

**Ministère de l'Agriculture
Office du Développement Rural de Sélingué**

**REPUBLIQUE DU MALI
Un peuple - Un but - Une foi**

PERIMETRE IRRIGUE DE MANINKOURA

MANUEL DE GESTION DE L'EAU

Présenté par: Louis Berger / CIRA

Edition : avril 2007

INTRODUCTION	3
I- PRESENTATION DE LA ZONE	3
1.1.SITUATION.....	3
1.2.PLAN D'ENSEMBLE DU RÉSEAU	4
1.3.SUPERFICIES	5
II- DESCRIPTION DU RESEAU.....	6
2.1.TYPOLOGIE DES OUVRAGES :.....	8
2.1.1.Prises	8
2.1.2.Chutes verticales.....	8
2.1.3.Déversoirs de sécurité:	9
2.1.4.Siphons inversés :.....	9
2.2.PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU RÉSEAU HYDRAULIQUE	9
III - LE RESEAU D'IRRIGATION ET LE DECOUPAGE HYDRAULIQUE	11
IV- MODE DE DISTRIBUTION DE L'EAU D'IRRIGATION	12
4.1.DISTRIBUTION CONTINUE :.....	12
4.2.DISTRIBUTION À LA DEMANDE :	12
4.3.DISTRIBUTION PAR ROTATION :	12
V - BESOIN EN EAU	13
VI - DETERMINATION DU TOUR D'EAU :	15
VII - TEMPS DE POMPAGE	15
VIII - EXPLOITATION DU RESEAU	16
8.1.ETABLISSEMENT DES PLANS D'IRRIGATION:	17
8.2.SUIVI DES OPÉRATIONS :	17
8.3.EXPLOITATION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES :	18
IX- REMPLISSAGE DES CANAUX:.....	19
9.1 TEMPS DE RÉPONSE:	19
9.2 CONSIGNES SPÉCIFIQUES:	19
9.2.1 Crise d'eau.....	19
9.2.2 Lutte contre le gaspillage d'eau :	20
X- ENTRETIEN DU RESEAU	21
XI- ENTRETIEN DES STATIONS DE POMPAGE.....	22
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATION	23

INTRODUCTION

A l'instar des pays du Sahel, l'économie du Mali repose principalement sur l'agropastoral. Le gouvernement du Mali a entrepris un vaste programme d'aménagement hydroagricole afin de donner un nouveau souffle à ce secteur vital de l'économie. L'aménagement du périmètre irrigué de Maninkoura s'inscrit dans ce cadre.

On sait de mieux en mieux que le mauvais fonctionnement des périmètres irrigués n'est pas seulement le résultat de carences techniques au niveau de la conception des réseaux d'irrigation (encore que cela soit parfois un élément de poids), mais beaucoup de problèmes proviennent dans l'organisation et la gestion du périmètre. Dans toutes les régions du monde et au Sahel en particulier, l'eau est devenue la ressource naturelle la plus précieuse. Il convient ainsi de planifier, le plus efficacement possible, son utilisation pour la production agricole.

Cette planification doit se faire en tenant compte des exigences du climat, des conditions pédologiques et agronomiques de la région.

Dans la gestion d'un périmètre le choix du mode de distribution de l'eau d'irrigation est prépondérant, il doit tenir compte principalement des paramètres hydrauliques du réseau.

Ce manuel ainsi élaboré, ne doit pas être considéré comme global ou définitif en couvrant tous les aspects et alternatives entrant dans la gestion infallible du Périmètre de Maninkoura. Le but est de fournir aux gestionnaires du Périmètre une procédure du fonctionnement du réseau conçu à partir des bases de l'étude et le mode de distribution de l'eau dans les parcelles. La bonne gestion du périmètre passe indéniablement par la discipline de tous les intervenants, car chacun doit se plier aux exigences des installations. Le cas particulier du Périmètre de Maninkoura demande plus de sacrifices et de disponibilité.

La gestion hydraulique constitue la grande articulation de ce rapport.

I- PRESENTATION DE LA ZONE

1.1.Situation

La plaine de Maninkoura d'une superficie nette aménagée de 1094 ha, se situe sur la rive gauche du Sankarani avant la confluence avec le fleuve Niger, à 32 km à l'aval du Barrage de Sélingué. Elle est accessible avec une piste en terre, nouvellement construite de 35 km qui part du village de Sélinkégné en aval rive gauche immédiat du Barrage, en passant successivement par Fanzan, Kolondjigué, et Dalani

1.2.Plan d'ensemble du périmètre

1.3.Superficies

La superficie nette actuellement aménagée est de 1098ha répartie comme suit.

Tableau 1 : superficie par secteur

Secteurs	Superficie (ha)
Secteur 1	218
Secteur 2	166
Secteur 3	314
Secteur 4	398
TOTAL	1098

Le détail des superficies par bloc (canal secondaire) pour chaque secteur de Maninkoura est donné dans le tableau n°2 ci-après.

Tableau 2 : superficie par canal secondaire

Périmètre Maninkoura	Bloc	Superficie (ha)	Superficie Totale (ha)
Secteur 1	CS1 CS2 CS3 CS4 CT/CP1	40,30 38,20 26,70 32,00 81,60	218
Secteur 2	CS1 CS2 CS3 CT/CP2	50,80 65,60 39,10 10,20	166
Secteur 3	CS1 CS2 CS3 CS4 CS5 CS6 CT/CP3	91,60 31,40 26,50 58,80 45,50 20,10 40,60	314
Secteur 4	CS1 CS2 CS3 CS4 CS5 CT/CP4	45,70 50,70 64,00 80,00 78,80 78,00	400
TOTAL GENERAL SUPERFICIE MANINKOURA			1 098

II- DESCRIPTION DU RESEAU

- le réseau principal d'adduction constitué du canal primaire du secteur

Tableau 3 : réseau primaire d'irrigation

Canaux primaires	Secteurs
CP1	Secteur 1
CP2	Secteur 2
CP3	Secteur 3
CP4	Secteur 4

- le réseau principal de drainage constitué des fossés primaires suivants :

Tableau 4 : réseau primaire de drainage

Fossés primaires	Secteurs
FP1	Secteur 1
FP2	Secteur 2
FP3	Secteur 3
FP4	Secteur 4

Les eaux de drainage sont extraites du périmètre à partir des stations d'exhaure. Les eaux du fossé primaire FP2 sont collectées par collecteur C3 ensuite acheminées vers la station d'exhaure SE3 du secteur 2. Le collecteur C4 collecte les eaux de la frange de terre entre le secteur 3 et le secteur 4 et les acheminent vers le marigot engouffré dans le secteur 3 dont les limites sont matérialisées par la digue.

Le secteur 1 comporte une grande mare et une petite mare elles constituent des exutoires de transit avant l'acheminement des eaux vers la station d'exhaure SE1.

Les stations d'exhaure sont réparties comme suit :

Tableau 5 : répartition des stations d'exhaure

Stations d'exhaures	Secteurs
SE1	Secteur 1
SE2	Secteur 1
SE3	Secteur 2
SE4	Secteur 3
SE5	Secteur 4

Les fossés de protection implantés sur la partie supérieure du périmètre ont fonction de protéger les ouvrages du périmètre contre les eaux de ruissellement venant des bassins versants. Pour mieux sécuriser le périmètre contre les éventuelles inondations des crues du Sankarani, cinq fossés sont munis de clapet de sécurité comme suit :

Tableau 6 : répartition des fossés à clapet

Fossés avec Clapet	Secteurs
FPR1-1	Secteur 1
FPR1-6	Secteur 1
FS2-1	Secteur 2
FPR2-1	Secteur 2
FPR4-2	Secteur 4

Les fossés de protection contre les eaux de ruissellement sont repartis comme suit :

Tableau 7 : répartition des fossés de protection

Fossés de protection	Secteurs
FPR1-1	Secteur 1
FPR1-2	Secteur 1
FPR1-3	Secteur 1
FPR1-4	Secteur 1
FPR1-4-1	Secteur 1
FPR1-5	Secteur 1
FPR1-5-1	Secteur 1
FPR1-6	Secteur 1
FPR2-1	Secteur 2
FPR2-2	Secteur 2
FPR3-1	Secteur 3
FPR3-2	Secteur 3
FPR4-1	Secteur 4
FPR4-2	Secteur 4

Le cordon de digue de protection implanté entre le Périmètre et le fleuve Sankarani est calé à des cotes qui sécurisent le périmètre même contre une crue centennale. La crête n'est pas à la même cote sur le réseau de 23 km. Les stations constituent un début de bief ou une fin de bief et chaque bief est calé à une cote uniforme.

Une piste primaire est associée à chaque canal primaire et chaque fossé primaire. Les pistes d'ordre inférieur sont associées aux fossés secondaires contrairement au périmètre de Sélingué où elles longent les canaux secondaires. Les pistes tertiaires longent les fossés tertiaires. Cette configuration sont les données de l'étude de base.

2.1. Typologie des ouvrages :

Les ouvrages qu'on rencontre sur le réseau sont : les prises, les Chutes, les déversoirs de sécurité, les deux siphons du secteur 1 et les stations de pompage et d'exhaure

2.1.1. Prises

Toutes les prises du périmètre sont les modules à masques . On les rencontre en tête des canaux secondaires et des canaux tertiaires. Les modules à masques sont des appareils de prise utilisés pour effectuer, sur des écoulements d'eau à surface libre, des prélèvements selon des débits constants, ajustables à volonté. Le réglage du débit s'effectue en ouvrant ou en fermant complètement des vannettes de largeur différentes échelonnées . Le débit reste constant même si les plans d'eau amont et aval présentent quelques variations. La plage de variation autorisée par les appareils dépend du nombre de masques. Sur le périmètre nous rencontrons deux types de module à masques les X1 et les XX2. Ce qu'il faut retenir :

- la série X signifie que le débit nominal par unité de largeur est égal à 10 l/s/dm de largeur de seuil
- la série XX signifie que le débit nominal par unité de largeur est égal à 20 l/s/ dm de largeur de seuil
- l'indice **1** ou **2** représente le nombre de masques.
- les modules à 2 masques tolèrent un marnage plus grand que les modules à 1 masque
- le marnage de 7 cm est toléré par les modules X₁ contre 28 cm pour les XX₂. Cela signifie que pour une variation maximale du plan d'eau de 7 cm, le débit des modules à masques X₁, ne subit aucune variation et 28 cm pour les XX₂.
- X₁ 30 signifie, un module à un masque de calibre 30l/s
- le plan d'eau nominal du module est physiquement visible sur l'appareil. Pour les modules à 1 masque le plan d'eau nominal est le plan horizontal qui passe par la barre horizontale inférieure de l'appareil (barre de maintien de flasques) et pour les modules à 2 masques le plan d'eau nominal est le plan horizontal qui passe par l'arrête supérieur du premier masque de l'appareil (petit masque) : (voir abaque 1)

2.1.2. Chutes verticales

Les chutes sont implantées dans les canaux primaires et secondaires. Elles jouent le rôle de régulateur de niveau dans le bief amont. Son choix se justifie en général par la topographie des terres à irriguer. Le plus souvent lorsque la topographie des terres à irriguer en aval est plus basse que les terres en amont de façon brutale , afin de minimiser le remblais du canal, le concepteur prévoit cet type d'ouvrage. Sur le Périmètre de Maninkoura nous rencontrons :

- les chutes verticales à seuil transversal ;
- les chutes verticales à bec de canard (ou Giraudet).

Le débit qui passe sur le seuil, pour le besoin aval est fonction des paramètres suivants :

- la forme du seuil (transversal ou Giraudet) ;
- la longueur du seuil ;
- la charge sur le seuil.

La formule du débit est le suivant :

$$Q = m \cdot L \cdot H^{1,5} \cdot (2 \cdot 9,81)^{0,5} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Avec :

m : dépendant de la forme du seuil de déversement (**m** = **0,4** pour transversal et **m=0,36** pour Giraudet) ;

L : la longueur du seuil de déversement (m) ;

H : la charge sur le seuil (m).

La charge **H** sur le seuil est le seul paramètre instable pendant le fonctionnement. A cet effet à chaque valeur de **H** nous pouvons déterminer le débit qui passe à l'instant donné. (Voir abaque 2)

2.1.3.Déversoirs de sécurité:

Ces ouvrages, situés à l'extrémité des réseaux primaires, secondaires et tertiaires d'irrigation déversent dans les fossés, les eaux excédentaires en vue de maintenir le plan d'eau dans sa plage de fonctionnement normal et d'éviter tout débordement des eaux sur les cavaliers. Ils sont dimensionnés pour déverser le 1/3 du débit .

Le calcul du débit à déverser repose sur le même principe que celui des chutes verticales.

Le paramètre **m** = **0,34** pour les déversoirs longitudinaux. Sur le périmètre nous disposons des déversoirs transversaux et des déversoirs longitudinaux .

2.1.4.Siphons inversés :

Le canal primaire CP1 du secteur 1, en deux endroit doit franchir les drains et cela au moyen deux siphons inversés.

2.2.Principe de fonctionnement du réseau hydraulique

La gestion de l'eau s'effectuera sur le réseau d'irrigation selon 2 principes :

- en commande par l'aval
- en commande par l'amont

Le système de régulation dit à commande par l'aval est adapté au mode de distribution à la demande. Dans ce mode de distribution l'irrigant peut prendre de l'eau à tout moment quand il le veut. Nous verrons plus loin que les installations en place sur le Périmètre irrigué de Maninkoura (pompage) n'autorise pas la distribution de l'eau à la demande, en raison des charges d'exploitation exorbitantes.

Le système de régulation par l'amont s'applique mieux au périmètre de Maninkoura.

□ Commande par l'amont

La commande par l'amont sur un bief consiste à délivrer en amont du bief le débit nécessaire pour l'alimentation des prises situées en aval.

L'enveloppe des lignes d'eau possible est donc définie par :

- la ligne d'eau à débit maximum correspondant au plan d'eau maximum
- la ligne d'eau à débit nul.

Dans le cas d'un canal régulé en commande par l'amont, le contrôle du plan d'eau de chaque bief est assuré par un régulateur statique à seuil déversant, situé à l'aval (voir schéma ci-joint).

En tête du canal se trouve un ouvrage de prise qui permet le contrôle du débit (module à masque pour les canaux secondaires et les stations de pompage pour les canaux primaires).

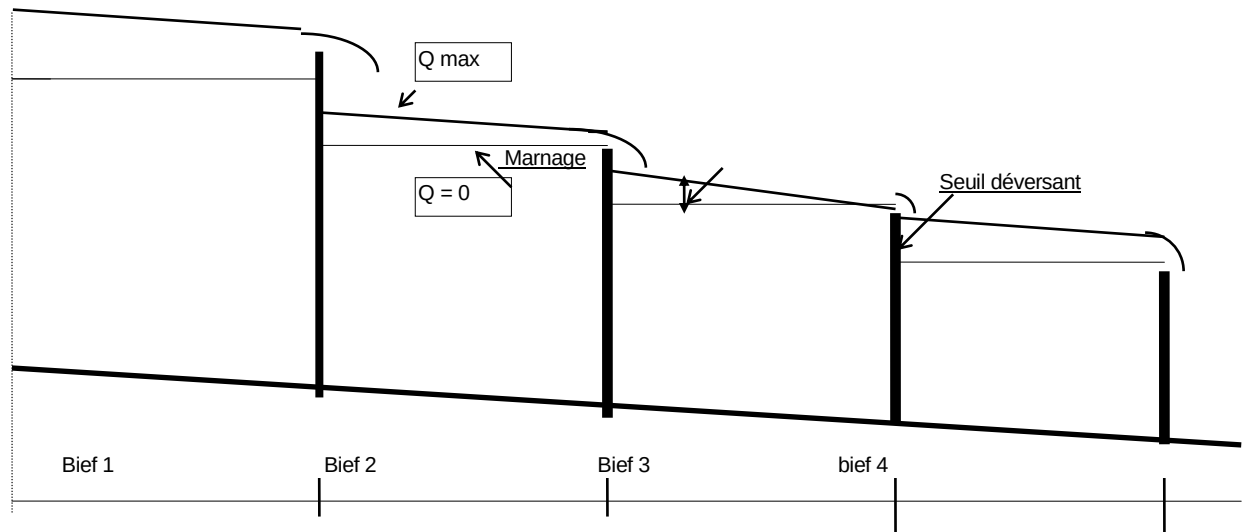
Les ouvrages de prise de tertiaires sont donc équipés de modules à masque, qui sont calés en fonction des lignes d'eau projet des canaux, à débit nul et à débit maximum.

L'Aiguadier, en charge du canal secondaire, devra donc faire chaque jour le cumul des débits à prélever par l'ensemble des modules des prises de canaux tertiaires, et régler l'ouverture de la vanne de l'ouvrage de prise du canal secondaire au débit total correspondant..

La contrainte de ce mode de gestion est l'adéquation entre le débit en tête du canal secondaire et le débit à transiter dans les canaux tertiaires qui, s'il n'est pas correct, entraînera :

- un déficit d'eau dans le réseau si le débit introduit en tête est trop faible. Dans ce cas, les prises situées en aval seront défavorisées
- un gaspillage d'eau évacuée par le déversoir de sécurité situé à l'extrémité aval du dernier bief, si le débit introduit en tête est trop fort.

Ligne d'eau commande par l'amont



III - LE RESEAU D'IRRIGATION ET LE DECOUPAGE HYDRAULIQUE

Le réseau comprend :

- les chenaux d'amenée d'eau aux stations de pompage ;
- les canaux primaires ;
- les canaux secondaires ;
- les canaux tertiaires et quaternaires.

Les trois premiers ordres de canaux sont dimensionnés à partir de la formule de MANNING et STRICKLER :

$$Q = K_S \times S \times R^{(2/3)} \times I^{(1/2)}$$

Q = Débit maxi du tronçon en m³/s

K_S = Coefficient de rugosité de STRICKLER (K = 40, pour les tertiaires et K=60 pour les canaux revêtus)

S = Section mouillée en m²

R = Rayon hydraulique = S/P (P = Périmètre mouillé en m)

I = Pente du radier

L'unité d'arrosage est une parcelle de 0,25 ha environ correspondant à la taille du bassin unitaire. Chaque unité d'arrosage disposera à tour de rôle de la main d'eau pendant une durée bien déterminée.

Le quartier hydraulique correspond à l'unité tertiaire desservie par un canal tertiaire. Il dispose d'une prise sur canal secondaire ou parfois sur canal primaire. Sa taille est en général de 10 ha il dispose d'un module d'arrosage

IV- MODE DE DISTRIBUTION DE L'EAU D'IRRIGATION

Il existe généralement trois modes de distribution de l'eau dans les parcelles :

- la distribution continue ;
- la distribution à la demande ;
- la distribution par rotation.

Chaque mode de distribution est adapté à un contexte donné et présente des avantages et des inconvénients :

4.1.Distribution continue :

Le débit est délivré d'une façon continue (24 heures/24) dans le réseau d'irrigation pendant toute la saison d'irrigation. Chaque parcelle reçoit en continu le débit déterminé sur la base de la superficie à irriguer. Ce débit délivré est faible. Pour le cas de Maninkoura une parcelle de **1ha** recevra pendant **24 heures** un volume équivalent à **190 m³**

Avantages :

- Le dimensionnement des canaux est minimal ;
- Libre organisation des arrosages (simple et souple) ;

Inconvénients :

- Efficience médiocre ;
- Mode simple pour les gestionnaires mais exigeant pour les agriculteurs car demande des longues heures de travail souvent de nuit.

4.2.Distribution à la demande :

Dans ce mode de distribution les irriguants peuvent prendre l'eau à tout moment quand ils veulent. Cela revient à livrer l'eau à l'irriguant quand il la demande parce qu'il en a besoin à ce moment là. Des dispositifs de régulation automatique des réseaux d'irrigation sont requis dans ce mode de distribution. C'est le système de régulation dit à commande par l'aval qui est de rigueur dans la mise en œuvre de ce mode de distribution. Le système de régulation pour notre cas est commandé par l'amont. Les stations de pompages délivrent un débit bien connu durant une partie de la journée. C'est à l'irrigant de se conformer à ces conditions et non le contraire.

Avantages :

- facilité d'emploi ;
- grande souplesse ;
- irrigation moins contraignante ;
- bonne efficience

Inconvénients :

- organisation difficile ;
- système coûteux à cause de l'automatisation de la régulation du réseau et du surdimensionnement du réseau;
- mauvais fonctionnement quand un trop grand nombre d'irriguant décident d'irriguer en même temps.

4.3.Distribution par rotation :

La desserte au tour d'eau constitue le mode de desserte généralement adopté dans les réseaux de distribution par canaux conçus pour la pratique de l'irrigation de surface. C'est de loin le système le plus répandu. L'irrigant dispose du module (main d'eau) pendant une durée suffisante pour satisfaire les besoins d'une rotation. Pendant la durée d'une rotation l'ensemble du quartier hydraulique reçoit la main d'eau.

La desserte au tour d'eau est retenue pour la distribution de l'eau dans les parcelles . La spécificité de ce mode de desserte peut créer des contraintes de gestion et de surveillance. C'est le problème de la police du tour d'arrosage qui doit être examiné avec attention. En irrigation de surface, un irrigant peut difficilement dériver le module en dehors des heures d'irrigation qui lui sont affectées : en effet, le débit en tête du canal tertiaire est ajusté par le personnel d'exploitation à la valeur du module et toute dérivation abusive se répercute sur l'utilisateur officiel de ce module.

La desserte au tour d'eau présente d'autres inconvénient tels que :

- le manque de souplesse entraîne un travail important pour le personnel de gestion de l'eau ;
- la rigidité des conditions de l'arrosage, mal adaptée à la diversité des besoins d'une polyculture comportant des plantes à profondeur d'enracinement variables, très contraignante pour l'irriguant ;
- le système est calé sur les besoins de pointe de la culture la plus exigeante d'une année sèche ;
- le temps d'acheminement du module jusqu'à la prise de service est une contrainte hydraulique. Le garde des eaux doit accompagner l'eau pendant ces acheminements afin de veiller au bon écoulement du module, il dégage les passages obstrués ;
- le garde des eaux doit exécuter sur son secteur un certain nombre de manœuvres : ouverture des prises quaternaires, accompagnement de l'eau et fermeture des prises

V - BESOIN EN EAU

Les besoins en eau diffèrent d'une culture à l'autre. La culture dominante sur le périmètre de Maninkoura est la riziculture. Les autres cultures telles que le maraîchage viennent en compléments. Le besoin d'irrigation sera calé sur celui du riz et pendant la période de l'année la plus défavorable (période de la contre saison). En outre la phase la plus contraignante du cycle du riz est la phase de la mise en en eau des parcelles : humidification, saturation et imbibition du sol cette phase correspond à la période de pointe en riziculture et dure généralement 12 jours. Les autres phases sont :

- phase végétative (tallage) ;
- phase de la floraison ;
- phase de la formation du produit ;
- phase du mûrissement.

De la phase de tallage à la formation complète du produit, la lame d'eau doit être entretenue à un niveau acceptable pour le riz. Elle ne devrait pas descendre au dessous de 5 cm. En ce moment on irrigue pour entretenir la lame d'eau et cela pendant 90 jours environ.

Après la formation complète des grains, les parcelles doivent être asséchée progressivement (2 à 3 semaines) pour moissonner facilement . L'irrigation est alors arrêtée. C'est la phase dite de récolte.

Le calcul du besoin d'irrigation pour satisfaire la demande hydrique de la phase culturale est calé sur la période de mise en eau de la campagne de contre saison. Premier décade du mois de février. Les besoins de la même phase pour la campagne normale sont calculés sur le premier décade de juillet

Tableau 8 : calcul des besoins en eau pour la mise en eau

Paramètres	Campagne de saison	Campagne de contre saison
ETP (mm)	25	50
Kc	1,1	1,1
ETM (mm)	28	55
P (mm)	30	0
Pe (mm)	24	0
ETM – Pe (mm)	4	55
ME (mm)	150	150
BN (mm)	154	205
efficience	0,75	0,75
BB (mm)	205	273

Le calcul du besoin d'irrigation pour satisfaire la demande hydrique pour la phase d'entretien de la lame d'eau

Tableau 9 : calcul des besoins en eau pour l'entretien de la lame d'eau

Paramètres	Campagne de saison	Campagne de contre saison
ETP (mm)	25	50
Kc	1,1	1,1
ETM (mm)	28	55
P (mm)	30	0
Pe (mm)	24	0
ETM – Pe (mm)	4	55
Ent. LE (mm)	100	100
BN (mm)	154	205
efficience	0,75	0,75
BB (mm)	138	207

Avec :

ETP : évapotranspiration
Kc : coefficient cultural
ETM : évapotranspiration maximale
P : pluie
Pe : pluie efficace
ME : mise en eau
Ent. LE : entretien lame d'eau
BN : besoin net
BB : besoin brut

En terme de volume par hectare les besoins en eau pour la mise en eau et l'entretien de la lame d'eau pour les deux saisons deviennent :

Tableau 10 : besoin en eau par hectare

Besoins	Saison		Contre saison	
	ME	Ent. L.E.	ME	Ent. L.E.
BB (mm)	205	138	273	207
BB (m3/ha)	2050	1380	2730	2070

VI - DETERMINATION DU TOUR D'EAU :

L'intervalle entre deux arrosages successifs, ou tour d'eau, qui sera conservé pendant toute la durée de la saison est choisi en fonction des considérations suivantes :

- le nombre de main d'eau dans le tertiaire et le nombre de prises de quaternaires soumis au tour d'eau. Chaque canal tertiaire ne dispose qu'une seule main d'eau et le nombre maximal de prises de quaternaires sur le tertiaire est de 10. Si chaque quaternaire doit disposer du seul module pendant une journée d'irrigation, l'intervalle entre deux arrosages successifs devient 10 jours correspondant au tour d'eau ;
- l'évapotranspiration maximale (ETM). Avec une ETM journalière de 4,5 mm, la durée du tour d'eau (10 jours) ne permet pas de puiser dans la réserve de sécurité ;
- L'intervalle de 10 jours entre deux arrosages, facilite le déroulement d'autres travaux sur la parcelle irriguée (traitement phytosanitaire par exemple).

En 10 jours l'irrigant aura reçu le volume nécessaire à la mise en eau de sa parcelle. Nous rappelons que le système du tour d'eau est calé sur la période de pointe donc la plus contraignante (la mise en eau). La phase d'entretien de la lame d'eau peut servir d'alternative pour assouplir les charges d'électricité, en diminuant le temps de pompage pendant cette phase.

VII - TEMPS DE POMPAGE

La main d'eau est fixée à 22 l/s à la parcelle unitaire (0,25 ha). Certes les tertiaires disposent chacun d'une main d'eau de 30l/s, mais nous ne devons pas ignorer l'efficacité du réseau. A cet effet à la sortie de la rigole de répartition cette main d'eau devient 22l/s.

Sur cette base nous faisons les simulations suivantes :

- le débit fictif continue DFC = 2,2 l/s/ha
- la main d'eau est égale à m = 22l/s/ha
- l'unité de parcelle est égale à 1 ha
- l'unité d'arrosage est environ égal à 0,25 ha

La parcelle reçoit la main d'eau durant la durée journalière d'irrigation. Les unités d'arrosage à tour de rôle durant cette journée d'irrigation disposeront du module pendant une durée déterminée à l'avance et qui sera proportionnelle à la superficie de la parcelle.

Nous vérifions l'apport décadaire pour quatre durées journalières de pompage. En suite nous retenons la durée appropriée pour satisfaire le besoin décadaire pour chaque campagne.

Tableau 11 : simulation du temps de pompage

Durée de Pompage	Volume d'apport du 1 ^{er} Tour d'arrosage	Volume d'apport du 2 ^e Tour d'arrosage	Apport décadaire
24 heures	1901 m ³	1901 m ³	3802 m³
18 heures	1426 m ³	1426 m ³	2852 m³
13 heures	1030 m ³	1030 m ³	2060 m³
09 heures	713 m ³	713 m ³	1426 m³

Tableau 12 : choix du temps de pompage

		Apport décadaire par pompage (m3)			
Besoin en eau (m3)		9 h	13 h	18 h	24 h
Contre saison	ME	2730		2852	
	Ent. LE	2070	2060		
Saison	ME	2050	2060		
	Ent. LE	1380	1426		

Il en résulte :

- Pour une durée d'apport de **18 heures**, les besoins d'irrigation pour la mise en eau de la parcelle d'un hectare sont satisfaits en 10 jours pour la campagne **de contre saison** ;
- Pour une durée d'apport de **13 heures**, les besoins d'irrigation pour la mise en eau de la parcelle d'un hectare sont satisfaits en 10 jours pour la **campagne de saison** ;
- Pour une durée d'apport de **13 heures** les besoins d'irrigation pour l'entretien de la lame d'eau sont satisfait en 10 jours pour la **campagne de contre saison**
- Pour une durée d'apport de **09 heures** les besoins d'irrigation pour l'entretien de la lame d'eau sont satisfaits en 10 jours pour la **campagne de saison**

Les différents temps de pompage sont les durées effectives d'apport du module. A cet effet on doit tenir compte du temps de réponse du réseau. Entre la mise en service des stations de pompage et l'acheminement du module dans la parcelle c'est à dire le temps mort. Ce temps mort est à estimer.

Nous retiendrons 1heure 30 mn à 2 heures pour le temps mort. Le gestionnaire de la station de pompage doit tenir compte de ce temps pour le démarrage des pompes.

- Chaque unité d'arrosage de 0,25 ha maintiendra le module pendant le **quart du temps nécessaire pour un hectare**
- La durée d'irrigation des parcelles du périmètre sera déterminée à partir de celle d'une parcelle de 1ha.
- Pour chaque quartier hydraulique un calendrier d'arrosage sera établi pour toute la campagne.

VIII - EXPLOITATION DU RESEAU

Les travaux pris en charge par les exploitants sont :

- la réalisation de la rigole (quaternaire) de distribution ;
- les diguettes de séparation de bassins ;

Les revenus de l'ODRS proviendront essentiellement de la redevance eau des périmètres. A cet effet les services compétents, en la matière ont pour objectif principal d'assurer la livraison en temps voulu, la quantité d'eau nécessaire à la satisfaction des cultures irriguées. Cela demande une harmonie de communication entre les différents services et nécessite la prise de certaines dispositions qui sont :

8.1. Etablissement des plans d'irrigation :

Cette opération a pour objet de faire coïncider la demande et l'offre. Ce travail est laborieux mais nécessaire, car elle permet d'estimer les besoins en eau et d'éviter le gaspillage de l'eau. Elle doit être faite pour chaque canal secondaire.

Pour l'établissement des plans d'irrigation il est important de connaître :

- le besoin en eau des cultures irriguées selon leur stade végétatif ;
- le calendrier cultural ;
- les superficies irriguées.

En fonction de ces éléments et en tenant compte de la durée d'irrigation à l'unité de parcelle, on peut estimer le débit qu'il faut en tête du réseau. Puisque les contraintes en débit sont fiables, les vannes des modules à masque en têtes du réseau seront ouvertes de façon à laisser passer le débit souhaité. Le plan d'irrigation sur le périmètre de Maninkoura n'est pas complexe dans la mesure où chaque quartier hydraulique (l'unité tertiaire) ne dispose qu'une main d'eau de 30 l/s. Le canal tertiaire qui alimente le quartier dispose d'une prise sur le canal secondaire (ou parfois sur le canal primaire). La prise du tertiaire est dotée d'un module à masque de calibre 30 l/s X1 30 ou XX2 30 respectivement pour une prise sur secondaire et une prise sur canal primaire.

Problématique du plan d'irrigation :

Chaque secteur est autonome disposant de sa station de pompage équipée d'électropompe aux spécifications hydrauliques bien connues. Dans la conception chaque canal tertiaire dispose d'une main d'eau égale à 30l/s doté en conséquence d'un module à masque X1 30 ou XX2 30 et ne sont pas soumis au tour d'eau. Dans la pratique on a :

Tableau 13 nombre de main d'eau disponible par station de pompage

Secteurs	Station de pompage		Nbre de quartiers hydrauliques sur le secteur
	Debit (l/s)	Nbre de main d'eau	
Secteur 1	640	21	27
Secteur 2	450	15	34
Secteur 3	860	29	38
Secteur 4	1070	35	57

Nous constatons que tous les canaux tertiaires (quartiers hydraulique) ne peuvent pas avoir la main d'eau simultanément, d'où la justification d'une rotation sur certains canaux tertiaires. (voir abaque 3)

8.2. Suivi des opérations :

Il permet d'avoir les renseignements et de les comparer aux données théoriques et partant d'identifier l'origine des divergences. Les ouvrages de chute sont des moyens de contrôle de débit transitant pour les biefs aval. Il s'agit simplement de mesurer au cours de l'écoulement, la charge sur le seuil. Les autres paramètres étant invariables, le débit est facilement calculé par la formule du déversoir.

Le respect du programme doit être de rigueur. La prise du canal tertiaire doit être fermée ou ouverte suivant le calendrier. Chaque jour l'Aiguadier doit connaître le nombre de canaux tertiaires à mettre en eau sur le canal secondaire afin de régler les vannes du module à masque correspondant au débit.

1 CT correspond à 30 l/s
2 CT correspondent à 60l/s
3 CT correspondent à 90 l/s
etc...

La fermeture d'une prise de CT en un jour donné signifie que sa main d'eau est sollicitée sur un autre CT soit du même Canal secondaire ou d'un autre. Le programme est établi afin que tous les quartiers aient la main d'eau durant la rotation. Le non respect entraînera un gaspillage d'eau d'un côté et un déficit de l'autre et portera préjudice à la campagne.

En outre Le piratage du module ne peut que générer des conflits entre irrigants.

Le programme d'organisation du tour d'eau sur les canaux tertiaires en annexe est donné à titre d'exemple. Il n'est pas rigide il facilitera la tâche des gestionnaires du réseau dans l'exercice de leur fonction. Les débuts de la campagne le 1^{er} juillet et de la contre saison le 1^{er} février sont des dates de repère. Le plus important dans cet exercice c'est la durée de la rotation pour chaque quartier.

Le programme d'irrigation à l'intérieur du quartier est aussi donné en annexe (abaque 4). Ce programme est donné pour les durées journalières d'irrigation de 18 heures et de 13 heures. Une parcelle maintient le module pour une durée maximale de 18 heures (contre saison) et 13 heures (saison).

Exceptionnellement, les trois quartiers hydrauliques de CT1/CP1, CT3/CP1 et CT2-CS2/CP1 disposent de 2 mains d'eau en raison de leur taille. Donc les canaux tertiaires sont munis à leur tête de prises respectivement XX₂ 60l/s, XX₂ 60 l/s et X₁ 60l/s.

8.3. Exploitation des ouvrages hydrauliques :

Il est important que les exploitants soient informés et formés sur les conditions de fonctionnement normales de ces ouvrages, qui sont d'une grande importance dans la gestion et l'exploitation du réseau. L'expérience a toujours montré que les exploitants adhèrent difficilement aux prises par module à masques. Le mode de distribution au tour d'eau exige une discipline qui difficilement se fonde aux habitudes paysannes mal adaptées au système.

L'Aiguadier doit être capable de manipuler les ouvrages hydrauliques, il doit connaître les contraintes d'irrigation.

Les exploitants doivent être sensibilisés pour utiliser uniquement les ouvrages pour les besoins auxquels ils sont destinés et éviter toute exploitation du réseau contraire aux recommandations des responsables agréés en la matière. En plus ils sont tenus d'informer les responsables des services de toutes les anomalies qu'ils rencontrent tout le long du réseau.

L'accomplissement de ces tâches ci-dessus ne saurait se faire sans la présence de compétence technique au stade de l'exploitation de la surveillance et du fonctionnement du réseau. Ces compétences doivent être choisies en fonction du système et des circonstances locales.

Mais le plus souvent, le manque d'efficacité est dû à la faible qualification des personnes chargées d'exploiter le réseau, et non à des carences techniques.

IX- REMPLISSAGE DES CANAUX :

La mise en eau intervient généralement au début de la campagne d'irrigation. Cette opération étant délicate et précieuse; il est important de respecter certaines règles pour la mener à bien et éviter les surprises désagréables.

La mise en eau des canaux tertiaires doit se faire lentement et graduellement et étalée sur plusieurs heures.

Les règles fondamentales à respecter sont :

- Permettre aux remblais des cavaliers et aux remblais autour des ouvrages de se stabiliser;
- Prévenir l'échelon supérieur en cas de problème
- Eviter les conditions de fonctionnement extrêmes des prises (charge trop importante qu'en condition normale : Vitesse importante remous vortex entraînement des particules à l'aval).
- Respecter les vitesses admissibles dans les canaux en terre.
- Remplir les biefs dans l'ordre suivant de l'amont vers l'aval.
- Fermer les vannes des prises secondaires pendant le remplissage.
- Remplir les canaux avant le début des irrigations et s'assurer que les côtes sont atteintes (marquage sur les canaux).

Le remplissage est l'occasion de vérifier le fonctionnement des ouvrages et la validité des lignes d'eau.

9.1 Temps de réponse :

Suite à un appel de débit, le régime permanent se modifie et il faudrait un certain temps appelé "temps de réponse" pour qu'il s'établisse.

Un appel brusque de gros débit provoque la chute de la ligne d'eau, de ce fait il est conseillé de faire l'appel de débits demandés de façon progressive pour assurer la stabilité de la ligne d'eau.

9.2 Consignes spécifiques :

9.2.1 Crise d'eau

En cas d'éventuel crise d'eau il est nécessaire d'élucider la cause :

- s'assurer que le réseau ne perd pas l'eau à partir d'un point de rupture
 - vérifier que la main d'eau (module) est délivrée uniquement à l'irrigant du jour et du moment ;
 - vérifier que les côtes d'irrigation dans les différents biefs sont atteintes d'aval en amont,
 - vérifier le fonctionnement des pompes
 - contrôler le débit de déversement sur les seuils des chutes ;
- Si tel n'est pas le cas, il devient obligatoire d'arrêter l'irrigation et de procéder au remplissage des canaux.
- Si ces conditions sont remplies on fait recours à l'irrigation au tour d'eau avec une surveillance accrue.

9.2.2 Lutte contre le gaspillage d'eau :

Le gaspillage d'eau peut être à l'origine de certaines crises d'eau. Il est vital pour l'ODRS dont les revenus proviennent essentiellement de la redevance eau de lutter énergiquement contre le gaspillage d'eau (**fausse manœuvre, écoulement anormal des eaux dans les drains**).

Pour cela il est important d'appliquer certaines règles qui sont :

- * élaboration et suivi des plans d'irrigation (équilibre entre la demande et l'offre, collecte de données et établissement des rapports journaliers hebdomadaires et mensuels),
- * contrôle d'exécution du plan d'irrigation (bilan de la campagne d'irrigation qui permet de savoir les écarts et aide à déterminer les causes qui sont à l'origine de ces écarts),
- * vérification du fonctionnement hydraulique des ouvrages (étanchéité, déversement inutile de l'eau dans les drains)

Notons que tout cela ne saurait se faire sans l'engagement des agents des services concernés, sans la sensibilisation des exploitants et leur collaboration.

- En cas de brèche.
La rapidité d'intervention vers la vanne située en amont doit être de rigueur en cas de brèche. On place des sacs remplis de terre en amont. Une fois le courant arrêté, on effectue la réparation de la brèche avec du matériau de remblai que l'on compacte couche par couche.
- En cas de renard
le procédé est similaire. Une fois le trou détecté on intervient de l'amont jamais vers l'aval en l'obturant avec un sac rempli de terre. Le trou ainsi dégagé est obturé avec du matériau de remblai correctement compacté.
- En cas de forte pluie, il convient d'arrêter l'irrigation pour économiser de l'eau et éviter un grand drainage.

X- ENTRETIEN DU RESEAU

Dans la décomposition des coûts des travaux d'aménagement, le réseau d'irrigation occupe la plus grande part. De ce fait il doit être conçu pour durer longtemps. Dans la plupart des cas, on constate avec amertume l'apparition des problèmes prématurés sur ces canaux. Ces problèmes se présentent comme suite :

- La dégradation des talus pour les canaux tertiaires par, leur mauvais fonctionnement, les fortes pluies, le battillage de l'eau suite aux vents, le piétinement des animaux venus paître ou boire et les passages de véhicules.
- L'envasement et la prolifération de mauvaises herbes ;
- La détérioration du mastic Bitumineux des joints ;
- L'obstruction du siphon inversé ;
- Le mauvais fonctionnement des ouvrages.

Dans ces conditions on perd la maîtrise du débit, et le réseau n'est plus en mesure de livrer la quantité d'eau nécessaire ni de la distribuer équitablement.

Par contre avec un bon entretien continu et avec la coopération des paysans on évite tous ces problèmes, et étaler la durée de vie de l'aménagement.

Les défaillances techniques (au stade de la conception, de la réalisation et de l'exploitation), la mauvaise organisation et le manque d'entretien courant, sont les grandes causes de la dégradation des périmètres. Leur réparation incombe au service d'entretien à laquelle on doit allouer le personnel, le budget et du matériel nécessaire à la réalisation de ces travaux.

Le service d'entretien a la responsabilité de maintenir les réseaux d'irrigation et de drainage en état de fonctionnement normal. Pour cela il est nécessaire de s'inspirer de l'expérience des périmètres similaires et de définir ensuite :

- le plan d'entretien (canaux, drains pistes, périodicité et méthodologie)
 - le besoin en personnel, machinisme et outillage.
 - l'exécution du plan d'entretien.
- ❖ Les canaux tertiaires doivent subir un entretien rigoureux car n'étant pas revêtus ils sont les plus vulnérables aux dégradations cette tâche doit revenir aux exploitants.
 - ❖ La technique du mastic bitumineux, l'expérience a montré qu'elle n'est pas adaptée à notre climat sous le quel le bitume sous l'effet de la chaleur se détériore et parvient plus à assurer l'étanchéité des joints. En conséquence il convient périodiquement de renouveler le mastic bitumineux en attendant la découverte d'une technique assurant mieux l'étanchéité des joints.
 - ❖ Avant la campagne d'irrigation procéder au curage de tous les canaux revêtus et des deux siphons inversés.
 - ❖ Le reprofilage des cavaliers et des pistes doivent d'être inséré dans le programme d'entretien ;
 - ❖ En cas de forte pluie, interdiction stricte aux véhicules de circuler sur les pistes et les digues avant le ressuage.

Pour la piste Sélingué – Maninkoura :

- ❖ Mettre en place deux barrières de pluie afin de protéger la chaussée
- ❖ Instaurer le péage
- ❖ Recharger après chaque hivernage
- ❖ Réprofiler les fossés d'assainissement avant chaque hivernage
- ❖ Déobstruer les exutoires des ouvrages d'assainissement
- ❖ Remettre en place les panneaux de signalisation

XI- ENTRETIEN DES STATIONS DE POMPAGE

La feuille de route à tenir pour un fonctionnement à souhait des installations électromécaniques demeure les recommandations et les instructions du Constructeur. Le dossier des stations contient tous les catalogues sur les équipements et tous les schémas électriques nécessaires au décriptage du circuit de commande et de fonctionnement.

Les stations de pompage sont équipées de pompe submergées à roue à canaux par contre les Stations d'exhaure sont équipées de pompes à ligne d'arbre axe verticale.

Les fabricants sont :

- Pompe immergées : LOWARA France SA
- Pompe ligne d'arbre : GOURDIN

Les règles élémentaires à tenir que nous recommandons sont :

- ❖ Curage des chambres des pompes avant et après hivernage particulièrement pour les stations d'exhaure et avant la campagne d'irrigation pour les stations de pompage.
- ❖ Le talus des chenaux nécessite une protection par enrochement
- ❖ Vérification des différentes sécurités de protection ;
- ❖ Démarrage des pompes une fois dans le mois ;
- ❖ Mesure vibratoire des vibrations des groupes ;
- ❖ Respecter le nombre admissible de démarrage des pompes (4 fois /heure au plus) ;
- ❖ Vérifier le niveau d'huile 1 fois par semaine (pour les stations d'exhaure) et remplacer totalement l'huile au bout des 200 premières heures de marche
- ❖ Remplacer l'huile 1 fois par an. Le volume d'huile est de 1 litre qualité « imperator THM100 »

Il est indispensable pour des installations de cette envergure que le personnel de gestion ne suivent pas des stages de perfectionnement au près des constructeurs. La formation de qualité est la seule voie qui conduit à la bonne gestion des stations. Le transfert de compétences ne peut pas se limiter au suivi des opérations de montage et d'installation car cela est insignifiant et demeure une action inachevée.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATION

La maîtrise de l'eau ne se limite pas seulement à l'amélioration des conditions sur le réseau principal. Elle s'étend au moins jusqu'au niveau des secondaires et des tertiaires qui en plus du primaire assurent l'acheminement de l'eau à la parcelle.

Par rapport au cas de Maninkoura, nous recommandons certaines dispositions qui seront très utiles pour la gestion de l'eau et pour l'augmentation de la productivité à savoir :

- Le plan d'eau normale pour le fonctionnement optimale des modules à masques doit être apprécié par les agents d'exploitation (détectable à partir des éléments physiques des modules) ;
- Les agents des services de gestion eau de l'unité d'entretien et du conseil rural doivent bénéficier de formation continue.
- Les exploitants doivent être informés sur les avantages de la gestion de l'eau. (Dans certains pays la redevance en eau est fonction de la quantité d'eau utilisée et non de la superficie irriguée).

Notons que ces règles et recommandations que nous venons d'énumérer permettent d'apporter aux gestionnaires et aux exploitants du périmètre le concours de notre expérience pour permettre à ceux ci de tirer de leur périmètre le rendement maximum.

Ces règles et recommandations n'ont pas la prétention de répondre à tous les cas et de parer par avance à tous les incidents. Mais si elles sont consciencieusement observées et logiquement appliquées, elles faciliteront dans la majorité des cas, la tâche des gestionnaires et des exploitants. Elles ne sont pas immuables et doivent être mises à essai et vérifiées localement

Le moyen de mobilisation de l'eau d'irrigation étant le pompage, les équipements électromécaniques doivent faire l'objet d'une attention particulière. Les gestionnaires doivent se conformer aux règles et recommandations du constructeur.

LES ABAQUES

De abaque 1 à abaque 5 (fichiers Excel)