,48	513,97	4-Déc	1,33	474,08
5-Mar	0,96	360,46	5-Jul	0,24	224,87	4-Sep	1,61	521,92	5-Déc	1,32	471,46
6-Mar	0,96	360,46	6-Jul	0,24	224,87	5-Sep	1,62	524,61	6-Déc	1,31	468,84
7-Mar	0,96	378,03	7-Jul	0,23	222,78	6-Sep	1,64	529,09	7-Déc	1,31	468,84
8-Mar	0,96	378,03	8-Jul	0,23	222,78	7-Sep	1,69	543,49	8-Déc	1,31	468,84
9-Mar	0,94	375,61	9-Jul	0,22	220,91	8-Sep	1,69	543,49	9-Déc	1,31	468,84
10-Mar	0,92	370,60	10-Jul	0,21	218,04	9-Sep	1,6	546,20	10-Déc	1,31	468,84
11-Mar	0,92	370,60	11-Jul	0,20	217,16	10-Sep	1,6	546,20	11-Déc	1,3	466,22
12-Mar	0,91	368,41	12-Jul	0,19	216,33	11-Sep	1,62	551,62	12-Déc	1,3	466,22
13-Mar	0,91	368,41	13-Jul	0,19	216,33	12-Sep	1,65	559,76	13-Déc	1,31	468,84
14-Mar	0,9	366,02	14-Jul	0,18	213,49	13-Sep	1,68	582,47	14-Déc	1,31	468,84
15-Mar	0,9	366,02	15-Jul	0,18	213,49	14-Sep	1,67	586,19	15-Déc	1,3	466,22
16-Mar	0,89	363,64	16-Jul	0,18	213,49	15-Sep	1,68	587,91	16-Déc	1,29	463,82
17-Mar	0,88	361,27	17-Jul	0,18	213,49	16-Sep	1,7	573,34	17-Déc	1,28	461,01
18-Mar	0,88	361,27	18-Jul	0,18	213,49	17-Sep	1,71	576,06	18-Déc	1,27	458,41
19-Mar	0,87	360,46	19-Jul	0,18	213,49	18-Sep	1,71	576,06	19-Déc	1,26	456,82
20-Mar	0,86	360,46	20-Jul	0,18	213,49	19-Sep	1,74	584,23	20-Déc	1,26	456,82
21-Mar	0,84	361,64	21-Jul	0,18	213,49	20-Sep	1,76	588,96	21-Déc	1,25	453,23
22-Mar	0,84	361,64	22-Jul	0,18	209,83	21-Sep	1,78	597,84	22-Déc	1,24	450,64
23-Mar	0,83	349,60	23-Jul	0,16	206,01	22-Sep	1,8	600,58	23-Déc	1,24	450,64
24-Mar	0,81	344,65	24-Jul	0,14	206,20	23-Sep	1,8	600,58	24-Déc	1,23	448,06
25-Mar	0,8	342,63	25-Jul	0,14	206,20	24-Sep	1,8	600,58	25-Déc	1,22	445,48
26-Mar	0,8	342,63	26-Jul	0,16	208,01	25-Sep	1,8	600,58	26-Déc	1,21	442,91
27-Mar	0,79	340,22	27-Jul	0,17	211,66	26-Sep	1,76	589,67	27-Déc	1,2	440,35
28-Mar	0,79	340,22	28-Jul	0,18	213,49	27-Sep	1,76	589,67	28-Déc	1,2	440,35
29-Mar	0,77	336,61	29-Jul	0,18	209,83	28-Sep	1,72	578,78	29-Déc	1,19	437,79
30-Mar	0,78	333,32	30-Jul	0,16	209,83	29-Sep	1,72	578,78	30-Déc	1,19	437,79
						30-Sep	1,69	570,62	31-Déc	1,19	437,79

EVAPORATION EN BAC FLOTTANT EN 1991

(bac de 1 m² de surface évaporatoire, installé dans le canal principal d'alimentation de la CSS).

Dates et heures : elles sont variables et fonction de la disponibilité des agents de la CSS.

Temps : il est exprimé en heures et 1/100^{ème} d'heures entre deux relevés.

Vol. : il s'agit du volume d'eau (en litres) ajouté à chaque relevé.

Pluies : précipitations cumulées (en mm) entre deux relevés.

Evaporation : (1) en mm/jour pendant la durée d'observation (2) en mm/jour pour chaque décade.

Dates	Heures	Temps	Vol.	Pluies	Evaporation	
					(1)	(2)
31.12.90	09h50	120.50	38		7.57	Janv
08.01.91	09h20	191.50	58		7.27	7.08
15.01	09h35	168.25	46		6.56	5.97
23.01	09h10	191.58	44		5.51	5.90
29.01	10h00	144.83	26	2.2	4.67	Fevr
05.02	10h07	168.12	64		9.14	8.20
12.02	09h35	167.46	52		7.45	11.77
19.02	10h05	168.50	94		13.39	9.01
26.02	10h10	168.08	59		8.42	Mars
06.03	10h00	191.83	82		10.26	9.09
13.03	10h20	168.33	54		7.70	9.89
19.03	10h39	144.82	68		11.31	10.61
26.03	10h50	168.18	82		11.70	Avri
05.04	12h15	241.42	96		9.54	10.77
09.04	11h08	94.88	50		12.65	9.96
18.04	10h49	216.68	86		9.53	11.47
23.04	10h35	119.77	56		11.22	Mai
30.04	11h20	168.75	82		11.66	10.22
07.05	09h20	167.00	70		10.06	10.49
21.05	09h45	336.42	147		10.49	7.70
28.05	09h38	167.88	52		7.43	Juin
06.06	10h15	216.62	71	0.4	7.90	9.03
11.06	10h39	120.40	52		10.37	8.89
18.06	09h35	166.93	60		8.63	8.11
25.06	11h08	169.55	66		9.34	Juil
02.07	11h35	168.45	50		7.12	7.68
10.07	10h50	191.25	62		7.78	7.38
16.07	10h30	143.67	46		7.68	7.76
24.07	10h05	191.58	56		7.02	Août
30.07	09h20	143.25	46		7.71	8.85
06.08	11h05	169.75	38	29.3	9.52	6.52
13.08	10h20	167.25	56		8.04	6.91
20.08	11h47	168.45	42		5.98	Sept
28.08	10h20	190.55	42	12.4	6.85	7.33
03.09	10h25	144.08	26	16.2	7.03	6.41
10.09	14h40	172.25	30	24.1	7.54	6.85
17.09	16h20	169.67	38		5.38	Octo
24.09	14h50	166.50	28	30.8	8.48	5.41
01.10	10h09	164.32	40	0.6	5.93	6.09
16.10	09h15	383.10	44	42.1	5.39	7.06
24.10	10h35	187.83	54		6.90	Nove
06.11	14h47	316.20	94		7.13	8.23
12.11	15h10	144.39	58		9.64	5.75
20.11	15h30	192.33	40		4.99	4.92
27.11	14h50	167.33	34		4.88	Dece
04.12	09h35	162.75	34		5.01	4.73
11.12	08h50	167.25	32		4.59	8.15
18.12	09h40	168.84	52		7.39	9.82
26.12	10h15	192.55	86		10.72	1991
02.01.92	09h25	167.17	50		7.18	8,04

EVALUATION DE L'EVAPORATION (Ei) DE LA SURFACE D'EAU LIBRE
DU LAC DE GUIERS
EN FONCTION DE L'EVAPORATION (Eb) EN BAC DE CLASSE A EN 1991

(Les calculs sont menés à partir des rapports mensuels Ei/Eb précisés par COGELS et al., 1991). Ces rapports figurent dans le tableau 6, page 18 du taxte).

Date	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août	
	Eb	Ei	Eb	Ei	Eb	Ei	Eb	Ei	Eb	Ei	Eb	Ei	Eb	Ei	Eb	Ei
1	9,19	5,15	12,19	6,70	12,14	6,43	9,84	5,61	11,57	6,71	9,82	6,09	10,72	6,11	3,40	2,21
2	8,00	4,48	11,59	6,37	14,69	7,79	10,24	5,84	10,90	6,32	11,43	7,09	10,22	5,83	7,47	4,86
3	7,39	4,14	12,43	6,84	8,16	4,32	12,41	7,07	10,13	5,88	8,16	5,06	8,65	4,93	8,50	5,53
4	8,69	4,87	11,60	6,38	6,32	3,35	13,32	7,59	12,18	7,06	10,21	6,33	7,40	4,22	8,66	5,63
5	8,64	4,84	10,17	5,59	10,50	5,57	13,02	7,42	11,71	6,79	8,97	5,56	8,24	4,70	9,44	6,14
6	7,98	4,47	8,23	4,53	7,68	4,07	10,95	6,24	10,48	6,08	13,14	8,15	13,63	7,77	9,46	6,15
7	9,39	5,26	7,94	4,37	7,96	4,22	12,64	7,20	10,09	5,85	14,78	9,16	13,52	7,71	8,28	5,38
8	9,88	5,53	9,91	5,45	8,74	4,63	11,74	6,69	11,01	6,39	15,19	9,42	8,77	5,00	7,04	4,58
9	6,24	3,49	9,74	5,36	8,74	4,63	10,07	5,74	12,84	7,45	10,34	6,41	9,23	5,26	7,88	5,12
10	7,96	4,46	9,25	5,09	8,59	4,55	8,97	5,11	13,06	7,57	11,60	7,19	11,23	6,40	10,54	6,85
11	7,61	4,26	6,51	3,58	11,07	5,87	10,28	5,86	13,72	7,96	14,42	8,94	8,89	5,07	9,89	6,43
12	9,66	5,41	6,67	3,67	12,36	6,55	9,58	5,46	14,49	8,40	11,45	7,10	9,17	5,23	9,60	6,24
13	8,39	4,70	9,12	5,02	12,95	6,86	12,02	6,85	10,84	6,29	11,95	7,41	7,53	4,29	7,74	5,03
14	6,49	3,63	7,94	4,37	10,80	5,72	11,31	6,45	15,05	8,73	9,06	5,62	10,64	6,06	8,90	5,79
15	8,71	4,88	8,89	4,89	10,54	5,59	11,27	6,42	15,05	8,73	8,79	5,45	9,52	5,43	8,06	5,24
16	7,03	3,94	8,97	4,93	9,53	5,05	11,94	6,81	15,61	9,05	11,39	7,06	9,46	5,39	9,10	5,92
17	6,52	3,65	8,02	4,41	11,97	6,34	10,80	6,16	12,90	7,48	10,88	6,75	9,42	5,37	9,20	5,98
18	7,01	3,93	9,34	5,14	13,32	7,06	11,30	6,44	15,96	9,26	14,05	8,71	9,43	5,38	8,29	5,39
19	7,18	4,02	9,43	5,19	14,71	7,80	12,94	7,38	13,99	8,11	9,42	5,84	9,05	5,16	9,11	5,92
20	6,37	3,57	8,81	4,85	15,24	8,08	12,75	7,27	9,75	5,66	9,42	5,84	9,22	5,26	6,80	4,42
21	6,29	3,52	9,43	5,19	11,70	6,20	9,99	5,69	10,02	5,81	9,02	5,59	8,76	4,99	8,11	5,27
22	6,30	3,53	9,25	5,09	12,80	6,78	12,84	7,32	10,32	5,99	9,23	5,72	7,14	4,07	8,22	5,34
23	9,49	5,31	12,13	6,67	13,42	7,11	14,38	8,20	8,85	5,13	9,92	6,15	6,68	3,81	11,06	7,19
24	2,16	1,21	14,32	7,88	13,15	6,97	18,81	10,72	7,42	4,30	8,85	5,49	10,89	6,21	10,04	6,53
25	7,92	4,44	11,28	6,20	10,95	5,80	16,19	9,23	8,42	4,88	9,45	5,86	8,80	5,02	6,66	4,33
26	5,76	3,23	12,89	7,09	8,72	4,62	11,92	6,79	8,93	5,18	9,86	6,11	8,36	4,77	9,55	6,21
27	7,18	4,02	12,51	6,88	8,75	4,64	13,15	7,50	9,12	5,29	10,01	6,21	7,51	4,28	8,21	5,34
28	8,84	4,95	12,24	6,73	10,25	5,43	10,45	5,96	8,97	5,20	9,93	6,16	7,99	4,55	8,55	5,56
29	9,71	5,44			9,37	4,97	9,21	5,25	9,18	5,32	9,74	6,04	12,18	6,94	8,34	5,42
30	9,91	5,55			10,82	5,73	9,51	5,42	10,72	6,22	10,94	6,78	8,51	4,85	7,50	4,88
31	9,77	5,47			9,63	5,10			11,14	6,46			14,38	8,20	6,34	4,12

Pistia L.

(du grec *pistos* = liquide ; allusion à l'habitat de la plante)

Plante aquatique flottant librement à la surface de l'eau, pourvue de racines fibreuses ramifiées, pendant dans l'eau, longues éventuellement de 30 cm ; multiplication végétative par l'émission de stolons plus ou moins allongés. Feuilles vert glauque disposées en une rosette dense, à limbe sessile, largement spatulé, arrondi, tronqué ou émarginé au sommet, large de 3-7 cm, haut de 5-12 cm, spongieux et épais (jusque 1 cm) dans sa moitié inférieure, pubescent sur les deux faces ; 5-7 nervures principales subparallèles-flabellées, fortement saillantes à la face dorsale de la feuille. Inflorescence portée par un pédoncule long de 4 mm environ, petite, axillaire ; spathe blanchâtre longue de (0,7-) 1-2 cm, ovale, en forme de tube dans sa moitié inférieure, à face externe pubescente, bordée de cils ; spadice plus court que la spathe, à partie femelle soudée à celle-ci. Fleurs unisexuées, dépourvues de périgone ; 1 fleur femelle réduite à un ovaire à 1 loge, surmonté d'un stigmate capité ; 3-8 fleurs mâles disposées en un verticille, chaque fleur étant formée de 2 anthères sessiles soudées entre elles. Fruit : une baie subglobuleuse, longue de 5 mm environ, contenant plusieurs graines. Graines subcylindriques, longues de 2 mm environ, épaisses de 1 mm environ. — Le genre ne comprend qu'une espèce.

Pistia stratiotes L. [à port de *Stratiotes*]. — Caractères du genre. — Mares, étangs, anses calmes des rivières, dans des eaux stagnantes ou faiblement courantes, douces ou faiblement saumâtres, eutrophes, parfois un peu polluées ; la plante peut former des prairies flottantes fermées, d'une surface de plusieurs m² à plusieurs ares, qui se déplacent librement, le cas échéant, sous l'action du vent ou d'un courant. — Floraison : août-décembre. — Bas Sénégal, région du Fleuve, région des Niayes, Sine-Saloum, Haute Casamance : AC-AR ; Basse Casamance : R (1721, 5991). — Espèce pantropicale. — Fig. 29.

Obs. — *Pistia stratiotes* est souvent lié à des eaux permanentes, éventuellement à niveau très variable.

NOMS VERNACULAIRES. — Anglais : water lettuce. — Acou : é voñé éni. — Bambara : ka bua. — Français : laitue d'eau. — Foula : sùlo. — Mandingue : saré bafay. — Peul : tambalayé máyo. — Sérère : mburu lur, fas, hubar mbèl, husup nar. — Volof : tokar fil, tokar fèt, tambalay, bohur.

USAGES. — La plante, riche en protéines et en potassium, peut servir d'engrais vert. Elle est employée avec le savon pour enlever les taches du linge. On en tirait jadis un succédané du sel, après séchage, incinération, filtrage et évaporation du liquide.

La plante est employée, avec du sucre et de la gomme, pour faire cesser une toux convulsive et cicatriser les ulcérations récentes des poumons (J. BERHAUT). Les feuilles en cataplasme supprimeraient les hémorroïdes. Ces cataplasmes sont également placés sur les lésions syphilitiques et celles de diverses maladies de la peau. Mélangées au riz et au lait de coco, les feuilles guériraient la dysenterie (J. BERHAUT). Les cendres servent à la préparation d'un sel qui est appliqué sur l'herpès circiné (J. BERHAUT).

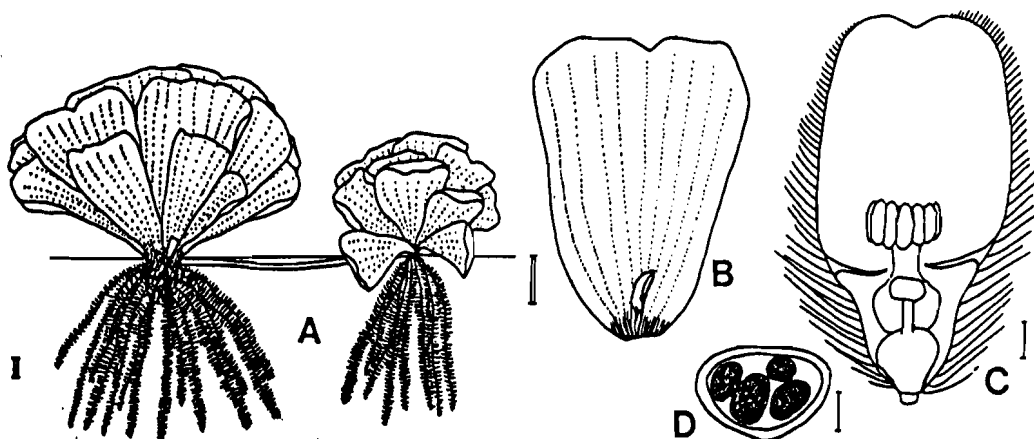


Fig. 29. — *Pistia stratiotes* L.

A : Deux plantes reliées entre elles par un stolon. — B : Jeune feuille portant une inflorescence à son aisselle. — C : Inflorescence et sa spathe, celle-ci ouverte. — D : Coupe transversale dans un fruit dont la loge unique contient 4 graines. — D'après 1721.