

CALCUL DE LA PRODUCTIVITÉ DE L'EAU DANS LES ZONES DE PRODUCTION DE L'OFFICE DU NIGER AU MALI

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER
SPECIALISE EN GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU



SOUTENU PAR

Mr **DIAKITE Moussa**

Jury d'évaluation

Dr..... (Président)
Dr..... (Membre)
Dr (Membre)
Dr..... (Membre)

Travaux dirigés par Dr **Bruno BARBIER**, Agroéconomiste
au **CIRAD** en poste au **ZIE**



PROMOTION 2008-2009

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mon père Karamoko DIAKITE pour son soutien moral et son encouragement tout au long de cette formation

A ma mère Coumba DIARRA pour ces bénédictions

A ma tante Aminata DICKO

A mon grand Mamadou TOURE

A tous mes frères et soeurs

Remerciements

Tout d'abords, j'aimerais remercier le corps professorat pour la qualité de la formation.

Je remercie personnellement Mr Bruno BARBIER pour son encadrement et ses conseils tout au long de ce stage.

Je tiens aussi à remercier tous mes camarades de classe, avec qui j'ai passé de bons moments durant l'année scolaire.

Je remercie la communauté malienne du 2ie pour l'accueil qu'ils m'ont réservé dès notre arrivée.

Aussi, je remercie mes collègues KOUANDA Bouraïma, FOSSI Sévère, OGOU Constant, TOROU Bio Mohamadou, KOUAKOU Marcellin.

Enfin je remercie la commission de l'Union Européenne qui a financé la formation.

Résumé

Notre étude a concerné le calcul de la productivité de l'eau dans les six zones de production de l'Office du Niger. Les résultats que nous avons obtenus dans les différentes zones sont inférieurs aux valeurs de référence qui respectivement de $0,6 \text{ kg/m}^3$ pour la productivité physique et de 130 FCFA/m^3 pour la productivité économique. Cela traduit la mobilisation d'une grande quantité d'eau pour une faible production.

Mais le constat est que durant les deux périodes l'excès d'eau qui n'est pas utilisé ne constitue pas une perte à l'échelle du bassin versant. Car cette eau regagne le fleuve et est utilisée plus loin en aval.

On pouvait considérer ces excès d'eau comme des pertes si nous étions dans un système où l'irrigation se fait par pompage alors qu'à l'ON l'irrigation est gravitaire.

Mots clés

Office du Niger, productivité, irrigation, mobilisation.

Abstract

Our study is related to the calculation of the water productivity in the six area production of the Office of Niger. The results obtained in the various area are lower than the values of reference which is of 0,6 kg/m³ for the physical productivity and 130 FCFA/m³ for the economic productivity. That translate the mobilization of a great quantity of water for a small production. But the report is that during the two periods the water excess which is not used does not constitute a loss on a catchment area scale. Because this water returns to the river and is reused downstream, one could consider these water excesses as losses if we were in a system where the irrigation is done by pumping whereas with the Office of Niger irrigation is made by gravity.

Keys words

Office of Niger, productivity, irrigation, mobilization

Table des matières

Dédicace	iii
Remerciements	iv
Résumé	v
Abstract	vi
Liste des sigles et des abréviations.....	ix
Liste des sigles et des abréviations.....	ix
Liste des figures	x
Liste des figures	x
Liste des tableaux	x
Liste des annexes.....	x
<i>Introduction</i>	1
<i>I. Cadre théorique : la productivité de l'eau</i>	2
<i>II. Matériel et méthode</i>	3
A. Présentation physique de la zone	3
1. Zone d'étude	3
2. Géologie et géomorphologie	4
3. Conditions climatiques	5
4. Les différents types de sols	6
5. Présentation des six zones de production de l'ON	7
B. Formule utilisées pour le calcul de la productivité de l'eau.....	8
<i>III. Résultats du calcul de la productivité de l'eau</i>	9
1. Dans la zone de Macina	9
a. Productivité physique de l'eau au niveau de la parcelle	9
b. Productivité économique de l'eau au niveau de la parcelle	9
2. Dans la zone de Niono	10
a. Productivité physique de l'eau au niveau de la parcelle	10
b. Productivité économique de l'eau au niveau de la parcelle	10
3. Dans la zone de Molodo.....	10
a. Productivité physique de l'eau au niveau de la parcelle	10
b. Productivité économique de l'eau au niveau de la parcelle	10
4. Dans la zone de N'debougou	11
a. Productivité physique de l'eau au niveau de la parcelle	11
b. Productivité économique de l'eau au niveau de la parcelle	11
5. Dans la zone de Kouroumari.....	11
a. Productivité physique de l'eau au niveau de la parcelle	11
b. Productivité économique de l'eau au niveau de la parcelle	11

6.	Dans la zone de M'bewani	12
	a. Production physique de l'eau au niveau de la parcelle.....	12
	b. Productivité économique de l'eau au niveau de la parcelle	12
IV.	<i>Analyse</i>	12
V.	<i>Discussion</i>	17
	1. Productivité de l'eau à l'ON	17
	2. Rendement	17
	3. Prélèvements dans le fleuve Niger	18
VI.	<i>Recommandations</i>	18
	Conclusion.....	19
	Bibliographie.....	21
	SITES INTERNET.....	21
	Annexes.....	22
	Annexe 1 :	23
	Annexe 2 : Tableau des valeurs de la productivité économique de l'eau calculées au niveau de la parcelle.....	24
	Annexe 3 : Tableau des valeurs de la productivité physique de l'eau calculées au niveau de la parcelle.	25
	Annexe 4 : Tableau des valeurs de la productivité économique de l'eau calculées au niveau du canal	26
	Annexe 5 : Tableau des valeurs de la productivité physique de l'eau calculée au niveau du canal	27
	Annexe 6 : Tableau des valeurs de la productivité physique de l'eau 1995 à 2007 à l'ON.	28

Liste des sigles et des abréviations

APPIA : Amélioration des Performances des Périmètres Irrigués en Afrique

FAO : Organisation des Nations Unis pour l'alimentation et l'agriculture

FCFA : Franc de la Communauté Financière Africain

ha : hectare

Ir : Irrigation

IWMI : International Water Management Institute

Kg : Kilogramme

m³ : mètre cube

O.N : Office du Niger

S.A.F : Service Administratif et Financier

S.C.R : Service Conseil Rural

S.E : Service de Suivi-evaluation

S.G.E : Service de Gestion de l'Eau

SH : Saison humide

SS: Saison sèche

Vp: Volume prélevé

We: Productivité économique

Weh: Productivité économique en saison humide

Wes: Productivité économique en saison sèche

Wp: Productivité physique

Wph: Productivité physique en saison humide

Wps: Productivité physique en saison sèche

Liste des figures

- Figure 1 Situation de l'Office du Niger au Mali
Figure 2 Figure 2 : Productivité économique de l'eau
Figure 3 Figure 3: Productivité physique de l'eau
Figure 4 Figure 4 : Productivité économique de l'eau
Figure 5 Figure 5 : Productivité physique de l'eau
Figure 6 Figure 6 : Evolution de la productivité physique
Figure 7 : Evolution des rendements de riz à ON source

Liste des tableaux

Tableau de synthèse des résultats du calcul de la productivité économique et physique.

Liste des annexes

- Annexe 1** : Structure de la maille hydraulique à l'échelle d'un casier rizicole
Annexe 2 : Tableau des valeurs de la productivité économique de l'eau calculées au niveau de la parcelle
Annexe 3 : Tableau des valeurs de la productivité physique de l'eau calculées au niveau de la parcelle.
Annexe 4 : Tableau des valeurs de la productivité économique de l'eau calculées au niveau du canal
Annexe 5 : Tableau des valeurs de la productivité physique de l'eau calculée au niveau du canal
Annexe 6 : Tableau des valeurs de la productivité physique de l'eau 1995 à 2007 à l'ON

Introduction

L'eau est devenue une denrée rare. La pénurie actuelle en eau signifie qu'il y a un besoin urgent de mettre en place des pratiques qui utiliseront plus efficacement l'eau en agriculture, notamment pour le riz qui est l'une des plus importantes céréales dans le monde. Cette culture consomme le double de la quantité d'eau que consomment les autres céréales à cause de la technique d'irrigation utilisée. Selon la FAO on utilise en moyenne 2 000 tonnes d'eau s pour produire une tonne de riz. Le riz est une céréale adaptée aux conditions de submersion. Cette technique permet un contrôle des mauvaises herbes non aquatiques, augmente l'assimilation des nutriments, empêche l'installation du stress hydrique et facilite l'utilisation des produits chimiques granulés. La submersion pour la culture du riz est un outil de gestion de l'irrigation et non un besoin réel en eau. Pourvu que le sol contienne suffisamment d'eau et d'oxygène (75 à 80 %), le riz croîtra plus vigoureusement et donnera de bons rendements. D'ailleurs, le riz croît sous des conditions de non submersion dans plusieurs pays du monde où il est conduit en pluvial. La conduite du riz par la technique de submersion donne le maximum de rendement, mais engendre d'importantes pertes en eau d'irrigation et a un impact néfaste sur l'environnement (FAO, 1990).

L'agriculture irriguée qui occupe 20% des terres arables dans le monde, ne représente que 7% en Afrique, contre 38% en Asie. Il faut souligner par ailleurs que 4% seulement des réserves d'eau sont exploitées en Afrique contre 20% en Asie. Ces performances décevantes de l'agriculture en Afrique, avec une croissance inférieure à celle de la population, ont eu des conséquences "*tragiques*" pour le continent.

La crise alimentaire en 2007 qui a frappé de plein fouet le continent, a eu pour effet une augmentation de 24 millions du nombre de personnes en Afrique sub-saharienne souffrant de faim chronique, parmi les 36 pays affectés par la crise alimentaire dans le monde, 21 sont africains. On peut citer entre autre le Burkina Faso, le Niger et le Mali qui font partis des pays les moins avancés au monde.

« Dans ces pays l'insuffisance d'infrastructure hydrauliques et une mauvaise gestion de la maintenance des ouvrages existant provoquant leur mauvaise performances économiques » (Vidal et al 2004), NBA, 2007.

L'un des indicateurs utilisé aujourd'hui pour évaluer les performances des périmètres irrigués est la productivité de l'eau. Dans cette étude nous nous intéressons particulièrement à cette productivité de l'eau en zone Office du Niger (ON) au Mali.

Nous allons chercher à connaître le niveau de performance de la productivité de l'eau à l'Office. Et quel que soit la situation, nous allons essayer de contribuer à son amélioration.

Notre étude consistera donc à apporter des réponses aux questions suivantes :

- Quelle est la productivité de l'eau dans le périmètre irrigué de l'ON ?
- Comment peut-on expliquer ces résultats?
- Quelles politiques ou système faut-il mettre en place pour que l'eau soit d'avantage productive à l'ON ?

Afin de pouvoir répondre à ces interrogations nous nous sommes fixés les objectifs suivants :

Objectif général

Calculer les différents types de productivité de l'eau dans six zones de productions de l'ON.

Objectifs spécifiques

- Calculer la productivité économique et physique de l'eau dans les six zones de production.
- Analyser les résultats et Identifier les contraintes et les causes qui permettent de mieux les expliquer
- Proposer des solutions pour une meilleure gestion de l'eau et pour augmenter la productivité de l'eau sur les aménagements hydro agricoles de l'ON.

1. Cadre théorique : la productivité de l'eau

L'expression productivité de l'eau est employée pour désigner la quantité ou la valeur du produit par rapport au volume ou à la valeur d'eau prélevée ou détournée. La valeur du produit peut s'exprimer sous différentes formes (biomasse, céréales, argent). Par exemple, la <<perspective produite plus avec moins d'eau est axée sur la quantité de produit obtenue par unité d'eau>> (FAO, 2005). Le terme de la productivité de l'eau peut être exprimé de divers manières se référant aux différents types de termes<<production végétale>> (matière sèche total ou le rendement des grains), et <<la quantité d'eau utilisée (transpiration, l'évapotranspiration et de l'irrigation)>> (Molden 1997). D'une façon plus simple, <<la productivité de l'eau du système de production agricole est généralement exprimée en kg de matière sèche (MS) par m³ d'eau, et représente<< la production agricole par unité de quantité d'eau utilisée>> (Molden 1997). C'est cette productivité qui est généralement appelée productivité physique de l'eau agricole.

Il faudrait également définir comment les retombées sociales de la productivité de l'eau en agriculture peuvent être exprimées. Toutes les définitions proposées peuvent se résumer aux expressions «nutriments par mètre cube d'eau», «nombre de bénéficiaires par mètre cube d'eau», «emplois par mètre cube d'eau» et «moyens d'existence par mètre cube d'eau». Il n'existe pas de définition unique de la productivité et la valeur considérée pour le numérateur peut dépendre de l'objectif envisagé et des données disponibles. « La productivité de l'eau en kilogrammes par unité d'eau est tout de même un concept utile lorsqu'il faut comparer la productivité de l'eau dans les différentes parties d'un même système ou bassin fluvial, ou encore la productivité de l'eau en agriculture avec d'autres utilisations possibles de l'eau » (FAO, 2003). « Elle est également exprimée en termes économiques: \$ par m³ d'eau utilisée. Cette souplesse dans l'expression de la productivité décrit les divers aspects de la gestion de l'eau tels que la production, l'utilisation, l'environnement et l'économie » (Kijne et al 2003) et, par conséquent, mérite d'obtenir une plus grande attention.

II. Matériel et méthode

A. Présentation physique de la zone

1. Zone d'étude

Le Mali est un pays enclavé de l'Afrique de l'Ouest couvrant une superficie d'environ 1,24 million de Km², dont 51 % de terres désertiques. Les superficies cultivées (terres arables et terres en cultures permanentes) couvrent 4.7 millions d'hectares, soit environ 4 % du territoire.

La région naturelle du Delta Central du Niger est un vaste étendu couvrant près de 64.000 Km². La région intéressée par l'étude est la partie occidentale du Delta Central nigérien, lequel comporte deux parties très différentes du point de vue hydrologique :

A l'Ouest, le Delta mort qui se trouve hors des limites de l'inondation annuelle du fleuve ;

A l'Est, le Delta vif qui est annuellement inondé par les hautes eaux du Niger.

La zone de l'Office du Niger correspond au Delta Mort du Niger, ancienne zone d'épandage aujourd'hui abandonnée par le fleuve. Cette zone s'étend sur environ 250 Km le long de la rive gauche du fleuve Niger, à partir du barrage de Markala, situé à 240 Km en aval de Bamako, et présente une surface d'environ 1 million d'ha. La zone ON comprend huit systèmes hydrauliques irrigables à partir de l'eau du fleuve relevée par le barrage de Markala : le Kala Supérieur (64.000 ha), le Kala Inférieur (67.000 ha), le Kokeri (111.000 ha), le Kouroumari (83.000 ha), le Farimaké (94.000 ha) et le Macina (583.000 ha). Actuellement, seuls les

systèmes du Kala Supérieur, du Kala Inférieur, du Kouroumari et du Macina sont, partiellement, aménagés.

L'ensemble des zones aménagées forme un L dont l'angle est situé à Markala, avec une base d'environ 30 Km le long du Niger et du fala de Boky Wéré, et une hauteur d'environ 130 Km le long des trois biefs du fala de Molodo.

Sur un plan administratif la zone aménagée couvre 19 communes dans trois cercles de la région de Ségou.

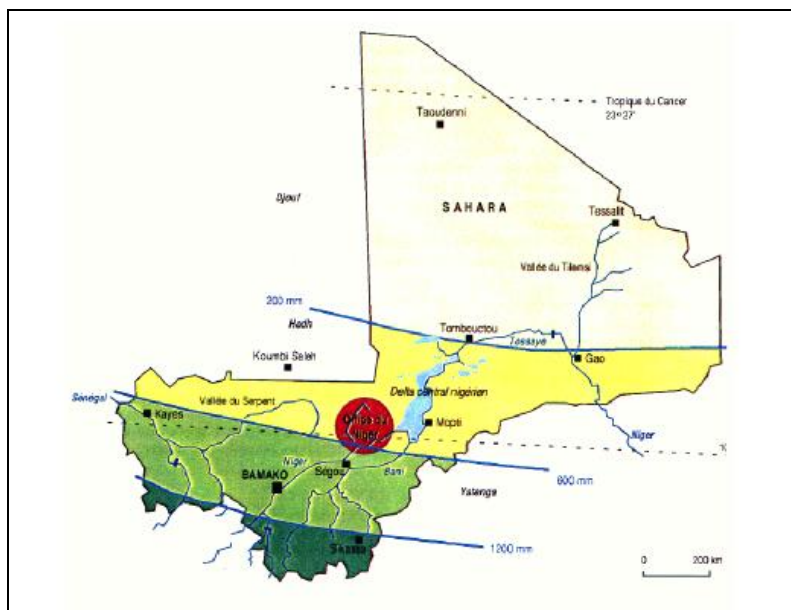


Figure 1 Situation de l'Office du Niger au Mali

Source : Touré, 1997

2. Géologie et géomorphologie

De Tombouctou à Léré, la Région du Delta Central du Niger repose sur la formation Irma-Ibouban (pelitique, schiste et calcaire massif). On y observe une partie de la formation Hombori-Douentza (quartz, quartzites et gypse) et aussi la formation Oualo (affleurements de El Varech). Au-dessus de ces formations, il y a les grès tendres argileux et des argilites sableuses du continental intercalaire au-dessus desquels affleurent les grès ferrugineux conglomératiques du Continental Terminal. Le reste du Delta est couvert par d'immenses couches d'alluvions quaternaires.

La zone de l'Office du Niger s'inscrit dans le Delta mort du fleuve Niger dont la plus grande partie n'est plus naturellement inondée à l'époque actuelle. Cette plaine est occupée par un matériau (Quaternaire) d'apport récent fluvial et également éolien, formant une étendue globalement plane très peu inclinée. Le recouvrement est cependant très hétérogène du point de vue du microrelief (burrelets, chenaux, petites dépressions, etc.) et de la texture des

matériaux (allant des argiles fines aux sables grossiers). Il faut noter l'existence d'importantes vallées fossiles, anciens bras morts du fleuve Niger, formant actuellement des dépressions allongées appelées "fala".

Les matériaux d'apport ont été eux-mêmes arrachés à des roches beaucoup plus anciennes, notamment grès et schistes du Continental terminal (Tertiaire), qui constituent le substrat géologique sous-jacent et affleurent localement au nord de la zone d'étude.

La zone de l'ON est limitée au sud par le lit actuel et les plaines d'inondation du fleuve Niger, avec certains dépôts fluvio-éoliens. A l'ouest, elle est bordée par les paysages formés sur la pénélaine continentale. Enfin, elle est limitée au nord par les formations dunaires du Terminal Continental (Tertiaire). Les dunes de cette zone sont de type longitudinal.

3. Conditions climatiques

Le périmètre de l'Office du Niger se situe en zone agro-climatique sahélienne qui couvre 26 % du territoire malien. Cette zone couvre l'essentiel du Delta intérieur du Niger (qui constitue une zone agro-écologique séparée) avec de nombreuses zones inondées une partie de l'année et des zones d'agriculture pluviale. Le climat, de type tropical semi-aride, est caractérisé par l'alternance d'une courte saison des pluies (juin à septembre) et d'une longue saison sèche (octobre à mai). La zone est affectée par le mouvement de deux masses d'air :

pendant la saison sèche, elle est soumise à l'influence de l'harmattan alors qu'elle reste sous l'influence de la mousson en saison pluvieuse.

Les précipitations moyennes diminuent sensiblement du sud au nord, elles se situent aux environs de 600 mm/an.

Les températures varient relativement peu, avec une moyenne annuelle des moyennes journalières proche de 21 °C, avec un minimum d'environ 14 °C en janvier et un maximum d'environ 26 °C en mai.

La saison sèche est caractérisée par deux périodes :

- une courte période fraîche et sèche de fin octobre à janvier, avec des températures moyennes journalières comprises entre 14 et 20 °C
- une période chaude et sèche de février à mai, avec des températures moyennes journalières comprises entre 20 et 26 °C.

Cette deuxième période, chaude et sèche, est mise à profit pour la culture de riz irrigué dit de "contre-saison".

L'évaporation est relativement importante : la moyenne est de 2.917 mm/an (évaporation bac) sur la période 1960-1998, soit 6 à 7 fois supérieure aux précipitations, avec un minimum en

septembre et un maximum en avril. Les moyennes varient entre 9 et 11 mm/j pendant la saison sèche et chaude, et entre 7 et 8 mm/j en saison sèche et fraîche.

A Ségou, l'humidité relative moyenne oscille entre un maximum de 94 % en août et un minimum de 17 % en février (moyenne mensuelles maximales et minimales de 1981 à 1998). Les vents sont relativement modérés tout au long de l'année, avec des vitesses variant de 1 à 3 m/s.

4. Les différents types de sols

Les sols de la zone de l'ON se sont formés sur des alluvions récentes du Quaternaire provenant des altérations de la roche mère grenue et transportées par l'eau ou le vent. A l'origine, avant les aménagements, leur pH était généralement acide ou proche de la neutralité. Comme souvent, ces sols alluviaux présentent une très grande diversité de textures et de couleurs. Ainsi, pour la description de ces différents types de sols, la classification locale traditionnelle est préférentiellement utilisée. Les appellations locales distinguent cinq types de sols en fonction de leur texture, leur aspect (couleur, concrétions, horizons marqués) et de leur station morpho-pédologique (levées alluviales, fonds de vallées, etc.).

Les *sols sableux* sont localisés sur les levées alluviales et les petites dunes. Ces sols peu évolués d'apport alluvial, de couleur jaune, sableux sur tout leur profil, sont très pauvres en matière organique. Ils portent l'appellation locale de "*Seno*". Les sols de type *Seno*, lorsqu'ils sont étendus sur de grandes surfaces, ne sont pas aptes à la riziculture à cause de leur grande perméabilité : dans les parties déjà aménagées, ils sont utilisés pour la culture maraîchère.

Les *sols limoneux* sont localisés dans les petites levées, dans les zones d'épandage terminal (zones de transition entre la partie haute à texture grossière et les cuvettes de décantation).

Il s'agit de sols hydromorphes minéraux à amphigley, de couleur brun-rouge avec une texture équilibrée à dominante limoneuse en surface, fréquemment superposée à un niveau plus argileux. La teneur en matière organique est relativement faible et le profil est riche en gravillons ferrugineux. Ces sols sont localement appelés "*Danga*". La présence fréquente dans les sols de type *Danga* d'horizons argileux en faible profondeur est favorable pour la riziculture, car cet horizon imperméable permet de maintenir l'eau dans les parcelles.

Les *sols argileux* occupent les cuvettes de décantation, où se sont accumulées les particules les plus fines. Ils sont apparentés à la catégorie des vertisols (argiles noires tropicales), avec une teneur en argile supérieure à 60 %. Ces sols sont très compacts et présentent après dessiccation des fentes de retrait parfois très profondes et de très importantes concrétions

ferrugineuses. Trois appellations locales désignent ces sols en fonction de leur teneur en argile et de leur couleur :

- sols de type *Dian* : argile sableuse ou lourde, de couleur brune, avec de nombreux nodules calcaires
- sols de type *Boi* : argile limoneuse de couleur jaune cendré et
- sols de type *Moursi* : argile lourde de couleur rouge noirâtre, avec de nombreux nodules calcaires.

Ces sols très peu perméables avec un très faible drainage interne sont essentiellement utilisés pour la riziculture.

Les sols de types *Moursi* et *Dian*, riches en calcium et dotés d'une capacité d'échange élevée, sont en principe moins sensibles au risque d'alcalinisation.

5. Présentation des six zones de production de l'ON

Le périmètre de l'Office du Niger est divisé en six zones de production qui correspondent à des unités techniques et administratives : Macina, Molodo, N'Débougou, Niono et Kouroumari et M'Béwani. Chacune d'elle, dotée pour son fonctionnement de services annexes (Service de gestion de l'eau (SGE), Service conseil rural (SCR), Service administratif et financier (SAF), Service de Suivi-Evaluation (SE)), regroupés en une direction locale de l'Office du Niger (ON). Les services des zones sont à l'origine d'une grande partie des informations et des données nécessaires au fonctionnement de l'Office du Niger.

L'aménagement hydro agricole du delta intérieur fossile de l'Office du Niger est constitué d'un réseau hiérarchisé et d'ouvrages, qui distribuent et drainent de l'eau, et d'un réseau dense de pistes, qui facilite les déplacements à l'intérieur du périmètre. Le système d'irrigation est entièrement gravitaire. L'irrigation de ce delta intérieur est rendue possible grâce à la remise en eau d'anciens défluent du fleuve Niger (le falas de Molodo dans le Kala et le fala de Boky Wéré dans le Macina) par d'importantes infrastructures primaires comprenant le barrage de Markala, le canal adducteur d'aménagé, et de trois systèmes de distribution à partir du point « A » : le système du Sahel (zones de Niono, Molodo, N'Débougou et Kouroumari), le système du Macina (zone du Macina) et le système Costes- Ongoïba.

Édifié en 1947 à Markala, le barrage est situé sur le fleuve Niger. Il relève, le plan d'eau de 5.5 mètres au-dessus du niveau de l'étiage et permet de dériver les eaux du fleuve vers la rive gauche.

Aménagé en 1935, le canal adducteur fait prise dans le fleuve Niger (rive gauche) juste en amont du barrage de Markala. Il est ouvert actuellement en section réduite (50m) et devra être

ultérieurement porté à 100 m de large et 5 m de profondeur pour porter 500 m³/s. Son débit actuel est de 200 m³/s. Long de 9 Km, il se termine en un point triple dit point A (Annexe 1), d'où partent trois canaux principaux : le canal du sahel, le canal du Macina et le canal Coste-Ongoïba.

D'une capacité de 110 m³/s, **le système du Sahel** permet l'irrigation du Kala inférieur (26000 ha, couvrant les zones de Niono, Molodo, et N'Débougou) et de Kouroumari. Il est creusé et endigué sur 24 Km à partir du point A, qui débouche librement dans un ancien défluent du fleuve Niger, le Fala de Molodo, endigué de part et d'autre et divisé en deux biefs égaux de 56 Km de longueur par un ouvrage régulateur en un point dénommé Point B. Le second Bief se termine par une digue transversale et un déversoir de sécurité, le Point C, qui sert de soupape sur un dernier bief en cours d'aménagement. L'ouvrage régulateur du Point B permet de réguler le plan d'eau en son amont et assure l'alimentation des zones de productions de Niono, Molodo et de N'Débougou toutes situées sur le second bief. Il permet également de faire transiter le débit nécessaire dans le second bief pour l'irrigation des terres de la zone de production de Kouroumari.

D'une capacité de 50 m³/s, **le système du Macina** comprend un canal, creusé et endigué sur 20 Km qui débouche librement sur un ancien défluent du Niger dénommé le Fala de BokyWèrè endigué de part et d'autre sur 50 Km. Avec un potentiel de 25 000 ha, ce système dessert actuellement environ 21000 ha dont 15000 ha de casiers de la zone du Macina. Un déversoir de sécurité situé à 6 Km de Kolongo sur le Fala de BokyWèrè rejette les eaux excédentaires dans le fleuve Niger à environ 70 Km en aval du barrage.

Le système de Costes-Ongoïba a une capacité maximale de 48 m³/s. A l'état actuel de son aménagement ce système débite au maximum 13 m³/s. Il dessert de façon gravitaire 5806 ha aménagés cultivés en canne à sucre dans le Kala Supérieur initialement irrigué par le pompage à partir du canal du Sahel. Ces périmètres sucriers, non gérés par l'Office du Niger, sont en pleine expansion puisque d'autres superficies devraient être aménagées dans les cinq ans à venir. Son potentiel est de 23000 ha. De nombreux projets d'extension sont en projet sur ce système ; le Bévani connaît depuis le 21/12/1996 un début de réalisation, avec un potentiel de 15 000 ha sur la rive droite du canal Coste-Ongoïba.

B. Formule utilisées pour le calcul de la productivité de l'eau

Les expressions suivantes sont utilisées pour le calcul de la productivité. Pour la productivité physique, on a appliqué les formules suivantes.

$W_p = \text{Rendement} / I_r$ où I_r est l'eau d'irrigation et est exprimée en m^3 . (Burt), W_p qui est la productivité de l'eau est exprimée en (kg/m^3) .

$W_p = \text{Rendement (kg)} / I_r + P$ où P désigne la pluie. (Dong, 2004)

Et pour le calcul de la productivité économique de l'eau, on a appliqué la formule suivante :

$W_e = Pr / V_p$ avec $Pr = \text{Produit (FCFA/ha)}$

Nous allons effectuer les calculs de la productivité physique et économique de l'eau dans les six zones de l'ON.

Concernant la productivité physique, nous avons fait le calcul en saison humide et en saison sèche. Pour cela nous avons utilisé les volumes d'eau mesurés en saison humide et en saison sèche au niveau du canal adducteurs qui sont respectivement de $25.317m^3/ha$ et $87.787m^3/ha$ (Tangara, 2008). Ces données ont été utilisées pour le calcul de la productivité de l'eau au niveau du canal adducteur. Aussi, pour le calcul de la productivité au niveau de la parcelle nous avons utilisé le volume mesuré dans la parcelle qui est de $13.164 m^3/ha$ en saison humide et $28.091,84 m^3/ha$ (Tangara, 2008).

On a aussi pris en compte pour le calcul de la productivité en saison humide la pluviométrie moyenne de chaque zone.

III. Résultats du calcul de la productivité de l'eau

1. Dans la zone de Macina

a. Productivité physique de l'eau au niveau de la parcelle

-Pendant la saison humide

$$W_{ph} = 6501 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} / 13.164,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} + 628 \text{ mm} \cdot 10 \cdot 0,80$$

$$W_{ph} = 0,35 \text{ kg} / \text{m}^3$$

-Pendant la saison sèche

$$W_{ps} = 4430 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} / 28.091,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$W_{ps} = 0,15 \text{ kg} / \text{m}^3$$

b. Productivité économique de l'eau au niveau de la parcelle

-Pendant la saison humide

$$W_{eh} = 1.625.250 \text{ FCFA} \cdot \text{ha}^{-1} / 13164,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} + 628 \text{ mm} \cdot 10 \cdot 0,80$$

$$W_{eh} = 89,35 \text{ CFA} / \text{m}^3$$

-Pendant la saison sèche

$$W_{es} = 1.107.500 \text{ FCFA} \cdot \text{ha}^{-1} / 28.091,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$W_{es} = 39,42 \text{ FCFA} / \text{m}^3$$

2. Dans la zone de Niono

a. Productivité physique de l'eau au niveau de la parcelle

-Pendant la saison humide

$$W_{ph} = 6892 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} / 13164,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} + 448 \text{ mm} \cdot 10 \cdot 0,80$$

$$W_{ph} = 0,41 \text{ kg} / \text{m}^3$$

-Pendant la saison sèche

$$W_{ps} = 5300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} / 28.091,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$W_{ps} = 0,18 \text{ kg} / \text{m}^3$$

b. Productivité économique de l'eau au niveau de la parcelle

-Pendant la saison humide

$$W_{eh} = 1.723.000 \text{ FCFA} \cdot \text{ha}^{-1} / 13.164,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} + 448 \text{ mm} \cdot 10 \cdot 0,80$$

$$W_{eh} = 102,87 \text{ FCFA} / \text{m}^3$$

-Pendant la saison sèche

$$W_{es} = 1.325.000 \text{ FCFA} \cdot \text{ha}^{-1} / 28.091,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$W_{es} = 47,16 \text{ FCFA} / \text{m}^3$$

3. Dans la zone de Molodo

a. Productivité physique de l'eau au niveau de la parcelle

-Pendant la saison humide

$$W_{ph} = 6228 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} / 13.164,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} + 387 \text{ mm} \cdot 10 \cdot 0,80$$

$$W_{ph} = 0,38 \text{ kg} / \text{m}^3$$

-Pendant la saison sèche

$$W_{ps} = 5025 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} / 28.091,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$W_{ps} = 0,17 \text{ kg} / \text{m}^3$$

b. Productivité économique de l'eau au niveau de la parcelle

-Pendant la saison humide

$$W_{eh} = 1.557.000 \text{ FCFA} \cdot \text{ha}^{-1} / 13.164,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} + 387 \text{ mm} \cdot 10 \cdot 0,80$$

$$W_{eh} = 95,75 \text{ FCFA} / \text{m}^3$$

-Pendant la saison sèche

$$W_{es} = 1.256.250 \text{ FCFA} \cdot \text{ha}^{-1} / 28.091,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$W_{es} = 44,71 \text{ FCFA} / \text{m}^3$$

4. Dans la zone de N'debougou

a. Productivité physique de l'eau au niveau de la parcelle

-Pendant la saison humide

$$W_{ph} = 6911 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} / 13.164 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} + 442 \text{ mm} \cdot 10 \cdot 0,80$$

$$W_{ph} = 0,41 \text{ kg} / \text{m}^3$$

-Pendant la saison sèche

$$W_{ps} = 4748 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} / 28.091,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$W_{ps} = 0,16 \text{ kg} / \text{m}^3$$

b. Productivité économique de l'eau au niveau de la parcelle

-Pendant la saison humide

$$W_{eh} = 1.727.750 \text{ FCFA} \cdot \text{ha}^{-1} / 13.164,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} + 442 \text{ mm} \cdot 10 \cdot 0,80$$

$$W_{eh} = 103,45 \text{ FCFA} / \text{m}^3$$

-Pendant la saison sèche

$$W_{es} = 1.187.000 \text{ FCFA} \cdot \text{ha}^{-1} / 28.091,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$W_{es} = 42,25 \text{ FCFA} / \text{m}^3$$

5. Dans la zone de Kouroumari

a. Productivité physique de l'eau au niveau de la parcelle

-Pendant la saison humide

$$W_{ph} = 6072 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} / 13.164,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} + 386 \text{ mm} \cdot 10 \cdot 0,80$$

$$W_{ph} = 0,37 \text{ kg} / \text{m}^3$$

-Pendant la saison sèche

$$W_{ps} = 4901 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} / 28.091,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$W_{ps} = 0,17 \text{ kg} / \text{m}^3$$

b. Productivité économique de l'eau au niveau de la parcelle

-Pendant la saison humide

$$W_{es} = 1.518.000 \text{ FCFA} \cdot \text{ha}^{-1} / 13.164,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} + 386 \text{ mm} \cdot 10 \cdot 0,80$$

$$W_{es} = 93,33 \text{ FCFA} / \text{m}^3$$

-Pendant la saison sèche

$$W_{es} = 1.225.250 \text{ FCFA} \cdot \text{ha}^{-1} / 28.091,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$Wes = 43,61 \text{ FCFA} / \text{m}^3$$

6. Dans la zone de M'bewani

a. Production physique de l'eau au niveau de la parcelle

-Pendant la saison humide

$$Wph = 6833 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} / 13.164,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} + 672 \text{ mm} \cdot 10 \cdot 0,80$$

$$Wph = 0,36 \text{ kg} / \text{m}^3$$

-Pendant la saison sèche

$$Wps = 4770 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} / 28.091,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$Wps = 0,16 \text{ kg} / \text{m}^3$$

b. Productivité économique de l'eau au niveau de la parcelle

-Pendant la saison humide

$$Wes = 1.708.250 \text{ FCFA} \cdot \text{ha}^{-1} / 13.164,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} + 672 \text{ mm} \cdot 10 \cdot 0,80$$

$$Wes = 92,13 \text{ FCFA} / \text{m}^3$$

-Pendant la saison sèche

$$Wes = 1.192.500 \text{ FCFA} \cdot \text{ha}^{-1} / 28.091,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$Wes = 42,45 \text{ FCFA} / \text{m}^3$$

Tableau de synthèse du calcul de la productivité économique et physique de l'eau

Zones	Productivité économique (Fcfa/m ³)		Productivité physique (kg/m ³)	
	Saison humide (SH)	Saison sèche (SS)	Saison humide (SH)	Saison sèche (SS)
<i>Macina</i>	89,35	39,42	0,35	0,15
<i>Niono</i>	102,87	47,16	0,41	0,18
<i>Molodo</i>	95,75	44,71	0,38	0,17
<i>N'debougou</i>	103,45	42,25	0,41	0,16
<i>Kouroumari</i>	93,33	43,61	0,37	0,17
<i>M'bewani</i>	92,13	42,45	0,36	0,16

IV. Analyse

Après le calcul de la productivité physique et économique de l'eau dans les différents zones de productions de l'ON, nous avons résumé les résultats sur les graphique suivants.

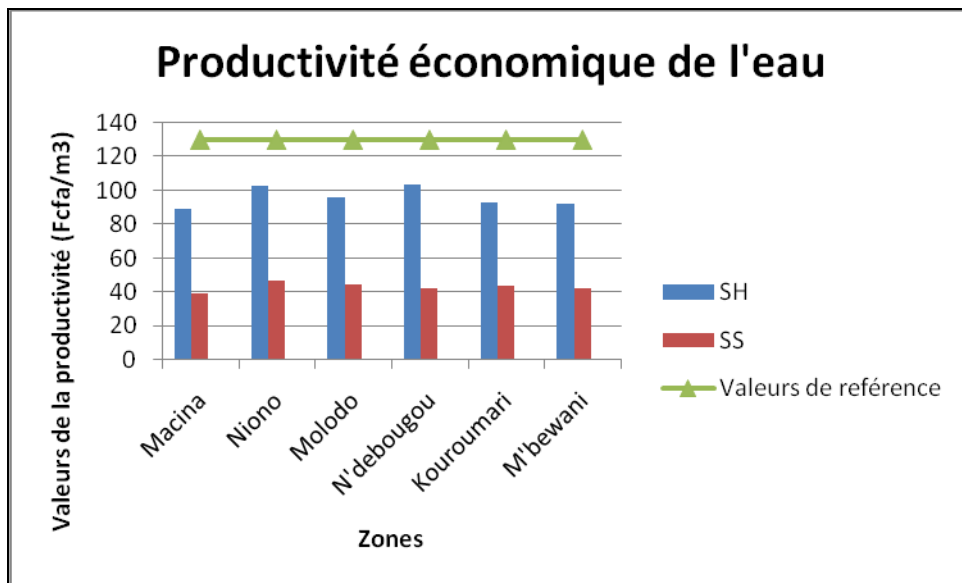


Figure 2 : Productivité économique de l'eau dans la parcelle (voir tableau des valeurs en annexe 2)

Au niveau de ce graphique, nous avons la productivité économique de l'eau mesurée dans la parcelle en saison humide et en saison sèche.

Nous avons aussi une courbe qui nous montre la valeur de référence de la productivité économique. On remarque que les valeurs de la productivité économique pendant les deux saisons sont en dessous de la valeur de référence. Toutefois l'ancienne valeur de référence qui était de 80 Fcfa/m³, date de 1996 proposée par les études de Sally et al, a été revue à la hausse vu le fait que le prix du kg de riz évolue avec le temps. Cette nouvelle valeur revue à la hausse est de 130 FCFA/m³.

Aussi, nous constatons que la productivité économique dans toutes les zones en saison humide est supérieure à celle de la saison sèche.

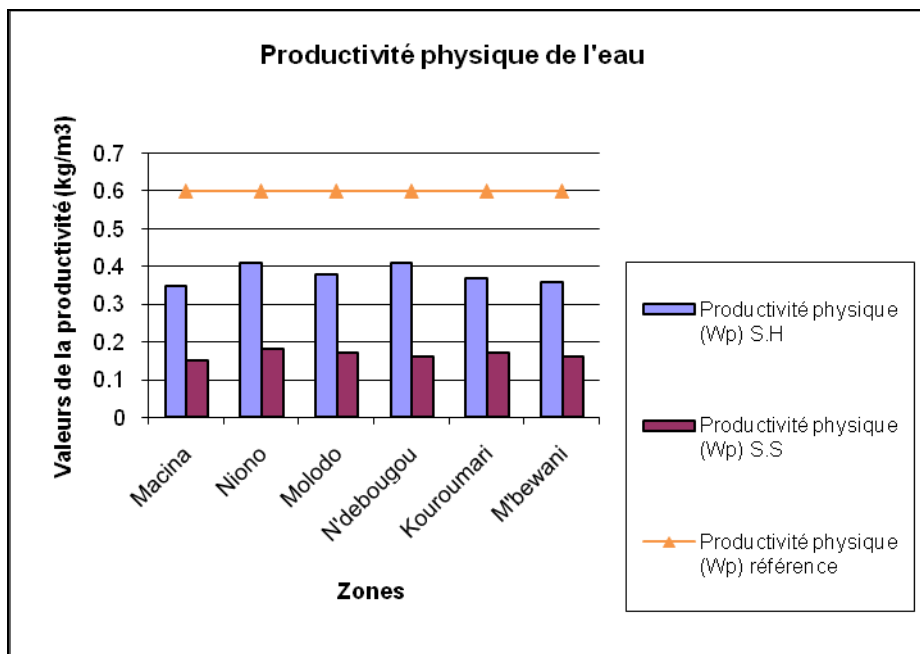


Figure 3 : Productivité physique de l'eau dans la parcelle (voir tableau des valeurs en annexe 3)

Ce graphique représente la productivité physique de l'eau mesurée dans la parcelle. Comme, le graphique précédent nous avons la productivité de la saison humide et de la saison sèche. Nous constatons que la productivité physique de la saison humide est supérieure à celle de la saison sèche dans toutes les zones.

Dans toutes les zones, la valeur de la productivité physique est inférieure à la valeur de référence pour les deux saisons. Cette valeur est de $0,6 \text{ kg/m}^3$ (Sally et al, 1996).

Comme nous l'avons dit au niveau du graphique précédent, il faut essayer d'améliorer cette productivité tout en restant réaliste.

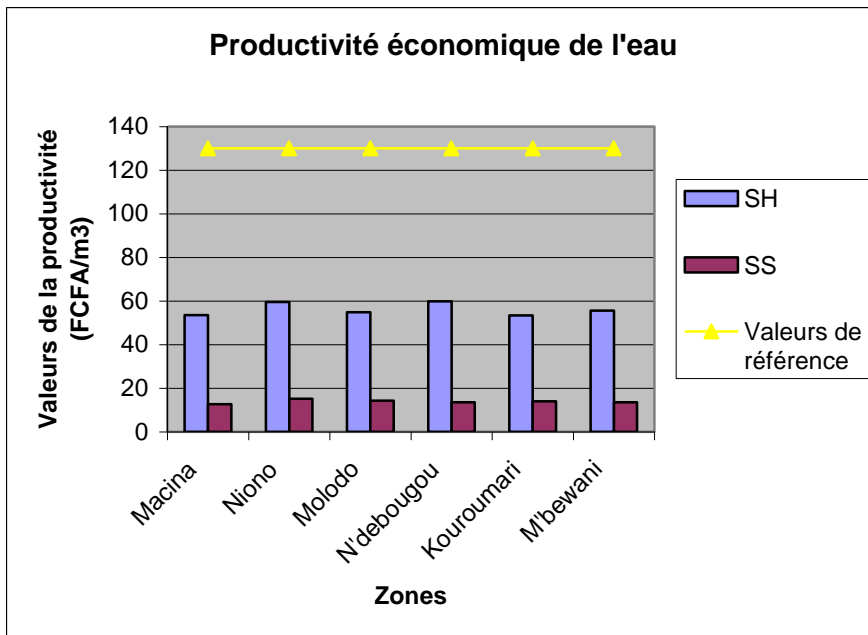


Figure 4 : Productivité économique de l'eau dans le canal (voir le tableau des valeurs en annexe 4)

Ce graphique représente la productivité économique de l'eau mesurée au niveau du canal adducteur en saison humide et en saison sèche.

Cette valeur pour la saison humide est supérieure à celle de la saison sèche dans toutes les zones de productions.

Aussi, la productivité dans toutes les zones est inférieure à la valeur de référence pendant les deux saisons.

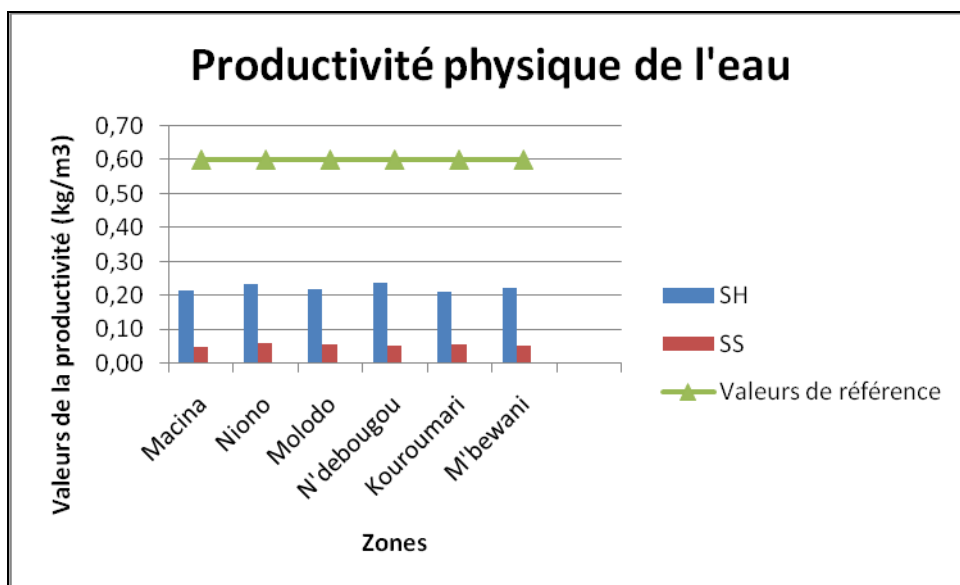


Figure 5 : Productivité physique de l'eau dans le canal (Voir le tableau de valeurs en annexe 5)

Sur ce graphique, la productivité physique de l'eau est calculée à partir du volume d'eau mobiliser au niveau du canal adducteur. On constate que les différents valeurs de la productivité sont inférieure à la valeur de référence dans toutes les zones de productions.

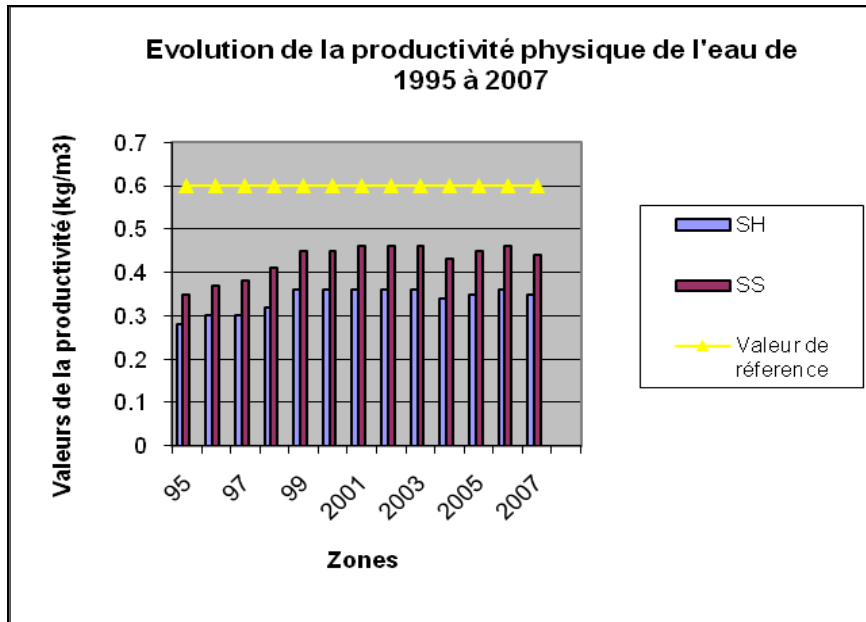


Figure 6 : Evolution de la productivité physique (voir le tableau des valeurs en annexe 6)

Ce graphique, traduit l'évolution de la productivité physique durant 7 ans dans l'ensemble de la zone de l'ON. On constate qu'entre la productivité économique et physique il n'y a pas de différence significative. Durant ces années, la valeur de la productivité que ce soit en saison humide ou en saison sèche est inférieure à la valeur de référence dans l'ensemble à l'office du Niger. Cette tendance général de la mauvaise valeur de la productivité explique la mauvaise performance des zones de productions de l'ON.

Evolution du rendement dans la zone de l'ON

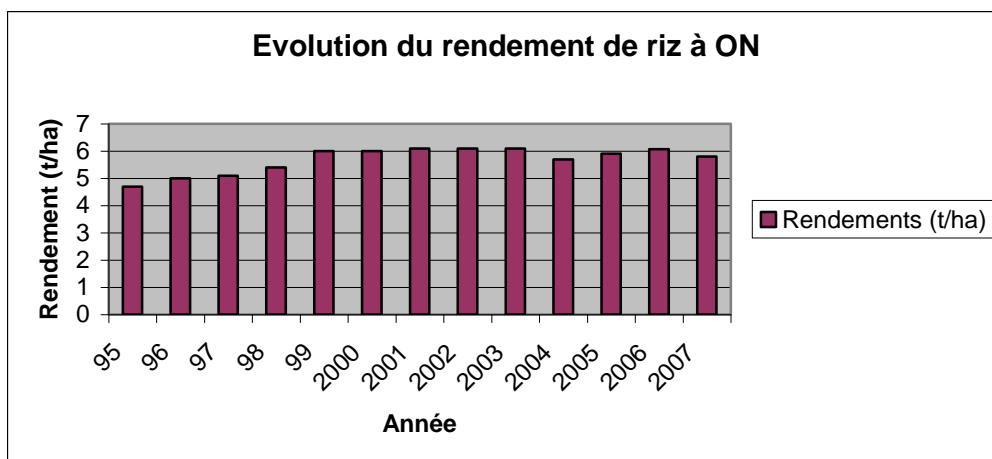


Figure 7 : Evolution des rendements de riz à ON source Tangara (2008)

Ce graphique représente l'évolution du rendement à l'ON. On remarque qu'à partir des années 90 avec la réhabilitation des périmètres les rendements ont commencé à augmenter et atteindre 6 t/ha.

V. Discussion

1. Productivité de l'eau à l'ON

Dans l'ensemble des zones de production la productivité est faible durant les deux saisons. Les valeurs faibles de la productivité économique et physique de l'eau peuvent s'expliquer par l'utilisation d'une quantité d'eau importante pour une faible production. Il faut chercher à améliorer la valeur de la productivité par des techniques d'irrigation qui utilise moins d'eau. Il ne faut pas oublier que cette faible valeur de la productivité de l'eau peut être expliquée par d'autres facteurs qu'il faut prendre en compte pour son amélioration.

Il est important de remarquer aussi que la productivité de l'eau qui arrive à la parcelle est très élevée par rapport à la productivité de l'eau qui est prélevée sur le fleuve. Une bonne gestion de l'eau, une augmentation de l'efficacité de l'eau, l'amélioration des aspects agronomique permettra de d'améliorer les valeurs de la productivité de l'eau en zone ON.

2. Rendement

Dans la zone de l'ON, les rendements sont devenus meilleurs depuis les années 90 grâce aux réhabilitations effectuées durant cette période. Selon les études effectuées par Bélières et al les rendements moyens varient entre 5 à 6 t/ha. Ce rendement s'explique par le fait que dans la zone de l'ON l'irrigation se fait en maîtrise total.

Dans la zone, les exploitants sont passés à la culture intensive. Le calendrier cultural, la densité des cultures et les itinéraires culturaux sont de plus en plus respectés. Les exploitants essaient d'appliquer les doses d'engrais recommandées par la recherche surtout l'utilisation de

la fumure organique. Ils bénéficient de l'appui conseil et ont accès au crédit. L'existence d'une pratique traditionnelle de cultures irriguées (maîtrise des techniques de production, notamment la riziculture par les exploitants des zones irriguées). Avec la fixation du prix par les autorités, les exploitants sont plus motivés à produire plus car, ils sont sûrs que toutes leurs productions seront vendues. Aussi une partie de la production sert à assurer la sécurité alimentaire. Tous ces paramètres contribuent à favoriser l'augmentation des rendements dans la zone Office du Niger.

3. Prélèvements dans le fleuve Niger

Comme l'eau est gratuite, les paysans de l'office ne cherchent pas vraiment à faire des économies. De plus, comme les prélèvements sont tous gravitaires, sans pompage, les incitations à réduire les consommations sont faibles. Les prélèvements atteignent environ 10% des écoulements annuels du fleuve (Mahé et al 2002), ce qui réduit l'eau disponible en aval dans le delta intérieur, la boucle du Niger, et pour les pays situés en aval, le Niger, le Bénin et le Nigeria.

La culture de contre saison a de forts besoins en eau, alors que le débit du fleuve est au plus faible, notamment à l'étiage. La culture rizicole de contre saison largement promue à l'office n'est pas généralisable. Les cultures maraîchères consomment théoriquement moins d'eau mais à l'office les cultures maraîchères en casier ont également des fortes consommations. Mahé et al pensent que si les prélèvements continuent avec les extensions à l'ON, cela fera baisser la hauteur d'eau sur l'échelle hydrologique de Mopti de 650 à 625 cm. Et que l'étendue de l'inondation diminuera d'environ 2000 km². Cela aura des impacts négatifs sur la biodiversité et les activités humaines (pêche, agriculture, élevage...) du Delta Central du Niger.

Cependant les pertes en eau de l'ON ne sont pas forcément des pertes à l'échelle du bassin versant. En effet à l'office du Niger 44% de l'eau prélevée à la source alimente le Fala qui est un défluent du fleuve. Une partie de l'eau consommée par le Canal du Macina, volume encore inconnu, est déversée à nouveau dans le Niger (B.Tangara, 2008). Seule une partie des pertes mesurées par les hydrologues est perdue par évaporation.

VI. Recommandations

A la vue de ces résultats, nous pouvons envisager des solutions durables, c'est-à-dire rentables pour les producteurs et les consommateurs, tout en tenant compte du respect de l'environnement. Améliorer la productivité de l'eau d'irrigation consiste à améliorer le rendu par mètre cube d'irrigation. Contrairement à ce qu'on croit cela ne passe pas forcément par une baisse des apports ou par une hausse de la valeur des productions. Par exemple on peut

augmenter la productivité de l'eau en augmentant les apports, si ceux-ci étaient insuffisants. On peut aussi améliorer la productivité de l'eau en diminuant la production, par exemple en diminuant encore plus les apports d'eau. Le tout est que le gain économique par mètre cube augmente. Une autre idée reçue est qu'améliorer l'efficacité de l'irrigation augmente la productivité de l'eau. Bétonner des canaux en terres, qui augmentent nettement l'efficacité, peut réduire le gain économique net de l'opération à l'échelle d'un périmètre ou d'un bassin. La question de la productivité de l'eau d'irrigation est alors incontournable dès que la question de développement est évoquée dans le monde rural. C'est un vrai outil d'aide à la décision, et pourtant non calculé pour la plupart des exploitations agricoles de la zone.

On peut aussi développer les techniques d'irrigation pour minimiser les pertes en eau.

Il faut utiliser les variétés améliorées qui résistent au stress hydrique et qui ont de très forts rendements.

La formation des agents d'encadrement sur les notions de la gestion intégrée des ressources des eaux est un élément très important qu'il ne faut pas négliger.

Il faut aussi essayer de faire baisser les pertes de rendement dues aux ravageurs des cultures en les contrôlant par l'utilisation des pesticides moins dangereux pour l'environnement.

Il faut aussi sensibiliser les acteurs de l'eau sur les bonnes pratiques. Mettre en place des lois et des règlements qui encouragent la bonne gestion de l'eau. Sanctionner tous ceux qui n'obéissent pas à ces règles.

Conclusion

La productivité de l'eau d'irrigation est de façon générale assez faible dans la zone de l'ON par rapport aux valeurs de références proposées par l'IMMI. Les résultats que nous avons obtenus, sont en fait la conséquence d'un système complexe qui inclut le système d'irrigation, la valorisation agricole, la gestion de l'eau de l'irrigation et de la pluie à l'échelle du périmètre ainsi que l'organisation et l'appui institutionnel faits autour de tout le système irrigué.

Améliorer la gestion de l'eau permettrait de limiter et diminuer la consommation à l'hectare, cette amélioration permettrait l'extension des périmètres sans nuire aux usagers du fleuve Niger à l'aval.

La gestion de la ressource en eau depuis le barrage de Markala jusqu'à la parcelle exige une étroite coordination entre gestionnaire et exploitants.

C'est pourquoi l'important n'est pas seulement de mettre en place un réseau d'irrigation mais surtout d'accompagner de façon continue les acteurs directement impliqués dans la production et la gestion des périmètres par :

La mise en place d'une politique rigoureuse pour l'entretien des réseaux. Aussi il faut faire payer la redevance en fonction du volume consommé afin que les exploitants gèrent de façon rationnelle la ressource en eau du fleuve Niger qui est partagée par plusieurs pays.

Il faut aussi encourager les différents acteurs à la gestion intégrée de l'eau.

La connaissance des besoins en eau des casiers aménagés, mais également ceux des hors casiers et des usages non agricole;

Une concertation avant le démarrage de la campagne agricole, entre l'office du Niger, les communes rurales, les exploitants et les éleveurs, ainsi qu'un suivi régulier de la distribution de l'eau permettra de mieux adapter l'offre à la demande.

En perspective, pour les futures études sur la productivité de l'eau à l'ON, nous pensons qu'il faut revoir les valeurs des volumes d'eau mesurées au niveau des parcelles dans les différentes zones de production. Les études précédentes que nous avons utilisées supposent que la consommation d'eau à l'ha est la même dans toutes les zones de production.

Bibliographie

Bélières Jean François et **Marcel Kuper**, 2001 ; L'extension des périmètres : un problème d'eau et de disponibilités financières.

Brondeau Florence, 2000 ; Les désajustements environnementaux dans la région de l'Office du Niger : Evaluation et perspectives.

FAO. (1996), Situation des récoltes et des approvisionnements en Afrique sub-saharienne

FAO, d.d. (2003). Déverrouiller le potentiel de l'eau en agriculture.

Kijne, J. W., R. Barker and D. Molden (2003). A water-productivity framework for understanding and action. Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. J. W. Kijne, R.

Kouanda Bouraïma, juin 2009 ; Calcul de la productivité de l'eau sur des périmètres irrigués du Bassin du fleuve Niger (Mali, Niger), du bassin de la Volta (Burkina Faso) et celui du fleuve Sénégal (au Sénégal), projet BFP Niger.

Molden D, 1997 ; comptabiliser l'utilisation et la productivité de l'eau. « Soil and water Initiative management » (n°1211)

Office du Niger, janvier 2004 ; Rapport provisoire, étude socio-foncière dans le périmètre de retail VI, 82 pages

Office du Niger, Août 2006 ; Etude de drainage à l'Office du Niger

Orange Didier et al, juin 2002 ; Gestion intégrée des ressources naturelles en zone inondables tropicales.

Sally, H., A. Keita and S. Ouattara (1997). Analyse diagnostic et performances de cinq périmètres irrigués autour de barrages au Burkina Faso. Ouagadougou, IIMI et Projet Management de l'Irrigation.

Soumaoro Satigui et al, juillet 1996 ; Evolution de production dans les parcelle rizicoles d'hivernage des zones de Niono et Molodo ; office du Niger Mali. Campagne agricole 95/96, 102 pages

Tangara, Bréhima 2008 ; Conséquence du développement des cultures de contre-saison sur la gestion de l'eau et la dynamique de la nappe phréatique à l'Office du Niger (Mali).

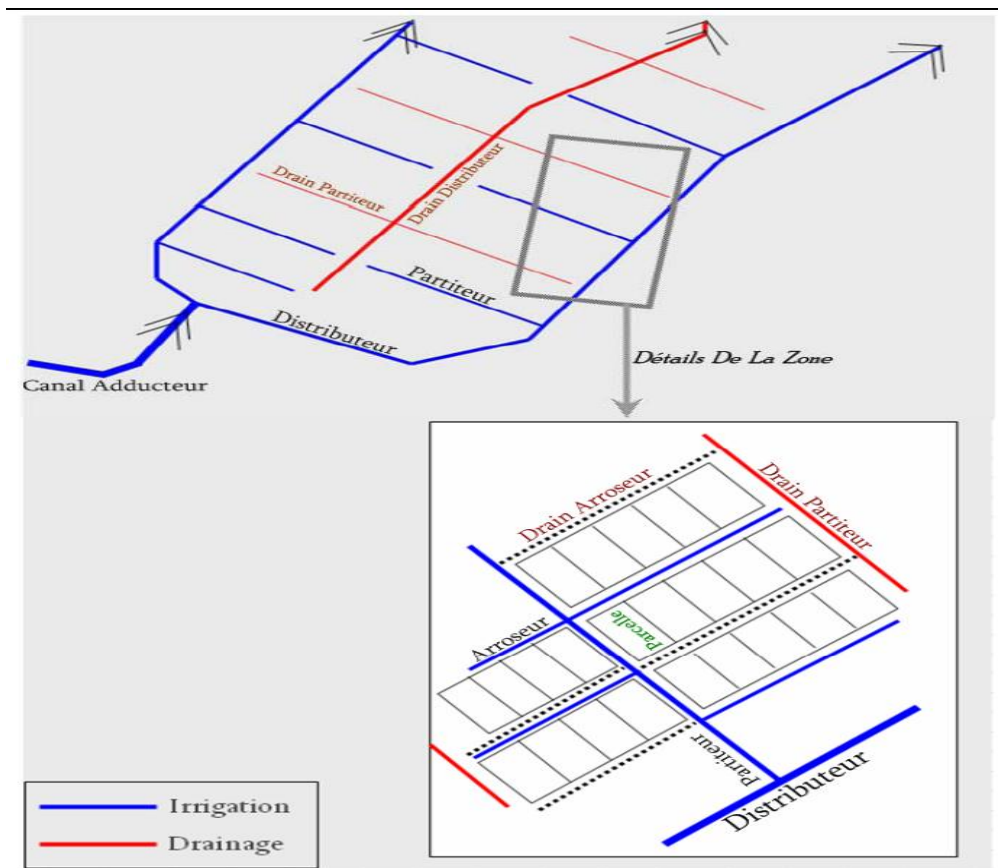
SITES INTERNET

www.fao.org

www.iier.ml

Annexes

Annexe 1 :



Structure de la maille hydraulique à l'échelle d'un casier rizicole (Source : Touré, 1997)

Annexe 2 : Tableau des valeurs de la productivité économique de l'eau calculées au niveau de la parcelle

Zones	Productivité économique : We (FCFA/m3)		
	SH	SS	Valeurs de références
Macina	89.35	39.42	130
Niono	102.87	47.16	130
Molodo	95.75	44.71	130
N'debougou	103.45	42.25	130
Kouroumari	93.33	43.61	130
M'bewani	92.13	42.45	130

Annexe 3 : Tableau des valeurs de la productivité physique de l'eau calculées au niveau de la parcelle.

Zones	Productivité physique : Wp (kg/m ³)		
	S.H	S.S	référence
Macina	0.35	0.15	0.6
Niono	0.41	0.18	0.6
Molodo	0.38	0.17	0.6
N'debougou	0.41	0.16	0.6
Kouroumari	0.37	0.17	0.6
M'bewani	0.36	0.16	0.6

Annexe 4 : Tableau des valeurs de la productivité économique de l'eau calculées au niveau du canal

Zones	Productivité économique : We (FCFA/m3)		
	SH	SS	Valeurs de référence
Macina	53.57	12.62	130
Niono	59.62	15.09	130
Molodo	54.80	14.31	130
N'debougou	59.88	13.52	130
Kouroumari	53.44	13.96	130
M'bewani	55.66	13.58	130

Annexe 5 : Tableau des valeurs de la productivité physique de l'eau calculée au niveau du canal

Zones	Productivité physique Wp (kg/m ³)		
	SH	SS	Valeurs de référence
Macina	0.21	0.05	0.6
Niono	0.24	0.06	0.6
Molodo	0.22	0.06	0.6
N'debougou	0.24	0.05	0.6
Kouroumari	0.21	0.06	0.6
M'bewani	0.22	0.05	0.6

Annexe 6 : Tableau des valeurs de la productivité physique de l'eau 1995 à 2007 à l'ON

Année	Productivité physique (kg/m ³)		
	SH	SS	Valeur de référence
95	0.28	0.35	0.6
96	0.3	0.37	0.6
97	0.3	0.38	0.6
98	0.32	0.41	0.6
99	0.36	0.45	0.6
2000	0.36	0.45	0.6
2001	0.36	0.46	0.6
2002	0.36	0.46	0.6
2003	0.36	0.46	0.6
2004	0.34	0.43	0.6
2005	0.35	0.45	0.6
2006	0.36	0.46	0.6
2007	0.35	0.44	0.6