

PRODUCTIVITE DE L'EAU D'IRRIGATION DANS LE BASSIN DU FLEUVE NIGER

Bruno Barbier (CIRAD/2iE), Robert Dessouassi (ABN), Kouanda Bouraïma (2iE), Kouakou
Marcelin (2iE), Ogou Constant (2iE), Illou Mahamadou (2iE), Patrick Bisson (CIRAD),
Bruno Lidon (CIRAD), Jean-Yves Jamin (CIRAD).

Rapport définitif pour le BFP Niger

16 novembre 2009

Abréviations

ABN : Autorité du Bassin du Niger

BFN : Bassin du Fleuve Niger

DIN : Delta Intérieur du Niger

FADAMA : Terme Haoussa pour désigner les basses plaines à nappe superficielles le long du réseau hydrographique du Nigéria. Utilisé à présent pour désigner essentiellement les projets de la Banque Mondiale

FAO: Food and Agriculture Organisation

PADD : Plan pour le Développement Durable

PE : Productivité de l'Eau

TABLE DES MATIERES

CONTEXTE	14
INTRODUCTION	15
1 L'IRRIGATION DANS LE BFN	15
1.1 Stratégies par pays	18
1.1.1 Le Mali, de plus en plus irrigué	18
1.1.2 Niger : double culture	22
1.1.3 Nigéria : la petite irrigation	24
1.1.4 Burkina Faso : petits barrages et bas-fonds	26
1.1.5 Conclusion : des stratégies diverses	27
1.2 Les types d'irrigation	27
1.2.1 La typologie de l'Arid	28
1.2.2 Les systèmes traditionnels	32
1.2.3 La submersion contrôlée	34
1.2.4 Grands et moyens périmètres en contrôle total	36
1.2.5 Petits périmètres en contrôle total	38
Conclusion : diversité et complexité	41
2 LES PERFORMANCES DE L'IRRIGATION	42
2.1 Les Rendements des cultures irriguées	42
2.1.1 Evolution des rendements du riz par pays	42
2.1.2 Les rendements à l'Office du Niger	43
2.1.3 Les facteurs des rendements	43
2.1.4 Conclusions : rendements en hausse	44
2.2 Les performances économiques	45
2.2.1 Les performances des cultures	45
2.2.2 Les coûts de l'irrigation	48
2.2.3 Le pompage coûte cher en énergie	49

2.2.4	Irrigation et réduction de la pauvreté.....	49
2.2.5	La production par habitant	51
2.2.6	Conclusions : les performances économiques variables.....	51
2.3	Les prélèvements en eau.....	53
2.3.1	Prélèvements par unité de surface	54
2.3.2	Prélèvements par type de système d'irrigation	58
2.3.3	Prélèvement totaux	63
2.3.4	Prélèvements par habitant	65
2.3.5	Conclusions sur les prélèvements.....	65
2.4	Productivité de l'eau d'irrigation.....	66
2.4.1	Analyse diagnostic au Niger	66
2.4.2	Le projet APPIA	68
2.5	La productivité de l'eau à l'Office du Niger au Mali.....	80
2.5.1	Les prélèvements	81
2.5.2	Méthodes de calcul.....	83
2.5.3	Résultats.....	83
2.6	Conclusions; Une PE très variable	87
3	LES VOIES D'AMELIORATION.....	89
3.1	Changer de culture?.....	90
3.1.1	L'option riz contestée mais incontournable	90
3.1.2	Le maraîchage, un marché instable	92
3.1.3	Le maïs : une alternative peu envisagée.....	93
3.1.4	Les fourrages : des balbutiement prometteurs	94
3.1.5	La compétition des cultures pluviales.....	94
	Conclusions : une diversification balbutiante	96
3.2	Réduire les consommations	96
3.2.1	La hiérarchie des contraintes à la productivité.....	97
3.2.2	Adapter la riziculture aux types de sols	107
3.2.3	Réduire les apports à certaines périodes.....	108
3.2.4	Mieux profiter des pluies	109
3.2.5	Contrôler la salinité des sols	109

3.2.6	Le cas du riz de contre saison	109
3.2.7	Améliorer les modes d'exhaure	110
3.2.8	Les types alternatifs d'irrigation	110
3.2.9	Les incitations économiques	110
3.2.10	Les politiques de réduction des consommations	111
	Conclusion : difficile de réduire les consommations	111
3.3	Améliorer les pratiques agronomiques	112
3.3.1	Adopter des variétés résistantes	112
3.3.2	Mieux caller le calendrier	112
3.3.3	Améliorer la fertilisation minérale	113
3.3.4	Contrôler les adventices	113
3.3.5	Mécaniser les pratiques	113
	Conclusions : les gains de rendements	113
3.4	Appuyer les groupements	114
3.4.1	Améliorer la gestion paysanne	114
3.4.2	Améliorer les capacités financières des groupements	114
3.4.3	Diligenter l'approvisionnement en intrants	115
3.4.4	Appuyer la commercialisation	115
3.4.5	Professionnaliser l'appui à l'irrigation	115
3.4.6	Partir de l'existant	115
3.5	Revoir les politiques publiques	115
3.5.1	Les surfaces attribuées	116
3.5.2	La tenure de la terre	116
3.5.3	Dynamiser les organisations paysannes	116
3.5.4	Le soutien au privé	116
3.5.5	Soutenir les prix	117
3.5.6	Organiser les filières	118
3.5.7	Soutenir la filière rizicole	118
	Conclusions : politiques d'appui à l'irrigation	122
3.6	Conclusions : une marge de progression importante	123
4	LE POTENTIEL D'EXPANSION	123
4.1	Les plans d'aménagements	123

4.1.1	Les caractéristiques du bassin.....	123
4.1.2	Potentiel en terres irrigables	125
4.1.3	Le Plan d'Action pour le Développement Durable (PADD)	126
4.1.4	Les investissements sur le BFN	127
4.1.5	Ouvrages en projet.....	127
4.2	Le potentiel de l'ON dans le delta mort.....	133
4.2.1	Les périmètres existants	133
4.2.2	Les plans d'aménagement	134
4.2.3	Conclusions : L'ON en pleine expansion	135
4.3	Le potentiel du Delta Intérieur du Niger.....	136
4.3.1	Caractéristiques de la zone	136
4.3.2	Les populations	138
4.3.3	La riziculture dans le DIN	138
4.3.4	Les contraintes.....	141
4.3.5	L'extension de la submersion contrôlée	144
4.3.6	Les perspectives de la disponibilité en eau.....	144
4.3.7	L'assèchement des zones humides.....	145
4.4	Conclusion: un potentiel important mais fragile	145
5	MECANISMES D'ADAPTATION AUX RISQUE LIES A L'EAU.....	147
5.1	La mousson africaine.....	147
5.1.1	Les incertitudes du changement climatique	147
5.1.2	Les sécheresses des années soixante dix et quatre vingt	147
5.1.3	La mousson ouest africaine et le fleuve Niger	148
5.2	Adaptations et irrigation	149
5.2.1	Quels acteurs pour quels risques ?	149
5.2.2	Quels types de risque ?	149
5.2.3	Le risque en agriculture	149
5.2.4	Risque en irrigation	150
5.2.5	Irrigation intrant ou assurance ?.....	151
5.3	Les autres réducteurs de risque	151
5.3.1	L'agronomie : cultures résistantes.....	152

5.3.2	Prévisions saisonnières : optimiser les choix	152
5.3.3	Prévoir le début de l'hivernage.....	152
5.3.4	Pluies artificielles: trop d'incertitudes	152
5.4	Conclusion partielle: l'irrigation, une assurance imparfaite	153
	CONCLUSION GENERALE	153
	RECOMMANDATIONS	154
	De l'utilité de la PE ?.....	154
	Sensibiliser les acteurs	154
	Promouvoir la petite irrigation individuelle.....	155
	Repenser la grande irrigation	155
	Mesurer les prélèvements et les débits retours	156
	Capitaliser les évolutions en cours	157
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	157

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Répartition des périmètres irrigués par pays.....	18
Figure 2: Evolution des productions et des importations de riz au Mali depuis 1961 (Faostat 2009).....	19
Figure 3: Superficies emblavées au Mali	22
Figure 4: production et importations de riz au Niger (FAOSTATS 2009)	23
Figure 5: Superficies emblavées au Niger (Aquastat 2009).....	24
Figure 6 : production et importations de riz au Niger (FAOSTAT 2009)	25
Figure 7 : Superficies emblavées au Nigeria (Aquastat 2009).....	26
Figure 8: Typologie des périmètres irrigués dans les différents pays	30
Figure 9: Evolution de la production du riz par pays	42
Figure 10: Evolutions des surfaces et des rendements à l'office du Niger	43
Figure 11: Distribution des rendements en fonction de l'utilisation des intrants..	44
Figure 12: Moyennes des coûts des périmètres irrigués (Source Aquastat 2009)	48
Figure 13: Les productions annuelles par habitant.....	51
Figure 14: Utilisation de l'eau et précipitations dans les bassins versants africains : (Source : Aquastat 2009)	53
Figure 15 :Utilisation de l'eau et précipitations dans les bassins versants africains : (Source : Aquastat 2009)	54
Figure 16: Prélèvements par campagne (m ³ /ha).....	56

Figure 17: Evolution prévisionnelle par pays des prélèvements sur le fleuve Niger	57
Figure 18: Rapport entre le volume d'eau prélevé sur le Niger et la surface à irriguer	58
Figure 19: Relations entre apport d'eau à la parcelle et rendements du riz à Kourani Baira... 67	
Figure 20: Productivité de l'eau en riziculture (périmètres du Mali, du Burkina Faso et du Sénégal).....	72
Figure 21: Productivité économique de l'eau en riziculture (périmètres du Mali, Burkina Faso et Sénégal).....	72
Figure 22: Graphe traduisant la proportionnalité entre PE (kg/m ³) et PE (FCFA/m ³)	73
Figure 23: Productivité de l'eau (kg/m ³) dans le maraichage	75
Figure 24: Le CARE (RWS') des périmètres et la valeur de référence	78
Figure 25: Approvisionnement Relatif en Eau et valeur de référence	78
Figure 26: Situation de l'Office du Niger au Mali (Source : Touré, 1997).....	80
Figure 27: Structure de la maille hydraulique à l'échelle d'un casier rizicole (Source : Touré, 1997).....	81
Figure 28 : Le diagramme ci-dessous montre la performance de la gestion de l'eau à l'échelle de l'office du Niger.	83
Figure 29: Productivité économique de l'eau Figure 30: Productivité physique de l'eau ...	86
Figure 31: Productivité économique de l'eau Figure 32: Productivité physique de l'eau ...	86
Figure 33: Représentation de PE (APPIA + périmètres étudiés par l'IIMI)	89
Figure 34: Surfaces cultivées en riz de 1961 à 2007 en ha	90
Figure 35: Fréquences des réponses des irrigants en termes de contraintes au Mali et au Niger	107

Figure 36: Les prix du prix du riz au producteur (FAOSTAT 2009).....	118
Figure 37: Consommation de céréales par mois dans 3 grandes villes du Burkina Faso : Source : Savadogo et Kazianga, 1999	119
Figure 38: Consommation en kilo par personne dans 3 pays du BFN.....	120
Figure 39: Importation riz (Source Faostat 2009).....	122
Figure 40: Surface irrigable et irriguée en Afrique de l'Ouest (Source : Données FAO /AQUASTAT).....	125
Figure 41: Utilisation de l'eau et précipitations dans les bassins versants africains (en ha)..	127
Figure 42: Structure hydraulique et hydrologique des huit systèmes hydrauliques de l'Office du Niger.....	134
Figure 43: Distribution des surfaces types d'irrigation dans le DIN.....	139
Figure 44: Rendements du riz dans le DIN en 2006 (source :	140
Figure 45: Hauteur de crue est surface récoltée à l'opération riz Mopti dans le DIN.....	140
Figure 46: Relation entre crue et surface récolté à l'office riz Mopti	141
Figure 47: Evolution des superficies irrigables et celles semées de 1991à 2008 Sources de données : ORM (2007).....	144

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Nombre de périmètres irrigués dans quelques pays de l'Afrique de l'Ouest : Source (Association Régionale de l'Irrigation et du Drainage en Afrique de l'Ouest et du Centre 2004) FAO 1992 et JICA 1993 pour le Nigéria	30
Tableau 2: Typologies des hydro systèmes et leurs caractéristiques (ARID, 2008).....	30
Tableau 3: Rendements estimés et revenus des cultures irriguées au Burkina Faso.....	45
Tableau 4: Comparaison agro-économique des principaux itinéraires techniques proposés en riziculture irriguée	47
Tableau 5: Coûts des aménagements hydro-agricoles :Source : (Ministère de l'environnement et de l'eau du Burkina Faso 2001)	48
Tableau 6 : récapitulatif de la base de données ABN	59
Tableau 7: Performances moyennes sur un périmètre.....	66
Tableau 8 : Performances sur le périmètre de Kourani-Baria I.....	66
Tableau 9: Performance économique des périmètres.....	68
Tableau 10: Caractéristiques des périmètres	70
Tableau 11: Productivité de l'eau pour la riziculture	71
Tableau 12: La productivité de l'eau pour les cultures maraichères.....	74
Tableau 13: synthèse des résultats obtenus au niveau de la parcelle	83
Tableau 14: synthèse des résultats obtenus au niveau du canal adducteur	84
Tableau 15: récapitulatif des productivités de l'eau d'irrigation	87

Tableau 16 : recapitulatif des problemes sur les perimeters rizicoles.....	98
Tableau 17 : recapitulatif des problemes sur les perimetres maraichers.....	102
Tableau 18 : Besoins en eau du riz en fonction des types de sol Wellens <i>et al</i> (2005).....	107
Tableau 19 : Résultats des combinaisons d'aménagements.....	128
Tableau 20 : Scénario avec construction de Fomi seul : Source (PADD, 2007)	130
Tableau 21 : Scénario avec construction de Fomi et Taoussa : Source (PADD, 2007).....	131
Tableau 22: Scénario avec construction de Kandadji : Source (PADD, 2007).....	131
Tableau 23 : Scénario avec construction de Fomi, Taoussa et Kandadji : Source (PADD, 2007).....	132
Tableau 24 : Contraintes de l'agriculture dans le DIN Source : ORM (2007).....	141
Tableau 25 : Avis sur la construction de barrages en amont ou en aval du delta intérieur. Source : Notre enquête (2008).....	144

LISTE DES CARTES

Carte 1: Périmètres irrigués actuels et futurs du bassin versant du fleuve Niger.....	17
Carte 2: Types de périmètres irrigués du bassin du Niger	31
Carte 3: Prélèvement à l'hectare des périmètres irrigués des départements du bassin versant du fleuve Niger.....	55
Carte 4: Prélèvements des périmètres irrigués des 9 pays du bassin du fleuve Niger	61
Carte 5: Localisation des périmètres irrigués du Bassin du fleuve Niger	62
Carte 6: Total des prélèvements par départements des périmètres irrigués du bassin versant du	

fleuve Niger pour la 1ère campagne.....	63
Carte 7: Total des prélèvements par départements des périmètres irrigués du bassin versant du fleuve Niger pour la 2ème campagne.....	64
Carte 8: Prélèvement annuel par habitant de l'eau des périmètres irrigués du bassin versant du fleuve Niger.....	65
Carte 9 : productivité de l'eau au Mali et au Niger (Source ABN et projet APPIA).....	79
Carte 10: Situation du bassin du Niger (World Bank, 2006).....	124
Carte 11: Localisation du Delta Intérieur du Niger.....	136

CONTEXTE

Cette étude est réalisée dans le cadre du Basin Focal Point (BFP) Niger. Cette étude est le volet « irrigation », un des quatre volets du Work Package 3 qui lui porte sur la productivité de l'eau agricole. Les termes de référence sont les suivants :

« La synthèse à produire portera sur : L'analyse de la productivité de l'eau des systèmes de cultures irriguées à différentes échelles et comportera une compréhension de leur potentiel d'accroissement et de leur contribution à la réduction de la pauvreté aux horizons 2025 et 2050. »

« Au final, la synthèse à produire portera sur :

- 1) Revue de la **productivité de l'eau** des systèmes irrigués au sein des principaux systèmes de production agricole du bassin, en s'intéressant principalement à ceux qui ont un potentiel important pour participer à la réduction de la pauvreté et la croissance durable de l'agriculture.
- 2) Développer une **analyse quantitative** du potentiel envisageable des productions irriguées (grands et petits barrages) pour la totalité du bassin et des sous bassins.
- 3) Analyse des opportunités en mesure **d'accroître la productivité de l'eau** dans les systèmes irrigués à travers les formes de redistribution d'eau et des accroissements de productivité.
- 4) Explication des mécanismes **d'adaptation** aux risques liés à l'eau et analyse des opportunités d'amélioration ou des risques de détérioration amenés par le changement (climatique / scénarios du GIEC, innovations, développement) »

INTRODUCTION

Plus de 98 % des écoulements du fleuve Niger vont à la mer sans utilisation (FAO/AQUASTAT 2005). Seule une petite partie est valorisée par les rizières, notamment celles de l'Office du Niger au Mali, du Niger et du Nigéria. Une autre petite partie est consommée par les villes riveraines Bamako, Niamey et quelques villes Nigérianes.

Mais ces faibles prélèvements vont augmenter rapidement à mesure que les villes et que les surfaces irriguées s'étendent. De plus ces prélèvements ont déjà un impact sur les zones humides du Delta Intérieur du Niger (DIN) au Mali (De Noray 2003; Zwarts et al 2005) ainsi que sur le delta du Niger au Nigéria (NDES 1999; Uyigue et Agho 2007) et sur le productible du barrage de Kainji au Nigéria. Déjà le fleuve Niger s'assèche presque à l'étiage et il n'est pratiquement plus possible d'étendre les prélèvements des périmètres en saison sèche (ABN 2006, (BRL Ingénierie 2006).

Or l'agriculture constitue l'essentiel des prélèvements de l'eau du bassin et cette proportion va probablement augmenter dans le futur. L'agriculture irriguée va devoir améliorer l'efficacité de ses prélèvements et le gain économique par mètre cube utilisé pour pouvoir justifier les lourds investissements qu'elle réclame. Pour cela il faut évaluer cette productivité de l'eau et essayer d'identifier les moyens de l'améliorer.

Cette étude consiste à synthétiser dans les études et les bases de données existantes les données sur la productivité de l'eau. Le document est articulé autour de cinq parties 1) les types d'irrigation, 2) leurs performances, 3) les voies d'amélioration de la Productivité de l'Eau (PE), 4) le potentiel d'expansion de l'irrigation et 5) les adaptations aux risques liés à l'eau. Le document s'achève par des conclusions et des recommandations.

1 L'IRRIGATION DANS LE BFN

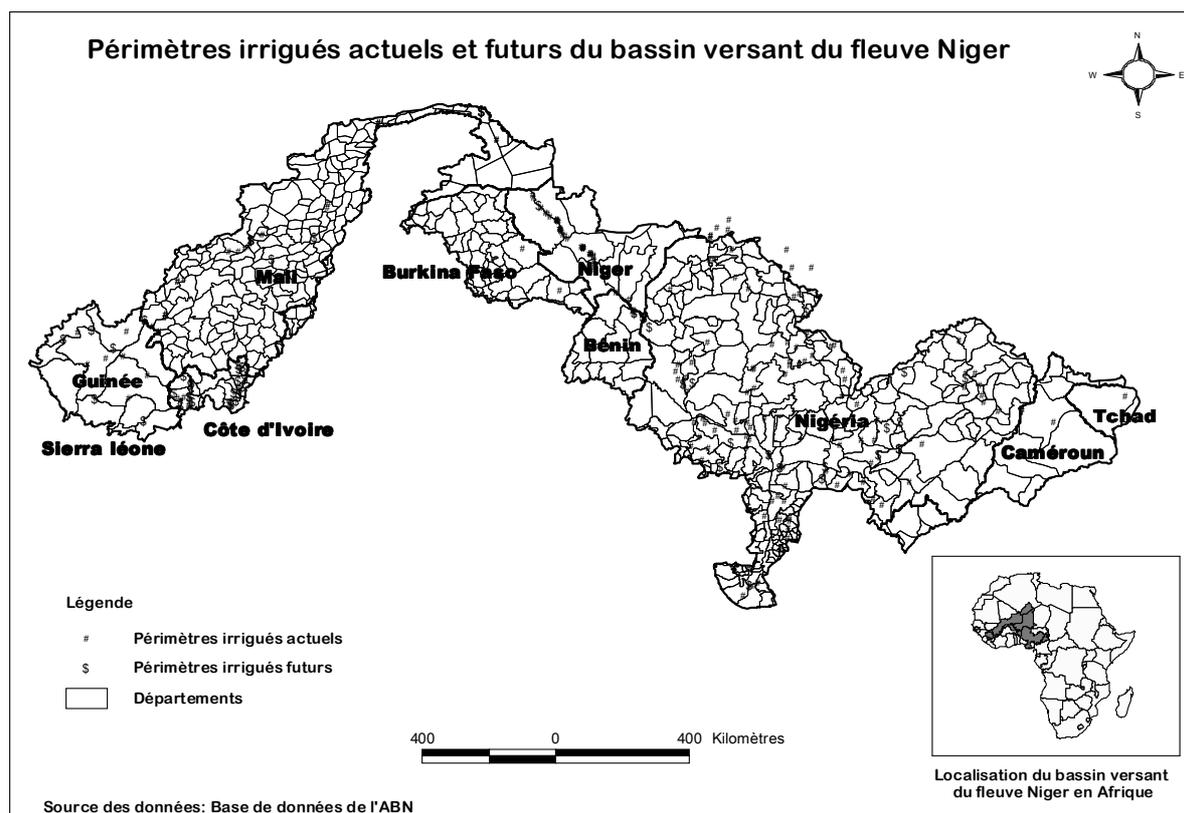
L'agriculture irriguée représente autour de 2% des surfaces cultivées dans le bassin du Niger alors qu'elles occupent autour de 20% des terres cultivées dans le monde et 38% en Asie. Même les surfaces irriguées sont de 7% en Afrique et de 3,3 % en Afrique subsaharienne (Sonou, 2000). Si on retire l'Afrique du Sud, ces surfaces baissent à moins de 1%. En Afrique de l'Ouest, dans les pays côtiers du Golfe de Guinée, le climat suffisamment

humide requière moins l'irrigation . Les pays sahéliens ont fait des efforts un peu plus importants. Les bassins des fleuves Volta, Sénégal et Niger comptent un nombre significatif de périmètres et ceux-ci sont en expansion. En termes de volume, les habitants du BFN exploitent 1,5 % des écoulements de surface contre 5 % dans le bassin du fleuve Sénégal, 20% en Asie ou 70% dans le bassin du Nil.

Les principaux investissements ont été réalisés au Mali avec notamment l'Office du Niger (Bonneval 2002) et au Nigéria (Kimmage et Adams 1990; FAO/AQUASTAT 2005). On trouve aussi une multitude de petits périmètres situés le long des fleuves ou autour des barrages, grands et petits notamment dans l'est du Burkina Faso et au Mali, ainsi que dans les zones péri-urbaines. Le Niger aussi a investi dans un nombre respectable de périmètres le long du fleuve (Vidal et al 2004, NBA, 2007).

L'ABN a recensé 252 périmètres ou ensembles de périmètres dans le BFN en 2005 et estimé leurs prélèvements (ABN 2005). La plus petite unité recensée compte dix hectares. L'estimation regroupe les petits périmètres, les périmètres informels, mais n'inclue pas la submersion libre. Les bas-fonds sont aussi sous représentés. Les bas fonds du Mali ne sont pas inclus, alors qu'au Burkina Faso les bas fonds couvriraient 148 hectares dans le BFN. Au Nigéria, l'ABN a distingué les périmètres privés des périmètres publics mais pas les bas-fonds.

La carte ci-dessous présente l'emplacement des périmètres irrigués du bassin versant du fleuve Niger. Deux types de périmètres sont représentés : les périmètres actuellement mis en service 77% et ceux en projet 23%.



Carte 1: Périmètres irrigués actuels et futurs du bassin versant du fleuve Niger

Les critères de distinctions des types de systèmes irrigués varient beaucoup dans la littérature : les cultures dominantes (rizicole, canne à sucre), le mode technique d'irrigation (aspersion, gravitaire...), les systèmes de production englobant (vivrier, commercial), la taille des périmètres ou le mode de gestion ou d'investissement (privé, publique, communautaire). Ruthenberg (1965) dans sa typologie des systèmes de production tropicaux choisit le type d'approvisionnement en eau, le système de culture et le système d'exploitation.

Séré et Steinfeld, (1996) distinguent les systèmes de production tropicaux en relation avec l'élevage pratiqué par les irrigants, d'abord en fonction de la production majeure, puis de l'importance de l'irrigation puis du climat environnant. Selon leur typologie, les systèmes irrigués du bassin du Niger entrent alors dans la catégorie des systèmes mixtes, avec des surfaces irriguées produisant plus de 10% des revenus des paysans impliqués. Ils font partie des systèmes situés sous climats semi aride pour la partie sahélienne et subhumide pour les parties situées en Guinée et au sud du Nigéria. L'ARID (2007) distingue neuf types (tableau

2) (ARID 2007) en fonction de la maîtrise de l'eau, de la taille des périmètres, du mode de gestion et du mode de financement.

1.1 Stratégies par pays

Les pays du bassin ont développé des politiques contrastées en fonction de leur potentiel et de leur histoire. Parmi les 10 pays du bassin, quatre sont importants en termes d'irrigation, le Mali, le Niger, le Burkina Faso et le Nigéria. Selon la base de la FAO Aquastat les périmètres irrigués actuels se répartissent entre le Nigéria qui compte la moitié des surfaces, le Mali avec un quart des surfaces, le Niger avec environ 11 % et le Burkina Faso 5 %.

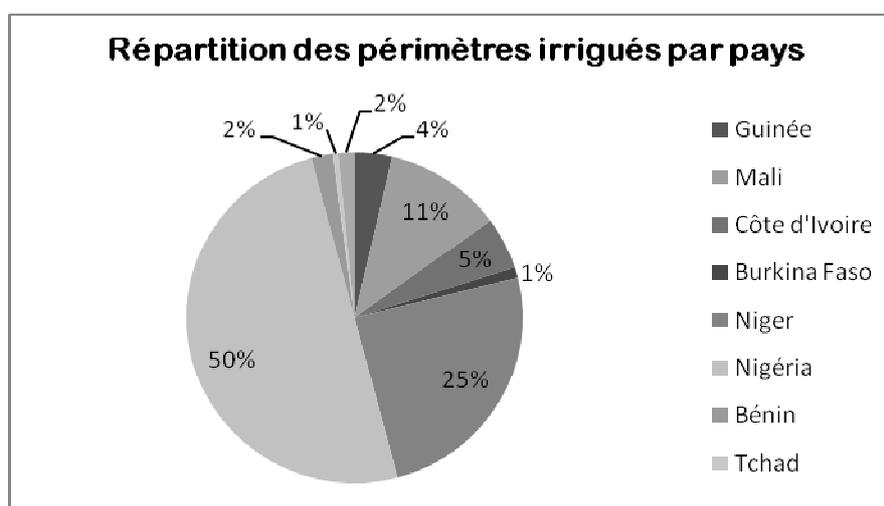


Figure 1: Répartition des périmètres irrigués par pays

1.1.1 Le Mali, de plus en plus irrigué

Le riz est cultivé depuis longtemps au Mali dans le BFN puisque le riz flottant (*Oryza glaberrima*) est probablement originaire du Delta Intérieur du Niger (DIN). Son extension est toutefois restée marginale jusqu'aux indépendances. Le vrai développement du riz est récent et il est basé sur le riz d'origine asiatique *Oryza sativa*. Les croisements des deux riz ont produit le riz Nerica développé par Africarice (l'ancien ADRAO), qui allie la rusticité du riz africain et la productivité du riz asiatique.

Au Mali les premières tentatives de développer la riziculture irriguée intensive ont

suivi l'échec du coton à l'Office du Niger. L'ampleur récente est liée d'une part aux sécheresses des années 1970 et 1980, mais aussi au changement d'habitudes alimentaires des urbains. Le Mali a sensiblement augmenté sa production rizicole ces deux dernières décennies et a atteint une certaine autosuffisance alimentaire. La production actuelle de riz dépasse 700 000 tonnes, sous formes de riz pluvial, de bas-fonds, inondé et irrigué. Les importations de riz asiatique restent modérées.

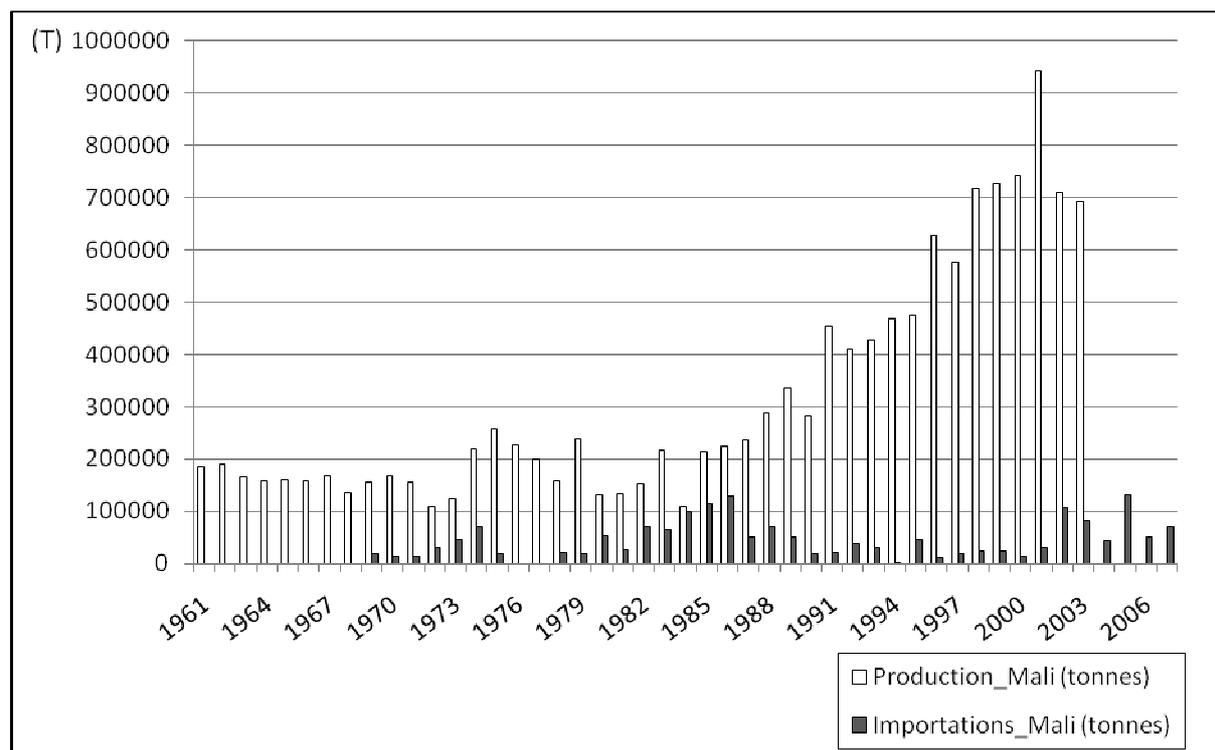


Figure 2: Evolution des productions et des importations de riz au Mali depuis 1961 (Faostat 2009)

La filière rizicole malienne est relativement performante. Les irrigants des Offices disposent d'une expérience en riziculture irriguée ancienne et plus solide que les autres pays de la zone. Ils ont adopté la culture attelée à grande échelle et ils sont pratiquement tous propriétaires de leurs animaux de trait et de leur équipement de travail. La surface moyenne des exploitations varie entre 3 à 5 hectares à l'ON, une surface bien adaptée à l'itinéraire adopté et à la capacité de main d'œuvre familiale moyenne (10 actifs soit de 2 ou 3 actifs par hectare) et une main d'œuvre extérieure à l'exploitation relativement abondante et bon marché. Les parcelles sont bien préparées en culture attelée. La mise en boue et le planage

sont corrects et les adventices bien maîtrisées. La main d'œuvre abondante favorise le repiquage qui réduit la contrainte d'enherbement, elle même maîtrisée manuellement à moindre frais. L'équipement est de plus en plus complet au niveau des associations villageoises. Les prestataires privés, proposent la motorisation intermédiaire pour les batteuses et les décortiqueuses ce qui réduit le coût de la transformation post-récolte et de vendre le riz déjà décortiqué. La production est relativement compétitive et en hausse, permettant de réduire les importations du pays.

L'Office du Niger est au cœur de la stratégie irriguée du Mali. Quelques 65 000 hectares sont aménagés, dont une partie pour la double culture. L'ON produit plus de 300 000 tonnes de paddy. La double riziculture annuelle progresse, grâce aux efforts des services de vulgarisation. Dans la zone de Niono on trouve beaucoup de cultures s de contre saison (échalote, tomate), ce qui n'est pas sans incidence, du fait de l'alternance culture inondée/culture exondée, sur la maîtrise des adventices et sur les sols.

Les grandes caractéristiques de la riziculture sont: 1) une irrigation gravitaire; 2) l'eau est disponible en permanence, pour un niveau de redevance relativement faible (autour de 50 000 F CFA/ha). 3) la traction animale bovine permet d'effectuer les travaux du sol : labour, hersage et planage (travail en boue) et d'utiliser une quantité non négligeable de fumure organique. Les travaux pourraient être mieux faits, moyennant quelques adaptations : charrue réversible pour ne pas dégrader le planage et utilisation de barres planeuses. La qualité de ces travaux est cependant nettement supérieure à ce qui se pratique le plus souvent, de façon motorisée, au Sénégal et en Mauritanie, 4) des surfaces cultivées par exploitation familiale, relativement grandes : de 5 hectares en moyenne, avec presque 2 actifs par hectare, 5) le repiquage manuel est systématique, ce qui représente une forme d'intensification remarquable (investissement physique et financier), 6) Une utilisation générale des engrais proche des recommandations, 7) la grande diffusion des petites batteuses et décortiqueuses privées, 8) des rendements moyens en paddy (évalués juste avant le battage et non par carrés de rendement...) qui sont passés de 3,2 avant dévaluation, à 4,1 tonnes par hectare (autour de 5 tonnes, mesurés plus classiquement par la méthode des carrés de rendement) , après la dévaluation de début 94. Suite à un léger fléchissement des rendements, la 1 ère campagne après la dévaluation (prix des engrais plus que doublé, attaques de la mosaïque jaune ...), la réaction des producteurs, stimulés par le prix d'achat du paddy passé de 71 F CFA avant

déévaluation, à 121 après, a stimuler les rendements, surtout sur les périmètres non réaménagés, avec la généralisation du repiquage, l'augmentation des doses d'engrais et la commercialisation par les producteurs de riz sous forme de plus en plus décortiquée et non plus de paddy.

Selon Aquastat (2009) le Mali dans son ensemble disposerait de 566 000 ha de terres aménagées pour l'irrigation mais seulement 235 800 ha de ces terres étaient exploitées durant la période 1998-2002, soit 41 %. Dans la période 1993-1997 on comptait 78 620 ha réellement irrigués au Mali. Les superficies aménagées en contrôle total augmentent alors que les terres non-aménagées pour les cultures de décrue diminueraient de plus de moitié de la première à la seconde période et les bas-fonds et marécages non-aménagés déjà très peu exploités, tendent à disparaître.

Le Mali est en passe de rejoindre le Sénégal et la Mauritanie en termes de consommation de riz par habitant, même si le pays produit beaucoup d'autres céréales dites sèches comme le sorgho, le mil et le maïs. Le Mali dispose d'une surface en pluvial favorable aux céréales sèches, plus étendue que dans les autres pays sahéliens de la sous région. Mais l'avenir de ces cultures pose problème dans la mesure où les urbains se tournent résolument vers le riz. A moins d'une prise de conscience nationale, de programme de relance pour la consommation des produits nationaux et une meilleure protection aux frontières, les paysans maliens vont être obligés de s'adapter à la nouvelle demande des urbains très tournées vers le riz, le maïs et dans une moindre mesure le blé.

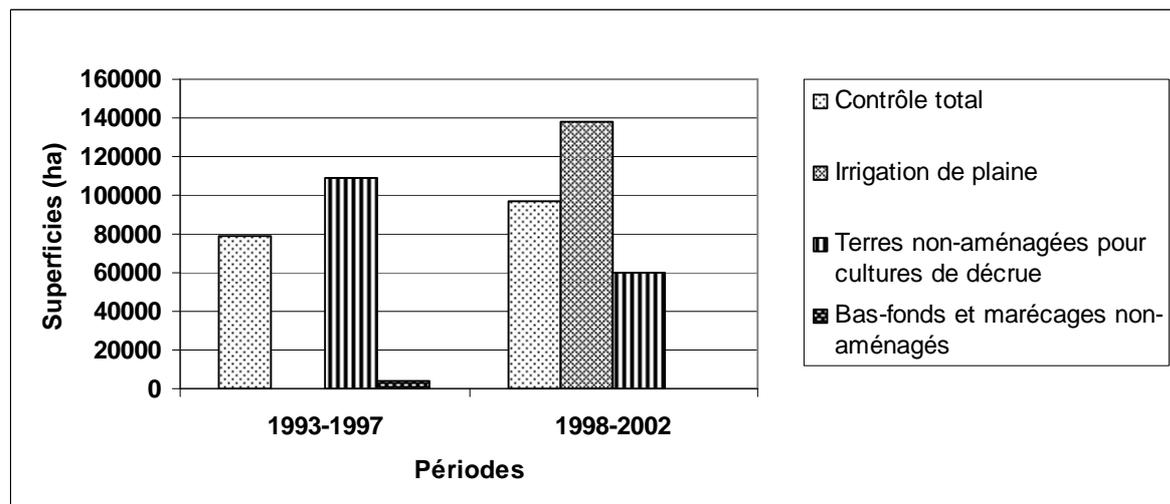


Figure 3: Superficies emblavées au Mali

1.1.2 Niger : double culture

Les conditions pluviométriques étant plus sahéliennes que dans les pays voisins. L'Etat nigérien a fait de l'irrigation une priorité (Ali 1993; Yahaya 2000, Hassane et al 2002; Cirad-Agrhymet 2005). La production rizicole n'avoisine que 70 000 tonnes soit seulement 4 % de la production céréalière nationale. La consommation moyenne de riz par tête avoisine seulement 20 kilos par an, mais augmente. La production nationale de riz n'atteint pas la moitié des besoins et les importations restent importantes avec notamment des apports peu contrôlés à partir du Nigeria voisin.

Jusqu'à la libéralisation des années quatre-vingt-dix, les périmètres rizicoles irrigués étaient encadrés par l'Office National des Aménagements Hydro-Agricoles (ONAHA) créé en 1978. La double culture est pratiquée sur plus de 7000 hectares (Sido Amir, 1998). La culture attelée pour la préparation des parcelles et la culture manuelle (semis des pépinières, repiquage, désherbage, récolte) sont généralisées. De nouvelles variétés plus tolérantes au virus de la marbrure jaune, qui occasionnait de graves dégâts, ont été diffusées. La culture de saison sèche se pratique plutôt en saison sèche froide, contrairement au Mali, où elle est recommandée en saison sèche chaude. Les plants de riz, âgés de 45 jours en moyenne, sont repiqués entre mi novembre et fin décembre, et la récolte a lieu entre mi mars et début mai.

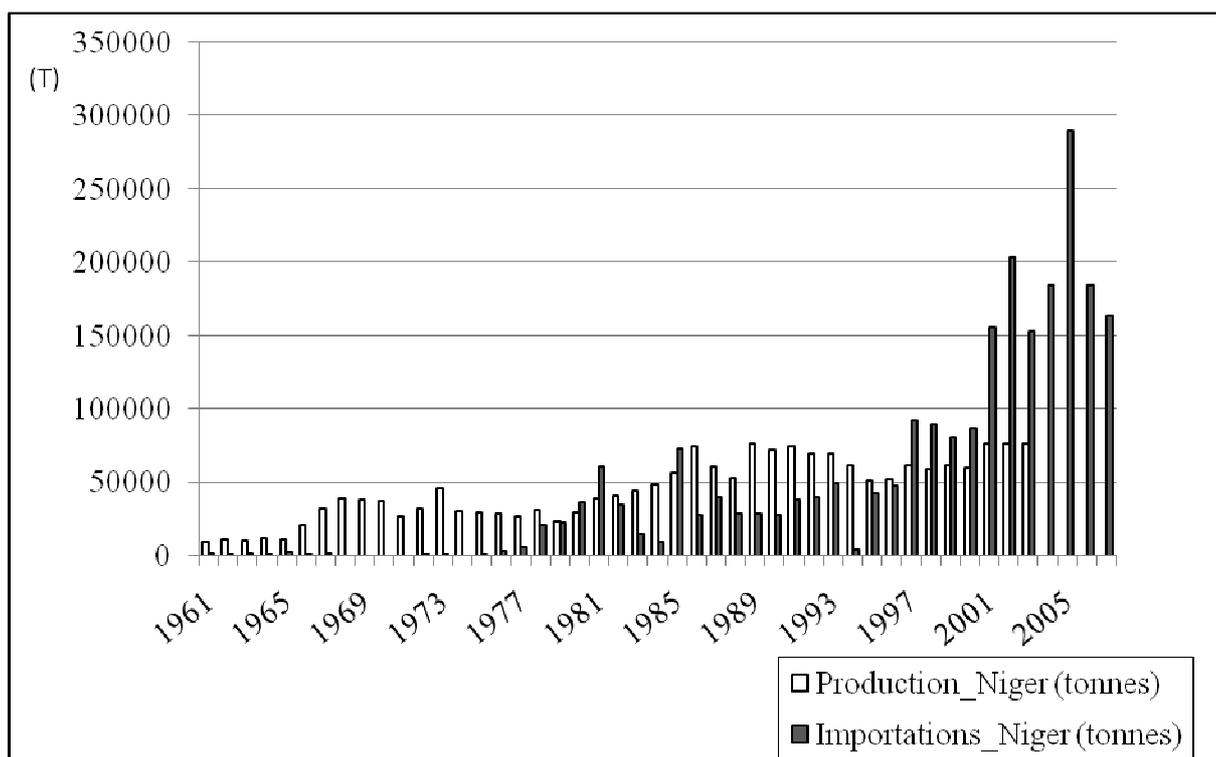


Figure 4: production et importations de riz au Niger (FAOSTATS 2009)

Les surfaces attribuées aux exploitations familiales, avoisine un demi hectare, l'objectif visé étant surtout l'autosuffisance alimentaire. La main d'œuvre familiale est abondante et la pression d'encadrement était forte jusqu'à récemment, ce qui peut expliquer les niveaux de rendement élevés. Les rendements sont passés de 3 tonnes par hectare en moyenne en 73-75, à plus de 4 tonnes depuis 1985. En revanche, contrairement au Mali, il n'y a pas eu d'augmentation post-dévaluation et les rendements se sont maintenus autour de 4,5 tonnes; il y a aurait eu même un léger fléchissement (Ayoub 2003).

Au Niger, les différentes superficies emblavées n'ont pas varié depuis les années quatre-vingt-dix, excepté pour l'irrigation en maîtrise totale qui augmente de la première à la seconde période, mais stagne ensuite (figure 5).

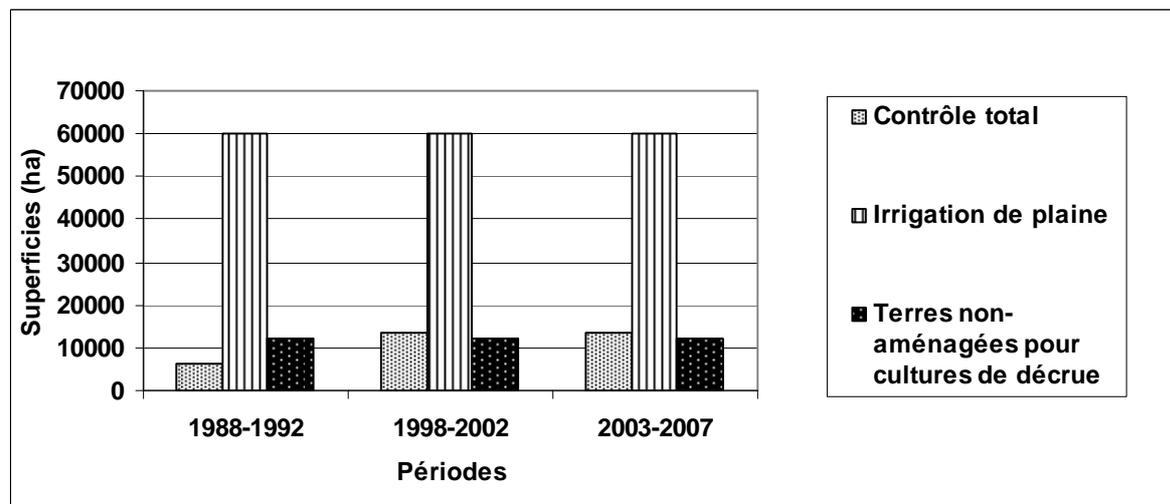


Figure 5: Superficies emblavées au Niger (Aquastat 2009)

1.1.3 Nigéria : la petite irrigation

Le Nigeria a investis ses pétrodollars après les sécheresses des années soixante dix dans un nombre important de barrages de taille moyenne, puis dans la construction de périmètres irrigués en maîtrise total de l'eau. Les statistiques sont très incertaines, variant beaucoup, d'un document à l'autre. Les périmètres de type formel occupent quelques 200 000 hectares (Enplan Group 2004). De plus les résultats sont généralement décevants (Carter et al 1983; Adams 1991; FAO 2000; ENPLAN GROUP 2004). La moitié des surfaces des périmètres en gravitaire ne serait pas fonctionnelle. Selon certaines sources, seuls six pourcent des périmètres publics utilisant l'exhaure motorisée et l'aspersion fonctionne (Allister 2001; FMWRDID 2006).

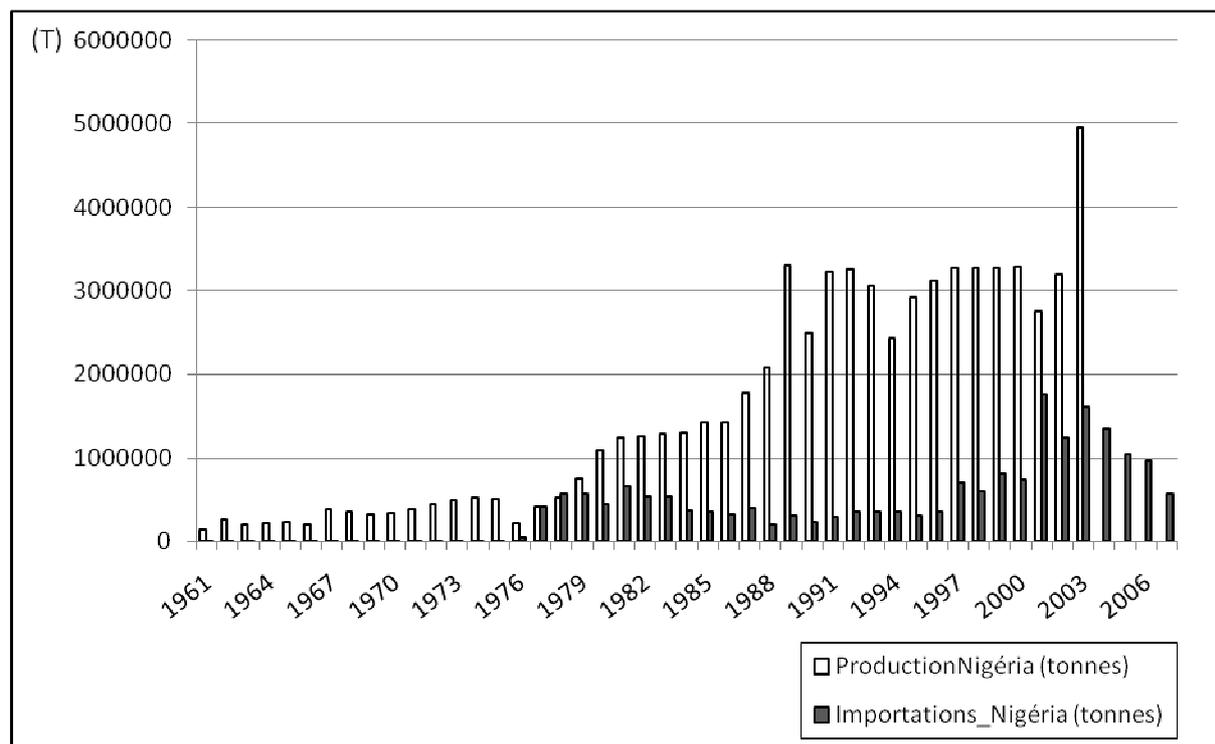


Figure 6 : production et importations de riz au Niger (FAOSTAT 2009)

Selon Aquastat, le Nigeria possède le plus grand potentiel d'irrigation de la sous région avec 2 331 000 ha de terres aménageables, mais n'en exploiterait que 13 %. Les superficies aménagées en maîtrise et les terres non-aménagées pour cultures de décrue varient très peu d'une période à l'autre. L'irrigation dite « de plaine » a pratiquement triplé de la première à la seconde période, mais n'aurait plus évoluée depuis (figure 7).

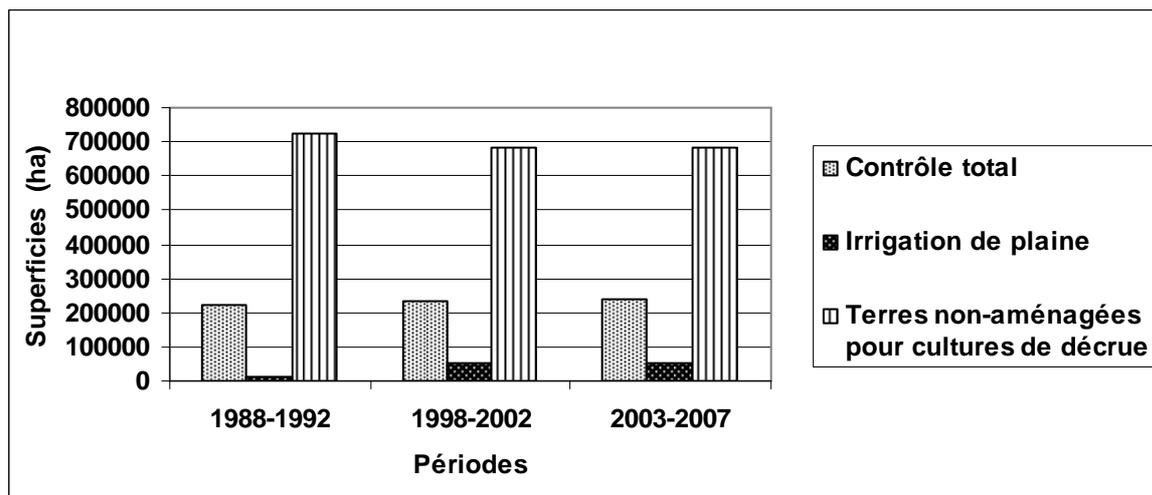


Figure 7 : Superficies emblavées au Nigeria (Aquastat 2009)

Par contre des études récentes reportent le succès des différentes phases du projet *Fadamas*, essentiellement le long du fleuve Niger (Yahaya et Kamba 2003). Le projet soutenu par la Banque Mondiale appuie les petits paysans qui pratiquaient la culture de bas-fond, la submersion contrôlée et de décrue dans les plaines d'inondation, en finançant des petites motopompes et le creusement de petits puits. Les prélèvements de ces petits producteurs ne sont pas comptés dans le recensement de l'ABN, bien qu'il s'agisse de 1 ou 2 millions d'hectares selon les sources. La recharge des nappes dans les zones irriguées serait importante au Nigéria (Acharya et Barbier 2000).

1.1.4 Burkina Faso : petits barrages et bas-fonds

Le Burkina Faso n'a pas d'accès direct au fleuve Niger mais environ un cinquième du territoire Burkinabè est inclus dans le BFN. Cette partie du bassin a une certaine importance dans l'hydrologie du fleuve car elle fournit une bonne partie de la première crue du fleuve dont le pic se situe entre août et septembre.

Le Burkina Faso a investis plus de 110 milliards de FCFA depuis l'indépendance dans l'irrigation et les coûts par unité de surface irriguées en gravitaire sont de plus en plus élevés . Le pays a construit près de 1700 petits barrages depuis son indépendance. Il est en train de construire un grand nombre de nouveaux barrages dans sa partie Est, celle qui dessert le fleuve Niger. Le pays mise surtout sur les petits barrages à usage multiple. Jusque récemment

c'était l'élevage qui a surtout profité de ces retenues, mais depuis peu les paysans burkinabés s'installent autour de ses barrages pour produire du riz en hivernage et des légumes de contre saison. La région du bassin du Niger située au Burkina Faso était jusque là peu peuplée mais elle se trouve en phase de colonisation rapide par les populations venue du plateau central.

1.1.5 Conclusion : des stratégies diverses

Les trois grands pays d'irrigation dans le bassin sont le Mali, le Niger et le Nigéria. Le Mali a beaucoup investis dans quelques grands ouvrages comme l'Office du Niger et les Opérations Riz (Mopti et Ségou), même si la petite irrigation commence à se développer. Les surfaces augmentent vite et les rendements s'améliorent. Les paysans maliens s'adaptent à la demande urbaine et les importations de riz restent limitées.

Le Niger a investis dans un grand nombre de petits et moyens périmètres le long du fleuve Niger. La contribution de la riziculture à la sécurité alimentaire du Niger est faible car la zone irrigable est très limitée et excentrée par rapport à l'ensemble de la population du pays. De plus une bonne partie du riz produit au Niger part au Nigéria où les prix du riz sont plus élevés.

Le Nigéria, si on en croit les statistiques, a fait des efforts importants pour satisfaire la demande nationale en riz, grâce à un programme d'investissement ambitieux et des taxes à l'importation très élevées. Mais le résultat en termes de production par habitant est mitigé, probablement à cause du dysfonctionnement du secteur public qui s'est traduit par un quasi abandon des périmètres à maîtrise totale.

1.2 Les types d'irrigation

Les critères de distinctions des types de systèmes irrigués varient beaucoup dans la littérature : les cultures dominantes (riz, canne à sucre), le mode technique d'irrigation (aspersion, gravitaire...), les systèmes de production englobant (vivrier, commercial), la taille des périmètres ou le mode de gestion (privé, publique, communautaire). Ruthenberg (1965) dans sa typologie des systèmes de production tropicaux choisit le type d'approvisionnement en eau, le système de culture et le système d'exploitation. Seré et Steinfeld, (1996) distinguent les systèmes de production tropicaux en relation avec l'élevage pratiqué par les irrigants, d'abord en fonction de la production majeure, puis de l'importance de l'irrigation puis du climat environnant. Selon cette typologie, les systèmes irrigués du bassin du Niger entrent

alors dans la catégorie des systèmes mixtes, avec des surfaces irriguées produisant plus de 10% des revenus des paysans impliqués. Ils font partie des systèmes situés sous climats semi aride pour la partie sahélienne et subhumide pour les parties situées en Guinée et au sud du Nigéria. L'ARID (2007) distingue neuf types de système irrigué (tableau 1) en fonction du degré de contrôle, de la taille des périmètres et du mode de financement.

1.2.1 La typologie de l'Arid

L'association ARID (Association Régionale de l'Irrigation et du Drainage en Afrique de l'Ouest et du Centre 2004) a eu recours aux estimations d'experts nationaux (Association Régionale de l'Irrigation et du Drainage en Afrique de l'Ouest et du Centre 2004) (figure 2).

Il existe une forte différence entre pays. Le Mali est de loin le pays le plus irrigué grâce à son potentiel mais aussi grâce à la pratique ancestrale de la riziculture de submersion libre et la culture de décrue. Il faut d'ailleurs ajouter les 100 000 hectares de surfaces de riz en submersion libre, non pris en compte par l'ARID. Ce pays a aussi tenté de développer la submersion contrôlée dans les zones de submersion libre, mais avec un succès mitigé. Le Mali mise de plus en plus sur les périmètres à contrôle total, grands et petits, qu'ils soient collectifs, individuels ou privés.

Le Burkina Faso qui a fait beaucoup d'efforts avec ses 1000 petits barrages, les utilise assez peu pour l'irrigation. Les 3 autres pays suivent des stratégies très contrastées. Le Sénégal privilégie le public, la Mauritanie le privé, et le Niger les petits périmètres individuels périurbains, oasiens, dans les vallées fossiles et le long du fleuve Niger (Arid, 2006).

Un autre constat est que l'irrigation à maîtrise totale (PIV et grands périmètres) n'est pas dominante. Les modes traditionnels et le contrôle partiel dominant encore en termes de surface. Parmi les systèmes traditionnels, c'est la culture de décrue qui est la plus pratiquée sur les bords des grands fleuves tels que le Niger et le Sénégal, au bord du lac Tchad mais aussi au Nigéria sur les bords du Niger et de la Bénoué. Si les sécheresses et la régulation des fleuves par les barrages ont réduit les crues et donc probablement aussi les surfaces cultivées en décrue, ce sont dans les zones de décrues que le Nigéria a su transformer près d'un million d'hectares dans les vallées (dénommés *fadamas*) grâce à des programmes de petits puits busés et des petites motopompes.

Le développement de la submersion contrôlée a été décevant à cause de l'irrégularité des crues. L'utilisation croissante de motopompes puissantes permet de compenser la variabilité de la crue. Il est probable qu'il faille inciter les producteurs en submersion libre à passer à une irrigation plus intensive dans les périmètres pour conserver les bourgoutières du delta qui produisent entre 20 et 30 tonnes de matière sèche par hectare, soit un rendement bien supérieur à la riziculture inondée (Marie et al 2007).

Le développement de la culture de bas-fonds et leur aménagement progressif au Burkina Faso et au Mali (figure 3) s'expliquent par la raréfaction et l'épuisement des terres disponibles en pluvial (Ruthenberg 1980; Gallais 1984). Les aménagements améliorent leur productivité mais leur durabilité est questionnable, surtout à cause de l'intensification des inondations ces dernières années.

Jusque là, les investissements dans le contrôle total sont restés modestes (ABN 2007). L'Office du Niger au Mali avec ses 80 000 ha irrigués par gravité à partir de la dérivation du seuil de Markala sur le fleuve Niger, est le « grenier à riz » du Mali assurant près de la moitié de la production nationale (Keïta et al 2002) auquel on peut ajouter 5 000 hectares de maraîchage, en partie hors casiers (ABN 2007). Les Etats ont aussi investis dans la petite irrigation destinée à assurer la sécurité alimentaire des villages concernés. Ceux-ci bénéficient de très petites parcelles permettant d'assurer un complément alimentaire aux cultures pluviales.

Parmi les récentes initiatives non étatiques, l'ARID distingue trois types de petits périmètres irrigués. D'abord les collectifs qui sont aménagés par des communautés villageoises, souvent en extension de périmètres existants, réalisés de manière sommaire. Ensuite, il y a les parcelles individuelles aménagées dans les zones péri-urbaines ou près d'un plan ou d'un cours d'eau. Enfin, il y a les systèmes aménagés par des privés, généralement des urbains aisés.

On trouve peu de grands périmètres agro-industriels privés dans la sous région sahélienne mais les récents achats massifs de terre par des pays en manque de terre ont commencé à toucher la région, notamment le Mali et le Nigéria. Le Mali a octroyé, prêt de 100 000 hectares à la Lybie dans la zone de l'ON. Il a aussi octroyé des surfaces plus modestes à la CEDEAO. Selon la FAO, il est urgent de mettre en place des codes de bonne

conduite par rapport à ces pratiques.

Tableau 1: Nombre de périmètres irrigués dans quelques pays de l'Afrique de l'Ouest : Source (Association Régionale de l'Irrigation et du Drainage en Afrique de l'Ouest et du Centre 2004) FAO 1992 et JICA 1993 pour le Nigéria

Types de périmètres	Burkina	Mali	Niger	Nigeria	Total
grands périmètres	8000	62500	13000	69 000	152500
PIV publique	3000	9500			12500
PIV collectif	6000	8000			14000
PIV individuel	4000		50000	161 700	215700
petit privé		30000			30000
P. agroindustriel	4000	4500			8500
Décrue		60000	12000	723 000	795 000
submers contrôlée		85000			85 000
basfonds subm cont	9000	22000		18 500	49 500
Total	34000	281500	75000	972 500	390500

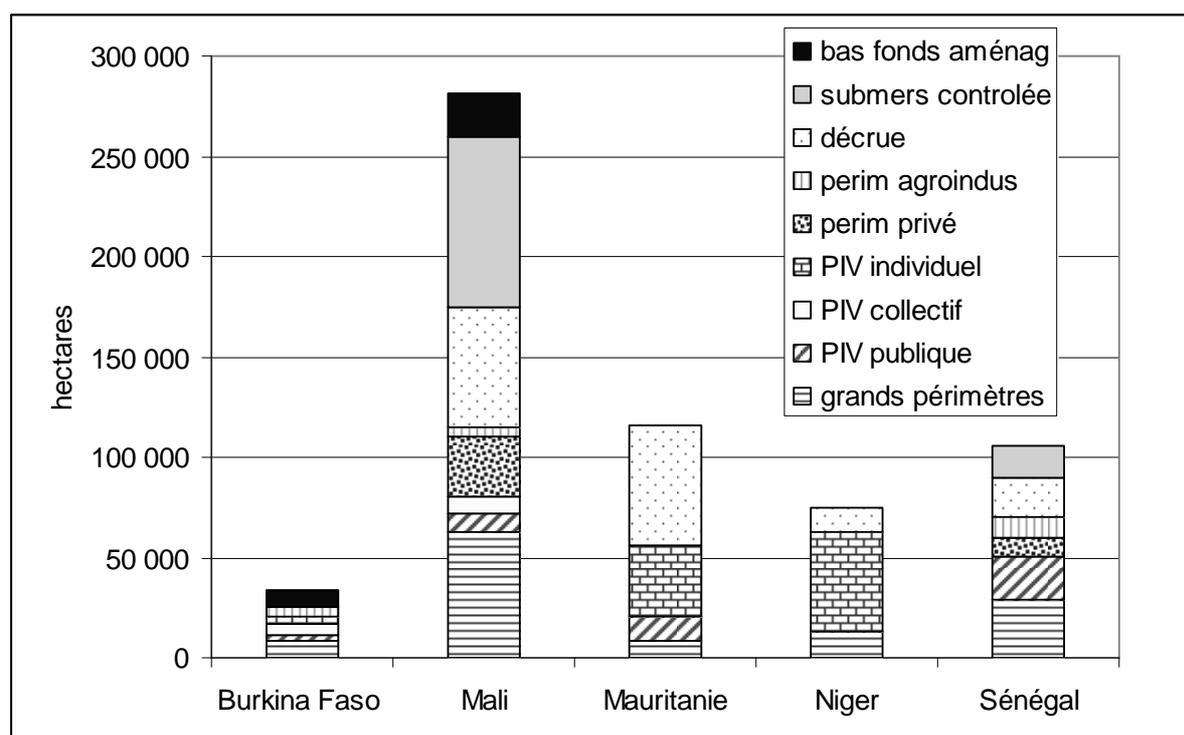
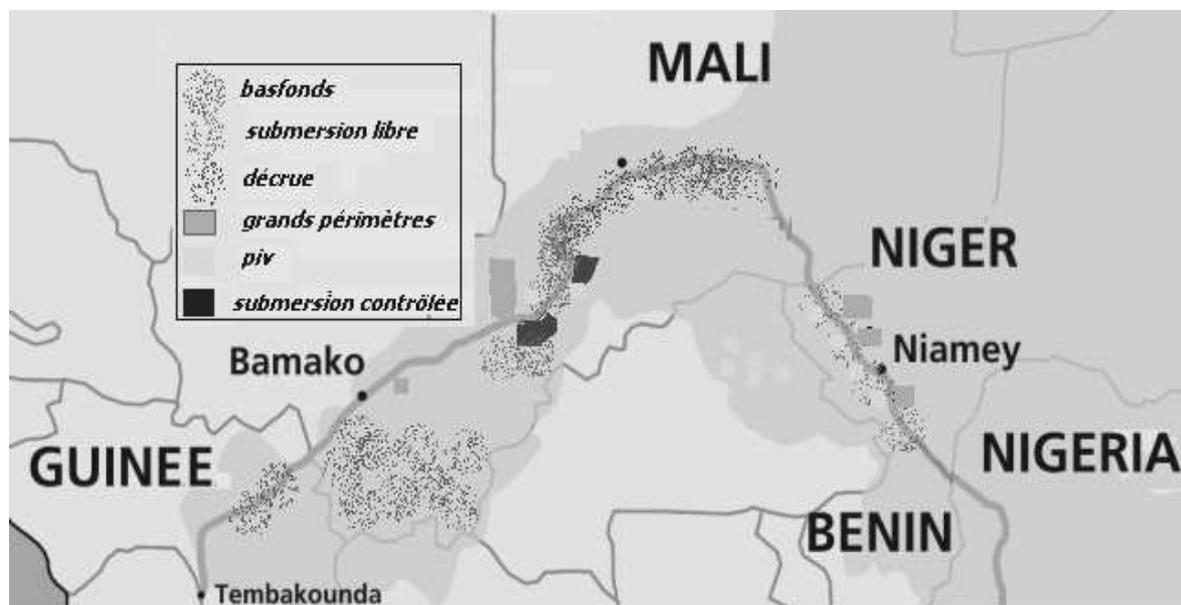


Figure 8: Typologie des périmètres irrigués dans les différents pays

Tableau 2: Typologies des hydro systèmes et leurs caractéristiques (ARID, 2008)

		Aménagement			Hydraulique				Mise en valeur		
		Investissement	Gestion	Taille	Maîtrise de l'eau	Ressource	Exhaure	Distribution	Spéculation	Parcelle	Main d'œuvre
T1	Grands et moyens périmètres irrigués d'initiative publique	Etat / bailleur	OP + Etat	> 100 ha à 55 000 ha	totale	fleuve retenue lac	dérivation, pompe, prise aval barrage	surface, réseau californien	riz, polyculture	< 5 ha	familiale + salariée
T2	Périmètres irrigués villageois d'initiative publique	Etat / bailleur / ONG	OP	< 100 ha	totale	fleuve retenue	pompe, prise aval barrage	surface	riz céréales polyculture	< 1 ha	familiale
T3	Petit périmètre irrigué collectif	Groupe d'exploitants	OP	< 50 ha	totale	fleuve retenue	pompe, prise aval barrage	surface	riz céréales polyculture	?	familiale
T4	Petit périmètre irrigué individuel	Exploitant individuel	Exploitant	< quelques ha	totale	fleuve retenue nappe	pompe, manuelle	surface, localisée	céréale fruit maraîchage	-	familiale
T5	Petits et moyens périmètres irrigués d'agro-business	Entrepreneur particulier	Salarié	qq dizaines à qq centaines	totale	fleuve retenue nappe	dérivation, pompe	surface, aspersion, localisée	riz, fruit, maraîchage	-	salariée
T6	Grands et moyens périmètres irrigués agro-industriels	Firme agro-industrielle	Salarié	qq centaines à qq milliers	totale	fleuve	dérivation, pompe	surface, aspersion, localisée	cane, fruits, maraîchage	-	salariée
T7	Cultures de décrue	Exploitant individuel	Exploitant	?	partielle	fleuve retenue lac	décrue	surface	céréales fourrages	-	familiale
T8	Cultures de bordure fluviale en submersion contrôlée	Etat / bailleur / ONG	OP + Etat	200 à 6000 ha	partielle	fleuve	crue	surface	riz	< 10 ha	familiale
T9	Cultures de bas-fonds en submersion contrôlée	Etat / bailleur / ONG	OP (+ Etat)	10 à 250 ha	partielle	eaux de ruissellement	ruissellement	surface	riz céréales	< 0,5 ha	familiale



Carte 2: Types de périmètres irrigués du bassin du Niger

1.2.2 Les systèmes traditionnels

Les systèmes traditionnels incluent les formes d'irrigation d'initiative paysanne, antérieure à l'implication de l'Etat dans le secteur irrigué. Leurs caractéristiques et performances restent peu connues. Selon les pays, ils correspondent aux cultures de décrue (T7 de l'ARID) et aux cultures de bas-fonds (T9 de l'ARID). Nous avons ajouté la submersion libre.

1.2.2.1 Cultures de décrue

La culture de décrue est pratiquée dans la zone de battement des retenues, des lacs et des bords de fleuves (Memento de l'Agronome 2007, Guillaume 1960). L'eau nécessaire aux cultures provient de l'humidité résiduelle et de la remontée capillaire suite à la décrue du fleuve ou du lac. La maîtrise de l'eau est relativement aléatoire puisque soumise au cycle irrégulier de crues, mais peut être améliorée par des aménagements de contrôle (petits barrages de décrue) ou complété par une irrigation d'appoint, comme dans les *fadamas* du Nigéria (Turner 1985; Adams 1986). Les plants sont souvent repiqués après avoir été semés dans les parties hautes ; elles sont repiquées en bordure du plan d'eau à mesure que la crue baisse. Les cultures concernées sont le riz, le maïs et le sorgho, dans le delta intérieur du Niger. Les problèmes principaux de cette culture est la pression des animaux domestiques et les attaques des ravageurs (sauterelles, oiseaux).

Les statistiques sur la culture de décrue, ses performances et les surfaces concernées, sont rares et peu fiables. Elle est pratiquée sur des superficies non négligeables dans tous les pays du sahel, notamment dans la boucle du fleuve Niger et dans les zones lacustres du delta intérieur (Guillaume 1960; Maïga et al 2002). Elle a connu depuis les années 70 une certaine régression à cause de la sécheresse et de la diminution des crues mais aussi à cause des aménagements qui en modifiant des régimes du fleuve ont réduit l'ampleur des zones inondées (Oyebande 1995).

1.2.2.2 Submersion libre

C'est un système traditionnel de riziculture pratiquée dans les plaines d'inondation, principalement dans le Delta Intérieur du Niger (DIN) au Mali, dans le lit majeur du fleuve dans la boucle du Niger au Mali et au Niger (Gallais 1984). La submersion libre n'est pas incluse dans la typologie de l'ARID car la gestion de l'eau est considérée inexistante. Le riz

utilisé pour la submersion libre est le riz flottant, le plus souvent de type *Glaberrima*, qui a la particularité de croître très rapidement pour suivre la montée de l'eau du fleuve. La croissance peut atteindre 5 cm par jour. Le semis a lieu avec les pluies, puis la crue inonde les parcelles. L'eau peut monter de plusieurs mètres par endroit et le riz se développe de manière à avoir épis et feuilles hors de l'eau (d'où l'autre appellation de riz flottant). Le plus souvent la récolte doit être faite en pirogue. La production est très variable et les rendements dépassent rarement une tonne par hectare. La superficie concernée est mal connue. Hassane évoque le chiffre de 300 000 ha au Mali (Hassane et al 2002).

Sa pratique a beaucoup souffert des sécheresses des dernières décennies mais elle est aussi menacée par la régularisation du fleuve Niger dans la mesure où une réduction de l'ampleur des crues va réduire la surface concernée par la crue et la décrue (ABN 2007). A l'inverse, des crues plus régulières permettraient de mieux planifier les semis.

Dans sa partie Nigérienne, le fleuve Niger connaît deux crues annuelles. La rive droite du Niger, incluant une partie du Burkina Faso, reçoit des écoulements importants à partir du début de la saison des pluies, en juillet. La deuxième crue provenant essentiellement de Guinée et du Mali et qui connaît son maximum en décembre. Les paysans récoltent en décembre en pirogue.

1.2.2.3 La culture de bas fonds

Dans le bassin du Niger, les bas fonds sont surtout cultivés au sud du Mali un peu en Guinée et dans l'est du Burkina Faso. Ils sont aussi cultivés au Nigéria dans ce qu'on appelle en Haoussa les Fadamas. Au Mali le système de riziculture dit pluvial (essentiellement du riz de bas-fonds), représente environ 57 % des surfaces rizicoles totales (465 898 ha) mais ne produit qu'un quart du riz national (717 116 tonnes). Au Mali, on compte quelques 80 000 ha de riz dans les bas fonds non aménagés sur un potentiel de 300 000 hectares. On compte 55 000 exploitations concernées au Mali. Dans la région de Sikasso, les bas fonds aménagés représenteraient quelques 5 000 ha avec des rendements rizicoles souvent supérieurs à 2 t/ha (INSAH, 2007). Autrefois cultivés par les femmes dans les régions de Ségou, Sikasso (bassin du Bani) et Kayes, ils sont maintenant aussi cultivés par les hommes.

Les rendements sont très variables mais estimés à 700 kg/ha en moyenne à cause de la faible maîtrise de l'eau. Les déficits hydriques sont fréquents mais aussi les inondations.

Ensuite le contrôle de l'enherbement est le deuxième facteur important du rendement.

1.2.3 La submersion contrôlée

Paysans et aménagistes tentent de plus en plus de contrôler la submersion, aussi bien au bord du fleuve et de ses affluents, que dans les bas-fonds.

1.2.3.1 La décrue irriguée

Au Nigéria, dans ce qu'on appelle en langue haoussa, les fadamas, les paysans arrosent leurs cultures traditionnelles de décrue avec des moyens d'exhaure divers tels que les shadoufs. Actuellement ce sont surtout petites motopompes dans des petits puits busés (Allister 2001). La Banque Mondiale a financé ces petits ouvrages et les motopompes sur plusieurs centaines de milliers d'hectares. Le projet est considéré comme un succès (Ogunjimi et Adekalu 2002; Nkonya et al 2008).

1.2.3.2 La submersion contrôlée

Ces cultures de submersion contrôlée (T8 de l'ARID) sont pratiquées en bordure du fleuve Niger et des zones lacustres du delta intérieur. Le plus souvent une digue protège les casiers des crues (Ministère de la coopération et du développement 1991, Kuper et Maiga, 2000). L'eau est introduite par un canal d'alimentation ou directement par les ouvrages installés sur la digue. Dans certains cas des ouvrages permettent de vidanger les rizières en fin de campagne, mais, la vidange totale de l'eau est rare. Ces casiers sont cultivés en riz dressé ou en riz flottant selon la topographie des casiers. Les variétés sont cultivées en fonction de la profondeur de la lame d'eau : (i) variétés flottantes adaptées pour la zone basse dont la lame d'eau excède 0,50 m, (ii) des variétés dressées adaptées pour la zone haute dont la lame d'eau varie de 0 à 0,50 m.

Les semis sont réalisés dès les premières pluies et l'arrivée de la crue doit coïncider à un certain stade de développement du plant. Les effets de l'irrégularité de la crue peuvent être atténués par les barrages situés en amont, comme le barrage de Sélingué au Mali, mais aussi par un système d'alerte des crues.

La submersion contrôlée est importante au Mali dans les cercles de Ségou et Mopti à partir des années soixante dix. Elle couvre autour de 60 000 hectares mais on estime que seulement 45 000 ha seraient exploitables. Selon l'année, les surfaces réellement récoltées

sont très variables. Ces aménagements sont considérés peu coûteux (400 à 600 000 FCFA/ha) mais leur rentabilité a été faible depuis à cause de la baisse des crues et de l'irrégularité des pluies. Les rendements varient de 0.8 à 2,5 t/ha (INSAH, 2007) avec des rendements moyens de 1100 kg/ha à l'Opération Riz Mopti.

1.2.3.3 Bas fonds aménagés

Les bas-fonds cultivés en submersion contrôlée (T9 de la classification ARID) sont surtout situés dans les zones soudaniennes, notamment dans le Sud-Ouest du Burkina et au sud du Mali. La littérature distingue souvent deux types d'aménagement des bas fonds (Fournier, 2002) : d'une part les cultures pluviales (maïs, sorgho) bénéficiant d'un complément d'apport grâce à l'épandage des crues par des ouvrages perméables tel que les digues filtrantes, et d'autre part les cultures inondées de saison des pluies, essentiellement du riz, qui bénéficient du stockage partiel des crues traversant le bas-fond. Dans ce cas les ouvrages utilisés sont les seuils déversant et les diguettes en terre, parfois associés à une petite retenue tampon en amont.

Les bas-fonds améliorés ou aménagés regroupent un ensemble d'aménagements divers (Cellule de gestion du plan d'action pour la filière riz 2002). Selon le type de bas-fonds, la partie concernée et la position topographique de la parcelle, le riz est en submersion temporaire ou permanente selon le fonctionnement de la nappe phréatique, l'accumulation de l'eau de ruissellement et de la crue du cours d'eau ou du marigot. Le riz est semé en début d'hivernage avant les inondations. La culture est dépendante de la pluviosité. Les années où les pluies ne sont pas abondantes, les superficies récoltées sont plus faibles, et les années de forte inondation les dégâts due au courant ou à l'enherbement sont souvent importants. Les améliorations portent notamment sur la maîtrise de l'eau avec l'aménagement du bas fonds par la réalisation de diguettes en courbe de niveau, digues déversantes, ouvrage de diversion avec réseau d'irrigation. Selon le niveau de maîtrise de l'eau la riziculture pratiquée peut être plus ou moins intensive. Les bas-fonds sont généralement difficiles d'accès, gorgés d'eau en hivernage, favorable aux adventices et demandent beaucoup d'efforts pour le travail du sol et le sarclage.

La maîtrise de l'eau est partielle, tributaire des crues des cours d'eau transitoires de bas-fonds. Les aménagements, généralement simples de gestion et d'entretien, sont facilement gérés par les populations locales. Le coût est le plus souvent inférieur à 1 million FCFA/ha.

Les rendements peuvent doubler (1.5 tonnes en riziculture) et de sécuriser la production vivrière locale. Les rendements varient de 0,8 à 2 t/ha. Leur rentabilité est jugée correcte mais leur durabilité parfois remise en question à cause du risque d'inondation (Albergel et al 1993). Ces bas-fonds, aménagés par des bailleurs ou des ONG, sont généralement rapidement transférés aux bénéficiaires. A Mali, la Compagnie Malienne de Développement des Textiles, une société d'aménagement, encadre un certain nombre de bas-fonds. Ces aménagements pausent parfois le problème de l'appropriation, de l'utilisation effective et de l'entretien des aménagements par les populations locales.

1.2.4 Grands et moyens périmètres en contrôle total

Le contrôle (ou maîtrise) total(e) de l'eau consiste à apporter une dose précise d'eau à la parcelle et à évacuer les éventuels excès d'eau. Il est souvent réalisé par un système de canaux dimensionnés de façon à satisfaire les besoins des cultures aux périodes de pointe. On inclue aussi les systèmes par aspersion, fort rares dans le Sahel. Dans ce contexte on distingue traditionnellement les grands périmètres, des petits périmètres dont le mode de gestion est beaucoup plus variable.

Surtout développés dans les années 70 et 80, sur fonds publics, les grands périmètres irrigués sont majoritairement rizicoles, même si on observe une certaine diversification (polyculture, maraîchage). Il s'agit essentiellement des périmètres de l'Office du Niger au Mali et de quelques grands périmètres de taille moyenne au Niger et au Nigéria.

1.2.4.1 Périmètres irrigués d'initiative publique

D'une superficie supérieure à 100 ha, ils sont irrigués à partir d'une ressource en eau abondante et pérenne (fleuve, retenue, lac), par pompage ou par gravité (dérivation sur les fleuves, prise en aval de barrage). (T1). La distribution est réalisée par un réseau de surface (revêtement des canaux, ouvrages de régulation...). Ces aménagements sont irrigués en maîtrise totale de l'eau ce qui consiste à amener l'eau aux parcelles par des systèmes de canaux dimensionnés et à évacuer les excès d'eau par des drains. Les principales variétés de cultivées de riz sont de type dressé à. Il s'agit des variétés *oriza sativa* de cycle de 120 jours visant des rendements de 5 à 6 tonne/ha. Les aménagements, généralement coûteux (plusieurs millions de FCFA/ha), assurent normalement une maîtrise totale de l'eau pour au moins un

cycle de culture.

A leur conception les grands périmètres étaient sous le contrôle de Sociétés étatiques de développement et de projets autonomes, de la production à la commercialisation. A la suite des Plans d'Ajustement Structurel dans les années quatre vingt, ces fonctions ont été transférées aux organisations paysannes. L'ampleur de ce retrait a pu varier d'un pays et d'un périmètre à l'autre, mais d'une manière générale les Etats sahéliens se sont désengagés.

Les performances de ces périmètres ce sont améliorées mais les nombreux diagnostics réalisés soulignent l'ampleur des écarts entre une utilisation optimale et les pratiques actuelles (Poussin et Boivin 2002). Il faut encore améliorer la gestion collective de l'eau, des aménagements et des finances, assurer l'entretien et la durabilité des aménagements, et résoudre les problèmes d'approvisionnement en intrants et de la commercialisation.

Parmi les grands périmètres irrigués d'initiative publique d'Afrique de l'Ouest, l'Office du Niger au Mali est de loin le plus vaste. Quelques 70 000 ha irrigués gravitairement par dérivation depuis le fleuve Niger au seuil de Markala. L'Office du Niger représente les trois quarts des superficies en maîtrise totale de l'eau du pays (Keïta et al 2002). Quelques 20 000 exploitations familiales assurent 40 % de la production totale du riz du pays (700 000 à 900 000 tonnes selon les années) (Diakité et al ; 2007). On y produit aussi des légumes, estimés à quelques 5 000 hectares (ABN 2007).

Après une longue période de stagnation l'Office du Niger fonctionne relativement mieux aujourd'hui, en partie grâce à une participation des paysans à la gestion de l'office (Mariko et al 2001; Bonneval 2002; Coulibaly et al 2006). Le périmètre est d'ailleurs à nouveau en phase d'expansion (Keïta et al 2002). Le PADD de l'ABN propose la mise en valeur de 370 000 hectares (ABN 2007). Les pédologues considèrent qu'à partir du barrage de Markala, il serait possible d'irriguer un million d'hectares. L'Office prévoit aussi d'étendre ses casiers dans le delta intérieur à quelques dizaines de kilomètres en aval du seuil de Markala (ABN et BRL 2007). L'ON consomme environ 10 % des débits du fleuve Niger, mais son efficacité actuelle est seulement de 20 %. Un hectare de riz consomme plus de 20 000 m³ par an. Une partie de l'eau prélevée dans le fleuve y retourne par le canal du Macina.

1.2.4.2 Périmètres agro-industriels

Ces périmètres aménagés par des firmes agro-industrielles, souvent étrangères, sont souvent associés à une unité de conditionnement et de transformation de cultures telles que la canne à sucre, la tomate industrielle, les fruits ou légumes d'exportation. Ils peuvent atteindre plusieurs milliers d'hectares. Ils sont irrigués à partir d'une source abondante telle qu'un fleuve, un gros barrage ou une nappe à fort débit. De conception relativement sophistiquée (billons tracés au laser, aspersion, goutte à goutte, cultures sous serre), ils sont gérés sur le modèle d'une entreprise et ont recours à un certain nombre d'experts qualifiés.

Ces agro-industries visent d'abord le profit et sont parfois critiquées pour leur manque d'insertion dans l'économie locale et pour les avantages dont elles bénéficient auprès des Etats (monopole d'importation, exonérations...). Pour améliorer leur image, elles réalisent souvent des investissements sociaux. Dans le bassin, il existe une plantation de canne à sucre à l'office et d'autres plantations au Nigéria.

1.2.5 Petits périmètres en contrôle total

La petite irrigation recouvre un ensemble varié de pratique. La petite irrigation villageoise désigne des systèmes irrigués gérés par une communauté villageoise. Selon les pays, elle indique une source d'investissement publique (type T2), paysanne (type T3) ou inclut les deux. Dans de nombreux cas, la différence entre ces deux types est ténue et le critère d'investissement initial tend à perdre sa pertinence. En effet, les périmètres irrigués villageois d'initiative publique, aménagés suite aux grandes sécheresses des années 70, ont soit disparu faute d'entretien, soit été totalement laissés aux communautés rurales, l'Etat se retirant des activités d'entretien et de conseil. Les populations locales ont parfois procédé à des réhabilitations massives et au renouvellement de certains équipements (motopompes), s'appropriant ainsi les aménagements (même si le statut de propriété reste souvent flou). L'ARID les classe en quatre catégories.

1.2.5.1 Les périmètres villageois d'initiative publique

Ces petits périmètres (T2) de quelques dizaines d'hectares sont morcelés en nombreuses petites parcelles afin d'assurer au maximum d'attributaires une production de complément aux cultures pluviales. L'objectif est d'abord la sécurité alimentaire. Ils sont surtout cultivés en riz, destiné en grande partie à l'autoconsommation, avec souvent des

cultures de contre-saison, souvent par des groupements féminins. Le périmètre est irrigué à partir d'une rivière ou d'une retenue, par pompage (Mali, Niger) ou par gravité en aval de barrage (Burkina Faso), et plus rarement par pompage à partir de puits ou de forages, notamment pour les cultures oasiennes (Mali, Niger) ou horticoles. Parfois moins coûteux que les grands périmètres (moins de 2 millions FCFA par hectare), ils sont aussi plus sommaires (canaux non-revêtus, absence de réseau de drainage, absence de digue de protection contre les crues) mais donc aussi plus fragiles. Leur taille et leur conception les rendent plus accessibles aux capacités de gestion des producteurs. L'encadrement technique de l'état a presque entièrement disparu dans les années quatre-vingt. Les exploitants assurent, avec plus ou moins de succès, la gestion autonome des aménagements.

Certains bailleurs ou ONG financent encore l'aménagement ou la réhabilitation de tels périmètres en mettant l'accent sur la participation des populations à l'investissement, sous forme de travail ou de contribution financière, ainsi que sur le renforcement des capacités des organisations d'irrigants pour une meilleure autogestion.

Les enjeux des périmètres irrigués villageois d'initiative publique sont une appropriation effective des aménagements par les bénéficiaires, se traduisant notamment par un entretien correct des périmètres, le renforcement des capacités de gestion des organisations paysannes, le dégagement d'une marge monétaire suffisante pour assurer à la fois la sécurité alimentaire de la famille et la durabilité de l'outil de travail.

1.2.5.2 Les périmètres irrigués collectifs

Les périmètres irrigués collectifs ont été aménagés par des communautés villageoises, et non par l'état. Souvent il s'agit d'une extension de périmètres irrigués existants, alors que les financements extérieurs devenaient rares. On distingue des périmètres vivriers, généralement rizicoles, et des périmètres de contre-saison, en maraîchage ou en maïs. Il s'agit généralement d'aménagements sommaires sans études préliminaires, sans planage ni drainage dont les coûts ne dépassaient pas 500 000 FCFA/ha. Certains de ces périmètres sont réalisés à proximité d'ouvrages structurant financés par l'Etat : aval de barrages au Burkina Faso, extensions spontanées des périmètres officiels comme les hors-casiers de l'Office du Niger (Doumbia et Kone 1999). D'autres sont irrigués par pompage à partir de fleuves (Mali) ou en

amont de retenues comme Burkina Faso.

Les performances de ce type d'irrigation varient, en particulier dans le cas des périmètres rizicoles, jugés trop sommaires pour être productifs et durables. Certains de ces périmètres affichent des résultats proches des périmètres d'initiative publique, notamment après la disparition des aménagements les moins performants.

Les problèmes sont le financement des campagnes, l'organisation des filières, le besoin en références techniques pour l'aménagement du périmètre et la gestion de l'eau. L'enjeu est important, puisque ce type d'irrigation être un moteurs de l'expansion des superficies irriguées.

1.2.5.3 Périmètres individuels

Les périmètres irrigués individuels privés sont aménagés par de petits agriculteurs dans les zones périurbaines ou près d'une ressource en eau accessible par un moyen d'exhaure simple, par exemple autour des barrages (Burkina Faso), au bord des fleuves (Mali) ou à partir d'une nappe peu profonde (bas-fonds du Burkina et du Mali, vallées sèches du Niger (Daddy Gaoh et Dassargues 1995). Les statistiques sur ce phénomène sont rares du fait de son caractère informel, sauf au Burkina Faso où des enquêtes régulières sont réalisées.

Ces périmètres sont caractérisés par petites surfaces, souvent inférieures à 1 ha, des moyens d'exhaure et de distribution modestes : l'exhaure est surtout manuelle et peut être associée à la mise en place de canaux d'amenée et de puisards ou de cuvette de stockage. Des systèmes d'irrigation plus complexes apparaissent avec l'adoption de pompes à motricité humaine, de motopompe, du goutte-à-goutte. Les spéculations dominantes sont les cultures fruitières et le maraîchage de contre-saison. L'activité est rémunératrice et contribue à réduire la pauvreté. Le développement du micro-crédit pour l'achat de pompes, de clôtures, d'intrants, la résolution des difficultés en aval de la production (transformation, stockage, recherche de marchés).

Plus de 90% de la production maraîchère destinée aux centres urbains de l'Afrique de l'Ouest, provient de l'irrigation informelle et de la petite irrigation. Dans le bassin du Niger, Bamako compte entre 200 et 650 hectares, Niamey entre 400 et 600 hectares et Lagos entre

40 et 100 hectares (Drechsel et al. 2006).

1.2.5.4 Les périmètres privés

Les périmètres irrigués privés, de type *agro-business*, sont aménagés par des particuliers non exploitants, à partir de ressources financières externes à l'agriculture : fonctionnaires ou hommes d'affaires. Ils sont mis en valeur sur un mode capitaliste, avec un gerant et des salariés. Les surfaces ne dépassent généralement pas quelques dizaines d'hectares. Les spéculations sont à haute valeur ajoutée (fruits, maraîchage) et commercialisées. Les moyens d'exhaure et de distribution tendent à se moderniser, avec l'apparition de systèmes sous-pression, par aspersion et parfois de goutte à goutte, pour réduire la main d'œuvre. L'irrigation privée s'est surtout développée en Mauritanie, financée par des hommes d'affaires à des fins pécuniaires mais favorisée par l'Etat (accès au crédit, réforme foncière). Les périmètres sont souvent aménagés de manière sommaire et sans grande maintenance. Les périmètres exploités quelques années sont souvent abandonnés quand les performances diminuent.

Ce type de périmètres reste assez peu développé du fait des difficultés liées au foncier et du risque inhérent à l'investissement en agriculture. L'enjeu de ces périmètres est de combiner investissement externe dans l'agriculture irriguée et impact économique et social sur le milieu local (compensant notamment le retrait des terres aux populations). L'intérêt de ces systèmes est qu'ils favorisent l'introduction de nouvelles techniques et de nouvelles compétences en irrigation et peuvent servir de références aux petits irrigants.

Conclusion : diversité et complexité

Les chiffres sur les systèmes irrigués existants montrent une grande diversité de situation dans le BFN. La maîtrise totale de l'eau n'est pas dominante. Or la littérature sur l'irrigation dans la sous région porte presque exclusivement sur les périmètres à maîtrise totale de l'eau. Les systèmes traditionnels décrue, bas fonds et submersion libre dominant en termes de surface. De même les surfaces en contrôle partiel à savoir la submersion contrôlée et les bas-fonds aménagés occupent des espaces significatifs.

Les évolutions récentes sont aussi contrastées. Les systèmes traditionnels, décrue et submersion libre, seraient en recul, à cause de la sécheresse mais aussi parce que les paysans passent à des systèmes à submersion contrôlée ou totale. Contrairement à une idée reçue, les

investissements n'ont pas cessé lors des ajustements structurels. L'état les ONG et les paysans ont étendu les périmètres à contrôle total dans les dernières décennies.

2 LES PERFORMANCES DE L'IRRIGATION

2.1 Les Rendements des cultures irriguées

2.1.1 Evolution des rendements du riz par pays

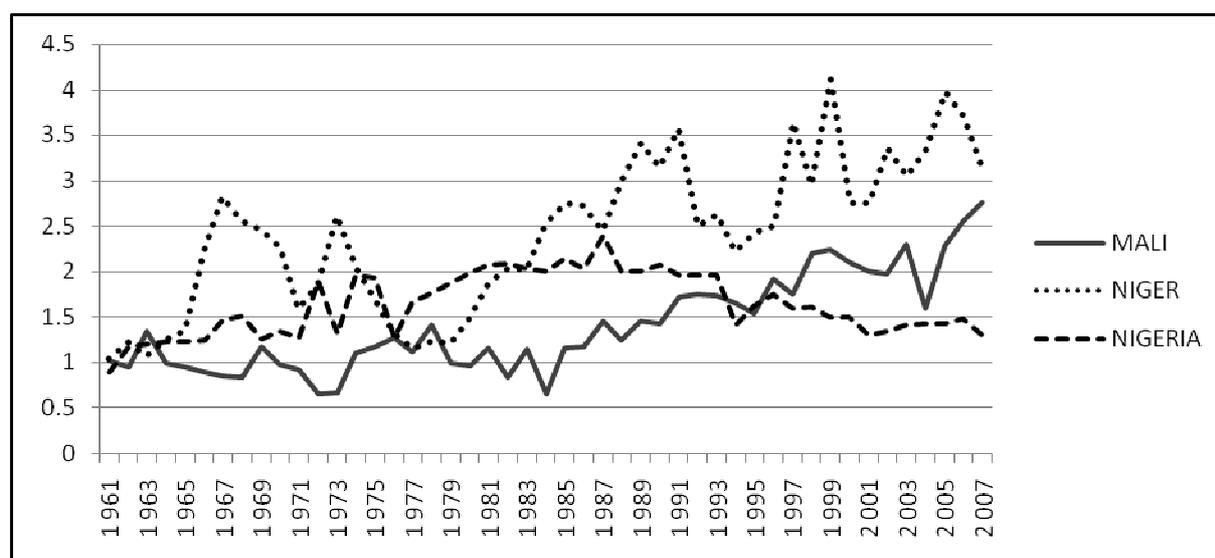


Figure 9: Evolution de la production du riz par pays

C'est au Niger que les rendements rizicoles sont les plus importants. Affaiblis lors des années de sécheresse des années 1970, ces rendements ont connu à partir de 1984, une nette amélioration grâce au changement des techniques d'irrigation dans le pays où on a assisté au développement de la maîtrise totale au détriment de la submersion contrôlée.

Au Nigéria, les rendements s'élèvent de 1961 à 1987 puis baissent depuis. Cette chute des rendements s'explique par la forte augmentation des surfaces exploitées, essentiellement dans les bas fonds, et par l'échec de l'irrigation conventionnelle.

Au Mali, les rendements sont restés globalement stables des années 1960 aux années 1990, années à partir desquelles ils augmentent de manière significative. Cette augmentation des rendements est en partie la résultante des opérations de la BNDA pour l'octroi de crédit d'intrants aux associations villageoises, opérations lancées en 1988. En outre, l'amélioration

des techniques de production ainsi que diverses autres opérations telles que le développement des caisses d'épargne et de crédit en 1995 ont contribué efficacement à l'obtention de crédits d'intrants et à l'amélioration des rendements.

2.1.2 Les rendements à l'Office du Niger

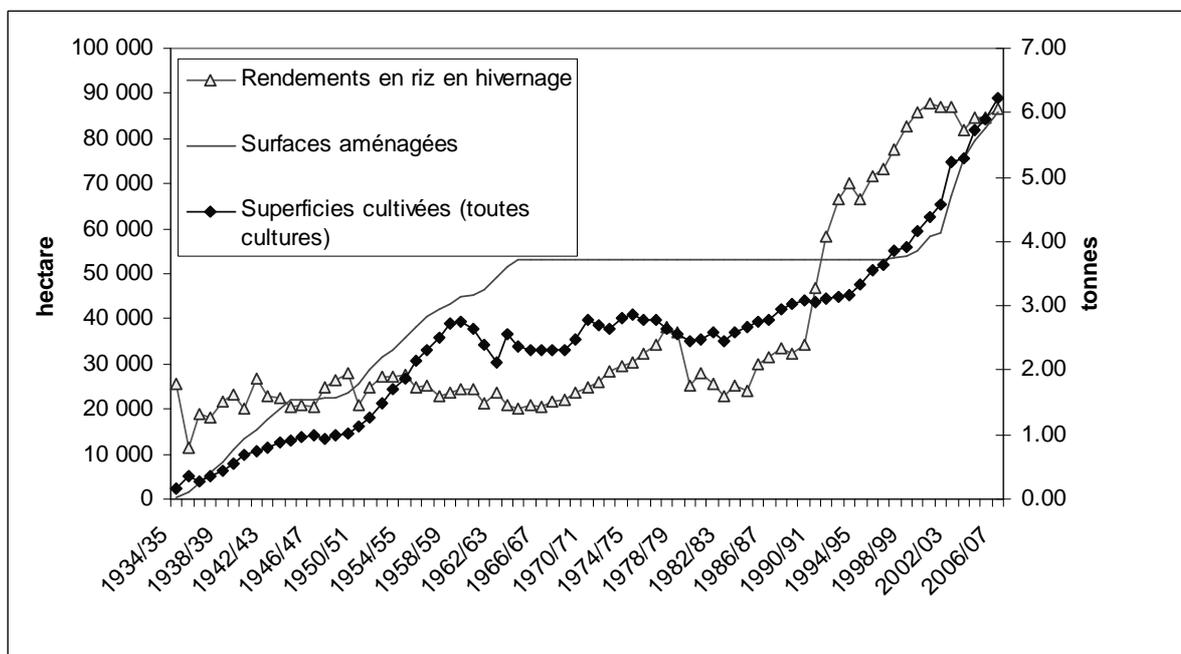


Figure 10: Evolutions des surfaces et des rendements à l'office du Niger

Les rendements de l'Office du Niger ont augmenté de manière spectaculaire dans les années quatre-vingt-dix après une réhabilitation massive des casiers et un ensemble de mesures visant à autonomiser les paysans. La dévaluation de du FCFA en 1994, en améliorant le prix du paddy aux producteurs a contribué à faire adhérer les paysans au message de l'encadrement. Les paysans ont adopté le repiquage et augmenté les doses d'engrais. Les surfaces par exploitation ont été réduites pour favoriser l'intensification de la production. Bien que les statistiques soient souvent contestées, les rendements seraient aujourd'hui voisins de 6 tonnes sur l'ensemble des périmètres.

2.1.3 Les facteurs des rendements

Sur chacun des périmètres qui ont fait l'objet de l'étude du projet APPIA au Mali les rendements dépendent fortement des quantités d'engrais utilisés. A Niono, Kamaka, et dans la zone de Mopti, les riziculteurs pauvres ne parviennent pas à apporter la quantité minimale

d'engrais exigé. Les rendements sont de 1,5 tonnes /ha à Niono ; 1 à Kamaka et 1,4 dans la zone de Mopti. Par contre sur ces mêmes périmètres les agriculteurs les plus aisés apportent plus d'engrais aux cultures et obtiennent des rendements nettement supérieurs : 6 tonnes /ha à Niono ; 5,6 à Kamaka et 6,6 dans la zone de Mopti.

A l'Office du Niger où généralement les agriculteurs obtiennent les engrais à crédit, les moins nantis prennent les mêmes quantités d'engrais que les plus aisés, ce qui fait que le rendement du riz diffère moins entre riches et pauvres. La production est de 4 à 4,5 tonnes à l'ha pour les moins nantis et de plus de 5 tonnes à l'ha pour les nantis.

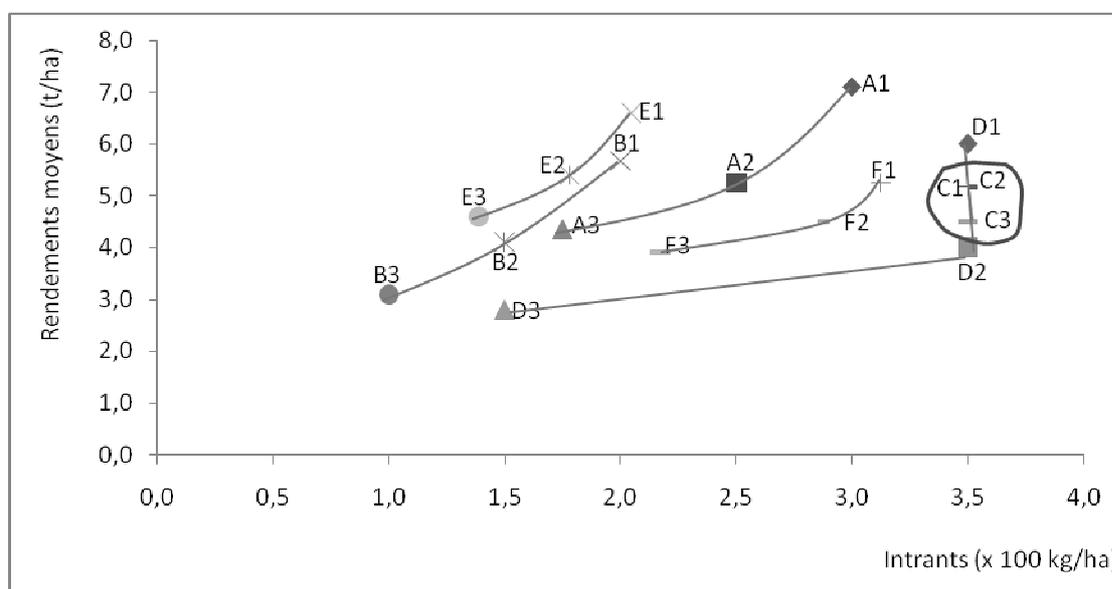


Figure 11: Distribution des rendements en fonction de l'utilisation des intrants

2.1.4 Conclusions : rendements en hausse

D'après les statistiques officielles, les rendements du riz augmentent au Mali et au Niger et baissent au Nigéria. Toutefois les Nigériens privilégient l'expansion de la production dans les bas fonds, ce qui ne favorise pas les rendements par unité de surface, mais ne signifie pas que la stratégie est mauvaise. Les systèmes traditionnels riz de décrue ou la submersion libre, les bas fonds ont des rendements relativement faibles par rapport aux systèmes à maîtrise totale, plus intensifs.

Dans les périmètres irrigués à contrôle totale du Mali et du Niger, des producteurs

obtiennent sept tonnes par hectare. Les gains de rendements s'expliquent essentiellement par l'application accrue d'engrais. Les paysans aisés atteignent ces résultats.

2.2 Les performances économiques

2.2.1 Les performances des cultures

Le coût élevé des aménagements est rarement compensé par les performances économiques (Berthome et al 1986). Les rendements du riz irrigué sont pendant longtemps restés décevants, autour de 4 tonnes par hectare en maîtrise totale de l'eau alors que les planificateurs misaient souvent sur des rendements de 6 tonnes par hectare. Pour le producteur la rentabilité économique de la riziculture irriguée est généralement correcte, entre 100 000 et 200 000 FCFA par hectare (Dancette 1999) ce qui dépasse les revenus des cultures pluviales.

Tableau 3: Rendements estimés et revenus des cultures irriguées au Burkina Faso

Cultures	Rendements(t/ha)	Revenus en FCFA par cycle
Riz	5	150 000
Haricot vert	7	630 000
Pomme de terre	25	1 750 000
Tomates	20	300 000
Oignons	40	800 000
bananes	15	600 000

Dancette (1999) a calculé les bénéfices de la riziculture à la fin des années quatre vingt dix à partir d'études existantes, sur ce qui le plus couramment observé et qui correspond aux itinéraires techniques recommandés à partir d'études générales sur la riziculture irriguée, des rapports de mission, des enquêtes agro-économiques. Les résultats pour le Mali et le Niger, résumés dans le tableau 2, montrent des différences importantes entre les coûts de production qui sont moins élevés au Mali qu'au Niger. Si on prend en compte d'après les temps de travaux manuels relevés, au coût habituel et local de la main d'œuvre salariée, on doit ajouter pour le Mali 125 000 f cfa. On arriverait ainsi à un total de 351 000 FCFA. De même, au Niger, on devrait rajouter 92 000 f cfa, obtenant ainsi un total encore de 377 000 FCFA, plus

élevé qu'au Mali. Mais il n'y a donc pas de grande différence de coût d'un système à l'autre.

Les coûts d'amortissement du matériel de pompage n'ont pas été estimés. Ils sont très variables selon qu'il s'agisse de grands périmètres avec station centrale de pompage, électrifiée ou diesel, ou de groupes motopompe. Pour ces derniers, l'amortissement coûterait au moins à 20 000 FCFA/ha. En intégrant les coûts de main d'œuvre familiale, les coûts de production sont les suivants : Mali : 372 000 FCFA et Niger : 377 000 FCFA

En 1998, c'était au Mali que le paddy était acheté au producteur au prix le plus rémunérateur, suivi par le Niger. Si on tient compte des rendements moyens, les marges brutes de revenu à l'hectare les plus intéressantes sont celles du Mali avec 434 000 F cfa ou 399 000 si on enlève la main d'œuvre familiale. Au Niger ces marges s'élèvent à 215 000 FCFA, ou 123 000 si on enlève l'équivalent du coût de la main d'œuvre familiale.

La production maraîchère procure des revenus beaucoup plus élevés (tableau 3) mais plus irréguliers à cause des problèmes de conservation et de la variabilité des prix. Une extension rapide des surfaces en maraîchage se heurte vite à la faiblesse de la demande, même si celle-ci augmente vite. Les exportations maraîchères vers les pays côtiers sont en progression rapide mais les exportations vers l'Europe souffrent de la désorganisation des filières, des barrières sanitaires de plus en plus complexes et du renchérissement des coûts de transport. Le marché de la sous-région est plus porteur (Chohin-Kuper et Kelly 1998).

Tableau 4: Comparaison agro-économique des principaux itinéraires techniques proposés en riziculture irriguée

Rubriques		Pays	
		Mali Office du Niger	Niger Cuvettes du fleuve
Préparation des parcelles : travail du sol, reprise du planage, mise en boue...	Option technique	Traction animale : lab., hers., puddl.	Traction animale : lab., hers., puddl.
	Coût/ha en cfa	12 500	16 000
	Objectifs conjoints R/D	En motorisation, mieux valoriser l'énergie, pour les opérations les plus utiles : amélioration du planage, offsetage en humide, en liaison avec une meilleure maîtrise de l'enherbement. Tirer parti des acquis maliens et nigériens en culture attelée et manuelle.	
Mise en place de la culture	Option technique	Pépinière et repiquage manuel	Pépinière, repiquage manuel (en ligne)
	Variétés et dose	BG 90-2, IR 15, R10..., 50 kilos/ha	IR 1529, BG 90-2 Wita 8 et 9:50 k/ha
	Coût/ha en cfa	20 000 (voir MO)	10 000 (voir MO)
	Objectifs conjoints R/D	Variétés à potentiel de rendement plus élevé et à meilleures caractéristiques / verse, égrenage, décortilage, cuisson et goût; durées de cycle, tolérance au froid et fortes températures, mieux adaptées au calendrier cultural ; tolérance à la mosaïque jaune.	
Fertilisation	Option technique	200 kilo. urée/ha 100 kilo. DAP/ha x fumier ; 110-46-0	Nombreuses formes à base urée, NPK, P nat. ; 137-45-45
	Coût/ha en cfa	80 000	110 000
	Objectifs	Serrer la dose économiquement rentable ; mieux valoriser les apports (dates optimales, modalités d'apport : limiter les pertes) ; engrais naturels, compost, fumier, effets résiduels ; systèmes de rotation. Correction des carences (niveau de dégradation des sols irrigués)	
Contrôle de l'enherbement	Option technique	Mécanique(lab.,hers. puddl.) et manuel	Mécanique(lab.,hers. .puddl.) et manuel
	Coût/ha en cfa	voir main d'œuvre	voir main d'œuvre
	Objectifs	Raisonnement système de culture et lutte intégrée : combiner irrigation, travail du sol, traitement chimique et syst. rotation ; économiser les produits : les doser en fonction de la nature et densité enherbement ; appareils de traitement plus performants ; produits à égoutter ; formation agents de traitement.	
Conduite irrigation, « à sec » et drainage	Mode	Gravitaire	Pompage (collectif)
	Redevance coût/ha	47 150	65 000
	Objectifs	Améliorer l'organisation des tours d'eau, réduire les pertes d'eau (réseau, parcelle) ; pompes plus performantes, mieux dimensionnées ; à sec avant récolte plus précoce. Choix des sols les moins perméables.	
Main d'œuvre salariée	Coût/ha	24 000	80 000
	Objectifs	Rechercher les itinéraires techniques économes en MO : semis direct, désherbage mécanique ou chimique, récolte, battage mécaniques ... culture attelée, motorisation intermédiaire	
Récolte, opérations post-récolte	Récolte	Manuelle (voir MO)	Manuelle (voir MO)
	Coût (moiss.) battage	50 000	voir main d'œuvre
	Objectifs	Récolter à terme (organisation chantiers moissonneuse batteuse, entretien m.b...) ; développer pour les collectifs l'équipement en batt. type Votex, ASI ...décortiqueuses ; cesser irrigations assez tôt avant récolte. Petits producteurs : récolter manuellement plutôt qu'attendre en vain moissonneuse batteuse.	
Frais financiers		7 000	4 000
Total des charges		241 000	285 000
Rendement moyen paddy en t/ha		5 (entre 2.5 et 7)	5 (entre 4 et 6)
Prix de revient du paddy en cfa/kilo		48	57
Prix de vente du kilo de paddy		120 à 150	100 (fin 94)
Production minimale Couvrant les charges en t/ha		1,8	2,8

2.2.2 Les coûts de l'irrigation

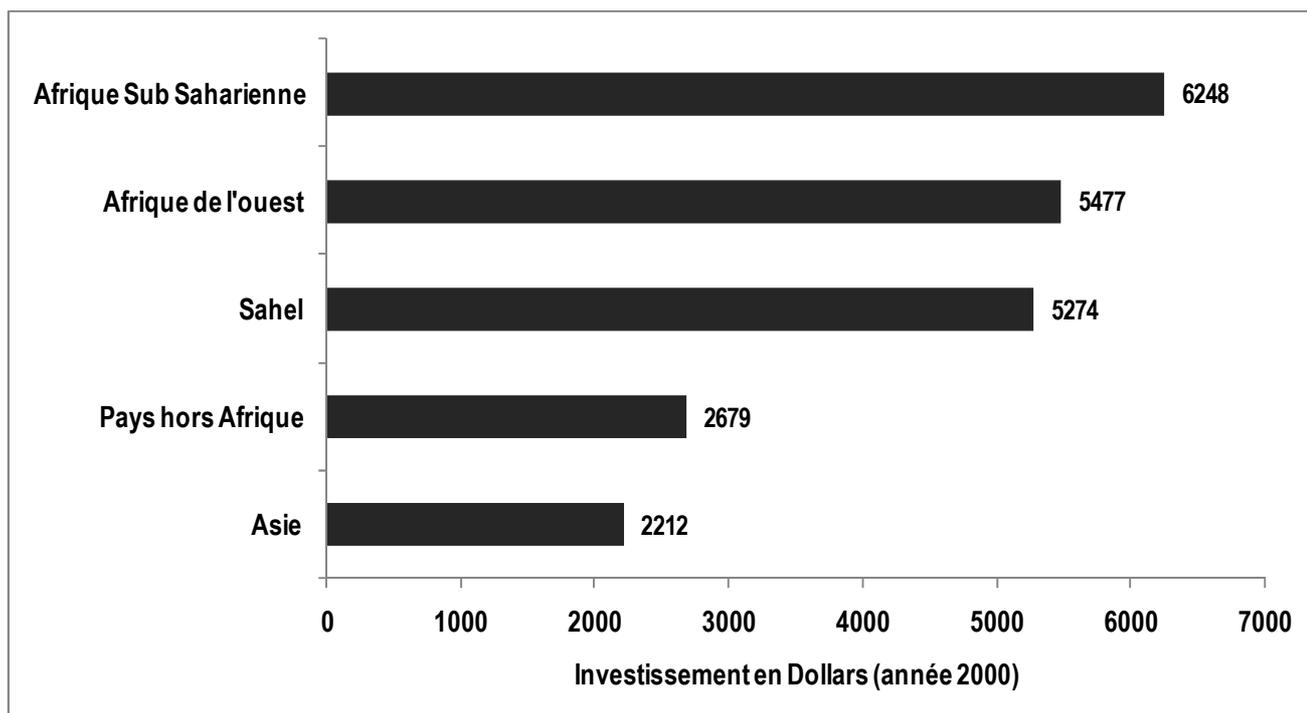


Figure 12: Moyennes des coûts des périmètres irrigués (Source Aquastat 2009)

Selon les données d'Aquastat la construction de périmètres irrigués à maîtrise totale serait beaucoup plus coûteuse en Afrique qu'ailleurs, notamment plus coûteux qu'en Asie. Toutefois selon Inocencio et al (2007) les coûts ne seraient pas si différents si on élimine les quelques cas d'échecs africains qui plombent la moyenne des coûts en Afrique. Par ailleurs les coûts des périmètres récents seraient comparables car les entrepreneurs sont devenus plus performants et les plans sont mieux réalisés.

Tableau 5: Coûts des aménagements hydro-agricoles :Source : (Ministère de l'environnement et de l'eau du Burkina Faso 2001)

Type d'aménagement	Coûts / hectare Millions de FCFA
Périmètre avec pompage:	10
Périmètre fil de l'eau	8
Les barrages et les aménagements d'aval	15
Aménagements seuls	7
Bas-fonds améliorés	3
Bas-fonds aménagés simples	1,4

2.2.3 Le pompage coûte cher en énergie

La multiplication des périmètres par pompage le long du fleuve devrait favoriser les prélèvements raisonnables. L'amélioration de la submersion contrôlée par la régulation du fleuve et des pompes d'appoints devraient aussi favoriser la PE globale de ces périmètres. L'expansion du maraîchage favorise à la fois une amélioration du numérateur et en théorie du dénominateur. Si cela est prouvé sur les périmètres le long du fleuve, cela reste à prouver à l'ON.

2.2.4 Irrigation et réduction de la pauvreté

Le lien entre l'irrigation et la pauvreté soulève peu de controverse. Les heureux bénéficiaire de parcelles irriguées s'en sortent mieux que les autres (Dillon 2007). Dans le DIN et dans la boucle du Niger au Mali, les PIV ont réduits la pauvreté de 14%, entre 1997 à 2006. L'irrigation a fait augmenter les revenus de 180% par ménage. Une personne d'un ménage irrigant gagne 57 000 FCFA de plus qu'une personne similaire ne pratiquant pas l'irrigation. L'étude se base sur les données des enquêtes réalisées en 1998 et en 2006. Dans les cercles de Niafunké, Goundam, Diré, Tombouctou, Bourem et Kidal. L'effectif de l'échantillon analysé est de 2413 ménages. Les statistiques descriptives des 245 ménages dans le cercle de Niafunké font ressortir que l'usage de l'irrigation a passé de 0,4% en 1998 à 30% en 2006. Dans la même période le rendement en grains par hectare a augmentée de 3,8 tonnes, ce qui est probablement dû au PIV. La consommation qui a passé de 87 097 FCFA en 1998 par personne à 248 893 FCFA en 2006 soit une augmentation de 186 %.

La productivité diffère nettement entre les différents cercles. Les cercles de Niafunké et de Diré produisent près de 2,5 t/ha. Les rendements à Tombouctou et Goundam se chiffrent à près de 2,0 t/ha tandis qu'à Rharous et Bourem, ils sont de l'ordre de 1,3 t/ha. En effet la qualité des sols se dégrade au fur et à mesure qu'on s'éloigne du delta central du Niger vers le Nord. De plus l'effet de la pauvreté affecte le capital d'investissement dans les cercles de Rharous et Bourem. Aussi les projets sont concentrés dans les cercles à fortes productivités. La production agricole s'élève à 4,6 t/ha, 3,9 t/ha et 2,3 t/ha respectivement à Niafunké, Diré et Rharous ; soit une différence respective de 2,1 t/ha, 1,4 t/ha et 0,9 t/ha. En moyenne le PMN a permis d'avoir une productivité moyenne de 4,4 t/ha contre 2,01 t/ha par les autres

soit un surplus de 2,3 t/ha.

L'explication de la productivité moyenne par une fonction de production linéaire montre que l'accès à l'irrigation augmente avec significativité la productivité d'environ 2,0 t/ha. D'autres facteurs affectent positivement le rendement. Par exemple la production agricole croît de 3,7 kg/ha pour chaque jour de travail supplémentaire. En comparaison chaque jour de travail complémentaire fourni par des travailleurs extérieurs augmente la production que de 2,3 kg/ha. Chaque nouvel achat de 1 000 FCFA d'engrais se traduit par un gain de 4,8 kg/ha. La productivité dans les PIV s'explique aussi positivement par l'irrigation (2,4 t/ha) et l'utilisation des engrais (7,6 kg/ha par achat de 1 000 FCFA). Une troisième fonction de production montre qu'il y a une différence entre les projets à grande échelle et les projets à petite échelle. Les projets à petite échelle augmentent les rendements de 2,8 t/ha alors que les projets à grande échelle augmentent les rendements de 0,7 t/ha.

Par la méthode d'appariement sur les scores de propension, il ressort des différences de consommation par personnes attribuable aux projets d'irrigation de l'ordre de 47 778 FCFA. Parallèlement à une consommation accrue par personne, une baisse de la pauvreté d'environ 14,4% est survenue entre le groupe du irrigant et le groupe témoin, attribuable à l'accès à l'irrigation. La méthode de la différenciation a permis nous permet de fournir un pourcentage approximatif de l'évolution de la consommation depuis 1998 imputable à l'accès à l'irrigation. Les ménages ayant accès à l'irrigation ont vu leur consommation totale réelle augmenter de 340.725 FCFA. Au vu de l'évolution globale de la consommation totale réelle depuis 1998, environ 40% de la hausse de la consommation est attribuable à l'accès à l'irrigation, ce qui confirme les tendances observées par la méthode de l'appariement sur les scores de propension.

Dans le BFN l'irrigation ne crée pas de grandes inégalités. Les parcelles distribuées sont le plus souvent très petites de 0,25 à 0,5 hectares sauf à l'Office du Niger où la moyenne est de 5 hectares par ménage. Les surfaces par producteurs avaient été réduites dans les années quatre-vingt-dix pour améliorer la productivité. La différenciation sociale à l'ON et sur l'ensemble des périmètres, reste modérée. L'objectif des autorités est la sécurité alimentaire. Une petite parcelle irriguée permet de compenser la perte des revenus des cultures pluviales qui s'effondrent en cas de sécheresse. Elle permet aussi de rattraper une saison pluviale

manquée avec une culture de contre saison.

Le projet Fadamas est aussi considéré comme un succès dans la lutte contre la pauvreté. Le retour à l'investissement serait de 60% (Nkonya et al 2008).

Par contre l'appropriation des bas-fonds par des familles de propriétaires traditionnels peut poser des problèmes, notamment dans le sous bassin du Bani dans le sud du Mali où appropriation de grandes surfaces s'accompagne souvent de plantations de grands vergers peu productifs (Dufumier 2005).

2.2.5 La production par habitant

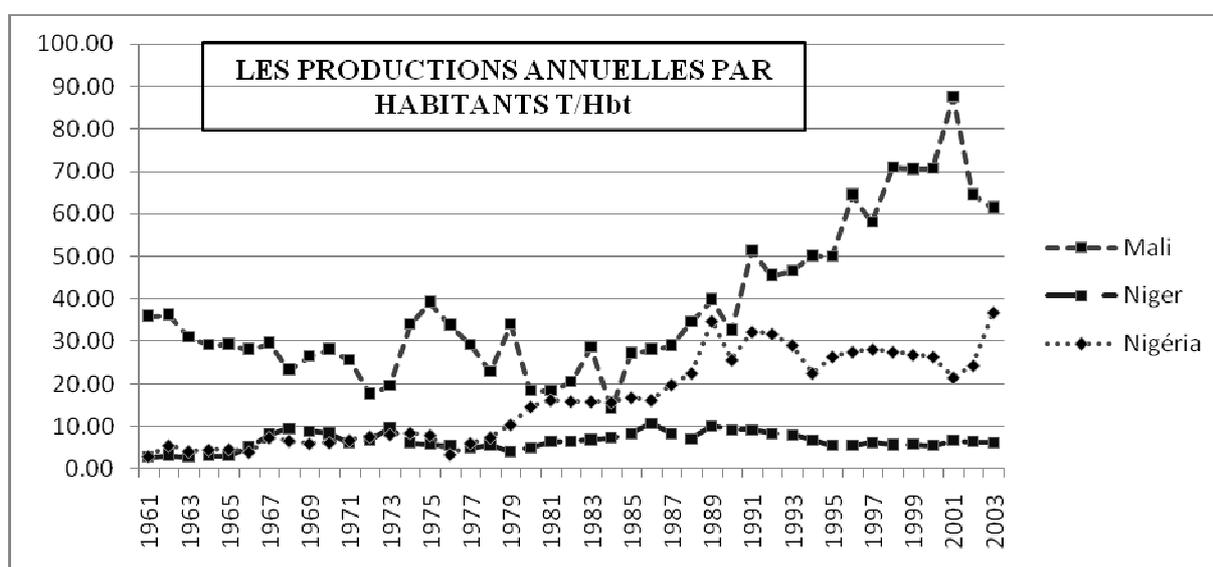


Figure 13: Les productions annuelles par habitant

La production de riz par habitant avait diminué pendant les périodes de sécheresses puis a repris après. Depuis au Mali la production n'a cessé de grimper pour atteindre 70 kilos par personne. Le Nigeria tente de suivre un chemin similaire alors que le Niger reste tourné vers la production et la consommation de mil.

2.2.6 Conclusions : les performances économiques variables

Les performances des productions rizicoles sont très variables entre pays, types d'irrigation, entre périmètres d'un même type et entre paysans au sein d'un même périmètre. Les performances des systèmes traditionnels et à contrôle partiel sont peu connues mais sont, semble-t-il, très aléatoires.

Pour la maîtrise totale, les revenus de l'ensemble des systèmes irrigués sont en général trop faibles pour rentabiliser les lourds investissements réalisés au départ, mais ils sont suffisamment rémunérateurs pour attirer les cultivateurs sur les périmètres. Ces performances sont en train d'augmenter grâce aux gains de rendements, aux prix. La compétitivité du secteur est bonne même si le marché du est déprotégé. Les performances économiques peuvent être améliorées par un meilleur système de crédit. L'organisation de l'écoulement des produits, riz et maraîchage, est peu organisé. L'organisation du secteur a été nettement amélioré au Nigéria et a permis une nette amélioration des performances économique du secteur.

L'agriculture irriguée, le plus grand consommateur d'eau, est mise sous pression pour améliorer l'efficacité des périmètres irrigués, ceci afin de permettre de futures extensions, du manque de terre adéquates et des ressources financières puisque le coût des infrastructures tend à augmenter.

Les prélèvements de l'irrigation dans le fleuve Niger sont faibles par rapport aux écoulements du fleuve et par rapport à ceux réalisés dans le reste de l'Afrique dans des conditions climatiques similaires. Mais ils sont bien plus importants que ceux des autres secteurs.

La variation des prélèvements par zones s'explique par la demande climatique, les besoins des cultures, le mode d'exhaure (par pompage ou non), par la longueur et l'état des canaux et par le respect ou non des tours d'eau.

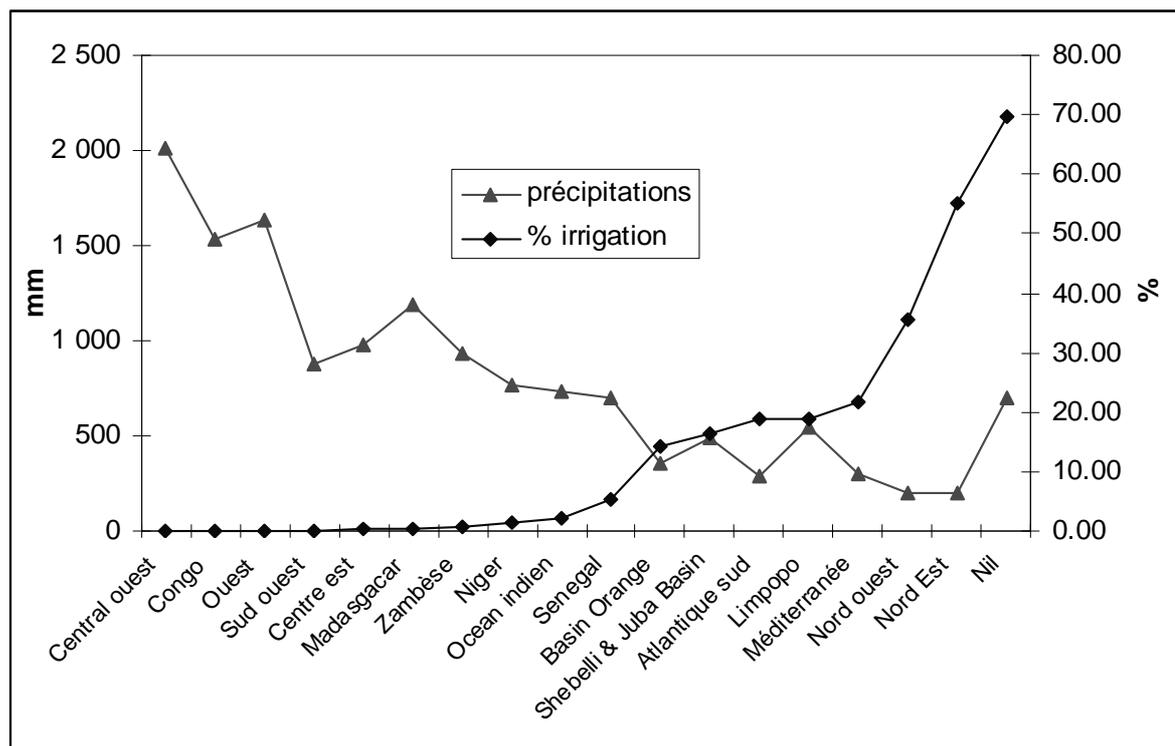


Figure 14: Utilisation de l'eau et précipitations dans les bassins versants africains : (Source : Aqustat 2009)

2.3 Les prélèvements en eau

Les prélèvements de l'irrigation dans le fleuve Niger sont faibles par rapport aux écoulements du fleuve et par rapport à ceux réalisés dans le reste de l'Afrique dans des conditions climatiques similaires (figure 15). Mais ils sont bien plus importants que ceux des autres secteurs.

La variation des prélèvements par zones s'explique par la demande climatique, les besoins des cultures, le mode d'exhaure (par pompage ou non) et par la longueur et l'état des canaux et par le respect des tours d'eau.

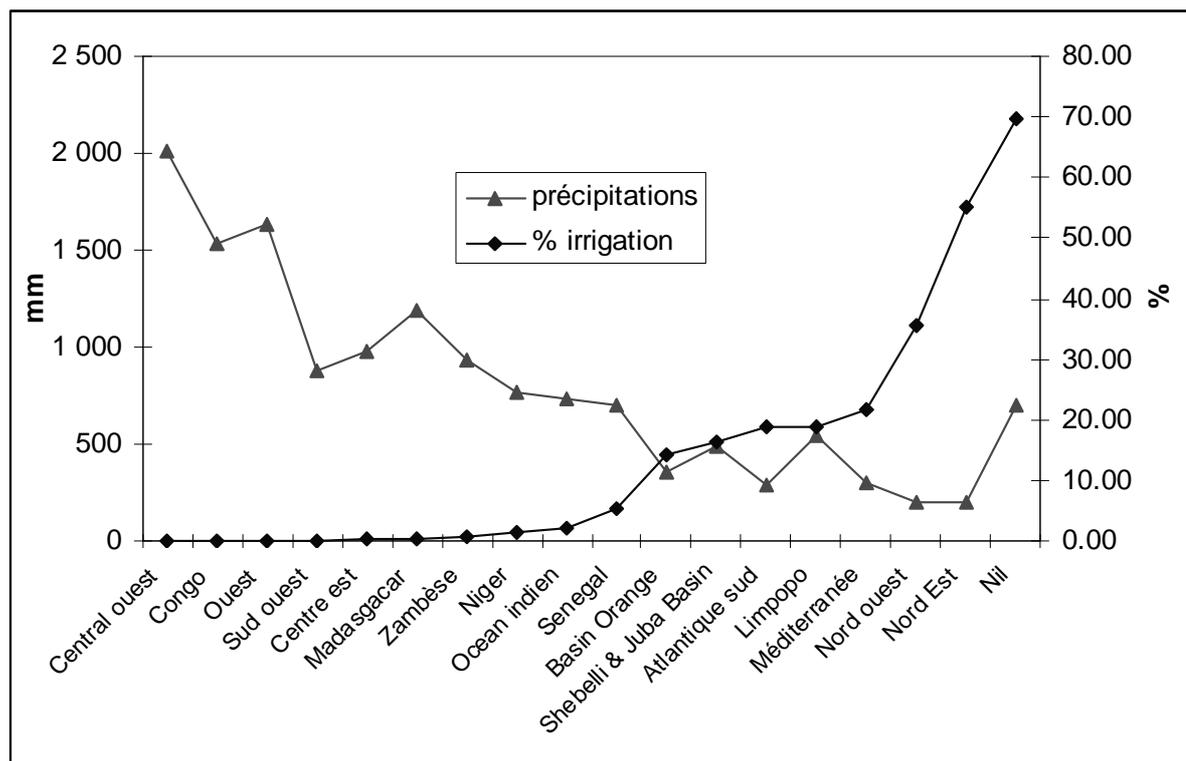
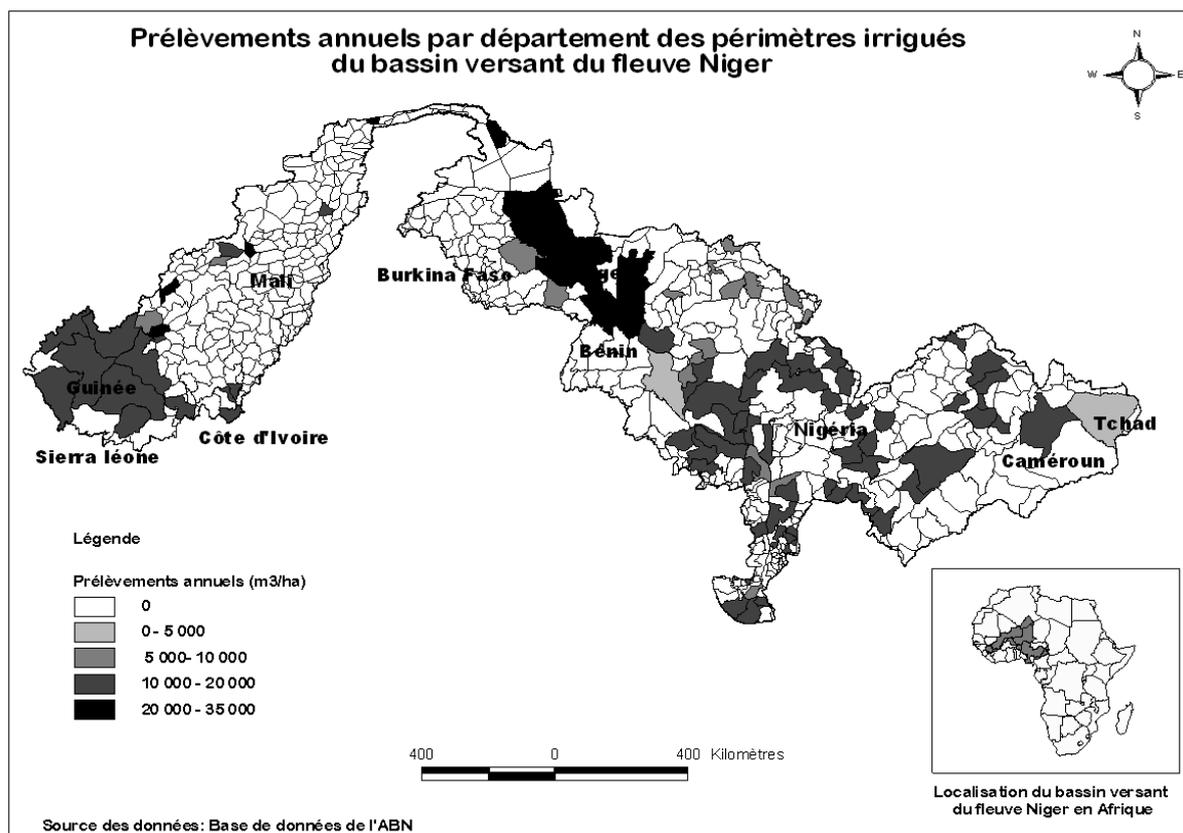


Figure 15 :Utilisation de l'eau et précipitations dans les bassins versants africains : (Source : Aquastat 2009)

2.3.1 Prélèvements par unité de surface



Carte 3: Prélèvement à l'hectare des périmètres irrigués des départements du bassin versant du fleuve Niger

Les prélèvements réalisés dans les périmètres irrigués des départements du BFN sont très variables. Les périmètres irrigués dont les prélèvements sont inférieurs à 5 000 m³/ha sont très rares, ceux inférieurs à 10 000 m³/ha se trouvent au Burkina Faso, en aval des petits barrages, et au Nigéria où le climat limite les besoins des cultures. De 10 000 à 20 000 m³/ha on trouve les prélèvements de la Guinée, de la Côte d'Ivoire et ceux riverains du fleuve Niger situé entre les républiques du Niger et du Nigéria. Les gros prélèvements ont lieu à l'Office du Niger au Mali, au Niger où la double culture de riz est la règle.

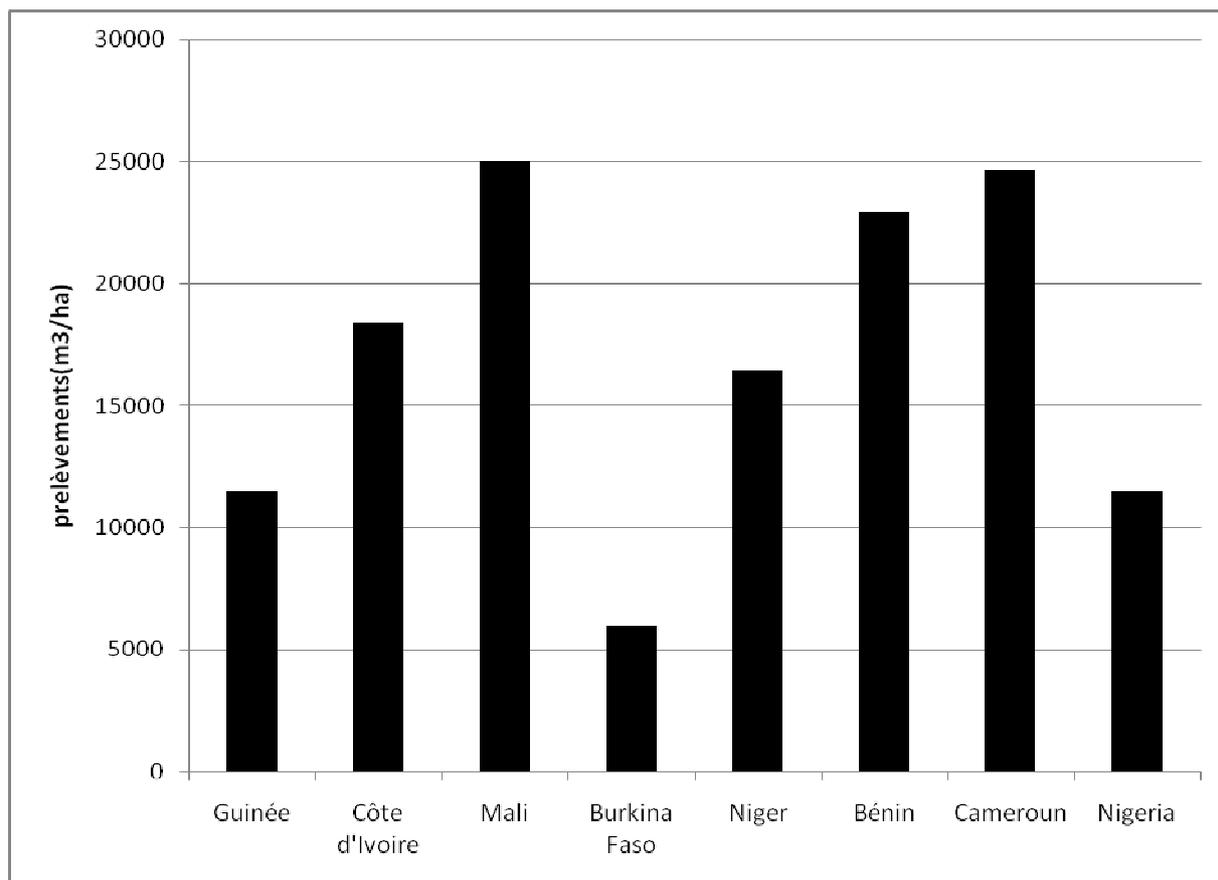


Figure 16: Prélèvements par campagne (m³/ha)

Les prélèvements estimés varient également très sensiblement d'un pays à l'autre. La Guinée, le Burkina Faso et le Nigéria prélèvent moins d'eau par hectare car situé dans des zones moins arides. La très faible consommation d'eau au Burkina Faso, 6000 m³ par ha, s'explique par le fait que ce sont des très petits périmètres, dont l'efficacité du transport de l'eau est élevée. Le Mali consomme beaucoup à cause de l'ON et des périmètres des Opérations Riz à submersion contrôlée. En Côte d'Ivoire les périmètres consommeraient plus d'eau car les canaux ne sont généralement pas revêtus.

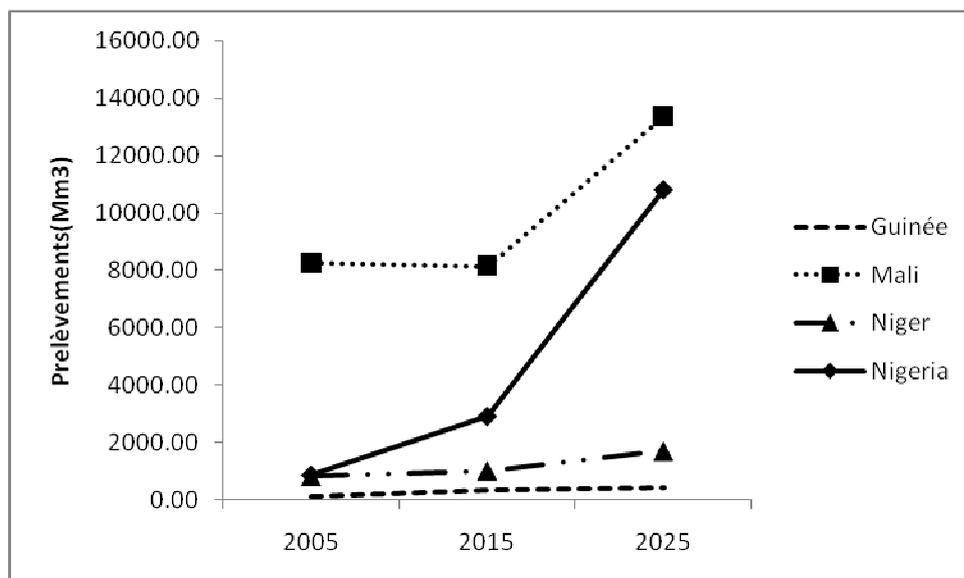


Figure 17: Evolution prévisionnelle par pays des prélèvements sur le fleuve Niger

Les prélèvements actuels sont essentiellement ceux du Mali, du Niger et du Nigéria. Les prélèvements totaux vont encore augmenter dans les années à venir (figure 17). Les périmètres du Niger utilisent des motopompes, ce qui pousse à réduire le gaspillage d'eau pour réduire les frais de carburants. Le Niger prélève en moyenne 17 000m³ pour un ha pour la riziculture alors que le Mali prélève en moyenne 25 000m³ pour un hectare. Cependant les paysans du Niger pratiquent beaucoup la riziculture de contre saison qui consomme plus d'eau qu'en hivernage. Le piratage de l'eau le long des canaux principaux fausse les calculs mais ils ne diminuent pas la productivité réelle des périmètres.

Pour 2015 les planificateurs n'ont pas prévu de développement majeur au Mali, mais croient dans le développement de l'irrigation au Nigéria. Si les plans de l'ABN se réalisent le Nigéria rattrapera le Mali à l'horizon 2025. Au total les prélèvements de l'irrigation dans le BFN seraient de 25 milliards de m³ sur 180 milliards de m³ disponibles soit 14%.

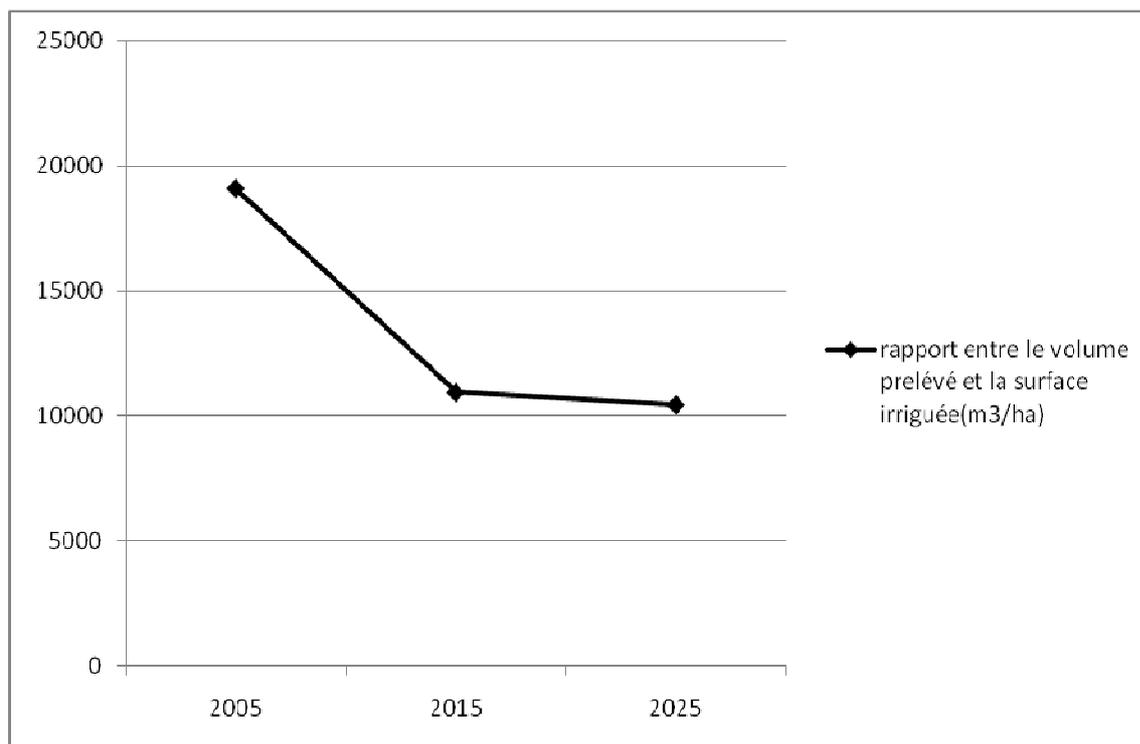


Figure 18: Rapport entre le volume d'eau prélevé sur le Niger et la surface à irriguer

L'ABN fait l'hypothèse que l'efficacité des prélèvements va augmenter. Les surfaces irriguées évoluent plus rapidement que les prélèvements d'eau sur le Niger (figure 18). Les bases de cette hypothèse sont incertaines dans la mesure où aucun état n'a mis en place de politique sérieuse de baisse des prélèvements.

2.3.2 Prélèvements par type de système d'irrigation

La base de données ABN distingue trois types d'aménagements. La maîtrise totale de l'eau avec 265 595 ha consommerait 2934 Millions de m³, soit une moyenne de 15 060 m³ par hectare, la submersion contrôlée avec 170 646 hectares consommerait 6 291 Millions de m³ soit 36 868 m³ par hectare et 100 000 hectares de submersion libre / décrue qui consommerait 1 101 Mm³ soit 11 040 m³ par hectare. La submersion contrôlée consommerait donc plus d'eau que les deux autres modes de production. On peut contester le chiffre de la consommation du riz flottant en submersion libre. Ce riz est planté dans des cuvettes naturelles dans les zones d'inondations et non pas dans des périmètres en bordure du fleuve. Il ne s'agit pas d'un prélèvement. L'eau de la cuvette aurait de toute façon été utilisée par les herbes sauvages telles que le riz sauvage ou le bourgou. Par contre le contrôle partiel consomme énormément d'eau dans la mesure où l'eau est capturée dans des périmètres et il

n'y a pas vraiment de drainage. De plus une grande partie des surfaces aménagées sont inondées et seulement partiellement récolté. La maîtrise totale rejette de l'eau dans le fleuve par les drains, quand ils ne sont pas bouchés.

Tableau 6 : récapitulatif de la base de données ABN

	Guinée	Côte d'Ivoire	Mali	Burkina Faso	Niger	Bénin	Tchad	Cameroun	Nigeria	TOTAL
Nbr de périmètre en MT	15	29	17	2	54	4	1	2	113	237
Nbr de périmètre en SC	0	0	12	0	0	0	0	1	0	13
Nbr de périmètre en SN	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Nbr de bas-fond	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Nbr total de périmètre	15	29	30	3	54	4	1	3	113	252
surface en MT (ha)	8 984	2 495	117 348	1 334	46 713	1 006	95	2 500	84 620	265 095
surface en SC (ha)	0	0	167 846	0	0	0	0	2800	0	170 646
surface en SN (ha)	0	0	60 000	0	40 000	0	0	0	0	100 000
surface en bas-fond (ha)	0	0	0	148	0	0	0	0	0	0
surface totale (ha)	8 984	2 495	345 194	1 482	86 713	1 006	95	5 300	84 620	535 889
volume total prélevé pour la MT(Mm ³)	103	46	2 934	1	821	23	0	64	0	3 992
volume total prélevé pour la SC(Mm ³)	0	0	6291	0	0	0	0	0	0	6 291
volume total d'eau prélevé pour la SN(Mm ³)	0	0	1104	0	0	0	0	0	0	1 104
Total des prélèvements(Mm ³)	103	46	10 329	1	821	23	0	64	867	9 321
volume prélevé par ha pour la MT(m ³)	11500	18400	25000	871	17583	22933	2187	25418	0	15060
volume prélevé par ha pour la SC(m ³)	0	0	37483	0	0	0	0	0	0	36868
volume d'eau prélevé par ha pour la SN(3)	0	0	18400	0	0	0	0	0	0	11040
surface du plus petit perimètre(ha)	15	20	1521	148	15	500	95	1000	10	
surface du plus grand périmètre(ha)	6500	1000	82000	845	40000	506	95	2800	35000	

MT : maîtrise totale

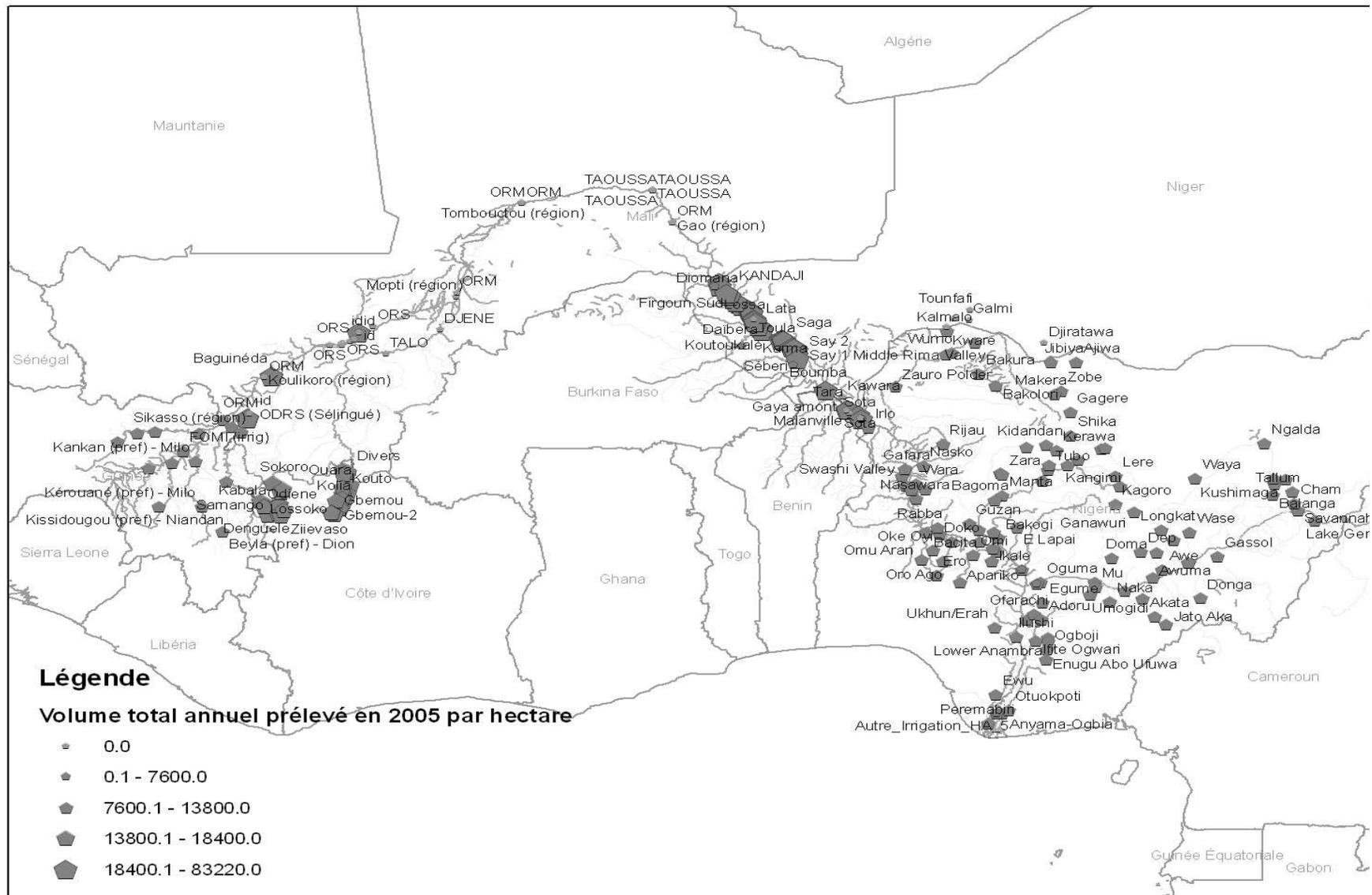
SC : submersion contrôlée

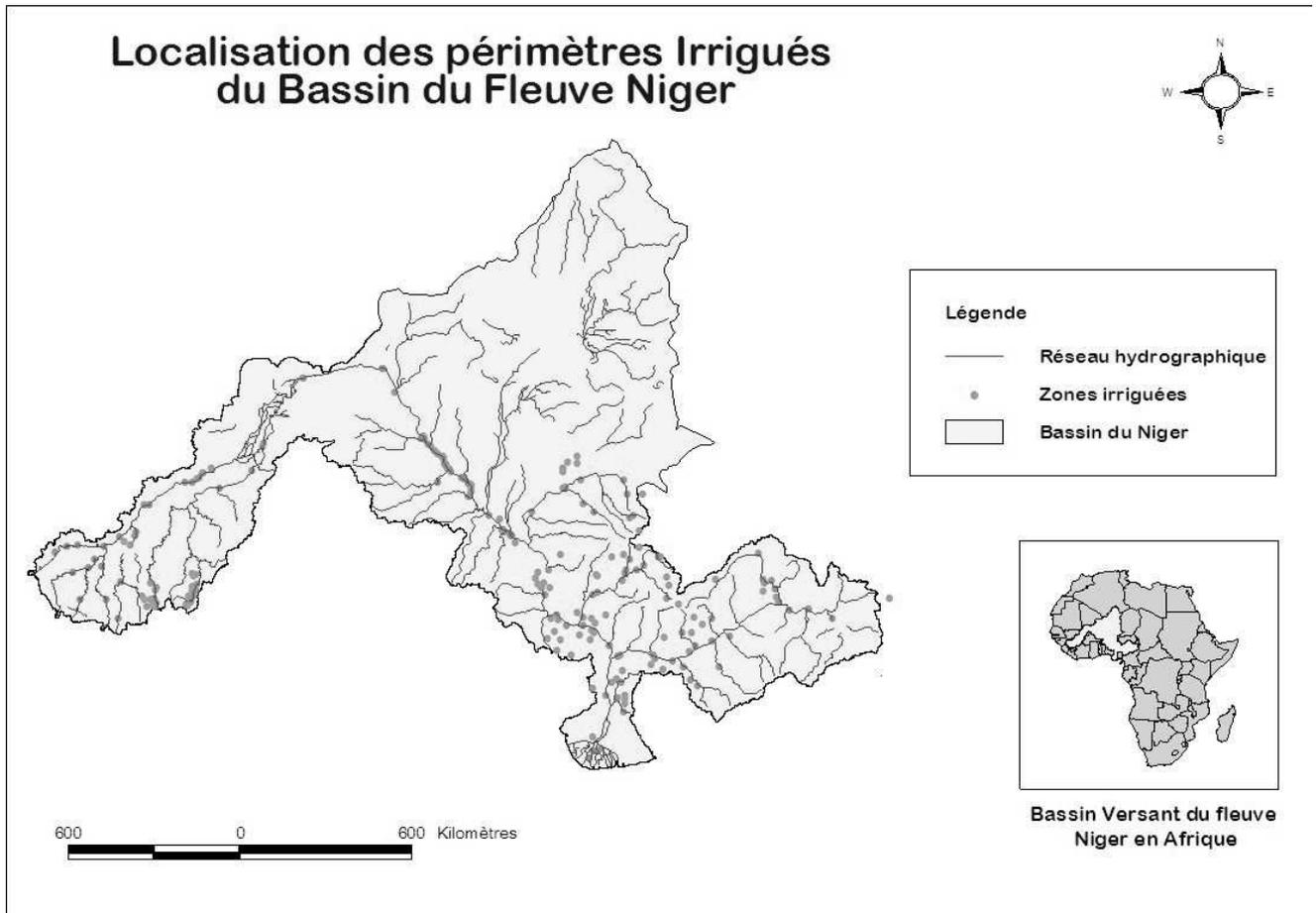
SN : submersion naturelle

Mm³=10⁶m³

Nbr : nombre

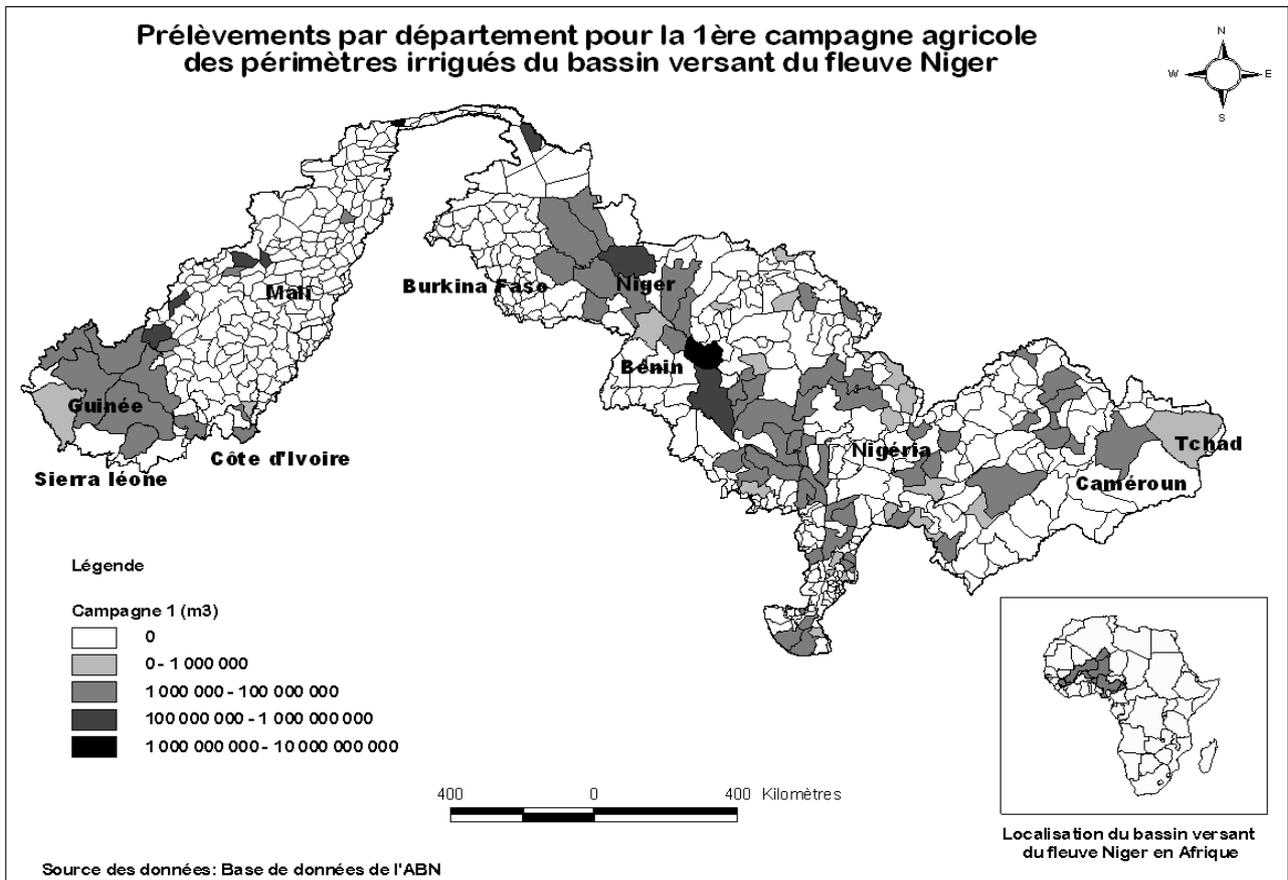
Carte 4: Prélèvements des périmètres irrigués des 9 pays du bassin du fleuve Niger



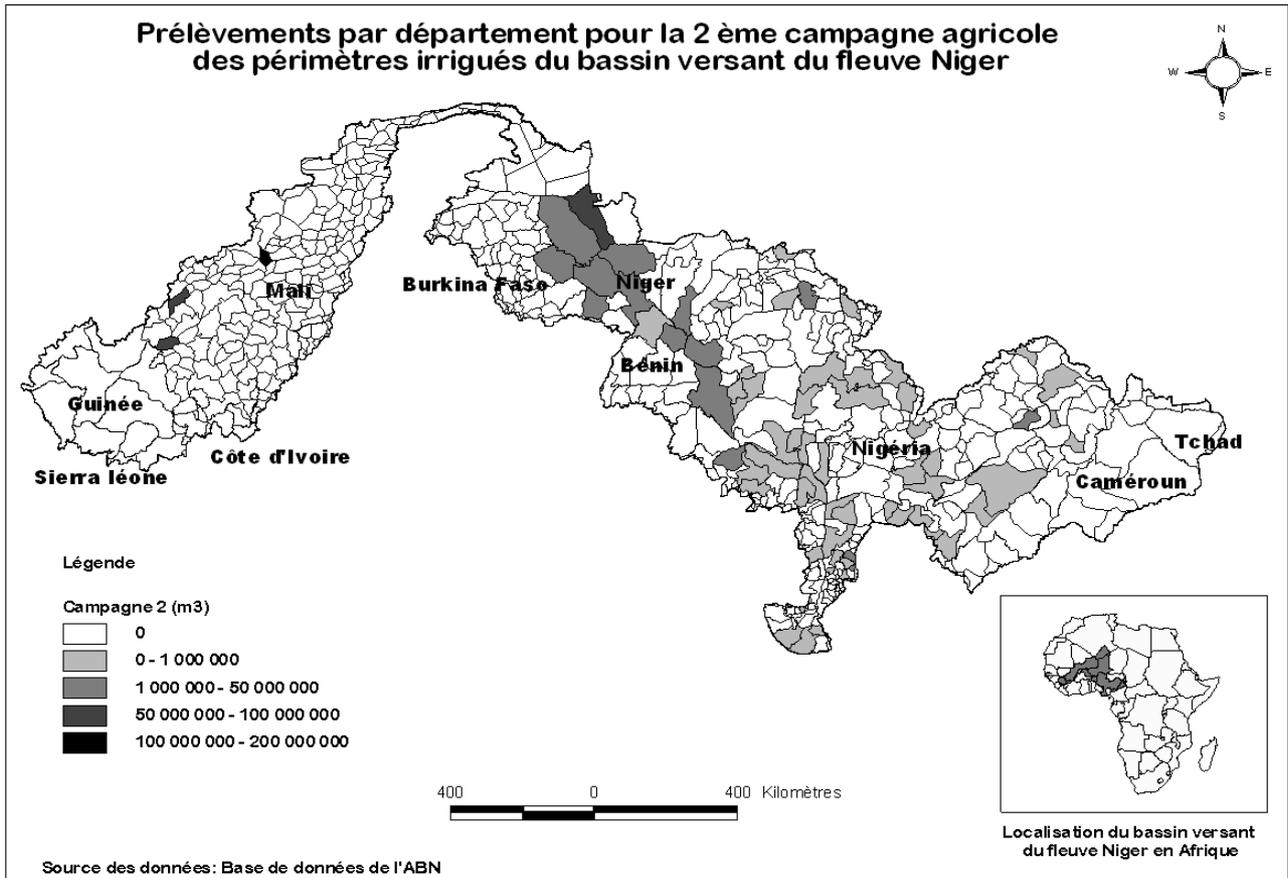


Carte 5: Localisation des périmètres irrigués du Bassin du fleuve Niger

2.3.3 Prélèvement totaux



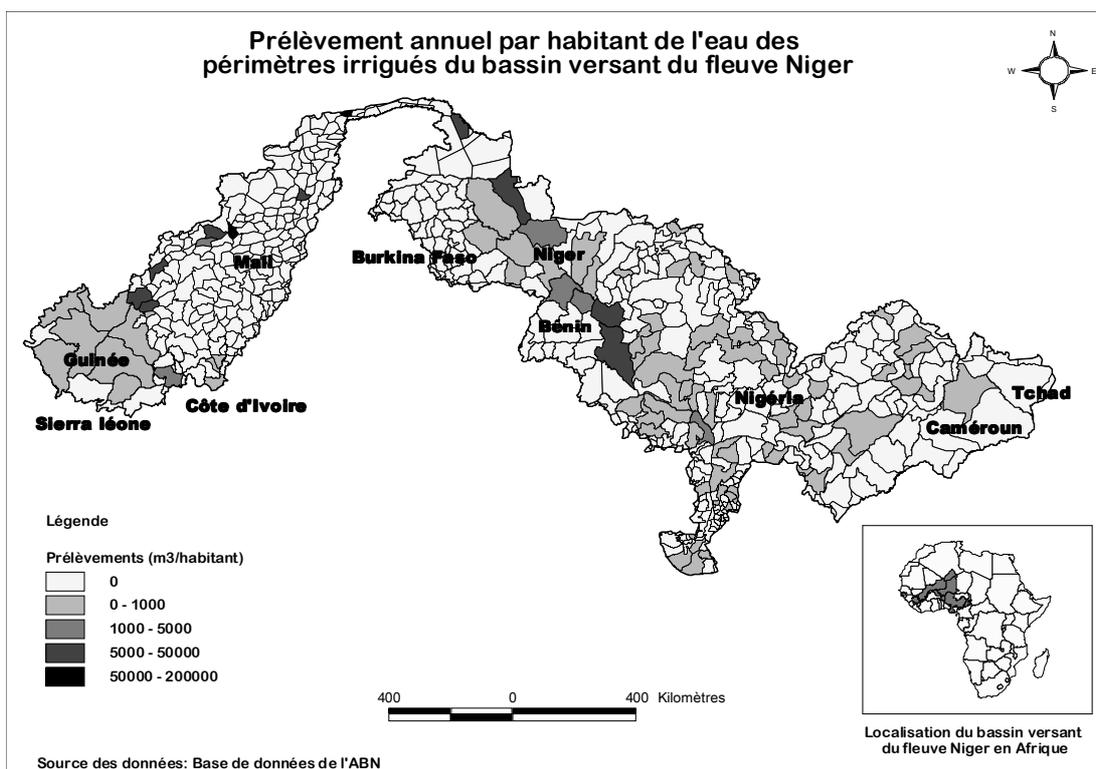
Carte 6: Total des prélèvements par départements des périmètres irrigués du bassin versant du fleuve Niger pour la 1ère campagne



Carte 7: Total des prélèvements par départements des périmètres irrigués du bassin versant du fleuve Niger pour la 2^{ème} campagne

Les pays sahéliens, peu arrosés et très ensoleillés, font généralement deux campagnes. La première campagne s'étend d'ordinaire de novembre à fin juin. La deuxième quant à elle commence en juillet et va jusqu'à fin octobre. Les pays situés en zone humide (Côte d'Ivoire, Guinée, Nigéria) ne font en général qu'une seule campagne pour toute l'année.

2.3.4 Prélèvements par habitant



Carte 8: Prélèvement annuel par habitant de l'eau des périmètres irrigués du bassin versant du fleuve Niger

2.3.5 Conclusions sur les prélèvements

Les prélèvements sont importants au Mali, surtout à l'Office du Niger. Ils sont particulièrement importants dans les périmètres à maîtrise partiel qui captent l'eau, produisent assez peu, et ne restituent pas beaucoup d'eau à la source. Les prélèvements sont très élevés à l'Office du Niger. Une partie est restituée au fleuve par le canal du Macina, mais les retours des périmètres du nord sont encore inconnus. Les prélèvements sont faibles au Nigeria car le climat n'exige pas beaucoup d'eau. Le système fadamas puise surtout dans la nappe des quantités inconnues mais probablement faible.

Les inquiétudes environnementales, telles que le maintien des zones humides, vont probablement finir par freiner le développement des rizières. Le maintien des zones humides est devenu une priorité planétaire et le maintien des débits de réserve sont importants pour maintenir les espèces rares telles que les lamantins du delta intérieur et les hippopotames. La contamination par les pesticides est encore faible mais l'eutrophisation des cours d'eau par les intrants est en hausse.

2.4 Productivité de l'eau d'irrigation

Un des indicateurs les plus utilisés pour évaluer les performances des périmètres irrigués est la productivité de l'eau (PE) qui est le ratio de la production sur l'utilisation de l'eau. Nous avons utilisé trois sources, une l'analyse diagnostic réalisées par l'IMMI, celle du projet APPIA et les analyses réalisées à l'Office du Niger.

2.4.1 Analyse diagnostic au Niger

L'IMMI (ex IWMI) a analysé quatre périmètres irrigués situés dans la vallée du fleuve Niger, au Niger, à savoir les périmètres de Saga, Kourani Baria I et II, et Tillakaina qui couvrent respectivement 407; 425, 267 et 86 hectares. Les périmètres pompent l'eau dans le fleuve à partir de pompes électriques et produisent du riz en hivernage et du maraichage en contre saison.

Tableau 7: Performances moyennes sur un périmètre

Nombre de parcelles échantillonnées	Dose moyenne d'eau livrée à la parcelle mm	Rendement riz moyen kg/ha	Productivité de l'eau kg/m ³
5	658	7 400	1,12
8	421	4 920	1,16
12	449	4 786	1,06
8	620	5 642	0,91
4	449	6 474	0,99
9	540	5 541	1,02
3	491	6 018	1,22

Rendements élevés et faibles doses à la parcelle, se traduisent par une productivité de l'eau élevée, dépassant 1 kilo de riz par m³.

Tableau 8 : Performances sur le périmètre de Kourani-Baria I

Nombre de parcelles échantillonnées	Dose moyenne d'eau livrée à la parcelle mm	Rendement moyen du riz kg/ha	Productivité de l'eau kg/m ³
6	423	2 795	0,66
5	355	1 947	0,54
9	401	3 313	0,82
4	418	2 239	0,53
3	427	2 959	0,69
9	424	3 066	0,49
9	565	3 397	0,60
5	619	3 458	0,55
8	563	3 073	0,54
Systeme total 58	503	2 805	0,59

Kourani-Baria est un exemple de périmètre moins efficace. Les rendements du riz sont faibles, autour de 3 tonnes en moyenne, mais les apports sont faibles, d'où une productivité de l'eau convenable. La PE est très variable d'une parcelle à l'autre. La PE au niveau de la station de pompage sera d'environ 40 à 60% inférieure à la PE de la parcelle à cause des pertes dans les canaux d'amenée.

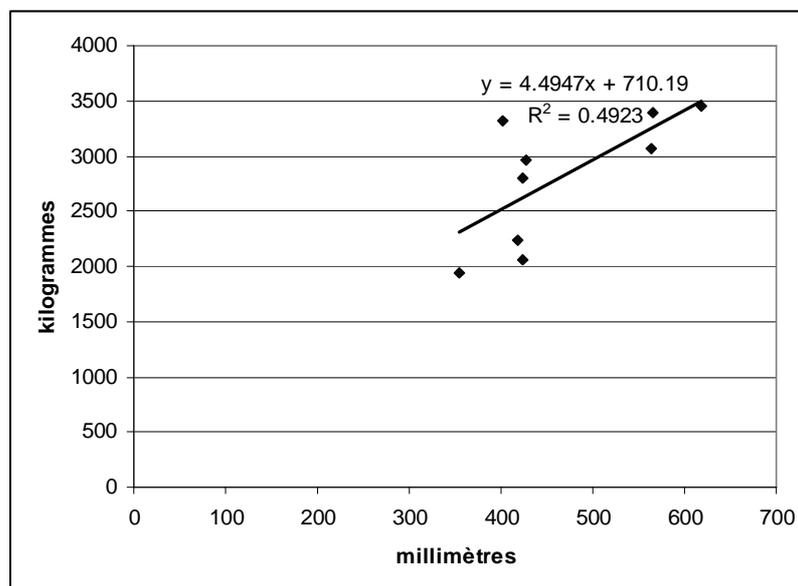


Figure 19: Relations entre apport d'eau à la parcelle et rendements du riz à Kourani Baira

La relation entre les apports d'eau et les rendements est visible (figure 19) même si le coefficient de corrélation n'est pas très élevé. La productivité économique des quatre périmètres était

modérée l'année de l'étude. Le prix du riz a nettement augmenté depuis. La PE du riz de saison sèche est plus faible.

Tableau 9: Performance économique des périmètres

Périmètres	saisons	Valeur de la production (prix en saison sèche 1995) FCFA/kg	Volume de l'eau pompe dans le système 000m3	PE de l'eau pompe FCFA/m3
Saga	SH	199	3.21	61
	SS	198	5.90	33
Kourani –Baria I	SS	116	7.63	15
	SH	102	4.33	23
	SS	99	6.47	15
Kourani –Baria II	SS	111		
	SH	66		
	SS	19	1.44	13
Tilakaina	SH93-SS94	81		

Nb : Les données de pompage de Kourani-Baria I et II n'étant pas complètes, les données manquantes ont été déduites des données des autres années et des superficies cultivées. Pour le calcul des volumes d'eau délivrés la saison humide a été considérée de mi-juin à la fin Novembre (IIMI 1997). La faible PE s'expliquent par la faiblesse des rendements, eux même dus aux pratiques culturales défectueuses, spécialement à Kourani Baria I mais aussi à cause de la faible efficacité du réseau.

2.4.2 Le projet APPIA

La base de données du projet APPIA (Amélioration des Performances des Périmètres Irrigués en Afrique) a été collectée entre 2002 et 2006 par l'ARID (Association Régionale pour l'Irrigation et Drainage) et par le 2iE (Ecole l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement) en Afrique de l'ouest (Acheampong 2008).

Au Mali, Appia a enquêté les périmètres irrigués dans le delta intérieur du fleuve Niger et à l'Office du Niger. Au Niger les exploitations concernées par notre étude sont situées le long du fleuve. Certains périmètres de la base de données APPIA ne mentionnent pas la durée et les débits du pompage. Nous avons éliminés 10 périmètres sur les 26 disponibles. Aucune distinction n'est faite entre les durées et les débits de pompage des saisons sèches et celles des saisons humides et il n'y a pas de distinction entre les rendements des cultures de saison sèche ou pluvieuse, or la différence peut

être significative. Nous avons calculé la productivité et le CARE uniquement pour la saison pluvieuse. Dans nos calculs nous ne tiendrons pas compte de la percolation (Dembélé et al. 2001).

Le tableau 10 résume les principales caractéristiques des 16 périmètres retenus pour notre étude. Nous nous sommes intéressés principalement aux volumes d'eau prélevés sur les fleuves et les barrages et à la production agricole physique ou monétaire obtenue avec ces volumes.

Tableau 10: Caractéristiques des périmètres

Nom des périmètres	Typologie APPIA	Pays fleuves	Pluviométrie moyenne annuelle	Date de réalisation	Superficie équipée(en ha)	Superficie moyenne par exploitant (ha)	Culture principale	intensité culturale %
Lata	T1	Niger	756	1991	227,0	1,00	Riz	200
Kamaka	T2	Mali	451	1994	16,0	0,41	Riz	
Sinah	T2	Mali	449	1997	49,0	1,00	Riz	100
Saba 1	T3	Mali	410	2001	35,0	2,50	Riz	100
B1	T1	Mali	383	1951	576,7	20,00	Riz	151
Djidian	T1	Mali	553	1950	298,0	12,00	Riz	100
Boundoum	T1	Sénégal	250	1991	262,0	1,70	Riz	
Nakambe/ bagre	T1	Burkina Faso	910	1974	680,0	1,00	Riz	200
Vallée du Kou	T1	Burkina Faso	943	1970	1260,0	1,00	Riz	200
Sakoira	T3	Niger	379	1992	3,6	0,20	Oignon	180
Tera	T2	Niger	382	1981	46,0	1,00	oignon, tomate	125
Gamkale	T4	Niger	526	1980	200,0	0,16	choux, poivron, laitue	200
Mbida	T2	Niger	334	1997	17,0	0,07	Niébé	200
Keur Mbir Ndao	T4	Sénégal	326	1966	20,0	0,08	Oignon	
Mbawane	T4	Sénégal	366	1974	40,0	1,20	Oignon	
Titao	T3	Burkina Faso	588	1999	4,5	0,06	pomme de terre, oignon	200

2.4.2.1 Résultats pour la riziculture

Productivité physique de l'eau

Tableau 11: Productivité de l'eau pour la riziculture

Périmètres	Niger	Mali					Sénégal	Burkina Faso	
	Lata	Kamaka	Sinah	Saba 1	B1	Djidian	Boundoum	Nakambe/ bagre	Vallée du Kou
Volume d'eau pompé par hectare (m3)	4 665	40 000	17 982	9079	40000	25250	4068	11128	12800
Précipitation efficace annuelle (mm)	326	335	335	335	414	414	272	427	405
Dose à la parcelle (mm)	560	2 336	1 234	789	2214	927	598	1262	1264
Besoin net des cultures (mm)	370	1 171	1 122	805	779	647	657	463	458
Evapotranspiration (mm)	692	1501	1452	1135	1188	1056	924	885	858
RWS'	1,15	3,23	1,67	2,11	3,71	3,14	0,75	2,68	3,55
Rendement kg/ha	5 850	4 300	4 500	5 500	3 000	4 950	5 500	4 500	3 500
Revenu FCFA/ha	439 000	428 833	400 000	390820	413 950	575 900	495 000	400 000	175 300
Ppe/vp (kg/m3)	0,64	0,18	0,35	0,67	0,14	0,20	1,35	0,4	0,27
Pee/vp (FCFA / m3)	94,08	10,72	22,24	43,05	11,5	22,81	121,66	35,94	13,7
Ppe/va (kg /m3)	1,04	0,18	0,36	0,70	0,14	0,53	0,92	0,36	0,28

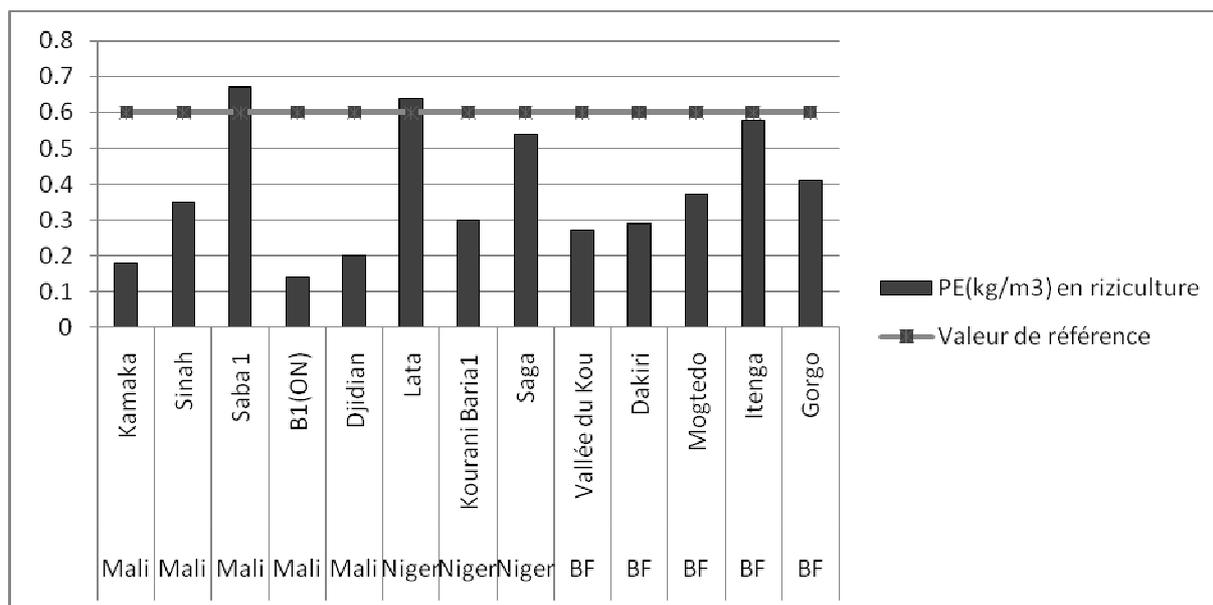


Figure 20: Productivité de l'eau en riziculture (périmètres du Mali, du Burkina Faso et du Sénégal)

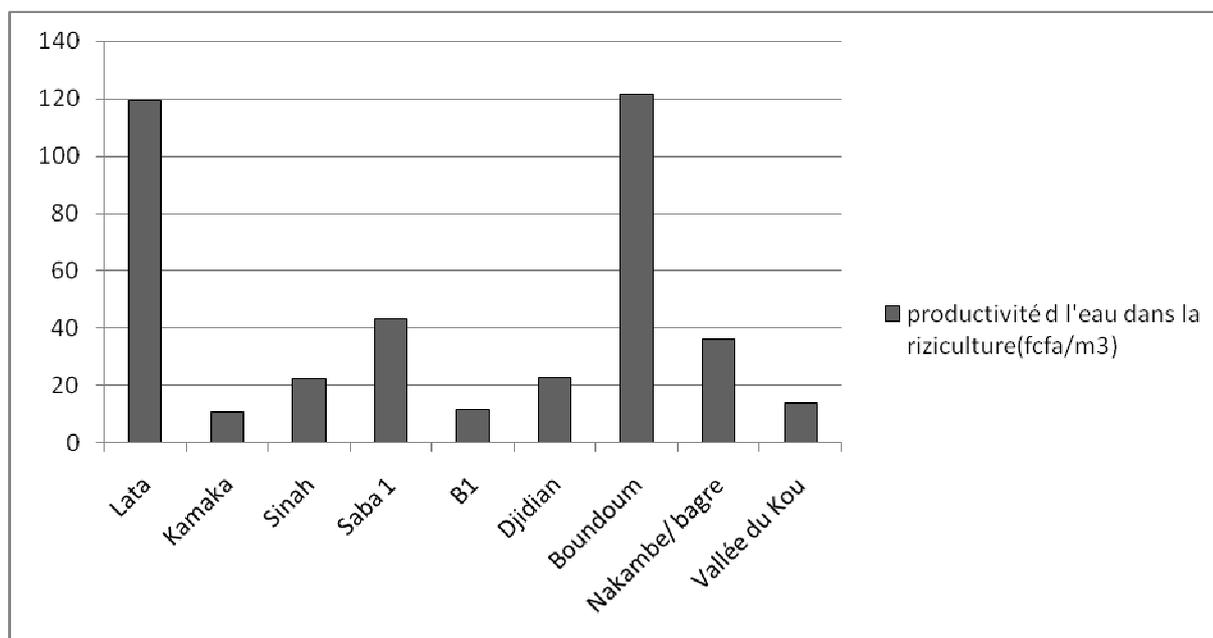


Figure 21: Productivité économique de l'eau en riziculture (périmètres du Mali, Burkina Faso et Sénégal)

Les valeurs de la PE économique sont proportionnelles aux valeurs de la PE physique

puisque c'est le prix du qui fait la différence (figure 22). Or les prix de vente du riz varient peu d'une zone à l'autre. La PE économique est inférieure la valeur de référence proposée par l'IIMI (80 CFA) dans presque tous les périmètres sauf à Lata au Niger et à Boundoum au Sénégal. Au Sénégal le prix du riz était plus élevé que dans les autres périmètres. La PE des cultures maraichères est en moyenne nettement plus élevée que celle du riz car les prélèvements sont moindres et la valeur de la production beaucoup plus élevés.

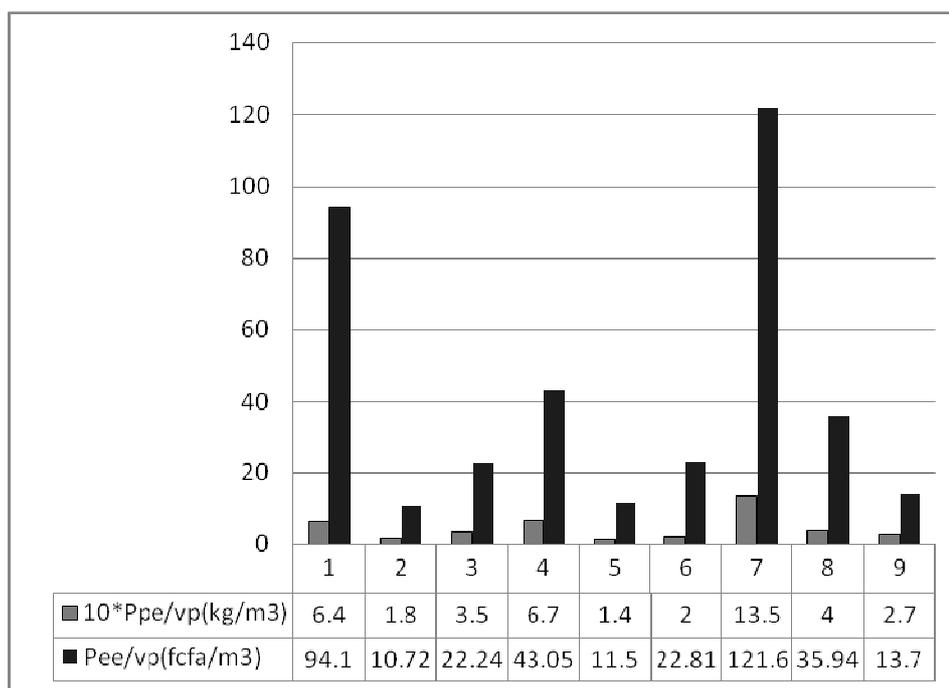


Figure 22: Graphe traduisant la proportionnalité entre PE (kg/m3) et PE (FCFA/m3)

Tableau 12: La productivité de l'eau pour les cultures maraichères

<i>Périmètre</i>	<i>Niger</i>					<i>Sénégal</i>			<i>Burkina Faso</i>	
	<i>Sakoira</i>	<i>Tera</i>		<i>Gamkale</i>		<i>Mbida</i>	<i>Keur Ndao</i>	<i>Mbir Mbawane</i>	<i>Titao</i>	
Culture	<i>oignon</i>	<i>tomate</i>	<i>Oignon</i>	<i>Choux</i>	<i>poivron</i>	<i>Oignon</i>	<i>oignon</i>	<i>oignon</i>	<i>Pomme de terre</i>	<i>Oignon</i>
Volume d'eau pompé pour un ha (m3)	9750	14400	14400	8375	8375	3000	2304	2920	4838	4838
Précipitation efficace (mm)	326	326	326	345	345	326	293	443	405	405
Apports à la parcelle (mm)	716	1046	1046	764	764	446	408	589	672	672
Besoin net des cultures (mm)	643	273	429	218	218	643	336	164	274	476
Evapotranspiration (mm)	969	599	755	563	563	969	629	607	679	881
RWS'	0,74	1,75	1,39	1,36	1,36	0,65	0,83	0,97	0,99	0,96
Rendement kg/ha	20000	16000	9000	35000	25000	14300	11400	8400	31990	15125
Rendement FCFA/ha	2496000	871500	1511111	454545	433000	723000	305181	590945	963321	2414000
Ppe/vp	2,05	1,11	0,63	4,18	2,99	4,77	4,95	2,88	6,61	3,13
Pee/vp	256	61	105	54	52	241	132	202	199	499
Ppe/va	27,93	15,29	8,6	45,81	32,72	32,05	27,94	14,25	47,58	22,5

2.4.2.2 la PE du maraichage

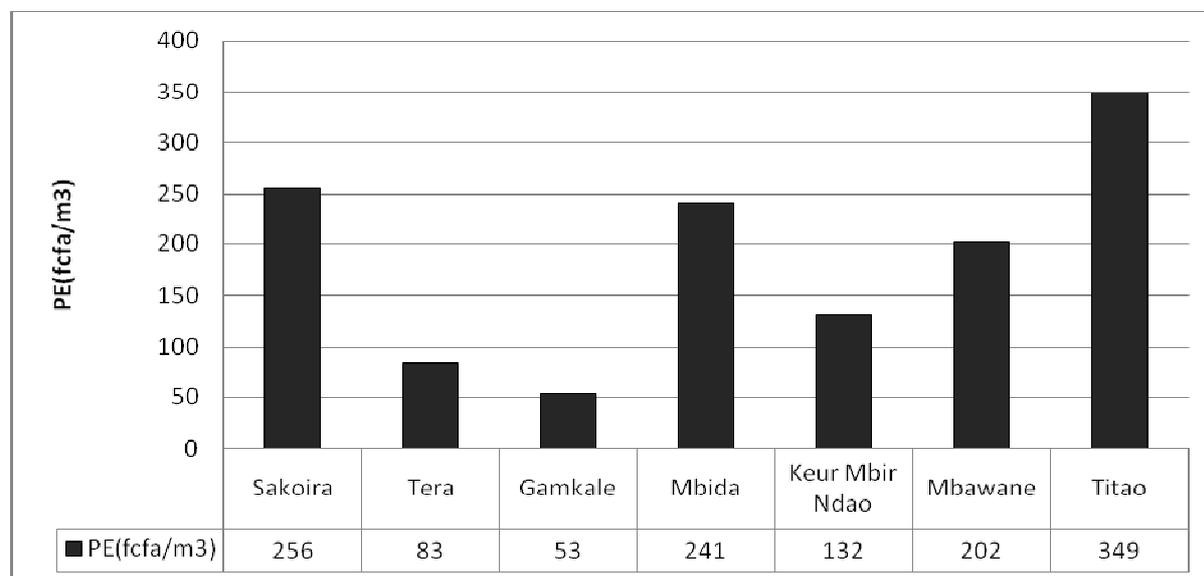


Figure 23: Productivité de l'eau (kg/m³) dans le maraichage

2.4.2.3 Les déficits en eau

Keïta et al. (1997) proposent le $CARE = (I_r + P_{ef}) / ET$. Dans ce cas I_r correspond au prélèvement depuis la source d'eau et non le volume d'eau apportée à la parcelle. Ce qui fait que les valeurs de référence proposées par Keïta et al dans le document PMI-BF diffèrent de celles proposées par Dembélé et al. (2001) où I_r désigne le volume d'eau apportée à la parcelle. La CARE est la valeur de l'approvisionnement relatif en eau proposé par Keïta et al. afin de faire la distinction entre les deux expressions. L'objectif étant de rendre compte de la gestion de l'eau de pluie et de l'irrigation. Bird et Gillot (1992) préconisent l'utilisation de la pluie efficace plutôt que la pluie totale.

Pour calculer la pluie efficace, nous nous sommes servis des logiciels Cropwat et Climwat. En effet Cropwat permet d'obtenir les pluies moyennes mensuelles et les pluies efficaces moyennes mensuelles pour plusieurs zones. Dans Climwat nous avons sélectionné les stations que nous devons utiliser pour calculer la pluie efficace pour chaque périmètre. La durée de la campagne du riz pluvial est en moyenne de 120 jours d'après les précisions du projet APPIA et s'insère généralement entre la première décennie du mois de juillet et la

première décade du moi de novembre. Nous avons donc fait l'hypothèse que la campagne de riz pluvial débute en juillet et se termine en Novembre compte tenue du fait que nous ne disposons que des pluies efficaces mensuelles. On a alors évalué la pluie efficace durant cette période pour le calcul de CARE sur les périmètres rizicoles.

Pour les cultures maraichères les durées de campagnes sont variables, entre 90 et 150 jours selon le type de cultures.

Nous avons tenu compte des durées précisées dans la base de données APPIA pour le calcul de la pluie efficace, de l'irrigation, de l'évapotranspiration, donc de CARE.

Pour le calcul de la quantité totale d'eau évapotranspirée durant toute la campagne d'irrigation (ETM_{total}), dans les conditions climatiques de chaque zone, lorsque l'eau n'est pas un facteur limitant et que les conditions agronomiques sont optimales (sol fertile, bon état sanitaire, etc..) nous avons utilisé la formule suivante :

$$ETM_{total} = ETM * D * 10 = (Kc * ETo) * D * 10$$

- **Kc** : Coefficient cultural
- **ETM** en $\frac{mm}{jours}$
- **D** : la durée de la campagne en jours
- **ETo** : Évapotranspiration potentielle en $\frac{mm}{jours}$
- **ETMtotal** en $\frac{m^3}{ha}$

Nous avons calculé les valeurs de l'ETM à partir de ETo journalière pour chaque périmètre de la base de donnée APPIA. Pour les valeurs de Kc nous avons utilisé le logiciel Cropwat pour déterminer celui de la tomate. Pour les autres principales cultures sur les exploitations (le riz, l'oignon, la pomme de terre, choux) nous avons utilisé les indications du bulletin N° 33 de la FAO cités dans les cours de bases d'irrigation du 2iE (ex Groupe EIER/ETSHER).

Nous avons considéré comme apport total d'eau à la parcelle la somme de la pluie et de la proportion d'eau pompée qui arrive à la parcelle.

$$Va = Ir + P = Vp * Eff + P$$

V_a : apport total d'eau à la parcelle

Le CARE pour la riziculture (figure 24) est excessive sur trois périmètres maliens (périmètres de Kamaka (3.23), le partiteur B1 de l'ON (3.71) et l'exploitation de Djidian (3.55)). Ces valeurs sont proches de la valeur de référence (Keïta et Sally, 1995) qui est de 2,3 pour la riziculture (saison sèche et humide) synonyme d'une mauvaise adéquation de la combinaison eau d'irrigation + pluie efficace avec les besoins des cultures en place. La valeur du CARE est excessive pour le périmètre de Bagré (2.68) l'une des plus grandes exploitations rizicoles du Burkina Faso où le diagnostic du projet APPIA a révélé également le non respect du tour d'eau.

Le diagnostic signale aussi le non respect du tour d'eau à Djidian, une insuffisance de formation des pompistes à Kamaka et un grave dysfonctionnement des ouvrages (absence d'ouvrages de régulation sur plusieurs prises) au niveau du partiteur B1 de l'Office du Niger. Ces handicaps ne permettent pas la modulation des de l'irrigation et à la pluie. C'est ce que confirment les valeurs du CARE sur les périmètres rizicoles du Mali.

Pour le cas du périmètre de la vallée du Kou la valeur du CARE trouvée n'est pas forcément synonyme d'une mauvaise gestion de l'eau d'irrigation et de la pluie. Les besoins des utilisateurs informels installés le long du canal principal, ne sont pas inclus dans le calcul, ce qui fait que les débits prélevés ne sont pas destinés uniquement aux superficies officiellement reconnues. La valeur de 3,5 pour le CARE peut donc être revue à la baisse de façon importante (Ir+Peff étant destinée à une surface beaucoup plus importante).

Les valeurs du CARE beaucoup inférieures à 2,3 constituent également un problème. Il faudrait augmenter les apports, la pluie efficace étant considérée à peu près constante. La valeur du CARE n'est que de 0,75 pour Boundoum, 1,15 pour Lata et 1,67 pour Sinah. Le diagnostic attribue l'insuffisance du débit à l'insuffisance du nombre de motopompes pour assurer correctement un tour d'eau permettant de répondre correctement aux besoins des plantes. Pour Saba1 la valeur du CARE est proche de 2,3. Une valeur de 2,11 correspond à 92% de la valeur de référence. Bien que le vieillissement des pompes soit noté pour Saba1, la combinaison eau d'irrigation+pluie efficace est en adéquation avec les besoins des cultures en place.

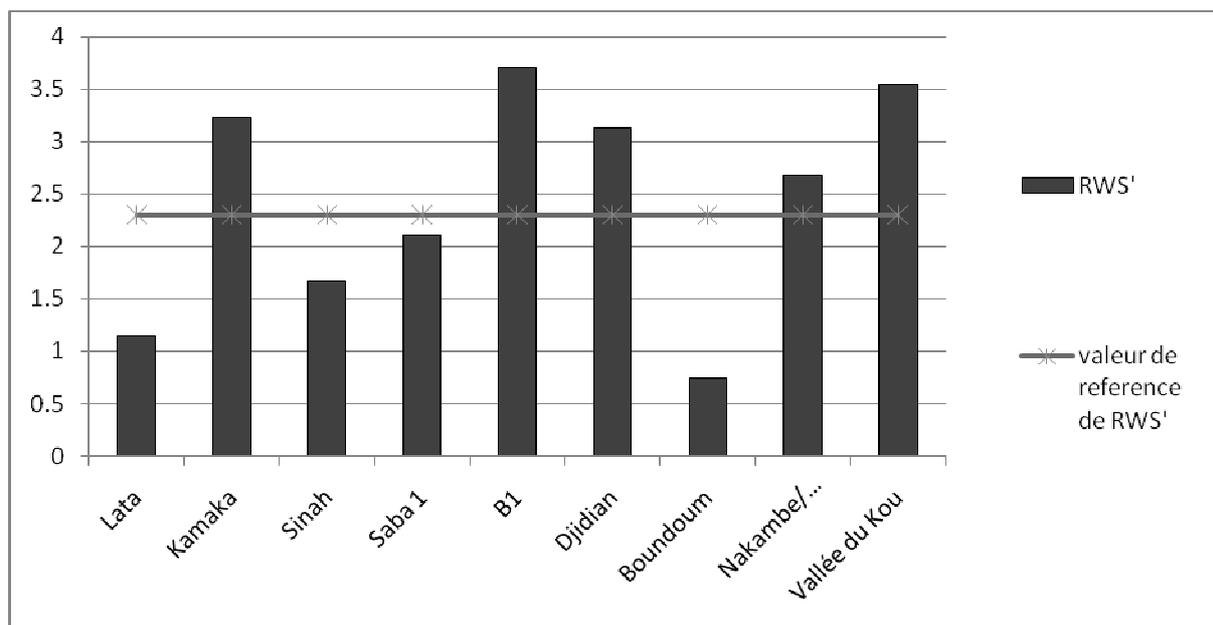


Figure 24: Le CARE (RWS') des périmètres et la valeur de référence

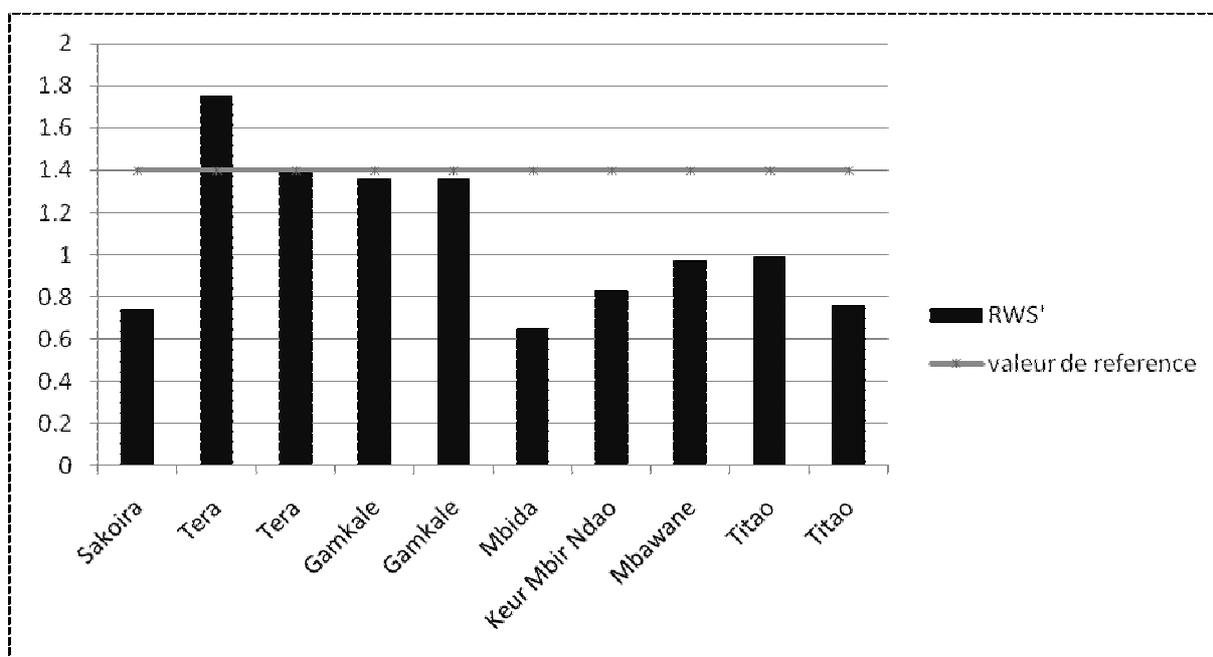
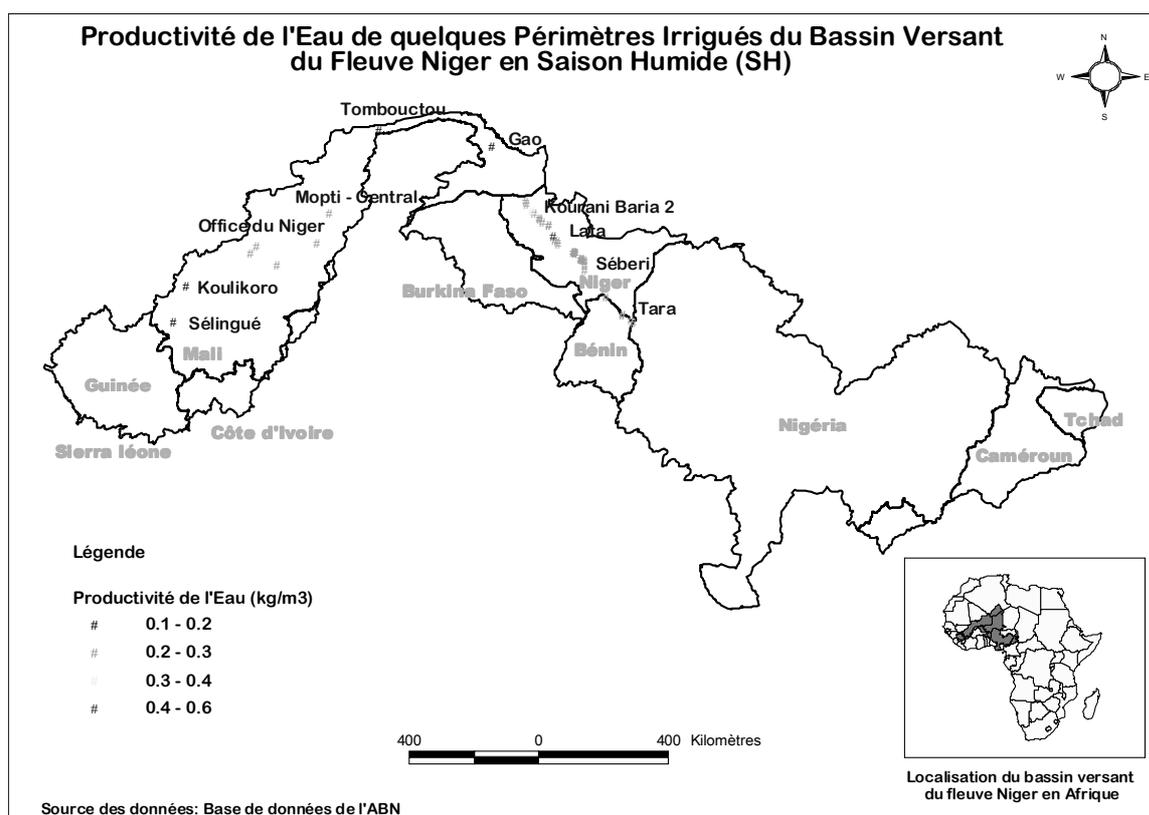


Figure 25: Approvisionnement Relatif en Eau et valeur de référence

Selon les chiffres de la base APPIA les besoins en eau ne semblent pas satisfaits sur

les périmètres maraichers. Le CARE reste en deçà de 1,4 ; la valeur de référence proposée par l'IIMI. Seuls quatre périmètres sur les 12 ont un résultat satisfaisant. Les exploitants ne disposent généralement que de vieilles motopompes de débits nominaux et d'HMT assez faibles.

2.4.2.4 La productivité de l'eau au Mali et au Niger



Carte 9 : productivité de l'eau au Mali et au Niger (Source ABN et projet APPIA)

Nous avons synthétisé la PE dans le bassin en faisant la moyenne des rendements obtenus par le projet APPIA divisée par les prélèvements proposés par l'ABN (qui sont un mélange d'avis d'experts). La productivité de l'eau en riziculture à maîtrise totale de l'eau dans le bassin du Niger est relativement faible. Généralement elle se situe entre 0.2 et 0.3 kilos par mètre cube. Quelques rares périmètres obtiennent des résultats supérieurs au Niger.

2.5 La productivité de l'eau à l'Office du Niger au Mali

L'ON est composé de six zones de productions. 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.

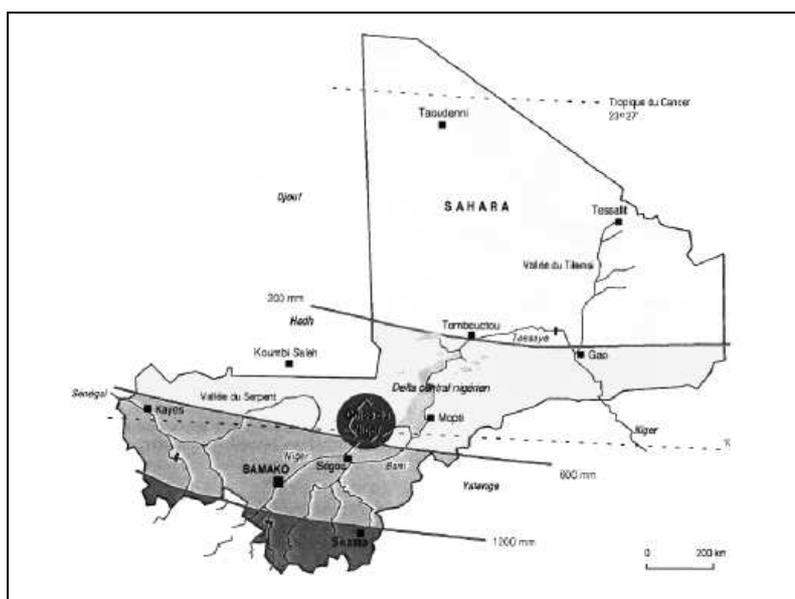


Figure 26: Situation de l'Office du Niger au Mali

(Source : Touré, 1997)

Le schéma d'aménagement des périmètres irrigués (figure 27) permet d'effectuer des mesures des volumes d'eau prélevés au niveau du canal adducteur et au niveau de la parcelle.

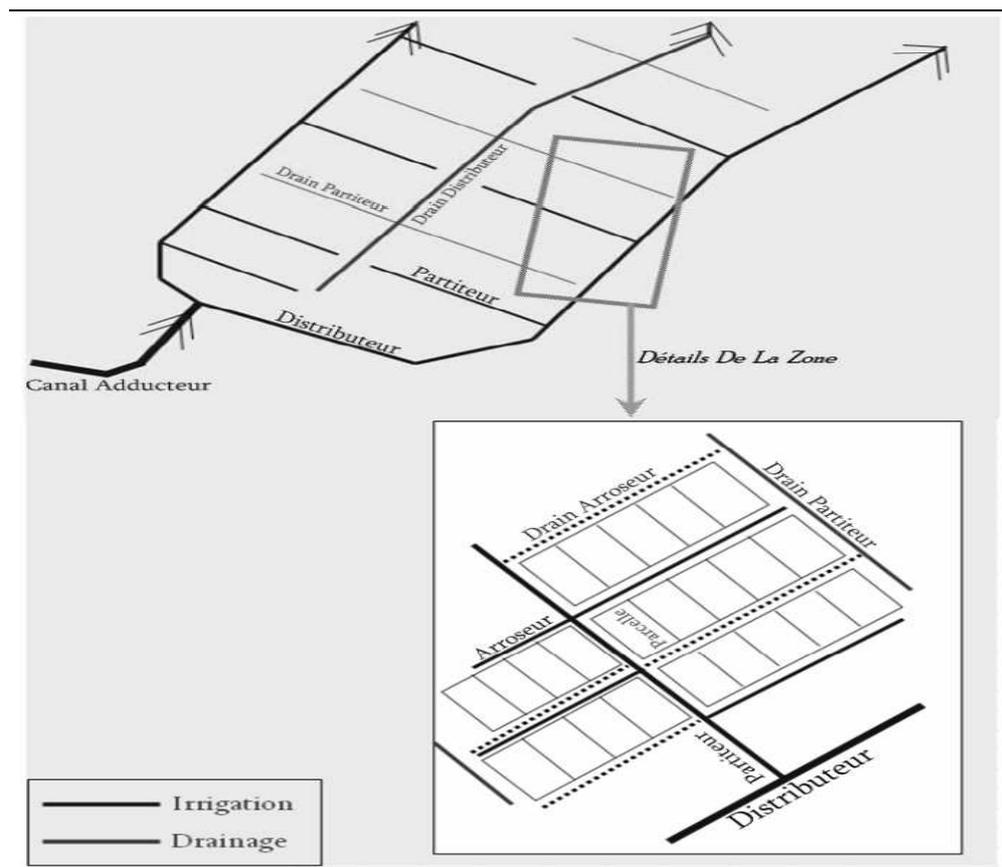


Figure 27: Structure de la maille hydraulique à l'échelle d'un casier rizicole (Source : Touré, 1997)

2.5.1 Les prélèvements

Les prélèvements annuels à Markala restent trois fois supérieurs aux besoins des cultures. L'efficacité actuelle de ce réseau gravitaire est de 30 à 40% ; un taux acceptable étant de 50 à 60%. Seulement 43% de l'eau qui entre dans le canal du Sahel au Point A parvient jusqu'aux arroseurs (réseau tertiaire). Les pertes les plus importantes sont enregistrées au cours du cheminement de l'eau dans le réseau de canaux primaires : elles sont évaluées entre 22 et 28 % du volume. « Ces pertes sont imputables à l'évaporation sur un réseau dense non protégé, aux nombreuses fuites par brèches et aux infiltrations. En dépit de la réfection du réseau hydraulique, les quantités d'eau prélevées sur le fleuve Niger restent très importantes et les gaspillages sont loin d'avoir été résorbés : en année décennale sèche, ces prélèvements représentent la quasi totalité du débit mensuel en février, mars et mai. Pourtant, la consommation d'eau à l'hectare a nettement chuté ces dernières années grâce aux travaux de réhabilitation réalisés : elle est de l'ordre de 13 500 m³/ha en moyenne en 2002 dans les casiers Retail. »

D'après Tangara (2008), la performance hydraulique au niveau des grands systèmes hydrauliques de la zone ON a fait l'objet de nombreuses études (Marlet et Diaye (2002), Tangara (2008) pour évaluer la consommation en eau sur la base des cotes et ouvertures des vannes du point A, et /ou du point B fournies. Les résultats montrent une efficacité moyenne de 26 % pour l'hivernage. En contre-saison, l'efficacité moyenne est de 23 %, avec une consommation par hectare, nettement supérieure par rapport à l'hivernage (moyenne de 87 787 m³/ha pour la contre-saison contre 25 317 m³/ha pour l'hivernage). Les besoins en eau par hectare sont plus forts pendant la contre-saison puisque la pluviosité est nulle. Selon Barral et Tangara (1998), la mise en eau du réseau pour irriguer des faibles superficies occasionne des pertes importantes pendant la contre-saison. Pour Marlet *et al.* (1997) et Ouvry *et* Marlet (1999), la surface cultivée en contre-saison a été estimée à 20 % de la surface totale à l'ON. Une simple augmentation de la surface cultivée entraîne une amélioration de l'efficacité. Vandersypen Klaartje conclut que « sous le mode de gestion de l'eau actuelle, le type d'aménagement a un impact faible sur la performance hydraulique. Le mode de gestion de l'eau est le principal coupable des pertes ».

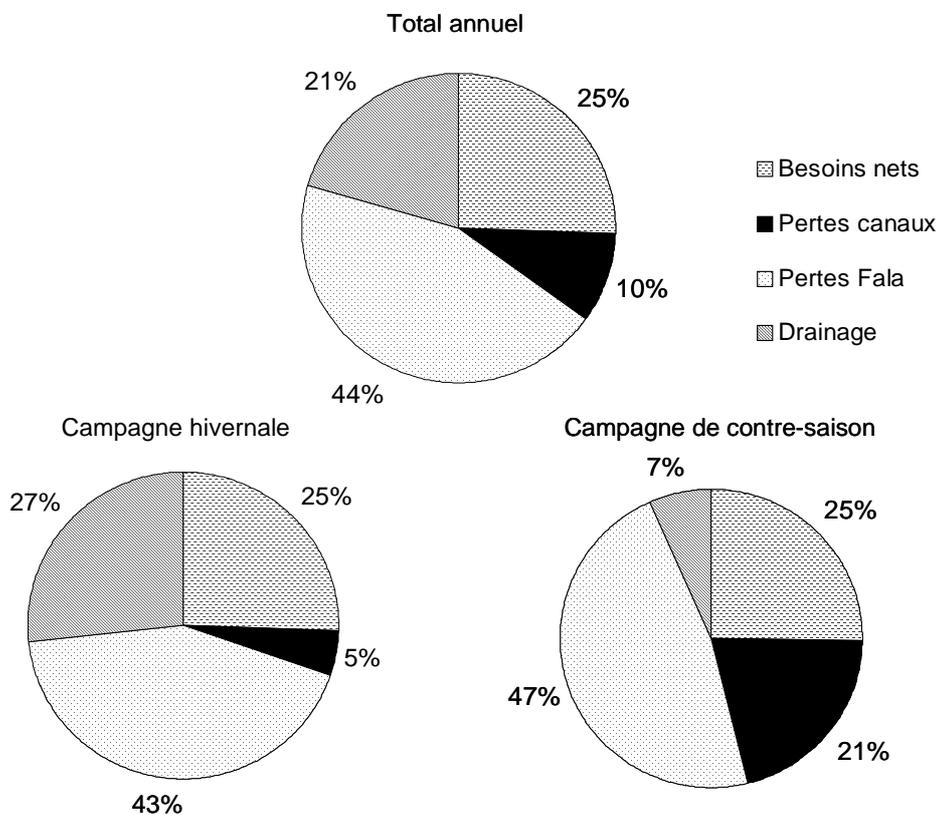


Figure 28 : Le diagramme ci-dessous montre la performance de la gestion de l'eau à l'échelle de l'office du Niger.

2.5.2 Méthodes de calcul

Le calcul des productivités physique et économique de l'eau en saison humide et en saison sèche dans les six zones de l'ON sont faits à partir des formules :

- Pour la productivité physique (W_p , en kg/m^3).

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

La pluviométrie moyenne est prise en compte dans le calcul de la productivité en saison humide.

$$W_p = \text{Rendement (kg)} / I_r + P \text{ où } P \text{ désigne la pluie. (Dong, 2004 cité par Kouanda, 2009)}$$

- Pour la productivité économique (W_e , en FCFA/ha) :

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

Les volumes d'eau utilisés sont mesurés en saison humide et en saison sèche au niveau du canal adducteur (respectivement 25 317 m^3/ha et 87 787 m^3/ha) (Tangara, 2008) et au niveau de la parcelle (respectivement 13 164 m^3/ha et 28 091 m^3/ha) obtenu par calcul en tenant compte des pertes sur le réseau.

2.5.3 Résultats

Le calcul des productivités économique et physique de l'eau dans les six zones de production de l'ON a conduit aux résultats consignés dans les tableaux 82, PE à la parcelle et 83 au niveau du fleuve. Les productivités obtenues sont très faibles.

Tableau 13: synthèse des résultats obtenus au niveau de la parcelle

Zones	Productivité économique (Fcfm ³)	Productivité physique (kg/m ³)
-------	--	--

	Saison humide (SH)	Saison sèche (SS)	Saison humide (SH)	Saison sèche (SS)
Macina	89,35	39,42	0,35	0,15
Niono	102,87	47,16	0,41	0,18
Molodo	95,75	44,71	0,38	0,17
N'debougou	103,45	42,25	0,41	0,16
Kouroumari	93,33	43,61	0,37	0,17
M'bewani	92,13	42,45	0,36	0,16

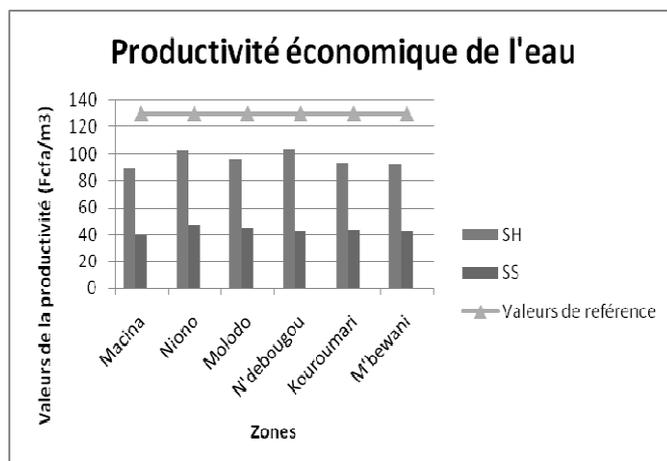
Tableau 14: synthèse des résultats obtenus au niveau du canal adducteur

Zones	Productivité économique (Fcfa/m ³)		Productivité physique (kg/m ³)	
	Saison humide (SH)	Saison sèche (SS)	Saison humide (SH)	Saison sèche (SS)
Macina	53,57	12,62	0,21	0,05
Niono	59,62	15,09	0,24	0,06
Molodo	54,80	14,31	0,22	0,06

N'debougou	59,88	13,52	0,24	0,05
Kouroumari	53,44	13,96	0,21	0,06
M'bewani	55,66	13,58	0,22	0,05

On prend les valeurs de référence de 0,6 Kg/m³ pour la productivité physique (IIMI, PMI-BF) et de 130 F CFA/m³ pour la productivité économique. Cette référence a été obtenue à partir de celle proposée par l'IIMI en 1997 qui était de 80 FCFA /m³ et en tenant compte de l'augmentation du prix du riz paddy. Le suivi de la productivité physique de l'eau de 1995 à 2007 montre qu'elle s'améliore de façon sensible, mais sa valeur reste toujours en deçà de la valeur de référence de 0,6 kg/m³ fixée par les études de l'IIMI, voir tableau récapitulatif (tableau 15).

2.5.3.1 PE à la parcelle



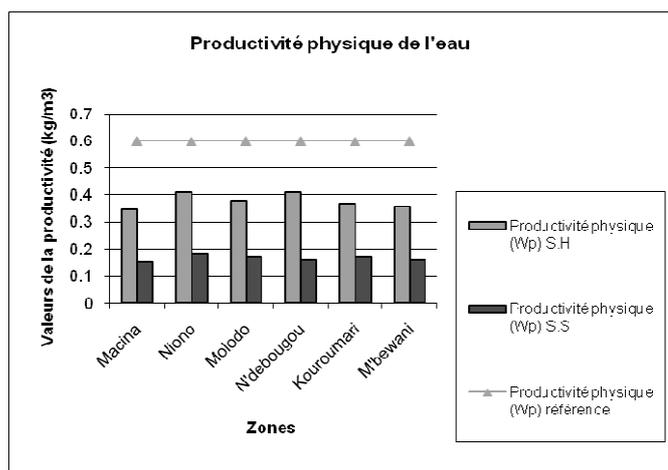


Figure 30: Productivité physique de l'eau

Figure 29: Productivité économique de l'eau

La figure 29 représente la productivité économique de l'eau mesurée dans la parcelle en saison humide et en saison sèche. Les valeurs de la productivité économique pendant les deux saisons sont en dessous de la nouvelle valeur de référence établie à 130 F CFA. La productivité en saison humide est supérieure à celle de la saison sèche (figure 30) dont la valeur de référence est de 0,6 kg/m³ (Sally et al.1996). Les valeurs faibles de la productivité de l'eau peuvent s'expliquer par l'importance des prélèvements.

2.5.3.2 La PE au canal adducteur

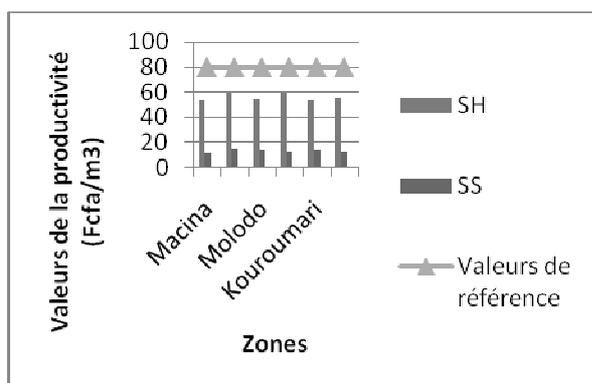


Figure 31: Productivité économique de l'eau

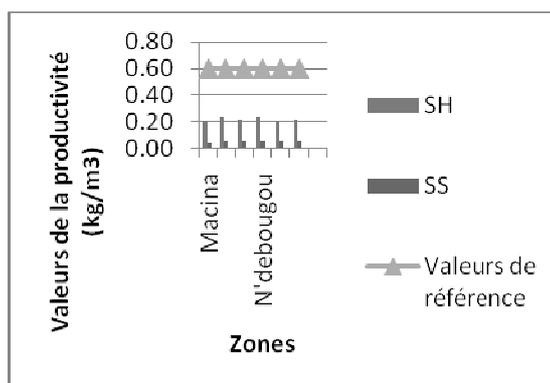


Figure 32: Productivité physique de l'eau

Les figures 31 et 32 représentent les productivités économique et physique calculées sur la base des prélèvements à la source en saison humide et en saison sèche. Les valeurs obtenues sont inférieures aux valeurs de références respectives et les productivités en saison humides sont supérieures à celles de saison sèche. La productivité calculée sur la base de l'eau qui arrive à la parcelle est beaucoup plus élevée que celle de l'eau qui est prélevée dans les canaux ou dans le fleuve. Ce qui est normal car il y a des pertes sur le réseau de transport. A l'ON les pertes sur le réseau dépassent 50% du volume d'eau prélevé à la source.

Cependant, les pertes d'eau sur le réseau ne sont pas forcément des pertes à l'échelle du bassin versant. En effet 44% de l'eau prélevée à la source alimente le Fala qui est en fait un défluent du fleuve. De même une partie de l'eau consommée par le Canal du Macina est déversée à nouveau dans le Niger (Tangara, 2008).

L'évolution de la productivité physique durant 7 années consécutives dans l'ensemble de la zone de l'ON montre que durant ces années, la valeur de la productivité que ce soit en saison humide ou en saison sèche s'améliore légèrement grâce aux gains de rendement.

2.6 Conclusions; Une PE très variable

Nous récapitulons dans les tableaux qui suivent des résultats de productivité.

Tableau 15: récapitulatif des productivités de l'eau d'irrigation

Pays	Année	Périmètres	Productivité sur le BFN (kg/m ³)			
			Calculer avec le volume qui arrive à la parcelle		calculer avec le volume prélevé à la source	
			Tout l'office du Niger			
			SH	SS	SH	SS
Mali	94/95	ON	0,36		0,19	
	95/96		0,38		0,2	
	96/97		0,39		0,204	
	97/98		0,41		0,216	
	98/99		0,46		0,24	
	99/2000		0,46		0,24	
	2000/01		0,46		0,244	
	2001/02		0,46		0,244	
	2002/03		0,46		0,244	
	2003/04		0,44	0,16	0,2292	0,05

	2004/05		0,45	0,16	0,2372	0,05
	2005/06		0,46	0,17	0,2428	0,06
	2006/2007		0,45	0,18	0,2344	0,06
Office du Niger par zone de production						
	2006/2007	Macina	0,36	0,15	0,21	0,05
	2006/2007	Niono	0,41	0,18	0,24	0,06
	2006/2007	Molodo	0,38	0,17	0,22	0,06
	2006/2007	N'debougou	0,41	0,16	0,24	0,05
	2006/2007	Kouroumari	0,38	0,17	0,21	0,06
	2006/2007	M'bewani	0,36	0,16	0,22	0,05
Périmètres APPIA						
Mali	2004	Kamaka	0,18		0,18	
	2004	Sinah	0,36		0,35	
	2004	Saba 1	0,7		0,67	
	2004	B1	0,14		0,14	
	2004	Djidian	0,53		0,2	
Niger	2004	Lata	0,64		1,04	
IIMI Niger						
Niger	1997	Kourani Baria I	0,59		0,3	
	1997	Kourani Baria II	1,22		0,53	
Moyenne						
Tous les pays	Toutes les années	Tous les périmètres	0,45	0,17	0,3	0,06

Les performances des zones de production de l'ON sont en deçà des valeurs de référence. Sont responsables le dimensionnement à l'origine des aménagements et l'état des canaux d'irrigation. Initialement prévu pour accueillir des centaines de milliers d'hectares, il n'y a actuellement qu'environ 65 000 hectares de parcelles aménagées pour l'irrigation. L'irrigation étant gravitaire, il est difficile de confiner les volumes d'eau prélevés aux seules surfaces aménagées. L'extension des superficies à plusieurs centaines de milliers d'hectares d'ici 2025, pourrait améliorer la PE.

Les données de la base APPIA suggèrent que la PE de la riziculture sur les périmètres du Mali et du Niger, est également faible. Les résultats varient entre 0,14 à 0,67 kg/m³ confirmant d'autres études (0,05 à 0,6 kg/m³) » (FAO, 2003). Les causes de ces résultats sont des prélèvements excessifs, des gaspillages d'eau et des rendements trop faibles.

Les cultures maraichères ont une PE beaucoup plus élevée que celle du riz, grâce à une

valeur de la production élevée et des gaspillages d'eau moindres, au point que certains périmètres maraîchers ne semblent ne pas apporter les doses d'irrigations nécessaires.

Dans l'ensemble, la productivité de l'eau du BFN est relativement faible car les rendements sont modérés et les prélèvements importants surtout à l'Office du Niger et dans la zone sahélienne. La PE devrait augmenter avec l'extension des surfaces à l'ON, la poursuite des gains de rendements du riz et l'expansion du maraichage. La régulation du fleuve par les 3 barrages programmés devraient par contre réduire cette productivité en favorisant la riziculture de contre saison, plus gourmande en eau.

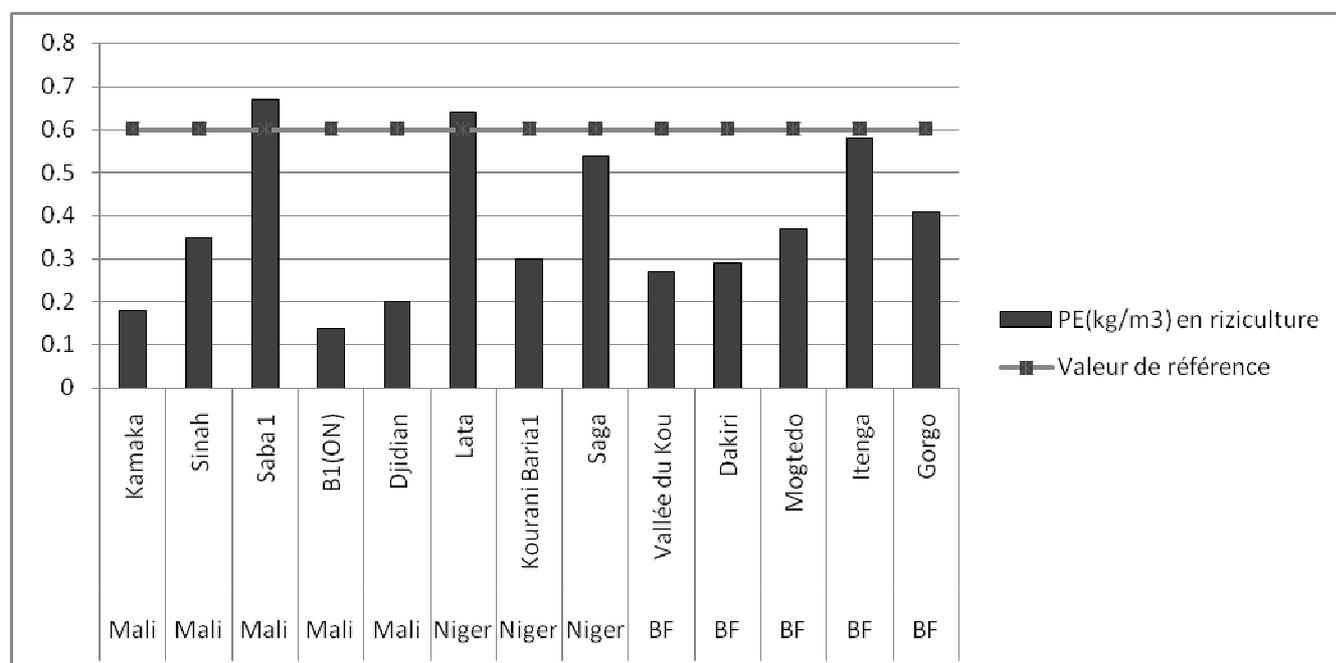


Figure 33: Représentation de PE (APPIA + périmètres étudiés par l'IIMI)

3 LES VOIES D'AMÉLIORATION

Améliorer la PE de l'irrigation ne passe pas forcément par une baisse des apports ou/et par une hausse de la valeur des productions. Dans l'absolu, on pourrait augmenter la productivité de l'eau en augmentant les apports, si ceux-ci étaient insuffisants. On peut même améliorer la productivité de l'eau en diminuant la valeur de la production, par exemple en optant pour des cultures moins exigeantes comme le maïs. On peut aussi promouvoir une

technique qui va réduire les rendements, mais qui va réduire davantage les apports. L'essentiel est que le gain économique par mètre cube augmente. De même améliorer l'efficacité de l'irrigation n'augmente pas forcément la productivité de l'eau. Par exemple le revêtement des canaux en terres augmente nettement l'efficacité mais peut réduire le gain économique net de l'opération.

3.1 Changer de culture?

Faut-il pour autant convertir les périmètres rizicoles en jardins maraîchers ? Le riz domine largement les surface irriguées, le maraichage est en fait encore très marginal.

3.1.1 L'option riz contestée mais incontournable

3.1.1.1 Une importance récente

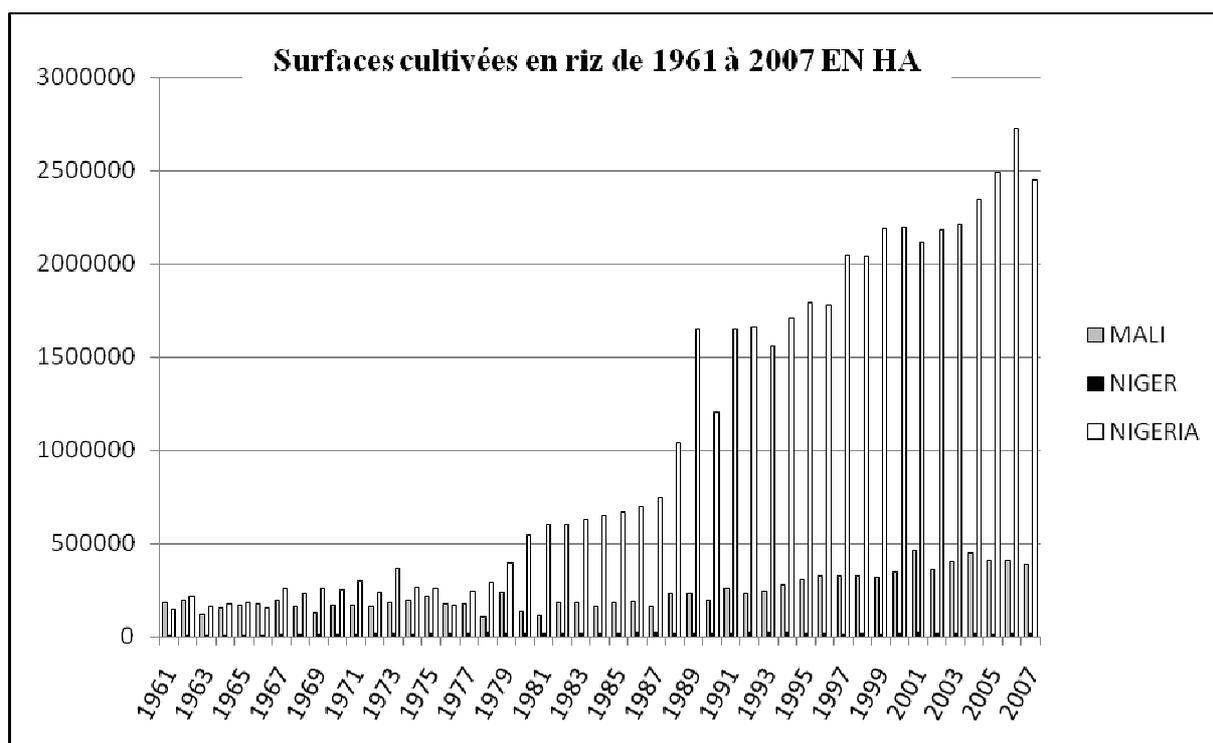


Figure 34: Surfaces cultivées en riz de 1961 à 2007 en ha

Le grand pays rizicole de la sous région est le Nigéria avec plus de 2 millions

d'hectares. Dans les années soixante il n'y avait pour ainsi dire pas de riz dans ce pays, 200 000 ha tout au plus. Après la sécheresse des années soixante dix et quatre vingt et la construction de périmètres irrigués, la riziculture entame une croissance qui ne s'est pas arrêtée depuis. A partir des années 1990, les surfaces allouées au riz font un bon spectaculaire. Les taxes à l'importation de riz, protège la riziculture. Le prix élevé du riz dans le pays (qui est le plus élevé de la sous-région), stimule l'augmentation des surfaces.

Au Mali les superficies allouées à la production du riz a peu varié de l'indépendance aux années quatre vingt dix. Elles augmentent après la dévaluation de 1994. Cela reflète une demande du marché interne plutôt stable, et une désaffectation pour la culture cotonnière. Les importations du riz restent faibles.

Au Niger, les surfaces pour la production du riz restent très modérées du fait de la faible disponibilité en eau du pays. Le riz pluvial pousse mal dans ce pays sahélien aux sols sableux. Le riz ne peut donc être produit que dans le fleuve et dans les périmètres irrigués.

3.1.1.2 Filière peu rentable ?

L'Afrique de l'Ouest ne produit que 1,3 pour cent du paddy mondial et la production ne compterait que pour 8,4 pour cent des importations (Hirsch, 2000). Dans les pays du Sahel, le taux d'autosuffisance en riz s'était dégradé dans les décennies de sécheresse, malgré les investissements soutenus dans les aménagements hydro-agricoles et la riziculture irriguée. Certains pays, comme le Sénégal ou l'Afrique du Nord, semblent avoir abandonné l'idée d'atteindre l'autosuffisance en céréales. Pour certains le bassin du Niger non plus n'a pas d'avenir dans la riziculture.

La riziculture est concurrencée par les importations de riz asiatique bon marché. Les faibles taxes à l'importation des pays de la CEDEAO et la surévaluation du Franc CFA par rapport au dollar défavorisent la production locale. Les économistes s'appuient sur la théorie des avantages comparatifs pour conseiller les importations de riz qui permettraient aux sahéliens de manger pour moins cher et d'utiliser leurs économies dans des activités plus compétitives. Les plans d'ajustement structurels ont favorisé la réduction des droits de douanes sur le riz, arguant que l'Afrique avait peu d'avantages comparatifs à produire du riz. La riziculture asiatique serait plus compétitive car basée sur une tradition millénaire et une main-d'œuvre rurale moins coûteuse (Etienne et al 1993).

Les coûts d'investissement peuvent dépasser les 10 millions de FCFA à l'hectare comme à Bagré au Burkina Faso, sans compter le coût des barrages et des ouvrages structurants comme les canaux ou émissaires. Des économistes appellent à une diversification des systèmes de cultures. Au Sénégal et en Mauritanie les systèmes rizicoles irrigués ne sont pas compétitifs face aux brisures de riz importées d'Asie (Wilcock *et al.*, 1997). Par contre pour les pays enclavés tels que le Mali, Burkina Faso, Niger, les coûts de transports jouant le rôle de protection face aux importations.

Les irrigants se plaignent des faibles prix des cultures irriguées. Les prix locaux du riz ne sont pas attractifs à cause de la concurrence des importations de riz asiatique et américain mais aussi à cause des importations du blé européen ou américain qui se substituent partiellement au riz. Les bas prix du riz asiatique s'expliquent en partie par une plus forte productivité (Etienne *et al.* 1993) mais aussi par les subventions qu'offrent des pays à leurs producteurs, comme la Thaïlande et le Vietnam. Les faibles taxes des pays de l'UEMOA et de la CEDEAO à l'importation sont insuffisantes pour protéger les producteurs.

3.1.1.3 Une reconversion difficile

La riziculture irriguée reste la culture privilégiée des périmètres et des bas fonds en hivernage. Peu de cultures intéressantes peuvent supporter inondations et engorgement sur les sols argileux et lourds des cuvettes alluviales du BFN. Sur ces sols la diversification est techniquement difficile. De même les périmètres à maîtrise total ou partiel sont dimensionnés pour la riziculture. Les débits sont prévus pour des cultures dont le besoin dépasse 10 000 m³ par hectare alors que les cultures maraîchères n'en demandent que la moitié. Il est par ailleurs difficile pour un individu de semer des cultures maraîchères alors que le voisin a inondé sa parcelle.

3.1.2 Le maraîchage, un marché instable

Les cultures maraîchères, en pleine expansion, sont-elles une alternative à la riziculture ? Elles nécessitent moins d'eau, un peu moins de travail que le riz et des infrastructures moins complexes que la riziculture qui nécessite des sols hydromorphes ou vertiques, des planages coûteux, une lame d'eau constante et des digues de protection contre les crues. Au contraire du riz, le maraîchage peut être réalisé à peu près partout où il y a de l'eau, autour d'une marre, d'un puits ou d'un cours d'eau. Il crée des emplois, génère des revenus supérieurs et améliore

la nutrition. Il fait aussi vivre un grand nombre d'intermédiaires notamment des femmes.

Le maraîchage de contre saison est en pleine expansion dans le bassin (Sourisseau 1999; ABN 2007). La croissance démographique et économique de l'Afrique de l'Ouest va soutenir la croissance de la demande nationale pour les oignons, les tomates, les choux, les aubergines, les salades et autres légumes irrigués. Elles ne nécessitent pas d'aménagement à l'Etat et créent des centaines de milliers d'emplois, surtout pendant la saison sèche.

Les tentatives d'intégration verticale des filières maraîchères et fruitières sont restées très timides. Une multitude d'intermédiaires sont impliqués dans la commercialisation des fruits et légumes et très peu collectent un volume conséquent. Le marché du maraîchage est étroit. Même si les pays du Sahel exportent de plus en plus de légumes vers les pays côtiers dont le climat trop humide pénalise le maraîchage, les crises de surproduction sont fréquentes. Les exportations de haricot vert du Burkina et du Niger vers l'Europe ont pratiquement disparu au profit du Kenya mieux organisé.

On observe aussi de plus en plus de maraîchage en hivernage autour des villes. Les cultures maraîchères irriguées les plus pratiquées sont l'oignon et la tomate. La culture du gombo, parfois considérée comme une culture maraîchère, est le plus souvent semée en pluvial. La pastèque dont la culture progresse vite est souvent semée en pluvial en fin d'hivernage, dans les sols sableux ou les koris du Niger.

Les cultures maraîchères nécessitent moins d'eau que le riz mais elles sont surtout pratiquées en saison sèche quand l'eau est plus rare. La productivité de l'eau, c'est-à-dire les revenus par mètre cube sont très nettement supérieurs à ceux du riz.

3.1.3 Le maïs : une alternative peu envisagée

La consommation urbaine de maïs augmente vite dans la sous région sous forme de tôle en remplacement du sorgho et du mil. A Ouagadougou, Le prix du maïs est moindre mais les coûts et les besoins en travail sont moindres. Les gains de rendements sont très élevés, pouvant atteindre plus de 5 tonnes. Le maïs consomme beaucoup moins d'eau et résiste bien aux attaques diverses.

Les planificateurs ont proposé d'autres cultures adaptées à l'irrigation. Le coton, le maïs, le haricot vert, actuellement le blé, ont fait l'objet d'essais. Il serait peut-être préférable de

dimensionner les périmètres de manière à offrir une certaine flexibilité aux producteurs et de laisser le marché décider quelle sera la meilleure allocation de l'eau.

3.1.4 Les fourrages : des balbutiement prometteurs

Tout le long du fleuve et plus particulièrement dans le DIN on trouve des surfaces importantes d'une herbe aquatique très productive dénommée le bourgou. Elle est même de plus en plus repiquée par les éleveurs dans les zones où les sécheresses ont réduit sa présence. Un hectare de bourgoutières peut produire 30 tonnes de matière sèche par hectare ce qui est supérieur à n'importe quel fourrage et plus rentable que n'importe quelle rizière. Ce fourrage permet de nourrir un troupeau de bovin et d'ovins de plusieurs millions de tête. Les exportations d'animaux sur pied sont aujourd'hui la deuxième exportation du Mali et du Niger.

3.1.5 La compétition des cultures pluviales

Certains reprochent à l'irrigation de consommer l'essentiel des budgets à l'agriculture alors qu'elle en couvre que 2 pourcent des surfaces. Pourquoi ne pas investir davantage dans les cultures pluviales, notamment dans les zones plus arrosées et moins peuplées où il existe des terres favorables. Le climat soudanien et guinéens sont relativement favorables à l'agriculture pluviale. La rémunération du travail d'une petite parcelle de riz irrigué est souvent inférieure à celle d'une parcelle de coton voire même de maïs en pluvial, cultures dont la production est moins contraignante que le riz irrigué. Les riziculteurs estiment vendre leur riz en dessous des prix de revient alors que la productivité des cultures pluviales dans les zones soudaniennes et guinéennes est actuellement en hausse grâce à l'adoption progressive de techniques améliorées et la mise en valeur des zones plus propices aux cultures pluviales (Mortimore 2003). La production nationale en cultures pluviales dépasse de nouveau même la croissance de la population favorisant les exportations de coton et même de céréales. Le Burkina Faso par exemple est aussi premier exportateur de coton d'Afrique et les perspectives restent bonnes malgré l'effet dépressif des subventions américaines et européennes et de la surévaluation du franc CFA sur le prix mondial du coton (World Bank 2004).

La production animale, une exportation majeure des pays sahéliens, est aussi une activité agricole en expansion. Les méthodes d'élevage bien qu'extensives sont adaptées à l'environnement (Breusers, 1998; Mc Carthy and Dutilly-Diané, 2002).

Dans l'ensemble, les performances de l'agriculture ont progressé au moins aussi vite en pluvial qu'en irrigué. Les paysans qui ont le choix entre le pluvial et l'irrigué sont souvent peu motivés par la riziculture. Ils repiquent le riz quand les cultures pluviales sont plantées, vers août au milieu de la saison des pluies. Les plants de riz sont alors âgés, réduisant les rendements.

L'irrigation, si coûteuse et souvent décevante, est elle réellement nécessaire ? Le climat de l'Afrique de l'Ouest est relativement bien arrosé. Les pays côtiers du golfe de Guinée, comme le Nigéria, bénéficient d'un climat humide de type bimodal dans la zone côtière, favorable aux cultures pérennes et à la double culture. Les zones situées sous climat soudano-guinéen à régime monomodal sont encore relativement peu exploitées et offrent un potentiel appréciable pour les cultures pluviales. Elles sont en voie de colonisation par les populations venant du Sahel et des zones soudaniennes (Cours 1994; Ninnin, 1994; Snrech, 1995). Ces zones sont très favorables au maïs. Les paysans encadrés produisent aisément plusieurs tonnes de grains par hectare. C'est là que se trouvent les greniers à céréales des pays sahéliens, mais aussi les cultures de coton dont l'Afrique de l'Ouest est le deuxième exportateur mondial. La plupart des pays sahéliens sont proches de l'autosuffisance et voient leurs rendements moyens croître rapidement (FAOSTAT, 2009).

Seules les parties soudaniennes et sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest se trouvent dans une situation défavorable aux cultures pluviales, surtout depuis la baisse des pluies des années 1970. Les régions sahéliennes sont souvent peu peuplées et celles éloignées des fleuves tendent à se dépeupler. Les abords des fleuves Niger et Sénégal permettent d'envisager un certain développement agropastoral et halieutique. C'est dans ces zones que se justifie l'irrigation, mais c'est aussi dans ces zones que l'évaporation de l'eau des barrages induit le plus de gaspillage.

Un argument peu évoqué concerne la durabilité relative des productions pluviales et irriguées. La culture pluviale actuelle basée sur le renouvellement des sols par le repos des parcelles, la mise en jachère, n'est pas durable (McIntire et Powell 1994; Barbier et Hazell 2000). La terre est devenue rare dans la plus grande partie du bassin du Niger, et se raréfie même dans les zones soudano-guinéenne du sud du Mali. L'agriculture pluviale devra compenser le manque d'espace par des meilleurs rendements. Or la qualité des terres cultivées en pluvial se dégrade à cause de la réduction des jachères et de la faible utilisation d'intrants

(Pieri, 1989; Van der Pool, 1990). Il faudra des investissements massifs en engrais et en matière organique pour maintenir ou augmenter une production durable (Harris 1998).

Les terres irriguées par connaissent aussi des problèmes de fertilité, mais semblent mieux à même de gérer ces difficultés les sols utilisés en irrigation, souvent des sols hydromorphes ou des vertisols, sont moins sujets à la minéralisation de la matière organique que les sols utilisés pour la culture pluviale (sols ferrugineux ou ferralitiques). Les producteurs des zones irrigués sont plus en mesure d'y apporter les fertilisants nécessaires qui sont mieux valorisés quand l'eau n'est plus un facteur limitant de la croissance des cultures. Le développement d'une agriculture irriguée et l'aménagement des bas-fonds paraissent nécessaires pour assurer une production durable et pour réduire l'impact de la crise agricole qui se profile en agriculture pluviale.

Conclusions : une diversification balbutiante

La riziculture est nettement dominante dans le BFN et le sera pour très longtemps. Les paysans favorisent la riziculture car le riz est moins périssable que la majorité des alternatives et la production s'écoule facilement alors que le risque de mévente des cultures maraîchères est élevé. La production rizicole croît vite et suit à peu près la consommation au Mali, au Niger, au Burkina Faso, mais plus difficile au Nigéria, malgré la faible protection de la filière dans les pays de l'UEMOA. La riziculture du bassin contribue honorablement à satisfaire la demande régionale, en partie grâce à la contribution de l'Office du Niger au Mali. L'Office du Niger représente plus du tiers des surfaces irriguées conventionnelles des pays sahéliens du bassin (donc sans le Nigéria) et ce déséquilibre va s'accroître si les plans d'investissements de l'ABN se réalisent.

L'expansion rapide du marché pour les produits maraîchers va favoriser le développement de l'irrigation pour les cultures de contre-saison mais les cultures maraîchères ne remplaceront pas le riz produit localement. L'irrigation de la culture du maïs paraît intéressante dans la mesure où il peut être vendu en frais ou en grain et que le marché du maïs est en pleine expansion. Le maïs peut toutefois être produit plus facilement en pluvial dans les zones soudano guinéenne et soudano guinéenne.

3.2 Réduire les consommations

Pour augmenter la productivité de l'eau on peut intervenir sur plusieurs facteurs selon les

échelles : Augmenter les rendements ou la valeur de la production, ou réduire les apports. De nombreux diagnostics ont été réalisés dans les pays sahéliens d'Afrique de l'Ouest incluant bien sûr le BFN, mais aussi des périmètres du bassin du Sénégal ou de la Volta (Sally 1997; Sally et al. 1997). Les diagnostics évaluent les dysfonctionnements de la gestion des périmètres eux-mêmes, de l'approvisionnement en intrants agricoles, de la maîtrise des itinéraires techniques et de la commercialisation de la production. Les groupements adoptent des pratiques parfois très différentes pour répondre à des problèmes semblables dans des contextes différents. De ces pratiques adaptées à certains contextes on peut dégager des principes agronomiques, hydrauliques, organisationnels et financiers qui contribuent à l'amélioration des performances et mériteraient d'être diffusés plus largement.

Dans ce chapitre nous énumérons les moyens d'améliorer la productivité de l'eau dans les périmètres irrigués à contrôle total. Nous n'abordons pas le cas de la submersion contrôlée, des bas fonds aménagés ou d'autres types d'irrigation. Nous énumérons les solutions proposées par la recherche en distinguant les solutions agronomiques, de gestion de l'eau et institutionnelles.

Toutefois une telle entreprise reste complexe. L'amélioration des performances nécessite d'abord de classer les types d'irrigation dont on parle qu'elle soit de maîtrise totale ou partielle, de décrue ou inondée. Ensuite il faut identifier les principales contraintes et les solutions réalistes. Des résultats spectaculaires ont été obtenus dans certaines zones comme à l'Office du Niger ou dans les Fadamas au Nigéria, mais les solutions sont le plus souvent un ensemble d'actions conjointes dont le résultat a été positif sans qu'on puisse déterminer quels facteurs ont été prépondérants.

3.2.1 La hiérarchie des contraintes à la productivité

Les principales contraintes à la productivité des 26 périmètres étudiés par le projet APPIA ont été hiérarchisées par les irrigants eux mêmes. Ceux-ci soulignent d'abord les « difficultés d'irrigation » sur presque tous les périmètres. Ceci inclue le mauvais état des canaux d'irrigation, le vieillissement des motopompes, la défectuosité des tuyauteries ou encore le mauvais planage des parcelles. Sur tous des périmètres rizicoles du Mali, « l'expression dégradation des canaux » est mentionnée.

Tableau 16 : recapitulatif des problemes sur les perimeters rizicoles

Pays	NIGER	Mali					Sénégal	Burkina Faso	
Province	Tillabery	Mopti			Ndébougou	Macina	Dagana	Boulgou	Houet
Nom du périmètre	Lata	Kamaka	Sinah	Saba 1	B1	Djidian	Boundoum	Nakambe/ bagre	Vallée du Kou
Type de système	T1	T 2	T 2	T3	T1	T 1	T 1	T 1 grand périmètre irrigué collectif	T 1 gravitaire
Année mise en valeur	1991	1994	1997	2001	1951	1950	1991	2002	1970
Hierarchisation des problèmes sur les périmètres rizicoles									

1	insuffisance de débit en saison sèche	<u>Système d'irrigation</u> : Mauvais état des canaux d'irrigations, Manque de mécanicien, Insuffisance de formation, des pompistes	<u>Système d'irrigation</u> : Vieillesse GMP, tuyauterie défectueuse, Stagnation d'eau, faible planage, Digue de ceinture étroite, drains non fonctionnels	<u>Système d'irrigation</u> : Vieillesse du GMP (dégradation du réseau d'irrigation)	<u>Système d'irrigation</u> : Dysfonctionnement des ouvrages, Insuffisance d'entretien du réseau, hydraulique	<u>Système d'irrigation</u> : Insuffisance d'entretien du réseau hydraulique (affaissement, envasement, enherbement etc.). Inexistence de tour d'eau	Difficulté de commercialisation	Insuffisance d'équipement agricole	Utilisateurs informels le long du canal
2	difficulté de la gestion de l'eau	<u>Valorisation agricole</u> : Vieillesse des semences, présence de la bactériose	<u>Valorisation agricole</u> : Attaques des nuisibles, Insuffisance de superficies, Attelage incomplet, Manque de charrue et bœuf de labour	<u>Valorisation agricole</u> : Vieillesse des semences	<u>Valorisation agricole</u> : Variétés non tolérantes à la virose, Insuffisance de maîtrise des itinéraires, techniques	<u>Valorisation agricole</u> : Coût élevé des intrants, Insuffisance d'équipements	Difficulté d'extension des aménagements	Difficulté d'approvisionnement en intrants	Commercialisation

3	prix non rémunérateur	<u>Organisation</u> Insuffisance de formation des membres des comités de gestion, Mauvaise gestion	<u>Organisation,</u> Manque de formation, insuffisance de partenaires, Mauvaise gestion, insuffisance d'infrastructure/ équipement	<u>Organisati on,</u> Insuffisance de formations	<u>Organisation,</u> Faible capacité organisationnelle de, l'OERT	<u>Organisati on,</u> Pas d'organisation, fonctionnelle	Difficulté d'évacuation des produits	Problèmes d'irrigation (parcelles non dominées, inondées, non-respect du tour d'eau)	Baisse de la fertilité des sols
4		<u>Environnement Socio-économique :</u> Coût élevé des intrants, Insuffisance de partenaire financier pour l'appui conseil	<u>Environnement socio-économique :</u> Insuffisance de la production, manque de lig/crédits/formels, Difficulté d'acheminement des intrants, taux élevé des int. du crédit informel, Insuffisance de sources d'information	<u>Environnement socio-économique :</u> Coût élevé des intrants	Environnement socio-économique: Taux élevé d'intérêt, Faible capacité de négociation de prix, Insuffisance de maîtrise de gestion, de revenu	Environnement socio-économique : Insuffisance de formation en gestion des réseaux, Taux d'intérêt des crédits élevé, Faible capacité de négociation des prix	Intensité culturelle faible	Manque d'aire de séchage	Etats défectueux des ouvrages et systèmes hydrauliques

5								Insuffisance de formation en technique de production du riz	Mauvaise répartition de l'eau dans certains blocs
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tableau 17 : recapitulatif des problemes sur les perimetres maraichers

Pays	Niger				Sénégal		BURKINA FASO
Province	Tllabery	Tera	Cun	Sinder	Tivaouane	Thiès	Lorum
Nom du périmètre	Sakoira	Tera	Gamkale	Mibida	Keur Mbir Ndao	Mbawane	Titao
Type de système	T3	T 2	T4	T 2	T 4	T 4	T 3 petit périmètre irrigué collectif
Année mise en valeur	1992	1981	1980	1997	1966	1974	1999
Hiérarchisation des problèmes sur less perimètre maraichers							

1	<p>Difficultés d'irrigation : mauvais planage du site, absence de canaux secondaires et tertiaires, les tentatives d'organisation de tour d'eau ne sont pas toujours respectées, temps de pompage insuffisant</p>	<p>Difficultés de desserte en eau en période d'étiage de l'eau du barrage</p>	<p>Difficulté d'irrigation liée à une déficience de la tuyauterie, des motopompes et bassins.</p>	<p>Insuffisance de l'appui conseil</p>	<p>Baisse de la disponibilité en eau d'irrigation</p>	<p>Baisse de la disponibilité en eau d'irrigation, Faible niveau d'équipement</p>	<p>Motopompe (mauvaise manipulation, Pannes fréquentes, temps d'utilisation assez long,)</p>
2	<p>Mauvaise gestion : absence de compte d'exploitation, absence de charge d'entretien, pas de suivi financier et comptable</p>	<p>ensablement du barrage (réduction du volume de stockage), insuffisance de l'encadrement du périmètre</p>	<p>insuffisance d'eau d'irrigation sur le système collectif, difficulté d'accès aux intrants agricoles faute de moyens financiers</p>	<p>Difficulté d'irrigation</p>	<p>Difficulté d'évacuation des produits</p>	<p>Non maîtrise des techniques d protection contre les ravageurs</p>	<p>Insuffisance de parcelles</p>

3	<p>Dégâts d'animaux : Manque de clôture et mauvais emplacement de la digue de protection</p>	<p>Insuffisance de l'encadrement du périmètre</p>	<p>Difficulté d'accès aux intrants agricoles faute de moyens financiers .</p>	<p>insuffisance d'organisation des producteurs</p>	<p>Faible niveau de maîtrise des techniques culturales</p>	<p>Difficulté d'accès au crédit</p>	<p>Matériel de travail, fonds de roulement, Moutons de case : Le manque de matériel de travail, de fonds de roulement et de moutons de case ont occasionné l'insuffisance de moyens financiers, de même que la faiblesse des revenus</p>
---	--	---	---	--	--	-------------------------------------	---

4	<p>Absence de débouché commercial. La principale production est l'oignon difficile à conserver. Le produit est bradé à la récolte ou transformé (écrasé et séché) pour faire du « Gabou »</p>		<p>Mévente des produits due à la saturation du marché</p>	<p>faible accessibilité des intrants agricole</p>	<p>Coûts des intrants élevés</p>	<p>Faible niveau d'organisation des irrigants du site</p>	<p>Ecoulement +stockage : Le besoin de liquidité au moment de la récolte, la pourriture liée à l'absence de locaux adéquats de conservation, pourriture liées aux attaques des parasites</p>
5	<p>Insuffisance d'intrants agricole : semences améliorées, engrais, produits phytosanitaires</p>		<p>inondation du périmètre en période de crue du fleuve,</p>		<p>Difficultés de commercialisation</p>		<p>Problèmes Phytosanitaires : Les problèmes phytosanitaires sont occasionnés par les attaques de parasites qui proviennent de la mauvaise qualité des semences et des pépinières</p>

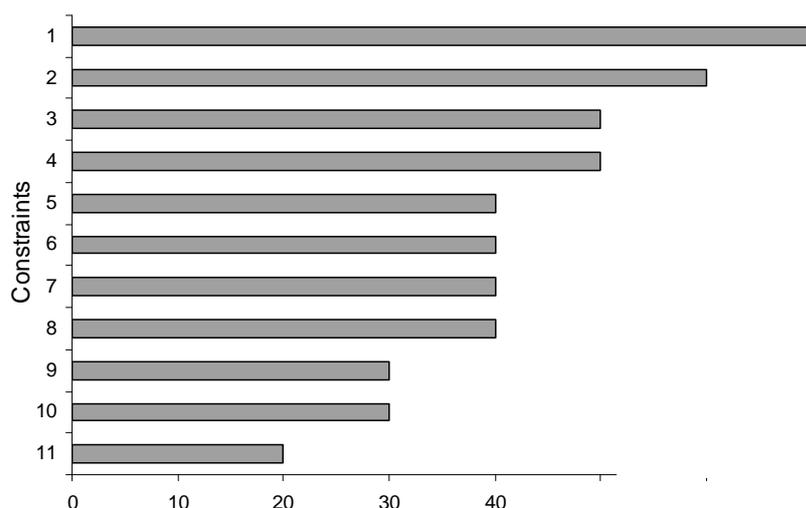


Figure 35: Fréquences des réponses des irrigants en termes de contraintes au Mali et au Niger

La liste des contraintes évoquées est longue. Les paysans enquêtés par le projet APPIA mettent en avant les problèmes de gestion des groupements, le manque de formation. Le drainage est situé en bonne position. La taille des parcelles est mentionnée par la moitié des groupements. En général celles-ci sont de moins d'un demi-hectare, excepté à l'office du Niger. Une partie significative des groupements mentionne les problèmes de variétés et les attaques de ravageur et un tiers des paysans mentionne les difficultés à négocier des prix rémunérateurs. Les paysans mentionnent en priorité la difficulté à maintenir les réseaux d'adduction et de drainage. Des paysans insatisfaits des débits obtenus agrandissent ou cassent les sections des vannes. Or pour réduire les consommations il faut réduire les suintements et la percolation (Hafeez 2000; Barker et al 2000). Il faut souvent réhabiliter les vieux périmètres à des coûts élevés.

3.2.2 Adapter la riziculture aux types de sols

En moyenne les besoins en eau du riz ne sont pas beaucoup plus élevés que ceux des autres cultures. C'est l'inondation des rizières qui augmentent les besoins. Or le maintien de cette lame dépend beaucoup du type de sols. Dans la zone soudanienne, les besoins en eau du riz varient entre 800 et 1400 mm selon les types de sol (Wellens et Compaoré 2005) (tableau 9). Les sols les plus adaptés sont les sols lourds (tableau 9).

Tableau 18 : Besoins en eau du riz en fonction des types de sol Wellens et al (2005)

Culture	Sol	Besoins en eau (mm)
Riz	Argileux	776
	Limoneux	879
	argilo limoneux	981
	sablo argileux limoneux	1083
	sablo argileux	1216
	limoneux	1349

Il est recommandé d'éviter l'installation de rizières sur des sols sableux ou alors de recommander d'autres productions, comme le maïs, sur les parties sableuses des périmètres existants. Les concepteurs des périmètres proposent souvent des plans d'occupation des sols mettant en adéquation cultures et types de sols, mais tant que l'eau est amené en abondance les paysans sèment du riz sur les sols sableux.

3.2.3 Réduire les apports à certaines périodes

Le riz n'a pas besoin d'une lame d'eau pendant tout le cycle. Après s'être gorgée d'eau pour favoriser la germination et la levée, la graine a besoin de conditions aérobies. Durant le tallage une mise à sec prolongée des rizières a peu d'effet sur les rendements même si un à sec prolongé peut favoriser les adventices en terrain salé, ainsi qu'une concentration des sels dans le sol. Après le tallage, le plant de riz devient plus sensible au stress hydrique. Le niveau de la lame d'eau doit être maintenu en permanence autour de 8 à 10 cm (Lacharme ; 2001), ceci permet de noyer les mauvaises herbes, ce qui réduit le besoin en désherbage chimique ou mécanique.

La submersion continue n'est pas nécessaire pour obtenir des rendements élevés (Guerra et al 1998). Il faut synchroniser l'apport d'eau de l'irrigation avec les périodes de croissance les plus sensibles. L'excès d'eau à la livraison provoque du drainage excédentaire qui est difficile à évacuer. L'eau drainée est riches en nutriments et stagnante, ce qui peut être source de maladies (Molden et al 2007). Le désherbage des canaux de drainage facilite l'évacuation des eaux.

3.2.4 Mieux profiter des pluies

Les pluies sont généralement incorporées dans le calcul du bilan hydrique pour le dimensionnement des canaux, mais les tours d'eau réellement pratiqués tiennent rarement compte des pluies. Or il est possible de réduire les apports en tenant compte des pluies (Barker *et al*, 2000). Dans la partie sahélienne du BFN la contribution de la pluviosité dans le bilan hydrique est relativement faible. A l'office du Niger où il pleut en moyenne dans les 400 mm la pluie perturbe les travaux plus qu'autre chose.

3.2.5 Contrôler la salinité des sols

Les problèmes de salinité sont récurrents à l'Office du Niger mais ne sont considérés une contrainte majeure (Burte et al 2008). Les différents diagnostics ne mentionnent pas ce problème. Dans certains cas c'est la nappe salée qui remonte, dans d'autres cas, ce sont les apports qui années après années déposent une quantité de sel suffisante pour gêner la croissance de la plante.

3.2.6 Le cas du riz de contre saison

La double riziculture annuelle est peu répandue dans le BFN, mais va se répandre quand le fleuve sera régulé. La culture peut se faire en saison sèche chaude à partir de fin Février; les variétés doivent alors être tolérantes aux basses températures lorsque ces dernières perdurent et aux températures maximales élevées d'Avril, Mai. Il faudra récolter avant les premières pluies, surtout si la récolte est mécanisée. Dans tous les cas, des pluies en phase de maturation, peuvent endommager les grains. Le respect des calendriers de culture, tant pour la campagne en cours que pour garantir la suivante, est favorisée par l'adoption de variétés à cycle court.

Il existe quelques cultures d'inter saison plus ou moins à cheval sur les 2 saisons principales, soit semées vers la fin de la saison des pluies et assurant l'essentiel de leur phase végétative avant l'arrivée du froid, soit semées relativement tard pendant la saison sèche et récoltées en début de saison des pluies, avec les risques que cela comporte.

Les dégâts causés par les oiseaux granivores en saison sèche sont significatifs dans le bassin surtout pendant la contre saison sur les rizières. Au Niger le gouvernement effectue des traitements avec des avions sur les volières en bordure des périmètres.

Dans tous les cas, les cultures de contre saison consomment plus d'eau que les cultures d'hivernage ce qui risque d'avoir un impact sur l'ensemble de l'hydrologie du fleuve. La double culture permet de mieux rentabiliser les infrastructures, fournit des emplois en saison sèche ce qui

réduit les migrations. La contre saison pourrait être réserver aux cultures maraîchères mais dans les grands périmètre ce n'est pas un gage d'économie d'eau.

3.2.7 Améliorer les modes d'exhaure

Une bonne partie de la production rizicole du sahel nécessite un moyen d'exhaure. L'exhaure à partir de grosses motopompes classiques se développe rapidement dans le BFN. Les périmètres qui utilisent des motopompes à alimentation électrique ou thermiques sont parfois insuffisants pour mettre en valeur toutes les superficies irrigables. L'hydrovis est courante dans les très grands périmètres et consomme assez peu d'énergie.

Dans les zones maraichères l'exhaure humaine domine. La pompe à pieds se répand progressivement ainsi que les petites motopompes. Les *shadoufs* et l'exhaure animale sont rares. Le renchérissement des hydrocarbures devrait favoriser l'exhaure humaine et animale, pour les cultures à haut rapport. Les pompes solaires sont pratiquement inexistantes. L'irrigation de complément des cultures pluviales à partir de petits bassins se révèle rentable sous certaines conditions de coûts d'opportunité mais l'adoption de telles techniques pour les cultures pluviales est nulle. L'efficience de l'eau est considérée meilleure dans la petite irrigation.

3.2.8 Les types alternatifs d'irrigation

Les systèmes dits californiens avec tuyaux enterrés sont parfois utilisés pour les cultures à haut rapport comme le haricot vert, mais l'entretien du système par les groupements est souvent problématique. L'irrigation par aspersion est rare dans le bassin du Niger à cause des pertes par évaporation, de la fragilité des systèmes et du coût du pompage sous pression. L'aspersion à partir de pivots est utilisée pour la canne à sucre au Burkina Faso, mais pas dans le BFN. Le goutte-à-goutte « adapté » pour le petit maraîchage bien que constamment promu dans les conférences, est rare sur le terrain. L'Icrisat propose un système d'irrigation au goutte à goutte pour les petits paysans.

3.2.9 Les incitations économiques

La réduction des gaspillages est difficile quand l'eau est gratuite. Beaucoup d'économistes estiment qu'il faut faire payer les utilisateurs au mètre cube pour les inciter à réduire leur consommation. Sur les périmètres avec canaux il n'est pas réellement possible d'installer des compteurs, ni de chronométrer les temps d'ouverture des vannes. Il est par contre facile de mesurer les débits globaux d'un secteur ou d'un périmètre et de répartir les charges entre irrigants selon leurs surfaces respectives.

La faisabilité d'une redevance eau est faible. Le paiement de la redevance eau a généré des conflits sérieux sur certains périmètres à cause de détournements par l'administration. Les irrigants ne sont pas favorables à ces tarifications. Ils estiment que l'absence ou la faiblesse des subventions à des intrants et des carburants dont les prix ne cessent d'augmenter, et l'absence de protection contre les importations de riz asiatique les pénalise suffisamment. Payer pour les intrants et le carburant, l'entretien des motopompes et du réseau est normal. Payer pour le renouvellement des motopompes peut aussi se justifier. Payer pour l'amortissement des infrastructures est déjà plus discutable et de toute façon très rare. Payer pour l'eau qui coule abondamment dans le fleuve et dont 95% va à la mer, est plus difficile à faire comprendre.

3.2.10 Les politiques de réduction des consommations

Beaucoup d'efforts ont été réalisés pour augmenter les rendements. Il n'y a pas vraiment de politique mise en place pour réduire les consommations. Un marché de l'eau n'est pas à l'ordre du jour. Les consommations urbaines augmentent mais il n'y a pas de crise majeure en vue. Les prévisions quand aux prélèvements par unité de surface ne permettent pas de présager une amélioration. L'expansion de l'office du Niger laisse présager une augmentation globale des prélèvements en hivernage et en saison sèche mais aussi des gains par unité de surface.

Conclusion : difficile de réduire les consommations

Globalement les consommations en eau vont augmenter très vite dans le bassin que ce soit par l'expansion des périmètres formels ou par la petite irrigation informelle. Réduire les consommations des périmètres collectifs sera également difficile car ce n'est pas une priorité des irrigants, des groupements ou même des états. Au contraire beaucoup d'irrigants, situés en bout de canaux, se plaignent d'abord du manque d'eau. La consommation d'eau n'est pas non plus une priorité politique pressante. D'ailleurs la construction des barrages sur le fleuve est acceptée dans le principe avec les financements identifiés. Ces barrages soutiendront les débits d'étiage ce qui va réduire encore l'urgence d'économiser l'eau et va promouvoir la production de contre saison, plus gourmande en eau. Les prélèvements actuels étant globalement faibles, les politiques ne sont pas convaincus qu'il faille réduire les consommations.

Les choix qui peuvent réduire les consommations par unité de surface sont l'expansion ou non de l'Office du Niger très gourmand en eau. Paradoxalement l'expansion de l'Office devrait améliorer la PE dans la mesure où beaucoup d'eau se perd à cause de la dispersion des secteurs irrigués. Une plus grande densité de périmètres, comme cela est prévue, réduirait les pertes par unité de surface.

L'expansion de la submersion contrôlée, également gourmande, pose un problème à la fois de rendement et de consommation. Si l'expansion de la petite irrigation privée est probablement gage de moindre gaspillage, elle signifie aussi plus de prélèvements de contre saison. En somme une meilleure utilisation de l'eau pour l'irrigation n'est un défi majeur dans le BFN.

3.3 Améliorer les pratiques agronomiques

Les pratiques agricoles expliquent une bonne partie des performances des rizières (Loquay et Leplaideur 1995). Parmi les pratiques agricoles inadéquates, les rapports d'expertise citent la mauvaise qualité du nivellement de terrain, les repiquages tardifs des plans de riz, les dates d'application, les quantités et les types d'engrais inadaptés (IIMI 1997). Les semences sont des facteurs importants à prendre en compte. Le sarclage réduit la compétition pour l'eau entre les mauvaises herbes et les cultures. Le mode de préparation de sol peut être manuel (l'utilisation de la houe, ou la herse), ou mécanisé avec la traction animale ou des tracteurs. La disponibilité de main d'œuvre est importante pour expliquer les itinéraires pratiqués. « Le manque de main-d'œuvre suite à la migration retarde souvent la période de préparation des terres et la période de plantation, ce qui affecte les rendements » (Acheampong 2008).

3.3.1 Adopter des variétés résistantes

L'adoption de variétés de riz précoces et à hauts rendements durant les quatre dernières décennies a permis des gains de rendements importants dans bien des endroits de la planète (Baker et al 2000, Guerra *et al*, 1998). Toutefois les variétés ne sont qu'un élément du dispositif. Beaucoup de producteurs sélectionnent leurs variétés dans leur propre récolte. Les producteurs combinent souvent une gamme de variétés répondant aux contraintes de sol, de calendrier, au climat et de bonne qualité gustative. Les instituts sélectionneurs sont les instituts nationaux souvent appuyés par les instituts internationaux IRRI, CIRAD et ADRAO. Au Mali et au Niger la recherche s'est investie sur des variétés résistantes au virus de la mosaïque jaune et sur la longueur des cycles.

3.3.2 Mieux caller le calendrier

Il ne faut pas semer trop tard (avant mi juillet pour les cycles moyens et avant début août pour les cycles courts) afin d'éviter les problèmes de stérilité du riz liés aux températures minimales trop basses (à partir de mi-novembre en gros). Des variétés ayant des durées de cycle moyennes (125 à 135 jours) sont souvent adoptées et permettent de bien valoriser le potentiel génétique du riz (Dancette 1999).

3.3.3 Améliorer la fertilisation minérale

Dans le cadre des itinéraires techniques suivis et améliorés, il importait de s'orienter vers une fertilisation plus efficace et moins coûteuse, surtout après le choc économique de la dévaluation du franc CFA qui impliquait une augmentation du coût des intrants importés. Les rizières ont besoin de phosphore, généralement apporté sous forme de DAP (18-46-0) c'est-à-dire de phosphore, sous forme ammoniacuée qui est facilement assimilé, et les 18 unités d'azote, apportées une semaine après le semis ont un effet remarquable. Depuis longtemps les organisations paysannes réclament des subventions aux intrants. Les effets résiduels de la fertilisation minérale, ils ont été étudiés au Mali dans le cadre de la double culture riz et échalote ou tomate en vue d'économies possibles. De même le problème de la volatilisation de l'azote a été abordé au Sénégal. Enfin le rôle de la matière organique a été démontré et a donné lieu à des opérations de vulgarisation de la technique du compostage.

3.3.4 Contrôler les adventices

Compte tenu du système de culture avec semis direct, les travaux sur la lutte contre les adventices, et plus particulièrement sur le désherbage chimique, ont été très développés en Mauritanie (où la demande des producteurs est très pressante) et au Sénégal, et beaucoup moins au Mali et au Niger. La maîtrise des mauvaises herbes ne doit pas être vue que sous l'angle chimique mais d'une façon intégrée, en liaison avec la pratique ou non de la pré-irrigation, avec le type de travail du sol adopté, avec la qualité du planage et le drainage, avec les densités de semis, avec les modalités de fertilisation. La monoculture tend à favoriser le parasitisme. Les rotations sont possibles dans les rizières. (cultures maraîchères, fourragères et même repousse de riz...)

3.3.5 Mécaniser les pratiques

Planage, travail du sol, de récolte, de transformation post-récolte. Motorisation intermédiaire pour la récolte, le battage et le décorticage. L'intérêt pour la culture attelée est fort au Mali et au Niger.

Conclusions : les gains de rendements

L'amélioration de la PE passe aussi par l'augmentation des rendements du riz. Les agronomes privilégient le concept d'intensification, c'est-à-dire l'utilisation accrue des facteurs de production travail et capital par unité de surface. Cependant ils font surtout la promotion d'une intensification intelligente qui active les synergies entre biologie et chimie. Les systèmes intensifs ont un impact environnemental ambivalent. D'un côté ils tendent à polluer l'environnement avec des intrants de synthèse et de l'autre côté ils consomment moins d'espaces que les systèmes traditionnels ce qui tend à

réduire la pression sur les écosystèmes environnants.

Quelques soient les différents types d'irrigation, les gains de rendements substantiels sont accessibles sans nécessiter des investissements excessifs. Dans certaines zones deux cycles peuvent être réalisés, soit deux cycles de riz, soit une culture maraichère ou même fourragère après un cycle rizicole.

3.4 Appuyer les groupements

3.4.1 Améliorer la gestion paysanne

Beaucoup d'experts expliquent la relative faiblesse des performances de l'irrigation en Afrique par le manque d'expérience des irrigants (Bethemont et al 2003, Berthome et al. 1986; Compaoré, Blanchet et al. 2002, Poussin 2002). L'irrigation est une technique récente en Afrique subsaharienne, contrairement à l'Asie, où l'expérience de certains pays est millénaire. Il faut améliorer l'organisation de la campagne agricole et notamment le respect du calendrier agricole et de l'itinéraire technique adopté, avec ses variantes rendues souvent nécessaires, compte tenu des contraintes diverses rencontrées.

3.4.2 Améliorer les capacités financières des groupements

Les emprunts sont souvent mal remboursés, les redevances pas payées. Les solutions proposées sont la formation et la sensibilisation des paysans et surtout de leurs cadres. Beaucoup de diagnostic concluent que le retrait progressif de l'Etat de la gestion des périmètres n'a pas encore permis l'émergence d'organisations paysannes efficaces ni d'un entrepreneuriat privé significatif.

Le diagnostic de l'IIMI au Niger mentionne que « le système de comptabilité actuel ne permet pas aux coopératives de faire des bénéfices et ainsi elles ne sont pas en mesure de résoudre des problèmes de liquidité dans le cadre existant. Aucune d'elles n'a été à mesure de constituer un fond de réserve en vue des futures réparations majeures et des renouvellements, et dans tous les cas, les ressources prévues pour de tels fonds sont entrain d'être utilisées pour le financement des besoins de fonctionnement courant. Le manque d'actif ou de liquidité dans les coopératives est la cause probable de certaines difficultés au niveau de la performance des périmètres parce que cela réduit la capacité des coopératives à acquérir de bons intrants au moment opportun».

Les organisations des irrigants éprouvent de sérieuses difficultés pour trouver les liquidités nécessaires pour acheter des semences et des engrais pour leurs membres ou de leur trouver des prêts

de campagne.

3.4.3 Diligenter l'approvisionnement en intrants

L'approvisionnement en intrant, à temps, est central pour le succès d'une campagne. Or les intrants sont souvent distribués en retard. La gestion de centaines de tonnes d'engrais nécessite une organisation qui dépasse souvent les capacités des groupements villageois. Au Mali, le taux d'intérêt élevés sur les crédits empêche les agriculteurs pauvres de pouvoir accéder à des crédits pour acheter des engrais, des pesticides et du matériel agricole pour améliorer leur ferme (Acheampong, 2008).

3.4.4 Appuyer la commercialisation

Les problèmes liés au marché incluent l'absence de moyens de transport, les accès aux voies de communication, le manque de moyen de conditionnement. Les maraichers acceptent des prix bas avant qu'ils ne pourrissent. Les cultures maraîchères sont parfois abandonnées. Les groupements peinent à organiser des ventes groupées (Acheampong, 2008).

3.4.5 Professionnaliser l'appui à l'irrigation

Professionnaliser les différentes fonctions des périmètres irrigués comme la distribution de l'eau, le conseil technique, la comptabilité devraient permettre de réduire les prélèvements et d'augmenter les rendements.

3.4.6 Partir de l'existant

Les interventions externes devraient se baser sur les systèmes existants plutôt que de parachuter des nouvelles technologies difficiles à gérer. Bien que l'irrigation ait pour but de réduire les risques, les nouvelles technologies présentent souvent d'autres risques qui peuvent exposer les agriculteurs à un niveau de risque supérieur. Ce risque supplémentaire est porté exclusivement par les agriculteurs sans être partagée par les gouvernements. Ceci a engendré des conflits entre les agriculteurs et les institutions de crédit, et les fermiers abandonnent les projets (Acheampong, 2008).

3.5 Revoir les politiques publiques

Les groupements se heurtent à une certaine incohérence des politiques publiques (Bethemont et al 2003). Depuis les indépendances les politiques des Etat sahéliens sont passées du système très administré, entrecoupés d'élans révolutionnaires, à la libéralisation, synonyme d'autogestion pour les périmètres communautaires et d'investissements privés. Il n'est pas impossible que les récents échecs du libéralisme à l'échelle mondiale redonnent de la voie à des politiques plus volontaristes.

3.5.1 Les surfaces attribuées

Les surfaces distribuées sont généralement très petites. Ceci explique souvent pourquoi les calendriers culturaux préconisés pour le repiquage du riz sont peu respectés. Quand les paysans ont des petites surfaces irriguées, ils privilégient les semis des cultures pluviales et retournent dans les rizières quand les cultures pluviales sont semées et désherbées. Il en résulte que les tours d'eau sont désorganisés. Sur 1/3 des rizières de l'office du Niger il n'y a pas de tour d'eau du tout (Tangara 2008).

3.5.2 La tenure de la terre

La banque mondiale, s'appuyant sur la micro économie, fait depuis longtemps l'apologie d'une tenure privée de la terre. Outre la sécurisation de la tenure, qui doit améliorer les investissements fonciers à long terme, l'obtention de titres fonciers permet de développer le marché de la terre, censée transférer les terres aux plus efficaces. Les titres fonciers offrent aussi un colatéral pour obtenir des prêts bancaires. Ce processus est lent à se mettre en place mais il correspond à un mouvement de fonds dans toute la sous région. Au Nigéria la terre fait l'objet d'un marché depuis longtemps.

3.5.3 Dynamiser les organisations paysannes

Les groupements sont constitués et gérés par les irrigants avec peu de soutien de l'extérieur. Elles perçoivent les redevances, gèrent les prêts des agriculteurs, la vente des intrants agricoles aux membres, résolvent les conflits entre irrigants en ce qui concerne la distribution de l'eau et de l'acquisition des terres, la surveillance des systèmes d'irrigation, la vérification des dommages et l'organisation des travaux d'entretien sur eux. Elles doivent veiller à ce que les membres respectent le calendrier semis et du repiquage. Elles interviennent souvent pour négocier les prix avec les commerçants. Malheureusement les groupements fonctionnent mal et dans la plupart des systèmes irrigués, les «aiguadiers» sont l'objet de critiques sévères.

3.5.4 Le soutien au privé

Devant les difficultés à faire respecter une gestion collective de l'eau et surtout d'un tour d'eau ou de l'entretien collectif des infrastructures, beaucoup de donateurs soutiennent le développement de petits périmètres individuels privés à partir de moyens d'exhaures individuels en bordure du fleuve ou de réservoirs. Jusque dans les années quatre vingt dix, la majorité des investissements allaient vers les grands périmètres communaux, plutôt que vers des individus. Or les systèmes communaux sont risqués. Les entreprises individuelles privées sont plus enclines à gérer le risque que ceux qui

travaillent en groupe et ont besoin de partager les responsabilités et les actifs (revue IFAD's sur les projets orientés vers la petite agriculture *Internal review* 2000).

La Banque Mondiale soutient le développement des initiatives privées dans le domaine de l'irrigation (type T8 dans la typologie de l'ARID). Ce système fonctionne généralement bien si les bénéficiaires sont des paysans. Que ce mode fonctionne bien avec des urbains, fonctionnaires ou commerçants reste à prouver. Le mode de production capitaliste de type patron/salarié se montre rarement supérieur au petit paysannat. Au Nigéria le succès du projet Fadamas fournit un argument aux promoteurs de la petite irrigation privée.

3.5.5 Soutenir les prix

Les prix des charges et des produits expliquent en partie la productivité de la riziculture. Du temps des prix administrés le secteur était moribond. Quand les prix du riz ont été libéralisés, généralement dans les années quatre vingt dix les riziculteurs ont pu investir davantage et ont adopté des techniques plus intensives en main d'œuvre. Les prix mondiaux du riz se sont envolés en 2004 provoquant une grave crise alimentaire dans la sous région. Ils sont restés élevés depuis, mais les mécanismes de soutien mis en place par les états, bien qu'existants, ne garantissent pas aux producteurs un prix rémunérateurs.

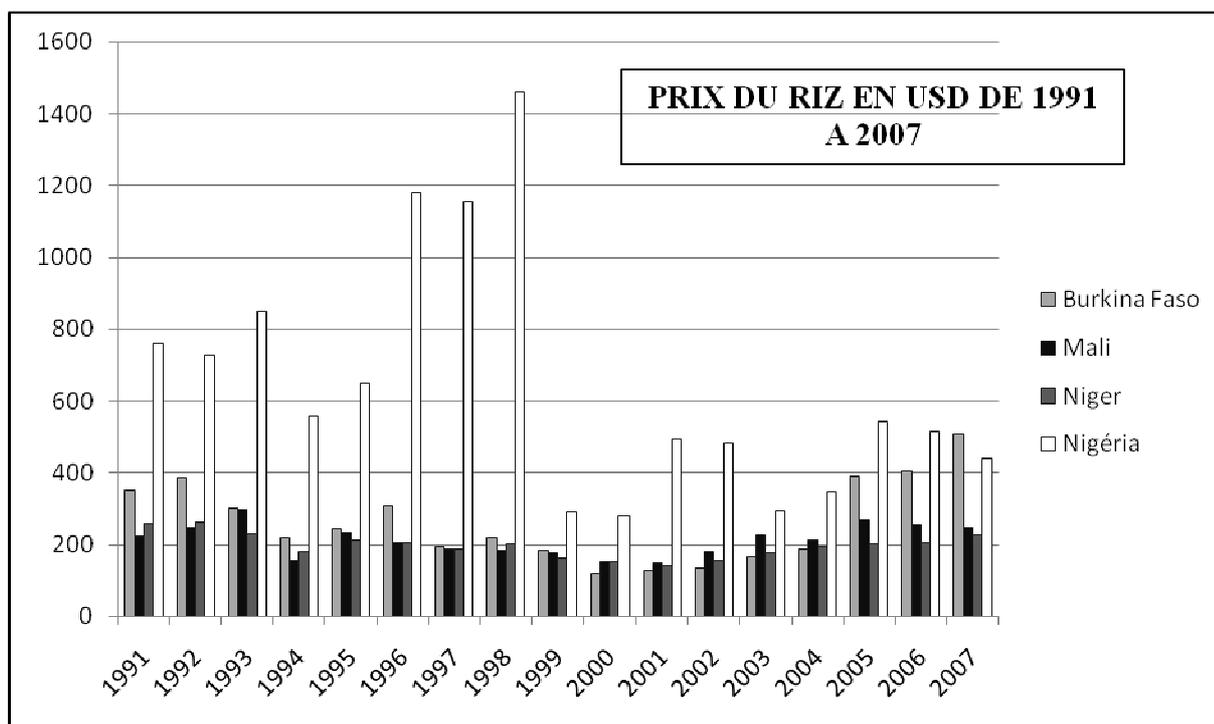


Figure 36: Les prix du riz au producteur (FAOSTAT 2009)

Au Nigéria, le prix du riz est en moyenne plus élevé que dans les pays de l'UEMOA grâce aux fortes taxes à l'importation. Les prix baissent en 1994 et en 1995. En 1996, on assiste à une montée brutale des prix qui ont pratiquement doublés. Ces prix élevés du riz traduisent l'importance de la demande. Mais dès les années 1997, on a assisté à une augmentation des importations qui s'est traduit sur le marché par une chute vertigineuse des prix entre en 1999.

3.5.6 Organiser les filières

Mais le principal facteur limitant à une accélération de la mise en valeur agricole de la sous région est probablement situé en amont et en aval des filières agricoles. La provision de crédit et d'intrants est déficiente. Les paysans ont du mal à obtenir les engrais à temps. Les coûts de transport sont très élevés. De même l'aval des filières est désorganisé. Une fois les filières maraichères et riz assainis les riverains du fleuve Niger pourraient bien mieux valoriser l'eau disponible.

3.5.7 Soutenir la filière rizicole

3.5.7.1 Des consommateurs rizivores

Les consommateurs sahéliens, à l'instar des autres consommateurs africains, se détournent des denrées traditionnelles mil et sorgho en faveur du riz et du maïs (Savadogo and Brandt 1988; Savadogo and Kazianga 1999). La figure 4 montre que la part de la consommation du riz des urbains augmente avec la richesse des consommateurs (le quintile 1 sont les plus pauvres). Si les revenus des urbains continuent à augmenter comme dans la dernière décennie, le riz risque de remplacer complètement les autres céréales. Les ruraux seront fortement incités à trouver des moyens de produire plus de riz, que ce soit en pluvial dans les zones guinéennes ou en irrigué.

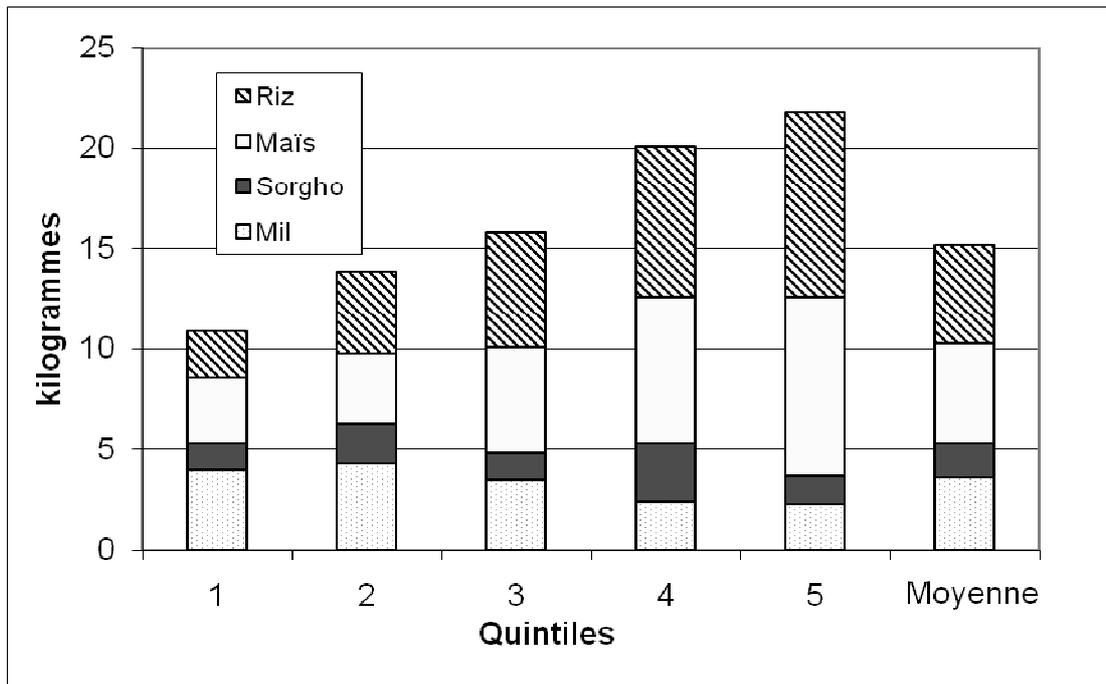


Figure 37: Consommation de céréales par mois dans 3 grandes villes du Burkina Faso : Source : Savadogo et Kazianga, 1999

Nb : Le quintile 1 est celui des plus pauvres.

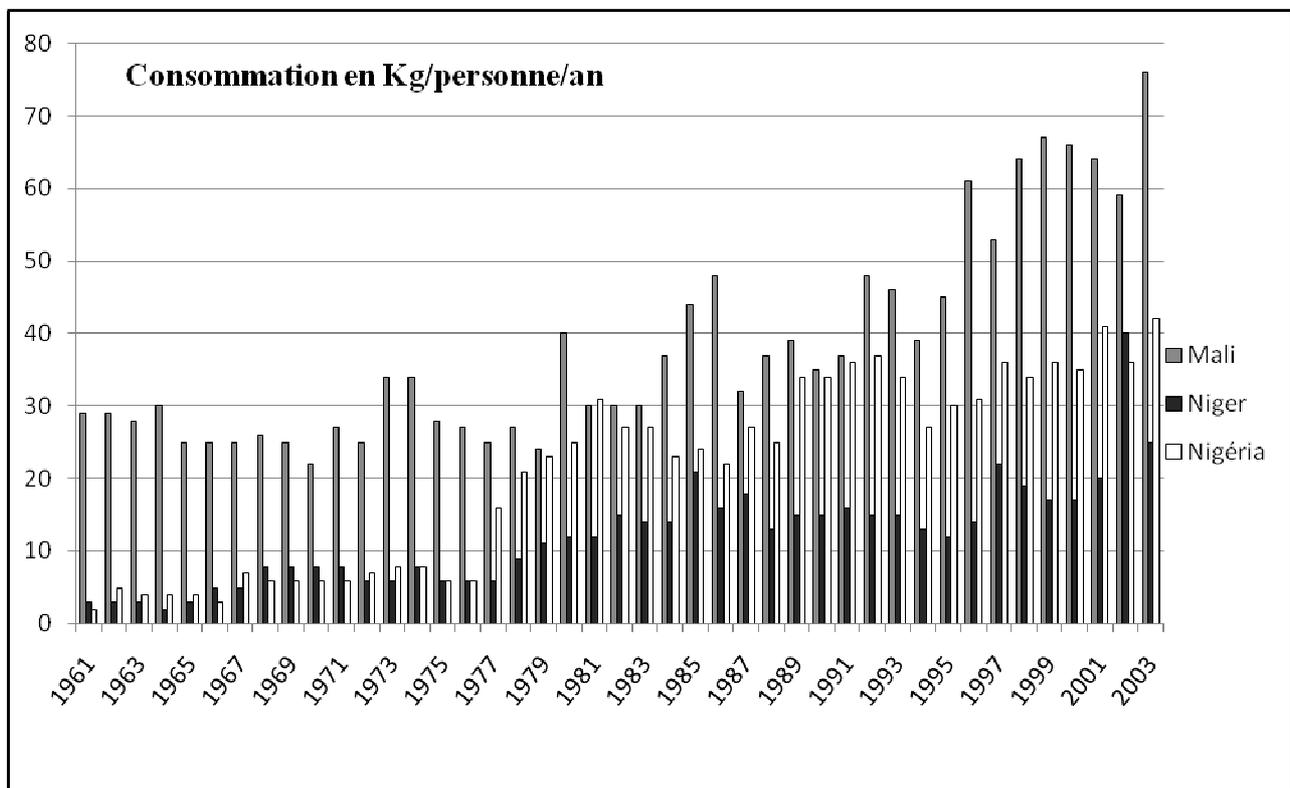


Figure 38: Consommation en kilo par personne dans 3 pays du BFN

La consommation de riz par habitant a pratiquement doublé en cinquante ans. Les Maliens, les Nigériens et même, sur le tard, les Nigériens ne résistent plus à l'attrait de cette céréale, principalement en ville. Cette tendance est-elle irréversible ? Probablement. Les campagnes de promotion des produits locaux sont rares et timides. Elles s'orientent d'ailleurs plutôt vers le riz local que sur un retour vers la consommation de mil et sorgho.

3.5.7.2 Productivité et compétitivité

Les rendements du riz asiatiques sont plus élevés, mais il ne faut pas confondre la productivité par hectare, rendement ou marge, avec les coûts de production par unité produite le kilo ou la tonne, qui eux permettent de comparer les avantages de différents systèmes de production. Des rendements élevés et même la double ou triple culture ne signifie pas qu'un pays a des avantages à produire du riz. Le riz japonais bien que le plus productif du monde, n'est pas compétitif. Seuls les subventions très élevées protègent la riziculture Japonaise. Si le coût de production par kilo d'un riz produit sur les rizières asiatiques et son transport jusqu'aux consommateurs africain revient plus cher que le riz produit dans le bassin du Niger, le consommateur africain se tournerait à nouveau vers le riz africain.

En Afrique les rendements du riz sont plus faibles mais ils ne signifient pas que les coûts de production par unité produite y soient plus élevés qu'en Asie. L'évolution probable des coûts de production favorise d'ailleurs l'Afrique. En Asie les coûts de la terre et de l'eau augmentent rapidement à cause de l'industrialisation, de l'urbanisation et de l'enrichissement des consommateurs asiatiques. Le coût de la main d'œuvre augmente aussi très vite, notamment dans les principaux pays exportateurs de riz. Il est peu probable que ces pays restent compétitifs très longtemps.

Dans le bassin du Niger, le coût d'opportunité de la terre est faible, car la terre n'est pas encore un facteur très rare. Il existe de vastes zones sous climat bien arrosé qui ne sont pas exploitées, plus au sud du bassin. Le coût induit de l'eau dans le bassin est quasiment nul car la demande en eau potable et en électricité reste modérée. Le calcul du coût d'opportunité de la main d'œuvre n'est pas très élevé et n'augmentera probablement pas aussi vite que le coût de la main d'œuvre asiatique.

Les calculs qui comparent la compétitivité de la riziculture asiatique et africaine doivent tenir compte du développement rapide de l'Asie, et des gains de productivité récents obtenus sur les périmètres africains. Les résultats récents sont encourageants. Les rendements sont passés de deux tonnes par hectare au début des années 1980 à presque cinq tonnes par hectare dans les années quatre vingt dix (Groupe de travail irrigation, 1997). Fluctuant entre 2 et 8 t/ha, les rendements progressent,

les filières irriguées se professionnalisent et leurs performances économiques s'améliorent. Si les rendements continuent à progresser et se maintiennent entre 5,5 et 8 t/ha, si les filières s'organisent, le riz local devrait améliorer sa compétitivité sur le moyen terme (Raveau, 1998). Plutôt que de condamner une « industrie naissante », il serait préférable de la protéger, le temps de lui permettre de développer des systèmes plus performants.

3.5.7.3 Les importations aléatoires

Une stratégie alimentaire basée sur les importations de riz est risquée. Seul un petit nombre de pays exportateurs fournissent le marché mondial : la Thaïlande, le Viêt-Nam et selon les années l'Inde. Or ces pays essaient de diversifier leur production vers des cultures à haute valeur ajoutée telles que les fruits et légumes. L'engouement des consommateurs asiatiques pour la volaille et le porc entraîne une production croissante de céréales fourragères moins consommatrices en eau et qui feront concurrence à la riziculture. L'exportation du riz rapporte relativement peu de devises et une augmentation des exportations déprime rapidement le cours mondial. Par ailleurs le développement urbain asiatique dans des zones très densément peuplées réduit significativement les surfaces en rizières. Les états asiatiques accordent de l'importance à leur autosuffisance mais une fois celle-ci acquise, ils cherchent à diversifier.

D'autres pays deviennent importateurs, tels que la Chine, l'Indonésie ou le Nigéria. Quand les développés supprimeront graduellement leurs subventions, comme ils sont supposés le faire dans le cadre des accords de l'OMC, les prix mondiaux de grains, riz et blé, vont réduire les surplus mondiaux et vont soutenir les prix, améliorant la compétitivité des productions africaines.

Les pays de l'UEMOA et maintenant les pays de la CEDEAO ont fixé des taxes à l'importation très faibles (autour de 10% plus la TVA). A l'instar du Ghana et du Nigéria, l'UEMOA a pourtant envisagé à plusieurs reprises d'augmenter les taxes communes (TEC) pour les denrées qui pourraient être produites localement telles que les céréales. Cette augmentation ne contredit pas les accords de l'OMC dans la mesure où la plupart des pays pauvres peuvent fixer librement leurs taxes à l'importation pour les produits stratégiques. Les bas tarifs actuels ont été imposés par les Programmes d'Ajustement Structurels des années quatre-vingts et quatre-vingt-dix pour compenser les pertes de production induits par les ajustements par des importations bon marché. Maintenant que la plupart des pays concernés sont redevenus solvables, les gouvernements devraient renégocier avec les institutions internationales qui leur ont imposé l'ouverture des frontières. Le Nigéria par exemple a introduit une taxe douanière de 110 % sur les importations de riz, provoquant une chute drastique des importations,

une hausse des prix intérieurs des céréales et une hausse de la production nationale de céréales, y compris celle du riz. Il n'est pas improbable que l'UEMOA remonte ses prélèvements douaniers sur le riz importé dans les prochaines années.

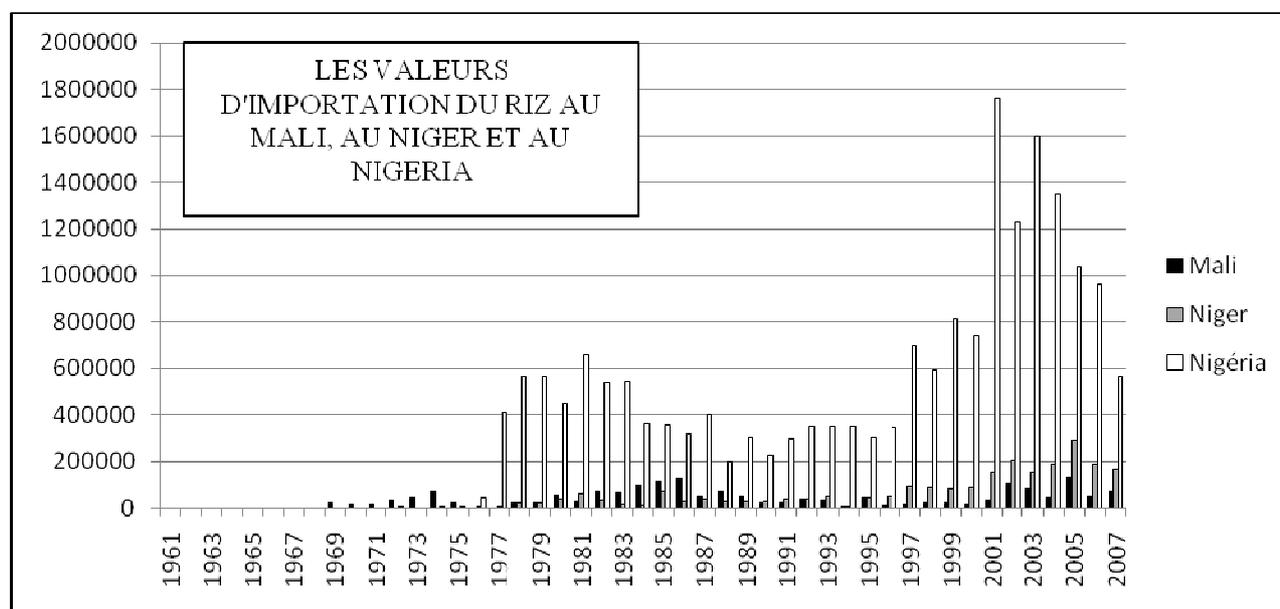


Figure 39: Importation riz (Source Faostat 2009)

L'évolution des importations du riz au Nigeria est fortement régulée par l'Etat qui impose des périodes d'interdiction ou de fortes taxations. Jusqu'en 1976, les importations étaient nulles. Elles se sont amplifiées à partir de 1977, mais on régressé à partir de 1983 pour rester relativement basses jusqu'en 1997. La reprise des importations vers 1997 s'explique par les mesures Ad Hoc instaurées par l'Etat et visant à faire face à la pénurie de l'époque. A partir de 2003, elles subissent une baisse notable. Cette dernière évolution des importations est fortement corrélée aux rendements, aux surfaces exploitées et la consommation dont la combinaison impose aux importations.

Conclusions : politiques d'appui à l'irrigation

L'irrigation consomme une grande partie des budgets agricoles des états de la sous région. Mais ces investissements ont rarement été à la hauteur des espoirs. Un certain nombre de choix politiques font débats. La distribution de petites parcelles à des cultivateurs qui privilégient le pluvial, pose un problème d'investissement en temps sur les parcelles irriguées. L'incertitude foncière est un autre débat important qui a débouché sur des tentatives de sécurisé la tenure. L'appui aux organisations paysannes est important en termes de formation mais les résultats sont décevants. La professionnalisation des métiers de l'eau n'a pas aboutis à la dynamisation souhaitée du secteur. Les donneurs semblent privilégier la petite irrigation individuelle et privée. Par contre, il faudra

probablement soutenir d'avantage les prix. Le contexte mondial se prête probablement à revoir les politiques de soutiens des prix, disparues lors des Plans d'Ajustement Structurel. Dans tous les cas, la désorganisation des filières reste un des principaux handicaps de l'agriculture irriguée.

3.6 Conclusions : une marge de progression importante

Améliorer la productivité de l'eau nécessitera une politique volontariste de réduction des prélèvements dans les périmètres formels, essentiellement au Mali, mais aussi au Niger et au Nigéria. Au Mali le périmètre de L'ON dispose d'une marge de progression importante. Si les organisations paysannes, les autorités et les donateurs arrivent à mettre en place un système de réduction des gaspillages, cela permettrait de tempérer la baisse de débit en aval, baisse qui commence à créer des tensions en aval, notamment dans le delta intérieur du Niger. Les offices riz du Mali sont aussi de grands gaspilleurs d'eau. Leur progressive transformation en périmètre à contrôle total devrait améliorer les rendements, augmenter la surface récoltée et les prélèvements par unité de surface. En terme de numérateur, les rendements du riz et du maraichage dispose d'une forte marge de production qui devrait s'améliorer à mesure que les irrigants et les groupements d'irrigants gagneront en expérience.

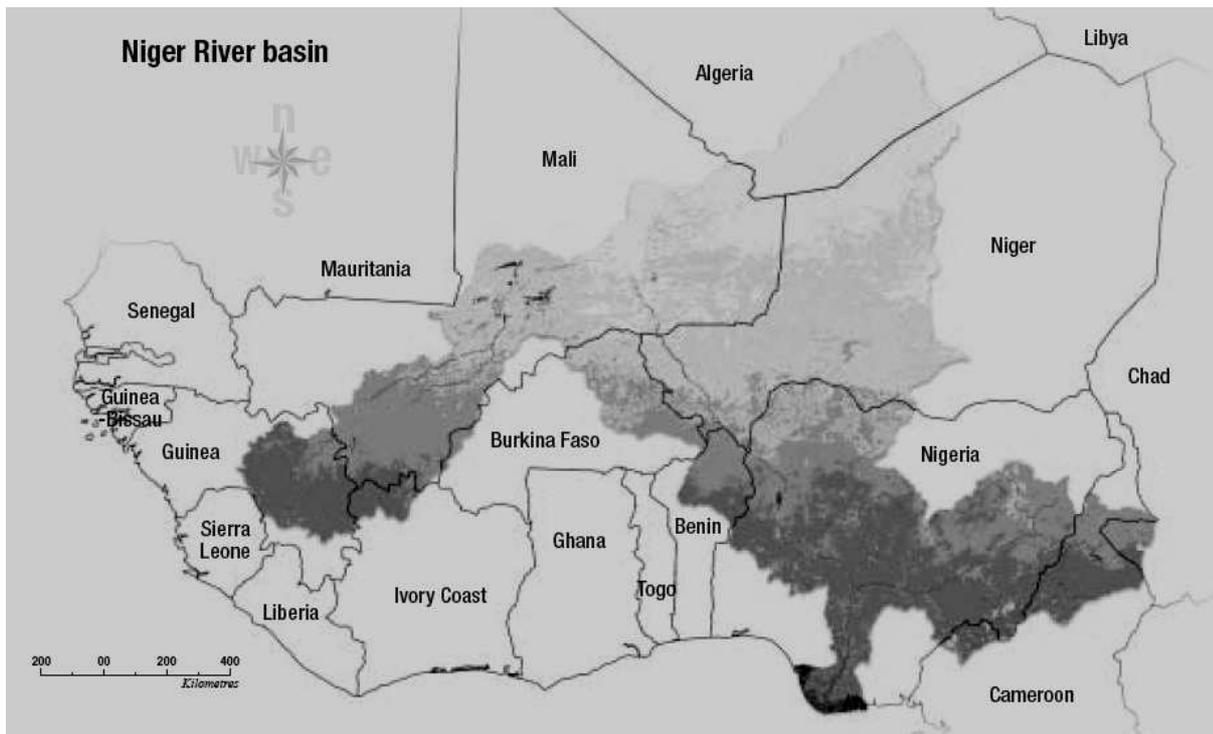
4 LE POTENTIEL D'EXPANSION

4.1 Les plans d'aménagements

4.1.1 Les caractéristiques du bassin

Le bassin du Niger couvre environ 2,2 millions de km², soit 7,5% du continent africain (Davis, 2003). Le fleuve Niger, avec 4 200 km de long, est le troisième plus long fleuve d'Afrique après le Nil et le Congo / Zaïre, et le plus long et le plus grand fleuve en Afrique de l'Ouest.

La source du fleuve Niger est située en Guinée, mais ce pays ne couvre que 4 pour cent du bassin. L'Algérie et le Tchad couvrent ensemble environ 9 pour cent, mais ne contiennent presque pas de ressources en eau renouvelables. Le Mali, le Niger et le Nigéria contiennent le plus grand des surfaces du bassin du Niger (25% chacun). Le Mali et le Niger sont presque entièrement tributaires de fleuve Niger. Les précipitations annuelles moyennes dans le bassin est de 690 mm, avec un maximum de 2845 mm (Tim, 2003). Le suivi de l'écoulement aux stations hydrométriques de Kandadji et Niamey indique que le fleuve transporte annuellement 21,5 milliards de m³ et 28,5 milliards de m³ en moyenne (Banque Mondiale, 2006).



Carte 10: Situation du bassin du Niger (World Bank, 2006)

Le fleuve Niger est considéré comme une chance pour la sous région. En effet, le fleuve aurait bien pu bifurquer plus tôt vers l'océan, au lieu de cela il se dirige vers le nord, traverse le sahel malien et nigérien et rejoint l'océan à 4 200 kilomètres de sa source. Alimenté par les pluies abondantes du Fouta Djalon en Guinée et par le fleuve Bani au Mali et en Côte d'Ivoire, il traverse le delta intérieur du Niger au Mali. Le delta est une zone inondée potentielle de 4 millions d'hectares.

Le bassin dispose d'énormes possibilités pour le développement de l'offre en eau potable et en eau d'assainissement, pour l'agriculture irriguée, la production hydroélectrique, l'élevage, le transport fluvial (Banque mondiale, 2006). La population vivant dans le bassin du Bassin du Niger est estimée en 2004 à 104 millions d'habitants. Le PNUD dans son Rapport Mondial sur le développement humain (2002) projette une population de près de 150 millions d'habitants en 2015.

Le potentiel hydro-agricole est largement sous-exploité. Le potentiel des ouvrages existants serait de 700 000 ha PNUD (1995) mais le potentiel irrigable serait d'au moins 2,5 millions d'ha (Aquistat 2010). En dehors des plaines inondables exploitées traditionnellement sans aménagement (immersion libre, cultures de décrue), ce potentiel hydro-agricole est le plus souvent lié aux aménagements hydroélectriques qui prennent en compte la possibilité d'irriguer des périmètres

aménagés (Awaiss Aboubacar, 2003).

L'agriculture dans le bassin du fleuve Niger pourrait très bien satisfaire la demande croissante de la population des pays sahéliens, même si les consommateurs ont tendance à se tourner vers de nouveaux modes alimentaires à base de riz et/ou de blé. S'il faudra probablement continuer à importer le blé, car difficile à produire dans le sahel, la sous région pourrait produire l'essentiel de sa consommation de riz (Abernethy et al 1985).

4.1.2 Potentiel en terres irrigables

Une comparaison est faite du potentiel estimé pour l'irrigation sur les terres disponibles et les ressources en eau. En outre, les données de 1985 à 1997 (une période de 12 ans), citée par Gleick ont été utilisées pour calculer le taux moyen de développement de l'irrigation dans chaque pays. Comme cette information donne un aperçu important sur la capacité de chaque pays afin de soutenir le développement d'irrigation en termes de taux futurs d'expansion, les pays ont tous été classés selon leur niveau de développement.

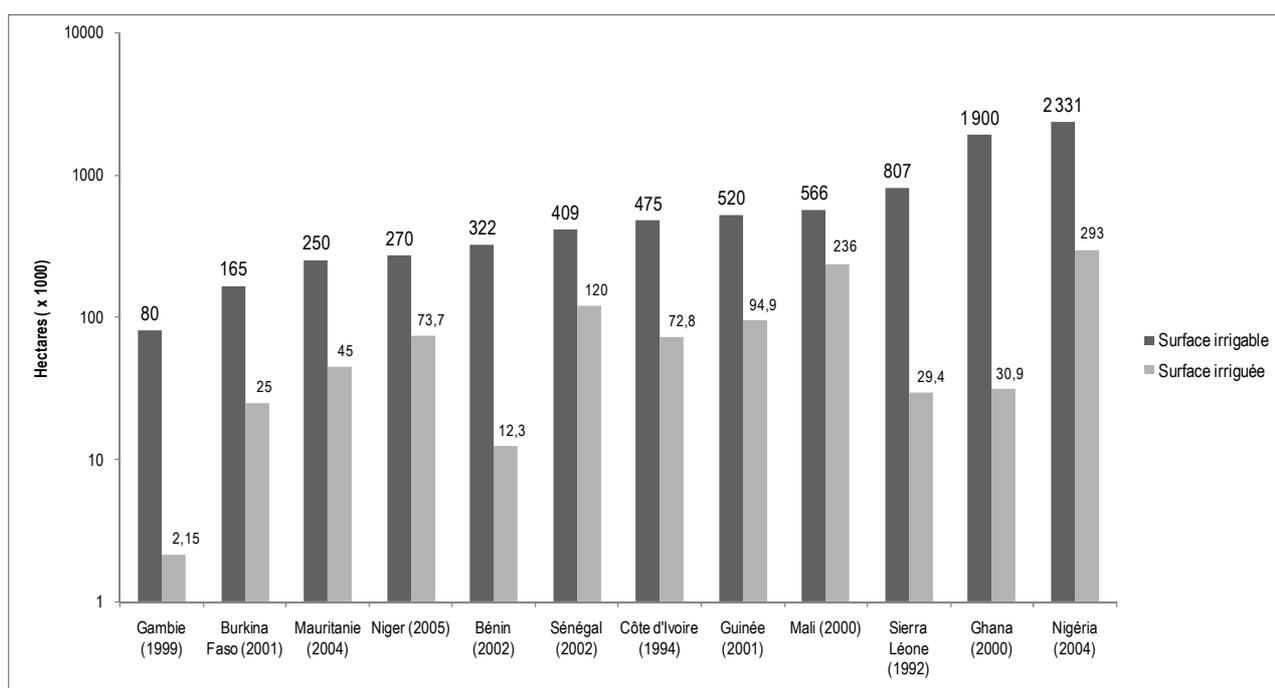


Figure 40: Surface irrigable et irriguée en Afrique de l'Ouest (Source : Données FAO /AQUASTAT)

La surface irrigable est une donnée constante dans le temps. Le Nigéria disposerait d'un potentiel particulièrement important. Les chiffres sur la mise en valeur réelle sont très incertains.

4.1.3 Le Plan d'Action pour le Développement Durable (PADD)

C'est en novembre 1964 que les États riverains du fleuve Niger et de ses affluents, ont créé la Commission du Fleuve Niger (CFN) dont le but était d'encourager, de promouvoir et de coordonner les études et les programmes relatifs aux travaux de mise en valeur des ressources du bassin. Après dix-sept (17) années, les États ont décidé de substituer à la CFN, une autre institution dont les attributions iront au-delà. C'est ainsi qu'en novembre 1980, est née à Faranah (Guinée), l'Autorité du Bassin du Niger (ABN) avec neuf (9) Etats membres que sont : le Burkina, le Bénin, le Cameroun, la Côte d'Ivoire, la Guinée, le Mali, le Niger, le Nigeria, et le Tchad.

C'est une institution active dans le cadre duquel a été élaboré le Plan d'Aménagement pour le Développement Durable de l'Autorité du Bassin du Niger (PADD-ABN). Le PADD est un programme d'investissement pour la réalisation d'infrastructures dans les Etats visant l'amélioration des conditions de vie des populations. Le PADD prévoit la construction de quatre nouveaux grands barrages (Fomi en Guinée, Taoussa au Mali, Kandadji au Niger et Lokodja au Nigeria). Or les trois premiers barrages entraîneraient une réduction de quelques 10% du volume d'eau annuel reçu au Nigeria (Autorité du Bassin du Niger 2002) alors que ce pays a beaucoup investi dans les aménagements hydrauliques (barrages de Kainji et de Jebba), dans les périmètres irrigués, dans le transport fluvial et dans l'approvisionnement en eau des villes.

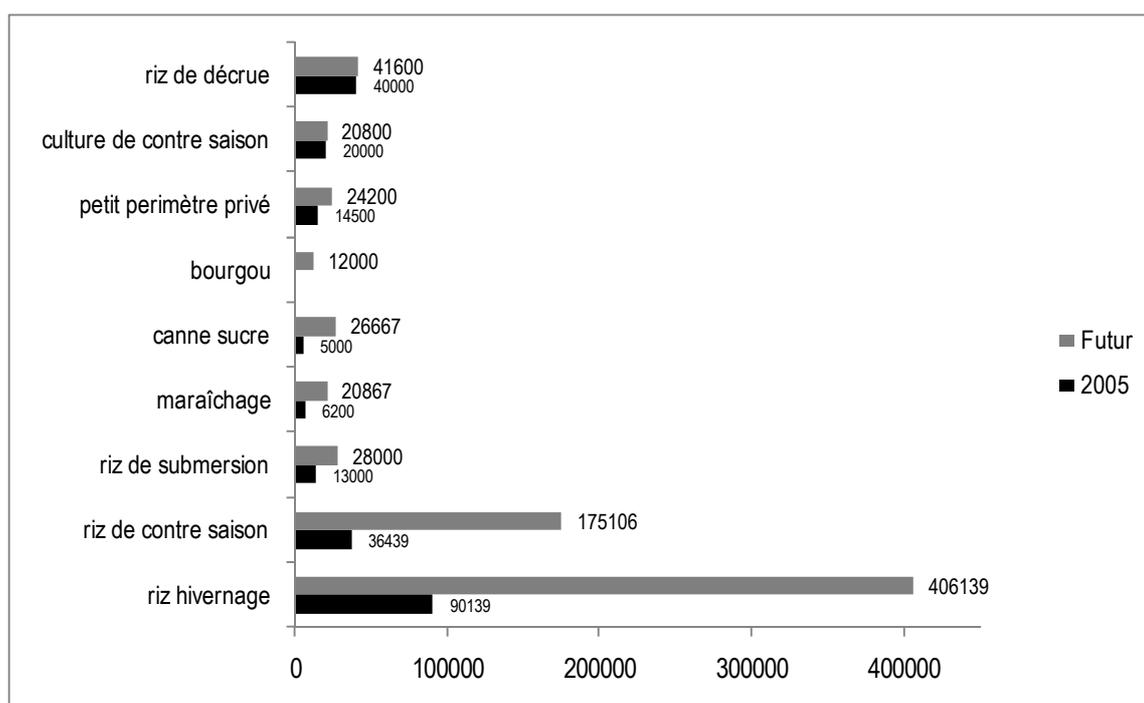


Figure 41: Utilisation de l'eau et précipitations dans les bassins versants africains (en ha)

Source : ABN 2007, PADD

4.1.4 Les investissements sur le BFN

Le fleuve Niger va connaître une série impressionnante d'investissement dans les prochaines années. Le cours d'eau sera en grande partie régulé, ce qui, selon les concepteurs du plan, devrait faciliter sa mise en valeur agricole tout en perturbant la vie des riverains, notamment dans le delta intérieur du Niger. L'hypothèse des planificateurs est que la perturbation initiale dans le régime des crues sera compensée par la sécurisation de l'approvisionnement en eau aux périmètres. Les gains et les pertes de ces investissements sont incertains. Si Wetland estime qu'ils seront probablement négatifs dans le haut Niger, les études de l'ABN évaluent des retours à l'investissement plutôt positifs mais modérés, même en tenant compte du productible hydroélectrique. Les récents succès obtenus à l'Office du Niger et dans les projets fadamas au Nigéria, les bonnes performances des périmètres en double culture au Niger, le développement spectaculaire du maraîchage dans tout le sahel, offrent des arguments aux optimistes. Par contre les déboires des grands aménagements, les diagnostics déprimants sur l'entretien et la gestion des périmètres, les retards dans les réalisations, les problèmes environnementaux, la prise en compte insuffisante des intérêts des communautés riveraines militent pour d'autres approches, plus respectueuses des systèmes agraires existants.

4.1.5 Ouvrages en projet

Une dizaine de grands barrages ont déjà été construits dans le BFN, mais plus de la moitié sont situés au Nigéria et seulement deux barrages significatifs sont situés dans le Sahel : le barrage de Sélingué et le seul de Markala au Mali : Sélingué a peu d'impact sur le fleuve alors que le barrage de Markala détourne une partie croissante du débit vers les plaines irriguées de l'Office du Niger. Plus récemment le seuil de Talo a été construit sur un affluent du Niger avant Mopti. Il dérive un certain volume vers les plaines d'inondations en amont de Djenné.

Si l'irrigation d'hivernage peut encore se développer sans nouveau barrage, le développement de l'irrigation de contre-saison nécessite le stockage d'une partie des débits d'hivernage pour soutenir le débit d'étiage. L'ABN, dans le PADD, prévoit ainsi la construction d'un ensemble d'ouvrages hydrauliques dont 3 grands barrages qui devraient faciliter l'aménagement de près de 300 000 hectares en plus des 100 000 hectares actuels. Ces aménagements auront un impact important sur le delta intérieur et sur l'aval. La conception de ces différentes infrastructures répond à une série de certaines

contraintes qui permettraient d'atteindre les objectifs précis. Ces contraintes sont les suivantes. 1) satisfaction de la demande pour l'AEP et le Cheptel à l'horizon 2025, satisfaction des débits de consigne ou débit minimum d'étiage, 2) recherche, sous ces contraintes, du prélèvement agricole maximal pouvant être satisfait, 3) analyse de l'impact sur le Delta Intérieur, 4) évaluation du productible hydroélectrique et impact sur la navigation

L'irrigation constitue, à la fois, le plus fort consommateur en eau mais aussi un formidable levier de développement par la création de richesse, d'emplois et par l'importance de l'enjeu de sécurité alimentaire. La production d'hydroélectricité constitue un pilier du développement et de la protection des écosystèmes (en réduisant la pression sur la ressource bois. L'hydroélectricité constitue aussi un facteur d'intégration et de stabilité régionale ainsi qu'un fort potentiel de « monnaie d'échange » entre les Etats au titre du partage des bénéfices. Les experts ont calculé certains paramètres tels que la Valeur Ajouté Nette et le Taux Interne de Rentabilité en comparant les différents scénarios avec la Situation Actuelle (SA).

Tableau 19 : Résultats des combinaisons d'aménagements

Combinaison d'aménagements	SA	A	FO	TA-KD	FO-TA	FO-KD	FO-TA-KD
Nœud de l'arbre des chemins possibles	SA	A	B	G	C1	C2	D
Niveau d'iso-satisfaction atteint	1	2	4	2 à l'amont de TA / 8 à l'aval	6	5 à l'amont de KD / 8 à l'aval	8
AEP/Cheptel horizon 2025	Satisfait	Satisfait	Satisfait	Satisfait	Satisfait	Satisfait	Satisfait
Superficie irriguée (milliers ha) sur l'artère Niger	239	396	535	678	717	653	879
Production hydroélectrique totale moyenne (GWh/an)	5 070	5 028	5 230	4 505	4 677	5 390	4 623
Respect des débits environnementaux	non (aval DIN)	non (aval DIN)	oui	non (aval DIN) / oui	oui	oui	oui
Réduction de surface dans le delta intérieur (% en moyenne par rapport à SA)	0%	4%	11%	4%	11%	11%	11%
VAN moyenne (en millions de FCFA / an)	0	- 1000	33 000	- 1 000	25 000	48 000	39 000
TIR	0	2,8 %	7,9 %	3,2 %	6,4 %	8,8 %	6,9 %

SA : Situation actuelle, A : Situation actuelle avec optimisation de la gestion du barrage de Sélingué, FO : Fomi, TA-KD : Taoussa + Kandadji, FO-TA : Fomi + Taoussa, FO-TA-KD : Fomi + Taoussa + Kandadji.

Sur la base de ces résultats, le schéma d'aménagement, du point de vue des ouvrages structurants, suit quatre étapes. **1)** stockage d'eau en amont des principales artères. Cette étape se traduit par la réalisation d'un ouvrage structurant sur l'artère Niger : le barrage de Fomi. Cet ouvrage permettra de maximiser le développement de l'amont du DIN tout en satisfaisant une partie des besoins aval. **2)** Gestion du barrage de Fomi et augmentation des superficies agricoles. La gestion du barrage de Fomi peut permettre d'atteindre le niveau d'iso-satisfaction 4 des superficies irriguées. Des mesures compensatoires devront être prises sur le DIN. **3)** aménager un ou deux autres barrages sur l'artère Niger (Kandadji et/ou Taoussa). Le choix de lancement de cette étape doit être guidé par la volonté d'un développement hydro-agricole au-delà de ce que la deuxième étape permet, c'est-à-dire une fois que les potentialités auront été effectivement valorisées et qu'un manque d'eau est prévisible. Elle doit prendre en compte l'impact sur la production d'hydroélectricité à l'échelle globale du bassin. Par ailleurs comme l'exploitation des deux barrages (Fomi et Kandadji ou Taoussa) conduit à une baisse de production hydroélectrique des barrages existants au Nigeria, cette étape doit être complétée par le développement d'ouvrage à but principal de production d'hydroélectricité au Nigéria, notamment dans les bassins de la Bénoué et de la Kaduna. **4)** faisabilité de nouveaux aménagements de stockage. A ce stade, l'étude de la faisabilité de nouveaux ouvrages de stockage devra être menée, au cas où les besoins en eau le justifieraient (très haut niveau d'équipement hydro-agricole) et que les impacts associés soient acceptables au regard de l'expérience des ouvrages déjà réalisés. A priori, la partie en amont du DIN ne devrait pas être concernée à cause de l'impact identifié sur le DIN, sauf si des éléments nouveaux d'ici là permettraient de remettre en cause les conclusions actuelles. A l'inverse, l'artère Bénoué possède un potentiel considérable d'aménagement à étudier.

4.1.5.1 Le barrage de Fomi

Selon l'étude du PADD, la construction du barrage de Fomi va réduire la superficie inondée du Delta Intérieur de 10 à 14 % en moyenne et de 23 à 26 % pour la fréquence décennale. Elle va aussi réduire la production de riz dans la zone du delta de 17 à 22 % en moyenne et de 51 à 56 % pour la fréquence décennale. Le barrage de FOMI pourra satisfaire les débits environnementaux sur l'artère Niger, à l'amont et à l'aval du delta, tout en permettant un développement de l'irrigation jusqu'au niveau 4. En effet, dans l'élaboration du PADD, les experts ont définis des paliers d'expansion économique en combinant différents scénarios. Ces niveaux sont pondérés de 1 à 7. L'irrigation pourrait donc se développer de Guinée jusqu'au Niger comme le montre la figure suivante. Nous avons la localisation du barrage et en vert les périmètres irrigués.

Tableau 20 : Scénario avec construction de Fomi seul : Source (PADD, 2007)

	1	2	3	4	5	6	7	8
	actuelle (ha)	2	3	4	5	6	7	Horizon max (ha)
périmètres liés à Fomi								
riz hivernage	-	-	500	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000
plaines avec maraîchage	-	-	1 700	3 300	5 000	6 700	8 300	10 000
Périmètres Office du Niger								
riz hivernage	77 000	223 667	235 900	248 100	260 300	272 600	284 800	297 000
riz contre-saison	7 700	7 700	18 800	29 900	41 000	52 100	63 300	74 367
maraîchage	6 000	6 000	8 400	10 900	13 300	15 800	18 200	20 667
canne à sucre	5 000	10 000	12 800	15 600	18 300	21 100	23 900	26 667
périmètres amont Taoussa								
MT riz hivernage	3 600	3 600	6 300	8 900	11 600	14 300	16 900	19 600
MT contre-saison	-	-	1 600	3 200	4 800	6 400	8 000	9 600
submersion contrôlée	29 000	29 000	39 700	50 300	61 000	71 700	82 300	93 000
bourgoutière	-	-	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
périmètres aval Taoussa								
MT riz hivernage	600	600	6 600	12 600	18 600	24 600	30 600	36 600
MT contre-saison	-	-	3 600	7 200	10 800	14 400	18 000	21 600
submersion contrôlée	13 000	13 000	15 500	18 000	20 500	23 000	25 500	28 000
bourgoutière	-	-	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
périmètres liés à Kandadji								
riz hivernage	-	-	5 000	10 000	15 000	20 000	25 000	30 000
contre-saison	-	-	5 000	10 000	15 000	20 000	25 000	30 000
Niger MT								
riz double culture	8 439	8 439	9 100	9 800	10 400	11 100	11 800	12 439
maraîchage	200	200	200	200	200	200	200	200
Niger Petits Périmètres Privés	14 500	14 500	16 100	17 700	19 400	21 000	22 600	24 200
Niger Périmètres CS MT	20 000	20 000	20 100	20 300	20 400	20 500	20 700	20 800
Niger Périmètres CS Décru	40 000	40 000	40 300	40 500	40 800	41 100	41 300	41 600
Bénin MT								
riz hivernage	500	500	2 200	3 800	5 500	7 200	8 800	10 500
contre-saison	300	500	1 500	2 400	3 400	4 400	5 300	6 300

La construction du seul barrage de Fomi satisfait les débits environnementaux et l'atteinte du niveau 4.

4.1.5.2 Le barrage de Taoussa

Le barrage de Taoussa, situé au Mali, permettrait de poursuivre le développement hydroagricole mais il réduit la production hydroélectrique à l'échelle de l'artère Niger car il entrainerait une très forte évaporation au niveau du plan d'eau : 18% du flux pour l'année décennale sèche. Les barrages de Taoussa et Fomi utilisés à leur maximum permettraient d'atteindre un nouveau palier d'expansion de l'irrigation.

Tableau 21 : Scénario avec construction de Fomi et Taoussa : Source (PADD, 2007)

	1	2	3	4	5	6	7	8
	actuelle (ha)	2	3	4	5	6	7	Horizon max (ha)
périmètres liés à Fomi								
riz hivernage	-	-	500	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000
plaines avec maraîchage	-	-	1 700	3 300	5 000	6 700	8 300	10 000
Périmètres Office du Niger								
riz hivernage	77 000	223 667	235 900	248 100	260 300	272 600	284 800	297 000
riz contre-saison	7 700	7 700	18 800	29 900	41 000	52 100	63 300	74 367
maraîchage	6 000	6 000	8 400	10 900	13 300	15 800	18 200	20 667
canne à sucre	5 000	10 000	12 800	15 600	18 300	21 100	23 900	26 667
périmètres amont Taoussa								
MT riz hivernage	3 600	3 600	6 300	8 900	11 600	14 300	16 900	19 600
MT contre-saison	-	-	1 600	3 200	4 800	6 400	8 000	9 600
submersion contrôlée	29 000	29 000	39 700	50 300	61 000	71 700	82 300	93 000
bourgoutière	-	-	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
périmètres aval Taoussa								
MT riz hivernage	600	600	6 600	12 600	18 600	24 600	30 600	36 600
MT contre-saison	-	-	3 600	7 200	10 800	14 400	18 000	21 600
submersion contrôlée	13 000	13 000	15 500	18 000	20 500	23 000	25 500	28 000
bourgoutière	-	-	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
périmètres liés à Kandadji								
riz hivernage	-	-	5 000	10 000	15 000	20 000	25 000	30 000
contre-saison	-	-	5 000	10 000	15 000	20 000	25 000	30 000
Niger MT								
riz double culture	8 439	8 439	9 100	9 800	10 400	11 100	11 800	12 439
maraîchage	200	200	200	200	200	200	200	200
Niger Petits Périmètres Privés	14 500	14 500	16 100	17 700	19 400	21 000	22 600	24 200
Niger Périmètres CS MT	20 000	20 000	20 100	20 300	20 400	20 500	20 700	20 800
Niger Périmètres CS Décrue	40 000	40 000	40 300	40 500	40 800	41 100	41 300	41 600
Bénin MT								
riz hivernage	500	500	2 200	3 800	5 500	7 200	8 800	10 500
contre-saison	300	500	1 500	2 400	3 400	4 400	5 300	6 300

4.1.5.3 Le barrage de Kandadji

La construction du barrage de Kandadji, au Niger, en même temps que celui de Fomi présente d'autres avantages. Il permet non seulement d'atteindre les débits minimum environnementaux sur le reste de l'artère Niger, mais aussi son impact sur l'hydrologie du cours d'eau est moindre que Taoussa. Le niveau d'extension des surfaces qu'on pourrait atteindre est conséquent.

Tableau 22: Scénario avec construction de Kandadji : Source (PADD, 2007)

	1	2	3	4	5	6	7	8
	actuelle (ha)	2	3	4	5	6	7	Horizon max (ha)
périmètres liés à Fomi								
riz hivernage	-	-	500	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000
plaines avec maraîchage	-	-	1 700	3 300	5 000	6 700	8 300	10 000
Périmètres Office du Niger								
riz hivernage	77 000	223 667	235 900	248 100	260 300	272 600	284 800	297 000
riz contre-saison	7 700	7 700	18 800	29 900	41 000	52 100	63 300	74 367
maraîchage	6 000	6 000	8 400	10 900	13 300	15 800	18 200	20 667
canne à sucre	5 000	10 000	12 800	15 600	18 300	21 100	23 900	26 667
périmètres amont Taoussa								
MT riz hivernage	3 600	3 600	6 300	8 900	11 600	14 300	16 900	19 600
MT contre-saison	-	-	1 600	3 200	4 800	6 400	8 000	9 600
submersion contrôlée	29 000	29 000	39 700	50 300	61 000	71 700	82 300	93 000
bourgoutière	-	-	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
périmètres aval Taoussa								
MT riz hivernage	600	600	6 600	12 600	18 600	24 600	30 600	36 600
MT contre-saison	-	-	3 600	7 200	10 800	14 400	18 000	21 600
submersion contrôlée	13 000	13 000	15 500	18 000	20 500	23 000	25 500	28 000
bourgoutière	-	-	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
périmètres liés à Kandadji								
riz hivernage	-	-	5 000	10 000	15 000	20 000	25 000	30 000
contre-saison	-	-	5 000	10 000	15 000	20 000	25 000	30 000
Niger MT								
riz double culture	8 439	8 439	9 100	9 800	10 400	11 100	11 800	12 439
maraîchage	200	200	200	200	200	200	200	200
Niger Petits Périmètres Privés								
Niger Périmètres CS MT	20 000	20 000	20 100	20 300	20 400	20 500	20 700	20 800
Niger Périmètres CS Décru	40 000	40 000	40 300	40 500	40 800	41 100	41 300	41 600
Bénin MT								
riz hivernage	500	500	2 200	3 800	5 500	7 200	8 800	10 500
contre-saison	300	500	1 500	2 400	3 400	4 400	5 300	6 300

Impact de la construction des barrages Fomi, Taoussa et Kandadji

La construction simultanée des trois barrages permet d'atteindre le l'expansion maximum, comme le montre le tableau suivant :

Tableau 23 : Scénario avec construction de Fomi, Taoussa et Kandadji : Source (PADD, 2007)

	1	2	3	4	5	6	7	8
	actuelle (ha)	2	3	4	5	6	7	horizon max (ha)
périmètres liés à Fomi								
riz hivernage	-	-	500	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000
plaines avec maraîchage	-	-	1 700	3 300	5 000	6 700	8 300	10 000
Périmètres Office du Niger								
riz hivernage	77 000	223 667	235 900	248 100	260 300	272 600	284 800	297 000
riz contre-saison	7 700	7 700	18 800	29 900	41 000	52 100	63 300	74 367
maraîchage	6 000	6 000	8 400	10 900	13 300	15 800	18 200	20 667
canne à sucre	5 000	10 000	12 800	15 600	18 300	21 100	23 900	26 667
périmètres amont Taoussa								
MT riz hivernage	3 600	3 600	6 300	8 900	11 600	14 300	16 900	19 600
MT contre-saison	-	-	1 600	3 200	4 800	6 400	8 000	9 600
submersion contrôlée	29 000	29 000	39 700	50 300	61 000	71 700	82 300	93 000
bourgoutière	-	-	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
périmètres aval Taoussa								
MT riz hivernage	600	600	6 600	12 600	18 600	24 600	30 600	36 600
MT contre-saison	-	-	3 600	7 200	10 800	14 400	18 000	21 600
submersion contrôlée	13 000	13 000	15 500	18 000	20 500	23 000	25 500	28 000
bourgoutière	-	-	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
périmètres liés à Kandadji								
riz hivernage	-	-	5 000	10 000	15 000	20 000	25 000	30 000
contre-saison	-	-	5 000	10 000	15 000	20 000	25 000	30 000
Niger MT								
riz double culture	8 439	8 439	9 100	9 800	10 400	11 100	11 800	12 439
maraîchage	200	200	200	200	200	200	200	200
Niger Petits Périmètres Privés	14 500	14 500	16 100	17 700	19 400	21 000	22 600	24 200
Niger Périmètres CS MT	20 000	20 000	20 100	20 300	20 400	20 500	20 700	20 800
Niger Périmètres CS Décrue	40 000	40 000	40 300	40 500	40 800	41 100	41 300	41 600
Bénin MT								
riz hivernage	500	500	2 200	3 800	5 500	7 200	8 800	10 500
contre-saison	300	500	1 500	2 400	3 400	4 400	5 300	6 300

4.2 Le potentiel de l'ON dans le delta mort

Le Delta Mort est une ancienne zone d'épandage du fleuve qui s'étend sur environ 250 km le long de la rive gauche du fleuve Niger, à partir du barrage de Markala, et couvre une surface d'environ 1 million d'hectares.

4.2.1 Les périmètres existants

Le delta mort au Mali est peu à peu colonisé par les casiers de l'Office du Niger (ON). Le périmètre de l'ON 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. L'aménagement hydro agricole est constitué d'un réseau hiérarchisé 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 est rendue possible grâce à la remise en eau d'anciens défluent du fleuve Niger (le *fala* 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'amené, et de trois systèmes de distribution : le système du Sahel (zones de Niono, Molodo, N'Débougou et Kouroumari), le système du Macina (zone du Macina) et le système Costes-Ongoïba.

Actuellement, seuls les systèmes du Kala Supérieur, du Kala Inférieur, du Kouroumari et du

Macina sont partiellement aménagés. L'ON couvre aujourd'hui quelques 65 000 hectares casiers de rizières, de cultures maraîchères et de la canne à sucre.

L'Office du Niger a beaucoup déçu depuis sa création dans les années 30 avec une production est faible et un système désorganisé. Aujourd'hui, les choses se sont améliorées, depuis que la gestion de l'Office a été remise en partie aux groupements villageois.

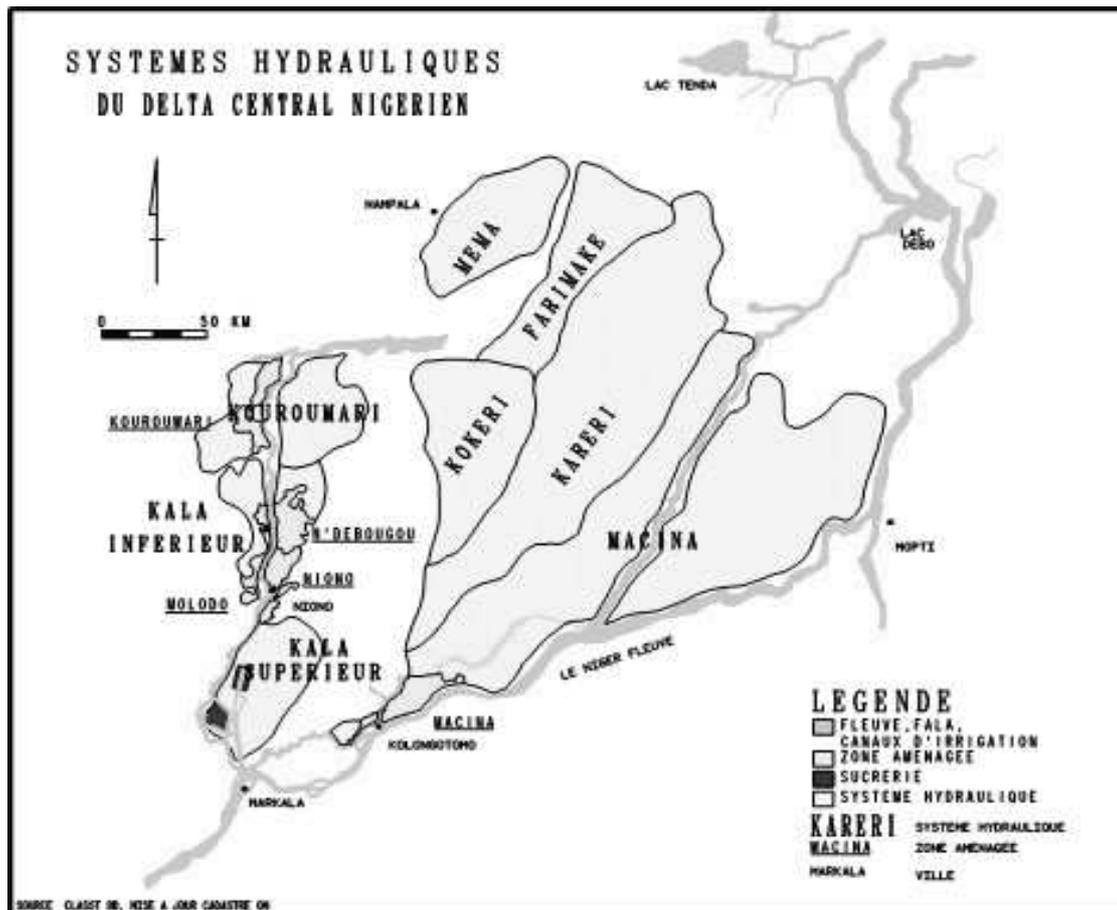


Figure 42: Structure hydraulique et hydrologique des huit systèmes hydrauliques de l'Office du Niger.

4.2.2 Les plans d'aménagement

La zone possible d'expansion de l' 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).

La figure 41 montre ce qui est aménagé et ce que les planificateurs maliens envisagent. Les surfaces en jaunes vifs sont les surfaces actuelles. Les surfaces envisagées en jaune claires montrent l'ampleur des ambitions pour la région. L'expansion vers l'Est inclue presque la moitié du delta intérieur, qui est pourtant une zone protégée Ramsar. Si les modalités d'une telle expansion restent à préciser, le delta intérieur est en voie de colonisation par les riziculteurs, notamment par l'extension des périmètres à submersion contrôlée dans la zone de Tenenkou à l'est de la ville de Macina.

La Lybie a investis récemment dans l'aménagement de 100 000 hectares alors que la CEDEAO envisage la mise en valeur d'une surface similaire dans le DIN (Cotula et al 2009).

Avec le barrage de Fomi, les experts de l'ABN estiment qu'on pourrait aménager 400 000 ha de rizières dont une bonne partie en double culture. La culture du riz qui consomme à l'ON plus de 20 000 m³ par hectare prélèverait ainsi une masse considérable du débit du fleuve, réduisant les utilisations possibles en aval, notamment dans le DIN.

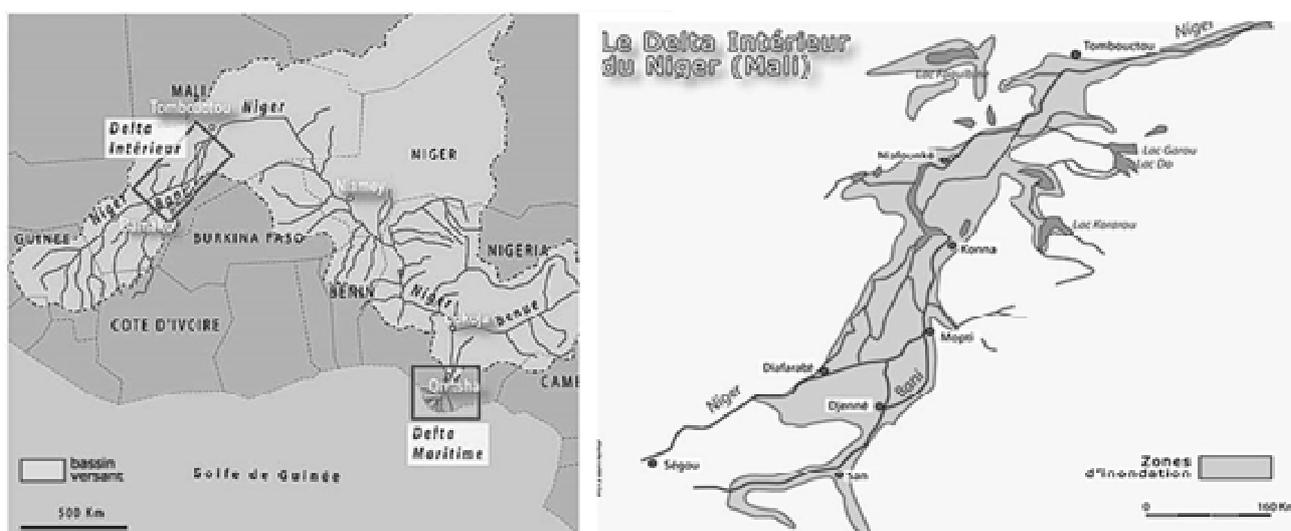
4.2.3 Conclusions : L'ON en pleine expansion

Les possibilités d'extension de l'irrigation au Mali, ont fait rêver des générations de planificateurs. Les réalisations sont restées modestes les récentes expansions et les plans annoncés laissent présager un avenir prometteur. Par contre le delta intérieur est en crise à cause de la baisse de la crue et une perturbation des arrangements traditionnels entre éleveurs, pêcheurs et riziculteurs traditionnels. Les plan d'expansion de l'ON empiète d'ailleurs sur toute la moitié sud Ouest du DIN.

Les objectifs de l'Etat malien, bien que peu explicites, sont probablement de favoriser un assèchement progressif du delta et de compenser ce changement par le développement de l'irrigation intensive. Pour certains observateurs, la riziculture intensive permettrait en fait de réduire la pression des riziculteurs traditionnels sur les bourgoutières et sur les pâturages en général (Marie et al 2007). Les bourgoutières produisent de 20 à 30 tonnes de matière sèche qui sont disponibles quand les autres fourrages du sahel ont pratiquement disparu. L'élevage du delta est très rentable et intéressant pour la balance commerciale du pays et doit être préservé. L'option de maintenir les crues artificielles à partir de Sélingué et Fomi est souhaitable pour permettre la coexistence de l'élevage, de la culture de décrue, de la submersion libre et contrôlée, de la pêche, de la biodiversité et du tourisme.

4.3 Le potentiel du Delta Intérieur du Niger

Situé en aval de l'ON, les Delta Intérieur du Niger (DIN), avec ses 40 000 km² inondables (DNCN, 2004) est la plus vaste zone humide continentale d'Afrique de l'Ouest, et par la taille la seconde pour l'Afrique après le delta de l'Okavango au Botswana. Il est situé au centre du Mali où il désigne un ensemble de plaines inondables, de lacs, de mares et de chenaux alimentés par le fleuve Niger. C'est un écosystème complexe. Les limites du delta sont définies par l'extension des eaux de crue, limitée à l'est, par les reliefs du plateau de Bandiagara, à l'ouest, par le "delta mort", zone de dépôts anciens au dessus de l'actuel delta et enfin au nord, par une série de dunes (Gallais, 1967).



Carte 11: Localisation du Delta Intérieur du Niger

4.3.1 Caractéristiques de la zone

Le DIN se situe aussi à cheval entre la zone sahélienne et la zone soudanienne. Le remplacement d'une communauté végétale par une autre dépend principalement de la profondeur maximale de l'eau et de la durée de l'inondation (Wuillot 1994). On distingue ainsi quatre zones principales : 1) la zone inondée de 3-4 m de profondeur pendant 6 à 8 mois est le biotope des bougoutières dominées par *Echinochloa stagnina*. 2) Les mares à nénuphars se développent sur de petites surfaces, pour des hauteurs d'eau allant de 1,2 et 1,8 m pour des durées d'inondation d'environ 5 mois. 3) la zone inondée de moins de 1m de profondeur, pendant 4 mois environ est la zone des *Oryzaies* où le riz sauvage vivace domine avec un recouvrement supérieur à 75% et qui sert de pâturage en saison sèche. Ces zones sont favorables à l'aménagement des casiers rizicoles. 4) La zone rarement inondée reçoit l'influence de la zone inondée avec une hauteur d'eau comprise de moins de 0,6 m et une durée

d'inondation ne dépassant pas 2 mois. C'est la zone des Vétiveraies qui forment des touffes plus ou moins denses et dont le recouvrement du sol varie entre 50 et 100% (IUCN, 2002).

Hormis, les plaines alluviales et les bas-fonds, les sols sont en majorité latéritiques souvent indurés. Les types de sols varient selon la toposéquence : sols à minéraux bruts ; sols sablo - limoneux battants en saison pluvieuse et dur en saison sèche (sols ferrugineux ; sols argilo-limoneux ; sols argileux de couleur noire (vertisols). Les sols hydromorphes et les vertisols caractérisés par l'excès d'eau lié à l'engorgement temporaire ou permanent d'une partie de leur profil dominant dans les dépressions et cuvettes.

La région du Delta Intérieur est drainée par le fleuve Niger et le Bani. Le DIN commence en amont, dans les plaines et dépressions où les crues du Niger et du Bani communiquent (au sud de Mopti), et se termine en aval à Korioumé où tous les écoulements se sont rejoints. La surface du "pseudo bassin versant" couvre entre 80 000 km² (Brunet-Moret 1986) et 74 000 km² (Bamba *et al.* 1997). Les superficies inondées ne sont pas les mêmes sur les différentes parties du Delta. L'inondation en amont de Mopti ou « haut delta » était estimée par Gallais (1967) à 7 200 km² dont 684 km² exondés en permanence. Avec le contexte hydroclimatique de ces dernières décennies, Poncet au début des années quatre-vingt-dix (1994) évaluait les surfaces régulièrement inondées dans le haut delta à seulement 1500 km². Depuis quelques années les crues sont à nouveau hautes et les inondées sont également plus étendues que dans les années de sécheresse.

Le "delta moyen" (zones des grandes plaines), et le "bas delta" (zone des dépôts alluviaux et de colmatage à proximité des lacs centraux) représente la majeure partie des surfaces inondées : elles sont estimées à 19 400 km² par Gallais (1967), et à 8 750 km² par Poncet (1994) pour la période d'inondation restreinte. Une estimation de 14 000 km² pour le seul delta des plaines est également avancée par Chamard *et al.* (1997). Le rôle de cette zone va donc être prédominant dans le bilan global. Aucune valeur n'est donnée pour la deuxième partie du delta en aval des grands lacs. Cette zone inondée ne représente qu'une faible part de l'inondation annuelle. Le cycle hydrologique du Delta Intérieur du Niger s'étend de juillet à juin. Entre juillet et octobre, la crue monte en amont pour atteindre son maximum en novembre-décembre.

La décrue s'étend de janvier à juin. L'hydrologie du DIN a fortement variée avec l'ampleur des crues annuelles du fleuve Niger (Poncet, 1994). Avec la sécheresse, les aires inondées sont devenues discontinues, inégalement réparties dans l'espace et variables dans le temps. La hauteur de la crue a une incidence d'une part sur la biomasse et les utilisations de cette biomasse. Les précipitations dans

le delta jouent un faible rôle sur la crue. L'importance des pluies décroît du sud vers le nord, 550 mm à Mopti pour 320 mm à Niafunké. La saison des pluies dure de juin à septembre et la variabilité interannuelle du volume des pluies est très forte. L'inondation est le phénomène majeur du delta, l'eau est déversée par le Niger et le Bani avec un module moyen de 1 500 m³/s au début d'Octobre. Les eaux proviennent des grands bassins versants situés en amont dans les zones soudaniennes. Sur les 70 milliards de m³ annuels en transit dans le delta, il a été calculé qu'il n'en ressort que 50%. Ce phénomène est dû à l'évaporation, à l'évapotranspiration des végétaux et à l'infiltration (DNCN, 2004).

Les précipitations annuelles le long des réservoirs du Niger sont assez variables et influent sur le débit d'eau qui peut osciller entre 2 000 et 10 000 m³ par seconde durant le mois le plus pluvieux. Le niveau d'eau dans le Delta varie donc lui aussi, entre 4,5 et 7 mètres suivant les années. La superficie du Delta inondée varie alors suivant les années entre 10 000 et 45 000 Km² (DNCN, 2004).

4.3.2 Les populations

Près d'un million de personnes vit aujourd'hui dans le delta et sur ses rives. Depuis des siècles, trois groupes sociaux, de taille à peu près égale, se partagent le delta. Les éleveurs gèrent les pâturages lors de la décrue, les pêcheurs les bras d'eaux et les marres, et les riziculteurs leurs rizières traditionnelles, essentiellement dans les cuvettes. Le royaume peulh du Macina à travers la Dina, a imposé un ensemble complexe de règles d'utilisation de l'espace, encore en partie en vigueur aujourd'hui. Mais ces règles d'utilisation de l'espace sont remises en cause par un nombre croissant d'utilisateurs, tels que les éleveurs étrangers au delta et les riziculteurs qui étendent leurs rizières sur les pâturages traditionnels.

La baisse de la crue des années 1970 et 1980 due à la baisse de la pluviosité dans le sahel, a considérablement réduit les surfaces inondées du delta. Ces groupes spécialisés chacun dans ses activités traditionnelles sont en concurrence sur les espaces fortement réduits. Cette situation engendre hélas dans le delta des conflits ouverts malgré la complémentarité des activités pratiquées.

4.3.3 La riziculture dans le DIN

La submersion contrôlée pratiqués sur de grandes surfaces dans le DIN rencontre des problèmes importants. Sur les 35 000 hectares aménagés seul une petite partie est récoltée chaque année même les années où le périmètre est presque entièrement inondé. Sur le graphique on voit que les surfaces semées sont régulières d'année en année. Celles qui germent sont déjà nettement plus réduites, ce qui

vient de la grande irrégularité des pluies. Une fois germée, il n'y a plus beaucoup de surfaces perdues jusqu'à la récolte. Selon les rapports officiels, l'abandon de la moitié du périmètre est dû au désintéressement des propriétaires plus qu'à un défaut de la crue. La plupart des riziculteurs mettent très peu d'intrants sur leurs rizières.

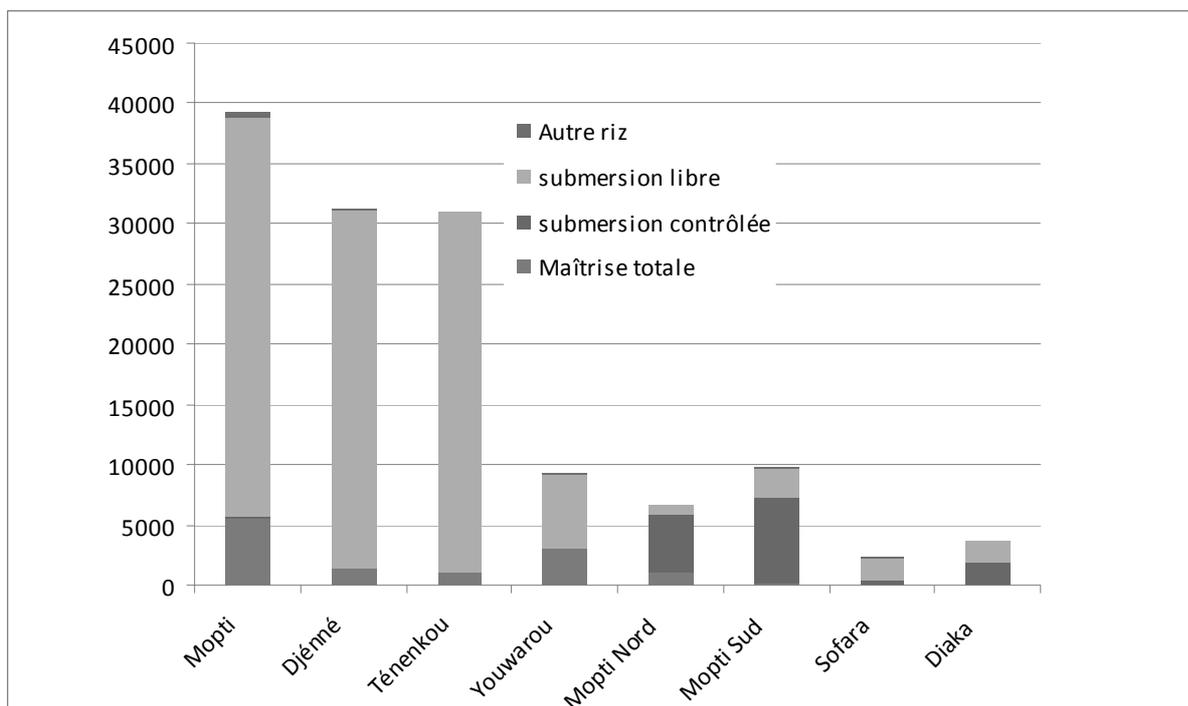


Figure 43: Distribution des surfaces types d'irrigation dans le DIN

Dans le DIN la submersion contrôlée domine largement avec quelques 100 000 hectares, alors que la submersion libre atteindrait quelques 15 000 hectares effectifs, et que la maîtrise totale avoisine 10 000 hectares, sous forme de très petits périmètres situés le plus souvent en bordure du DIN.

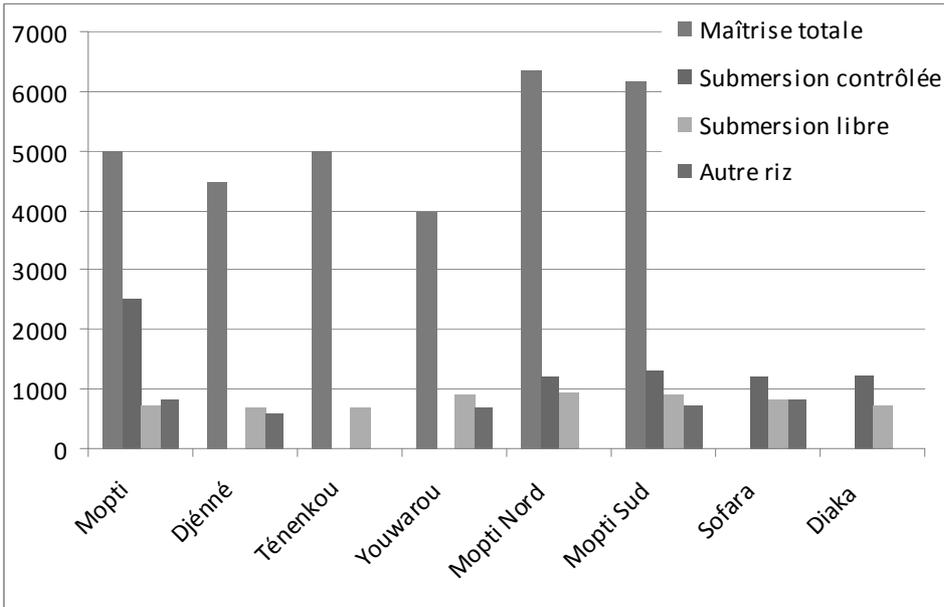


Figure 44: Rendements du riz dans le DIN en 2006

La maîtrise totale permet des rendements très nettement supérieurs aux techniques traditionnelles. Les rendements de riz dépassent 4 tonnes partout et même 6 tonnes à Mopti. Les rendements des rizières en submersion libre sont aussi très inférieurs à ceux du riz en submersion contrôlée. Par ailleurs la plupart des périmètres font aussi un peu de maraîchage en contresaison.

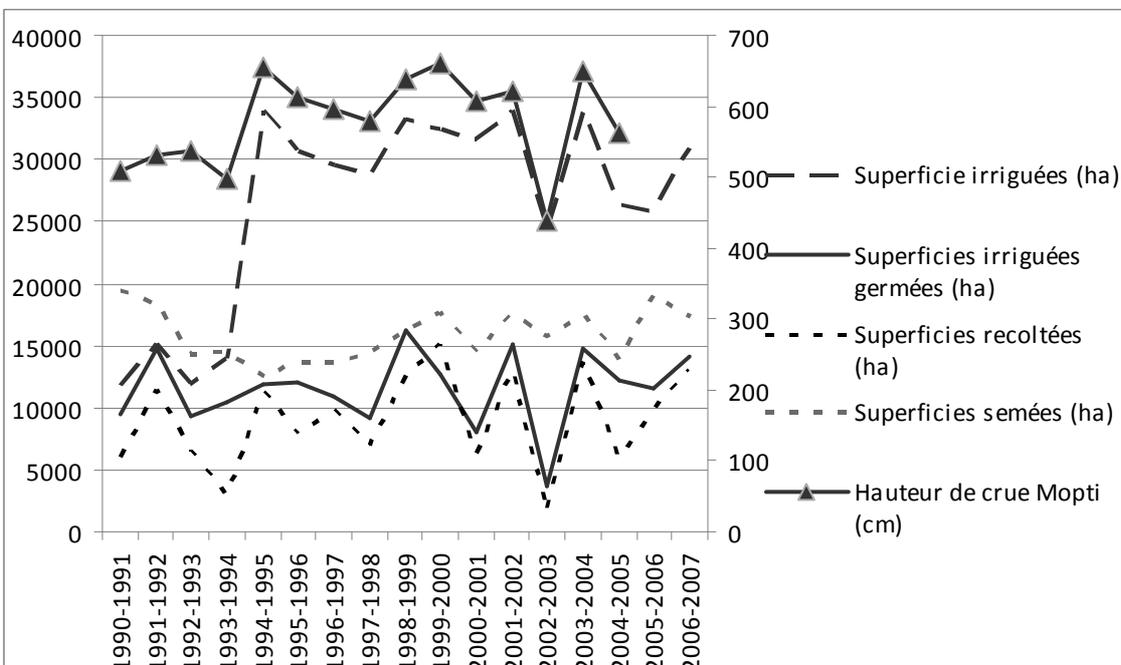


Figure 45: Hauteur de crue est surface récoltée à l'opération riz Mopti dans le DIN

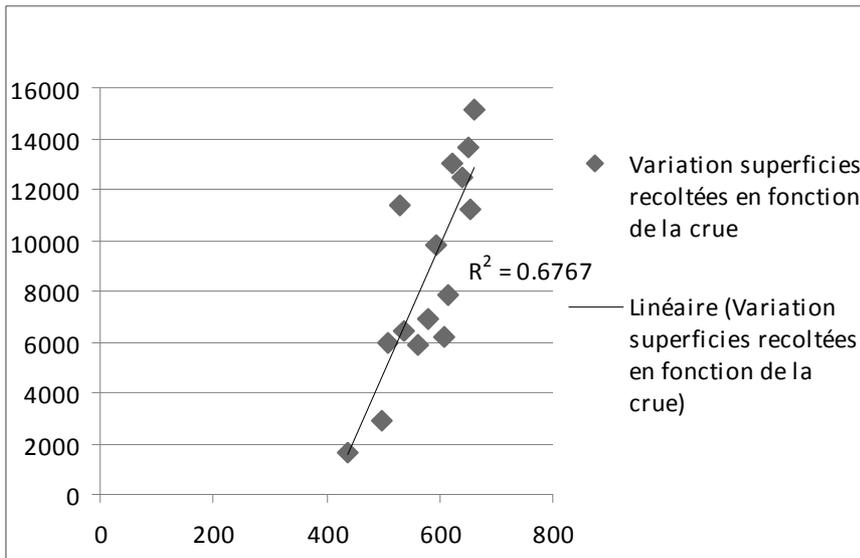


Figure 46: Relation entre crue et surface récoltée à l'office riz Mopti

La corrélation élevée entre la pluie et les inondations suggère que le contrôle de la crue est faible. Les surfaces semées sont très régulières d'une année à l'autre mais les surfaces récoltées sont liées à l'inondation des rizières. Le reste de la corrélation est liée à la pluie du mois de juin qui provoque la germination.

4.3.4 Les contraintes

Le tableau ci-dessous résume quelques contraintes majeures rencontrées dans le delta.

Tableau 24 : Contraintes de l'agriculture dans le DIN Source : ORM (2007)

N° d'ordre	Difficultés/ Problèmes Constatés	Contraintes
------------	----------------------------------	-------------

1	Forte dépendance des systèmes de production (submersion Contrôlée et libre, cultures sèches) aux aléas climatiques notamment la pluviométrie et la crue	<p>* L'insuffisance, la mauvaise répartition et l'arrêt précoce des pluies occasionnant souvent le non respect du calendrier agricole pour l'installation des cultures et une sécheresse avec un déficit hydrique important au cours de la phase de maturation</p> <p>* La Faiblesse des crues des cours d'eau pour irriguer les riz cultivés, entraînant des pertes de superficies et de production</p> <p>*Le faible niveau d'intensification des cultures à travers la retenue des producteurs pour l'apport des intrants agricoles à cause du caractère aléatoire (haut risque) des systèmes de productions tributaires des aléas climatiques</p>
2	Phénomène de dessèchement du riz dans l'eau (problème récurrent vécu au départ sur trois casiers(Diambacourou-Ouro-Nema et Tongorongu) depuis les années1985 et qui s'est propagé actuellement dans d'autres casiers : Soufouroulaye, Tiroguel, MN Sévaré.	Pertes de superficies et de production des riz des casiers
3	Divagation des animaux dans les champs de cultures sèches et des rizières en période de semis et de récolte, en dépit des textes réglementaires en vigueur	<p>* Non respect des textes réglementaires en vigueur</p> <p>* Conflits entre agriculteurs et éleveurs</p> <p>* Pertes de superficies et de productions agricoles</p>
4	Le renchérissement du prix d'achat des intrants (hydrocarbures et engrais chimiques), la non disponibilité et le coût élevé de maintenance des moyens d'exhaures, compromettant de manière inquiétante la mise en valeur des périmètres à maîtrise de l'eau par pompage	<p>- Prix sans cesse croissant des intrants agricoles (hydro carbures et engrais chimiques)</p> <p>- L'inexistence au niveau local et national des représentations des moyens d'exhaures existants (Moto pompes de marques : Lister Peter – Lombardini- Hazt etc.) au niveau des périmètres à maîtrise de l'eau par pompage,</p> <p>- l'acquisition difficile de pièces détachées des moyens d'exhaures</p> <p>- Faible capacité organisationnelle des Organisations Paysannes</p>

Les principales contraintes sont essentiellement liées aux aléas climatiques (pluie et crue), mais aussi à la cohabitation avec l'élevage et à la pauvreté. Viennent ensuite les problèmes organisationnels et l'utilisation des intrants agricoles.

N° d'ordre	Difficultés/ Problèmes Constatés	Contraintes
------------	----------------------------------	-------------

1	Forte dépendance des systèmes de production (submersion Contrôlée et libre, cultures sèches) aux aléas climatiques notamment la pluviométrie et la crue	<p>* L'insuffisance, la mauvaise répartition et l'arrêt précoce des pluies occasionnant souvent le non respect du calendrier agricole pour l'installation des cultures et une sécheresse avec un déficit hydrique important au cours de la phase de maturation</p> <p>* La Faiblesse des crues des cours d'eau pour irriguer les riz cultivés, entraînant des pertes de superficies et de production</p> <p>*Le faible niveau d'intensification des cultures à travers la retenue des producteurs pour l'apport des intrants agricoles à cause du caractère aléatoire (haut risque) des systèmes de productions tributaires des aléas climatiques</p>
2	Phénomène de dessèchement du riz dans l'eau (problème récurrent vécu au départ sur trois casiers(Diambacourou-Ouro-Nema et Tongorongo) depuis les années1985 et qui s'est propagé actuellement dans d'autres casiers : Soufouroulaye, Tiroguel, MN Sévaré.	Pertes de superficies et de production des riz des casiers
3	Divagation des animaux dans les champs de cultures sèches et des rizières en période de semis et de récolte, en dépit des textes réglementaires en vigueur	<p>* Non respect des textes réglementaires en vigueur</p> <p>* Conflits entre agriculteurs et éleveurs</p> <p>* Pertes de superficies et de productions agricoles</p>
4	Le renchérissement du prix d'achat des intrants (hydrocarbures et engrais chimiques), la non disponibilité et le coût élevé de maintenance des moyens d'exhaures, compromettant de manière inquiétante la mise en valeur des périmètres à maîtrise de l'eau par pompage	<p>- Prix sans cesse croissant des intrants agricoles (hydro carbures et engrais chimiques)</p> <p>- L'inexistence au niveau local et national des représentations des moyens d'exhaures existants (Moto pompes de marques : Lister Peter – Lombardini- Hazt etc.) au niveau des périmètres à maîtrise de l'eau par pompage,</p> <p>- l'acquisition difficile de pièces détachées des moyens d'exhaures</p> <p>- Faible capacité organisationnelle des Organisations Paysannes</p>

4.3.5 L'extension de la submersion contrôlée

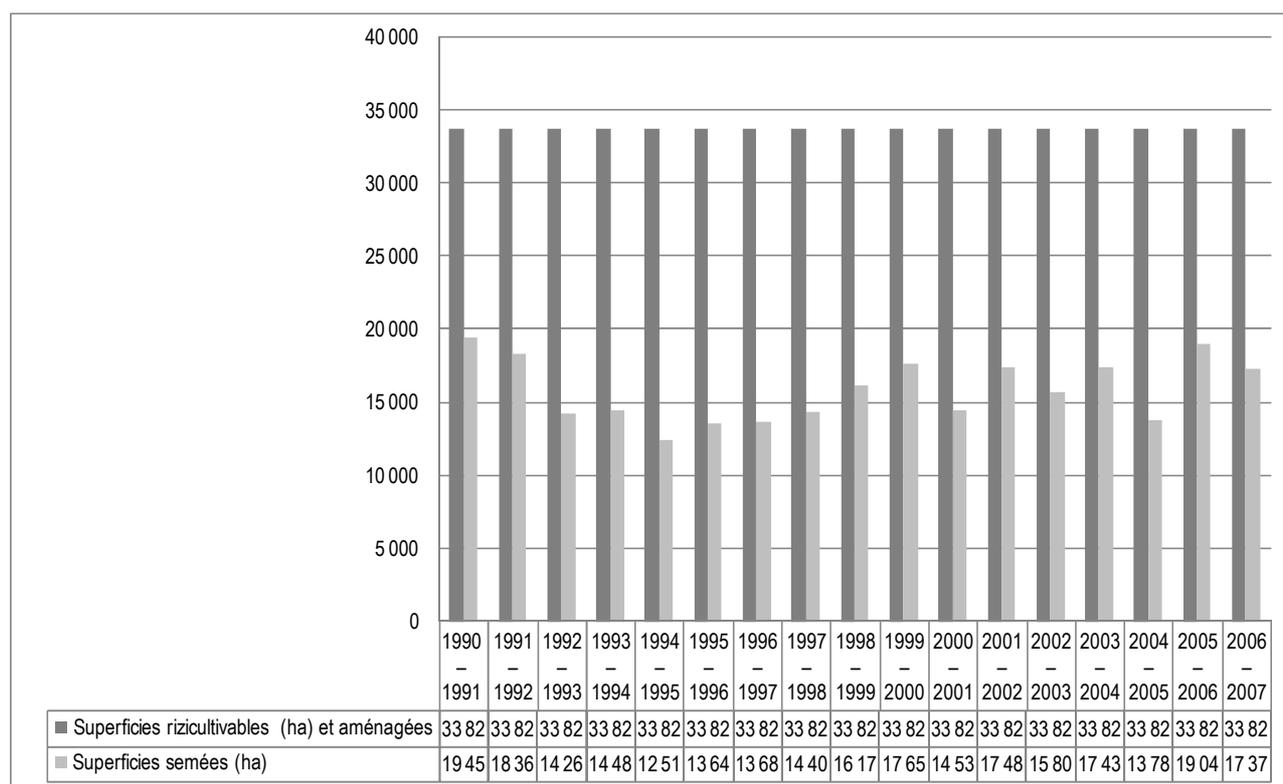


Figure 47: Evolution des superficies irrigables et celles semées de 1991 à 2008 Sources de données : ORM (2007)

Le potentiel aménagé de l'ORM est sous exploité. Sur un total de 33 820 ha disponibles, seulement 16 000 ha sont exploités en moyenne. La difficulté liée à l'exploitation de ce potentiel réside dans la réticence des paysans à aller vers les casiers en raison du paiement des redevances et du type de variétés qu'il faut semer.

4.3.6 Les perspectives de la disponibilité en eau

En termes de perspectives pour améliorer la disponibilité en eau dans les conditions optimales, les populations estiment qu'il est nécessaire de construire d'autres barrages sur le Bani et sur le Niger. A ce sujet, les avis sont peu divergeants sur la position que doivent occuper les barrages comme nous montre le tableau suivant.

Tableau 25 : Avis sur la construction de barrages en amont ou en aval du delta intérieur. Source : enquête Cohorte (2008)

Avis	Barrage		Raison
	En amont (%)	En aval (%)	
Pour	17	68	Augmenter la disponibilité en eau

Contre	68	17	Augmenter la disponibilité en eau
Ne sais pas	5	5	

Pour les mêmes raisons à savoir l'augmentation de la disponibilité en eau, les populations pensent dans leur majorité qu'il faudrait construire un barrage en aval du delta. Pour les paysans la construction d'un barrage en aval maintiendrait la crue plus étendue, plus longue et plus haute. Mais cette proposition est délicate à mettre en œuvre car le statut du cours ne permet à aucun pays d'entreprendre un tel projet sans le consentement des Etats membres de l'Autorité du Bassin du Niger (ABN).

4.3.7 L'assèchement des zones humides

Les futurs prélèvements de l'irrigation risquent fort d'accentuer l'assèchement des grandes zones humides naturelles du BFN. Prélèvements et sécheresse ont contribué à réduire la surface des zones humides de plus de moitié depuis les années soixante (Lamizana et al 2008) que ce soit le Delta Intérieur du Niger, le lac Tchad ou la plaine d'inondation du Hadéjia Nguru sur le fleuve Komadugu Yobe au nord du Nigéria (Acharya et Barbier 2000). Le barrage de Sélingué et les prélèvements de l'Office du Niger au Mali ont contribué à réduire la surface inondée dans le Delta Intérieur du Niger au Mali.

Mais la protection des zones humides est devenue une priorité planétaire. Des économistes montrent que les zones humides non aménagées seraient même « rentables » quand on additionne l'ensemble de leurs services tels que le fonctionnement des écosystèmes, la protection de la biodiversité, le contrôle de l'érosion, le fonctionnement des cours d'eau, la production de bois, de fourrage, de poisson, de gibier et le tourisme. Ces services représentent une source de revenus importante pour les riverains alors que la rentabilité de l'artificialisation des cours d'eau et l'assèchement des zones humides peuvent conduire à des coûts externes importants sur le plan économique (Zwarts et al 2005).

4.4 Conclusion: un potentiel important mais fragile

Moins de 1,5 % des débits sont utilisés et les surfaces irriguées représentent moins de 3 % des surfaces cultivées et il n'y a qu'un barrage hydroélectrique significatif au Sahel sur l'artère Niger. La proportion du nombre de cultivateurs concernés par la gestion de l'eau du fleuve est difficile à estimer, mais elle est beaucoup plus importante que ne le laisse supposer les surfaces irriguées, si on compte les paysans qui disposent de parcelles de bas fonds aménagées, de culture en submersion libre ou contrôlé,

en décrue ou en maîtrise totale.

Les terres disponibles sont abondantes et ne peuvent pas être toutes irriguées, en tout cas pas à partir des eaux de surface. Sans barrage on ne peut étendre que les cultures d'hivernage. Avec le barrage de Fomi, il est possible d'aménager des nouveaux périmètres en aval.

La petite irrigation peut se développer à partir des aquifères superficiels. Il existe par exemple un fort potentiel dans les vallées fossiles du Niger où l'eau est en permanence proche de la surface. Le long du fleuve Niger la petite irrigation peut puiser dans les nappes aliénées par le fleuve, surtout au Nigéria.

Selon l'ABN, la construction de certains barrages sur le fleuve Niger tels Fomi, Taoussa et Kandadji offrent des possibilités significatives pour accroître les productions agricoles. Le PADD de l'ABN propose plusieurs scénarios de mise en valeur basés sur la construction ou non des trois retenues. Le bilan hydrique proposé par l'ABN permettrait d'irriguer quelques 400 000 hectares supplémentaires dans les pays Sahéliens, essentiellement au Mali et au Niger. L'expansion maximale ferait passer les prélèvements à 14 % des eaux du fleuve.

Cependant le plan d'aménagement impactera sévèrement les zones humides et leur biodiversité, leurs services environnementaux et le mode de vie d'un million d'éleveurs, de pêcheurs et de riziculteurs traditionnels. Le PADD favorise les types d'aménagement à maîtrise totale. La Banque Mondiale, l'IWMI, le CILSS et la FAO semblent privilégier la petite irrigation individuelle de type privée (PIP). Le PADD prévoit une augmentation des prélèvements de plusieurs millions de mètres cubes en 2015.

Alors que l'ON est en pleine extension, le delta intérieur est en crise. Le succès du premier signifiera une nouvelle baisse de la crue dans le second et probablement des nouveaux conflits entre éleveurs, pêcheurs, riziculteurs traditionnels et cultivateurs des zones exondées. Les plan d'expansion de l'ON empiète d'ailleurs sur toute la partie Ouest du delta. Les objectifs de l'état, bien que peu explicites, sont probablement de favoriser un assèchement progressif du delta et de compenser ce changement par le développement de l'irrigation intensive. La riziculture intensive permettrait en fait de réduire la pression des riziculteurs traditionnels sur les bourgoutières et sur les pâturages en général. Les bourgoutières produisent de 20 à 30 tonnes de matière sèche qui sont disponibles quand les autres fourrages du sahel ont pratiquement disparu. L'élevage du delta est très rentable et intéressant pour la balance commerciale du pays et doit être préservé. L'option de maintenir les crues artificielles à partir

de Sélingué et Fomi est souhaitable. La coexistence de l'élevage, de la riziculture intensive, de la pêche et du tourisme est techniquement possible, même dans un contexte d'intensification des productions.

5 MECANISMES D'ADAPTATION AUX RISQUE LIES A L'EAU

Dans ce chapitre nous traitons des « explications des mécanismes d'adaptation aux risques liés à l'eau » et nous analysons « les opportunités d'amélioration ou des risques de détérioration amenés par le changement (climatique / scénarios du GIEC, innovations, développement) ». Au préalable nous effectuons quelques rappels sur l'évolution du climat de la sous région.

5.1 La mousson africaine

5.1.1 Les incertitudes du changement climatique

Le changement global, en particulier le changement climatique ajoute, sur le long terme, une incertitude supplémentaire pour les populations du BFN. Le réchauffement climatique peut avoir des conséquences encore mal ciblées sur la région. Selon les différents rapports du GIEC (Groupe Inter Gouvernemental sur l'Evolution du Climat), *les changements climatiques en Afrique subsaharienne se traduiront par une réduction de la pluviométrie, une élévation de la température et du niveau de la mer. Ils affecteraient les écosystèmes naturels et socioéconomiques. Les impacts sont prévisibles sur l'agriculture, les industries, la foresterie, les ressources en eau et les zones côtières (GIEC, 2007).*

Le maillage du GIEC étant trop large pour prendre en compte la diversité des conditions ouest africaine, un projet international en cours (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine – AMMA) vise une meilleure connaissance de la mousson.

5.1.2 Les sécheresses des années soixante dix et quatre vingt

L'Afrique de l'Ouest a connu une forte diminution des précipitations dans les dernières décennies aggravée par une dégradation du milieu qui laisse supposer que le changement climatique anthropique est responsable des nouvelles tendances. Des présidents africains se sont réunis en 2009 pour explorer la possibilité de demander des compensations pour les externalités générées par les pays industrialisés. Par contres des chercheurs en climatologie ont trouvé des corrélations étroites entre les températures des océans et les sécheresses du Sahel dans les années soixante-dix et quatre-vingt. Ces températures sont liées à des cycles naturels mais aussi à l'effet de serre.

5.1.3 La mousson ouest africaine et le fleuve Niger

-Le débit du fleuve Niger dépend de la mousson ouest africaine un des phénomènes climatique les plus variables de la planète. Les facteurs contrôlant le climat ouest-africain sont encore mal connus, raison pour la quelle l'Union Européenne a lancé le grand programme AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine) depuis 2001 (Redelsperger et al 1996).

L'étude de longues chroniques de pluies et débits du 20^{ème} siècle permet de mettre en évidence un signal climatique majeur (Hulme et al 2001; Conway et al 2009) et qui concerne toute l'Afrique de l'Ouest : la rupture climatique de 1970 sépare une période humide antérieure et une période sèche récente (Paturel et al 1997; L'Hôte et al 2002). La sécheresse a connu deux paroxysmes, dans les années 1970 et 1980. Malgré une certaine reprise des pluies depuis le milieu des années 1990, la sécheresse persiste (L'Hôte et al 2002; Mahe et al 2005). L'étude des sédiments du lac Bosumtwi au Ghana suggère que des sécheresses de durées et d'ampleurs bien plus grandes ont frappé la sous région dans les siècles passés (Shanahan et al 2008).

La variabilité des écoulements de surface est supérieure à celle des pluies. Durant les années sèches les écoulements diminuent proportionnellement plus que les précipitations. Au Sahel où les défrichements ont augmenté le ruissellement et les écoulements au détriment de l'évaporation et de l'infiltration. Les populations situées le long des fleuves non régulés sont confrontées à des difficultés d'adaptation au nouveau fonctionnement du fleuve. Quand la saison des pluies est faible, les crues des fleuves sont encore plus faibles. Les cultures telles que le riz de submersion contrôlée, inondée, ou de décrues sont alors très vulnérables à cette variabilité des crues, ce qui demande de la part des cultivateurs de grandes capacités d'adaptation. Les essais de prédétermination de la hauteur de la crue à partir de la relation pluie/débit en amont pourrait améliorer la capacité des riverains à planter leurs cultures de submersion et de décrue dans de meilleures conditions (Blanchet et al 2002).

Bien que le potentiel hydraulique de l'Afrique de l'Ouest soit appréciable, le changement climatique soulève de sérieuses inquiétudes, dans la mesure où les changements globaux pourraient se traduire par un fonctionnement différent de la mousson. Les modèles climatiques globaux ne reproduisent l'évolution du climat de l'Afrique de l'Ouest qu'avec une faible significativité (Ardoin-Bardin et al 2005), mais il est sûr que la température augmentera et que le réchauffement de la planète provoquera une plus grande variabilité des phénomènes climatiques. Les GCM prévoient une augmentation modérées par rapport au reste de la planète (IPCC 2003).

5.2 Adaptations et irrigation

La baisse des pluies et de la crue depuis le début des années soixante ont déstabilisé les systèmes traditionnels et ont nécessité le recours à diverses formes d'adaptation. Certaines stratégies émanent directement des populations tandis que d'autres sont plutôt suscitées par les services techniques de l'Etat ou les ONG.

5.2.1 *Quels acteurs pour quels risques ?*

Les systèmes de production localisés dans les limites du BFN sont situés sous toutes les gammes de climats et d'écosystèmes tropicaux répertoriés en Afrique de l'Ouest, du climat d'altitude dans le Fouta Djallon au climat guinéen au sud du Nigéria, en passant par les climats sahéliens et soudaniens. La majorité des systèmes de production se trouvent d'ailleurs sous climat plutôt bien arrosé au Nigéria, et dans une moindre mesure en Guinée, en Côte d'Ivoire et au sud Mali. Les populations localisées sous climat strictement sahélien dans le BFN ne sont en fait pas très nombreuses. Celles qui y vivent, sont surtout localisée près du fleuve.

5.2.2 *Quels types de risque ?*

Les risques liés production agricole ne sont pas seulement d'origine climatique. Ils sont aussi sanitaires (maladie des hommes, des animaux et des plantes), ou le résultat d'attaques des ravageurs (acridiens, vols et agressions), économiques (mévente des cultures maraîchères, changement des prix, dévaluation de la monnaie) ou technique (motopompe en panne). Les risques commerciaux et financiers sont importants sur les diverses spéculations. Le risque existe aussi de ne pas pouvoir écouler la production. Les risques sanitaires sur les irrigants peuvent être aggravés par l'irrigation (paludisme, bilharziose...), fragilisant les forces de travail nécessaires. Le risque de destruction des cultures par les animaux domestiques le long du fleuve est permanent, notamment en maraîchage. La riziculture est constamment menacée par les attaques aviaires. Plus anecdotiques sont les attaques par les éléphants, dans le gourma malien, et par les hippopotames dans les rizières nigériennes.

5.2.3 *Le risque en agriculture*

Les risques climatiques restent prépondérants que ce soit le déficit ou les excédents de pluies, ou au travers des inondations. En agriculture le risque climatique peut se matérialiser par une mauvaise répartition des pluies, des séquences sèches pendant des périodes clés du cycle végétatif, des excès de pluies au moment des semis, pendant la floraison ou des pluies tardives sur les grains déjà formés. On parle aussi des dégâts occasionnés pas le vent, et par le froid en saison sèche.

Le risque climatique est en fait ambigu. La loi de King, du nom de l'économiste Gregory King qui observait les chiffres de l'agriculture britannique du XVII^{ème} siècle, stipule que les prix plus que compensaient la perte de production lors des années climatiques défavorables. Dans la sous région ouest africaine, les prix agricoles, qui sont quasiment non administrés, ont tendances effectivement à compenser la faible production. Mais les choses sont plus compliquées pour les paysans de la sous région. D'abord le climat est beaucoup plus variable qu'en Angleterre. Pour un producteur africain, la corrélation est beaucoup plus faible qu'à l'échelle d'un pays ou même d'une région. Il peut facilement être déficitaire dans une région excédentaire. Ensuite ce qui complique la relation production/prix, est le bilan commercial du paysan, selon qu'il soit potentiellement vendeur ou acheteur. Un paysan structurellement vendeur, comme ceux des zones cotonnières par exemple ou un irrigant, un prix élevé fera profiter son revenu. Un paysan structurellement acheteur de céréales, la majorité des producteurs sahéliens, devra acheter des céréales bien plus chères en cas de sécheresse, surtout s'il attend la soudure pour les acheter. Cette situation contribue fortement à la « spirale de la pauvreté » à laquelle les paysans sahéliens tentent d'échapper. En somme la loi de King se vérifie bien la sous région mais ne profite pas aux cultivateurs en général.

Le risque conduit les agriculteurs à diminuer le niveau de leur offre et à diversifier leur production (Boussard 1990). La réduction de l'offre signifie que la production agricole, en présence de risque, est réduite par rapport à un monde idéal sans aléa. Le producteur décide de limiter les enjeux sur la culture en différant tout investissement ou en limitant les intrants. La présence d'autres risques ne permet pas d'optimiser la productivité de l'eau.

La diversification consiste à mettre œuvre des spéculations en parallèle : élevage, commerce, culture pluviale, diminuant d'autant les forces de travail consacrées aux productions irriguées.

La diminution de l'incertitude par l'irrigation contrôlée (les autres types d'irrigation ayant des facteurs de risques encore importants) est donc incomplète si on n'a pas pris, parallèlement, des mesures pour la diminution d'autres incertitudes, parfois plus importantes : incertitude commerciale et incertitude phytosanitaire notamment.

5.2.4 *Risque en irrigation*

Le type de risque dépend du type d'irrigant. Pour l'irrigation par submersion, la réussite dépend à la fois des pluies pour les semis et de l'arrivée de la crue après la levée, donc en fait très risquée. La culture de bas-fonds est un mode d'irrigation sujet au risque d'inondations fréquentes et dévastatrices. Dans le DIN la riziculture de submersion libre ou contrôlée a beaucoup souffert de la sécheresse. De

même les cultures de décrues peuvent sécher quand la crue descend trop vite. Même les périmètres à maîtrise totale doivent le plus souvent être protégés contre les inondations, les motopompes sont parfois noyées par des crues imprévues. Mossi reporte au Niger de multiples exemples d'échec complet de campagnes rizicoles dues aux pannes et inondations. A l'Office du Niger la mauvaise gestion du barrage de Sélingué a fortement perturbé la deuxième campagne rizicole.

Concernant le risque prix, les irrigants sont plutôt protégés contre les variations quand il s'agit du riz mais sont très vulnérables au prix des produits maraîchers. Les prix du riz sont relativement stables et le riz peut être stocké et consommé par la famille de l'exploitant ce qui permet un certain amortissement des chocs. Pour le maraîchage le risque de ne pas vendre la production est très élevé pour les denrées périssables, notamment la tomate ou les fruits. L'oignon peut être stocké quelques temps.

5.2.5 Irrigation intrant ou assurance ?

La question posée est de savoir si l'irrigation avec ses contraintes et ses coûts est susceptible de diminuer cette incertitude due au climat et s'il convient d'étendre les superficies irriguées. Ceci pose le problème de l'évaluation de l'irrigation. S'il s'agit d'augmenter les rendements comme le ferait un engrais, ceci amène alors au calcul de la productivité de l'eau par la formule brute ou différentielle. La volatilité des prix et leur saisonnalité, quand ils ne sont pas administrés, rend difficile l'évaluation du numérateur.

On peut aussi concevoir l'irrigation comme une « assurance » pour réduire l'impact de la variabilité climatique. Dans ce cas la formule doit être écrite sous forme d'espérance mathématique. L'irrigation devient alors intéressante si le coût actualisé de l'irrigation est inférieur au coût actualisé des pertes de production dus au déficit hydrique, par rapport à un rendement de référence jugé normal. Les études dans ce sens sont encore rares.

Cet exercice devrait aussi normalement être réalisé sur le long terme en fonction des perspectives de changement climatique. De la même façon que les assurances provisionnent dès maintenant pour faire face aux conséquences du changement climatique, de même une réflexion doit être engagée sur l'irrigation.

5.3 Les autres réducteurs de risque

Les pays de la zone, qui doivent se préparer à de nouvelles défaillances de la mousson, sont appelés à élaborer des programmes visant à adapter leurs économies à cette variabilité. Dans beaucoup

de cas, ces plans sont un rhabillage des plans de développement antérieurs, mais quelques innovations sont proposées.

5.3.1 *L'agronomie : cultures résistantes*

L'agronomie cherche depuis plusieurs décennies à sélectionner des variétés et des itinéraires techniques qui réduisent la vulnérabilité des cultures aux sécheresses. D'une part les sélectionneurs ont développé des variétés hâtives. Les agronomes ont testé une grande variété de méthodes de *water harvesting* (Fox et Rockström 2000; Fox et Rockström 2003; Fox et al 2005). D'autres ont testé l'intérêt des associations de culture pour mieux gérer les risques.

5.3.2 *Prévisions saisonnières : optimiser les choix*

Une piste innovante et prometteuse est la prévision climatique saisonnière, comme le PRESAO, mais qui est encore très peu utilisé car encore trop qualitatif. L'initiative régionale PRESAO (PREvision Saisonnière en Afrique de l'Ouest) coordonnée par AGRHYMET et ACMAD à Niamey propose depuis une dizaine d'années une prévision saisonnière des pluies et des débits de la région à partir de températures marines de plusieurs océans, avec toutefois une qualité de prévision très perfectible (Hamatan et al 2004).

5.3.3 *Prévoir le début de l'hivernage*

L'AGRHYMET propose des dates optimales de semis, par approche statistique à partir d'observations satellites. Avec des bonnes prévisions les paysans pourraient ajuster leur plan de campagne en favorisant les cultures et les techniques culturales plus ou moins résistantes à la sécheresse. Par exemple si la saison s'annonce nettement déficitaire on favorisera les cultures résistantes à la sécheresse comme le mil. Les éleveurs pourront déplacer leurs troupeaux en conséquence, stocker des fourrages ou vendre une partie du cheptel. Pour les décideurs, prévoir une saison déficiente permettrait de préparer des stocks à l'avance, d'alerter les agences d'aide ou de réduire les décharges des barrages hydroélectriques.

5.3.4 *Pluies artificielles: trop d'incertitudes*

Une autre piste envisagée par les pays sahéliens pour réduire leur vulnérabilité au changement climatique est la pluie artificielle. Plusieurs pays sahéliens ensemencent déjà des nuages, préalablement analysés par des radars. L'objectif est le plus souvent de remplir des barrages stratégiques. Si le Burkina Faso l'utilise depuis de nombreuses années (projet SAAGA depuis 1998), d'autres pays l'expérimentent. Toutefois l'impact réel de cette technologie est mal connu car il faut

encore démontrer que la pluie ne serait pas tombée de toute façon ailleurs ou que l'on n'assèche pas certaines zones en favorisant d'autres. L'analyse coût-bénéfice de l'impact des pluies artificielles doit comparer les pluies de zones traitées avec celle de zones témoins et ceci sur de nombreuses années, ce qui est assez difficiles à réaliser.

5.4 Conclusion partielle: l'irrigation, une assurance imparfaite

L'irrigation est considérée comme un puissant facteur de réduction du risque climatique, mais les cultures irriguées sont soumises à d'autres types de risque très importants. Le risque d'assèchement de la source ou de panne des motopompes est bien permanent. Les risque de mévente des produits maraîchers est également lancinant, ainsi que les attaques des ravageurs. L'irrigation pourra jouer pleinement son rôle d'assurance quand les systèmes irrigués seront mieux gérer. Le désengagement de l'état dans le domaine de l'irrigation n'est pas une solution particulièrement sécurisante.

CONCLUSION GENERALE

Le BFN est un bassin qui compte près de 100 millions de personnes dont les deux tiers sont nigériens, 10% maliens et 10% nigériens. Cette population dépassera 150 millions dans 15 ans (en 2025). Le potentiel pour satisfaire les besoins alimentaires, énergétiques et hydriques de cette population est important, mais c'est la mise en valeur de ce potentiel qui suscite des interrogations.

Selon l'ABN 265 000 ha sont irrigués, dont 135 000 hectares au Mali, 46 000 hectares au Niger et 84 000 hectares au Nigéria. L'ABN espère que la région pourra atteindre 1,5 millions d'hectares en 2025, dont presque 1 million au Nigéria et moins d'un demi-million au Mali. La submersion contrôlée passera de 170 000 à 311 000 ha, alors que la submersion libre/décruée pourrait se maintenir à 100 000 ha entre le Mali et le Niger. Même en 2025 les prélèvements auront surtout lieux au Mali, car le Nigéria consomme moins par unité de surface. Les prélèvements de l'agriculture sont actuellement d'un peu plus de 9 milliards de m³, essentiellement au Mali. En 2025 ils pourraient bien tripler à près de 30 milliards de m³. L'AEP prélève actuellement moins d'un milliard de m³, essentiellement au Nigéria. En 2025, elle dépasserait 2 milliards.

Même si les performances de l'irrigation sont encore mitigées, les bailleurs semblent prêts à relancer son expansion. Les arguments sont la probable l'aggravation de la variabilité climatique, les crises alimentaires à répétition, les changements d'habitudes alimentaires, la relative compétitivité du riz sahélien, les considérations relatives à la non durabilité de l'agriculture pluviale.

RECOMMANDATIONS

Au vu des conclusions partielles des chapitres précédents nous formulons quelques recommandations portant principalement sur la productivité de l'eau, avec un accent sur les prélèvements d'eau par l'irrigation.

De l'utilité de la PE ?

Le classement des PE dans le BFN de l'eau est relativement clair. L'AEP vient loin devant, ensuite le maraîchage et, loin derrière, la riziculture. La priorité à l'eau potable n'est pas l'objet de négociations, quel que soit la productivité de l'eau. Si l'AEP urbaine est toujours prioritaire, la question se pose pour les zones rurales. Pour l'instant celles-ci sont alimentées à partir des aquifères. Il n'est pas improbable que dans l'avenir les zones rurales soient approvisionnées par les eaux du fleuve auquel cas l'équation pourrait se compliquer dans les périodes d'étiage. Les prélèvements par l'élevage ne soulève pas de discussions dans la mesure où l'accès des ruminants aux eaux du fleuve est libre. Ces prélèvements resteront marginaux. En somme, réaliser des calculs sophistiqués de la PE n'aura pas d'impact très forts sur la priorisation entre les grands usages.

Le choix de la riziculture est une priorité ancienne difficile à remettre en cause pour une question de sécurité alimentaire. Hormis le Sénégal et la Mauritanie qui disposent d'un potentiel limité, et qui importent de plus en plus de brisures de riz asiatique, les états Sahéliens ont choisi de produire du riz pour réduire les importations. Les crises alimentaires à répétition décredibilisent la théses des avantages comparatifs et autres recommandation libérales du FMI et de la Banque Mondiale. Même hors d'Afrique, le développement de l'irrigation a rarement été une question de rentabilité immédiate mais plutôt une question de souveraineté et de sécurité alimentaire, ou de réduction des risques, question renforcée par le contexte actuel de crises alimentaires et de changement climatique. L'Afrique de l'Ouest n'a pas vraiment intérêt à dépendre du riz asiatique dans la mesure où les conditions agroécologiques de la sous région sont favorables à la riziculture.

Sensibiliser les acteurs

Il faut sensibiliser les irrigants sur la nécessité de réduire les consommations d'eau afin de maintenir ou augmenter les débits pour les usages aval. Le delta Intérieur, les barrages hydroélectriques, les villes riveraines mais aussi les cultivateurs situés en aval ainsi que le delta maritime du Niger au Nigéria ont besoin d'eau, notamment en saison sèche. Le travail de sensibilisation est bablbutiant. Comme le fleuve ne s'est pas assèché depuis longtemps, grâce au

barrage de Sélingé et à une reprise des pluies, le sentiment d'urgence a disparu. La priorité des états riverain n'est pour l'instant pas la réduction d'éventuels gaspillage. Les objectifs sont au contraire une meilleur satisfaction des besoins en eau des cultures pour obtenir des rendements maximums garantir la sécurité alimentaire et créer des emplois.

Faire payer l'eau aux producteurs est difficilement réalisable dans le contexte actuel. D'une manière générales les riziculteurs se sentent abandonnés par les Etats. Le riz local n'est pas protégé contre les importations et les intrants sont rarement subventionnés. Les marges sont faibles. Réaliser un grand marché de l'eau, à l'instar de la Murray Darling River en Australie, est théoriquement attractif, mais peu réaliste dans le contexte actuel. Le risque de détournement des fonds prélevés par les administrations est élevé. A terme il serait intéressant d'allouer l'eau aux usage les plus rentables.

Une politique volontariste négociée dans le cadre de la « vision partagée » de l'ABN paraît plus réaliste. Les points importants sont l'Office du Niger et les Offices riz du Mali qui pratiquent la submersion contrôlée.

Promouvoir la petite irrigation individuelle

La grande irrigation à maîtrise totale et partielle semble plus gourmande en eau que la petite irrigation. Même les périmètres publics du Niger qui pompent l'eau dans le fleuve semblent peu enclain à réduire leurs consommations. Ils bénéficient de courant électrique bon marché provenant du Nigéria et subventionnés par l'état nigérien. Ils ont moins d'incitation à économiser l'eau. L'absence de respect des tours d'eau et les difficultés à alimenter les parcelles situées loin de la station, obligent les groupements à maintenir des débits élevés. En irrigation individuelle, les irrigants ont plus de facilité à réduire les prélèvements et à économiser l'énergie de leurs motopompes, ce qui réduit les consommation d'eau. La petite irrigation est en plein expansion au Nigéria, mais aussi au Niger et au Mali. Elle est peu couteuse en termes d'infrastructure. De même les bas fonds aménagés dans les zones plus humides peuvent contribuer significativement à la lutte contre la pauvreté dans les zones rurales et à la production maraichère comme dans la région de Sikasso au Mali et dans l'est du Burkina Faso. Même les périmètres publics du Niger qui bénéficient de courant électrique bon marché provenant du Nigéria et subventionnés par l'état, ont moins d'incitation à économiser l'eau.

Repenser la grande irrigation

Les grands périmètres du genre de l'Office du Niger ou des Offices Riz du Mali sont au centre d'enjeux politiques, mais sont peu efficaces en termes de prélèvement et de productivité de l'eau.

Même s'il existe des doutes sur le volume des retours et des réutilisations, de tels investissements restent difficile à gérer, notamment au niveau de la distribution de l'eau.

Les grands plans d'investissement dans des grands périmètres dans la boucle du Niger au Mali, autour du barrage de Taoussa, risquent de se heurter à un certain manque d'enthousiasme des riverains à l'instar ce qui a été observé au Nord du Sénégal. L'écoulement des productions et l'approvisionnement en intrant y sera plus problématique. La petite irrigation flexible et modeste basée sur l'autonomie des irrigants se développe dans la région. Elle est probablement préférable.

Mesurer les prélèvements et les débits retours

La mesure de la productivité de l'eau doit être améliorée. Beaucoup d'experts soupçonnent les statistiques des rendements des cultures d'être gonflées par les services statistiques. Il est nécessaire de faire réaliser des enquêtes de contrôle par des organismes indépendants. D'autre part, la mesure des prélèvements est rare. Les résultats obtenus sont très variables et les chiffres sur l'efficience, nécessaire au calcul, sont très incertains. Enfin les retours dans la nappe ou à la source, n'ont pas fait l'objet d'études approfondies, sauf à l'Office du Niger. Des études scientifiques doivent être réalisées sur les débits retours (return flow) dans les principaux types de périmètres irrigués. L'eau gaspillée va dans les drains ou percole dans les aquifères sous les parcelles. L'eau qui part dans les drains peut suivre différentes voies. Idéalement elle retourne dans le fleuve. En pratique les canaux de drainage se comblent et s'enherbent, ou sont mis en culture. Au final les chiffres sur la PE obtenus sont variables et douteux.

Par ailleurs les gains économiques réels des périmètres sont mal estimés. L'herbe des canaux est parfois récoltée par des éleveurs et les drains sont souvent plantés en bananiers, ce qui relativise les pertes. A l'ON les apports sont tels qu'une grande partie de l'eau alimente la nappe. Cette nappe superficielle alimente en partie les nappes profondes qui peuvent servir à alimenter les forages des villages situés en dehors des périmètres.

Les prélèvements dans les plus gros périmètres doivent faire l'objet d'un suivi précis et régulier, et d'une restitution annuelle. Des objectifs doivent être fixés et discutés régulièrement. Les agronomes doivent ensuite proposer des plans de production incluant des assecs, le respect des tour d'eau et le respect des calendriers. Les résultats des prélèvements doivent être rendus publics régulièrement et discutés annuellement au niveau de l'ABN. Des sanctions contre les plus gros gaspillages peuvent être envisagés. Il est aussi envisageable de dégager des financements de la production hydroélectrique pour

financer des actions de réduction des gaspillages dans le bassin amont d'un barrage.

Capitaliser les évolutions en cours

Les planificateurs ont prévu la poursuite du développement de différents types d'irrigation plus ou moins performants. L'Observatoire de l'ABN devrait capitaliser les expériences, suivre les différentes évolutions et proposer des révisions aux plans d'aménagements initiaux. La poursuite de la grande irrigation à l'ON est en cours, de même que l'expansion de la petite irrigation privée par pompage. Il faut aussi accompagner les systèmes traditionnels qui sont un intéressant point de départ pour obtenir des gains de productivité.

De l'expression « More crop per drop », les populations du BFN retiennent surtout le « more crop ». La réduction des « drops » nécessite une prise de conscience collective et un ensemble de mesures incitatives qui restent à imaginer.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abernethy, C. L., A. H. Bunting and A. H. Kassam (1985). *Development of irrigation agriculture in Africa : needs and justification*. Rome, Italy., FAO Land, Population and Food Study, FAO.
- ABN (2007). *Elaboration du Plan d'Action de Développement Durable. Phase 2: schéma directeur d'aménagement et de Gestion*. Niamey, Autorité du Bassin du Niger.
- ABN et BRL (2007). *Evaluation des prélèvements et des besoins en eau pour le modèle de simulation du bassin du Niger: Rapport définitif*. Niamey, Autorité du bassin du Niger, secrétariat exécutif: 143p.
- Acharya, G. and E. B. Barbier (2000). "Valuing groundwater recharge through agricultural production in the Hadejia-Nguru wetlands in northern Nigeria." *Agricultural Economics*(22): p247-259.
- Acharya, G. and E. B. Barbier (2000). "Valuing groundwater recharge through agricultural production in the Hadejia-Nguru wetlands in northern Nigeria." *Agricultural Economics*(22): 247-259.
- Acheampong, N. E. (2008). *Analysis of agricultural water productivity of irrigation schemes in the Niger River Basin*. master Agrimundus. Montpellier.

- Adams, W. M. (1986). "Traditional agriculture and water use in the Sokoto valley, Nigeria. - The Geographical J., 152 (1): 30-43."
- Adams, W. M. (1991). "Large Scale Irrigation in Northern Nigeria: Performance and Ideology." JSTOR 16,(3): 287-300.
- Albergel, J., J. M. Lamachere, B. Lidon, A. I. Mokadem and W. V. Driel, Eds. (1993). *Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel : Typologie, Fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles*. Ouagadougou, Burkina Faso, CIEH.
- Ali, M. (1993). *Irrigation et développement agricole : les périmètres irrigués rizicoles de la vallée du fleuve Niger au Niger*. thèse de doctorat,, université de Montpellier 1.
- Allister, A. I. (2001). *Appropriate water-lifting technologies. West Africa. Data and information gathering: Nigeria. Preliminary Study*. Ashford, Kent, U.K.
- Ardoin-Bardin, S., J. F. Boyer, A. Dezetter, C. Dieulin, G. Mahé, J. E. Paturel and E. Servat (2005). *Prévision des ressources en eau en Afrique au 21eme siècle. Proceedings of the Int. Seminar on Climatic and Anthropogenic Impacts on the Variability of the Water Resources, Montpellier, IHP Technical Documents in Hydrology, UNESCO Publ.*
- ARID (2007). *Amélioration des performances des périmètres irrigués en Afrique (APPIA Project)*,. Ouagadougou, Association Régional d'irrigation et Drainage en Afrique de L'ouest et Central (ARID).
- Association Régionale de l'Irrigation et du Drainage en Afrique de l'Ouest et du Centre (2004). *Typologie des systèmes irrigués en Afrique de l'Ouest sahélienne*. Ouagadougou, Projet Appia.
- Autorité du Bassin du Niger (2002). "Annexe 7: Position du Nigeria sur les projets de barrages de Taoussa (Mali) et Kandadji (Niger)."
- Ayouba, M. (2003). "La riziculture au Niger, une filière sacrifiée!" Grain de sel n°24, Dossier inter-réseaux. 24.
- Barbier, B. and P. B. R. Hazell (2000). *Declining access to transhumant areas and sustainability of agro-pastoral systems in the semi-arid areas of Niger*. in *Property Right and Collective action*. P.

B. R. Hazell. Washington, IFPRI.

Barker, R., D. Dawe, T. P. Tuong, S. I. Bhuiyan and L. C. Guerra (2000). "The outlook for water resources in the year 2020: challenges for research on water management in rice production ." International Rice Commission Newsletter vol 49.

Berthome, P., M. Goueffon and H. Piaton (1986). Aménagements hydroagricoles en zone soudano-sahélienne: leurs coûts, leur résultats. Aix en Provence, Centre National du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et des Forêts: 50p.

Bethemont, J., P. Faggi et T. Zoungrana (2003). La vallée du Sourou, Genèse d'un territoire hydraulique dans l'Afrique soudano-sahélienne. Paris, L'Harmattan.

Bird JD, et Gillott PWK. (1992) A quantitative review of adequacy and equity indicators for irrigation system distribution. Overseas Development Unit, International Conference on Advances in Planning, Design and Management of Irrigation Systems as Related to Sustainable Land Use. Leuven, Belgium, 14–17 September, ODP/114, HR Wallingford, UK.

Blanchet, F., K. Denon, D. Diarra, G. Mahé and J. E. Paturel (2002). Possibility of improvement of rice growing under controlled submersion in Mali (Office Riz Segou) using "real time" hydrological data. In : FRIEND 2002 Regional Hydrology : Bridging the gap between research and practice (H. Van Lannen and S. Demuth Sci. Eds.), Proc. Friend Conf., Cape Town, South Africa, CD Poster Paper Proceedings.

Bonneval, P. (2002). L'office du Niger grenier à riz du Mali: Succès économiques, transitions culturelles et politiques de développement. Montpellier, CIRAD/Karthala.

BRL Ingénierie (2006). Evaluation des prélèvements et des besoins en eau pour le modèle de simulation du bassin du Niger. Niamey, ABN,: 111 p.

Burte, J., S. Marlet, A. Coudrain, H. Frischkorn and J. C. De Araujo (2008). Water salinity of alluvial aquifer in semi-arid context: Origin, dynamics and anthropogenic impacts. Poster. 13^{ème} congrès mondial de l'eau, Montpellier, 1-4 septembre 2008 / IWRA. - Montpellier : IWRA, 2008.

Carter, R. C., M. K. V. Carr and M. G. Kay, Eds. (1983). Policies and prospects in Nigerian irrigation,

Outlook on Agriculture 12(3), 73-76. ...

Cellule de gestion du plan d'action pour la filière riz (2002). "Première journée technique d'irrigation: communication sur les techniques d'irrigation dans les bas fonds." Comité international des irrigations et du drainage du Burkina Faso CNID-B.

Chohin-Kuper, A. and V. Kelly (1998). Sécurité alimentaire et filières agricoles en Afrique de l'Ouest: Enjeux et perspectives quatre ans après la dévaluation du Franc CFA: Filières maraîchères. Bamako, Institut du Sahel: 6.

Cirad-Agrhyment (2005). "Après la famine au Niger... Quelles actions de lutte et de recherche contre l'insécurité alimentaire au Sahel?"

Conway, D. P., A. Persechino, S. Ardoin-Bardin, H. Hamandawana, C. Dieulin and G. Mahé (2009). "Rainfall and river flow variability in sub-saharan africa during the 20th century." *Journal of Hydrometeorology* 10(1): pp41-59.

Cotula, L., S. Vermeulen, R. Leonard and J. Keeley (2009). Land grab or development opportunity? Agricultural investment and international land deals in Africa. Rome, IIED/FAO/IFAD.

Coulibaly, Y. M., J.-F. Bélières and Y. Koné (2006). "Les exploitations agricoles familiales du périmètre irrigué de l'Office du Niger au Mali : évolutions et perspectives." *Cahiers Agricultures* 15(6): pp562-9.

Daddy Gaoh, A. and A. Dassargues (1995). "Exploitation de la nappe alluviale du dallol Maouri pour des cultures irriguées au Niger." *Science et changements planétaires / Sécheresse*. 6(3): pp257-63.

Dancette, P. (1999). Synthèse des resultats du pôle régional de recherche sur les systèmes Irrigués (PSI/CORAF). Synthèse des resultats du pôle régional de recherche sur les systèmes Irrigués (PSI/CORAF). Dakar, Sénégal.

Dembélé, Y., S. Ouattara and A. Keïta (2001). Application des indicateurs approvisionnement relatif en eau et productivité de l'eau comme indicateurs des performances des petits périmètres irrigués au Burkina Faso. Irrigation and Drainage, CIID.

De Noray, M.-L. (2003). "Delta Intérieur du Fleuve Niger au Mali: Quand la crue fait la loi :

l'organisation humaine et le partage des ressources dans une zone inondable à fort contraste." *Vertigo* 4(3).

- Dillon, A. (2007). Mesurer l'impact du Programme Mali-Nord Étude sur la Pauvreté et la Sécurité Alimentaire au Nord Mali. Cornell, Université de Cornell, Département d'économie appliquée et de gestion: 47p.
- Doumbia, Y. and Y. Kone (1999). Cultures de diversification sur les soles rizicoles de l'Office du Niger : un support à la riziculture irriguée. Le PSI : une recherche en accompagnement à la professionnalisation de la gestion paysanne des aménagements hydro-agricoles. Dakar.
- Drechsel, P., Graefe, S., Sonou, M. and Cofie, O.O. (2006). *Informal Irrigation in urban West Africa: An overview*. IWMI Research Report n°102. IWMI. RUAF. Comprehensive Assessment. FAO. Future Harvest. Disponible sur: <http://www.iwmi.cgiar.org/pubs/pub102/RR102.pdf>
- Dufumier, M. (2005). Etude des systèmes agraires et typologie des systèmes de production agricole dans la région cotonnière du Mali. paris, INA PG: 83p.
- ENPLAN GROUP (2004). Review of the Public Irrigation Sector in Nigeria . Abuja, Nigéria, FAO/ Federal and Ministry of Water Resources,: 150 p.
- Enplan Group (2004). Review of the Public Irrigation Sector in Nigeria. Draft Final Report of Project. Draft Final Report of Project. UTF/046/NIR/UTF. .
- Etienne, G., M. Griffon and P. Guillaumont, Eds. (1993). Afrique-Asie. Performances agricoles comparées, Revue française d'économie.
- FAO (2000). Nigeria. Irrigation Sub-Sector Study. Main Text and Annexes. Investment Centre Report No. 00/076 CP-NIR. Rome, FAO.
- FAO/AQUASTAT (2005). Water resources of African countries: a review. Revised by Jean Margat in 2001. Revision by AQUASTAT and Jean Margat in 2005. Rome, FAO.
- FAOSTAT (2009). FAO statistical database. Rome, FAO.
- FMWRDID (2006). Draft national Irrigation and drainage policy and Strategy for Nigeria. Federal Ministry of Water Resources Depart of Irrigation and Drainage. Abuja: 27 p.

- Fournier, J. (2002). Le diagnostic des bas-fonds soudano-sahéliens: guide méthodologique et technique. FAO (Rome - ITA).
- Fox, P. and J. Rockström (2000). "Water harvesting for supplementary irrigation of cereal crops to overcome intra-seasonal dry spells in the Sahel." *Physics and Chemistry Earth* 3(25): 289-296.
- Fox, P. and J. Rockström (2003). "Supplemental irrigation for dry-spell mitigation of rainfed agriculture in the Sahel." *Agricultural Water Management*(1817): 1-22.
- Fox, P., J. Rockström and J. Barron (2005). "Risk analysis and economic viability of water harvesting for supplemental irrigation in semi-arid Burkina Faso and Kenya." *Agricultural Systems* 83: p231-250.
- Gallais, J. (1984). *Hommes du sahel, espace-temps et pouvoir, le delta intérieur du Niger*. Paris, Flammarion.
- Guerra, L. C., S. I. Bhuiyan, T. P. Tuong and R. Barker (1998). *Producing more rice with less water from irrigated systems*. Colombo, Sri Lanka.
- Guillaume, P. (1960). "Les aménagements hydro-agricoles de riziculture et de culture de décrue dans la vallée du Niger. 1ère partie : Le cadre géographique considéré dans ses rapports avec les aménagements hydro-agricoles dans la vallée." *Agronomie tropicale* 15(1): p73-91.
- Hafeez, M. M. (2000). *Modeling and Measuring Water Use Efficiency at Large Scale Rice Irrigated System*,. Germany, Center for Research Development (ZEF) University Of Bonn,.
- Hamatan, M., G. Mahé, E. Servat, J. E. Paturel and A. Amani (2004). "Synthèse et évaluation des prévisions saisonnières en Afrique de l'Ouest." *Sécheresse* 15(3): p. 279-286.
- Harris, F. M. A. (1998). "Farm-level assessment of the nutrient balance in northern Nigeria." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 71: pp201-214.
- Hassane, A., S. Hamadou, M. Kuper and A. Kuper (2002). *Les disponibilités en eau du fleuve Niger: enjeux et perspectives pour les aménagements hydro-agricoles. Le cas du Niger*.
- Hulme, M., R. Doherty, T. Ngara, N. M. and D. Lister (2001). "African climate change: 1900-2100." *Climate Research* 17: pp145-168.

- IIMI (1997). *Projet management de l'irrigation au Niger: Rapport final de synthèse*. Niamey, IIMI.
- IPCC (2003). *Intergovernmental Panel on Climate Change, Third assessment report*. Genève, WMO, UNEP.
- Keïta, N., J.-F. Belière and S. Sidibé (2002). *Extension de la zone aménagée de l'Office du Niger: exploitation rationnelle et durable des ressources naturelles au service d'un enjeu national de développement. Gestion intégrée des ressources naturelles en zones tropicales inondables*. D. Orange, Arfi, R., Kuper, M., Morant, P., Poncet, Y. Paris, IRD: pp621-638.
- Kimmage, K. and W. M. Adams (1990). "Small-scale farmer-managed irrigation in northern Nigeria." *Geoforum* 21(4): p435-443.
- L'Hôte, Y., G. Mahé, B. Somé and J. P. Triboulet (2002). "Analysis of a sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continue." *Hydrological Sciences Journal* 47(4): 563-572.
- Lamizana, B., B. Barbier, S. Yonkeu and M. Koutou (2008). *Pourquoi préserver les zones humides ouest africaines ? L'eau une ressource durable? Ouvrage collectif coordonné par Marie-Christine Leclerc et Pascale Scheromm*. Montpellier, Agropolis International.
- Loquay, A. C. and A. Leplaideur (1995). *Les rizicultures de l'Afrique de l'Ouest*. Bordeaux.
- Mahe, G., J. E. Paturel, E. Servat, D. Conway and A. Dezetter (2005). "Impact of land use change on soil water holding capacity and river modelling of the Nakambe River in Burkina-Faso." *J. Hydrol.* 300: pp33-43.
- Maïga, O., M. Kuper and B. Gosse-Healy (2002). *Riziculture Traditionnelle autour de la mare de Débaré dans le delta intérieur du Niger au Mali. Gestion intégrée des ressources naturelles en zones tropicales inondables*. D. Orange, Arfi, R., Kuper, M., Morant, P., Poncet, Y. Paris, IRD: pp75-100.
- Marlet, S. and M. N'Diaye (2002). *Impacts environnementaux de la mise en valeur d'une zone inondable par irrigation: évolution des sols et des eaux à l'office du Niger(Mali)*. *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones tropicales inondables*. D. Orange, Arfi, R., Kuper, M., Morant, P., Poncet, Y. Paris, IRD: pp363-374.
- Marlet, S. and M. K. N'Diaye (2002). *La fertilité des sols: Des risques d'alcalinisation liés à l'irrigation*

et aux pratiques culturales. L'office du Niger, grenier à riz du Mali: 06p. Marie, J., P. Morant and H. N'djim (2007). Avenir du fleuve Niger au Mali. IRD.

Mariko, D., A. Chohin-Kuper and V. Kelly (2001). La filière riz à l'office du Niger au Mali . Une nouvelle dynamique depuis la dévaluation du Fcfa.

McIntire, J. and J. M. Powell (1994). African semi-arid tropical agriculture cannot grow without external inputs. Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of Sub-Saharan Africa. Proceedings of an International Conference, Addis Ababa, Ethiopia, ILCA (International Livestock Centre for Africa).

Ministère de la coopération et du développement (1991). Mémento de l'agronome. Paris, Ministère de la coopération et du développement.

Ministère de l'environnement et de l'eau du Burkina Faso (2001). État des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion. Ouagadougou, Secrétariat Général, Direction Générale de l'Hydraulique, Gestion Intégrée des Ressources en Eau,: 250p.

Molden, D., T. Oweis, P. Steduto, J. W. Kijne, M. A. Hanjra and P. S. Bindraban (2007). Pathways for increasing agricultural water productivity. In: Chapter 7 in Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Colombo, Sri Lanka, Earthscan.

Mortimore, M. (2003). L'avenir des exploitations familiales en Afrique de l'Ouest. Issue paper. Londres, IIED: 82.

NDES (1999). Niger Delta Environmental Survey. Lagos.

Nkonya, E., D. Philip, T. Mogue, J. Pander, M. K. Yahaya, G. Adebawale, T. Arokoyo and E. Kato (2008). From the ground up: Impacts of a Pro - Poor Community - Driven Development Project in Nigeria. IFPRI discussion Paper, 756. Washington, IFPRI.

Ogunjimi, L. A. O. and K. O. Adekalu (2002). "Problems and constraints of small scale irrigation in (fadama) in Nigeria." Food Reviews International, 18(4): pp295 – 304.

Oyebande, L. (1995). Effects of reservoir operation on the hydrological regime and water availability in northern Nigeria. Man's Influence on Freshwater Ecosystems and Water Use, Boulder

Symposium, July 1995). 1AHS.

- Paturel, J. E., E. Servat, B. Kouame, H. Lubes, M. Ouedraogo and J. M. Masson (1997). "Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part two: An integrated regional approach." *Journal of Hydrology*. 191: pp16-36.
- Poussin, J.-C. et P. Boivin (2002). "Performances des systèmes rizicoles irrigués sahéliens." *Cahiers Agricultures* 11(1): pp65-73.
- Redelsperger, J. L., C. D. Thorncroft, A. Diedhiou, T. Lebel, D. J. Parker and J. Polcher (1996). "African monsoon multidisciplinary analysis - An international research project and field campaign." *Bulletin of the American Meteorological Society* 87(12): pp1739+.
- Ruthenberg (1980). *Farming systems in the tropics*. Oxford, Oxford University Press.
- Shanahan, T. M., J. T. Overpeck, K. Anchukaitis, J. W. Beck, J. E. Cole, D. Dettman, J. Peck, C. A. Scholz and J. King (2008). "Atlantic forcing of persistent drought in West Africa." *Science*.
- Sourisseau, J.-M. (1999). *Les stratégies de diversification des revenus des exploitations agricoles de l'Office du Niger et du delta du fleuve Sénégal. Le PSI : une recherche en accompagnement à la professionnalisation de la gestion paysanne des aménagements hydro-agricoles*. Dakar, Pôle Systèmes Irrigués, Coraf.
- Tangara, B. 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). Poster, Conférence Internationale. Montpellier.
- Turner, B., Ed. (1985). *The classification and distribution of fadamas in central northern Nigeria. Dambos: small channelless valleys in the tropics, formation and utilization*. Stuttgart, : *Zeitschrift Fur Geomorphologie, Supplementband* 52.
- Uyigue, E. and M. Agho (2007). *Coping with Climate Change and Environmental Degradation in the Niger Delta of Southern Nigeria*, Community Research and Development Centre (CREDC), Nigeria.
- Vidal, A., C. Rigourd and A. Nepveu de Villmarceau (2004). *Identification et diffusion de bonnes pratiques sur les périmètres irrigués en Afrique de l'Ouest*. Projet GSP. Rome, FAO: 45p.

- Wellens, J. and F. N. Compaoré (2005). Renforcement structurel de la capacité de gestion des ressources en eau pour l'irrigation dans le bassin du Kou. SAFID.
- World Bank (2004). Cotton cultivation in Burkina Faso, a 30 years success story. Scaling up poverty reduction: a global learning process, Shanghai.
- Yahaya, A. (2000). "La vallée du fleuve Niger en territoire nigérien : un espace agricole à protéger." *Science et changements planétaires / Sécheresse*. Volume 11, Numéro 2, 133-40, Juin 2000, Option.
- Yahaya, M. K. and A. A. Kamba (2003). "Socio-economic and environmental effects of Bakolori irrigation and Fadama development projects in Sokoto/Kebbi watershed in northern Nigeria." *Moor Journal of Agricultural Research* **Vol.4**(1): pp157-163.
- Zwarts, L., V. P. Beukering, B. Kone and E. Wymenga (2005). "Le Niger, un câble de sauvetage: résultats économiques et écologiques de la gestion efficace dans le bassin du haut Niger." NHBS Environment Bookstore: 4p.