



Comité
Permanent
Inter-Etats de
Lutte contre
la Sécheresse
dans le Sahel

Permanent
Interstate
Committee
for Drought
Control
in the Sahel

INSAH

ISBN 2-912693-26-8

Les monographies SAHELIENNES

14

“ Impact de la disponibilité en eau du fleuve Niger sur la gestion de l’eau dans le périmètre irrigué de l’Office du Niger au Mali ”

Le cas de l’été 1999

Aspects hydrauliques

Institut du Sahel (INSAH)

L'Institut du Sahel (Insah) est une institution spécialisée du Cilss chargée de la coordination, de l'harmonisation et de la promotion de la recherche scientifique et technique dans les pays du Sahel.

Stratégies et mission

Stratégies

- favoriser l'émergence d'un espace scientifique sahéien et ouest africain capable de contribuer de façon significative à la réalisation de la sécurité alimentaire, à la lutte contre la sécheresse et la désertification pour un développement durable.
- renforcer les capacités nationales de recherche et exploiter au maximum les compétences nationales dans un cadre de coopération et de concertation régionales.

Mission

- assister les pays du Cilss dans la définition des stratégies et la mise en oeuvre des programmes visant à atteindre la sécurité alimentaire tout en préservant l'environnement.
- procéder à la spécialisation dans les domaines de la recherche, de l'analyse et de la communication.

Programmes : L' Insah est composé de deux programmes majeurs: Population et développement, Recherches agro-socio-économiques.

Population et Développement

Objectif stratégique: proposer des options pour lever les contraintes démographiques au développement durable dans le Sahel.

Objectifs opérationnels: concevoir des politiques de populations adaptées aux spécificités et aux besoins des pays sahéiens; développer la coopération démographique sous-régionale pour mieux prendre en compte les mouvements migratoires et pour harmoniser les politiques nationales de population; accroître les compétences nationales et sahéiennes en vue de l'élaboration et de la mise en oeuvre des politiques de population.

Activités

études et recherches sur population, environnement et développement; migrations et urbanisation: femme, santé publique, sociétés et sida;
formation: organisation d'ateliers, de séminaires et de stages; octroi de bourses d'études, (Maîtrise, Doctorat); appui à la mise en place de programmes dans les universités;
Assistance technique: appui au développement des politiques et programmes de population, des programmes de SMI/PF, accueil, conception et évaluation des projets en matières de population;
information : animation d'un réseau de journalistes; publication de différentes séries scientifiques et de vulgarisation tel que *Pop SAHEL*;
Informatique : développement de logiciels appropriés, de base de données; traitement de données d'enquêtes; conseil.

Recherches agro-socio-économiques

Objectif stratégique: proposer des options pour lever les contraintes agro-socio-économiques au développement durable dans le Sahel.

Objectifs opérationnels:

proposer la mise en oeuvre de technologies alternatives, pratiques locales et systèmes de production adaptés aux conditions agro-écologiques du Sahel;
proposer un programme sous-régional et des orientations nationales coordonnées de recherche sur les facteurs agro-socio-économiques ;
élaborer et tester les instruments de suivi agro-socio-économiques afin d'améliorer la mise en oeuvre des politiques de sécurité alimentaire et de gestion des ressources naturelles.

Activités :

études et analyses sur les déterminants d'adoption des pratiques en gestion des ressources naturelles; les effets de la dévaluation sur les prix, les coûts de production, les revenus et la consommation des ménages; l'impact de la recherche agricole au Sahel ; l'harmonisation des statuts des chercheurs, l'éducation environnementale;
réflexions stratégiques sur le rôle de l'agriculture dans la transformation structurelle, les rapports entre les politiques d'ajustement et le développement durable;
appui aux Etats dans l'exécution de divers programmes sous-régionaux;
information et documentation: animation d'un réseau de centres nationaux de documentation (Resadoc), publications de différentes séries scientifiques;
formation des responsables et membres du réseau Resadoc, des auteurs et éditeurs scientifiques et des chercheurs en méthodologie d'analyse d'impact, d'établissement de priorités de recherche, etc.

Retour 6/12/05



"Impact de la disponibilité en eau du fleuve Niger sur la gestion de l'eau dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger au Mali "

le cas de l'été 1999

Aspects hydrauliques

Etude commanditée par :

Comité Permanent Inter Etats de Lutte Contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS)

Institut du Sahel (INSAH)

Gestion Ressources Naturelles/Sécurité Alimentaire (GRN/SA)

**HASSANE Adamou
KUPER Marcel**

Les quatre grands principes de la conférence internationale sur l'eau et l'environnement

1. Principe n° 1- L'eau douce - ressource fragile et non renouvelable – est indispensable à la vie, au développement et à l'environnement.
2. Principe n° 2- La gestion et la mise en valeur des ressources en eau doivent associer usagers, planificateurs et décideurs à tous les échelons.
3. Principe n° 3- Les femmes jouent un rôle essentiel dans l'approvisionnement, la gestion et la préservation de l'eau.
4. Principe n° 4- L'eau, utilisée à de multiples fins, a une valeur économique et devrait être reconnue comme bien économique.

*Conférence internationale sur l'eau et l'environnement :
Le développement dans la perspective du 21^e siècle
26-31 janvier 1992, Dublin, Irlande*

TABLE DE MATIERES

PREALABLE	7
RESUME.....	9
QUELQUES DEFINITIONS.....	10
INTRODUCTION.....	10
1. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIF DE L'ETUDE	10
2. METHODOLOGIE.....	12
I. L'OFFICE DU NIGER ET L'INFRASTRUCTURE HYDRAULIQUE.....	13
1.1. CADRE ADMINISTRATIF	13
1.1.1. Organisation administrative en gestion de l'eau	14
1.1.2. Participation des paysans	14
1.2. CADRE PHYSIQUE	15
1.3. SYSTEME HYDRAULIQUE DE L'OFFICE DU NIGER.....	16
2.3.1. La ressource en eau.....	16
1.3.2. L'infrastructure hydraulique de l'Office du Niger.....	18
1.3.2.1. Le réseau primaire	18
1.3.2.2. Le réseau intérieur	24
2.3.2.3. Les drains.....	26
1.3.3. Organisation du volet gestion de l'eau	27
2.3.3.1. Le réseau primaire	27
2.3.3.2. Le réseau intérieur	31
2.3.3.3. Organisation paysanne dans la zone aménagée de l'Office du Niger	37
3. COLLECTE, STOCKAGE ET TRAITEMENT DE L'INFORMATION POUR LA GESTION DE L'EAU A L'OFFICE DU NIGER.....	38
3.1. LES DONNEES	38
3.2. CRITIQUE DES DONNEES	38
3.3. TRAITEMENT DES DONNEES	39
3.4. BILAN HYDROLOGIQUE.....	40
3.5. LA PRODUCTIVITE DE L'EAU	46
4. L'ETIAGE EXCEPTIONNEL DE 1999.....	48
4.1. LA CAUSE	48
4.2. MESURES D'URGENCES ENTREPRISES PAR L'OFFICE DU NIGER	49
4.2.1. Mesures politiques.....	49
4.2.2. Mesures techniques	50
4.3. CONSÉQUENCES DE L'ETIAGE DE 1999 SUR LES ZONES AMENAGEES DE L'OFFICE DU NIGER	50
4.3.1. Conséquences psychologiques	50
4.3.2. Conséquences hydrauliques au Barrage de Markala.....	51
4.3.3. Conséquences hydrauliques à l'intérieur de l'Office du Niger	53
4.3.4. Conséquences sur le calendrier agricole	57
5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	59
REFERENCES.....	61
ANNEXE 1 : MODELE DE FICHES DE COLLECTE DE DONNEES DU SERP A MARKALA	63
ANNEXE 2 : MODELE DE FICHES DE COLLECTE DE DONNEES DE N'DEBOUGOU	64
ANNEXE 3 : CALENDRIER AGRICOLE DE L'OFFICE DU NIGER.....	66
ANNEXE 4 : NIVEAU D'EAU DANS LE DRAIN PRINCIPAL GRÜBER (DB 4).....	67
ANNEXE 5 : RAPPEL SUCCINCT DU SYSTEME BIVAL	68
ANNEXE 6 : PHOTO ALBUM HYDRAULIQUE.....	69

SIGLES UTILISES

CILSS	Comité Inter Etat de Lutte Contre la Sécheresse au Sahel
DADR	Direction de l'Aménagement et du Développement Rural
DNH	Direction Nationale de l'Hydraulique
EDM	Société Energie Du Mali
INSAH	Institut du Sahel
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
MDRE	Ministère du Développement Rural et de l'Eau
ME	Ministère de l'Environnement
ODRS	Office du Développement de la Région de Sélingué
ON	Office du Niger
ORS	Opération Riz Ségou
PDG	Président Directeur Général
SAH	Service d'Aménagement Hydraulique
SERP	Service d'Entretien du Réseau Primaire

Résumé

Initié par l'administration coloniale depuis 1930, l'infrastructure d'irrigation de l'Office du Niger a été achevée en 1947. Avec un potentiel aménageable de 1 000 000 ha, l'Office du Niger exploite actuellement (1998/1999) 56 675 ha de casiers aménagés, dont 51 675 ha de riz et 5 000 ha de canne à sucre. Par ailleurs, le réseau hydraulique de l'Office du Niger alimente environ

15 000 ha de « hors casiers » ainsi qu'un casier à submersion contrôlée de 3 000 ha de l'Opération Riz Ségou (ORS). La production agricole a atteint 300 000 tonnes de riz paddy en 1998/1999.

Le fleuve Niger à Koulikoro apporte chaque année un important volume d'eau : 28,6 milliards de m³. Ce volume est très mal réparti dans l'année : les débits moyens (1982-1998) pendant la période de crue atteignent 3 000 m³/s (septembre) pour tomber en dessous de 160 m³/s à l'étiage (de février à mai). Le barrage de Sélingué sur le Sankarani contribue à la régulation du fleuve Niger, notamment en soutenant les étiages. Les profits sont multiples : les débits turbinés en période d'étiage produisent de l'énergie pendant la forte chaleur et soutiennent l'étiage au profit de l'agriculture, de l'alimentation en eau des populations et de la navigation.

Le plus grand consommateur de l'eau turbinée à Sélingué est l'Office du Niger. Sa dépendance de l'eau de Sélingué s'est avérée pendant l'étiage 1999. L'exploitant du barrage de Sélingué a turbiné plus fort que d'habitude pour couvrir les besoins énergétiques de la ville de Bamako, engendrant un épuisement prématuré du réservoir fin mai. Cela a entraîné un arrêt brutal des écoulements du fleuve Niger à Koulikoro et la fermeture du barrage de Markala qui alimente l'Office du Niger, le 30 mai. Cette situation a duré tout le mois de juin au moment du démarrage de la principale saison de culture avant les premières pluies. Cette situation a sensibilisé les acteurs du fleuve vers la recherche d'une gestion concertée des eaux de Sélingué en vue d'obtenir les effets bénéfiques de la régulation du barrage.

L'objectif de cette étude est d'analyser la gestion de l'eau à l'Office du Niger, suite à la pénurie d'eau dans le fleuve Niger pendant l'étiage 1999. L'analyse de la gestion de l'eau est d'autant plus intéressante qu'il existe de nombreux projets d'extension du périmètre irrigué. Il s'avère que la disponibilité en eau du fleuve, de l'ordre de 130 à 160 m³/s de février à mai, limite la possibilité de prélever davantage d'eau pendant l'étiage. L'extension de l'Office du Niger passe donc par une diminution de la consommation en eau et une meilleure gestion de l'eau. Ainsi, l'Office du Niger s'est fixé comme objectif en économie d'eau, d'obtenir sur le canal arroseur une consommation de l'ordre de 15 000 m³/ha de riz cultivé en hivernage. Des objectifs dans le même sens devraient être adoptés pour le réseau primaire/secondaire/tertiaire, car l'analyse montre que c'est à ces niveaux qu'il y a le plus de pertes. La quantité d'eau annuelle prélevée est estimée à 2,56 milliards de m³/an, soit 45 170 m³/ha/an, si on considère uniquement les casiers aménagés. En considérant les hors casiers et le casier ORS, la consommation d'eau devient 34.690 m³/ha/an.

L'analyse de la gestion de l'eau à l'Office du Niger pendant la période de crise en 1999 a montré l'importance du volume d'eau stocké à l'amont du barrage. Estimée à 110 millions de m³ pour la période concernée, cette réserve a contribué à atténuer l'impact de la pénurie d'eau sur la production agricole. Cependant, l'analyse montre que les casiers situés sur le Canal Costes Ongoïba (Bewani et les casiers sucriers de la SUKALA) et les casiers de Kouroumari ont souffert de cette pénurie avec des prélèvements nettement inférieurs pendant le mois de juin aux débits habituels pendant cette période, retardant le calendrier cultural.

Préalable

Le Comité Permanent Inter-Etats de Lutte Contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS) basé à Ouagadougou au Burkina Faso a pour mandat de s'investir dans la recherche de la sécurité alimentaire et la lutte contre les effets la sécheresse et de la désertification, pour un nouvel équilibre écologique.

Dans le cadre de la recherche des obstacles à la réalisation de la sécurité alimentaire, l'Institut du Sahel (INSAH) qui est un organe du CILSS basé à Bamako au Mali s'intéresse à l'utilisation agricole des eaux des grands fleuves de ses pays membres.

Le Mali, pays membre du CILSS dispose d'une expérience certaine en matière d'aménagement hydroagricole. Le plus important aménagement hydroagricole malien est géré par l'Office du Niger depuis déjà plus de 50 ans. En 1998-1999, sa production est estimée à 310 000 tonnes de riz paddy avec un rendement qui s'élève à 5,3 t/ha. L'Office du Niger prélève l'eau du fleuve Niger par un système gravitaire pour mettre en eau deux anciens bras du fleuve, les *Falas* de Molodo et de Boky Wéré et un canal artificiel portant les noms de leurs initiateurs Costes et Ongoïba.

L'initiative de cette étude a été prise suite aux événements exceptionnels de l'étiage 1999 du fleuve Niger. Le gestionnaire du barrage de Sélingué situé sur le Sankarani, un affluent du fleuve Niger, a turbiné fortement à partir de mi-mars avec des débits supérieurs à 200 m³/s pour être à son niveau minimal le 20 mai, entraînant un arrêt brutal des écoulements du fleuve Niger à Koulikoro et la fermeture du barrage de Markala le 30 mai. Cette situation a duré tout le mois de juin au moment du démarrage de la principale saison de culture. Les questions principales sont en effet :

- Quel est l'impact de l'étiage de 1999 sur la production de riz ?
- Comment est-ce que cette crise a été gérée à travers la gestion de l'eau de l'Office du Niger et les pratiques agricoles des paysans ?

Par cette étude, l'Institut du Sahel voulait capitaliser l'expérience de l'Office du Niger en matière de gestion d'eau d'irrigation au profit de la communauté du CILSS.

L'étude globale comporte deux parties :

- La gestion de l'eau qui concerne le présent rapport,
- Les pratiques agricoles des paysans et la production agricole, qui font l'objet d'un deuxième rapport de l'INSAH.

Quelques définitions

Cote : la cote est une hauteur d'eau par rapport à un niveau de référence ; en hydraulique son intérêt est double :

- elle permet de déterminer la ligne d'énergie du plan d'eau,
- elle est très facile à déterminer par observation continue avec
 - un dispositif automatique,
 - une échelle de mesure ou tout système de repérage fixe.

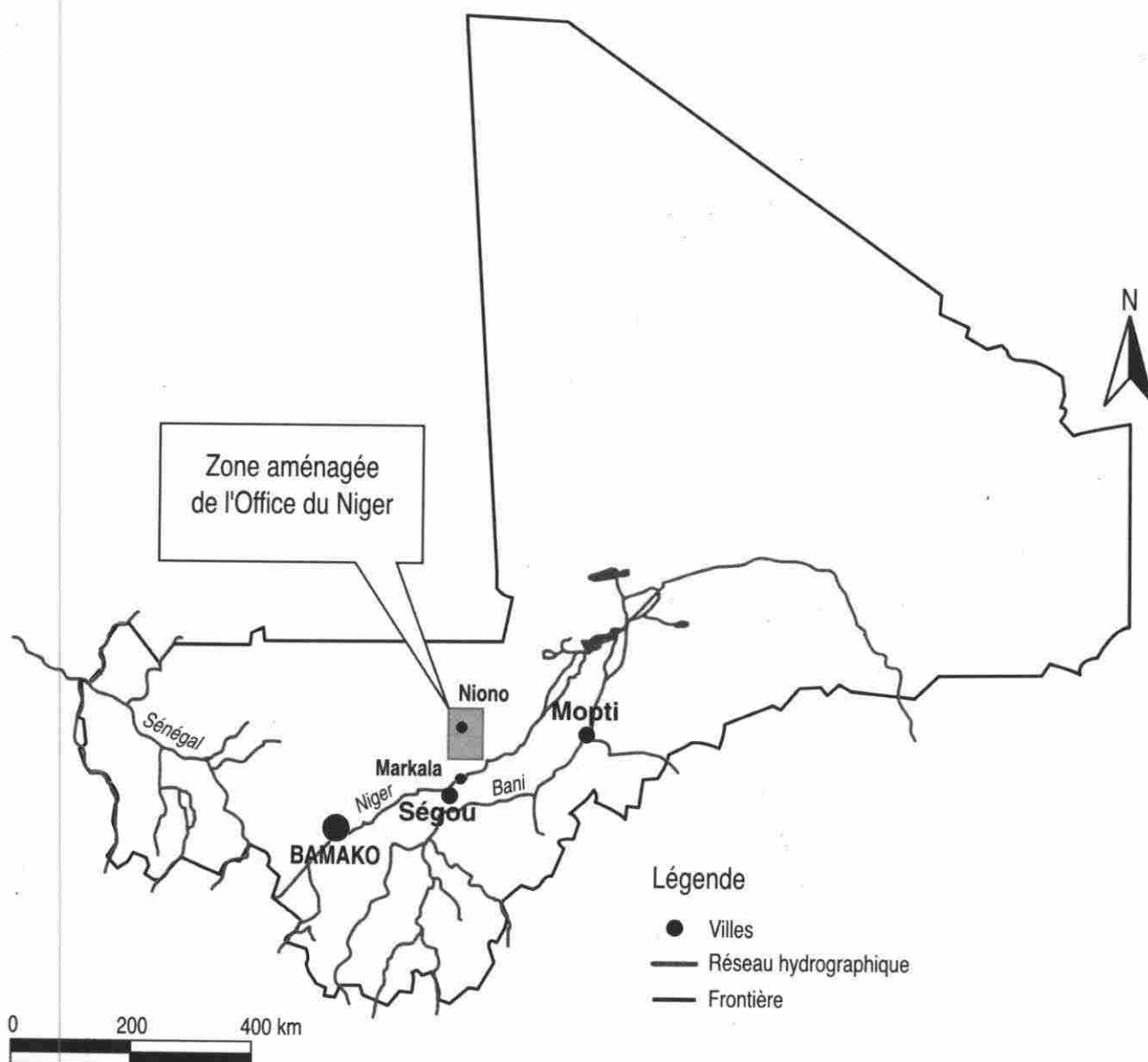
Débit : le débit est une quantité d'eau qui s'écoule à travers une section donnée par unité de temps ; la notion de débit est significative et précise en hydraulique mais sa détermination n'est pas facile. On procède par jaugeage pour établir une courbe d'étalonnage afin de traduire les hauteurs d'eau (cote) en débit.

Main d'eau : c'est la quantité d'eau qu'un paysan peut manipuler sans être débordé ; selon le mémento de l'adjoint technique des travaux ruraux, la main d'eau varie de 10 à 50 l/s.

Commande à l'amont : une prise est commandée par l'amont quand l'ouverture/fermeture des vannes est fonction des variations dans les cotes ou débits en amont de l'ouvrage.

Commande à l'aval : une prise est commandée par l'aval quand l'ouverture/fermeture des vannes est fonction des variations dans les cotes ou débits en aval de l'ouvrage.

Falas : des anciens bras du fleuve Niger remis en eau par l'Office du Niger.



Carte : Situation géographique de la zone aménagée de l'Office du Niger au Mali

Introduction

1. Problématique et objectif de l'étude

Le fleuve Niger en amont du barrage de Markala, apporte en moyenne 28,6 milliards de m³/an (dans la période 1982-1998). Ce volume est important mais mal réparti au cours de l'année. Une bonne partie de l'eau apportée s'écoule en trois mois (août, septembre, octobre) pendant la saison des pluies, le reste s'écoule en saison sèche pendant neuf mois. Les modules mensuels d'étiage à Koulikoro (1982-1998), soutenus par la régulation du barrage hydroélectrique de Sélingué, atteignent un minimum de 120 m³/s en mars, soit 4 % du module de crue qui atteint 3 125 m³/s en septembre (Hassane, 1999). Il en résulte une forte disponibilité d'eau en hivernage quand les besoins sont compensés par les pluies et un tarissement très marqué en période sèche, au moment de la grande chaleur. L'eau disponible pendant l'étiage est donc limitée.

Les utilisateurs actuels des aménagements sur bassin du Niger supérieur sont :

- l'Office du Niger qui exploite le barrage hydro-agricole de Markala depuis 1947,
- le périmètre rizicole de Baguinéda qui est alimenté par le barrage de Sotuba,
- l'Office du Développement de la Région de Sélingué (ODRS), alimenté par le barrage hydroélectrique de Sélingué,
- l'Energie du Mali (EDM) qui exploite le barrage hydroélectrique de Sélingué et le barrage de Sotuba pour générer plus de 50 % de la production annuelle d'électricité du Mali,
- l'EDM qui alimente en eau potable les villes de Bamako, Koulikoro, et Ségou.

Les intervenants se distinguent en deux groupes selon leur mode d'intervention :

- le barrage hydroélectrique de Sélingué permet de jouer le rôle important de **régulateur** en assurant la sécurité hydraulique du fleuve Niger (plus de 80 % du débit d'étiage provient de Sélingué).
- les périmètres irrigués de l'Office du Niger, de Baguinéda, et de l'ODRS, ainsi que la Division Eau Potable de l'EDM constituent le groupe de **grands consommateurs**. Ce groupe profite de la régulation et retire annuellement moins de 9 % de l'apport total, mais en étiage leur prélèvement dépasse 50 % de l'apport (tableau 1).

Aux besoins de ces utilisateurs s'ajoutent les pertes par évaporation sur le réservoir de Sélingué qui atteint 25 % du volume total stocké, c'est-à-dire 569 millions de m³ (Hassane *et al.*, 1999).

Tableau 1 : Les apports du fleuve Niger à Koulikoro et les différents prélèvements¹ pour la période de 1989-1997, volume exprimé en millions de m³.

	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
Apport fleuve	568	343	339	357	444	721	1759	4455	8294	7794	3370	1311	29 756
Baguinéda	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	215
Markala	151	151	167	166	200	218	219	235	321	321	254	160	2 562
ODRS	0,72	2,3	3,2	3,5	2,3	1,5	0	0,5	1,6	2,6	3,3	1,7	23
Total	170	171	188	187	220	237	237	253	341	342	276	180	2 801
Prélèvements %	30	54	56	51	50	32	13	6	4	4	8	14	9

Source : Hassane (1999).

¹ Les prélèvements de l'eau potable sont infimes part rapport aux prélèvements des périmètres agricoles.

L'influence du barrage de Sélingué sur la disponibilité en eau à Markala et à l'entrée du delta intérieur du Niger (Ké-Macina, Nantaka) a fait l'objet d'une étude, analysant notamment l'étiage exceptionnel de 1999 (Hassane *et al.*, 1999). La dépendance de l'Office du Niger du soutien du barrage de Sélingué s'est avérée particulièrement marquante pendant cet étiage. Le gestionnaire du barrage de Sélingué a turbiné fortement à partir de mi-mars avec des débits au-dessus de 200 m³/s pour être à son niveau minimal le 20 mai, entraînant un arrêt brutal des écoulements du fleuve Niger à Koulikoro et la fermeture du barrage de Markala le 30 mai. Cette situation a duré tout le mois de juin au moment du démarrage de la principale saison de culture à l'Office du Niger. En fin juin 1999, les différents acteurs intéressés par le fleuve (administration publique, exploitants et chercheurs) ont été conviés à une réunion sous l'égide du Ministre de l'Environnement, pour discuter de la situation hydrologique exceptionnelle. Cette réunion a élaboré un diagnostic et a proposé des mesures à court et à moyen terme (Hassane *et al.*, 1999) :

- A court terme, il a été retenu de :
 - modifier les techniques d'irrigation et le calendrier cultural à l'Office du Niger pour limiter les besoins en eau
 - arrêter le turbinage du barrage de Sélingué jusqu'au 15 juillet pour permettre le remplissage du réservoir au-dessus de la cote minimale de 340 m.
- A long terme, il a été décidé de réactiver le comité technique inter organismes dans le cadre d'une future agence du fleuve Niger et la mise en œuvre d'une politique de communication.

L'étiage exceptionnel de 1999 a été donc l'occasion de montrer l'intérêt d'une gestion intégrée du fleuve Niger.

Actuellement (1999), l'Office du Niger couvre 56 675 ha de casiers aménagés dont 51 675 ha de riz et 5 000 ha de canne à sucre. Par ailleurs, le réseau hydraulique de l'Office du Niger alimente 14 116 ha de « hors casiers » ainsi que le casier à submersion contrôlée de Sossé-Siliba (3 000 ha) de l'Opération Riz Ségou (ORS). L'Office du Niger a établi un programme d'extension des aménagements en utilisant l'infrastructure existante du réseau primaire. Depuis 1996, 5 252 ha de nouveaux périmètres ont été aménagés et 13 704 ha sont en projet d'aménagement selon le schéma directeur (SOGREAH *et al.*, 1999). Selon ce même schéma directeur, l'Office du Niger, en dehors de ces extensions, « voudrait établir un plan à moyen et long termes pour l'ensemble des terres, à la fois sur les zones irriguées et les zones sèches qui lui sont confiées, le total représentant près de trois millions d'hectares » avec une superficie aménagée envisageable de presque deux millions d'hectares.

La quantité d'eau annuelle prélevée par l'Office du Niger est estimée à 2,56 milliards de m³/an, soit 45 170 m³/ha/an, si on considère uniquement les casiers aménagés. En considérant les hors casiers et le casier ORS, la consommation d'eau devient 34 690 m³/ha/an à l'entrée du périmètre irrigué. En 1999, la production agricole a atteint 310 000 tonnes de riz paddy en double culture, soit une consommation de 8 300 m³ d'eau du fleuve Niger par tonne de riz produit. En tenant compte des limites de la disponibilité en eau du fleuve Niger, notamment pendant l'étiage et les besoins en aval de Markala, l'Office du Niger affiche donc comme objectif d'obtenir sur le canal arroseur une consommation de l'ordre de **15 000 m³/ha** de riz cultivé en hivernage.

L'extension de l'Office du Niger passe donc par une diminution de la consommation en eau et une meilleure gestion de l'eau. Cela explique l'intérêt qu'accorde actuellement l'Office du Niger au suivi de la distribution de l'eau. Depuis juin 1998, les cotes et les ouvertures des vannes des ouvrages « essentielles » sont collectées chaque jour et transmises au Service d'Entretien du Réseau Primaire (SERP) à Markala. Dans le présent rapport, une analyse de ces données est entreprise pour l'étude de l'impact de l'étiage du fleuve Niger en 1999 sur la gestion de l'eau à l'Office du Niger.

L'**objectif** de cette étude est donc de comprendre les pratiques de gestion de l'eau à l'Office du Niger et surtout comment l'étiage exceptionnel de 1999 du fleuve Niger a été géré afin de quantifier son impact sur la distribution de l'eau. Une deuxième étude a été menée en même temps par l'INSAH pour déterminer l'impact de l'étiage 1999 sur les pratiques agricoles des paysans et la production agricole à l'Office du Niger (Chohin-Kuper *et al.*, 2000).

2. Méthodologie

L'étude a suivi les étapes suivantes :

1. Etude bibliographique

Pour mieux cerner l'expérience de l'Office du Niger en matière de gestion de l'eau, les travaux antérieurs ont été exploités (*cf.* références).

2. Collecte de données à partir de 1980 ; les données hydrométriques utilisées proviennent de deux sources :

- Le Service d'Entretien du Réseau Primaire (SERP) de l'Office du Niger à Markala. Les données collectées concernent l'ensemble du réseau et comprennent :
 - les hauteurs d'eau, l'ouverture des vannes et les débits du barrage de Markala et à l'entrée de l'Office du Niger,
 - les hauteurs d'eau, l'ouverture des vannes et les débits des régulateurs et les prises des distributeurs,
 - les hauteurs de pluies,
 - les superficies emblavées.
- L'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) à Bamako. Les données collectées concernent notamment la disponibilité de l'eau dans le fleuve Niger à Sélingué, Banankoro, Koulikoro et Ké-Macina. Ces données ont été obtenues à partir des hauteurs d'eau du réseau hydrométrique de la Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH) et traitées à l'aide du logiciel HYDROM 3.2 (Boyer *et al.*, 1994).

3. Le traitement des données (saisie, critique, exploitation) est réalisé avec le logiciel Excel et comprend :

- la saisie des données (hauteur d'eau et les débits) et les calculs complémentaires des paramètres hydrauliques pour permettre d'obtenir une base de données nécessaires aux interprétations ultérieures,
- le traitement de l'information par graphique pour donner une forme visible et interprétable de l'information,
- interprétation.

4. Des entretiens ont eu lieu avec les principaux acteurs de la gestion de l'eau des zones (éclusiers, aiguadiers) à travers des questionnaires.

5. Une mission de restitution sur le terrain après les premiers traitements. Des entretiens ont eu lieu avec le personnel de la gestion de l'eau (tableau 2).

Tableau 2 : Personnel de la gestion de l'eau enquêté

Zone	Service gestion eau	Eclusier	Aiguadier	Chef arroseur	Total
Macina	1	1	-	-	2
Niono	1	2	16	1	20
Molodo	1	-	5	-	6
N'Débougou	1	1	12	1	15
Kouroumari	1	1	11	-	13
Total	5	5	44	2	56

Au SERP à Markala, la consultation a concerné surtout le chef du service et l'éclusier.

I. L'Office du Niger et l'infrastructure hydraulique



1.1. Cadre administratif

L'Office du Niger a été créé en 1932 par l'administration coloniale pour exploiter en riz et coton le potentiel important du delta mort évalué à près de 1 000 000 d'hectares. Au lendemain des indépendances l'Office du Niger a été remis à l'Etat malien par l'administration française. L'Office du Niger a connu beaucoup de mutations. Parmi les plus importants, on peut citer, la suspension de la culture de coton au profit du riz et de la canne sucre dans les années 1970 et en 1994 la restructuration basée sur les principes de base du Ministère de tutelle, le Ministère du Développement Rural et de l'Eau.

Les principes directeurs de cette dernière réforme sont les suivants :

- recentrage du rôle de l'Etat et de la définition des rôles des autres partenaires,
- la décentralisation des services techniques de l'Etat et des décisions de gestion,
- la participation et la responsabilisation des producteurs ruraux et de leurs organisations de gouvernance,
- la promotion de la vision globale et holistique du développement rural pour la déssectorisation de l'appui, la réduction de l'interface producteurs-encadrement par la réduction du nombre de structures d'intervention,
- la programmation décentralisée du développement rural et la promotion de la gestion durable des ressources naturelles,
- la rationalisation des moyens d'intervention de l'Etat,
- la reconnaissance du rôle des opérateurs privés dans la promotion des filières de production, l'aménagement et l'équipement du domaine public.

L'Office du Niger est passé de 5 000 agents dans les années 1980 à 600 agents actuellement.

La loi 94-004/AN-RM du 9 mars 1994 confère à l'Office du Niger les missions suivantes :

- l'entretien des infrastructures primaires,
- la maîtrise d'ouvrage délégué pour les études et le contrôle des travaux,
- la gestion des eaux,
- la gérance des terres,
- le conseil rural et l'assistance aux exploitants des terres aménagées.

L'Office du Niger est dispersé sur de grandes distances en raison de ses ambitions originales d'aménager 1 000 000 ha (tableau 3).

Tableau 3 : Répartition spatiale des unités administratives de l'Office du Niger

Entité administrative	Localisation	Distance de Ségou km
Direction générale	Ségou	
Direction de zone du Macina	Kolongo	130
Direction de zone du Kouroumari	Diabaly	170
Direction de zone de N'Débougou	N'Débougou	135
Direction de zone de Niono	Niono	120
Direction de zone de Molodo	Molodo	120
Service d'entretien du réseau primaire (SERP)	Markala	46

Dans la conception de l'Office du Niger, les anciens bras morts du fleuve Niger (*Falas*) ont été retenus comme canaux de transport pour des raisons économiques dans l'incertitude de l'étendue finale du périmètre irrigué. Du point de vue hydraulique (temps de propagation, stockage) ce réseau très long et à géométrie variable est difficile à maîtriser. C'est autour de ce système de distribution hydraulique que gravite la zone aménagée de l'Office du Niger qui privilégie l'irrigation à maîtrise totale. Actuellement, les projets d'extension visent surtout les terres proches du barrage de Markala.

1.1.1. Organisation administrative en gestion de l'eau

La gestion de l'eau et l'entretien du réseau primaire est du ressort de la Direction de l'Aménagement et du Développement Rural (DADR) à travers le Service d'Entretien du Réseau Primaire (SERP), situé à Markala et le Service d'Aménagement Hydraulique (SAH) à Ségou. La gestion de l'eau et l'entretien des aménagements sont confiés aux services de gestion de l'eau et les unités d'entretien des différentes zones. On constate une entière indépendance fonctionnelle des zones sur les plans gestion eau, conseil rural et financier.

L'Office du Niger prend sa source au barrage de Markala pour alimenter les zones par les canaux primaires et évacuer les eaux excédentaires par les drains principaux. Les zones s'alimentent sur le réseau primaire pour irriguer leurs casiers à travers des canaux intérieurs et drainer par le réseau de drains correspondant. L'entretien est hiérarchisé suivant l'importance des ouvrages à trois niveaux :

- le réseau primaire et les drains principaux sont pris en charge par l'Etat,
- le réseau d'ordre secondaire et tertiaire d'adduction et de drainage est pris en charge par l'Office sur les fonds d'entretien prévus sur les redevances perçues sur l'eau auprès des exploitants de la zone aménagée,
- le réseau d'ordre quaternaire et les drains correspondants sont pris en charge par les paysans eux mêmes.

Le morcellement net des tâches d'entretien se répercute sur la propreté du réseau nécessaire à une gestion performante de l'eau et aussi à la surveillance du réseau de drainage.

1.1.2. Participation des paysans

Au niveau de la parcelle, intervient la responsabilité du paysan encadré par l'aiguadier et le conseiller agricole. Les paysans d'un même arroseur choisissent leur chef d'arroseur.

Le chef arroseur a un rôle important :

- il est membre du comité paritaire de partiteur,
- il est responsable de l'arroseur et du drain d'arroseur correspondant,

- il évalue les superficies en cours d'exploitation.

Le comité paritaire de partiteur, composé de l'ensemble des chefs arroseurs, l'aiguadier et le chef du casier, est habilité à établir le bilan diagnostic des équipements et propose leurs exécutions sur le fonds de ... prévu à cet effet.

Au-dessus du comité paritaire de partiteur se trouve le comité paritaire des fonds d'entretien qui est composé de sept membres paysans et trois membres provenant de l'Office du Niger. Ce comité examine les propositions des comités paritaires de partiteur de la zone et programme les travaux à effectuer sur la zone. Les programmations par zone sont centralisées à la direction de l'aménagement et du développement rural (DADR) qui soumet l'ensemble des propositions des travaux au conseil d'administration pour amendement. Le conseil d'administration est composé :

- du PDG de l'Office du Niger,
- de l'administrateur représentant l'Etat malien,
- des délégués des paysans.

Le comité paritaire n'est pas impliqué dans la gestion de l'eau (établissement du calendrier agricole, programmation de la distribution d'eau, etc.).

1.2. Cadre physique

La zone aménagée de l'Office du Niger est située sur la rive gauche du fleuve Niger et comprend au total environ 56 675 ha, soit 5,6 % du potentiel (DADR, fiche d'avancement des travaux agricoles, août 1999) (tableau 4.) La population résidente est estimée à 212.000 personnes pour 16.500 familles en 1998 selon les données de l'Office du Niger.

Le climat est de type sahélien avec une pluviosité moyenne entre 400 mm/an au nord et 600 mm/an au sud, et une évaporation très forte d'environ 3 mètres par an. Le sol est alluvionnaire couvert d'une végétation steppique.

La nappe qui se situait à 40-50 m de profondeur antérieurement aux aménagements de l'Office du Niger se trouve dans une grande partie de la zone aménagée à moins d'un mètre de la surface. Barral (1997) montre pour la zone de Niono une variation piézométrique importante au cours de l'année avec une nappe à moins de 20 cm de la surface en hivernage (septembre-octobre) et à 120 cm en décembre.

Tableau 4 : Entités agricoles (zones) du périmètre aménagé de l'Office du Niger et leurs superficies emblavées en 1999.

Zone	Superficie(ha)	Culture principale	Canal
Macina(Kolongo)	12 365	Riz	Macina
N'Débougou	10 060	Riz	Sahel
Molodo	7 172	Riz	Sahel
Kouroumari	11 232	Riz	Sahel
Niono	9 301	Riz	Sahel
Bewani	1 545	Riz	Costes Ongoïba
Sukala	5 000	Canne à sucre	Costes Ongoïba
Total	56 675		

Source : DADR, état d'avancement des travaux agricoles au 31 août 1999.

En dehors des zones irriguées en maîtrise totale, l'Office du Niger fournit aussi de l'eau :

- aux périmètres aménagés en privé par les paysans, dénommés "hors casiers" ; la superficie de ces périmètres est estimée à 10 000 ha (KEITA et al., 1999),

- au casier Sossé-Siliba (3 000 ha) de l'Office Riz Ségou (ORS) qui irrigue le riz flottant en submersion contrôlée à partir du Fala de Boki-Wéré (KEITA et al., 1999).

Selon le schéma directeur (SOGREAH *et al.*, 1999), il existe 14 116 ha de hors casiers pour l'ensemble des zones, dont 7 222 ha sur le Fala de Molodo, 1 671 ha sur le Fala de Boky Wéré, 1 000 ha sur le canal Costes Ongoïba et 4 224 ha à l'intérieur des zones (3 884 ha dans le système du Sahel, 340 ha dans le système du Macina).

1.3. Système hydraulique de l'Office du Niger

2.3.1. La ressource en eau

Le fleuve Niger prend sa source dans le Fouta-Djalou en Guinée et se jette dans l'Océan Atlantique après un parcours de 4200 km. Le Niger reçoit cinq affluents majeurs avant sa confluence avec le Bani à Mopti : le Mafou, le Niandan, le Milo et le Tinkisso en Guinée, et le Sankarani au Mali (figure 1). Son bassin versant à Nantaka (après la confluence avec le Bani) couvre 281 600 km² dont presque la moitié provient du Bani. Le volume annuel apporté par le Niger à Koulikoro est de 28,6 milliards m³ (moyenne 1982-1998). Le maximum de la crue se situe en septembre-octobre et peut monter à 8 000 m³/s (crue de 1967) pour descendre à 100 m³/s en période d'étiage.

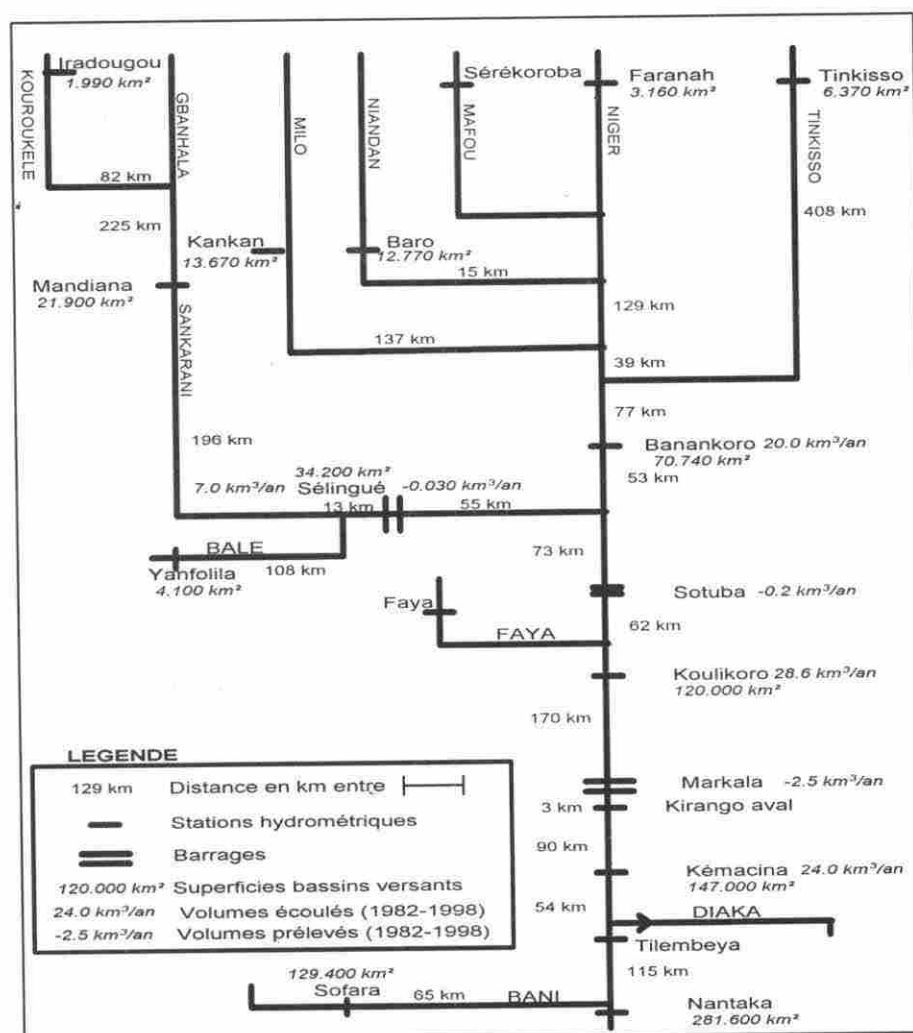


Figure 1 : Schéma des aménagements hydrauliques et hydro-agricoles du Niger Supérieur (échelle de distance non respectée).

Le régime du fleuve pendant l'étiage a été nettement amélioré depuis la mise en œuvre du barrage de Sélingué sur le Sankarani. La vocation du barrage est d'abord hydroélectrique, mais en tenant en compte d'autres objectifs comme l'irrigation, la pêche et la navigation. Avec une capacité de stockage utile de 2,167 millions de m³ (30 % du volume total apporté par la rivière Sankarani), la centrale hydroélectrique de Sélingué est capable de produire 48 Mw/h. Les eaux stockées dans le réservoir sont turbinées en période d'étiage permettant de soutenir le débit du fleuve Niger sans trop influencer les débits de crue (HASSANE, 1999). Ainsi, depuis la construction de Sélingué, les débits d'étiage descendent rarement en dessous de 100 m³/s à Koulikoro, la station de référence située en aval de Sélingué. Le tableau 5 présente le module d'écoulement réel à Koulikoro pour la période 1982 à 1993, ainsi que le module d'écoulement naturel. Ce dernier a été reconstitué par Soumaguel (1995) et représente le débit fictif à Koulikoro, *si le barrage de Sélingué n'existait pas*. A titre de comparaison, le module du débit réel pour la période 1982-1998 est également donné dans le tableau. On remarque l'amélioration relative des écoulements dans les années 1990, depuis la bonne crue de 1994.

Tableau 5 : Module d'écoulement (moyen mensuel) à Koulikoro dans la situation actuelle (avec Sélingué), comparé avec le débit naturel reconstitué (en m³/s).

Module	Période	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
Débit réel	'82-'93	170	116	106	116	145	245	587	1588	2692	2115	842	341	755
Débit naturel	'82-'93	102	45	17	7	22	144	567	1932	3170	2214	805	297	777
Débit réel	'82-'98	198	135	120	129	159	281	652	1702	3125	2654	1113	425	894

Source : Soumaguel, 1995 ; Hassane, 1999

Le soutien du débit du fleuve Niger par le barrage de Sélingué en période d'étiage (de janvier à juin) ressort très clairement du tableau. L'Office du Niger en profite pleinement. Les prélèvements annuels de l'Office du Niger à Markala pour la période 1989-1997 sont de l'ordre de 2,8 milliards de m³, soit environ 10 % de l'apport total du fleuve Niger en amont de Markala (HASSANE, 1999). Cependant, pendant la période d'étiage les prélèvements de l'Office du Niger atteignent en moyenne 40 à 50 % de l'apport du fleuve, et donc des eaux turbinées par Sélingué, (figure 2.) Une partie non négligeable du volume prélevé est déversée dans le réseau de drainage *via* les déversoirs de sécurité pour retourner au fleuve ou se perdre dans la nature.

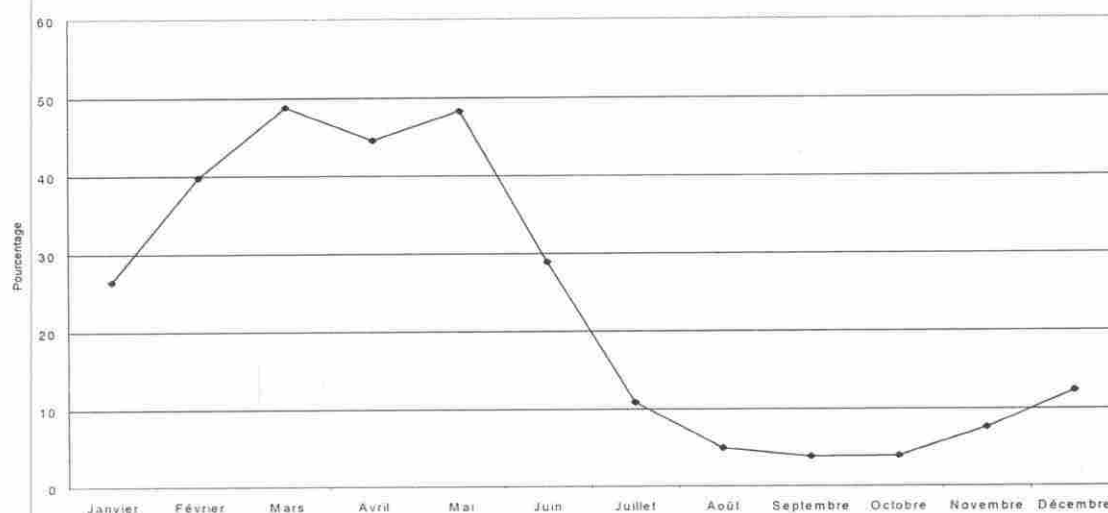


Figure 2 : Pourcentage des prélèvements d'eau de l'Office du Niger à Markala par rapport à

1.3.2. L'infrastructure hydraulique de l'Office du Niger

L'infrastructure hydraulique de l'Office du Niger comprend fondamentalement :

- le *réseau primaire* d'irrigation comprenant le barrage à but agricole de Markala qui permet de dériver l'eau et irriguer gravitairement ainsi que les grands canaux adducteurs utilisés pour le transport et la distribution de l'eau du fleuve vers les zones aménagées,
- le *réseau intérieur* d'irrigation permettant aux zones de production de répartir l'eau et d'irriguer les parcelles de culture,
- le *réseau de drains* pour évacuer les eaux excédentaires.

1.3.2.1. Le réseau primaire

Le barrage de Markala a été construit entre 1935 et 1947. Cet ouvrage de dérivation se compose d'une digue submersible de 1820 m de long en terre compactée et maçonnerie et du barrage proprement dit long de 816 m constitué d'un radier séparé en 14 passes. Entre les 14 passes se trouvent 488 vannes à hausses basculantes du type AUBERT, manœuvrables par chariot électrique. L'inclinaison des vannes à hausses permet de régler le plan d'eau amont jusqu'à plus de 5,5 m de rehaussement rendant ainsi possible l'irrigation même en période d'étiage. Il existe également un canal de navigation équipé d'une écluse de navigation, (figure 3.)

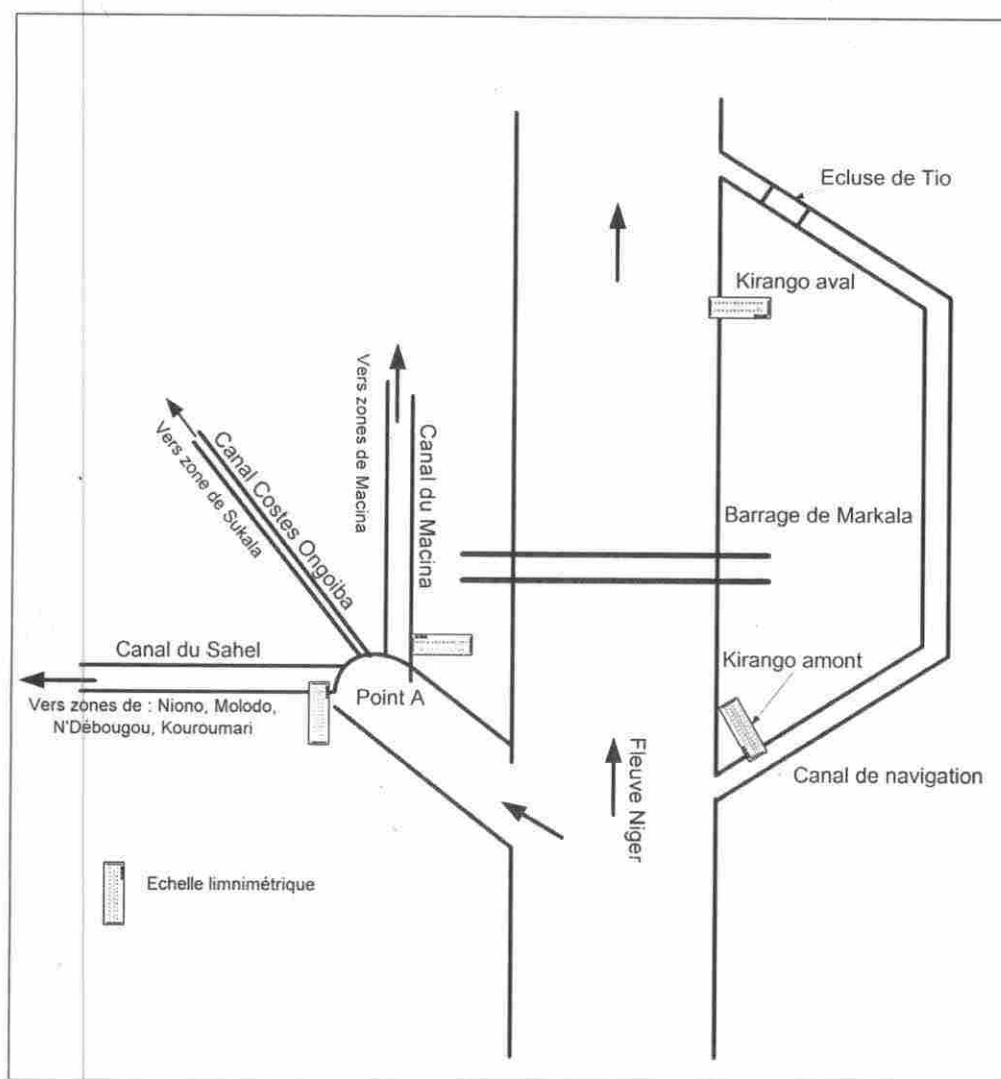


Figure 3 : Schéma du prélèvement et de la distribution de l'eau du fleuve à l'Office du Niger Markala (échelle de distance non respectée).

Dans la gestion du barrage, des contraintes de débits en aval et plus exceptionnellement des contraintes liées à la navigation sur le Niger (déséchouer les bateaux en période de décrue) doivent être prises en compte (SOGREAH, 1992). Le plan d'eau de la retenue est maintenu autour d'un niveau de consigne qui est variable en fonction de la période de l'année et des contraintes d'irrigation. Le niveau d'eau ne doit pas descendre en dessous de la cote² 300,10 m en période d'étiage et remonte jusqu'à 300,50 m en période de crue (SOGREAH, 1997). Le réglage de cette cote de consigne s'obtient par manoeuvrage des vannes à hausse mobile. La plage de variation autour de la cote de consigne est de 5 cm. La cote de consigne qui était de 300 m a été rehaussée de 10 cm après l'aménagement des casiers sur le canal Costes Ongoïba en 1984, ceci pour tenir compte du fait que les terres proches du barrage, c'est-à-dire le Kala Supérieur sont plus élevées que celles situées sur les systèmes du Sahel et du Macina (figure 4).

² La cote de repère de l'Office du Niger, dite de Sansanding, est de 18,70 m au-dessus de la cote du nivellement général I.G.N. Dans cet article on utilise la cote de Sansanding pour toutes les cotes concernant l'Office du Niger.

Le tableau 6 permet d'apprécier la réserve d'eau en amont du barrage de Markala.

Tableau 6 : Estimation en millions de m³ du volume d'eau dans le Niger entre Koulikoro et le barrage de Markala (calcul effectué en régime permanent).

Débit Koulikoro (m ³ /s)	Cote du plan d'eau en amont du Barrage de Markala (en m)										
	299,5	299,6	299,7	299,8	299,9	300,0	300,1	300,2	300,3	300,4	300,5
50	220	230	239	249	258	268	277	287	296	306	315
100	234	245	255	265	274	283	292	301	309	317	324
200	252	264	275	285	295	305	314	322	331	338	346
500	312	323	334	345	356	366	377	386	396	406	415
1 000	441	450	459	468	477	487	496	506	516	526	535
2 000	727	731	735	739	744	749	755	761	767	774	781
3 000	982	984	986	988	991	994	997	1 001	1 005	1 010	1 015
4 000	1 182	1 185	1 189	1 192	1 196	1 201	1 205	1 210	1 215	1 221	1 227
5 000	1 350	1 356	1 362	1 369	1 376	1 384	1 391	1 400	1 408	1 418	1 427
6 000	1 535	1 543	1 552	1 561	1 571	1 580	1 591	1 602	1 614	1 626	1 638
7 000	1 791	1 798	1 805	1 813	1 821	1 828	1 837	1 847	1 856	1 866	1 876

Source : SOGREAH, 1992

Nous verrons plus loin que cette réserve a joué un rôle important dans la gestion de l'eau du gestionnaire du barrage pour contrer les effets de l'étiage de 1999.

Les grands canaux sont au nombre de quatre (figures 3 et 5) :

- le grand canal de prise et de dérivation de 9 km de long qui prend l'eau dérivée du fleuve par le barrage et la transporte au point de répartition appelé point A,
- le canal du Sahel qui transporte l'eau du fleuve vers les terres irrigables du Kala Inférieur,
- le canal du Macina qui transporte l'eau du fleuve vers les terres irrigables du Macina,
- le canal Costes Ongoïba qui transporte l'eau du fleuve vers les terres irrigables du Kala Supérieur.

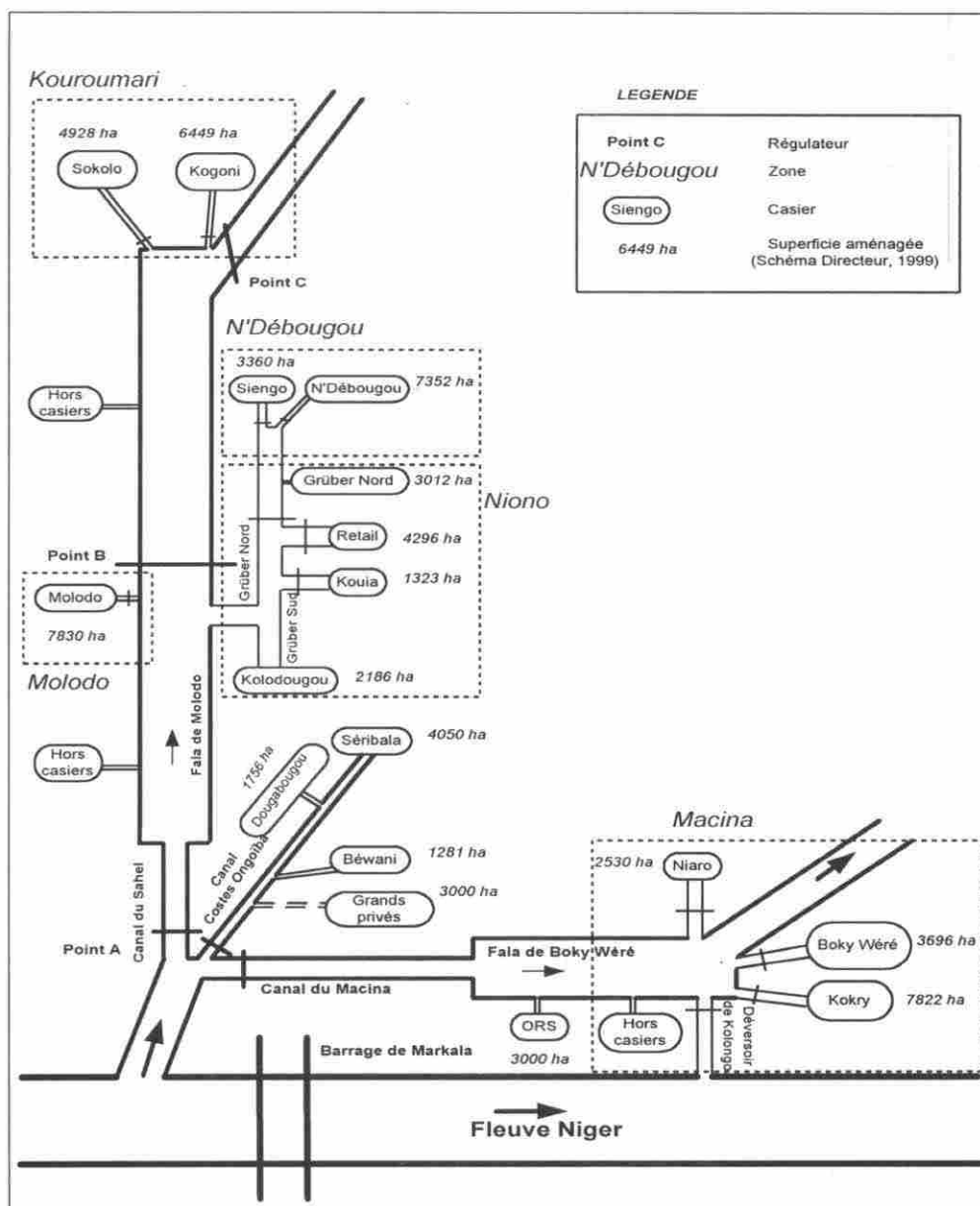


Figure 5 : Schéma du réseau hydraulique d'irrigation de l'Office du Niger (échelle de distance non respectée)

Système du Sahel

Le système du Sahel comprend 24 km de canal artificiel, suivi ensuite par le *Fala* de Molodo. Pour des intérêts d'irrigation, le système du Sahel est découpé en trois compartiments hydrauliques (*biefs*). Seuls les deux premiers biefs de 60 km de long chacun sont aménagés. La largeur moyenne du *Fala* de Molodo aménagée est estimée à 200 mètres, favorisant d'importantes pertes par évaporation et par infiltration (H'ND, 1998). Le débit d'équipement du canal du Sahel au départ du point A (capacité nominale) est de 110 m³/s (étalonnage ORSTOM ; Morell et Grandin, 1981). Le canal du Sahel alimente les zones de production de Niono, Molodo, N'Débougou et Kouroumari. La régulation du canal du Sahel se fait à partir de trois points dénommés respectivement Point A, B et C. Le premier bief est compris entre les points de régulation A et B, le deuxième bief est compris entre les points de régulation B et C (figure 5). A la fin du 2^{ème} bief (Point C) se trouve le déversoir d'Alatona qui déverse les eaux excédentaires dans le 3^{ème} bief du *Fala* de Molodo. Ces ouvrages ont fait l'objet de réhabilitation en 1987 et 1998 (SOGREAH *et al.*, 1999).

Système du Macina

Le système du Macina comprend 20 km de canal artificiel, suivi par le *Fala* de Boky-Wéré. Pour des intérêts d'irrigation, le canal du Macina est découpé en deux biefs dont seul le premier long de 80 km est aménagé. La largeur moyenne du *Fala* de Boky-Wéré aménagé est estimée à 200 mètres, favorisant d'importantes pertes par évaporation et par infiltration. Le débit maximal du canal du Macina est estimé à 50 m³/s (SOGREAH *et al.*, 1999). Le canal du Macina irrigue la zone de Macina et le casier de Sossé-Siliba de l'ORS.

Canal Costes Ongoïba

Le canal Costes Ongoïba est un canal artificiel long de 20 km pour irriguer les terres du Kala Supérieur. Il constitue un des témoins de l'influence positive du barrage de Sélingué sur l'amélioration de la régulation du fleuve Niger en étiage. Le débit maximal est estimé à 13 m³/s (SOGREAH *et al.*, 1999). Le canal irrigue le casier de canne à sucre de la compagnie sucrière du Kala Supérieur « SUKALA », et le nouveau périmètre du Bévani. Une extension de 3 000 ha est prévue pour "les grands privés".

Il existe de multiples projets d'extension à l'Office du Niger. En utilisant l'infrastructure du réseau primaire existant, une superficie totale de 105 000 ha pourrait être irriguée en riz d'hivernage pour un débit d'équipement³ total de 163 m³/s (173 m³/s si on prend l'analyse de Morell et Grandin, 1981), selon le schéma directeur de l'Office du Niger (SOGREAH *et al.*, 1999) :

- La superficie cultivable du système du Sahel est de 45 900 ha, le Canal du Sahel ayant un débit d'équipement de 110 m³/s. Actuellement, la superficie totale irriguée couvre 37 765 ha en casier et 11 105 ha en hors casiers. La marge d'extension d'aménagement est donc de 8.000 ha, la superficie des hors casiers actuels incluse.
- La surface cultivable du système du Macina est de 20 800 ha suivant les calculs du schéma directeur. La superficie totale irriguée par le canal du Macina atteint 12 365 ha en casier, 2.011 ha en hors casiers et 3 000 ha de riz flottant pour l'ORS. En considérant que le riz flottant consomme 1,5 fois plus que le riz en casier, la marge d'extension sur le Macina est de 8 500 ha (les superficies des hors casiers actuels et de l'ORS comprises).
- Les calculs donnent une superficie cultivable de 5 400 ha pour le canal Costes Ongoïba en considérant les besoins de la canne à sucre égaux à ceux du riz en saison de culture principale. Il n'existe donc pas de marge d'extension sur le système Costes-Ongoïba sans réhabilitation du canal.

³ Ces débits d'équipement restent à vérifier sur le terrain.

Pour l'ensemble de l'Office du Niger, il existe donc un potentiel d'aménagement de 16 500 ha avec l'infrastructure du réseau primaire existant. Cependant, 14 116 ha de ce potentiel sont déjà cultivés en hors casiers. Par ailleurs, 13 704 ha de terres sont déjà en projet d'aménagement selon le schéma directeur de l'Office du Niger (SOGREAH *et al.*, 1999).

Cependant, il faut souligner qu'il existe des contraintes majeures qui limitent l'extension d'aménagement de l'Office du Niger : *l'état de l'infrastructure actuelle, la disponibilité en eau du fleuve Niger, la gestion de l'eau de l'Office du Niger et la capacité d'évacuation du réseau de drainage.*

La capacité des canaux dépend directement de leur état. L'équation de Manning-Strickler qui permet de calculer la vitesse d'écoulement de l'eau dans des canaux se présente comme suit :

$$V = 1/n * R^{2/3} * I^{1/2}$$

Avec :

V vitesse d'écoulement de l'eau dans le canal

R rayon hydraulique

I pente du canal

n coefficient de rugosité, variable suivant la nature des parois du canal.

La présence de végétation augmente la rugosité du canal et donc le coefficient de rugosité, diminuant la valeur de $1/n$. Plus le canal est rugueux, plus la vitesse d'écoulement est réduite. Le tableau 7 donne quelques valeurs du coefficient de rugosité.

Tableau 7 : Quelques valeurs du coefficient de rugosité (source : JACCON, 1986).

Nature du lit	n	$K=1/n$
Lit bétonné	0,015	70
Lit naturel propre à fond lisse et plafond horizontal	0,020	50
Lit naturel propre à fond rugueux	0,03	33
Lit naturel avec végétation	0,050 à 0,100	20 à 10

L'enherbement gêne en effet la vitesse d'écoulement de l'eau et il en résulte une diminution des débits d'équipement des canaux au point A : pour R et I constants pour le même canal, la vitesse peut diminuer de 40%. Ainsi, la végétation aquatique constitue un réducteur des débits des canaux.

Le total des débits d'équipement des trois canaux atteint 173 m³/s. Il est important de comparer ce total avec la disponibilité en eau dans le fleuve du Niger. En rappelant les chiffres du tableau 5, on constate que le fleuve Niger avec la seule régulation de Sélingué ne peut pas satisfaire tous les besoins de l'Office du Niger en période d'étiage. Pendant l'étiage, la disponibilité de la ressource en eau du fleuve est limitée et en hivernage, c'est le débit d'équipement limité les prélèvements.

Nous verrons dans les parties 1.3.3 et 1.3.4 les limites posées par la gestion de l'eau ainsi que la consommation de l'eau d'irrigation par les casiers sur l'extension des aménagements. Le réseau de drainage est traité au 1.3.2.3.

1.3.2.2. Le réseau intérieur

Le réseau hydraulique à l'intérieur des zones est composé de canaux trapézoïdaux en terre non revêtus équipés de cavaliers pour la circulation. A l'Office du Niger, les canaux d'ordre primaire s'appellent "primaires", les secondaires "distributeurs", les tertiaires "partiteurs", les quaternaires "arroseurs" et enfin, il y a les rigoles d'arrosage (tableau 8).

Tableau 8 : Caractéristiques générales du réseau intérieur

Désignation canal	Observation
Distributeur (secondaire)	15 à 30 km, dessert un casier, peut être découpé en biefs
Partiteur (tertiaire)	2 à 3 kilomètres de long, dessert un village (AV)*
Arroseur (quaternaire)	1 kilomètre de long, peut irriguer 15 à 40 ha
Rigole d'arroseur	2 à 3 ha

* : association villageoise

La circulation des biens, des personnes ainsi que les moyens d'exploitation et d'entretien est assuré par un réseau de pistes parallèles au réseau d'adduction et de drainage.

Depuis 1982, un vaste programme de réhabilitation des casiers aménagés est mené, accompagné d'un processus de désengagement des activités productives et commerciales de l'Office du Niger (Keita *et al.*, 1999). Actuellement, près de la moitié de la surface totale des aménagements a été réhabilitée (tableau 9).

Tableau 9 : Superficies des aménagements de l'Office du Niger et les superficies réhabilitées.

Casier	Zone	Superficie totale (ha)	Superficie réhabilitée	
			(ha)	%
Kolodougou	Niono	2186	2186	100
Kouia		1323	1323	100
Grüber		3012	3012	100
Retail		4296	4296	100
Bewani	Molodo	1281	-	-
Molodo Sud		1430	0	0
Molodo Centre et Nord		6270	0	0
Siengo		3360	3360	100
Boloni	N'Débougou	5084	2531	50
N'Débougou		3190	0	0
Kogoni		6230	0	0
Sokolo		4670	0	0
Boky Wéré	Macina	3696	2133	58
Kokry		7822	5700	73
Niaro		2530	0	0
Total		56380	24541	44

Source : SOGREAH *et al.*, 1999.

L'Office du Niger a équipé les zones réaménagées avec des équipements automatiques sophistiqués et coûteux pour améliorer la régulation et la répartition des eaux d'irrigation. Le tableau 10 donne les équipements hydrauliques en fin 1999 à l'Office du Niger.

Tableau 10 : Principaux équipements hydrauliques et type de commande pour l'exploitation du réseau de l'Office du Niger.

Zone	Distributeur	Prise distributeur	Prise partiteur	Prise arroseur
Niono	Bewani	Vanne plate	-	
	Kolodougou	-	Vanne plate	Semi-module
	Kouia	Vanne plate	Vanne plate	Semi-module
	Retail	Vanne plate	Vanne plate automatique ⁴	Module à masque
	Grüber Nord	Vanne automatique	Module à masque	Semi-module
Molodo		Vanne plate	Vanne plate	Vanne plate
N'Débougou	Siengo	Vanne automatique	Module à masque	Module à masque
	N'Débougou	Vanne automatique	Vanne plate(serrure)	Module à masque
Kouroumari	Sokolo	Vanne plate	Vanne plate	Vanne plate
	Kogoni	Vanne plate	Vanne plate	Vanne plate
Macina	Kokry	Vanne automatique	Vanne plate, vanne automatique, module à masque	Semi-module
	BW	Vanne automatique	Module à masque	Module à masque
	Niaro	-	Vanne plate	Vanne plate

Source : Office du Niger

L'état de fonctionnement du réseau détermine le montant de la redevance (tableau 11). On distingue :

- la classe 1 : aménagement neuf ou réhabilité,
- la classe 2 : aménagement non réhabilité moyennement endommagé,
- la classe 3 : aménagement fortement dégradé et hors casiers.

Tableau 11 : Redevances de l'eau en application en 1998-1999 (KEITA et al., 1999).

Classe	Sole « Riz hivernal » (fcfa/ha)	Sole « Double culture de riz » (fcfa/ha)	Sole « Maraîchère » (fcfa/ha)
Classe 1	57.150	57.150 + 5.715	57.150
Classe 2	46.150	46.150 + 4.615	46.150
Classe 3	37.150	-	37.150

Source : Office du Niger, cité dans Keita *et al.*, 1999.

On remarque dans le tableau 11 une incitation à la double culture à l'Office du Niger basée sur le tarif de la redevance eau ; la culture de riz de contre saison coûte seulement 10 % de plus.

1.3.2.3. Les drains

Le réseau de drainage permet l'évacuation des eaux excédentaires. En général, parallèle au réseau d'adduction, il est constitué par :

- les drains d'arroseurs parallèles à l'arroseur,
- les drains de partiteurs parallèles au partiteur,
- les drains de distributeurs parallèles au distributeur,
- le drain collecteur parallèle au grand canal hydraulique, débouche en général sur les défluent naturels.

⁴ Régulation automatique par déversoir en bec de canard.

Il est difficile de parler de réseau de drainage réel. Les études antérieures parlent toutes très sommairement des mesures effectuées sur des drains sans leurs descriptions techniques. A partir des cartes sommaires, on constate que le réseau de drainage est constitué d'effluents naturels qui débouchent dans la nature et souvent dans les *Falas*. Le tableau 12 a été obtenu à partir des nouvelles fiches hebdomadaires de collecte de données des zones. Ces fiches prévoient pour ces drains la cote d'alerte mais la case reste toujours vide.

Tableau 12 : Liste des principaux drains de l'Office du Niger.

Zone	Drain	Exutoire
Kouroumari	Drain de Sokolo	Mare de Souroukoutou
	Drain de Kogoni	Mare de Kouroumacoubé
Niono	Drain de Dougabougou	Fala de Molodo (par pompage)
	Drain de Séribala	Pas d'exutoire
	Drain de Niono-Grüber	
	Drain de Kouia	
Molodo	Drain du Kala Inférieur Ouest	
N'Débougou	Drain du Kala Inférieur Est	
Macina	Drain Bretelle	Fala de Boky Wéré
	Drain Niaro	

Source : Fiche hebdomadaire SERP ; SOGREAH *et al.*, 1999.

Le niveau d'eau dans le drain principal Grüber (annexe 4) montre que le niveau d'eau dans les drains est souvent au-dessus de la cote d'alerte qui ne doit pas être atteinte. Cet engorgement d'eau est le témoin d'un drainage excessif résultant du gaspillage d'eau ou d'une main d'eau non maîtrisée par le paysan dans les zones. Ainsi, MDRE et ME (1999) estiment la surface inondée par les pluies et les eaux de drainage dans la zone de l'Office du Niger à 12.000 ha.

Il existe de nombreux problèmes de drainage dans les casiers de l'Office du Niger et en même temps très peu d'information concernant les capacités, les niveaux et les débits des drains respectifs. Il est nécessaire de faire des mesures de débit sur les drains principaux.

1.3.3. Organisation du volet gestion de l'eau

1.3.3.1. Le réseau primaire

Le SERP est chargé de la régulation et de l'entretien du réseau primaire, comprenant :

- l'exploitation du Barrage de Markala pour garantir la cote d'irrigation,
- la régulation du plan d'eau dans les grands canaux adducteurs de transport pour assurer la distribution de l'eau vers les zones de production de l'Office du Niger,
- l'entretien des ouvrages et des canaux.

Cependant, le SERP n'est pas responsable des prélèvements par les zones *via* les prises des différents distributeurs sur le réseau primaire, qui alimentent les casiers aménagés des zones de production. Cette logique de commande par l'aval, par les zones, délègue donc *de facto* une grande responsabilité aux chefs de gestion de l'eau dans les zones, leurs prélèvements pouvant causer des perturbations importantes sur le réseau primaire.

Barrage de Markala

Pour la gestion du barrage de Markala, le SERP collecte les hauteurs d'eau à l'amont et à l'aval du barrage et contrôle l'ouverture des vannes à hausse basculante⁵. En dehors de ces paramètres hydrauliques, le SERP collecte les hauteurs de pluies à Markala. Ces données sont ensuite transcrites dans un registre. Les hauteurs d'eau sont contrôlées à partir de deux échelles limnimétriques à l'amont et à l'aval, lues chaque matin par l'éclusier à 7 heures. La lecture du niveau d'eau à l'amont du barrage permet d'apprécier ce niveau par rapport à la cote d'irrigation (cote de consigne du barrage). Le niveau d'eau en aval du barrage est lu à Kirango (à 2 km du barrage), permettant de déterminer le débit qui passe dans le fleuve à travers le barrage par l'utilisation de la courbe de tarage de cette station de la Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH).

Le but de l'ouvrage de Markala étant de rehausser le plan d'eau du fleuve pour permettre d'irriguer les aménagements de l'Office du Niger, c'est surtout le niveau d'eau à l'amont du barrage qui retient l'attention du SERP. Ce paramètre est utilisé pour décider les manœuvres d'ouverture ou de fermeture des vannes du barrage. La lecture de ces échelles est journalière et si une manœuvre est nécessaire, elle est exécutée le même jour. Les opérations de régulation du plan d'eau du barrage se font en trois phases :

1. lecture d'échelles par l'éclusier de Markala des hauteurs d'eau à l'amont et à l'aval, et transcription manuelle dans les registres et le cahier ; et compte rendu au chef du SERP.
2. appréciation de la variation du plan d'eau par le chef du service qui ordonne les manœuvres.
3. manœuvre d'ouverture ou de fermeture du barrage pour tenter le réglage du plan d'eau autour de la cote de consigne du barrage ; l'efficacité de la manœuvre sera appréciée le lendemain. L'équipe chargée de la manœuvre rapportera le nombre de vannes ouvertes et leur position et tout incident au cours de la manœuvre.

Le barrage est commandé par l'amont ; par conséquent, l'utilisation des données hydrologiques des stations à l'amont (Sélingué, Banankoro et Koulikoro) sont d'une importance capitale pour la sécurité du barrage pendant les crues et aussi pour assurer une bonne gestion des débits d'étiage. Cependant, le gestionnaire n'a pas accès de façon systématique à ces informations.

La gestion du barrage de Markala influence le régime du fleuve Niger en période d'étiage. Les 2,6 milliards de m³ prélevés par l'Office du Niger par an représentent 10 % de l'apport total. Sur ce volume, 41 % sont prélevés en période d'étiage, de janvier à juin (HASSANE, 1999). Cette situation se traduit par des fluctuations brusques des débits du fleuve à l'aval pendant cette période. La gestion du barrage de Markala doit en tenir compte.

Le nombre de manœuvres mensuels est indiqué dans le tableau 13.

Tableau 13 : Nombre de manœuvres par mois sur le barrage de Markala.

Année	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1996	6	3	8	5	7	5	7	9	8	10	9	4
1997	3	2	3	5	8	10	7	9	10	14	8	4
1998	8	5	7	5	4	6	12	13	9	8	9	4
1999	8	6	5	9	6	2	9					

En gris sont indiqués des manœuvres de fermeture. Les manœuvres d'ouverture sont indiqués en blanc.

⁵ Le degré d'ouverture est défini comme suit : P1 vanne fermée (80°) ; P2 vanne semi-fermée (pas utilisée) ; P3 vanne semi-ouverte (45°) ; P4 ouverte (position d'effacement complet).

En général les manœuvres de fermeture commencent en octobre et se terminent en juin. De juillet à septembre (période de crue), le nombre de manœuvres est plus élevé et concerne des ouvertures pour rabaisser le plan d'eau autour de la cote de consigne du barrage.

Le SERP dispose d'un document servant de manuel d'utilisateur pour le barrage (SOGREAH, 1997), renfermant les règles d'utilisation réactualisées du barrage de Markala par l'Office du Niger.

Réseau adducteur

Le SERP doit réguler le réseau primaire en permanence autour des cotes d'irrigation en vigueur pour garantir l'irrigation gravitaire dans l'ensemble de la zone aménagée de l'Office du Niger. Pour cela, il dispose d'ouvrages de régulation équipés de vannes et d'échelles de mesure des hauteurs d'eau. Chaque ouvrage est équipé de vannes pour permettre de :

- faire varier les débits,
- assécher les canaux en cas de réparation,
- établir une courbe d'étalonnage par mesures de débit (jaugeage).

Pour réguler les grands ouvrages le SERP dispose comme outil de régulation du système BIVAL (annexe 5), qui, pour le moment, n'est établi que pour le premier bief du *Fala* de Molodo depuis 1980. La méthode BIVAL consiste à maintenir le volume dans un bief constant en faisant pivoter la ligne d'eau autour d'un point fictif situé au centre du bief (SOGREAH, 1993). Ainsi, la variable contrôlée, la hauteur d'eau au centre Y , est calculée comme suit (Malaterre, 1994) :

$$Y = \alpha Y_{\text{amont}} + (1 - \alpha) Y_{\text{aval}}$$

avec :

- Y_{amont} : Hauteur d'eau à l'amont du bief, c'est-à-dire à l'aval de l'ouvrage du Point A
- Y_{aval} : Hauteur d'eau à l'aval du bief, c'est-à-dire à l'amont de l'ouvrage du Point B
- α : constant, $\in [0,1]$

Le but du système BIVAL est de raccourcir le temps de réponse par le gestionnaire du barrage aux changements dans les besoins en eau des zones de production. L'utilisation de BIVAL à l'Office du Niger a été critiquée par Hamel (1998) qui précise que la régulation BIVAL sous-entend un canal plus ou moins uniforme sur toute sa longueur; alors que les Falas sont de larges réservoirs à très faible pente (2-3 cm/km), alimentés par des canaux adducteurs étroits à pente relativement forte (6-10 cm/km). Actuellement, le système BIVAL n'est pas utilisé pour la gestion de l'eau. Pour les autres biefs, il n'y a pas d'outil précis d'aide à la décision. Le SERP se contente des cotes du jour au barrage, aux points A, B, C et au déversoir de Kolongo pour décider les manœuvres de régulation.

L'Office du Niger avec le soutien du programme ARPON a mis en place une méthode de calcul basée sur le bilan volumétrique journalier avec apport et prélèvement en fonction des débits des ouvrages de prise, les superficies sous irrigation et la pluviométrie (Hamel, 1998). Cette méthode nécessite une collaboration plus étroite entre le SERP et les zones et consiste à collecter les informations essentielles des zones nécessaires au calcul. Elles concernent :

- les cotes aux points essentiels (29) du réseau (pas de temps journalier),
- les débits au niveau des ouvrages essentiels (17) du réseau (pas de temps journalier),
- la pluviométrie à 9 stations (pas de temps journalier),
- la superficie exploitée par casier (pas de temps hebdomadaire),
- les cotes essentielles (9) dans le réseau de drainage (pas de temps hebdomadaire).

Pour cela, le SERP dispose de :

- cotes de consignes pour chaque point de régulation (point amont et aval des biefs et déversoir de sécurité).
- abaques permettant de convertir les cotes de lectures des régulateurs du réseau primaire et les ouvertures des vannes correspondantes en débits (Morell et Grandin, 1981).
- 23 tables permettant de convertir les cotes de lectures des ouvrages essentiels et les ouvertures des vannes correspondantes en débit (ARPON, 1997).

La méthode utilisée pour établir les tables est simple et générale, basée sur la relation :

$$Q = m \cdot H^n$$

avec :

Q : le débit qui transite en m^3/s ,

H : hauteur du plan d'eau au-dessus du seuil dans le bief amont en mètre si l'ouvrage fonctionne en mode dénoyé et ($H_{\text{amont}} - H_{\text{aval}}$) si l'ouvrage fonctionne en mode noyé.

m : constante dépendant de la géométrie du dispositif (coefficient de déversoir),

n : exposant.

m et n sont des constantes déterminées par des calculs hydrauliques à partir des mesures de tarage après la construction de l'ouvrage.

Le SERP dispose d'un ordinateur et le logiciel Excel pour effectuer les calculs nécessaires à la détermination des besoins des zones. Les moyens humains du SERP pour la régulation du réseau primaire sont les suivants :

- le chef du service, coordinateur des activités,
- un éclusier chargé des relevés quotidiens des données hydrométriques sur le barrage et le point A,
- les conducteurs de grue pour les manœuvres d'ouverture et de fermeture du barrage,
- l'opératrice radio, chargée de communiquer avec les zones pour obtenir les informations essentielles des zones.

L'opératrice radio reçoit chaque matin par radio les cotes des points de régulation du réseau primaire et les hauteurs de pluie des zones. La fiche hebdomadaire des zones est mise à jour à partir de ces informations. Les opérations de régulation du plan d'eau des grands canaux se fait une fois par jour et en trois phases :

1. relevé des hauteurs d'eau, des ouvertures des vannes correspondantes et les hauteurs de pluie enregistrées par l'éclusier de Markala et les éclusiers de zone, de l'ensemble des données et transmission à Markala.
2. appréciation de la variation du plan d'eau par le chef du service qui ordonne les manœuvres sans calcul préalable.
3. manœuvres d'ouverture ou de fermeture pour tenter le réglage du plan d'eau par bief autour de la cote de consigne ; l'efficacité de la manœuvre sera appréciée au cours de la semaine en comparant la cote du plan d'eau obtenu et la cote de consigne. Si la cote du plan d'eau dans le bief dépasse la cote de consigne, il y a un risque de débordement des canaux pouvant provoquer des brèches. Il faut alors diminuer l'alimentation en eau. Si le plan d'eau est en dessous de la cote de consigne, il y a insuffisance de charge hydraulique dans le bief pour dominer toutes les terres à exploiter.

Il faut souligner que le paramètre le plus considéré pour les biefs est la cote de consigne. Les débits prélevés sur les biefs par les zones et les hors casiers ne sont pas considérés pour la régulation. Les opérations de régulation du plan d'eau des grands canaux se font une fois par jour et leur commande se fait par l'aval, d'où l'importance d'une coordination entre le SERP et les zones.

On constate sur le réseau adducteur plusieurs possibilités de prélèvement d'eau directe non coordonnées avec le SERP :

- le SERP gère les points de régulation seulement,
- les services gestion de l'eau des zones contrôlent les prises d'alimentation des distributeurs et on ignore souvent leurs prélèvements ; on ne connaît pas, par exemple, le débit prélevé par les casiers de Kouia, Kolodougou et Grüber Nord (régulateurs de Kolodougou et de Niono),
- les hors casiers contrôlent leurs ouvrages de prise ; on ne connaît pas leurs prélèvements,
- les données collectées sur le réseau primaire et sur le réseau intérieur dans les zones ne sont pas encore exploitées ; leur exploitation permettra d'apprécier l'efficacité de la gestion de l'eau,
- la collecte des données manque de rigueur et il y a très souvent des données manquantes, ce qui complique la détermination d'un bilan hydrologique entre le SERP et les Zones.

1.3.3.2. Le réseau intérieur

Le service gestion eau (SGE) sous la responsabilité du directeur de zone a en charge :

- l'entretien du réseau secondaire (distributeur, partiteur et les drains correspondants),
- le recouvrement de la redevance, les frais de redevance permettant d'entretenir le réseau (55%) et le fonctionnement des zones et du siège,
- la gestion de l'eau,
- la communication avec l'éclusier du réseau primaire qui est responsable des points de régulations.

Les moyens humains dans chaque zone pour la gestion de l'eau comprennent :

- le chef du service, coordinateur des attributions du service, qui échange avec les chefs de casier,
- les chefs de casier qui coordonnent les activités du casier, qui échangent avec les éclusiers et les aiguadiers,
- les éclusiers de zone, responsables de la régulation des prises de distributeur, qui communiquent avec le chef du casier,
- les aiguadiers, responsables de la régulation des prises de partiteur afin de satisfaire les besoins en eau des arroseurs, qui communiquent avec les chefs d'arroseur.

L'Office du Niger collabore avec les paysans par l'intermédiaire du chef d'arroseur qui est élu et bénévole. Le chef d'arroseur surveille les opérations d'arrosage, surveille l'état de l'arroseur et du drain d'arroseur et communique avec l'aiguadier. Le paysan est responsable de l'exploitation de la parcelle que lui a attribuée l'Office du Niger à travers un contrat d'exploitation annuelle et communique avec le chef d'arroseur.

En fonction de l'état de dégradation des installations qui peut se traduire par un dysfonctionnement de l'activité agricole, l'Office du Niger procède à une reprise des équipements défectueux ou à une réhabilitation. Certains périmètres sont réhabilités, d'autres sont en instance de réhabilitation. Dans un souci d'alléger la gestion de l'eau, plusieurs équipements anciens ou défectueux ont été remplacés par des appareils automatiques sur les périmètres réhabilités. La gestion de l'eau n'est donc pas du tout la même dans les casiers réhabilités et ceux non réhabilités.

Pour l'ensemble des zones, on constate deux méthodes de commande des ouvrages de prises d'eau :

- dans les zones réhabilitées, toutes les prises des distributeurs sont *commandées par l'aval*⁶, soit automatiquement, soit manuellement. Les prises des partiteurs et des arroseurs sont commandées par l'amont. Les prises d'arroseurs sont en général sans système de verrouillage pour que l'aiguadier et le chef d'arroseur imposent les principes de gestion prévus pour la gestion de l'eau. Par une régulation automatique à niveau aval constant sur les distributeurs, il est clair que sans une connaissance précise des besoins par partiteur et par arroseur, les débits livrés par le régulateur dépendent du nombre de paysans qui ouvrent simultanément leurs rigoles d'arrosage. Il peut résulter par manque de planning d'arrosage soit un gaspillage d'eau parce qu'elle est disponible à volonté soit une pénurie parce que tout le monde veut utiliser l'eau en même temps.
- dans les zones non réhabilitées, le réseau est dégradé. L'ensemble des prises est *commandé par l'amont*⁷. Les prises sont en général équipées de vannes plates ou de batardeaux ne permettant pas un réglage facile. La maîtrise de l'eau n'est pas totale à cause d'un temps de réponse important et un manque de planage des parcelles. Il en résulte des problèmes de drainage pour les parcelles situées en zone basse ou de manque d'eau pour les parcelles situées en zone haute. Le paysan adapte alors son calendrier agricole suivant les contraintes liées à la qualité de la gestion de l'eau.

Les prises des partiteurs et des arroseurs sans fermeture de sécurité sont manipulables par qui le veut, et il est difficile aux gestionnaires (aiguadier et chef d'arroseur) d'imposer une discipline consensuelle pour l'arrosage (application du tour d'eau).

Dans les casiers *réhabilités*, les principes de gestion sont les suivants :

- **Distributeurs** : commande à l'aval,
- **Partiteur** : le débit en tête de partiteur est ajusté à la somme des débits requis par les arroseurs sans que soit établi un tour d'eau entre partiteurs, la commande se fait par l'amont. Le partiteur débouche sur un déversoir de sécurité.
- **L'arroseur** : commandé par l'amont.
- **Rigole d'arroseur** : un chef d'arroseur, choisi parmi les paysans sur l'arroseur, doit faire respecter un tour d'eau entre les rigoles d'un arroseur.

La différence entre les projets de réhabilitation est surtout basée sur le choix des ouvrages de prise et de régulation depuis le distributeur jusqu'aux rigoles (tableau 10).

On remarque que les zones ne disposent pas d'un manuel du gestionnaire pratique qui décrit précisément les tâches de chaque agent impliqué dans la gestion de l'eau. Vu l'importance du rôle des zones dans la gestion de l'eau, ce manuel sera utile comme référence de travail. Il serait également utile de former les agents sur les aspects hydrauliques. Actuellement, les seuls paramètres pris en compte sont les hauteurs d'eau par rapport aux cotes de consignes. La notion de débit et de consommation d'eau n'est guère répandue. Pourtant, l'Office du Niger s'engage à améliorer la consommation d'eau pour atteindre 15 000 m³/ha au niveau de l'arroseur (Keita *et al.*, 1999). Ce pari ne pourra être atteint sans l'engagement des zones pour maîtriser la gestion de l'eau, en passant par un suivi de la distribution de l'eau en termes de débits.

⁶ La variable contrôlée à l'Office du Niger d'une « commande par l'aval » est la *cote à l'aval de l'ouvrage*. Malaterre (1994) nous rappelle qu'un contrôle des cotes a comme but de « *satisfaire les contraintes de fonctionnement* », e.g. débordements, stabilité des berges, facilité à mesurer, ... et ne pas de satisfaire les besoins des usagers. Cependant, la disponibilité d'un volume de stockage dans le bief (berges horizontales) permet de répondre **rapidement** à un changement de demande des partiteurs (pour satisfaire les besoins des paysans).

⁷ La variable contrôlée ici est la *cote à l'amont des ouvrages* du système pour avoir suffisamment de charge pour pouvoir irriguer les parcelles des paysans. Dès que la cote de consigne en amont des prises de partiteurs n'est plus atteinte, l'aiguadier ouvrira davantage les vannes de la prise de distributeur. L'avantage de la commande par l'amont est un moindre coût en génie civil (berges suivent la pente naturelle). En revanche, il n'y a aucun volume de stockage dans le distributeur en cas de changement de demande et il y aura donc un temps de réponse plus important (il faut attendre l'impact de l'ouverture de la prise de distributeur).

Le calendrier agricole (annexe 3) est uniforme pour toutes les zones et assez souple pour tenir compte de la double culture et permettre aux paysans de produire plusieurs variétés de riz. La programmation d'une gestion de l'eau passe par un calendrier agricole convenu entre gestionnaires et paysans, qui permettrait de mieux connaître les besoins d'irrigation et de drainage des casiers. Ainsi, la distribution de l'eau pourrait mieux répondre aux besoins des casiers, tout en limitant la consommation d'eau. Faisant allusion aux hors casiers, Keita *et al.* (1999) indiquent néanmoins que la demande agricole s'est élargie de la zone aménagée à l'ensemble de la zone influencée par les falas. Selon la même source « *la remise en eau des falas .. permet à une population nombreuse d'exercer de multiples activités productives autres que l'agriculture irriguée : la pêche, ..., la pisciculture, l'élevage, l'exploitation des ressources ligneuses, le transport par pirogue, etc.* ». Il n'est donc pas surprenant de constater que la gestion de l'eau actuelle ne répond pas toujours aux critères de gestion classiques d'un périmètre irrigué. Les besoins en eau des différentes activités tout le long des *falas* de Molodo et de Boky Wéré ne sont pas très bien connus et devraient faire l'objet d'une étude ultérieure pour mieux comprendre les impératifs de la gestion de l'eau à l'Office du Niger.

Zone de Niono

La zone de Niono qui est entièrement réhabilitée est irriguée à partir du *Fala* de Molodo (système du Sahel) juste à l'amont du point B en rive droite. Le réseau, desservi par quatre grands distributeurs, est administré en trois casiers :

a) le casier Kouia/Kolodougou (KO/KL)

Le casier KO/KL est irrigué par le distributeur de Kouia (KO) et le canal Grüber Sud qui alimente le casier de Kolodougou (KL).

Le distributeur du Kouia avec un débit nominal de 2.76 m³/s n'est pas inclus dans le suivi de la gestion de l'eau des zones et du SERP. En conséquence, on ne connaît pas les hauteurs d'eau ni les débits fournis à ce casier. Par ailleurs, on peut donner les détails suivants du système hydraulique ayant un impact sur la gestion de l'eau :

- la prise du distributeur est équipée d'une vanne plate et la régulation est manuelle. Il n'existe pas de déversoir de sécurité. Le distributeur est commandé par l'aval, c'est à dire la hauteur d'eau à l'aval de l'ouvrage détermine l'intervention de l'éclusier.
- les prises des partiteurs sont également équipées de vannes plates, mais elles ne sont pas équipées de déversoir de sécurité. Les prises sont commandées par l'amont, c'est à dire un changement de niveau à l'amont de l'ouvrage fait intervenir l'aiguadier.
- les prises d'arroseurs sont de type semi-module. Ces prises ont trois positions (Ouvry *et al.*, 1999) : complètement fermé, totalement ouverte (fonctionnement en déversoir) ou semi-ouverte (fonctionnement en orifice noyé). Ces prises sont commandées par l'amont.
- les prises de rigole d'arroseur sont de type bouche à eau.

Le canal Grüber Sud n'est pas inclus dans le suivi de la gestion de l'eau pour la simple raison que le distributeur n'est pas équipé d'un ouvrage. Il n'existe pas non plus d'échelle de mesure. Les partiteurs prennent de l'eau sur le canal Grüber Sud qui est alimenté directement par le *Fala* de Molodo, également sans être commandé par un ouvrage. Il n'existe pas de déversoir de sécurité.

- Les prises de partiteur sont équipées de vannes plates commandées par l'aval. Les partiteurs ne sont pas équipés de déversoir de sécurité.
- Les prises d'arroseur sont de type semi-module commandées par l'amont.
- Les prises de rigole d'arroseur sont de type bouche à eau.

b) le casier Retail

Le casier Retail est irrigué par le distributeur du même nom, branché sur le Grüber avec un débit nominal de 8,5 m³/s.

- la prise du distributeur commandé par l'aval est équipée de vanne plate et la régulation du plan d'eau est faite par des vannes manuelles. Le distributeur est équipé de déversoir de sécurité au bout.
- les prises de partiteur, commandées par l'amont, sont équipées de vannes plates. Les hauteurs d'eau sont souvent « gérées » de façon facile par des déversoirs en bec de canard.
- les prises d'arroseurs sont des modules à masque commandés par l'amont,
- les prises de rigole d'arroseur sont de type seuil déversoir à vannette, servant aussi de rigole de drainage.

Le couplage d'un réglage manuel sur le distributeur suivi d'un réglage automatique sur le partiteur par déversement de trop plein nécessite une surveillance des déversoirs de sécurité des partiteurs pour éviter des pertes importantes d'eau.

c) le casier Grüber Nord

Le casier Grüber Nord est irrigué par le canal Grüber Nord avec un débit nominal de 12 m³/s. Son prolongement permet d'alimenter la zone de N'Débougou. Ce régulateur (dit de Niono) n'est pas calibré et il est donc difficile d'établir les débits qui transitent. Les débits fournis au casier de Grüber Nord ne font donc pas partie du suivi de la gestion de l'eau.

- La prise du canal est équipée de vannes automatiques à niveau aval constant (de type AVIO), bien évidemment commandées par l'aval.
- Les prises de partiteur, commandées par l'amont, sont équipées de module à masque avec une capacité de 500 à 900 l/s.
- Les prises d'arroseur sont de type semi-module commandées par l'amont,
- Les prises de rigole d'arroseur sont de type seuil déversoir à vannette, servant aussi de rigole de drainage.

d) Le périmètre de Bèwani

Ce périmètre, alimenté à partir du canal Costes Ongoïba, est rattaché à la direction de la zone de Niono. Ce périmètre qui fait partie de l'extension des aménagements de l'Office du Niger a été aménagé depuis 1996 pour un total de 1 185 ha (Bèwani I, II, II bis) sur 14 000 ha prévu. Selon le DADR, actuellement 1 500 ha sont cultivés. Des études sont en cours pour aménager 5 815 ha de plus (Bèwani C et D).

- La prise du distributeur de Bèwani est équipée de vanne plate et commandée par l'aval. La régulation du plan d'eau est faite manuellement par l'aiguadier. Il est équipé de déversoir de sécurité au bout.
- Les prises de partiteur sont équipées de vannes plates, commandées par l'amont et également équipées de déversoir de sécurité au bout.
- Les prises d'arroseur sont commandées par l'amont.

Zone de Molodo

La zone de Molodo s'alimente sur le *Fala* du même nom, juste à l'amont du point B en rive gauche. Il n'existe pas de vanne de prise pour le distributeur. C'est un périmètre très dégradé en instance de réhabilitation, qui se compose de trois casiers, Molodo Sud, Molodo Centre et Molodo Nord. Leur fonctionnement est identique :

- Le distributeur est commandé par l'amont.
- Les prises de partiteur sont équipées de vanne plate et commandées par l'amont.
- Les prises d'arroseur sont commandées par l'amont.
- Les prises de rigole d'arroseur sont de type buse d'arrosage.

Zone de N'Débougou

La zone de N'Débougou, comprenant les casiers de Siengo, Boloni et N'Débougou, s'alimente sur le canal Grüber Nord par deux distributeurs équipés de vannes automatiques à niveau aval constant. La zone de N'Débougou est en partie réhabilitée.

a) le casier de Siengo

Le casier de Siengo qui est entièrement réhabilité est alimenté par le distributeur de Siengo.

- Le distributeur de Siengo est commandé par l'aval par une vanne automatique de type AVIS.
- Les prises de partiteur sont équipées de module à masque et commandées par l'amont.
- Les prises d'arroseur sont équipées de module à masque et commandées par l'amont.

b) le casier de Boloni,

Le casier de Boloni, en partie réhabilité, est alimenté par le distributeur de Boloni. Cette prise de distributeur, commandée par l'aval, est alimenté par le distributeur de N'Débougou.

- Les prises de partiteur sont équipées de vannes plate avec serrure, commandées par l'amont.
- Les prises d'arroseur sont équipées de module à masque, commandée par l'amont,

Pour la zone non réhabilitée, toutes les prises sont de type vanne plate.

c) le casier de N'Débougou

Le casier de N'Débougou, non réhabilité, est alimenté par le distributeur de N'Débougou.

- Le distributeur de N'Débougou est commandé par l'aval par des vannes automatiques de type AVIO.
- Les prises de partiteur sont équipées de vannes plates et commandées par l'amont.
- Les prises d'arroseur sont équipées de modules à masque et commandées par l'amont,

Zone de Kouroumari

La zone du Kouroumari n'est pas réhabilitée. Elle s'alimente en eau sur le deuxième bief du Fala de Molodo en rive gauche, juste en amont du Point C. La zone est alimentée par deux distributeurs et comprend deux casiers :

a) le casier de Sokolo

Le casier de Sokolo est alimenté par le distributeur de Sokolo.

- Le distributeur de Sokolo est branché sur le Fala. La prise du distributeur est équipée de vannes plates, commandée par l'amont.
- Les prises de partiteur sont équipées de vannes plates et commandées par l'amont.
- Les prises d'arroseur sont équipées de vannes plates et commandées par l'amont.

b) le casier de Kogoni

Le casier de Kogoni est alimenté par le distributeur de Kogoni.

- Le distributeur de Kogoni, équipé de vannes plates et commandé par l'amont, s'alimente sur le Fala distributeur.
- Les prises de partiteur sont équipées de vanne plate et commandées par l'amont.
- Les prises d'arroseur sont équipées de vanne plate et commandées par l'amont.

Le régulateur du point C, appelé souvent Alatona, sert actuellement comme ouvrage de sécurité. L'ouvrage, équipé de passes à vannes plates, a été également conçu pour alimenter un troisième bief du *Fala* capable d'irriguer 4 000 ha. Le deuxième bief du *Fala* de Molodo n'est pas pris en compte par le modèle BIVAL et sa régulation est difficile pour le SERP.

Zone de Macina

La zone de Macina est irriguée à partir du premier bief du *Fala* de Boky Wéré. Elle comprend trois casiers.

a) le casier de Kokry

Le casier de Kokry, en partie réhabilité, est alimenté par le distributeur de Kokry avec un débit maximum de 31 m³/s.

- Le distributeur de Kokry est commandé par l'aval par une vanne automatique de type AVIS.
- Les partiteurs équipés de vannes automatiques à niveau aval constant et de module à masque sont commandés par l'amont,
- Les arroseurs sont équipés de vannes de type semi-module.

Le distributeur est compartimenté en 3 biefs régulés, les eaux excédentaires sont évacuées par des évacuateurs de sécurité automatiques (type siphon) qui déversent dans le fleuve les eaux excédentaires.

b) le casier de Boki-Wéré

Le casier de Boki-Wéré, en partie réhabilité, est alimenté par le distributeur de Boki-Wéré avec un débit maximum de 8.5 m³/s.

- Le distributeur de Boky-Wéré est équipé de vanne automatique à niveau aval constant, de type AVIO.
- Les partiteurs sont équipés de modules à masque et commandés par l'amont.
- Les arroseurs sont équipés de modules à masque et commandés par l'amont.

c) le casier de Niaro

Le casier de Niaro n'est pas réhabilité. Les partiteurs prennent directement sur le premier bief du *Fala* de Boky Wéré.

- Les prises de partiteur sont équipées de vannes plates et commandées par l'amont.
- Les arroseurs sont équipés de vannes plates et commandés par l'amont,
- Les prises de rigoles d'arrosage sont de type buse d'arrosage.

Toute la régulation est manuelle.

Le Canal du Macina fournit de l'eau pour le périmètre irrigué Sossé-Siliba de l'Office Riz Ségou (ORS), qui produit le riz flottant par irrigation à submersion contrôlée. La prise est équipée de vannes plates.

Le régulateur de Kolongo est situé à 6 km à l'amont du bout du premier bief du *Fala* de Boky Wéré. Kolongo sert de déversoir de sécurité.

Le périmètre sucrier du Kala supérieur (SUKALA)

Le périmètre sucrier du SUKALA est alimenté par le canal Costes Ongoïba et se compose des casiers de Séribala et de Dougabougou totalisant 5 000 ha de canne à sucre. Les canaux sont équipés de vannes plates ; l'irrigation de ces casiers se fait toute l'année.

1.3.3.3. Organisation paysanne dans la zone aménagée de l'Office du Niger

Le "colon" est un paysan résidant dans la zone aménagée de l'Office du Niger, exploitant les terres aménagées et payant une redevance. Le nouveau mode de gestion en cours à l'Office du Niger est basé sur la participation des paysans, une transparence de la fixation et de l'utilisation de la redevance perçue sur l'eau et en perspective une nouvelle modalité visant une gestion de l'eau en fonction des besoins exprimés par les utilisateurs. Leur participation au souci de l'économie de l'eau est désormais indispensable pour prétendre aux extensions futures ; ils doivent être sensibilisés en permanence sur cet enjeu important.

Chaque partiteur dessert en général un village et les paysans se retrouvent groupés autour d'un comité paritaire de partiteur composé :

- du chef du casier (Office du Niger),
- de l'aiguadier (Office du Niger),
- de deux à six chefs d'arroseur (paysans bénévoles élus par les paysans pour les paysans).

A l'échelle de l'arroseur est prévue une concertation permanente entre le chef d'arroseur et l'aiguadier. Le chef d'arroseur doit recevoir des paysans les superficies à prévoir pour l'irrigation et les transmettre à l'aiguadier chaque matin. Cette méthode permet par calcul volumétrique de prévoir les besoins sur l'arroseur en tenant compte de la superficie emblavée, de la pluie et de la lame d'eau sur les parcelles. En réalité, les besoins ne sont pas chiffrés avant les opérations d'arrosage des zones et il n'existe pas de tour d'eau. La pratique de l'irrigation est basée sur la disponibilité de l'eau dans le partiteur. Les prises d'arroseurs sont très souvent manœuvrées par les paysans et la gestion de l'eau se limite seulement au contrôle des cotes de consignes dans les biefs en cours d'arrosage. Les pluies ne sont pas prises en compte pour distribuer l'eau ; aucun calcul ne précède l'arrosage.

Le comité paritaire de partiteur doit être sensibilisé sur l'importance d'une bonne gestion de l'eau en soulignant que :

- l'économie de l'eau conditionne les extensions futures,
- l'organisation des plannings d'irrigation garantit un partage équitable de l'eau à tous les exploitants.

II. Collecte, stockage et traitement de l'information pour la gestion de l'eau à l'Office du Niger.

2.1. Les données

L'Office du Niger dispose d'une longue série de mesures et d'observation sur les paramètres essentiels à l'exploitation de ses zones aménagées. Ces données concernent essentiellement les hauteurs d'eau aux points de régulation (Markala, Point A, B, C). L'Office du Niger collecte également des données concernant les prélèvements des zones. Ces données sont journalières et sont détaillées dans le tableau 14.

Tableau 14 : Récapitulatif des données collectées à l'Office du Niger

Lieu	Rubrique	Pas de temps	Unité	Responsable
Barrage	Cote amont	Journalier	m	SERP
Markala	Cote aval	Journalier	m	SERP
	Ouverture des vannes	Journalier	Position P1, P3, P4	SERP
Kirango	Cote Kirango aval	Journalier	m	SERP
Point A	Cote amont	Journalier	m	SERP
	Cote aval	Journalier	m	SERP
	Ouverture des vannes	Journalier	m	SERP
	Pluie	Journalier	mm	SERP
Point B	Cote amont	Journalier	m	Niono
	Cote aval	Journalier	m	Niono
	Ouverture des vannes	Journalier	m	Niono
Point C	Cote amont	Journalier	m	Kouroumari
(déversoir	Cote aval	Journalier	m	Kouroumari
d'Alatona)	Ouverture des vannes	Journalier	m	Kouroumari
Déversoir de	Cote amont	Journalier	m	Macina
Kolongo	Cote aval	Journalier	m	Macina
	Ouverture des vannes	Journalier	m	Macina
Distributeurs	Cote amont	Journalier	m	SGE zone
des Zones	Cote aval	Journalier	m	SGE zone
	Ouverture	Journalier	m	SGE zone
	Pluie	Journalier	mm	SGE zone
	Superficie emblavée	Hebdomadaire	ha	SGE zone
	Cote eau drains	Journalier	m	SGE zone

Le matériel servant à la gestion de l'eau se compose essentiellement de :

- un registre pour transcrire les données sur le barrage de Markala,
- un registre pour transcrire les données sur le réseau primaire,
- fiches hebdomadaires sous forme de tableau standard mais spécifique à chaque zone,
- un réseau de communication par radio entre les zones et le SERP,
- un ordinateur pour le SERP à Markala avec le logiciel Excel pour traiter les données.

2.2. Critique des données

L'Office du Niger dispose d'un important stock d'informations hydrologiques brutes sur le barrage de Markala, qui remonte aux années 1925. Ces précieuses informations présentent des qualités variables suivant les périodes et les différents responsables qui se sont succédés.

Les données du réseau primaire remontent aux années 1980 et les données des zones sont les plus récentes. Dans leur forme actuelle, elles datent de 1998. Le champ de collecte des données s'est élargi, mais le stockage des données est resté sous forme d'archivage manuel et sous format libre (registre, tableau, cahier, etc.).

Les archives de Markala jouent un rôle important de centralisateur d'information, mais il n'existe pas de trace d'échange avec les autres acteurs situés sur le fleuve en amont et en aval de Markala. Toutes les données concernent seulement celles localisées sur l'ensemble de la zone aménagée de l'Office du Niger. Il est important que le SERP reçoive et exploite les données hydrométriques des autres stations du fleuve situées en amont et en aval de Markala pour pouvoir estimer la quantité d'eau qu'apporte le fleuve, la quantité d'eau qui est prélevée pour l'irrigation et la quantité qui passe dans le fleuve pour en tenir compte dans la gestion de l'eau.

Les données les plus complètes sont celles collectées par Markala. Les données essentielles en provenance des zones pour les besoins de Markala contiennent très souvent des informations incomplètes, notamment concernant les superficies emblavées et le suivi des drains (annexe 1). Les données du canal Costes Ongoïba ne sont pas intégrées dans le réseau de collecte des données du SERP.

Le réseau de mesure des zones présente des installations défectueuses (échelles arrachées ou illisibles) et plusieurs ouvrages ne sont pas calibrés (régulateur de Niono sur le canal Grüber Nord et régulateur de Point C, prises des distributeurs de Kouia, N'Débougou, Siengo, Kogoni, Sokolo) ; il est difficile de connaître les débits qu'ils laissent passer.

A l'échelle des zones :

- à Kolongo, l'échelle de lecture au niveau du déversoir est endommagée.
- à Niono, il n'existe pas de point de mesure sur le distributeur Kolodougou (Grüber Sud), et il n'est donc pas possible d'évaluer les débits. Il n'a pas été prévu de la place pour le Kolodougou sur la fiche hebdomadaire de collecte des données de la zone de Niono. De même, pour le régulateur de Niono qui alimente le Grüber Nord, il manque les positions d'ouverture sur flotteur et on ne peut pas non plus évaluer les débits qui transitent. Puisqu'il n'existe pas de point de mesure sur le Grüber au point B, on ne peut pas évaluer les quantités d'eau prises par la zone de Niono avec précision.

Par manque d'homogénéité des données, il est difficile d'établir un bilan hydraulique fiable entre les données du SERP et celles des zones.

Cependant, l'extension de la collecte de données pour couvrir l'ensemble des prises des zones constitue, à notre avis, une étape importante et un effort louable pour mieux cerner la distribution de l'eau à l'Office du Niger. L'étape suivante consistera à traiter et analyser ces données en les restituant vers les zones pour des raisons de commande (corrections) et d'évaluation. Les données pourraient être traitées également au niveau des zones.

2.3. Traitement des données

Le traitement des données est prévu au SERP à Markala qui devrait recevoir :

- les données des points de régulation du barrage et des biefs pour entretenir la régulation,
- les données des zones pour calculer leurs besoins et faire une distribution en fonction des besoins.

L'Office du Niger avec le soutien du programme ARPON a établi un modèle de calcul à l'aide du logiciel Excel à partir des données agro-hydrologiques (HAMEL, 1998). En particulier, les

données collectées à l'intérieur des zones (les cotes, les ouvertures de vannes, les surfaces emblavées, les cotes des drains) sont très souvent incomplètes. Dans un tel état, l'application du calcul proposé est inefficace.

Pour améliorer l'articulation entre le SERP et les zones en gestion de l'eau, l'Office du Niger a formalisé la collecte des données hydrauliques (hauteurs d'eau, débit) pour les prises de tous les distributeurs. Ces données sont collectées par les zones et communiquées au SERP. Tout système d'information d'irrigation (Rey, 1996) a une fonction de *commande* (gérer la distribution de l'eau en temps réel) et une fonction d'*évaluation* (efficacité de la gestion de l'eau).

- Pour la fonction de commande, l'Office du Niger dispose de cotes de consignes. La comparaison des cotes réelles avec des cotes de consigne devrait se faire dans les zones avec vérification du SERP. Pour cela, il faudra instituer un aller-retour dans la journée (collecte de données, commentaire des données) entre le SERP et les zones. Le manque de concertation entre le SERP et les zones se traduit par des écarts importants entre le plan d'eau et les cotes de consignes, ce qui provoque des débordements en cas d'écart positif ou une pénurie en cas d'écart négatif.
- Pour la fonction d'évaluation, il est important d'établir régulièrement un bilan hydrologique (une fois par semaine, par exemple) pour déterminer tous les paramètres sur le réseau primaire (entrées, prélèvements, pertes, pluie). Le SERP, en collaboration étroite avec les zones, obtiendra les informations essentielles pour calculer les besoins des zones. Avec les besoins des zones et les prélèvements connus, il est possible pour le SERP d'établir un bilan global sur le réseau primaire et apprécier les pertes. Dans le chapitre 3.4, nous allons montrer l'intérêt d'un bilan hydrologique en prenant l'exemple du système du Sahel. Cependant, il manque encore des données : certains ouvrages ne sont pas équipés d'échelles, d'autres ne sont pas encore calibrés. Il est donc recommandé de mener une campagne de calibrage (par mesures de jaugeage) pour rectifier ces lacunes.
- A l'intérieur des zones, un même système d'information d'irrigation peut être établi. Ainsi, pour les zones, il serait intéressant de calculer régulièrement le bilan hydrique pour apprécier les différents termes du bilan et améliorer la gestion interne de l'eau de la zone. Une fois que les zones maîtrisent leurs bilans, il leur sera plus facile de communiquer avec le SERP.
- La quantité d'eau évacuée par le réseau de drainage à l'Office du Niger est mal connue. Il serait souhaitable de faire une étude sur le fonctionnement de ce réseau.
- L'utilisation de l'outil informatique permet facilement de faire le stockage des données et les différents calculs.

2.4. Bilan hydrologique

Il a été procédé au calcul d'un bilan hydrologique afin de comprendre la distribution de l'eau à l'Office du Niger dans le réseau primaire. Le réseau primaire du système du Sahel, composé du Canal du Sahel et du *Fala* de Molodo, pour une période d'un an servira d'exemple : du 1^{er} juin 1998 au 31 mai 1999. La formule utilisée à l'échelle d'un bief d'un fleuve est la suivante (Olivry, 1994) :

$$V_{am} - V_{av} = E + I + \Delta S - P - R_s - R \quad (1)$$

avec :

V_{am}	Volume d'eau entrant dans le bief
V_{av}	Volume d'eau sortant du bief
E	Evaporation de la nappe libre
I	Infiltration
ΔS	Stockage (peut être négatif)
P	Pluviométrie
R_s	Restitution
R	Apports ruisselés

Pour le Canal du Sahel, en admettant que les apports par ruissellement dans le contexte d'un périmètre irrigué sont négligeables, nous adoptons cette formule comme suit :

$$I_{am} - I_{av} - D = E + If + \Delta S - P \quad (2)$$

avec :

- I_{am} Les apports d'irrigation à point A en m³
- I_{av} Volume d'eau fourni aux zones de Molodo, Niono, N'Débougou, Kouroumari et les hors casiers en m³
- D Drainage (Point C) en m³
- If Infiltration (valeur positive) ou restitution (valeur négative)

E , ΔS , P (en m³) sont calculés au niveau du réseau primaire, allant de point A à Point C. If est le paramètre inconnu, qui doit être déterminé :

$$I_{am} - I_{av} - D - E - \Delta S + P = If \quad (3)$$

Les bases du calcul sont les suivantes :

- Le bilan hydrologique est calculé pour une période d'une année, c'est-à-dire de juin 1998 à mai 1999.
- I_{am} est calculé en utilisant les données (hauteurs d'eau, ouvertures des vannes) du SERP à Point A, converties en débits en utilisant la courbe d'étalonnage en vigueur (tableau 15, Morell et Grandin, 1981).

Tableau 15 : Débit d'entrée (Point A) et de sortie (Point C) en m³/s du système du Sahel en 1998/1999.

Ouvrage	Paramètre	Juin '98	Juil '98	Août '98	Sept '98	Oct '98	Nov '98	Déc '98	Janv '99	Fév '99	Mars '99	Avril '99	Mai '99
Point A	I	65,5	67,9	72,0	77,1	82,9	47,2	33,3	56,0	39,1	46,9	60,3	49,5
Point C	D	0,0	2,9	2,6	7,5	0,7	10,5	3,1	2,7	0,2	2,0	4,6	0,1

Source : SERP, données converties en débits à l'aide de la courbe d'étalonnage de Morell et Grandin (1981) et ARPON (1997).

- I_{av} est calculé en utilisant les données (hauteurs d'eau, ouvertures des vannes) collectées par les zones et fournies au SERP, converties en débits en utilisant les courbes d'étalonnage en vigueur, (tableau 16, ARPON, 1997). De nombreux problèmes existent dans la collecte des données et la transformation des hauteurs d'eau en débits dans le système du Sahel :
 - la collecte de données n'est pas exhaustive pour le régulateur de Niono (les hauteurs d'eau uniquement) et il n'y a pas de collecte pour le régulateur de Kouia. Il n'existe pas de régulateur pour le casier de Kolodougou. Ainsi, il est impossible de calculer le débit fourni aux casiers de Grüber Nord, Kouia et Kolodougou, tous dans la zone de Niono. Le débit de la zone de Niono est donc reconstitué à partir du débit du casier de Retail, qui couvre 40 % de la superficie de la zone de Niono.
 - dans la documentation de référence (ARPON, 1997), les courbes d'étalonnage de nombreux ouvrages sont théoriques (prises de Kouia, N'Débougou, Siengo, Kogoni, Sokolo, les régulateurs de Niono et du Point C). Ces ouvrages ne sont donc pas calibrés et le débit réel peut différer du débit théorique.
 - le débit fourni aux hors casiers le long du *Fala* de Molodo est inconnu. Une superficie de 11.105 ha de hors casiers a été prise pour l'ensemble du système du Sahel (SOGREAH *et al.*, 1999). Selon cette même source, la superficie des hors casiers prenant directement de l'eau du *Fala* s'élève à 7221 ha, la superficie restante (3884 ha) étant située à l'intérieur des zones. Le débit fourni aux hors casiers situés le long du *Fala* est calculé en prenant le débit moyen mensuel par ha de l'ensemble des zones (Molodo, N'Débougou, Kouroumari et le casier Retail pour représenter Niono) multiplié par la surface.

Tableau 16 : Débits mensuels (en m³/s) fournis aux prises des zones du Canal du Sahel.

Zones/casiers	Superficie (ha)	Juin '98	Juil '98	Août '98	Sept '98	Oct '98	Nov '98	Déc '98	Janv '99	Fév '99	Mars '99	Avril '99	Mai '99
Retail	3 990	3,2	3,5	4,7	5,2	4,3	1,6	1,4	2,1	2,5	3,2	3,6	3,8
Niono	10 815	10,3	11,0	14,9	16,7	13,8	5,1	4,5	6,8	8,0	10,3	11,6	12,2
Molodo	7 784	3,9	4,5	4,0	4,3	5,5	3,0	1,6	2,5	2,6	2,8	2,7	2,5
N'Débougou	10 145	15,6	25,8	27,4	27,9	25,3	9,3	5,9	7,3	8,1	8,2	8,0	12,2
Kouroumari	12 903	12,8	14,2	16,5	16,8	18,7	11,2	6,0	8,0	4,8	4,9	4,4	7,6
Hors casiers	7 221	5,8	6,3	8,5	9,5	7,8	2,9	2,5	3,8	4,5	5,8	6,6	6,9

Source : SERP, données converties en débits à l'aide des tableaux d'ARPON (1997). Les débits de la zone de Niono sont calculés en prenant le débit de Retail (en m³/s/ha), multiplié par la superficie cultivée de la zone. Les débits des hors casiers sont reconstitués à partir du débit moyen des zones de Molodo, N'Débougou, Kouroumari et le casier de Retail.

- Les superficies des zones proviennent de l'Office du Niger (DADR, état d'avancement des travaux agricoles au 31 août 1999), augmentées de 3 884 ha de hors casiers (environ 10 %).
- *D* est calculé en se basant sur les données (hauteurs d'eau, ouvertures des vannes) du SERP au Point C, converties en débits en utilisant la courbe d'étalonnage en vigueur (ARPON, 1997).
- *E* est calculé en prenant un taux d'évaporation de 2675 mm (Ouvry *et al.*, 1999) et une surface du plan d'eau du réseau primaire de 3 000 ha (H.N'D, 1998).
- ΔS est la différence entre le volume stocké dans le réseau primaire entre le début et la fin de la période choisie. Le *Fala* étant un bras mort du fleuve Niger, il comprend une importante réserve d'eau.
- *P* est déterminé en prenant la moyenne des pluies (350 mm) pour les stations de Molodo, N'Débougou, Kouroumari et Niono, multipliée par la surface du réseau primaire (3 000 ha).
- *If* est le paramètre à déterminer par le bilan hydrologique et s'élève à 7,5 m³/s, c'est-à-dire un peu moins de 13 % du débit entrant.

Le tableau 17 donne le bilan hydrologique du canal du Sahel de de l'Office du Niger de juin 1998 à mai 1999.

Tableau 17 : Bilan hydrologique du système du Canal du Sahel de l'Office du Niger de juin 1998 à mai 1999.

Unité	<i>I_{am}</i>	<i>P</i>	<i>E</i>	<i>If</i>	<i>D</i>	ΔS	<i>I_{av}</i>
Volume (en million de m ³)	1837,57	10,50	80,25	235,72	96,69	-4,32	1439,74
Débit (m ³ /s)	58,3	0,3	2,5	7,5	-0,1	-1,6	45,7

Il est intéressant maintenant de comparer ces résultats avec les analyses entreprises par Hamel (1998, cité dans Ouvry *et al.*, 1999) et Ouvry *et al.* (1999). Hamel (1998) trouve une valeur de 12,7 m³/s de pertes annuelles dans le *Fala* de Molodo, tandis que Ouvry *et al.* (1999) trouvent une valeur de 25 m³/s de juin à octobre et 15 m³/s de novembre à mai. Pour expliquer ces différences, il faut d'abord souligner que les pertes d'Ouvry *et al.* (1999) couvrent non seulement les pertes par infiltration, mais également les pertes par évaporation et drainage et l'alimentation des hors casiers. De plus, ils n'ont pas tenu compte du stockage sur le *Fala*. Pour déterminer les pertes, la définition d'Olivry (1994) a été nous adoptée :

$$\text{Pertes} = I_{\text{am}} - I_{\text{av}} \quad (4)$$

A partir de la formule (3), les pertes peuvent être obtenues comme suit :

$$\text{Pertes} = E + D + If + \Delta S - P \quad (5)$$

Les pertes annuelles dans le réseau primaire, déterminées en fonction des valeurs du tableau 17, s'élèvent alors à **12,7 m³/s** et donc 22 % du débit entrant. Cette valeur est identique à la valeur trouvée par Hamel (1998), mais en dessous de la valeur d'Ouvry *et al.* (1999). La différence est alors due à deux facteurs :

- Les débits prélevés par les zones n'étaient pas disponibles pour la période de calcul (de juin 1996 à mai 1997) d'Ouvry *et al.* (1999). L'alimentation des zones était alors extrapolée à partir de l'alimentation du distributeur de Retail, sous-estimant par 10 % (selon nos données) les débits réels.
- Les débits annuels prélevés directement sur le *Fala* de Molodo par les hors casiers sont estimés à 6.4 m³/s. Si on ajoute ce prélèvement aux pertes on s'approche effectivement des « pertes » d'Ouvry *et al.* (1999).

Les pertes dans le réseau primaire sont présentées dans la figure 6.

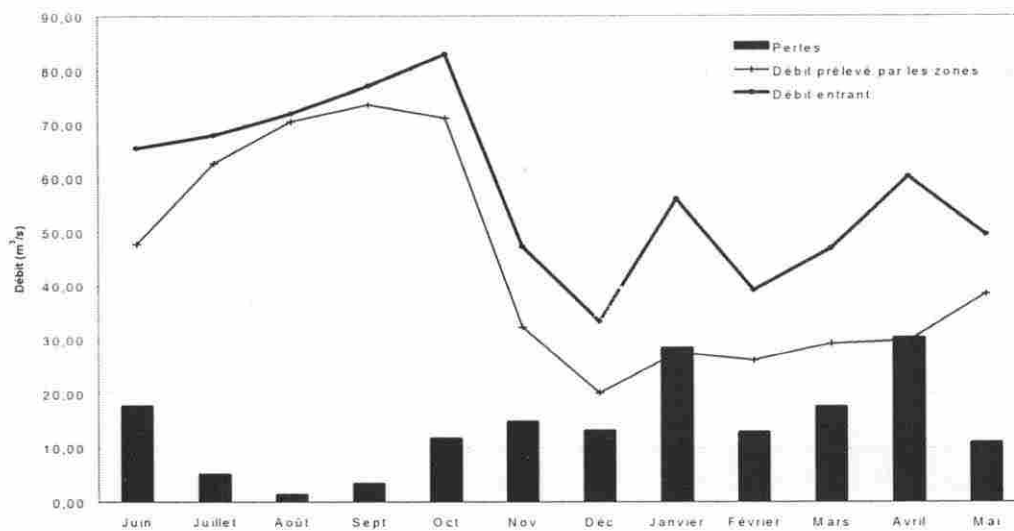


Figure 6 : Les pertes (en m³/s) dans le réseau primaire en fonction du débit entrant et du débit prélevé par les zones (en m³/s) de juin 1998 à mai 1999.

On remarque que les pertes sont plus importantes après la principale saison de culture hivernale, quand les superficies emblavées sont réduites et dispersées.

Pour comprendre la distribution de l'eau à l'intérieur des zones, il a été procédé à la détermination d'un bilan hydrologique, en adaptant l'équation 2 de la façon suivante :

$$I - B - D = E + Pe - P \quad (6)$$

avec :

- I* Les prélèvements d'irrigation des zones, équivalent à *I_{av}* du tableau 17.
- B* Besoins en eau, composés de l'*ET_R* et de la préirrigation, estimés à 13 600 m³ pour la saison hivernale et 15 400 m³ pour la contre saison (Ouvry *et al.*, 1999).
- Pe* Percolation, estimée à 1 mm/jour.

Le tableau 18 donne le bilan hydrologique des zones du système du Sahel de l'Office du Niger de juin 1998 à mai 1999.

Tableau 18 : Bilan hydrologique des zones du système du Sahel de l'Office du Niger de juin 1998 à mai 1999, volumes en m³/s.

Zone	<i>P</i>	<i>I</i>	<i>B</i> (hivernage)	<i>B</i> (contre-saison)	<i>Pe</i>	<i>D</i>
Niono	1,3	10,4	4,7	0,5	0,6	5,9
Molodo	0,9	3,1	3,4	0,02	0,5	0,2
N'Débougou	1,1	15,1	4,4	0,5	0,6	10,7
Kouroumari	1,1	10,5	5,6	0,6	0,7	4,7
Hors casiers	0,8	6,4	3,1	0,4	0,4	3,3
Total Sahel	5,2	45,7	21,1	2,0	2,8	24,9

On remarque l'importance du débit évacué par les drains : 24,9 m³/s en moyenne, soit 785 millions de m³ par an, c'est-à-dire 49 % de la disponibilité en eau (*I* + *P*). Il existe sept drains principaux pour le système du Sahel. Des mesures de débit ont été effectuées par Hamel *et al.* (1996), Barral (1997) et Ouvry *et al.* (1999), (tableau 19). Ces mesures sont d'un grand intérêt pour l'interprétation⁸ des données du tableau 18.

Tableau 19 : Mesures de débit effectuées sur des drains par ARPON (Hamel *et al.*, 1996), Barral (1997) et Ouvry *et al.* (1999).

Drain	Casier	Zone	Superficie (ha)	Débit spécifique (l/s/ha)	Débits (m ³ /s)	Date
Siébougou	Kolodougou	Niono	1 500	1	1,5	8/11/95
Kouia	Kouia/Kolodougou	Niono	1 150	0,65	0,7	5/8/98
Niono-Grüber	Grüber et Retail partiel	Niono	4 000	0,7	2,7	4/10/95
Niono-Grüber	Grüber et Retail partiel	Niono	4 200	0,95	3,9	30/7/96
Niono-Grüber	Grüber et Retail partiel	Niono	4 200	0,95	4,0	20/10/97
Siengo	N'Débougou	N'Débougou	4 300	0,8	3,3	30/8/95
Bolodiani	Boky Wéré	Macina	7 500	0,9	7,2	8/11/95

Barral (1997) estime que le total des volumes évacués par le drain de Niono-Grüber du 1^{er} juin au 15 novembre s'élève à 36,5 millions de m³. Ouvry *et al.* (1999) estiment le volume évacué du 1^{er} juin au 31 décembre 1998 par le drain Kouia à 7,2 millions de m³. Pour la même période, le drain de Niono-Grüber évacuerait 26,4 millions de m³.

On peut donc déterminer la consommation d'eau au niveau de point A ainsi qu'au niveau des zones (tableau 20). Ouvry *et al.* (1999) donnent la consommation de l'eau à l'entrée des partiteurs (*n* = 5) et à l'entrée des arroseurs (*n* = 42) pour la saison des pluies dans la zone de Niono (casiers de Retail, Grüber, Kouia).

⁸ Selon le rapport de MDRE et ME (1999), 12.000 ha de plaines dans l'ensemble de l'Office du Niger sont inondées par des eaux de pluies et de drainage avec une profondeur comprise entre 1 et 6 mètre. En prenant une profondeur moyenne de 2,5 m, ces mares ont une capacité d'environ 300 millions m³ et une évaporation annuelle à peu près équivalente.

Tableau 20 : Consommation de l'eau dans le système du Sahel à l'Office du Niger (en m³/ha/an) pour la saison des pluies '1998/'1999 et pour toute l'année.

Niveau	Consommation Culture d'hivernage m ³ /ha/saison ⁹	Consommation Annuelle m ³ /ha/an
Point A	28 200	34 200
Entrée Zones :		
Niono	23 300	27 700
Molodo	10 300	12 700
N'Débougou	39 500	42 800
Kouroumari	20 900	23 400
Moyenne zones	24 100	27 100
Partiteurs	12 540	
Arroseurs	12 060	
Parcelle (théorique ¹⁰)	13 600	23 240

Les résultats du tableau 20 montrent une forte consommation à l'entrée du système du Sahel (Point A) et à l'entrée des zones par rapport aux besoins théoriques des cultures. Pendant l'hivernage, les débits entrants des zones dépassent de 77 % les besoins en eau au niveau des parcelles. Pour toute l'année, en considérant une superficie en double culture de 10 % de l'ensemble de la superficie cultivée en hivernage, les débits entrants des zones dépassent même de 86 % ces besoins. Pour situer l'origine des pertes, il est intéressant de croiser les données du SERP (Points A, B et C, entrées des zones) avec celles d'Ouvry *et al.* (1999). En effet, Ouvry *et al.* (1999) concluent que la consommation actuelle de l'eau au niveau des partiteurs et des arroseurs est très raisonnable (pour les 42 arroseurs suivis) et même inférieur à l'objectif officiel de l'Office du Niger, c'est-à-dire 12 060 contre 15 000 m³/ha. Cela voudrait dire qu'il est important de faire un suivi des pertes sur le réseau primaire (canal du Sahel, Fala de Molodo) et secondaire (distributeurs, drains principaux) pour déterminer l'origine des pertes importantes dans le réseau.

Ainsi, le croisement des données du SERP (tableau 20) et celles d'Ouvry *et al.* (1999) donne une *efficacité* pendant l'hivernage de $12\,060\text{ m}^3/28\,200\text{ m}^3 = 0,43$. En d'autres termes seulement 43 % de l'eau qui rentre dans le Canal du Sahel arrive dans les arroseurs aménagés. Bien sûr, il faut nuancer cette analyse ; comme indiqué avant, une partie de l'eau « perdue » est destinée aux hors casiers pour la production de riz et de produits maraîchers et à d'autres usages (*cf.* 1.3.3.2). De plus, les données d'Ouvry *et al.* (1999) concernent des arroseurs dans des casiers réaménagés ; dans des casiers non- réaménagés, la consommation est probablement plus importante, diminuant le pourcentage de pertes dans le réseau primaire et secondaire.

Les actions menées par l'Office du Niger actuellement pour diminuer la consommation d'eau sont :

- réhabilitation des périmètres très endommagés,
- participation paysanne à travers un partenariat entre l'Office du Niger et les paysans.

Il est souhaitable de faire un suivi de la distribution de l'eau au niveau du réseau primaire et secondaire, par exemple en fixant des objectifs de consommation en m³/ha. Cet objectif existe déjà au niveau de l'arroseur.

⁹ Ici, l'hivernage de '98/'99. La saison est prise entre avril et novembre.

¹⁰ Selon Ouvry *et al.* (1999) et Keita *et al.* (1999).

Le bilan hydrologique est le calcul élémentaire pour juger les performances d'un système d'irrigation qui nécessite des données fiables en quantité suffisante.

Pour établir un bilan à l'Office du Niger :

- à l'échelle de la zone, il est nécessaire de disposer de toutes les données pour le calcul du bilan. Très souvent, les zones fournissent des données incomplètes.
- au niveau global, on connaît les apports pour l'irrigation pour chaque canal adducteur (Sahel, Macina, Costes Ongoïba), mais le prélèvement de certains utilisateurs (ORS, hors casiers) n'est pas maîtrisé ; de même, la connaissance de la géométrie des *Falas* est approximative.

2.5. La productivité de l'eau

Les prélèvements de l'Office du Niger ont augmenté depuis 1995 (tableau 21). Cette augmentation peut être expliquée par la hausse de la production de riz, imputée à une augmentation de la superficie cultivée dans les aménagements existants¹¹ et aux extensions.

Tableau 21 : Moyennes de prélèvements mensuels de l'Office du Niger (en m³/s).

Année	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Annuel
1989-1994	56	56	62	61	80	80	71	82	123	114	98	63	79
1995-1998	53	52	64	65	67	87	103	102	115	132	87	60	82

Source : SERP (Prélèvements de l'Office du Niger¹²).

On remarque l'augmentation des débits prélevés au démarrage de la culture de riz de saison des pluies (de juin à août). Cependant, la hausse de la production agricole est beaucoup plus importante que l'augmentation de la quantité d'eau prélevée. On peut ainsi déterminer la productivité de l'eau d'irrigation (P_e) :

$$P_e = P_a/I$$

avec :

P_a Production agricole (kg)

I Apports en eau d'irrigation (m³)

Les apports en eau et donc la productivité de l'eau peuvent être calculés à différentes échelles d'un périmètre irrigué. Cette productivité a été déterminée à l'échelle du périmètre¹³ en prenant les données du SERP et à l'échelle des zones, en prenant les résultats des analyses du bilan hydrologique (chapitre 2.4). Les résultats à l'échelle du périmètre sont présentés dans le tableau 22.

¹¹ Selon Keita *et al.* (1999) l'Office du Niger a connu une augmentation de la superficie cultivée de 10.000 ha depuis 1995.

¹² Un débit de 7 m³/s a été retenu pour le canal Costes Ongoïba pour les années 1998 et 1999, faute de données disponibles.

¹³ A l'échelle du périmètre on prend les apports d'irrigation à point A pour les trois canaux adducteurs.

Tableau 22 : Productivité moyenne de l'eau à l'Office du Niger

Années	Superficie ha	Production Tonnes	Prélèvement millions m ³	Productivité de l'eau kg/m ³
1989/1990	47 297	110 795	2 488	0,04
1990/1991	45 143	130 585	2 620	0,05
1991/1992	46 004	161 779	2 364	0,07
1992/1993	46 172	177 670	2 491	0,07
1993/1994	52 721	159 063	2 609	0,06
1994/1995	48 613	214 793	2 287	0,09
1995/1996	51 907	247 634	2 632	0,09
1996/1997	55 520	264 207	2 743	0,10
1997/1998	56 164	287 512	2 365	0,12
1998/1999	54 934	301 541	2 894	0,10

Il faudrait bien entendu tenir compte de la variabilité inter-annuelle de la pluviosité qui influence la demande en eau d'irrigation.

L'augmentation de la productivité de l'eau à l'Office du Niger est due à la hausse de la production de riz. La consommation d'eau par ha n'a guère évolué pendant la décennie.

L'analyse de la productivité de l'eau permet non seulement de suivre l'évolution de l'efficacité de la gestion de l'eau dans le temps, mais donne également l'occasion de faire une comparaison avec d'autres périmètres irrigués ailleurs dans le monde. Kloezen *et al.* (1997), par exemple, donnent une valeur de 0,42 kg/m³ pour la culture de blé dans le système du Alto Rio Lerma au Mexique. Kitamura (1990, cité in Guerra *et al.*, 1998) trouve une valeur de 0,23 kg/m³ pour la culture de riz d'un périmètre irrigué en Malaisie. Ces chiffres sont donnés à titre d'exemple et les termes de référence de cette étude ne permettent pas d'aller plus loin dans l'analyse.

On peut également déterminer la productivité de l'eau à d'autres échelles de l'Office du Niger. Pour l'année 1998/1999, on peut établir la productivité de l'eau P_e à l'entrée des zones du système du Sahel¹⁴. Les données d'Ouvry *et al.* (1999) permettent le calcul de P_e au niveau des partiteurs ($n = 5$) et des arroseurs ($n = 42$).

Le tableau 23 montre une productivité de l'eau relativement élevée au niveau du partiteur et de l'arroseur.

Tableau 23 : Productivité moyenne de l'eau dans le système du Sahel à l'Office du Niger

Niveau	Superficie ha	Production ¹⁵ Tonnes	Prélèvements Millions m ³	Productivité de l'eau kg/m ³
Entrée des zones Sahel	41 649	235 507	1 440	0,16
Partiteurs	1 838	11 029	22,8	0,48
Arroseurs	945	5 671	11,3	0,50

Source : Données SERP (prélèvements), Ouvry *et al.*, 1999 (prélèvements, superficies), Keita *et al.*, 1999 (production).

¹⁴ Le calcul concerne la même période que nous avons prise pour le calcul du bilan hydrologique : de juin 1998 à mai 1999.

¹⁵ Selon Keita *et al.* (1999) le rendement de la zone de Niono s'élèverait à 6 tonnes/ha. Nous avons pris ce chiffre, bien qu'il semble très élevé.

III. L'étiage exceptionnel de 1999

3.1. La cause

A partir de 1982, le barrage hydroélectrique de Sélingué sur la rivière Sankarani en amont de Markala entre en activité. Pour la production d'énergie hydroélectrique, 2,167 milliards de m³ d'eau sont stockés chaque année pendant les crues d'août à septembre. Cette quantité d'eau stockée est gérée de façon à pouvoir compléter le déficit de l'apport du Sankarani nécessaire à la production hydroélectrique (47 MW) même pendant l'étiage. Un planning adéquat du réservoir d'eau devrait permettre de produire de l'énergie hydroélectrique pendant les périodes sèches et chaudes (de mars à juin) en restituant les débits turbinés à l'aval jusqu'à l'arrivée de la crue.

Cette régulation artificielle a amélioré les débits du fleuve pendant l'étiage et plusieurs études ont mis en évidence cet avantage (Soumaguel, 1995 ; Hassane, 1999). Pendant l'étiage, Sélingué apporte plus de 80 % du débit du fleuve à la station de Koulikoro et Markala prélève plus de 40% de cet apport, permettant de maintenir le niveau de l'eau à l'amont du barrage de Markala au-dessus de la cote 300,00 m (HASSANE, 1999). Grâce à cet apport, l'Office du Niger a amélioré son calendrier agricole (introduction de la double culture) et a procédé à des extension : le périmètre sucrier du Sukala est irrigué gravitairement à partir de 1984, et tout récemment le périmètre rizicole du Bewani a été mis en service.

Pendant l'étiage de 1999 (de mars à mai), on constate que le débit du fleuve Niger à Koulikoro est largement supérieur aux deux années précédentes avec des variations très brusques et un arrêt brutal des écoulements à partir du 25 mai. (figure 7). Ainsi, pour satisfaire les besoins énergétiques du Mali, la société « Energie du Mali » chargée de la gestion et de l'exploitation du barrage de Sélingué a turbiné au-dessus des débits habituels dès début mars provoquant ainsi une vidange précoce du réservoir de Sélingué fin mai (figure 8).

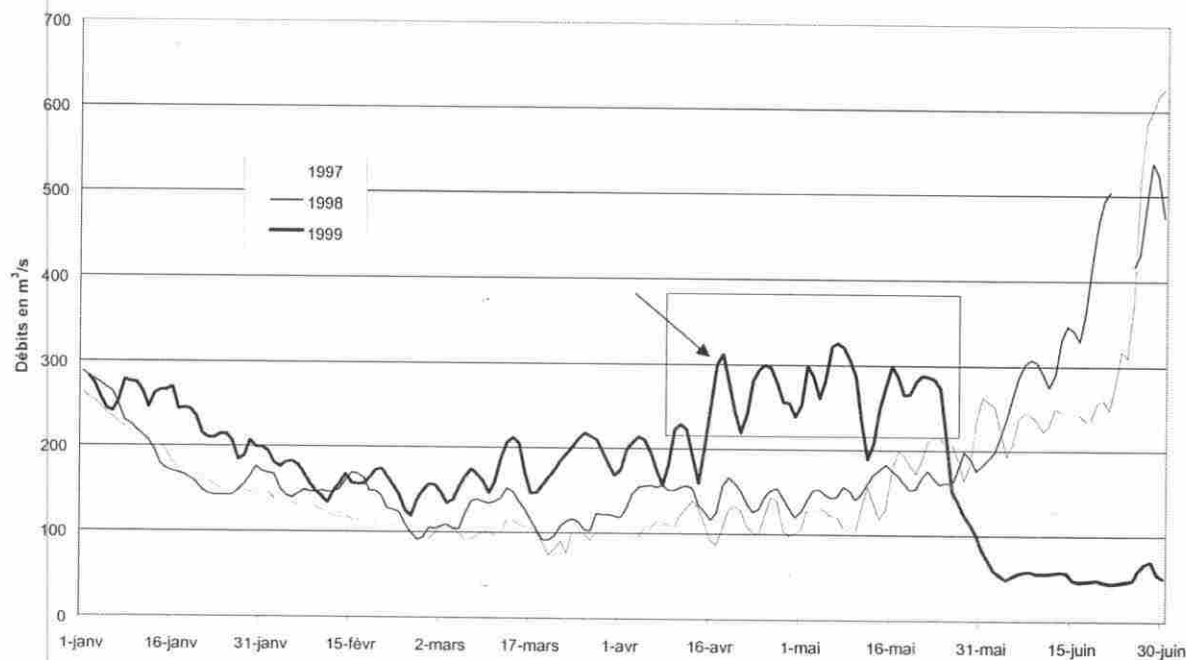


Figure 7 : Débits journaliers (en m³/s) à la station de Koulikoro pour les étiages des années successives 1997, 1998 et 1999. Source : Hassane et al. (1999).

La figure 8 montre que Sélingué a commencé à turbiner fortement à partir de mi-mars en s'écartant largement de l'ordinaire avec des débits¹⁶ supérieurs à 200 m³/s. La vidange du réservoir a duré trois mois jusqu'au 20 mai.

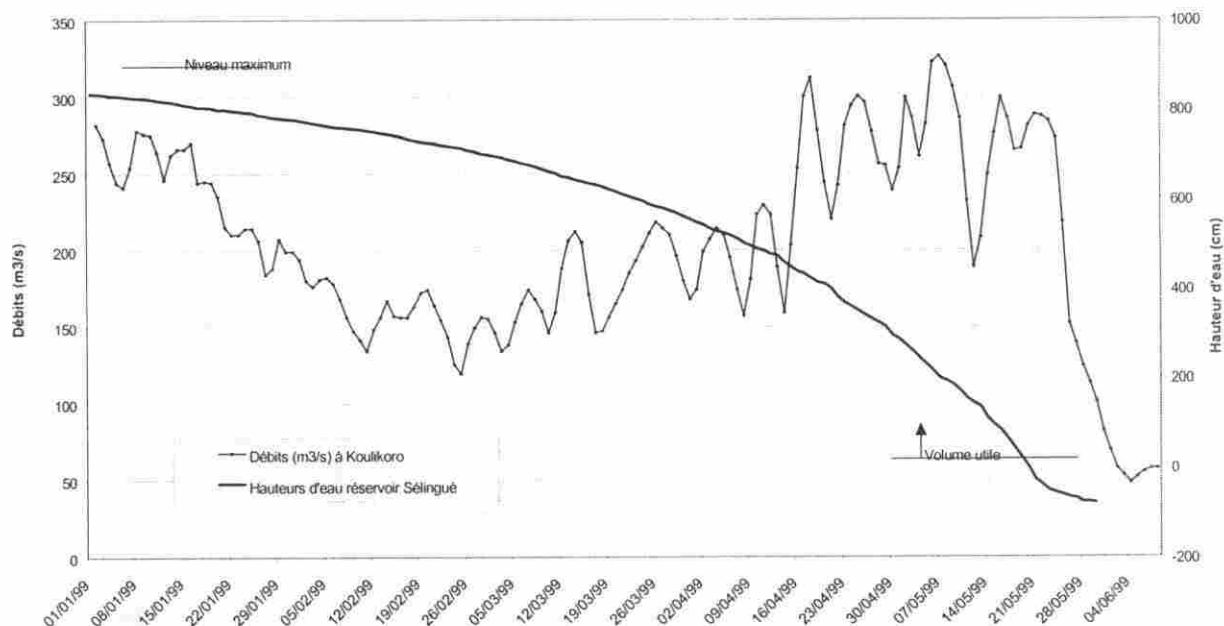


Figure 8 : Débits journaliers à la station de Koulikoro en fonction du niveau d'eau du réservoir à Sélingué. Source : Hassane et al. (1999).

On remarque que le débit à Koulikoro a chuté une fois que le niveau minimal du réservoir de Sélingué était atteint, mais en tenant compte du temps de propagation (estimé à 3 jours en étiage).

La fermeture du barrage de Markala a été décidée le 30 mai, au moment où l'effet de la chute des écoulements sortant de Sélingué était évident, la propagation de l'onde entre Sélingué et Markala étant estimée à 7 jours.

3.2. Mesures d'urgences entreprises par l'Office du Niger

3.2.1. Mesures politiques

Les différents acteurs intéressés par le fleuve (administration publique, chercheurs et exploitants) suffisamment alertés par la situation hydrologique ont participé à une réunion pluridisciplinaire sous l'égide du Ministre de l'Environnement en fin juin. Cette réunion, dont faisait partie l'Office du Niger, a élaboré un diagnostic et a proposé des mesures à court et à moyen terme :

- A court terme, il a été retenu une modification des techniques d'irrigation à l'Office du Niger (pour économiser plus d'eau) et pour le barrage de Sélingué l'arrêt des turbines au moins jusqu'au 15 juillet pour pouvoir atteindre la cote minimale du réservoir, conseillée pour la sécurité de l'ensemble de l'équipement.
- A long terme, la réactivation du comité technique inter-organismes dans le cadre d'une future agence du fleuve Niger et la mise en œuvre d'une politique de communication.

¹⁶ Le débit du Niger à Koulikoro est essentiellement composé du débit du Niger à Banankoro et du Sankarani à Sélingué. Le débit du Niger à Banankoro était de l'ordre de 10 m³/s pendant la période mars-mai 1999.

Ces réunions de haut niveau se sont poursuivies par la suite en dehors de la zone d'urgence et ont abouti aux recommandations et mesures suivantes :

- Créer un comité de gestion de l'eau du barrage de Sélingué associant des représentants des utilisateurs, fonctionnant avec une charte et des outils d'analyse à élaborer basés sur des considérations d'ordre technique et économique.
- Confier l'orientation de la politique énergétique à un comité national représentatif des forces politiques et économiques. En parallèle, promouvoir des études prospectives sur les besoins énergétiques sur le moyen et long termes.
- Promouvoir l'amélioration des outils de production d'énergie et d'utilisation de l'eau.
- Mettre en œuvre une politique de communication sur la situation du fleuve Niger en direction des usagers du fleuve.

3.2.2. Mesures techniques

La pénurie d'eau a donc commencé à se manifester à Markala fin mai 1999, entraînant les actions suivantes au barrage de Markala :

- a) Fermeture totale du barrage de Markala (488/488 hausses fermées) le 31 mai 1999 pour observation.
- b) Le niveau descendait toujours mais permettait le déclenchement du remplissage des Falas avec un débit faible par prudence : $Q_N > Q_0$ avec Q_N étant le débit d'apport du fleuve Niger et Q_0 le débit dérivé par l'Office du Niger au Point A pour l'irrigation.
- c) Remplissage des Falas avec un débit fort, les débits au Point A dépassant les débits d'apport du fleuve de l'époque durant tout le mois de juin ($Q_N < Q_0$). Cela a entraîné la vidange totale du volume stocké en amont du barrage fin juin.
- d) Le 24 juin, ouverture d'une hausse (1/488) pour laisser passer un débit « sanitaire » pour les utilisateurs à l'aval de Markala.

Les stratégies adoptées pour guider les paysans par rapport aux mesures à pratiquer ont été décidées en réunion de direction et concernent :

- la suspension des semis,
- l'arrêt des préirrigations,
- l'entretien seul des pépinières,
- l'irrigation sans drainage pour les paysans qui sont déjà avancés,
- l'information en continu hebdomadaire du SERP à Markala de l'évolution des besoins d'eau,
- la réouverture de l'ancienne station de pompage pour le périmètre sucrier du SUKALA.

3.3. Conséquences de l'étiage de 1999 sur les zones aménagées de l'Office du Niger

3.3.1. Conséquences psychologiques

La pénurie d'eau a commencé à se manifester à Markala en fin mai début juin. L'Office du Niger, suite à une réunion de crise, a décidé des mesures appropriées largement diffusées en direction des paysans. Il est difficile d'évaluer l'impact des nouvelles intervenues en début de campagne, période sensible à une pénurie prolongée d'eau.

Il a été constaté deux scénarios distincts :

- Sur les périmètres irrigués à partir des canaux du Macina et du Sahel, excepté le Kouroumari, les paysans observaient une contradiction entre l'information de crise d'eau annoncée et son abondance renforcée par les pluies précoces.

- Dans la zone de Kouroumari située sur le bouchon du canal du Sahel et dans les aménagements du Bèwani et de la SUKALA, alimentés par le canal Costes Ongoïba, la pénurie d'eau annoncée était réelle. La SUKALA était contrainte d'activer son ancienne station de pompage située sur le canal du Sahel pour compléter le déficit d'eau. Le périmètre récent du Bèwani a vécu la pénurie dans sa totalité. Les paysans étaient de nouveaux exploitants pas très expérimentés dont les villages sont en général très éloignés de leurs parcelles. Ils avaient adopté comme solution de suspendre la culture de riz pour cultiver leurs habituels champs de culture sèche. Ils étaient démobilisés et dispersés.

3.3.2. Conséquences hydrauliques au Barrage de Markala

A la mi-mai, par mesure de précaution l'Office du Niger a décidé de remplir les *Falas*, les bras morts du fleuve Niger utilisés comme canaux d'alimentation des zones d'irrigation. Cela a nécessité le rehaussement du plan d'eau à plus de 20 cm au-dessus de la cote de consigne (300,30 m selon SOGREAH, 1997) (figure 9).

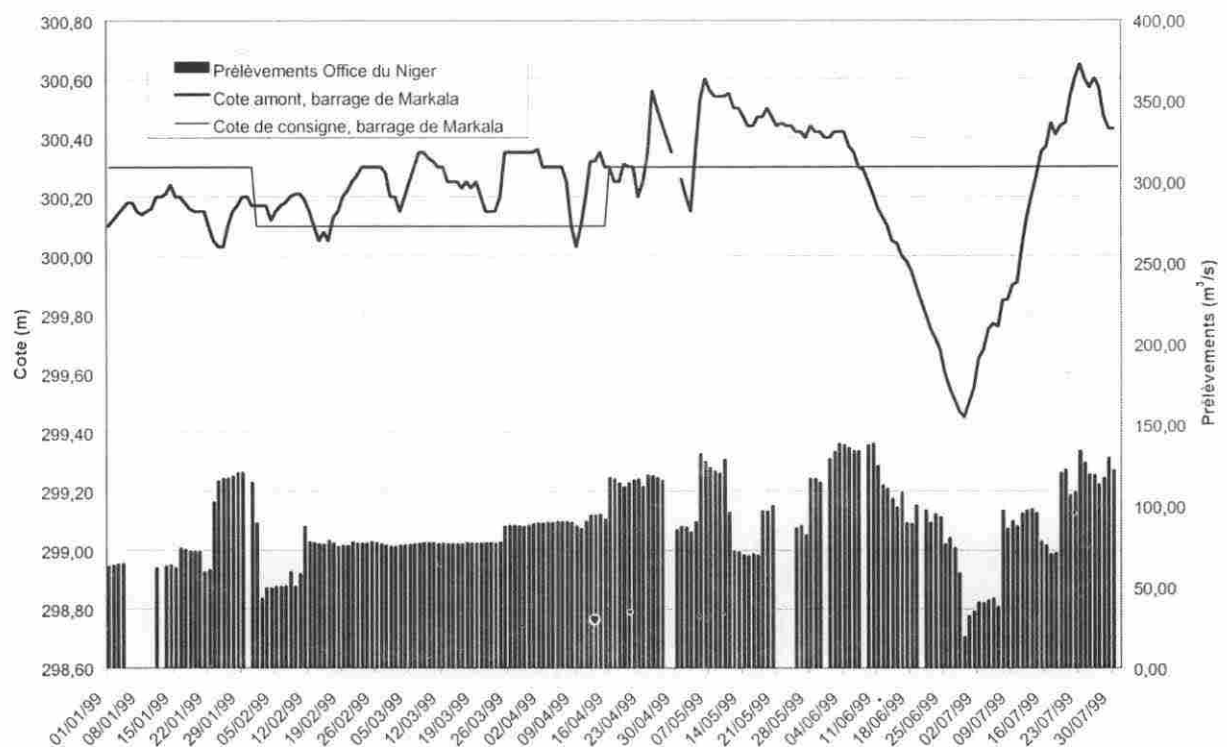


Figure 9 : Evolution du plan d'eau amont du barrage de Markala et des débits prélevés par l'Office du Niger (canaux du Sahel, Macina et Costes Ongoïba) en 1999. Source : Hassane et al. (1999).

A partir de mi-mai, on constate une baisse du niveau d'eau en amont du barrage et le 28 mai le plan d'eau est descendu sous la cote de consigne. Malgré la fermeture totale du barrage, le niveau d'eau a continué de descendre de 3 cm par jour durant tout le mois de juin pour être le minimum de 299,45 m le 29 juin. La tendance s'est ensuite inversée et le niveau d'eau est remonté à raison de 6 cm par jour en moyenne. Le 15 juillet, le plan d'eau se situait à 300,35 m, donc au-dessus de la cote de consigne. Les conséquences de cette situation ont été les suivantes :

- La cote en amont du barrage de Markala s'est trouvée durant 37 jours (du 8 juin au 14 juillet) en dessous de la cote de consigne.
- La cote devient alors inférieure à la cote nécessaire (300,10 m) pour l'alimentation du canal Costes Ongoïba du 14 juin au 11 juillet, soit 28 jours.

- En revanche, le volume d'eau en amont du barrage de Markala a permis de continuer à fournir suffisamment d'eau pour la culture de riz dans les zones irriguées par les canaux du Sahel et du Macina pendant cette période de crise. Ensuite, le 30 juin, une pluie importante est intervenue dans les zones de l'Office du Niger, réduisant les besoins en eau du périmètre. En même temps, le débit à Koulikoro a commencé à reprendre à partir de début juillet : le 7 juillet, on constate un débit de $110 \text{ m}^3/\text{s}$ signalant la fin de la période de crise.

En utilisant l'abaque du SOGREAH (1992) reproduit dans le tableau 6, on peut calculer le potentiel de stockage qu'a utilisé le gestionnaire du barrage pour continuer à alimenter les canaux du Sahel et Macina, sur les bases suivantes :

- Le 26 mai 1999 constitue le premier jour d'écoulement à Koulikoro, contribuant à l'alimentation du plan d'eau après la fermeture du barrage le 30 mai, considérant le temps de propagation de 4 jours. Le débit est de $152 \text{ m}^3/\text{s}$.
- A ce jour la cote en amont du barrage de Markala était de 300,42 m,
- La cote minimum de 299,45 m en amont du barrage de Markala a été atteinte le 29 juin 1999,
- Le débit à Koulikoro était de $55 \text{ m}^3/\text{s}$ à ce jour-là.

L'abaque donne alors une différence de volume entre le 26 mai et le 29 juin 1999 de l'ordre de 110 millions de m^3 , constituant en quelque sorte une réserve d'eau. Le débit moyen à Koulikoro entre le 25 mai et le 29 juin étant de $62 \text{ m}^3/\text{s}$, le gestionnaire devait ajouter $43 \text{ m}^3/\text{s}$ de la réserve pour parvenir au débit moyen des prélèvements de cette période ($105 \text{ m}^3/\text{s}$). La réserve pourrait dans ce cas lui fournir ce débit pendant 31 jours. Ceci explique la forte diminution du débit prélevé les 29 et 30 juin (figure 9). Heureusement, les différentes zones ont reçu d'importantes pluies fin juin¹⁷, diminuant fortement les besoins en eau d'irrigation.

Pour placer les mois de juin et juillet dans le contexte global de l'étiage 1999, les prélèvements mensuels de l'Office du Niger ainsi que les apports du fleuve Niger ont été calculés, comme le montre le tableau 24.

Tableau 24 : Débits moyens mensuels d'étiage du fleuve Niger à Koulikoro (m^3/s) et les prélèvements de l'Office du Niger (m^3/s).

Année	Année	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Débit à Koulikoro	1999	239	158	175	233	243	52	405	1683
Prélèvements	1999	80	67	77	98	89	103	95	
Prélèvements	1989-1994	56	56	62	61	80	80	71	82
Prélèvements	1995-1999	59	55	66	72	71	90	101	102

Source : SERP (Prélèvements de l'Office du Niger¹⁸) ; DNHE (Débit à Koulikoro).

On remarque que le débit mensuel en 1999 a été en général au-dessus de la moyenne 1995-1999, sauf en juillet. Ceci est dû au fait que le gestionnaire du barrage a mis quinze jours (jusqu'au 15 juillet) pour retrouver la cote de consigne.

En aval de Markala, les populations riveraines du fleuve ont observé beaucoup d'eau quand ils ne s'y attendaient pas (de mars à mai) et subitement une chute des débits du fleuve à partir de la fermeture totale du barrage de Markala durant tout le mois de juin.

¹⁷ La zone de Niono, par exemple, a reçu 29,5 mm le 25 juin et 77,9 mm du 1 au 3 juillet 1999.

¹⁸ Un débit de $7 \text{ m}^3/\text{s}$ a été retenu pour le canal Costes Ongoïba pour les années 1998 et 1999 faute de données disponibles. Nous disposons de données seulement pour la période mai-juillet 1999.

3.3.3. Conséquences hydrauliques à l'intérieur de l'Office du Niger

Le système du Sahel

L'opération du remplissage du Fala de Molodo a commencé début juin par la fermeture totale du barrage de Markala et une augmentation de l'ouverture des cinq passes, passant de 0,5 m jusqu'à 1,4 m ! Le gestionnaire avait alors la volonté de « remplir » le *Fala* en vue de constituer une réserve d'eau¹⁹, en utilisant le volume stocké dans le fleuve en amont du barrage de Markala.

Ce transfert d'eau du barrage dans le *Fala* s'est manifesté par une chute brutale du niveau de l'eau en amont du Barrage de Markala. Les débits ont atteint 149 m³/s le 9 juin (98 m³/s sur le Sahel, 12 m³/s sur Costes Ongoïba et 39 m³/s sur le Macina) jusqu'à la vidange du barrage en fin juin (8 m³/s sur le Sahel, 0 m³/s sur Costes Ongoïba et 11 m³/s sur le Macina) (figure 10).

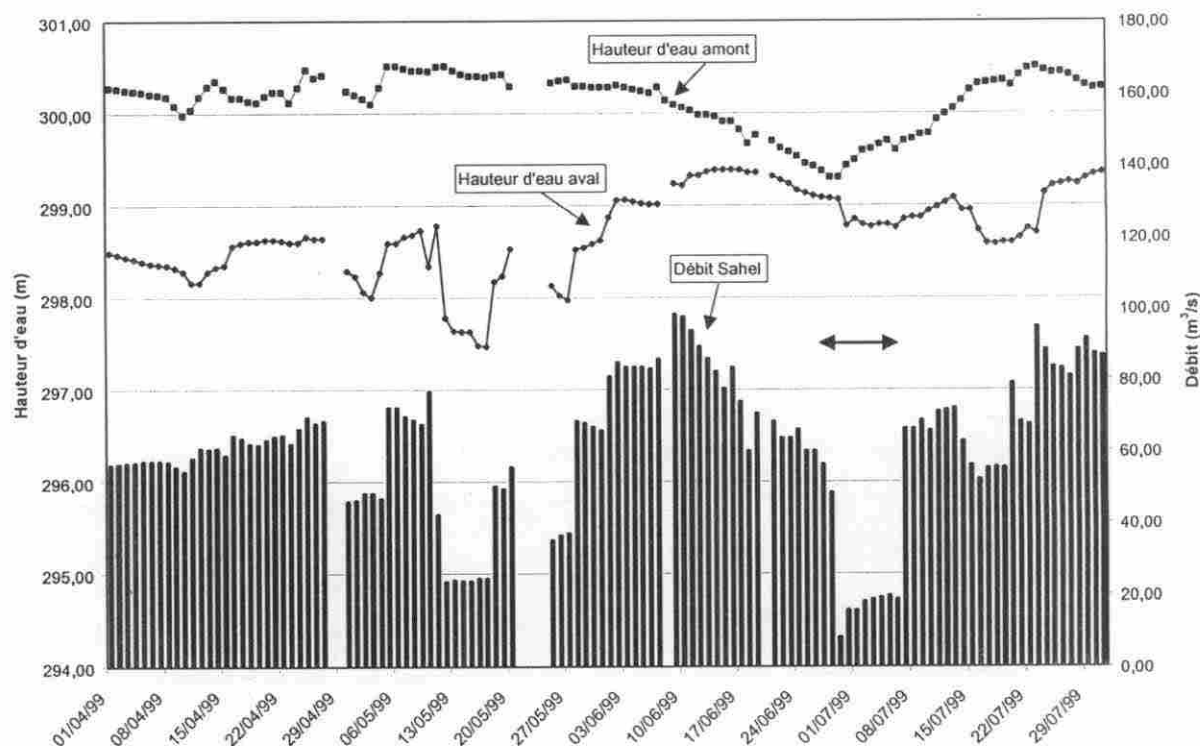


Figure 10 : L'impact de la chute du niveau d'eau à l'amont du barrage de Markala sur les hauteurs d'eau (en m) à l'amont et à l'aval de la prise du canal Sahel et sur le débit (en m³/s).

Cette figure montre une baisse des hauteurs d'eau en amont et en aval de la prise, accompagnée par une diminution de la perte de charge, entraînant une chute du débit du canal du Sahel. Le canal du Sahel a pu récupérer son débit habituel pour la période seulement vers le 20 juillet.

¹⁹ Le volume stocké dans le *Fala* de Molodo en fonction des hauteurs d'eau est inconnu à l'Office du Niger.

La comparaison des hauteurs d'eau des trois régulateurs principaux situés sur le canal du Sahel (Points A, B et C) montre l'effet de la régulation au Point A sur le plan d'eau dans le Fala de Molodo aux Points B et C (figure 11).

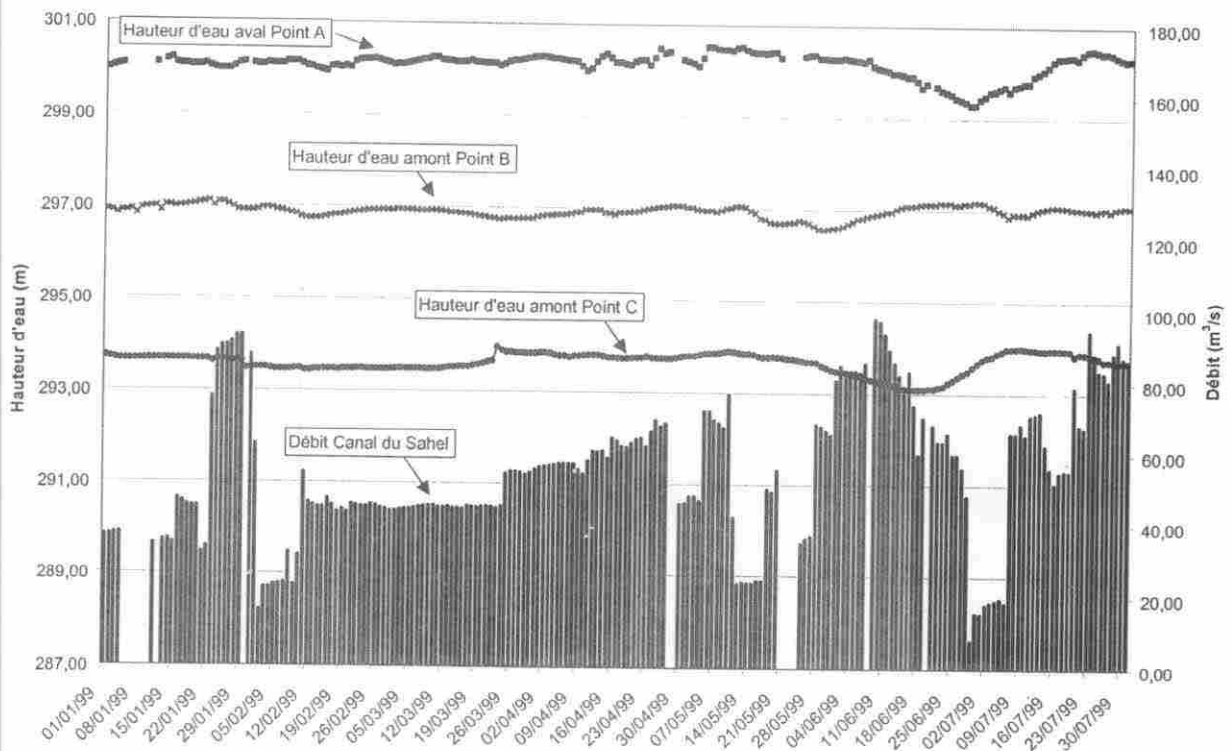


Figure 11 : Impact de la régulation du Canal du Sahel au Point A (hauteur d'eau, débit) sur le plan d'eau dans le Fala de Molodo aux Point B et Point C.

Pendant le mois de mai, le débit du Canal du Sahel était relativement faible, entraînant une baisse de la hauteur d'eau aux Point B (mai) et Point C (juin). Au début de la crise d'eau (fin mai), le gestionnaire du barrage a donc commencé à rectifier cette situation en augmentant le débit du Canal du Sahel. Les plans d'eau aux Points B (juin) et C (juillet) ont effectivement répondu par une hausse, comme le montre la figure 11, avec un léger retard lié au temps de propagation. Pendant cette période, correspondant avec le mois de juin, le débit du Canal du Sahel était donc supérieur aux débits fournis aux zones. A la mi-juin, le débit au barrage de Markala a commencé à diminuer, le stock à l'amont du barrage ne pouvant plus supporter un tel débit. La chute du débit début juillet à l'entrée du canal est ensuite répercutée le long du canal aux Points B et C.

La mise en charge par précaution du Fala de Molodo s'est manifestée par une augmentation du niveau d'eau au point B de plus de 30 cm au-dessus de la cote de consigne au cours du mois de juin ; au même moment au point C, on observe que le plan est à 70 cm sous la cote de consigne (293,80), un déficit lié au faible débit du mois de mai (figure 11). C'est le 4 juillet que le Point C atteint de nouveau cette cote de consigne.

On constate cependant quelques anomalies plutôt imputables à la régulation du réseau primaire :

- Au régulateur du point B, on remarque sur la figure 11 un déficit de cote très marqué et long durant la dernière moitié du mois de mai.
- Au régulateur du point C, on constate une cote très en dessous de la cote de consigne avec un très grand écart et pendant plus de 45 jours de mi-mai à fin juin. Cette situation est manifestement une réelle crise d'eau mais indépendante du niveau d'eau dans le fleuve puisque qu'à ce moment, le fleuve Niger apportait assez d'eau.

L'impact de la gestion du *Fala* de Molodo sur les prélèvements des zones peut être déterminé par une analyse des débits des différents distributeurs. La figure 12 montre le débit du distributeur Retail pendant la période de crise.

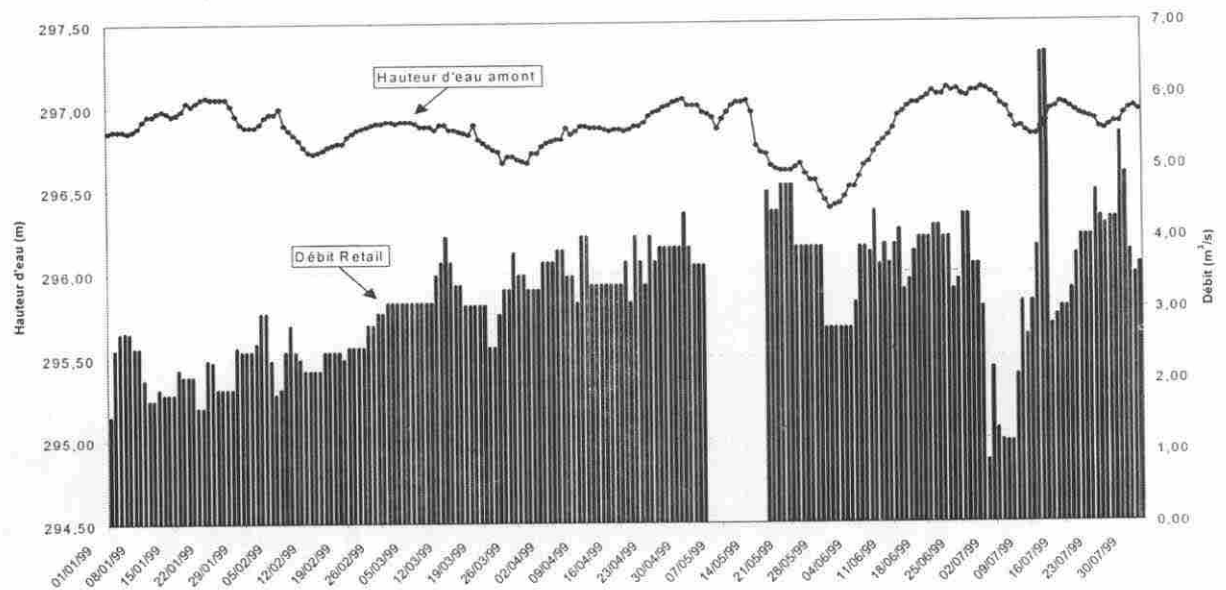


Figure 12 : Débits prélevés par le distributeur de Retail au démarrage de la saison hivernale en 1999, en fonction de la hauteur d'eau à l'amont (en m^3/s).

Pendant le mois de mai, on constate une diminution du débit prélevé, lié à la baisse de la hauteur d'eau dans le *Fala* de Molodo. On avait vu que cette baisse n'était pas liée à un manque d'eau dans le fleuve, mais plutôt à des raisons internes à l'Office du Niger (entretien du réseau,...). Une deuxième chute du débit a eu lieu le 30 juin, suite à d'importantes pluies sur la zone de Niono. Il n'y a pas eu d'impact négatif de la pénurie d'eau dans le fleuve Niger sur les prélèvements du distributeur de Retail. Ceci s'applique également pour les distributeurs de Siengo et N'Débougou, situés sur le canal Grüber Nord.

La situation au Point C, à savoir une cote réelle inférieure à la cote de consigne, a eu un impact direct sur les prises d'eau dans la zone de Kouroumari. Prenant le distributeur de Kogoni comme exemple, on remarque le faible débit dans ce canal pendant le mois de juin (figure 13).

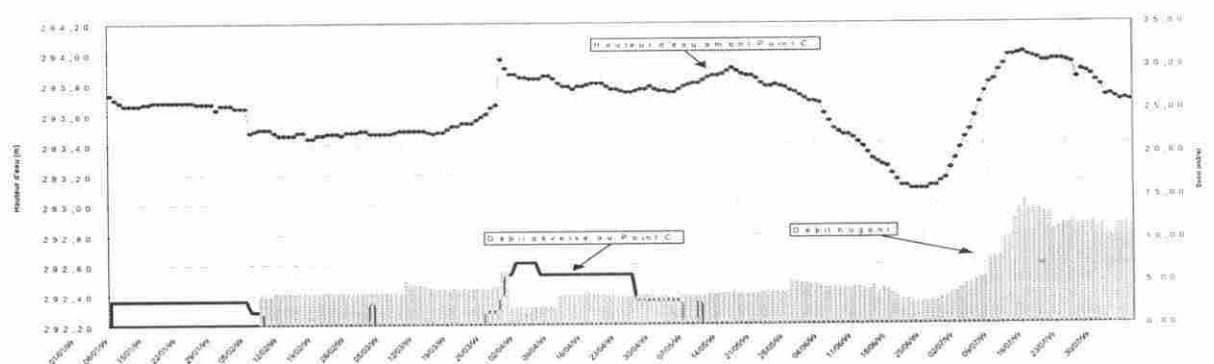


Figure 13 : Débits prélevés par le distributeur de Kogoni au démarrage de la saison hivernale en 1999, en fonction de la hauteur d'eau à Point C et le débit déversé à ce Point (en m^3/s).

On remarque également la fermeture du déversoir au Point C à partir du début de mai 1999, signe de la pénurie d'eau.

Canal du Macina

Sur la figure 14, on peut constater que l'Office du Niger a réussi à maintenir un débit relativement important pour la zone du Macina au moment où la baisse du niveau du fleuve était critique.

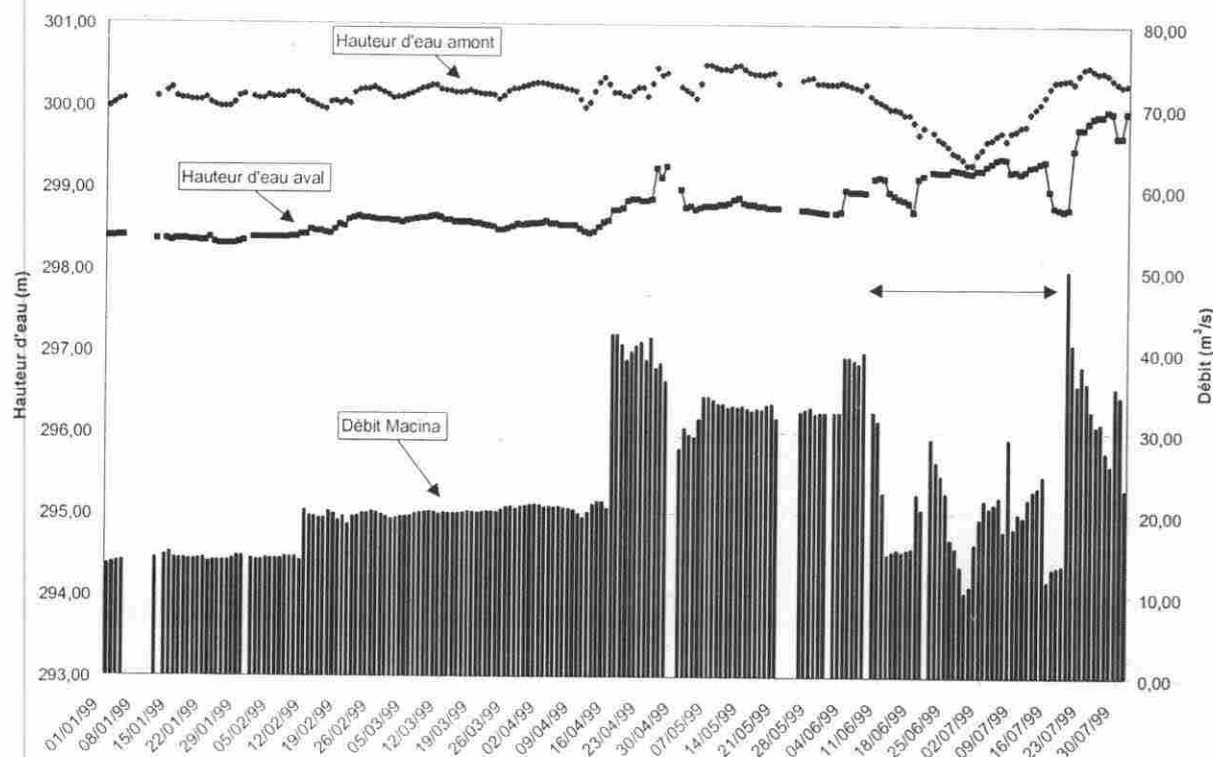


Figure 14 : L'impact de la chute du niveau d'eau à l'amont du barrage de Markala sur les hauteurs d'eau à l'amont et à l'aval (en m) de la prise du canal Macina et sur le débit (en m^3/s).

Le débit du canal du Macina a diminué à partir du 10 juin et a oscillé autour de $20 \text{ m}^3/\text{s}$ jusqu'au 18 juillet avant de reprendre un débit de l'ordre de 30 à $40 \text{ m}^3/\text{s}$. Ceci est dû à la diminution de la perte de charge, c'est-à-dire la différence entre la hauteur d'eau à l'amont et celle à l'aval de l'ouvrage. Pendant la même période en 1998, le débit moyen était de l'ordre de $30 \text{ m}^3/\text{s}$.

Même si le déversoir de sécurité de Kolongo situé sur le Fala était fermé à partir de mi-avril, les débits des distributeurs de Boky Wéré et de Kokry ont diminué considérablement. Le débit de Boky Wéré a ainsi diminué de $9,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (du 1^{er} mai au 10 juin) à $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$ à partir du 11 juin (du 11 juin au 15 juillet). On observe aussi des fluctuations importantes du niveau d'eau avec des écarts qui dépassent souvent 15 cm, perturbant le fonctionnement des vannes automatiques des prises de Boky Wéré et surtout Kokry (fonctionnant entre les cotes 297,80 et 298,40 m). Ce mauvais fonctionnement des vannes entraîne aussi des variations importantes dans le débit de ces prises.

Canal Costes Ongoïba

Le canal Costes Ongoïba est un canal artificiel de section trapézoïdale et uniforme ne possédant pas une capacité de stockage très important. Ce manque de réserve couplé à une élévation importante des terres irriguées par ce canal ont aggravé la pénurie d'eau pour les périmètres dépendants. La cote en amont du barrage de Markala s'est trouvée durant 28 jours (du 14 juin au 11 juillet) en dessous de la cote nécessaire (300,10 m) pour l'alimentation gravitaire du canal Costes Ongoïba (figure 15).

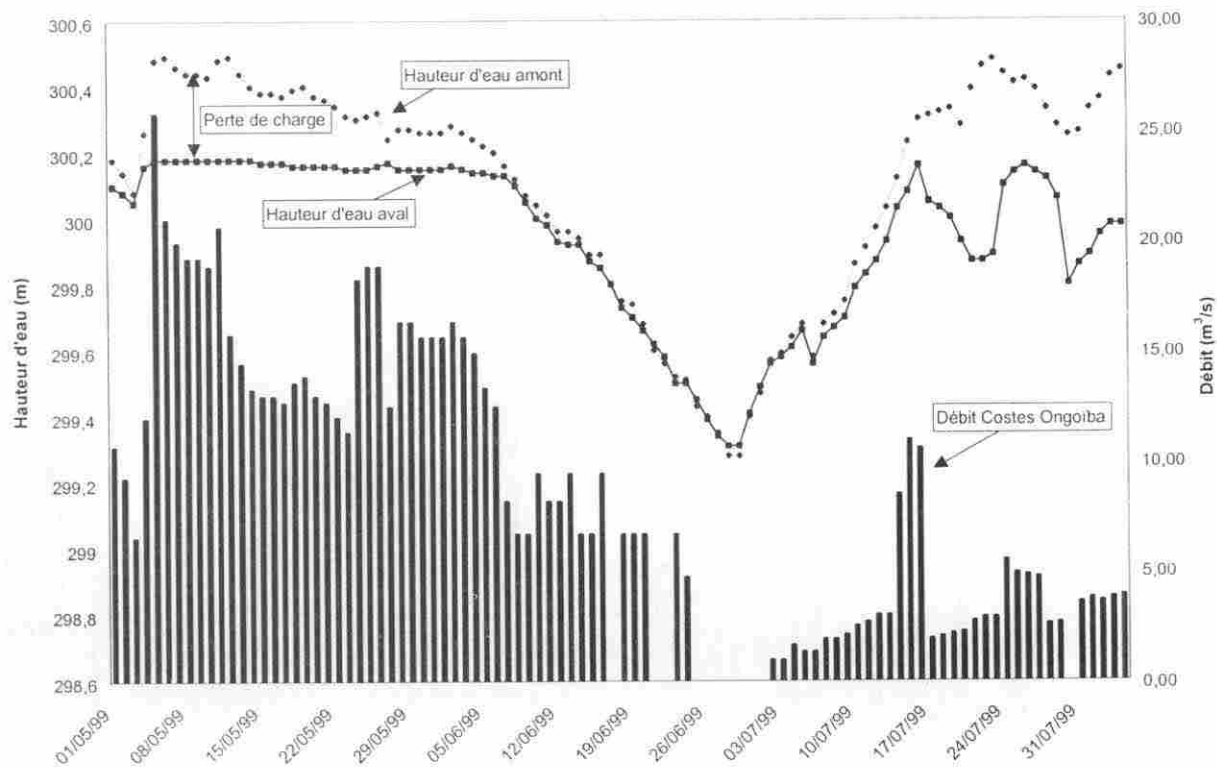


Figure 15 : L'impact de la chute du niveau d'eau à l'amont du barrage de Markala sur les hauteurs d'eau à l'amont et à l'aval (en m) de la prise du canal Costes Ongoïba et sur le débit (en m³/s).

Cette figure montre que la perte de charge de la prise du canal Costes Ongoïba, qui est déjà beaucoup plus faible que dans les cas des canaux du Sahel et du Macina, devient presque nulle, entraînant une chute du débit prélevé. Pendant cette période, le débit du canal Costes-Ongoïba est donc fortement perturbé.

3.3.4. Conséquences sur le calendrier agricole

Le calendrier agricole officiel de l'Office du Niger s'étale d'avril à mars et comporte trois systèmes d'opérations (*cf.* annexe 3) :

- Le système intensif très soigné avec un respect strict des techniques agricoles, qui s'étale d'avril à mars de l'année suivante. Les semis des pépinières sont prévus de mi-mai à mi-juillet.
- Le système semi-intensif moins strict sur les techniques culturales, qui s'étale sur la même période que le système intensif. Les semis en ligne et à la volée s'étalent de mi-mai à mi-juillet.
- La contre saison sèche qui dure d'octobre à mai avec semis des pépinières en février.

Les activités agricoles de la contre saison s'achèvent en avril, cette opération ne peut être influencée par l'étiage survenu à partir de début juin.

Pour les systèmes intensif et semi-intensif, la réalité sur le terrain est très imprécise. Les données relatives collectées par les zones et centralisées au SERP ne sont pas toujours complètes et homogènes. Cependant, la Direction de l'Aménagement et du Développement Rural (DADR) fournit un état d'avancement décadaire qui a permis d'obtenir les renseignements consignés dans le tableau 25.

Tableau 25 : Aperçu de l'état d'avancement du repiquage du riz au cours de la campagne agricole 1999 à l'Office du Niger. Les chiffres entre parenthèses expriment le pourcentage de la superficie repiquée par rapport à la superficie prévue.

Zone	Superficie prévue (ha)	Etat d'avancement					
		10 juillet		20 juillet		31 août	
		ha	%	ha	%	ha	%
Macina	12.365	2.465	20	5.687	46	11.545	93
Niono	9.301	1.185	13	3.730	40	9.142	98
Molodo	7.172	265	4	1.200	17	6.750	94
N'Débougou	10.060	780	8	780	8	9.885	98
Kouroumari	11.232	3.100	28	4.085	36	11.044	98
Béwani	1.545	0	0	12	1	931	60
Total	51.675	6.489	13	15.494	30	48.098	93

Source : Office du Niger direction générale DADR-SCR-SE, 10 juillet, 20 juillet, et 31 août 1999.

En considérant comme indicateur d'avancement de la campagne le repiquage qui officiellement s'étend du 5 juin au 5 août, le tableau ci dessus indique un retard de trois semaines. La première décade de juillet correspondant à la mi-parcours du délai de repiquage, on constate que 13 % du total prévu a été repiqué et 15 jours avant la fin de la date prévue pour la fin du repiquage, la superficie totale repiquée est de 30%.

On constate un retard très remarquable sur le démarrage des travaux sur le périmètre de Béwani.

IV. Conclusions et recommandations

Il existe de nombreux projets d'extension de la superficie aménagée à l'Office du Niger. Le schéma directeur de l'Office du Niger donne une surface cultivable de 105 000 ha sans modifier les ouvrages existants du réseau primaire (barrage de Markala, prises du Point A). En 1998, l'eau prélevée au barrage de Markala irrigue une superficie aménagée de 56 675 ha, presque 15000 ha de hors casiers et 3 000 ha de riz en submersion contrôlée (Office Riz Ségo). L'extension potentielle est donc de l'ordre de 30 000 à 50 000 ha. Les ambitions de l'Office du Niger ne s'arrêtent pas là ; le schéma directeur envisage une superficie aménageable de deux millions d'hectares environ.

Pour prétendre à des extensions sans modifications des ouvrages principaux, il sera nécessaire d'un côté d'augmenter les prélèvements et de l'autre côté de diminuer la consommation d'eau qui en 1998 au point A s'élevait à 28 200 m³/ha pour la culture de riz de saison des pluies. La diminution de la consommation d'eau passe par une *meilleure gestion de l'eau* et l'Office du Niger cherche à ne pas dépasser 15 000 m³/ha de riz à l'échelle de l'arroseur. L'analyse montre que cet objectif a pu être atteint sur un certain nombre d'arroseurs, notamment dans les casiers réaménagés. Il est important maintenant de fixer des objectifs allant dans le même sens sur le réseau primaire, secondaire (distributeurs) et tertiaire (partiteurs). C'est à ces niveaux qu'il semble y avoir le plus de pertes puisque seulement 43 % de l'eau qui est prélevée au barrage de Markala pendant la campagne d'hivernage arrive dans les arroseurs aménagés de l'Office du Niger. La différence (57 %) n'est pas totalement perdue car elle permet d'irriguer 15 000 ha de hors casiers, produisant du riz et des produits maraîchers. De plus, la remise en eau des *falas* a permis aux habitants de la zone de développer de nombreuses activités productives (élevage, pêche, exploitation des ressources ligneuses).

Il existe d'autres contraintes qui limitent l'extension de l'Office du Niger. *La disponibilité en eau du fleuve Niger* pose problème surtout en période d'étiage (janvier à juin). Le débit moyen mensuel du fleuve Niger de février à mai est en dessous de 160 m³/s. Il est donc difficile de fournir un débit plus important au démarrage de la campagne d'hivernage sans aménagement supplémentaire sur le fleuve Niger. En période de crue, les ressources en eau du fleuve Niger sont beaucoup plus importantes et c'est plutôt *l'infrastructure hydraulique*, notamment la capacité des canaux qui limite les prélèvements. Le débit maximal des trois canaux principaux combinés s'élève à 173 m³/s. Enfin, le *réseau de drainage* ne semble pas en mesure de faire face aux excès d'eau d'irrigation et on constate des problèmes d'engorgement. Ceci peut être résolu par une amélioration du réseau de drainage (construction des drains, désherbage), mais également par une meilleure gestion de l'eau, diminuant la quantité d'eau qui termine dans les drains.

Pour étudier les contraintes imposées pendant l'étiage aux prélèvements de l'Office du Niger, nous avons analysé la gestion de l'eau en 1999, suite à une pénurie d'eau dans le fleuve Niger du 30 mai au 14 juillet, avec des débits en dessous de 60 m³/s à Koulikoro. Dans la zone irriguée de l'Office du Niger, l'étiage de 1999 a sévèrement touché les utilisateurs du canal Costes Ongoïba, en particulier le nouveau périmètre Bévani de 1 500 ha et la compagnie sucrière SUKALA. Cette compagnie a dû réactiver son équipement de pompage pour garantir son irrigation. Les autres périmètres prélevant de l'eau sur les *falas*, commandés plus facilement par le barrage de Markala car plus bas, ont pu éviter la crise grâce à la mesure du SERP (Service d'Entretien du Réseau Primaire) qui a consisté à stocker de l'eau en amont du barrage, dans les *falas*, et aux pluies précoces et abondantes de la saison hivernale 1999. Cependant, on a pu constater des pénuries d'eau en mai et juin dans les zones de Niono, Molodo, N'Débougou et surtout Kouroumari. La capacité de stockage en amont du barrage est connue (SOGREAH, 1992), contrairement à celle des *Falas*. Une étude pour déterminer cette capacité devrait être entreprise pour quantifier le tampon dont dispose le SERP dans l'approvisionnement des périmètres irrigués.

Depuis juin 1998, l'Office du Niger a engagé un effort très important de collecte et de communication des données hydrauliques et agronomique centralisées au SERP. Ces données si chèrement collectées devraient être valorisées et exploitées pour les prises de décision :

- Pour améliorer l'articulation de la gestion de l'eau entre le SERP et les zones, l'Office du Niger a formalisé la collecte de données (hauteurs d'eau, débits) pour toutes les prises de distributeurs. Il est important d'établir régulièrement un bilan hydrologique (une fois par semaine, par exemple) pour déterminer l'efficacité de la gestion de l'eau du réseau primaire (entrées, prélèvements, pertes, pluie). Notre analyse montre qu'il manque encore des données pour établir correctement ce bilan : certains ouvrages ne sont pas équipés d'échelles, d'autres ne sont pas encore calibrés. Il est donc recommandé de mener une campagne de calibrage (par mesures de jaugeage) pour combler ces lacunes.
- Il est recommandé de publier un annuaire « gestion de l'eau » avec des *indicateurs* pertinents (productivité de l'eau, efficacité) pour évaluer les performances du réseau en vue de consolider les acquis et améliorer la gestion de l'eau à l'Office du Niger.
- Pour chaque zone, le même système d'information (bilan hydrologique, annuaire) peut être établi.
- La quantité d'eau évacuée dans le temps et dans l'espace par le réseau de drainage à l'Office est mal connue. Il serait souhaitable de faire une étude sur le fonctionnement de ce réseau pour mieux identifier l'origine des pertes dans le réseau d'irrigation.
- La constitution d'une base de données est également une opportunité pour établir une communication plus concrète entre les gestionnaires de l'eau et les utilisateurs. Ainsi, l'utilité de la collecte et de l'analyse des données est évidente pour ceux qui sont impliqués dans la production de ces informations (et pourquoi ne pas impliquer les paysans ?). Cette communication peut aboutir à un calendrier agricole et à un approvisionnement en eau consensuel, évitant certaines pertes. Les pertes se produisent surtout en début et fin de campagne et en contre-saison, quand les superficies emblavées sont moins importantes. Cette concertation ne devrait pas se limiter au seul niveau de l'arroseur, mais devrait s'étendre aux partiteurs et distributeurs, par exemple à travers les comités paritaires.
- Dans les arroseurs, il n'existe guère de communication entre l'aiguadier et le chef d'arroseur. Leurs tâches nécessitent beaucoup de déplacements et une constante disponibilité. Or, les aiguadiers manifestent leur sous-équipement en moyens de déplacement, de même que le chef d'arroseur bénévole élu sans aucune gratification. Il est donc difficile d'établir une communication efficace pour un pilotage de l'arrosage (tour d'eau, calendrier agricole) et pour obtenir les renseignements essentiels comme les superficies emblavées qui sont nécessaires pour déterminer les besoins en eau des zones.

La pénurie d'eau en 1999 a montré la dépendance de l'Office du Niger vis à vis des apports du fleuve Niger et notamment les débits turbinés au barrage de Sélingué en étiage. Or, il s'avère qu'il n'existe pas de communication formelle des données de l'amont, même si ces données sont nécessaires pour assurer la sécurité hydraulique des périmètres irrigués et même celles du barrage. De plus, le fonctionnement du barrage en étiage influence le régime hydrologique du fleuve à l'aval de Markala (le delta intérieur du Niger, les besoins en eau de Niamey,...) : le manque d'eau dans le fleuve en juin 1999 s'est traduit par une fermeture totale du barrage à Markala pendant un mois. Il est donc important de prendre en compte les besoins à l'aval dans la gestion de Markala.

Une gestion intégrée de l'ensemble des aménagements hydrauliques sur le fleuve Niger s'impose pour satisfaire l'ensemble des usages (agriculture, eau potable, navigation,...) et protéger l'environnement sur le bassin du fleuve Niger.

Références

- ARPON.** 1997. Tableau pour le calcul des débits des ouvrages essentiels de la zone Office du Niger. Ségou, Mali.
- BARRAL J.P.** 1997. Evolution des sols sous irrigation à l'Office du Niger, la gestion de l'eau sur les périmètres irrigués de l'Office du Niger, Rapport d'activités 1996-1997. IER/PSI Mali travaux et études N° 3.
- BOYER J.F., COCHONNEAU G., DIEULIN-PICART C.** 1994. **HYDROM 3.1.** Gestion et traitement de données hydrométriques. ORSTOM, Laboratoire d'hydrologie, Montpellier, France. 1994.
- CHOHIN-KUPER A. et SOW M.** 2000. Modes de gestion de l'eau et production agricole à l'Office du Niger : le cas de l'étiage 1999. INSAH.
- GUERRA L.C., BHUIYAN S.I., TUONG T.P. et R. BARKER.** Producing more rice with less water from irrigated systems. International Rice Research Institute, SWIM Paper n° 5, Philippines.
- HAMEL E., M. SIDIBE, K. KALOGA.** 1996. Rapport sur le suivi de la gestion de l'eau. Deux tomes : Rapport principal et annexes.
- HAMEL E.** 1998. Assistance technique en matière de gestion de l'eau, Rapport de fin de mission. Office du Niger DADR/SERP/ARPON.
- HASSANE A.** 1999. Influence des aménagements hydrauliques et hydro-agricoles du Niger supérieur sur l'inondation du delta intérieur du Niger (Mali). Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale d'Ingénieurs, Bamako, Mali.
- HASSANE A., M. KUPER et D. ORANGE.** 1999. Influence des aménagements hydrauliques et hydro-agricoles du Niger supérieur sur l'onde de la crue du delta intérieur du Niger au Mali. A apparaître dans la revue scientifique de la CNRST, Bamako, Mali.
- H. N'D.** 1998. Etude environnementale de la zone de l'Office du Niger. Ministère du développement rural et de l'eau.
- JACCON G.** 1986. Tracé de la courbe de tarage et calcul des débits, Manuel d'hydrométrie, tome v, ORSTOM Editions, Brasilia.
- KEITA N., K. KALOGA, J. F. BELIERES.** 1999. D'une gestion étatique de l'eau à une gestion paritaire état/usagers : Le cas de L'Office du Niger au Mali. HYDROTOP 99, Marseille du 15 au 17 juin 1999.
- KLOEZEN W.H., GARCES-RESTREPO C., JOHNSON S.H.** 1997. Impact assessment of irrigation management transfer in the Alto Rio Lerma irrigation district, Mexico. International Irrigation Management Institute, Research Report n° 15, Sri Lanka.
- MALATERRE P.O.** 1994. Modélisation, analyse et commande optimale LQR d'un canal d'irrigation. Thèse de doctorat. ENGREF, Montpellier, France.
- Ministère du Développement Rural et de l'Eau (MDRE) et Ministère de l'Environnement (ME).** 1999. Etude environnementale de la zone de l'Office du Niger. Rapport de synthèse. Bamako, Mali.

- OFFICE DU NIGER** (Direction Générale). 1999. Influence de la gestion de Sélingué sur la Gestion de l'eau à l'Office du Niger, situation au 28 juin 1999. Ségou, Mali.
- OUVRY F., B. TANGARA, B. LY.** 1998. La gestion de l'eau et la maintenance à l'Office du Niger, synthèse bibliographique. IER/PSI Mali travaux et études N° 5.
- OUVRY F., S. MARLET.** 1999. Suivi de l'Irrigation et du drainage : étude des règles de gestion de l'eau et bilans hydro-salins à l'Office du Niger (cas de la zone de Niono, MALI). Deux tomes : Synthèse des résultats, travaux et études n° 8.1, Compte-rendu d'expérimentation, travaux et étude n° 8.2. Institut d'Economie Rurale du Mali (I.E.R)/P.S.I-MALI.
- REY J.** 1996. Apports de la gestion industrielle au management des périmètres irrigués : comment mieux piloter la production ? Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines, Paris, France.
- SOGREAH.** 1992. Barrage de Markala, consignes générales d'exploitation et d'entretien. Ségou, Mali.
- SOGREAH.** 1993. Prestation d'assistance technique en matière de gestion de l'eau, rapport de synthèse. Office du Niger, Ségou, Mali.
- SOGREAH, LAHMEYER INTERNATIONAL.** 1997. Barrage de Markala, consignes générales d'exploitation et d'entretien. Ségou, Mali.
- SOGREAH, BCEOM, BETICO.** 1999. Etude du schéma directeur d'aménagement pour la zone de l'Office du Niger. Ségou, Mali.
- SOUMAGUEL A.** 1995. Influence du barrage de Sélingué sur le régime hydrologique du Niger. Mémoire de fin d'études présenté au Centre AGRHYMET, Niamey, Niger.

Annexe 1 : Modèle de fiches de collecte de données du SERP à Markala

SERP
MAC

Mois: Février
Année: 1999

Fiche 2/2

#####

D A T E	Déversoir Kolongo				Grbit M3/S	Superficie exploitée				DRAINS			
	amont		ouvert			Niaro ha	BW ha	CASIER		H-Cas ha	breille		Niaro alente
	M ON	M ON	passet dents	passet2 dents				Kokoy ha	ORS ha		alente	=	
1			2	2									
2			2	2									
3			2	2									
4			2	2									
5			2	2									
6			2	2									
7			2	2									
8			2	2									
9			2	2									
10			2	2									
11			2	2									
12			2	2									
13			2	2									
14			2	2									
15			2	2									
16			2	2									
17			2	2									
18			2	2									
19			2	2									
20			2	2									
21			2	2									
22			2	2									
23			2	2									
24			2	2									
25			2	2									
26			2	2									
27			2	2									
28			2	2									
29			2	2									
30			2	2									
31			2	2									

Annexe 2 : Modèle de fiches de collecte de données de N'Débougou

[illegible]

Remarques sur les débits appliqués par le Chef du Casier:

11 a rotation sur \mathbb{C} engendrée. À la culture mondiale, la structure

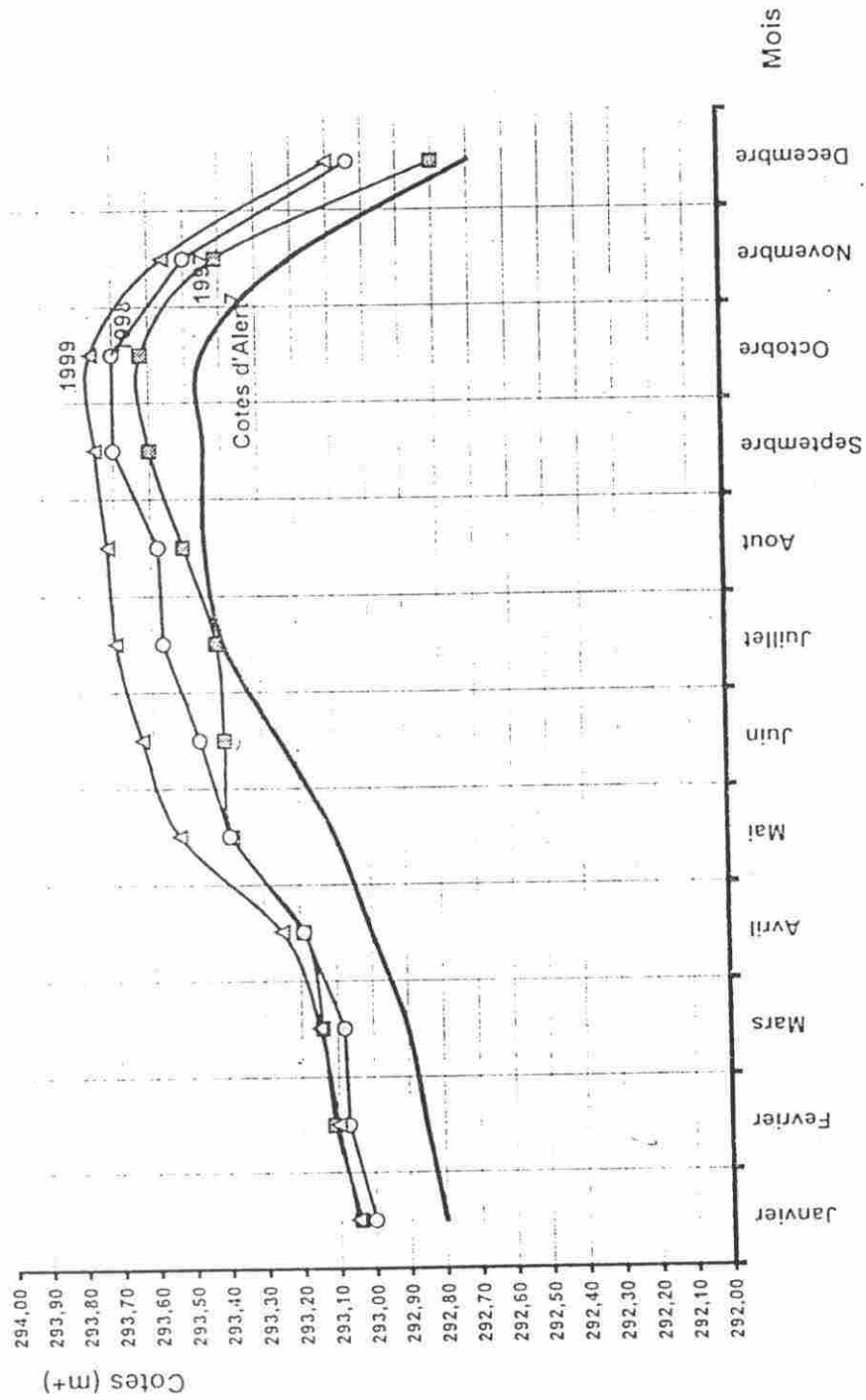
LA
della

OPERATIONS		PERIODE D'EXECUTION											
		AVRIL	MAI	JUN	JUILLET	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEVR	MARS
A1	SYSTEME SEMI-INTENSIF												
	Tr. Réfrigération/Compartmentage	15											
	Apport fumure de base	10											
	Tr. Labour	10	25										
	Zone Réfrigération		5	15									
	Zone Labour		15	15									
	Apport fumure de fond		15	15									
	Rebchage avant semis		15	15									
	Semences à l'apport en ligne		15	15									
	Rebchage après semis		15	15									
	Sarclage		5	30									
	Tr. Desherbage		10	15									
	Tr. Irrigation après Tr. Fraction		10										
	Mise en eau du sol												
	Zone Desherbage					15	15						
	Tr. Irrigation après Zone Fraction					15	30						
	Mise en eau du sol							15	30				
	Chasse oiseaux							15	10				
	Arrosage							20	10				
	Mixage (Mélange) humide							10	30				
	Mixage (Mélange)							15	15				
	Tr. Labour												
	Tr. Labour (Mélange) humide												
	Tr. Labour (Mélange)												
	Tr. Labour												
	Tr. Labour (Mélange) humide												
	Tr. Labour (Mélange)												
	Tr. Labour												
	Tr. Labour (Mélange) humide												
	Tr. Labour (Mélange)												
	Tr. Labour												
	Tr. Labour (Mélange) humide												
	Tr. Labour (Mélange)												
	Tr. Labour												
	Tr. Labour (Mélange) humide												
	Tr. Labour (Mélange)												
	Tr. Labour												
	Tr. Labour (Mélange) humide												
	Tr. Labour (Mélange)												
	Tr. Labour												
	Tr. Labour (Mélange) humide												
	Tr. Labour (Mélange)												
	Tr. Labour												
	Tr. Labour (Mélange) humide												
	Tr. Labour (Mélange)												
	Tr. Labour												

65

Annexe 4 : Niveau d'eau dans le drain principal Grüber (DB 4)

Cotes Drain Principal Grüber : DB4



Source : AHT N'Déboougou, Assistant technique Gestion Eau, juin 1999

Annexe 5 : Rappel succinct du système BIVAL

Source : SOGREAH, 1993

"Le système BIVAL est un système de régulation de canaux, mis au point à SOGREAH, qui permet de réguler un canal, en maintenant sur chaque bief un volume d'eau sensiblement constant, quelles que soient les sollicitations de prise ou de refus de débit sur le bief par, l'asservissement de l'ouvrage de prise.

Le principe général consiste à maintenir le volume constant en faisant pivoter la ligne d'eau autour d'un point fictif situé au centre du bief.

Lorsque le débit est nul, la ligne d'eau est horizontale, lorsque le débit est maximum la ligne d'eau prend l'inclinaison maximale.

Le volume d'eau du bief est évalué périodiquement à l'aide de la mesure des niveaux amont et aval du bief. Ces deux mesures sont centralisées, et un calcul simple (relation linéaire) permet de calculer le niveau fictif de basculement des lignes d'eau.

Si ce niveau est supérieur au niveau de consigne, les vannes du régulateur amont sont fermées d'un incrément (le volume stocké est supérieur au volume objectif), et inversement. Pour la stabilité du système on fait intervenir une plage d'insensibilité de quelques centimètres.

L'ensemble des paramètres de régulation du système (coefficients de pondération des deux niveaux amont et aval, plage d'insensibilité, décrétement, pas de temps, incrément de manœuvre de vannes, etc..) sont calculés à l'aide d'un modèle mathématique.

En pratique, ce système nécessite un réseau de transmission des données et un calculateur, qui sont généralement gérés par un automate électronique.

Dans le cas exceptionnel de l'Office du Niger, la configuration du canal du Sahel et du Fala de Molodo permet une gestion manuelle de ce système."

Annexe 6 : Photo album hydraulique



Ci-dessus le barrage de Markala en plein étiage le 16 mars 1999, vue d'une passe et ses vannes à hausses mobiles. Côté amont : 300.23 m repère office (Photo HASSANE A. mars 1999)



Ci-dessus la même vue du barrage de Markala mais en début de crue le 6 septembre 1999, côté amont : 300.53 m (Photo HASSANE A. sept 1999)



Le régulateur de Niono équipé deux vannes automatiques à niveau aval constant type VANAC 220/800 BC. Ce régulateur alimente le casier Grüber-nord de la zone de Niono et la totalité de la zone de N'Débougou, il n'est pas encore calibré. (Photo HASSANE, 1999)



Le régulateur du distributeur de Kokry sur le canal du Macina (Fala de Boki-Wéré) équipé d'une vanne automatique à niveau aval constant type AVIS 280/530 HC avec un débit maximum de 31 m³/s. Ce régulateur alimente le casier de Kokry. (Photo HASSANE, 1999)



Le déversoir de Kolongo sur le canal du Macina en déversement, il régule le Fala de Boki-Wéré en déversant les eaux excessives directement dans le fleuve.
(photo HASSANE A. 02 sept 1999)



Femmes du village de Boulibana près de Kolongo (zone de Macina), groupées en équipe pour le repiquage du riz
Photo HASSANE A.. septembre 1999.



Directeur de la publication :

IDRISS Oumar Alfaroukh

Editeur scientifique :

Mahalmadane DJITEYE

Saisie/mise en page :

Raby TRAORE

Relecture :

Housseïni MAIGA
Catherine SIMO

Publication: Institut du Sahel

BP: 1530 Bamako

Fax: (223) 22 23 37/22 09 18

Tél: (223) 22 40 67/22 21 48 / 23 53 38

E-mail: idriss@agrosoc.insah.ml

LISTE DES MONOGRAPHIES DÉJÀ PARUES

1. CILSS-INSAH

Pratiques d'utilisation des ressources naturelles au Sahel : Etat des lieux en Guinée-Bissau.

2. CILSS-INSAH

Pratiques d'utilisation des ressources naturelles au Sahel : Etat des lieux au Sénégal.

3. CILSS-INSAH

Pratiques d'utilisation des ressources naturelles au Sahel : Etat des lieux au Burkina Faso.

4. CILSS-INSAH

Pratiques d'utilisation des ressources naturelles au Sahel : Etat des lieux au Tchad.

5. Makan Fofana ; Fadima Haïdara ; Lassana B. Traoré

Pratiques d'utilisation des ressources naturelles au Sahel : Etat des lieux au Mali.

6. João O. M. de Carvalho ; Antonio E. Querido ; Samuel G. Fernandes ; Carlos A. Monteiro ; José G.V. Levy

Pratiques d'utilisation des ressources naturelles au Sahel : Etat des lieux au Cap-Vert.

7. INRAN

Pratiques d'utilisation des ressources naturelles au Sahel : Etat des lieux au Niger.

8. David Leland Dibley

Exchange Rate Arrangements in the cfa Franc Zone : Alternatives to Fixed Parity.

9. Toubia Bedingar ; William A. Masters

The Impact of Agricultural Research A Synthesis of Findings and Policy Implications for the Sahel.

10. Dramane Mariko ; Anne Chohin-Kuper ; Valéry Kelly

La filière riz à l'Office du Niger au Mali : Une nouvelle dynamique depuis la dévaluation du Fcfa.

CILSS-INSAH

Le pôle régional de recherche sur la gestion des ressources naturelles - système de production (pôle GRN-SP) : Un programme de coopération scientifique sous-régionale.

CILSS-INSAH

Le pôle régional de recherche sur la gestion des ressources naturelles - système de production (pôle GRN-SP) : Organisation et fonctionnement.

CILSS-INSAH

Les disponibilités en eau du fleuve Niger : enjeux et perspectives pour les aménagements hydro - agricoles : Le cas du Niger