



Food
and
Agriculture
Organization
of
the
United
Nations

Organisation
des
Nations
Unies
pour
l'Alimentation
et
l'Agriculture

RAF/Publication: 2001

La collecte des eaux de surface en Afrique de l'Ouest et du Centre

Water harvesting in western and central Africa



Bureau Régional pour l'Afrique
Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

Regional Office for Africa
Food and Agriculture Organization of the United Nations

Accra, Ghana

Cover photograph: Kunze, D. 1994: Farmer couple laying out stone line on millet field during dry season: Niangwela/Bam Province, Burkina Faso.

Photo: Kunze, D. 1994: Un couple de paysans qui construisent un cordon pierreux sur leur champ de mil pendant la saison seche, Niangwela/Province du Bam, Burkina Faso.



RAF/Publication: 2001

La collecte des eaux de surface en Afrique de l'Ouest et du Centre

Water harvesting in western and central Africa

Proceedings of a regional workshop held in Niamey, October 1999

Actes d'un atelier régional à Niamey/Niger, Octobre 1999

Bureau Régional pour l'Afrique
Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

Regional Office for Africa
Food and Agriculture Organization of the United Nations

Accra, Ghana

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

The designations employed and the presentation of material in this publication do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Food and Agriculture Organization of the United Nations concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries.

Preface

This book describes the technical, socio-economic and institutional context of water harvesting in Western and Central Africa. The authors testify to the variety of indigenous and adapted technologies that are used in the region, and look at their history, their economic and environmental impact and their social acceptability. In the respective country papers, historical developments and national soil and water conservation policy changes are highlighted.

It is self-evident that water harvesting - an important component of soil and water conservation - is especially well adapted to the conditions faced by farmers in the Sahelian region. Water harvesting can increase crop yields, augment income, improve the position of farming in the diversified livelihood portfolios, and can even contribute to the prevention of, or slowing of rural outmigration from marginal areas. Water harvesting is commonly successful at the farm level because it is capital extensive and labour intensive, and it can be carried out in dry seasons when other agricultural activities are minimal. Individuals can undertake water harvesting, but it can equally well involve groups working together at watershed or community level. It is popular because physical results are immediately visible in form of yield increases and because it assists families to meet their food security needs by increased production of staples, and it helps to decrease the risk of crop failure.

The publication of this document will help to disseminate knowledge of soil and water conserving technologies to a wider audience. It exemplifies the diversity of technologies and their applications between regions and countries in West and Central Africa, and its publication is a successful outcome of the interregional exchange occasioned by the seminar in Niger for which these papers were originally prepared.

Bamidele F. Dada
Assistant Director-General and Regional Representative for Africa
FAO Regional Office for Africa

Acknowledgements

The contents of this report are based on the “Regional Workshop on Water Harvesting in Western and Central Africa”, organized by the FAO Regional Office for Africa. The summary report, conclusions and recommendations as well as the final editing are resulting from a collaborative effort between the participants of the workshop and the editors, Dagmar Kunze, Farming Systems Development Officer, and Sourakata Bangoura, Water Resources Officer. The authors’ contributions to the various papers is gratefully acknowledged.

Special thanks go to Therese Aforo, Rose Sah and Dorcas Amoah for their help in translation, proof-reading and editing and to Simone Morini, New Technology Consultant, FAO Rome, for the layout of the manuscript.

Gratitude is extended to the FAO Office in Niamey/Niger for logistical support and to ICRISAT (International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics) in Niamey for the organization of the workshop.

Avant propos

Ce livre décrit le contexte technique, socio-économique et institutionnel de la collecte de l'eau en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale. Les auteurs reconnaissent l'existence d'une variété de technologies endogènes adaptées aux conditions de la région. Ils prennent en compte leur histoire, leur impact économique et environnemental ainsi que leur acceptabilité sociale. Dans les rapports des pays respectifs, l'accent est mis sur le développement historique et les changements dans les politiques de conservation de l'eau et des sols.

Il a été démontré que la collecte de l'eau, une composante essentielle de la conservation des sols et de l'eau, est bien adaptée aux conditions spécifiques du milieu paysan en région sahélienne. La collecte de l'eau permet d'augmenter les récoltes, d'accroître le revenu, d'améliorer la place de la production agricole parmi les diverses activités sources de revenu, et peut même contribuer à la prévention de la migration hors des zones marginales ou ralentir celle-ci. Généralement la pratique des techniques de collecte de l'eau donne de bons résultats au niveau de la production agricole avec l'augmentation du capital et l'intensification du travail, et aussi du fait qu'elle peut être entreprise pendant la saison sèche quand les autres activités agricoles sont moindres. Les individus peuvent entreprendre la collecte de l'eau mais elle peut aussi bien impliquer des groupes qui travaillent ensemble au niveau du bassin versant et de la communauté. C'est une activité populaire non seulement parce que les résultats matériels sont immédiatement visibles sous la forme d'accroissement des récoltes, mais aussi parce qu'elle aide les familles à faire face à leurs besoins en nourriture par un accroissement de la production des denrées de base, et qu'elle contribue à diminuer le risque de perte des récoltes.

La publication de ce document contribuera à vulgariser les technologies de conservation de l'eau et des sols. Ce document illustre la diversité des technologies et leurs applications dans les différents pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre. Sa publication aura un impact positif sur les échanges d'informations au niveau régional dans le domaine des techniques de gestion et de conservation des eaux et des sols.

Bamidele F. Dada
Directeur Général Adjoint et Représentant Régional pour l'Afrique.
FAO - Bureau Régional pour l'Afrique

Remerciements

Le contenu de cette publication provient de ‘‘L’atelier régional sur la collecte des Eaux de Surface en Afrique de l’Ouest et du Centre’’, organisé par le bureau régional pour l’Afrique de la FAO. Le résumé, les conclusions et recommandations, de même que l’édition finale, sont le résultat d’un travail collectif entre les participants à l’atelier et les éditeurs, Dagmar Kunze, fonctionnaire chargé du développement des systèmes d’exploitation, et Sourakata Bangoura, Chargé des ressources en eau. La contribution des auteurs des différentes présentations est hautement appréciée.

Les remerciements sont adressées à Therese Aforo, Rose Sah et Dorcas Amoah pour leur aide dans la traduction et l’édition, et à Morini, Expert en nouvelles technologies, FAO, Rome, pour la mise en forme et l’édition finale.

Sincère gratitude à la Représentation de la FAO à Niamey/Niger pour son support logistique et à L’ICRISAT (Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-arides) à Niamey pour l’organisation de l’atelier.

Table des matières Table of contents

	Pàge/Page
PREFACE	iii
ACKNOWLEDGEMENTS	iv
AVANT PROPOS	v
REMERCIEMENTS	vi
TERMINOLOGIE/TERMINOLOGY	ix
SOMMAIRE/SUMMARY	1
LES TECHNIQUES DE LA COLLECTE DES EAUX DE SURFACE, LEUR DURABILITÉ ET OPTIMALISATION – THE TECHNIQUES OF WATER HARVESTING, THEIR SUSTAINABILITY AND OPTIMISATION	19
Les techniques de la collecte des eaux de surface en Afrique de l'Ouest et du Centre <i>F. Gadelle</i>	21
Les techniques de la collecte des eaux et la durabilité <i>S. Bangoura</i>	27
Optimization of soil water use <i>N. van Duivenbooden & Ch. L. Bielders</i>	33
ASPECTS SOCIO-ÉCONOMIQUES ET ÉTUDES DE CAS AU BURKINA FASO, NIGER, NIGERIA ET CAMEROUN – SOCIO-ECONOMIC ASPECTS AND CASE STUDIES FROM BURKINA FASO, NIGER, NIGERIA AND CAMEROUN	41
Participation in water-resources management: the gender issue <i>F. Chancellor</i>	43
Methods to evaluate the economic impact of water harvesting <i>D. Kunze</i>	53
Water harvesting in various farming systems in Nigeria <i>A. Kolawole, J.K. Adewumi</i>	63

Water harvesting technologies in the Mandara Mountains Region of Cameroon <i>A. Nji, M. Fonteh</i>	69
La collecte des eaux de surface au Burkina Faso <i>L. Some, F. Kambou, S. Traore, B. Ouedraogo</i>	79
La performance économique de la collecte des eaux de surface: L'expérience du Niger <i>I. Wata, S. Gamake</i>	85
HISTORIQUE ET POLITIQUE NATIONALE EN MATIÈRE DE COLLECTE DES EAUX DE SURFACE EN MAURITANIE, GAMBIE ET TCHAD – HISTORY AND NATIONAL POLICY OF WATER HARVESTING IN MAURITANIA, THE GAMBIA AND CHAD	93
La collecte des eaux de surface en Mauritanie <i>F.A. Diagana</i>	95
Gambian experience in water harvesting <i>E.O. Sonko</i>	103
La collecte des eaux de surface au Tchad <i>N. Deli</i>	109
LISTE DES PARTICIPANTS	115

Terminologie/Terminology

Techniques		Explication	Explanation	Pays/Countries
micro-barrage	micro dam	stone dam with a reservoir of little capacity	barrage en pierres avec une retenue de faibles dimensions	Tous pays - all
seuils d'épandage	stone-weirs	built blocks directing water flow out of a river towards fields	seuils en enrochements en rivière déviant l'eau vers les champs	Tous pays - all
épandage de crues	spate irrigation	system in which water is derived into fields during river floods	système dans lequel l'eau est dérivée dans les champs au moment des crues	Sauf/not Nigeria
tranchée	ditch; trench	long trench in contour lines	longue tranchée suivant une courbe de niveau	Niger, B. Faso, Tchad
murets	little walls	little walls dispersed in the field	petits murs dispersés dans les champs	Niger, B. Faso
banquettes	earth bunds	small earth lines along contour	petites diguettes en terres suivant les courbes de niveau	Niger, Tchad, Gambie, Nigeria
cordons pierreux	rock/stone bunds/line	10-30cm stone lines along contour	lignes de pierres suivant les courbes de niveau	Sauf/not Gambie, Sénégal
demi-lune	half moon	planting hole with a little earth bund around the hole towards the slope	trou creusé avec un petite diguette placée à l'aval pour retenir l'eau	Niger; B. Faso
Zai/Tassa	planting pit	hole filled with manure to increase water infiltration	trou rempli de fumier pour augmenter l'infiltration de l'eau	Niger, B. Faso
mares aménagées	improved low-land	water is stored by digging a natural lowland	l'eau est stockée en creusant une zone basse naturelle	Sauf/not Gambie, Sénégal, Mauritanie

Techniques		Explication	Explanation	Pays/Countries
diguettes, digues en terre	earth dikes/ dams	30-50 cm dikes from soil along contour line	diguettes de 30-50 cm de hauteur construits à partir du sol voisin	Tous pays - all
billons cloisonnés	tied ridges	little ridges that are closed about every 3 m to avoid runoff	petits billons fermés environ tous les 3 m pour éviter le ruissellement	Niger, Gambie, Nigeria, B. Faso
diguettes filtrantes	stone dikes	30-50 cm height and width of small and large stones, along contour	diguettes de 30-50 cm de hauteur et largeur suivant les courbes de niveau	Niger, B. Faso, Mauritanie
scarifiage	scratching	soil is broken for easing sowing	le sol est brisé pour faciliter le semis	Niger
impluvium	impluvium	collect water from uncultivated higher surface to use on lower fields	recueille l'eau de zones non cultivées pour l'utiliser dans les champs plus bas	Niger, Cap-vert, Cameroun, Mauritanie
fossé ados	bench terrace	ditch(es) with separation along contour	diguettes avec fossés de part et d'autre ou d'un seul côté	
bande végétative/ enherbée	vegetation strips/ barrier	herbes planted along contour, fodder	végétation plantée en bandes suivant les courbes de niveau	Tous pays - all
terrasse	terrace	stone and soil plateaus, contour area made horizontal by terracing and limited by stone or earth bunds along contour	zones rendues horizontales par terrassment et limitées par des cordons pierreux ou des diguettes suivant les courbes de niveau	Cameroun, Cap-vert
mare artificielle (boulis)	artificial pond	dug out big water hole, often close to housing	grand trou d'eau creusé, souvent près des habitations	Tous pays - all
inondation dirigée	spate irrigation (guimelther)	water partly directed into fields	l'eau est partiellement dirigée vers les champs	Tous pays - all

Sommaire

Les ressources en eau constituent l'une des ressources naturelles les plus importantes pour la survie de l'humanité et le développement socio-économique des nations. La connaissance pertinente des ressources en eau est dès lors perçue comme une condition nécessaire et indispensable pour l'élaboration des projets de développement et l'appréciation des conditions de développement durable. Cependant, la connaissance de la ressource en eau n'est pas aisée compte tenu de son caractère multidimensionnel et des différentes typologies existantes.

Dans les zones arides, semi-arides peuplées, les populations sont exposées à l'irrégularité ou à l'insuffisance des pluies dont les effets sont parfois catastrophiques pour la production agricole, la survie des populations est souvent menacée à cause des sécheresses récurrentes et de la désertification. Dans de telles conditions « l'irrigation aurait pu être la solution idéale si les infrastructures de base avaient été mises en place » (Siegert 1993).

Les zones arides (saharo-sahélienne) sont celles caractérisées par une seule saison de pluie, courte et variable, avec une longue saison sèche de 8 à 9 mois et une pluviométrie annuelle comprise entre 100-400 mm. Dans ces zones, le surpâturage causé par l'augmentation du cheptel associé aux effets des cultures, de la destruction de la végétation par la collecte de bois de feu, des feux de brousse et de la sécheresse ont accentué la dégradation des terres et la désertification.

Les zones semi-arides (soudano-sahélienne) se caractérisent par une saison des pluies s'étalant sur 3 à 4 mois avec une pluviométrie annuelle de l'ordre de 400-600 mm. Cette zone apparaît comme l'une des plus critiques de l'Afrique à cause de la grande variabilité des pluies.

En Afrique les perturbations climatiques caractérisées par les sécheresses se sont particulièrement accentuées à partir de la décennie soixante dix et se sont poursuivies jusqu'à la décennie suivante. Ces périodes de longues sécheresses qui ont frappé la plupart des pays arides et semi-arides d'Afrique ont eu pour corollaires: les famines, les déplacements des populations affectées, les pertes de terres jadis fertiles, mais également une prise de conscience au niveau national et international de l'ampleur et de la portée de la calamité. Ainsi pendant la sécheresse qui a sévi au Sahel au début des années 70, il était estimé que près d'un million de «réfugiés écologiques» soit le sixième de la population ont dû quitter le Burkina Faso; cinq cent mille (500 000) personnes de plus avaient quitté le Mali (FAO, 1990).

C'est ainsi qu'au cours des 30 dernières années de nombreux gouvernements et institutions ont entrepris de vastes programmes et projets visant la conservation et la mise en valeur des ressources en eau douce.

Parmi les options technologiques envisagées par les décideurs, la collecte des eaux de surface, de par son potentiel, a retenu les attentions. En effet la collecte des eaux de surface est une technique éprouvée pour l'accroissement de la sécurité alimentaire dans les zones arides ou semi-arides. Le contrôle de l'érosion ainsi que la recharge des nappes phréatiques sont des avantages additionnels des techniques de collecte des eaux de surface.

Bien qu'il y ait eu des résultats encourageants dans certains programmes et projets, la plupart n'ont cependant pas atteint les résultats escomptés et les objectifs assignés. Cette contre-performance des projets de conservation et de gestion des ressources en eau est essentiellement due aux approches dirigistes, aux technologies inadaptées aux besoins des bénéficiaires ainsi qu'aux conditions socio-économiques et environnementales locales.

Concept de collecte des eaux de surface

Auparavant, il y a lieu de donner des précisions sur le concept de «**Collecte des eaux de surface**» compte tenu des multiples définitions existantes dans les publications. Selon la FAO, la récolte des eaux de surface dans son sens général se réfère à la «**Collecte des eaux de ruissellement pour un usage productif**». Les eaux de ruissellement peuvent être collectées tant à partir des toits des maisons qu'à partir de la surface du sol et des cours d'eau intermittents ou éphémères. Il existe une gamme variée de techniques de collecte des eaux destinées à des usages multiples. L'utilisation productive des eaux de ruissellement inclue le stockage de l'eau pour les usages domestiques, la conservation des eaux pour l'arrosage des cultures maraîchères et fruitières et dans une moindre mesure pour la pisciculture.» (Critchley et Siegert 1991).

Typologie des techniques de collecte des eaux de surface

Durant les travaux de l'atelier sous-régional sur les techniques de collecte des eaux de surface tenu à Niamey en octobre 1999, les participants ont procédé à un recensement exhaustif des principales techniques de collecte des eaux de surface pratiquées dans les différents pays. Comme le montre le tableau 1 ci-dessous les techniques de collecte des eaux de surface les plus courantes sont les micro-barrages, les seuils d'épandage, les cordons pierreux, les mares aménagées et les digues en terre. Parallèlement d'autres techniques de conservation des eaux et des sols sont appliquées dans certains pays, il s'agit notamment du zai ou tasa, des billons cloisonnés, du mulching, du paillage, du scarifiage etc.

Le tableau 1 fait ressortir que plusieurs des aménagements peuvent être réalisés manuellement et à faible coût par les bénéficiaires et sont facilement reproductibles. De même, l'entretien des petits ouvrages peut se faire à la main quoiqu'il exige une grande quantité de main d'œuvre dans certains cas. Les coûts de transport des matériaux (pierres) et la durée de vie limitée des ouvrages constituent les principales contraintes.

Aspects techniques

Sur le plan technique, il est recommandé:

- De combiner d'une part les techniques de collecte des eaux de surface avec les actions d'intensification des systèmes de culture en particulier en calant les calendriers cultureux en fonction des appoints d'eau dus à la collecte ce qui donne pour résultat un apport d'éléments

TABEAU 1
Matrice des techniques de collecte des eaux de surface dans la sous-région de l'Afrique de l'Ouest et du Centre

Techniques	Pays	Limites/contraintes	Avantages	Coûts	Unités physiques	Niveau technologique	
						Exécution	Entretien
Micro-barrage	Tous pays	Coût élevé; faible entretien par les bénéficiaires; maladies hydriques	Usages multiples; capacité de production plus grande; recharge des nappes	Cher; > à la capacité des bénéficiaires	Fin des glaciais; dépressions	Mécanique	Bénéficiaires
Seuils d'épandage	Sauf Nigeria	Entretien fréquent; faible capacité de production; coût élevé.	Recharge des nappes; repliquable	Cher; > à la capacité des bénéficiaires	Vallées	Mécanique	Bénéficiaires
Tranchées	Niger, B. Faso, Tchad	Main d'œuvre importante	Reconstitution végétale; récupération des terres marginales; entretien espace.	Pas cher, à la portée des bénéficiaires	Versants, plateaux, glaciais à forte pente	Manuelle	Bénéficiaires
Murets	Niger, B. Faso, Tchad, Mali	Main d'œuvre importante	Reconstitution du pâturage; production agricole	Pas cher, à la portée des bénéficiaires	Versants,	Manuelle	Bénéficiaires
Banquettes	Niger, Tchad, Gambie, Nigeria	Main d'œuvre importante; moyens mécaniques	Reconstitution du pâturage; production agricole	Pas cher, à la portée des bénéficiaires	Plateaux, glaciais	Mixte	Bénéficiaires
Cordons pierreux	Sauf Gambie et Sénégal	Transport matériaux	Reconstitution végétale; récupération des terres marginales; entretien espace; lutte anti-érosive	Pas cher, à la portée des bénéficiaires	Plateaux, glaciais dégradés; versants	Manuelle	Bénéficiaires
Demi-Lunes	Niger, Burkina Faso	Entretien important, main d'œuvre importante; précarité	Accroissement des rendements et reboisement	Pas cher, à la portée des bénéficiaires	Glaciais; versants à faible pente	Mixte	Bénéficiaires
Zaï	Niger, B. Faso	Durée de vie limitée; main d'œuvre élevée; disponibilité parfois limitée des matières organiques	Accroissement des rendements; récupération des terres marginales.	Pas cher, à la portée des bénéficiaires	Plateaux; glaciais, versants	Manuelle	Bénéficiaires
Mares aménagées	Sauf Gambie, Sénégal, Mauritanie	Coût élevé, maladies hydriques	Usages multiples; recharges des nappes	Cher, pas à la portée des bénéficiaires	Bas-fonds, dépressions	Mécanique à mixte	Bénéficiaires
Digue en terre	Tous pays	Durée de vie limitée, entretien fréquent	Protection terres submersibles; rapport coût/ha aménagé avantageux	A la portée des bénéficiaires	Fin des glaciais; dépressions	Mécanique	Bénéficiaires
Billons cloisonnés	Niger, Gambie, Nigeria, B. Faso	Durée de vie limitée	Conservation de l'humidité	A la portée des bénéficiaires	Plateaux, glaciais	Manuelle	Bénéficiaires
Diguettes filtrantes	Niger, B. Faso, Mauritanie	Transport matériaux	Repliquable; lutte anti-érosive; récupération des terres marginales	A la portée des bénéficiaires	Vallées; cours d'eau (oueds)	Mixte	Bénéficiaires
Scarifiage	Niger			A la portée des bénéficiaires	Plateaux	Mécanique	Bénéficiaires
Impluvium	Niger, Cap-vert; Cameroun, Mauritanie	Main d'œuvre importante; coût élevé (pour impluvium moderne)	Augmentation la disponibilité de l'eau	Variable	Partout, en particulier sur versants	Mixte	Bénéficiaires

nutritifs nécessaires (engrais minéraux, engrais organiques) ainsi que les effets bénéfiques du paillage, des pesticides, et du matériel agricole adapté.

- De combiner d'autre part les techniques de collecte des eaux de surface entre elles. Par exemple la combinaison des cordons pierreux-zaï-paillage-fumure organique.
- D'intégrer les techniques de collecte des eaux de surface dans un aménagement du terroir et du bassin versant.

Aspects socio-économiques

Il ressort des différentes présentations et études de cas ainsi que des travaux de groupes de travail que l'augmentation de la production alimentaire et des revenus dans les zones où il y a peu d'alternatives (zone sahélienne par exemple) constitue le plus grand impact socio-économique des techniques de collecte des eaux de surface.

Par ailleurs, il a été noté des effets induits tels que la réduction de l'exode rural et un impact positif sur l'organisation des agriculteurs, car la réalisation des types de travaux de collecte des eaux requiert une plus grande solidarité de groupe.

Dans le tableau 2 il apparaît que les meilleurs résultats obtenus sur les plans du revenu, travail, foncier et exode rural proviennent des techniques de construction de cordons pierreux, des diguettes, des terrasses, du zaï et des boulis.

Sur le plan socio-économique il est recommandé:

- L'adoption d'une démarche participative dans la conception et la mise en œuvre des projets de collecte des eaux de surface afin d'assurer la durabilité des actions;
- Les techniques réalisées manuellement, facilement reproductibles par les bénéficiaires et à faible coût avec un financement externe le plus limité possible doivent être privilégiées;
- Les travaux de maintenance des ouvrages doivent être à la charge des populations bénéficiaires des infrastructures;
- Les techniques préconisées doivent être rentables pour les paysans.
- La mise en place d'un système de crédit agricole adapté, pour permettre une plus grande participation des bénéficiaires au financement des ouvrages;
- Une mobilisation plus importante des financements pour la sensibilisation, l'organisation et la formation des bénéficiaires;
- La conduite d'études supplémentaires sur les impacts socio-économiques de la conservation des eaux et des sols y inclus les études d'impact sur les femmes, les effets sur la loi foncière en coopération avec les bénéficiaires, les ONGs, les services techniques nationaux concernés.

Aspects institutionnels et politiques

Les discussions dans le cadre de l'atelier ont permis de constater que l'existence et le contenu des politiques et stratégies varient d'un pays à l'autre. Par ailleurs, dans de nombreux pays, la responsabilité de la conception et la mise en œuvre des techniques de collecte des eaux de surface et de conservation des sols relèvent de plusieurs centres de décisions.

Il a été également noté que certains pays avaient plutôt donné la priorité aux grands projets hydro-agricoles au détriment des techniques plus simples, à faible coût pouvant être gérées et entretenues par les bénéficiaires eux-mêmes.

L'absence d'une politique foncière claire n'a pas non plus permis une large diffusion de ces techniques.

Au regard des insuffisances relevées dans les politiques et stratégies de mise en œuvre des techniques de collecte des eaux de surface par rapport aux besoins de la sécurité alimentaire, il est recommandé:

TABEAU 2
Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur l'environnement institutionnel et socio-économique

	Classe-ment	Mala-die	Reve-nu net	Division du travail		Foncier	Exode rural	Arrange-ment institution-nel
				Calen-drier	Compétition avec travaux ménagers			
Micro-barrage	1	--	++	++	++	++	+++	+++
Diguette en pierres	1	0	++	++	+	++	+++	++
Digue filtrante	2	-	++	++	+	++	++	++
Cordon pierreux	3	0	++	+	0	++	++	++
Terrasses	3	0	++	+	++	++	0	++
Diguettes en terres	3	-	+	+	++	+	+++	++
Mare artificielle ¹	4	--	++	++	+	0	+++	++
Digue de diversion ²	4	-	++	+	++	+	+ -	+++
Zaï ou tassa	5	0	+	0	++	+	++	0
Demi-lune	6	0	+	+	0	+	++	0
Bande végétalisée	6	0	+	0	0	++	+ -	++
Tranchée	6	0	+	+	+	+	0	+
Sous-solage	7	0	+	0	0	+	0	++
Fossés ados	8	-	+	+	+	+	+ -	+ -
Mulching	9	0	+	0	0	0	0	0
+++	impact extrêmement positif,			--	impact très négatif;			
++	impact très positif;			-	impact négatif			
+	impact positif			0/+ -	zéro impact, impact positif et négatif			

¹ Boulis; ² Guimelther.

Source : Basés sur groupes de travail - FAO/RAF, Atelier S/Régional octobre 1999, Niamey, Niger

- De mettre en place des mécanismes institutionnels pertinents pour la coordination, la supervision et le suivi-évaluation des projets et programmes de collecte des eaux de surface. De tels mécanismes permettent d'éviter la dispersion des centres de décision et de favoriser le partage des expériences sur le plan local, national et sous-régional;
- De définir des politiques et stratégies claires en matière de CES. Ces politiques devraient privilégier l'approche «gestion des terroirs» et une responsabilisation conséquente des bénéficiaires;
- De définir et d'appliquer concrètement une politique foncière claire et précise avant et pendant la mise en œuvre des projets;

Aspects environnementaux

Des résultats présentés dans le tableau 3, il ressort que la mise en œuvre des techniques de collecte des eaux de surface combinée aux techniques de conservation des sols permet de restaurer le couvert végétal dans des zones désertiques. La récupération des terres marginales est le principal bénéfice des techniques de CES dans des régions où la terre à cultiver devient limitée comme sur le Plateau Central du Burkina Faso.

TABLEAU 3
Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur l'environnement

	Classe- ment	Anti- Erosion	Conservation de l'eau	Effet sur la flore	Effet sur la faune	Réhabi- litation	Durabilité des effets
Diguettes en pierres	1	++	++	+	+	++	++
Fossé ados	2	+++	++	+	0	++	+
Cordon pierreux	2	+	++	+	+	++	++
Terrasse	2	++	+++	++	0	-	+++
Bande végétalisée	2	+	++	++	+	+	++
Zaï ou Tassa	3	+	++	+	+	++	+
Demi-lune	3	+	++	+	+	++	+
Digue filtrante	3	+	++	+	+	+	++
Tranchée	4	+	++	++	0	+	+
Micro-barrage	4	+	++	++	+	-	++
Digue de diversion ¹	5	0	++	++	+	-	++
Mare artificielle ²	6	-	++	++	+	-	++
Diguette en terre	7	+++	++	+	0	-	-
Mulching	7	+	++	+	+	+	--
Sous-solage	8	+	+	+	0	+	--
+++	impact extrêmement positif,		--	impact très négatif,			
++	impact très positif;		-	impact négatif			
+	impact positif		0/+-	zéro impact, impact positif et négatif			

¹ Guimelther; ² Boulis.

Source: Basés sur groupes de travail - FAO/RAF, Atelier S/Régional octobre 1999, Niamey, Niger

En plus, la foresterie rurale est favorisée par le taux de survie élevé des arbres et arbustes sauvages et la recharge des nappes phréatiques. Ce dernier point est souvent décrit par les paysans, mais peu étudié par la recherche à long terme. En revanche, on note que les retenues d'eau, en particulier les micro-barrages, sont parfois sources de maladies hydriques comme la bilharziose.

Les contraintes à l'adoption des techniques de collecte des eaux de surface

Le tableau 4 fournit un classement des différentes techniques en fonction de critères en relation avec l'utilisation et l'entretien des ouvrages après leur construction. Les critères choisis sont le niveau d'entretien, d'autant plus négatif qu'un ouvrage a besoin de beaucoup d'entretien, les besoins en main d'œuvre agricole, d'autant plus positifs que les agriculteurs peuvent seuls entretenir les ouvrages, les besoins de formation, estimés être un aspect négatif (temps perdu et motivation des agriculteurs), et les contraintes institutionnelles, d'autant mieux notées qu'elles

TABLEAU 4
Contraintes à l'adoption et l'utilisation des techniques de conservation des eaux et du sol
après la mise en place

	Classement	Niveau d'entretien	Entretien par les paysans	Besoins de formation	Arrangement institutionnel
Cordon pierreux	1	0	+	0	++
Diguette en pierre	2	0	+	-	++
Terrasse	3	-	0	-	+++
Demi-lune	3	-	+	0	+
Bande végétalisée	3	-	+	-	++
Fossés ados	4	-	+	-	+
Tranchées	4	-	+	-	+
Micro-barrage	4	-	--	0	+++
Zaï ou Tassa	4	-	+	0	0
Digue filtrante	4	0	-	-	++
Mulching	4	-	+	0	0
Diguettes en terres	4	--	+	0	+
Sous-Solage	5	-	--	0	++
Digues de diversion ¹	5	--	-	0	++
Mare artificielle	5	--	-	0	++
+++	impact extrêmement positif,		--	impact très négatif;	
++	impact très positif;		-	impact négatif	
+	impact positif		0/+-	zéro impact, impact positif et négatif	

¹ Guimelther; ² Boulis.

Source : Basés sur groupes de travail - FAO/RAF, Atelier S/Régional octobre 1999, Niamey, Niger

demandent plus de participation communautaire. Ce dernier point est considéré comme positif mais pourrait aussi être vu comme une contrainte pour le progrès individuel.

Les classements les plus élevés sont donnés aux techniques les plus simples et les moins coûteuses qui demandent peu d'inputs de la part des agriculteurs, sont gérables à leur niveau et impliquent des actions communautaires, comme les ouvrages en pierres, les bandes de végétation et les demi-lunes. A l'autre extrémité du classement, les mares artificielles et l'épandage de crues sont hors de portée des agriculteurs, le paillage et les digues en terre demandent beaucoup de main d'œuvre et sont moins durables.

Actions prioritaires

En Afrique de l'ouest et du centre, le choix des techniques dépend également des conditions géographiques et climatiques aussi bien que de la disponibilité des matériaux et du degré de dégradation (tableau 5).

Les priorités concernent des actions qui sont fortement recommandées comme favorables; certaines sont réalisables mais non urgentes ou moins efficaces; d'autres ne sont pas recommandées par manque de matériaux adaptés; enfin, dans de rares cas, un impact négatif est attendu, par exemple un accroissement de l'érosion.

TABLEAU 5
Actions prioritaires en fonction des zones climatiques et géographiques

Technique	Zone Sahélienne/Sahara		Zone Soudanienne		Bas-fonds
	sableux	pierreux	sableux	pierreux	
Mulching	++	++	+	+	0
Sous-Solage	-	+	+	0	0
Zai Tassa	++	+	+	+	0
Demi-lune	++	+	+	+	0
Diguette en terre	+	-	+	-	++
Diguette en pierre	0	+	0	++	0
Bench terrace	+	+	+	+	0
Cordon pierreux	0	+	0	++	0
Digues filtrantes	0	+	0	+	+ / 0
Mare artificielle ¹	+	+	+	0	0
Bande végétalisée	++	++	+	+	0
Trench	-	+	+	+	0
Digue de diversion ²	+	-	+	0	++
Micro-barrage	+	+	+	+	++
Terrace	-	+	0	+	++
++	très favorable;		0/+	non-faisable (manque de matériel)	
+	faisable ;		-	impact négatif	

¹ Zai or Tasa; ² Boulis; ³ Guimelther.

Source: Basés sur groupes de travail - FAO/RAF, Atelier S/Régional octobre 1999, Niamey, Niger

En conclusion, on peut dire que si chaque zone est plus favorable à certaines techniques, le choix final sera influencé par les nombreux critères qui ont été exposés dans ce chapitre.

Le résultat des classements en fonction des différents aspects techniques, environnementaux, socio-économiques, politiques et institutionnels montre que les techniques à petite échelle, à faibles intrants et durables sont les plus bénéfiques pour les agriculteurs et les plus prometteuses pour obtenir des résultats positifs. Cela est spécialement vrai pour les ouvrages en pierres, petits et moyens, les terrasses, les bandes de végétation, le zai et les demi-lunes, les premiers étant de coût plus faible à l'hectare et plus durables, les derniers étant plus faciles à mettre en oeuvre individuellement et à entretenir. Les micro-barrages ont un classement élevé si on considère leur impact considérable sur les communautés mais ils sont évidemment une des solutions les plus coûteuses.

CONCLUSION

Un des enjeux majeurs auquel l'humanité sera confrontée au cours de ce nouveau millénaire c'est la gestion durable des ressources en eau face aux demandes pressantes d'une population sans cesse croissante, et aux demandes multisectorielles pour une ressource limitée. Dans les pays arides et semi-arides cette situation est encore plus préoccupante quand on tient compte des caprices du climat qui n'autorisent que peu d'espoir pour plus d'eau que ce qui est disponible. Malgré les efforts des Gouvernements, Institutions nationales et internationales, Société civile, en faveur de la sauvegarde et de l'exploitation durable des ressources naturelles en général, de

l'eau et des sols en particulier, beaucoup reste à faire pour freiner la tendance à la dégradation des sols et à la désertification de même que pour une meilleure valorisation du potentiel d'eau de surface.

Ce qui nous amène à rechercher des solutions durables. En s'inspirant des leçons tirées des expériences passées il est possible d'atteindre un degré appréciable de durabilité. Ainsi les techniques de collecte des eaux de surface adaptées aux conditions physiques, socio-économiques, politiques, institutionnelles et environnementales pourraient constituer une perspective d'avenir pour les zones arides et semi-arides d'Afrique. Il est maintenant prouvé que les techniques de collecte des eaux de surface sont susceptibles:

- D'augmenter les rendements des cultures;
- D'améliorer les pâturages;
- D'aider à la régénération des forêts dans les zones dénudées;
- De minimiser les effets de l'érosion;
- De recharger la nappe phréatique.

Bien que chaque zone climatique et géographique favorise un certain nombre de techniques de conservation des eaux et des sols, le choix final doit obéir aux critères de durabilité technique, socio-économique, politique, institutionnel et environnemental aussi bien au stade de la planification que de la mise en œuvre. Les techniques à faible coût, facilement replicables par les populations se sont avérées être les plus prometteuses pour une gestion durable des ressources en eau.

Summary

Water resources constitute the most significant natural resource for the survival of human kind and the socio-economic development of nations. The relevant knowledge of water resources is consequently a prerequisite condition for the elaboration of development projects and to appraise sustainable resources. However this knowledge of water resource is intricate, taking into account its multidimensional character and the varied utilisations.

In the populated arid and semi-arid regions, people are by definition exposed to the irregularity or insufficiency of rains. These effects are sometimes catastrophic for agricultural production, the survival of people often threatened because of the recurring drought and desertification. Under such conditions 'irrigation could have been the ideal solution if the basic infrastructures have been put in place' (Siegert, 1993).

The arid regions (saharo-sahelian) are those characterised by only one rainy season, short and variable, with a long dry season of 8 to 9 months and an annual rainfall ranging between 1000-4000 mm. In these regions, the overgrazing have been accentuated by increasing livestock numbers, poor farming practices, destruction of vegetation through firewood collection, bushfires and drought (degradation of the lands and desertification).

The semi-arid regions (soudano-sahelian) are characterised by one rainy season spreading over 3 to 4 months with an annual rainfall ranging between 4000 -6000 mm. These regions seem to be among the most critical in Africa because of the immense variability of rains.

In Africa, the climatic changes characterised by drought became particularly dramatic at the beginning of the seventies (1970's) and have continued to the subsequent decade. The long dry period, which affected the majority of the arid and semi - arid countries in Africa, has as corollaries: famine, displacement of population, loss of previously fertile land, but also created an awareness at the national and international levels of the extent and range of the calamity. As a result of the drought which prevailed in Sahel at the beginning of the seventies, it was estimated that nearly a million 'ecological refugees' representing a sixth of the population left Burkina Faso along with five hundred thousand people from Mali (FAO, 1990).

It is for this reason that during the last 30 years, a number of governments and institutions in the Sahel have launched programmes and projects aiming at the conservation of water resources.

Among the technological options considered by the decision-makers and engineers is water harvesting. In fact, it has been proven that the adoption of water harvesting techniques can improve food security in arid or semi-arid regions. Additional advantages of water harvesting are erosion control as well as the refilling of the aquifer.

Even though results have been encouraging in some programmes and projects, the majority of interventions however did not achieve the anticipated results nor assigned goals. This non-performance of water resource conservation and management projects is primarily due to inappropriate approaches and technologies, which are not adapted to the socio-economic and environmental conditions and needs of the beneficiaries.

Concept of surface water harvesting

First of all, it is necessary to characterise the concept of water harvesting considering the multiple existing definitions in the literature. According to FAO, water harvesting in its broadest sense is defined as 'the collection of runoff for its productive use'. Runoff may be harvested from roofs and ground surfaces as well as from intermittent or ephemeral watercourses. A wide variety of water harvesting techniques for many different applications is known. Productive uses include the provision of domestic and stock water, concentration of runoff for crops, fodder and tree production and less frequently water supply for fish and duck ponds (Critchley and Siegert, 1991).

The typology of water harvesting techniques

The participants of a workshop on water harvesting held in Niamey in October 1999, carried out a complete census of the principal types of water harvesting techniques practised in various countries. As shown in Table 1, the most common water harvesting techniques are the micro-dams, stonewalls, spate irrigation, stone bunds, improved lowlands, and earthen dams. Concurrently, other techniques are applied in certain countries, which notably concern: trenches, little walls, earthen bunds, half-moons, zai or tasa, ridges, stone dikes, bench terraces, scratching techniques and impluvium, etc.

Table 1 shows that many techniques are easily reproducible and can be carried out manually and at little cost by the beneficiaries. Similarly, the maintenance of the retention collection and devices can be done by hand even though they may require considerable labour in certain cases. The cost of transportation of the material (stones) and the limited lifespan of certain types of structure constitute the principal constraints.

Technical aspects

Technically, it is recommended:

- To combine on one hand, water harvesting techniques with measures of intensification of the farming systems in particular by arranging the timing of cultural practices according to the water supplement collection which results in the contribution of beneficial nutrients (mineral and organic) as well as the beneficial effects of mulching, of pesticides and of adapted farm equipment.
- To combine, on the other hand, water harvesting techniques with each other. For example, combination of the cords organic stony-zai-mulching, organic manure.
- To integrate the surface water collection techniques at the level of one land development site watershed.

Socio-economic aspects

The socio-economic impacts on revenue generation, land use, labour allocation and rural migration are presented in Table 2. Recent ondages indicate that the incremental increase in food production and incomes in zones where there are few alternatives to water harvesting (ex: Sahelian zone in Burkina Faso) constitutes the largest socio-economic impact of these techniques. It was also noted that there are effects set off, such as the reduction of the rural migration and a positive impact on the organisation of the farmers, because large operations require a solidarity co-operation.

TABLE 1
Summary of Water Harvesting Techniques in West and Central Africa

Techniques	Countries	Limitations/constraints	Advantages	Costs	Topography	Technical level	
						Construction	Maintenance
Mini-dams	All countries	High cost; low level of maintenance by beneficiaries; water-borne disease	Multiple uses; high production capacity; aquifer recharge	High, not affordable by beneficiaries	Glacis; lowlands	Mechanical	Beneficiaries
Stone-weirs	All countries, except Nigeria	Frequent maintenance; low productivity; high cost	Aquifer recharge; easy to replicate	High, not affordable by beneficiaries	Valleys	Mechanical	Beneficiaries
Ditch-trench	Niger, Burkina Faso, Chad	Labour intensive	Pasture reconstitution, Recovery of marginal lands, spaced maintenance	Low cost, affordable by beneficiaries	Slopes, plateau steep glacis	Manual	Beneficiaries
Little walls	Niger, Burkina Faso, Chad, Mali	Labour intensive	Pasture reconstitution, agricultural production	Low cost, affordable by beneficiaries	Slopes	Manual	Beneficiaries
Earth bunds	Niger, Chad, Gambia, Nigeria	Labour intensive; need of motorized equipment	Pasture reconstitution, agricultural production	Low cost, affordable by beneficiaries	Plateau, glacis	Mixed	Beneficiaries
Stone bunds	All countries except Gambia and Senegal	Transportation burden	Pasture reconstitution, Recovery of marginal lands, spaced maintenance	Low cost, affordable by beneficiaries	Plateau, degraded glacis, slopes	Manual	Beneficiaries
Half moon	Niger, Burkina Faso	Maintenance workload, labour intensive, precarity	Yield increase; soil protection	Low cost, affordable by beneficiaries	Glacis, gentle slopes	Mixed	Beneficiaries
Planting pit	Burkina Faso, Niger, Mali	Short duration; labour intensive; shortage of organic matters	Yield increase; recovery of marginal lands	Low cost, affordable by beneficiaries	Plateau, glacis, slopes	Manual	Beneficiaries
Pond improvement	All countries except Gambia, Senegal, Mauritania	High cost; water-borne diseases	Multiple uses, aquifer recharge	High cost	Lowlands depressions	Mechanical to mixed	Beneficiaries
Earth dikes	All countries	Limited lifespan; frequent maintenance	Lowland protection	Affordable by beneficiaries	Plateau, glacis, gentle slopes	Mechanical	Beneficiaries
Tied ridges	Niger, Gambia, Nigeria, Burkina Faso	Limited lifespan	Effective on soil water conservation	Affordable by beneficiaries	Plateau, glacis	Mechanical	Beneficiaries
Stone dikes	Niger, Burkina Faso, Mauritania	Transportation burden	Easy to replicate, erosion control, recovery of marginal lands	Affordable by beneficiaries	Valleys, water pathways	Mixed	Beneficiaries
Scratching	Niger		Increase water availability	Affordable by beneficiaries	Plateau	Mechanical	Beneficiaries
Impluvium	Niger, Cape Vert, Cameroon, Mauritania	Labour intensive; high cost (for modern impluvium)		Variable	Everywhere especially on slopes	Mixed	Beneficiaries

Table 2 shows that the best results are obtained from the point of view revenue, labour, land and rural exodus for stone dikes, terraces, zai and boulis.

From the socio-economic point of view it is recommended:

- Increased mobilisation of funds for the sensitisation, organisation and training of the beneficiaries;
- Establishment of an adapted agricultural credit system; allowing for greater participation of beneficiaries in financing irrigation networks;
- Improvement in transport infrastructures and distribution chains;
- Additional studies on socio-economic impacts including: studies on women, the effects on the land rights in co-operation with the beneficiaries, non-Governmental Organisations, and concerned National Technical Services.

Policies and institutional aspects

The discussions within the framework of the workshop noted that the existence and contents of policies and strategies vary from one country to another. Besides, in many countries, the responsibility for the design and the implementation of the water harvesting techniques and the soil conservation concerns several decision-making centres.

It is also noted that some countries have rather given priority to the big hydro-agricultural projects to the detriment of simpler techniques at fewer costs to be able to be managed and maintained by the beneficiaries themselves.

The absence of a clear land use policy did not allow a broader diffusion of these techniques either.

Reviewing the insufficiencies identified in the policies and strategies of the implementation of water harvesting techniques compared to the needs of food security, it is recommended:

- Establishing relevant institutional mechanisms of co-ordination, supervision and monitoring evaluation of water harvesting projects and programs. Such mechanisms make it possible to avoid the dispersion of the decision-making centres and support the sharing of experiences on local, an national and sub-regional level;
- Defining clear policies and strategies regarding SWC. These policies should favour the land-use management approach and consequently make beneficiaries more responsible;
- Defining and applying clear and precise land use policies before and during the implementation of projects.

Environmental aspect

The implementation of these techniques makes it possible to restore vegetative cover in previously desert zones, as presented in Table 3. The recuperation of the marginal lands is a principal advantage in regions where arable land becomes limited as the Central Plateau of Burkina Faso.

TABLE 2
Impact of soil and water conservation technologies on the institutional and socio-economic environment

	Rank	Disease	Revenue	Division of labor		Land Tenure	Rural Exodus	Institutional Arrangements
				Calendar	Competition household worker			
Micro-dams	1	--	++	++	++	++	+++	+++
Stone dikes	1	0	++	++	+	++	+++	++
Stone dams	2	-	++	++	+	++	++	++
Stone lines	3	0	++	+	0	++	++	++
Terraces	3	0	++	+	++	++	0	++
Earth bounds	3	-	+	+	++	+	+++	++
Artificial pond ¹	4	--	++	++	+	0	+++	++
Spate irrigation ²	4	-	++	+	++	+	+ -	+++
Soil pits ³	5	0	+	0	++	+	++	0
Half moon	6	0	+	+	0	+	++	0
Vegetation barrier	6	0	+	0	0	++	+ -	++
Tranchée	6	0	+	+	+	+	0	+
Sub-soiling	7	0	+	0	0	+	0	++
Bench terrace	8	-	+	+	+	+	+ -	+ -
Mulching	9	0	+	0	0	0	0	0
+++	very strong positive impact,			--	strong negative impact;			
++	strong positive impact;			-	negative impact			
+	positive impact			0/+	zero impact, pos. and neg. impact			

¹ Boulis; ² Guimelther; ³ Zai or Tasa.

Source : Based on working groups - FAO/RAF, Atelier S/Régional octobre 1999, Niamey, Niger

TABLE 3
Impact of water and soil conservation technologies on the environment

	Rank	Anti-Erosion	Water Conservation	Effect on Flora	Effect on Fauna	Rehabilitation	Sustainability of effect	
Stone dikes	1	++	++	+	+	++	++	
Bench terrace	2	+++	++	+	0	++	+	
Stone lines	2	+	++	+	+	++	++	
Terraces	2	++	+++	++	0	-	+++	
Vegetation barrier	2	+	++	++	+	+	++	
Soil pits ¹	3	+	++	+	+	++	+	
Half moon	3	+	++	+	+	++	+	
Stone dams	3	+	++	+	+	+	++	
Tranchée	4	+	++	++	0	+	+	
Micro-dams	4	+	++	++	+	-	++	
Spate irrigation ²	5	0	++	++	+	-	++	
Artificial pond ³	6	-	++	++	+	-	++	
Earth bounds	7	+++	++	+	0	-	-	
Mulching	7	+	++	+	+	+	--	
Sub-soiling	8	+	+	+	0	+	--	
+++	very strong positive impact,			--	strong negative impact;			
++	strong positive impact;			-	negative impact			
+	positive impact			0/+	zero impact, pos. and neg. impact			

¹ Zai or Tasa; ² Guimelther; ³ Boulis.

Source: Based on working groups - FAO/RAF, Atelier S/Régional octobre 1999, Niamey, Niger

Constraints to adoption of water harvesting techniques

Table 4 shows the ranking of various techniques according to criteria, which refer to adoption and utilisation after installation. The criteria chosen were the level of maintenance, which shows to be the more negative the more maintenance is needed, the requirement of farmers to do maintenance, where technologies which could be maintained by farmers were favourably rated (+), the need for training, estimated to be a negative aspect (time-consuming) and institutional arrangements, which rated increasingly for technologies that required more community involvement. This rating was given a positive aspect (+), but could also be seen as a hindrance for individual progress.

TABLE 4
Constraints to adoption and utilization of soil and water conservation technologies after installation

	Rank	Level of maintenance	Maintenance by farmers	Need for Training	Institutional Arrangements
Stone lines	1	0	+	0	++
Stone dikes	2	0	+	-	++
Terraces	3	-	0	-	+++
Half moon	3	-	+	0	+
Vegetation barrier	3	-	+	-	++
Bench terrace	4	-	+	-	+
Trench	4	-	+	-	+
Micro-dams	4	-	--	0	+++
Soil pits ¹	4	-	+	0	0
Stone dams	4	0	-	-	++
Mulching	4	-	+	0	0
Earth bounds	4	--	+	0	+
Sub-soiling	5	-	--	0	++
Spate irrigation ²	5	--	-	0	++
Artificial pond ³	5	--	-	0	++
+++		very strong positive impact,	--	strong negative impact;	
++		strong positive impact;	-	negative impact	
+		positive impact	0/+	zero impact, pos. and neg. impact	

¹ Zai or Tasa; ² Guimelther; ³ Boulis.

Source : Based on working groups - FAO/RAF, Atelier S/Régional octobre 1999, Niamey, Niger

The higher rankings are found among the more simple and low cost technologies that involve a lower input from farmers, are manageable at farmers level and involve community action, such as stone structures, vegetation barriers and half moons. On the other end of the scale, artificial ponds and spate irrigation is out of farmers control and manure and earth bunds are labour intensive and less sustainable.

Priority actions

Looking at the different geographical and climatic zones in Western and Central Africa the choice of technology has to be done as well in accordance with the availability of material and the degree of degradation (table 5).

The priorities concern activities that are strongly advised as favourable, other activities are feasible, but not urgently needed or less efficient. Some activities are not feasible, because of lack of materials and there are rare cases where a negative impact is being anticipated, for example an increased erosion.

TABLE 5
Priority actions in respect to climatic and geographical zones

Technique	Sahelian zone/Sahara		Sudanian zone		Inland Valley
	Sandy	Stony	Sandy	Stony	
Mulching	++	++	+	+	0
Sub-soiling	-	+	+	0	0
Soil pits ¹	++	+	+	+	0
Half moon	++	+	+	+	0
Earth bounds	+	-	+	-	++
Stone dikes	0	+	0	++	0
Bench terrace	+	+	+	+	0
Stone lines	0	+	0	++	0
Stone dams	0	+	0	+	+ / 0
Artificial ponds ²	+	+	+	0	0
Vegetation barrier	++	++	+	+	0
Trench	-	+	+	+	0
Spate Irrigation ³	+	-	+	0	++
Micro-dams	+	+	+	+	++
Terraces	-	+	0	+	++
++	strong favorable;		0/+	not-feasible (lack of material)	
+	feasible;		-	negative impact (on erosion etc.)	

¹ Zai or Tasa; ² Boulis; ³ Guimelther.

Source: Based on working groups - FAO/RAF, Atelier S/Régional octobre 1999, Niamey, Niger

As a final point, it is stated that although each region favours certain techniques, the final choice will be influenced by a number of criteria, which were discussed in this chapter.

CONCLUSION

The outcome of the various rankings according to the different technical, environmental, socio-economic, political and institutional aspects shows that small-scale, low-input and long-lasting technologies are the most beneficial ones for farmers and the most promising ones in achieving sustainable outcomes. This is especially true for small and medium stone constructions, for terraces, for vegetation barriers and for soil pits and half moons, the former being more low cost and sustainable, the latter easier to individually set up and manageable. Micro-dams proved to be ranked highly in one case, as their impact on communities can be considerable, but they are of course one of the more costly measures.

RÉFÉRENCES/REFERENCES

- Albergel, J. et al.** 1992. Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel, Comité Interafricain d'Etudes hydrauliques (CIEH), Ouagadougou/Burkina Faso, CIRAD/Montpellier.
- Barrow, Ch.** 1999. Alternative Irrigation: The Promise of Runoff Agriculture, EARTHSCAN Publications.
- Critchley, W., Siegert, K.** 1991. Water Harvesting – A manual, FAO, Rome.
- Dupriez, H., Leener, P. de** 1992. Les chemins de l'eau: Ruissellement, irrigation et drainage; Terres et Vie, Nivelles, Belgique.
- FAO.** 1990. La conservation et la restauration des terres en Afrique, Rome.
- FAO.** 1994. Water Harvesting for improved agricultural production, Rome.
- FAO/BRGM.** 1993. Les ressources en eau, manuels & méthodes, Rome.
- FAO/PNUD.** 1991. Programme international d'action concernant l'eau et le développement agricole durable.
- Mazzucato, V., Niemeijer, D.** 2000. Rethinking soil and water conservation in a changing society – a case study in eastern Burkina Faso; Tropical Resource Management Papers, 32, Wageningen University and Research Center.
- Prinz, D.** 1994. Water Harvesting Past and Future; University of Karlsruhe.
- Reij, C.** 1988. Impact des techniques de la conservation des eaux et du sol sur les rendements agricoles; analyse succincte des données disponibles pour le plateau central au Burkina Faso, AGRISK.
- Reij, C., Scoones, I., Toulmin, C.** 1996. Sustaining the Soil, Earthscan, UK.
- Vlaar, J.C. (Ed.)** 1992. Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel. Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), Ouagadougou/Burkina Faso, Université Agronomique Wageningen (UAW)/Wageningen, Pays Bas.

Les techniques de la collecte des eaux de surface et leur durabilité et optimisation

The techniques of water harvesting, their sustainability and optimization

Les techniques de la collecte des eaux de surface en Afrique de l'Ouest et du Centre

La comparaison entre la production et la consommation de céréales en Afrique de l'Ouest (cf. tableau 1) montre que les importations de riz vont croître jusqu'à environ 5 millions de tonnes si la production n'augmente pas plus vite que par le passé. Même si des progrès importants peuvent être faits sur la production de riz irrigué, il est probable que la satisfaction des besoins céréaliers passera par une augmentation des cultures produites en pluvial amélioré.

TABLEAU 1
Production et importation de céréales, fruits et légumes en Afrique de l'ouest
(en milliers de tonnes) – Moyenne 1994-96

Produits	Production	Importations	Approvisionnement global
Céréales			
Blé	50	2.163	2.223
Riz usiné	4.138	2.470	6.585
Autres céréales	31.418	331	31.770
Total céréales	35.606	4.964	40,578
Fruits et légumes*	9.415	(211)	

*211.000 tonnes importées, 25.000 tonnes exportées, 971.000 tonnes perdues
Source: FAOSTAT, 1998.

Même si l'autosuffisance alimentaire est probablement un objectif irréaliste, une partie importante des besoins peut être satisfaite par l'augmentation des rendements due à une meilleure alimentation en eau des plantes. Cette alimentation peut être à peu près garantie dans le cas de l'irrigation classique. Elle n'est que partielle, en relation avec les pluies dans le cas des techniques de collecte de l'eau.

Le présent exposé va donc étudier quelles sont les techniques de collecte de l'eau qui sont disponibles, leurs perspectives et les moyens de les diffuser plus rapidement. Il va se limiter aux techniques de collecte de l'eau de surface, ce qui revient à éliminer le captage des eaux souterraines ainsi que les projets utilisant des moyens d'exhaure. On n'examinera pas ici les techniques purement agricoles qui permettent soit de diminuer l'évapotranspiration (p. ex. paillage), soit d'augmenter l'infiltration (p. ex. labours profonds ou sous-solage).

COLLECTE AU NIVEAU DE LA PLANTE ET DU BILLON

Il existe plusieurs techniques pour recueillir l'eau au niveau de la plante ou du billon:

- **le zai** consiste à creuser des trous remplis de matière organique. Ces trous espacés de 1,0 à 1,5 m en quinconce se remplissent d'eau pendant les pluies. Cette technique est surtout connue et vulgarisée avec succès au Niger et au Burkina Faso. Le ratio surface de l'impluvium/surface du trou est de l'ordre de 7/1 à 20/1. Après quelques années de culture, le sol se régénère et on n'est plus obligé de recreuser les zais;
- **la culture sur billons** présente beaucoup d'avantages agronomiques (facilité de sarclage, concentration de la matière organique sarclée près des plantes, travail de 50% de la surface seulement, etc.). Du point de vue hydraulique, les effets sont mixtes: plus grande évaporation sur les billons, conservation de l'eau dans les sillons si ceux-ci sont horizontaux ou quasi-horizontaux. Pour le Sahel, il est recommandé de construire des billons horizontaux cloisonnés, ce qui peut se faire à la charrue équipée d'un cloisonneur. Ce type de charrue a été très diffusé au Nigéria du Nord mais peu ailleurs;
- **les demi-lunes** ressemblent à la technique du zai, à la différence que les trous ont un diamètre variable de 1,0 à 2,5 m et que la terre excavée est déposée à l'aval de la demi-lune comme une banquette, parfois revêtue de pierres. Les demi-lunes sont bien adaptées à la culture manuelle en zone sahélienne et soudano-sahélienne mais elles sont un obstacle à la culture mécanisée;
- **les diguettes en terre** sont confectionnées en terre compactée provenant d'une bande de terrain de 2m prélevée de chaque côté de la diguette. Leur hauteur varie entre 0,3 et 0,5 m et leur largeur à la base entre 0,6 et 1,5 m. Elles peuvent être horizontales, suivant les courbes de niveau (diguette isohypses) ou avoir une pente latérale de 0,2 à 0,3% (diguette divergente). Les diguettes isohypses conviennent aux zones sahéliennes puisqu'elles conservent l'eau. En zone plus arrosée, les diguettes divergentes sont recommandées. Les diguettes en terre sont très fragiles à la submersion par les eaux et ont besoin d'être entretenues tous les ans. Si une diguette se casse, celles en dessous se cassent aussi. Pour les diguettes isohypses, on peut construire des diguettes transversales limitant les dégâts à des tronçons;
- **les fossés ados** sont des banquettes de terre, parfois revêtues de pierres (côté aval), implantées suivant des courbes de niveau. La terre provient d'un fossé creusé juste en amont (plus rarement en aval). Sa hauteur varie entre 0,4 et 0,8 m, sa largeur à la base entre 0,6 et 1,2 m. Les fossés sont limités par des digues transversales tous les 100m ou moins pour éviter l'écoulement latéral des eaux. Dans l'Ader Douchi Maggia (Niger), le rapport des surfaces entre impluvium et terrain cultivé derrière les diguettes éloignées de 40 à 60 m est de 1/1 et 2/1; sur les terres de glaciais tout le terrain est cultivé mais les fossés sont éloignés de 20 à 35 m seulement et la pente est plus forte. Ces fossés ont été construits dès les années 60 au Burkina Faso (projet GERES) et au Niger. Ils ont disparu au Burkina Faso faute d'entretien. Au Niger, ils ont un peu mieux tenu car ils étaient revêtus de pierres. En sols argileux comme au Niger, il faut porter une attention particulière au travail du sol (sous-solage) en amont des fossés ados pour éviter l'asphyxie des plantes. Les fossés ados sont utiles dans la zone soudano-sahélienne en sols ni trop sableux ni trop argileux;
- **les cordons et murets de pierres** sont filtrants, l'eau de ruissellement n'étant pas arrêtée mais seulement freinée. Ces cordons sont de taille variable: cordons d'une ou deux rangées de pierres, ancrées ou non dans le terrain ou murets de hauteur jusqu'à 0,60 m. Ils sont construits en courbes de niveau. La distance entre les cordons varie entre 15 et 50 m sur des pentes entre 3,0 et 0,5%. Cette technique est traditionnelle mais, en général, les pierres sont implantées en carrés et sur une épaisseur d'une seule pierre, ce qui limite leur efficacité. Les

cordons peuvent perdre leur imperméabilité dans le temps par complément par les sédiments. Pour éviter les brèches, des cloisons peuvent être construites du côté amont des cordons et/ou des bandes de végétation peuvent renforcer les cordons. Les cordons de pierres constituent la seule technique pratiquement retenue par les paysans du Burkina Faso. Ils sont recommandés pour les zones soudano-sahélienne et soudanienne. En zone plus arrosée, leur rôle est plutôt anti-érosif que d'amélioration de l'infiltration;

- **les cordons végétaux** peuvent aussi jouer un rôle anti-érosif et retenir un peu l'eau. En fait, ils sont surtout utilisés pour protéger les structures en terre ou en pierres. Les plantes doivent résister à la saison sèche et ne pas trop concurrencer les cultures. On utilise généralement les plantes suivantes: *Vetiveria niigricans*; *Andropogon gayanus*, *Euphorbia balsamifera* et *Jatropha curcas* qui présentent toutes un usage supplémentaire (production de nattes, de savon...).

LES OUVRAGES SUR LE BASSIN VERSANT

Ces ouvrages barrent le cours d'eau et servent à ralentir l'eau pour mieux l'infiltrer dans le sol (digues filtrantes), à la retenir pour cultiver soit dans l'eau (rizières de bas-fonds) soit lorsque l'eau se retire (barrages de décrue), soit, enfin, à la retenir pour l'abreuvement du bétail ou la culture irriguée par pompage. On distingue donc:

Les digues filtrantes (jessours en Tunisie) sont des dispositifs en pierres, libres ou partiellement liées sous formes de gabions, qui sont construits dans des cours d'eau à écoulement temporaire ou dans un bas-fond avec comme objectifs: l'écrêtement des pointes de crue, l'épandage des écoulements et la création de champs de cultures en amont de l'ouvrage qui provoque la sédimentation des apports solides. La combinaison de cette sédimentation et de l'infiltration du sol a un effet bénéfique pour les cultures avec la possibilité de cultiver du sorgho en zone sahélienne ou même du riz dans les zones plus arrosées. Les digues filtrantes sont utilisées essentiellement dans des talwegs assez larges, avec des pentes longitudinales faibles, <1,5%. Les crues ne doivent pas être trop importantes sauf si on construit au centre de la digue filtrante un ouvrage en gabions.

Les diguettes de bas-fonds sont situées dans les zones soudanaises et se distinguent des digues filtrantes en ce sens qu'elles essaient de retenir l'eau jusqu'à la maturité du riz. Elles relèvent aussi la nappe phréatique, permettant son exploitation pour des petites cultures maraîchères. La plupart du temps, les digues ont moins de 1,0 m de hauteur et sont construites au dessus de fondations étanches avec un déversoir en maçonnerie. Ces digues sont maintenant construites un peu dans tous les pays soudano-sahéliens.

Les digues de retenue (barrages de décrue) servent à retenir l'eau pendant un mois ou deux jusqu'à ce que le sol soit assez humide. Les digues sont ensuite ouvertes pour permettre la culture, principalement du sorgho, dans les terres exondées par la décrue. S'agissant d'un barrage, les études doivent être techniquement solides sinon les ruptures sont fréquentes lors de fortes crues. On trouve ces barrages surtout en Mauritanie.

Les mares surcreusées (appelées boulis quand elles sont près des villages au Burkina Faso où la terre sortie de la mare sert aussi de petit barrage aval) sont un moyen coûteux de stocker de l'eau. Le volume habituel d'une mare est de quelques milliers de mètres cubes desquels il faut déduire le volume évaporé. Compte tenu du coût du mètre cube d'eau ainsi créé, les mares surcreusées sont plutôt réservées à l'alimentation du bétail (de préférence pas des

populations en raison de leur pollution) ou pour des cultures maraîchères de haut rapport. Pour que les mares durent longtemps, il faut qu'elles aient des talus latéraux à pente très faible entre 1/7 et 1/10 et que la terre des déblais ne soit pas réentraînée dans la mare, ce qui impose de la déposer assez loin. Leur entretien consiste à recréer de temps en temps la mare.

TRAITEMENTS DE RAVINES

Le lit d'une ravine peut se déplacer ou s'élargir à l'occasion de crues, menaçant ainsi les terres agricoles. Le traitement des ravines consiste:

- soit à construire des barrages-seuils sur toute la largeur de la ravine avec ou sans ouverture (déversoir) en leur milieu;
- soit à protéger les talus des berges de la ravine.

Les barrages-seuils sont construits en pierres sèches et ils s'apparentent alors aux digues filtrantes, sauf qu'ils ont une zone plus basse en leur milieu qui sert de déversoir. Dès que la ravine devient un peu importante, il faut passer aux ouvrages en gabions.

La protection des berges se réalise par la mise en place de matelas de gabions (matelas Reno) ou par des plantations d'arbustes et d'herbes, souvent maintenues par des pieux en bois (fascines). Il faut faire attention à prendre des matériaux peu attaqués par les termites.

Les traitements de ravines sont réalisés dans les zones à bon potentiel agricole ou les zones situées en amont de celles-ci. En climat aride, la protection des berges est souvent insuffisante sans barrages-seuils qui ralentissent l'écoulement de l'eau et la rendent moins agressive pour les berges.

LES DÉRIVATIONS DES EAUX

Dérivation sans ouvrage (cultures de submersion ou décrue): On peut dériver l'eau d'un cours d'eau par une simple prise latérale. De là, un canal emmène l'eau vers la zone à inonder. Il est évident que ces systèmes impliquent qu'une partie considérable de la crue ne sera pas détournée vers la prise mais continuera à couler dans le lit du fleuve ou de la rivière. On peut distinguer plusieurs systèmes suivant la durée et la date de la crue.

Dans le cas de crues courtes d'oueds, on a un système d'épandage de crues (spate irrigation) qui permet de saturer le sol pendant quelques jours. L'eau est envoyée par un système de canaux et d'ouvrages en béton dans des casiers limités par des digues suivant les courbes de niveaux ainsi que des digues transversales. Les épandages de crue traditionnels sont très répandus dans les pays d'Afrique du Nord, de la corne de l'Afrique ainsi qu'au Yémen où on trouve des plaines de plusieurs milliers d'hectares ainsi améliorées et cultivées en céréales. Un système analogue existe au Nord Cameroun.

Dans le cas de crues longues et régulières de grands fleuves, on trouve deux types d'aménagement par déviation de la crue pendant une période de plusieurs semaines:

- l'aménagement de riziculture de submersion qui permet d'inonder de grandes plaines où le riz est semé sous pluies puis inondé doucement. Au moment de la maturité, la plaine est de nouveau vidée vers le fleuve pour la récolte (dans le cas de crues tardives, la récolte s'effectue dans l'eau comme dans la région de Gao au Mali). Ces aménagements se rencontrent, entre autres, le long du fleuve Niger au Mali et au Tchad (casier de Bongor);
- l'aménagement pour la culture de décrue, principalement du sorgho mais aussi des arachides ou du niébé. L'aménagement est le même que le précédent mais la culture se pratique après la crue sur le sol humide. On rencontre ce type d'aménagement en Mauritanie (lac R'Kiz) et au Mali (lacs Tanda et Kabara) sur des plaines de plusieurs milliers d'hectares.

Dérivation avec ouvrage (épandage de crues)

Lorsque la rivière est plus petite, on est amené à construire un seuil en travers de celle-ci. Ce seuil permet de dériver un pourcentage plus important, voire même la totalité du débit vers la plaine. On trouve les mêmes systèmes que plus haut.

On peut trouver des systèmes légèrement plus complexes où l'eau de crue est stockée dans un bassin intermédiaire pendant deux à trois jours avant d'être redistribuée. De tels systèmes ont été construits à Koré au Niger en 1965 et vers Yélimané au Mali avec l'aide de l'Université de Karlsruhe. Ils semblent très coûteux pour un résultat limité.

CONCLUSIONS

Des techniques de collecte des eaux sont maintenant connues car elles ont fait leurs preuves, au moins sur le plan technique. Elles sont cependant peu diffusées en Afrique de l'Ouest et, quand elles le sont, c'est au prix d'une aide extérieure massive. Comment faire pour changer cet état de fait?

Tout d'abord, on manque de référentiels technico-économiques en conditions paysannes prenant en compte la variabilité agro-climatique, le vieillissement des ouvrages (insuffisance d'entretien) ainsi que les facteurs économiques et sociaux. Un effort de suivi-évaluation est nécessaire.

Ensuite, il faut s'orienter vers des techniques simples, éprouvées, décidées avec les paysans, adaptées aux conditions physiques et socio-économiques locales. Elles doivent souvent être combinées entre elles (diguettes plus paillage, labours en courbes de niveau, etc.) et avec des pratiques agricoles améliorées (semis aux meilleures dates, utilisation de la fumure, etc.) pour obtenir de meilleurs résultats. Il faut aussi que les techniques s'inscrivent dans un plan de gestion du terroir, les mesures anti-érosives sur les parties non cultivables devant être particulièrement discutées avec les populations.

Ce n'est que si on offre aux agriculteurs cette combinaison de techniques dont la rentabilité est prouvée qu'on peut espérer que le rythme des aménagements de collecte des eaux et de lutte anti-érosive suivra et même précédera le rythme alarmant de la dégradation des terres en Afrique de l'Ouest. En effet, il faut passer progressivement de la situation actuelle où on aménage au plus une dizaine de milliers d'hectares par an dans les pays les plus avancés dans ce domaine à une cadence au moins dix fois supérieure dans la plupart des pays sahéliens et soudano-sahéliens.

RÉFÉRENCES

CEMAGREF. 1992. Les ouvrages en gabions; Ministère de la Coopération, Paris, France.

FAO. 1998. Statistiques de production; FAOSTAT.

IFAD (Int. Fund for Agricultural Development). 1992. Soil and Water conservation in Sub-Saharan Africa; IFAD/Rome; Centre for Development Cooperation Services; Free University, Amsterdam.

Reij, C. 1988. Impact des techniques de la conservation des eaux et du sol sur les rendements agricoles; analyse succincte des données disponibles pour le Plateau central au Burkina Faso. AGRISK.

Vlaar, J.C. (Ed). 1992. Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel. Comité Interafricain d'Etudes hydrauliques (CIEH), Ouagadougou, Burkina Faso; Université Agronomique Wageningen (UAW), Wageningen, Pays Bas.

Les techniques de collecte des eaux et la durabilité

LA MAÎTRISE DE L'EAU EN VUE DE SÉCURISER LA PRODUCTION AGRICOLE

Il est généralement admis que le Continent Africain dans sa globalité et la sous-région Ouest et Centrafricaine en particulier dispose d'un énorme potentiel agricole qui devrait lui permettre de satisfaire ses besoins alimentaires. Trois principales zones agro-climatiques peuvent être différenciées en Afrique de l'Ouest: la zone sahélienne, soudano-sahélienne (100-600mm), la zone soudanienne avec des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 700-1000 mm, et la zone soudano-guinéenne (1000-1600 mm). Les pays de la frange littorale bordant l'océan Atlantique reçoivent des précipitations annuelles situées entre 1600-5000 mm.

Malgré des précipitations abondantes dans la zone soudanienne et soudano-guinéenne, il y a lieu de noter que dans l'ensemble, les précipitations restent faibles et leur impact sur la production agricole très limité si on prend en compte les pertes par ruissellement, et par évaporation ainsi que l'inégalité dans la distribution des pluies. Ceci est particulièrement vrai pour les pays sahéliens qui, malgré d'importants investissements dans la mobilisation des eaux, restent confrontés à d'épineux problèmes tels que la gestion des ressources en eau, la satisfaction des besoins croissants en eau et la viabilité technico-économique des projets réalisés. En ce qui concerne les pays côtiers et ceux de l'Afrique Centrale qui bénéficient de régimes pluviométriques abondants mais inégalement répartis, les efforts de mobilisation et de gestion de la ressource en eau sont restés en deçà des besoins, et on estime que plus de 80% des précipitations annuelles dans ces pays sont perdues par ruissellement et par évaporation.

La décennie 70 a marqué en Afrique Sub-Saharienne le début d'une longue sécheresse, caractérisée par une baisse vertigineuse de la pluviométrie avec comme conséquence la baisse des récoltes et son corollaire de famine. La gravité de la situation a été à l'origine d'une prise de conscience des décideurs politiques des différents Etats et de la communauté internationale sur la nécessité d'accorder une attention particulière et une assistance soutenue aux projets et programmes de maîtrise de l'eau en vue de sécuriser la production agricole et alimentaire. C'est dans ce contexte qu'une plus grande attention a été accordée aux techniques de collecte et de gestion des ressources en eau de surface pour soutenir le développement de la production agricole. Ainsi, au cours des décennies 70 et 80 d'énormes ressources financières, beaucoup de temps et d'efforts ont été mobilisés en faveur des projets et programmes de mobilisation et de conservation des eaux de surface.

Bien qu'il y ait eu des résultats encourageants dans certains cas, la plupart de ces projets n'ont pas atteint les résultats escomptés et les objectifs assignés. Cette contre-performance des projets de mobilisation de l'eau est essentiellement due aux approches adoptées, aux technologies inadéquates aux conditions socio-économiques et environnementales et aux besoins des

bénéficiaires. La collecte des eaux de surface est un ensemble de procédés destinés à recueillir et à stocker les eaux pour une utilisation ultérieure selon les besoins des différents usagers. Les eaux de surface collectées sont destinées à des usages tels que l'approvisionnement en eau potable des populations, l'irrigation pour l'agriculture et l'abreuvement du bétail.

Les toutes premières techniques de collecte des eaux de surface connues remontent à plus de 9000 ans avant notre ère. Des traces d'ouvrages de collecte des eaux ont été également découvertes en Afrique du Nord, en Irak ainsi que dans le désert du Negev en Israël. Après 1950, les techniques de collecte des eaux de surface connaissent de nouveau un regain d'intérêt dans certains pays tels que l'Australie, Israël, l'Inde et les Etats-Unis où de nombreuses recherches ont été entreprises.

LA COLLECTE DES EAUX ET LE CONCEPT DE LA DURABILITÉ

A l'instar d'autres activités socio-économiques, la durabilité dans le secteur agricole est le plus souvent le but visé mais il est malheureusement rare qu'il soit atteint. Cependant, en considérant que l'agriculture constitue l'activité vitale pour environ 80% des populations des pays de l'Afrique sub-saharienne, il est impérieux d'axer les stratégies naturelles agricoles dans le sens de la durabilité.

La durabilité de l'agriculture doit être appréhendée sous un angle multi-sectoriel englobant la ressource, l'environnement, la socio-économie, les techniques et les politiques. La durabilité de la ressource, la durabilité écologique et sociale sont sans doute les plus importantes à considérer dans le processus de planification des techniques de collecte des eaux. Cependant, il y a lieu de prendre en compte l'interdépendance et les synergies entre les différents facteurs de durabilité.

Durabilité de la ressource

Il est impérieux d'appréhender la durabilité comme "la gestion et la conservation de la ressource naturelle de base pour la satisfaction des besoins humains présents et ceux des futures générations" (FAO, 1992).

Selon (Mohtadullah *et al.*, 1994), la "durabilité" devrait signifier le maintien et l'utilisation prolongée et productive de la ressource de base. En appliquant cette définition à la ressource, les principaux facteurs à considérer sont les suivants:

- l'utilisation des sols: en premier lieu il est important de s'assurer de la disponibilité des terres pour l'application des techniques de collecte des eaux. En clair, il s'agit de prendre en compte la vocation des terres dans le bassin versant;
- les sols: les caractéristiques physiques telles que le coefficient de ruissellement, et chimiques telles que la fertilité des sols du bassin versant sont à prendre en compte à cause de leur influence sur la collecte des eaux;
- l'eau: les données climatiques de la zone doivent être vérifiées en vue de s'assurer de la disponibilité de l'eau. Il y a lieu de s'assurer que la pluviométrie de la zone est favorable pour l'application des techniques de collecte des eaux. L'analyse des données climatiques permettra également de s'assurer de la disponibilité des différentes formes d'eau (superficielles et souterraines), de leur qualité et quantité ainsi que des coûts de valorisation. Il est également important de déterminer le type d'ouvrage à construire pour la collecte et la distribution économique de l'eau.

Les effets des techniques de collecte des eaux sur l'environnement doivent être évalués et pris en compte.

Durabilité écologique

Les ouvrages de collecte des eaux peuvent occasionner la dégradation de la faune, de la flore et des sols du bassin versant dont ils sont tributaires, d'où la nécessité de prévoir des mesures conservatoires:

- flore: la construction des ouvrages de collecte des eaux nécessite le déboisement du bassin, ce qui peut avoir un effet à long terme sur l'environnement. Il est également possible que des ressources génétiques soient affectées par les travaux de construction;
- faune: la faune sauvage pourrait être également mise en danger par les ouvrages de collecte des eaux si des contre-mesures ne sont pas prises;
- érosion: les travaux de déboisement du bassin versant peuvent occasionner une érosion hydrique et éolienne très importante au point d'aggraver la désertification. Des mesures appropriées de prévention doivent être prises pour minimiser les effets négatifs des ouvrages de collecte des eaux sur l'environnement.

Durabilité sociale

Selon Barbier (1987), "la durabilité sociale est l'aptitude à préserver des valeurs sociales acceptées, des traditions, des institutions, des cultures ou d'autres caractéristiques sociales". En se référant au secteur agricole, la durabilité sociale doit également inclure le bien-être social et individuel ainsi que l'équité sociale.

Lorsqu'un ouvrage de collecte des eaux est construit, l'on doit considérer ses effets sur l'organisation sociale existante, sur la capacité d'appropriation de la technologie par les populations bénéficiaires ainsi que les risques de maladies hydriques induits par l'ouvrage. Lorsque l'on planifie la construction d'ouvrages de collecte des eaux, les questions d'ordre social auxquelles l'on doit apporter des réponses sont les suivantes:

- *priorités des populations*: la construction d'un ouvrage de collecte des eaux doit répondre à un besoin exprimé et une priorité établie par les populations bénéficiaires. Les populations devraient exprimer leur volonté de participation à la réalisation de l'ouvrage;
- *participation des populations*: L'approche participative doit être le mode d'intervention à préconiser. Ainsi les populations bénéficiaires devraient participer dans tout le processus de planification, de recherche de solutions, de construction et de maintenance des ouvrages;
- *genre et équité*: Les questions d'équité sociale doivent être discutées et des mesures appropriées permettant aux différentes couches sociales (femmes, hommes, jeunes) de bénéficier des effets économiques induits par les ouvrages de collecte des eaux;
- *foncier*: la prise en compte des questions foncières pour la construction des ouvrages de collecte des eaux est cruciale. Il est important de clarifier et de tenir compte des types de droits foncières existants;
- *maladies*: des mesures d'ordre sanitaire doivent être prises afin de minimiser les risques de maladies dites "hydriques".

Durabilité économique

Les techniques de collecte des eaux ne peuvent être durables que si elles sont économiquement viables. Ainsi, l'augmentation des rendements des cultures ou de la production animale, l'augmentation des revenus des populations, la création d'emplois sont des facteurs qui peuvent justifier les investissements supplémentaires pour la construction des ouvrages de collecte des eaux.

Durabilité technique

Les techniques de collecte des eaux doivent être adaptées au milieu physique et aux conditions hydrométéorologiques des sites d'implantation. La technologie devrait être simple, maîtrisable par les bénéficiaires, peu coûteuse et facilement replicable pour être durable.

Durabilité politique

Un développement économique durable est inconcevable sans une stabilité politique. Dans le contexte de la mobilisation des eaux, la politique du gouvernement, les institutions existantes et leur capacité à planifier et à supporter les bénéficiaires des ouvrages sont des éléments importants à considérer.

CONCLUSIONS

Dans les zones arides d'Afrique Sub-saharienne la disponibilité de l'eau a souvent constitué une contrainte majeure au déroulement des activités agricoles et socio-économiques. En effet, dans ces pays sans apport d'eau complémentaire d'irrigation, l'activité agricole présente un risque majeur lié au caractère aléatoire des régimes pluviométriques.

Il est également reconnu que la ressource 'eau' constituera un facteur clé limitant pour le nouveau millénaire. Dans les pays bénéficiant de ressources en eau abondantes, la demande croîtra ce qui induira une compétition acharnée entre les différents secteurs d'activités pour le partage de l'eau. Quant aux pays à déficit chronique en eau, la rationalisation de la ressource par rapport à une demande croissante sera d'une impérieuse nécessité.

A la lumière de ces prévisions, on peut affirmer que l'une des meilleures alternatives pour sécuriser l'agriculture des pays d'Afrique Sub-saharienne contre les aléas du climat serait un approvisionnement régulier et durable en eau. Dans ce contexte, la collecte des eaux de surface pourrait jouer un rôle de premier plan en Afrique de l'Ouest et Centrale grâce à la conception et la mise en oeuvre de techniques de collecte des eaux de ruissellement qui intègrent les critères pertinents de durabilité tant de la ressource, de l'écologie, des techniques, que des critères socio-économiques et politiques tels que définis dans le cadre du Programme Spécial de Sécurité Alimentaire (PSSA).

RÉFÉRENCES

- Barbier.** 1987. Concept of Sustainable Economic Development, Environmental Conservation.
- Prinz, D.** 1994. Dept. of Rural Engineering, University Karlsruhe, Germany.
- Finkel, H.J., Finkel, M., Vaveh, Z.** Semi-arid Soil & Water Conservation, Florida, USA. 93-10-1.
- Gallacher, R.** 1993. Expert Consultation on Water Harvesting for Improved Agricultural Production, Cairo, Egypt, Workshop 21-25 /11/93.
- Siegert, K.** 1993. Introduction to Water Harvesting, FAO. Expert Consultation on Water Harvesting for Improved Agricultural Production. Cairo, Egypt, 21-25 /11/93.

Optimization of soil water use

Given the ever growing population in arid and semi-arid regions with their erratic and variable rainfall, the poor soil fertility, and the limited possibilities to increase the area cultivated, the agricultural priority across all dry-area farming systems in these regions is to increase biological and economic yield per unit of water. In rainfed fields, improvement can come only from conserving rainfall water in the rooting zone of crops (including shrubs and trees), and from managing the field and the crops to use this water more efficiently. In limited cases, supplementation of water collected from off-site water harvesting can be used to bridge small periods of water deficit. Actual water use efficiency in current farming systems in the drought prone countries of West and Central Africa is often very low.

As research in this domain is demanding considerable resources, and to avoid duplication of efforts, the Optimizing Soil Water Use (OSWU) Consortium was created as part of the Soil Water Nutrient Management Program of the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR). OSWU's long-term goal is the *sustainable and profitable agricultural production in dry areas based upon optimal use of the restricted available water at different scales*. Through the integration of land management techniques that capture and retain rainwater with crop husbandry techniques that maximize productive transpiration and minimize evaporative and drainage losses, within water-efficient, productive and sustainable cropping systems, OSWU aims to improve the productivity of the cropping systems and the welfare of farmers in Sub-Saharan Africa (SSA), West Asia and North Africa (WANA). Partners are National Agricultural Research Systems (NARS) from Burkina Faso, Egypt, Iran, Jordan, Kenya, Mali, Morocco, Niger, South Africa, Syria, Turkey, and Zimbabwe, advanced research institutions, and ICARDA and ICRISAT as convenors. Before starting new research, results of past research were reviewed (van Duivenbooden *et al.*, 1999).

The purpose of this chapter is to give an overview of technological options to optimize soil water use and their impact with emphasis on West and Central Africa as reviewed by the OSWU Consortium.

TECHNOLOGICAL OPTIONS TO OPTIMIZE SOIL WATER USE

Key research and development issues in the context of optimizing soil water use are soil surface management to increase infiltration and decrease run-off and evaporation, and the manipulation and adaptation of cropping systems to optimize crop water use. In arid and semi-arid regions of WCA (West and Central Africa), the imbalance between high solar radiation and low and unpredictable water supply from rainfall has to be managed in a way to minimize the risk of production failure. Ways to optimize soil water use in low-input production systems will often be different from those in high-input situations, and soil water research must work in the context of

*N. Van Duivenbooden, Co-ordinator, OSWU, ICRISAT - Niamey, Niger
C.L. Bieters, ICRISAT, B.P. 1024, Niamey, Niger*

the most practicable options for soil-fertility management in the system it is targeting. Only by fostering technologies integrating both improved soil water use and nutrient availability to crops, production can be increased in a sustainable way and the risk of crop failure minimized for farmers.

In the semi-arid tropics, the choice of technological options that can be used for optimizing rainfall water use will depend on the relative risk of occurrence of climatic or edaphic drought as well as on the ability of crops to make optimal use of water stored in the soil (Table 1). If a high risk of climatic or edaphic drought exists, technologies must be implemented to deal with this problem first, to ensure that technologies aimed at optimizing soil water use will be profitable.

As mentioned in Table 1, reducing drought risk is not just a matter of ensuring adequate water supply, but also ensuring that this water supply is available to crops. Technologies for reducing the production risks in drought prone areas are frequently referred to as *soil and water conservation technologies*. These technologies are focussed on reducing runoff water losses, on runoff water collection or on harvesting and storage of runoff water for later use, sometimes in combination with soil fertility management practices. Such technologies include the Zai, half-moons (“demi-lunes”), stone bunds, as well as surface management practices as tied-ridging and plowing or crop residue management.

Once sufficient water supply is ensured for the crop through water conservation measures, numerous technologies can be implemented to optimize the use of soil water by the crop. A review of such technologies has recently been undertaken at the country-level for OSWU-member countries (van Duivenbooden *et al.*, 1999). A few examples of such technologies are given below.

Tillage

Besides its role in enhancing water infiltration by creating greater macroporosity and increasing surface roughness, tillage plays an essential role by promoting root development and therefore ensuring better access of crops to stored water. Nicou *et al.* (1993) have shown that the increase in soil porosity due to tillage can significantly increase root growth on sandy soils from Senegal. On the sandy, undegraded soils of western Niger, it has been shown that plowing and ridging increase millet yields by 30 and 10%, respectively, on average over a 10-year period (Klajj, unpublished). Whereas on lighter, sandy soils, tillage is not essential but may considerably improve root development and crop growth, on heavier soils tillage frequently becomes essential to ensure sufficient crop yields.

Inorganic fertilizer

In most soils of WCA, crop production is severely limited by P and N deficiencies (Penning de Vries and Djitéye, 1982; Mokwunye, 1991). In the absence of proper fertilization, this situation limits crop development and the crop's ability to make optimal use of soil water. Maintaining proper soil fertility levels through judicious combined use of organic and inorganic sources of nutrients is essential to ensure optimal soil water use. At Sadoré, Niger, various authors have demonstrated that WUE of fertilized millet was higher than non-fertilized millet in the order of 70-75% (WUE in terms of kg grain per unit water transpired: Payne, 1997; and per unit water evapotranspired: Sivakumar & Salaam, 1999).

TABLE 1
Decision tree for technical options for optimizing rainfall water use according to environmental conditions

Crop water requirement satisfaction	Rainfall	Climatic drought risk	Edaphic drought risk		Technical options
			Plant available water*	Runoff potential	
Sufficient	low	low	low	low	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ensure optimal use of stored water through adequate soil and crop management practices (fertilization, tillage and residue management, cropping system, choice of crops, etc.) 2. Correct soil chemical deficiencies preventing full root development (fertilization, micronutrients, residue management, etc.) 3. Correct soil physical factors limiting root development (tillage, subsoiling, etc.) 4. Increase soil water holding capacity (theoretically feasible but not practical in most cases) 5. Correct surface sealing problems (tillage, residue management, crop management, etc.) 6. Reduce the effect of low permeability layers in the soil (deep plowing, subsoiling, etc.)
			high	low	<ol style="list-style-type: none"> 7. Ensure optimal soil physical and chemical conditions favoring root development and plant access to store water (fertilization, tillage, etc.) 8. Supplemental irrigation from tanks and reservoirs (water harvesting from areas with high runoff potential in the landscape)
Insufficient	high	high	high or low	low	<ol style="list-style-type: none"> 9. Take advantage of runoff to increase locally the amount of water infiltrating into the root zone during rainy periods (water collection, Zai, Demi-lunes, etc.)
			high or low	high	<ol style="list-style-type: none"> See no 7 See no 8 See no 7 See no 8 See no 7 See no 8 See no 9

* Plant available water is defined here as the maximum amount of water that can be stored within the rooting zone of the soil profile and is potentially extractable by crops in the absence of soil management.

Crop residue management

Crop residue management plays a key role in the quest for optimal soil water use. It helps maintain soil fertility by recycling essential mineral elements and soil organic matter, and may enhance the availability of elements such as P. It helps prevent surface runoff losses, and under certain conditions, may help reduce soil evaporation losses.

Cropping system management

Though soil management practices can greatly affect crop development and water use efficiency, the choice of cropping system is equally important for making use of scarce water resources and reducing non productive water losses.

- Crop varieties: appropriate crops and cultivars with optimum physiology, morphology, and phenology (e.g. short duration, drought resistance, or plasticity) to match local environmental conditions and, especially, the pattern of water availability.
- Intercropping / relay cropping: the selection of crops grown together or sequentially during the same growing season, to make optimal use of soil water resources by taking advantage of complementary foliage and rooting systems (shallow and deep rooting systems), different periods of peak water demand, and residual water use by the late maturing crop. Such systems can make use of cultivars of the same species with differing length of growing period, or different crops.
For example, in Burkina Faso, a mixed crop of sorghum and cowpea reduced runoff by 20-30 compared to sorghum and 5-10% compared to cowpea alone, resulting in a reduction in soil erosion of 80 and 45-55%, respectively (Zougmore *et al.*, 1998).
- Crop rotation: The effect of crop rotation on soil water use is mostly indirect, through its impact on soil health and soil fertility status. It is similar to the effect of fertilizers or crop residue management by promoting more vigorous plant growth than in continuous cropping systems.
- Cultural techniques: Timely sowing, optimal plant populations and timely weeding operations are essential factors controlling water use efficiency. For instance, timely sowing on the basis of a scientific method rather than a traditional method increased millet yields in Nigeria by 20-40% (Onyewotu *et al.*, 1998).

Integrated watershed management

The above given range of technologies can be used by farmers to make more efficient and productive use of soil water at the field and farm scales. However, water that is considered as being lost at the field and farm scales can have important uses and value elsewhere in a watershed. Hence, improving the efficiency of water use in one part of a watershed can have important equity implications by reducing water availability to other potential users. Therefore, Batchelor (1999) proposed as the next step “Integrated Watershed Management” (IWM) to improve water resources management, reduce environmental degradation and promote sustainable agricultural development. The main components of IWM are: (i) an overall natural resource management strategy that clearly defines the management objectives; (ii) a range of delivery mechanisms that enables these objectives to be achieved; and (iii) a monitoring schedule that evaluates programme performance.

Batchelor (1999) concluded that for traditionally-managed millet fields on sandy soils, drainage can be a substantial component of the water balance when annual rainfall is in excess of around 300 mm. In contrast, there is no significant drainage below fallow-savanna lands in the Sahel even when rainfall reaches 450 mm. Water harvesting strategies can be used to reduce deep drainage (e.g. by spreading surface runoff) or to increase deep drainage (e.g. by concentrating runoff). In dryland areas, water harvesting to improve crop production is rarely compatible with water harvesting to improve groundwater recharge. Surface management practices such as tied ridge and furrow, which harvest rain where it falls, are of benefit to rainfed crops but the same practices, by preventing surface redistribution and concentration of rainfall can substantially reduce groundwater recharge.

Watershed water use efficiency or productivity can be improved through four directions: (i) increasing output per unit of evaporated water, (ii) reducing losses of usable water to sinks, (iii) reducing water pollution, and (iv) reallocating water from lower valued uses to higher valued uses (e.g. through storage of water to produce vegetables in the dry season). Ultimately, watershed water use efficiencies should be calculated (and optimized) not only in physical terms but also in economic, social and environmental terms (Batchelor, 1999). A research and development approach, using bio-economic models linked to GIS integrating various stakeholders' views, has been given by van Duivenbooden *et al.* (1998).

Impact of optimizing soil water use

Numerous environmentally-friendly technologies have been shown to have the potential to improve agricultural sustainability, production levels and efficiency of water utilization in semi-arid areas, and many of these technologies have been known and practised in certain areas for centuries. However, the adoption of these technologies is not widespread, although there are countries where the farmers themselves showed their strong interest in adopting a technology (e.g. farmers in Burkina Faso adopting stone bunds), but often no data are available on the number of farms or area covered. The perceptions of farmers are usually very different from those of researchers and politicians and very dependent on the physical, social, economic and institutional circumstances in which that farmer operates. Key reasons for non-adoption of these technologies appear to be the fact that farmers have not demanded them, that there is often a poor fit between the technologies and resources available to farmers and, in many cases, the technologies lead to increased risks, at least in the short term. A recent review of technologies acceptable to resource-poor farmers points out that combining practices into a farming system must take account not only of the physical factors such as soil type, slope and climate, but equally the available resource inputs, especially cash and labour, and the farmer's objectives (Stocking quoted by Batchelor, 1999).

The potential impact of OSWU research was evaluated using the belief network approach. Preliminary analysis using a simple belief network shows that, if OSWU takes a multi-disciplinary approach, the impact on agricultural production could be significant in areas with a high demand for OSWU technologies and where there is significant scope for yield improvement (Batchelor *et al.*, 1999).

It is obvious that research is restricted to the level of fields of a few farmers only, and that a collaboration with Non-Governmental Organizations (NGOs) and development projects is indispensable to obtain impact in larger areas. Taking stock from experiences obtained elsewhere, as documented through the WOCAT (World Overview of Conservation Approaches and Technologies) program for West Africa (Biolders *et al.*, 1999), is also essential to avoid duplication of efforts.

THE NEED FOR A HOLISTIC APPROACH

In many situations under rainfed conditions in WCA, major contributions to crop production improvement can be anticipated from improved soil, crop and cropping system management. Only by fostering technologies integrating both improved soil water use and nutrient availability to crops, production can be increased in a sustainable way and the risk of crop failure minimized for farmers in the dry areas of WCA. The challenge is to co-ordinate land and water management with the use of water and nutrient efficient cultivars in sustainable cropping systems to increase biological and economic outputs while taking into account the conservation of the natural resource base. To be effective, this challenge must be met primarily by interventions that individual farmers can apply. However, recognizing that such interventions often have wider social and hydrological implications at, for instance, village or catchment level they should be developed and utilized within a community and with a multi-scale perspective. Hence, linkages among the various stakeholders (research, farmers, NGOs and development projects), while taking a holistic approach is a prerequisite for getting impact.

REFERENCES

- Batchelor, C.** 1999. Optimizing soil water use from a watershed perspective. pp. 283-297 in: van Duivenbooden *et al.*, 1999.
- Batchelor, C., A.T.P. Bennie & M. Avci.** 1999. Preliminary analysis of the potential impact of the OSWU Consortium on improved agricultural production in dryland areas using a Bayesian Belief Network Approach. pp. 425-436 in: van Duivenbooden *et al.*, 1999.
- Biielders, C.L., H. Liniger & G. Traoré.** 1999. Compte-rendu de l'atelier de formation et collecte de données sur la conservation des eaux et des sols selon la méthodologie WOCAT. Sadoré, Niger, 3-7 mai 1999. Patancheru, Inde, ICRISAT; Berne Suisse, CDE; Bamako, Mali, INSAH; Paris, France, OSS, 27 pp.
- Mokwunye, A.U.** 1991. Alleviating soil fertility constraints to increased crop production in West Africa. Kluwer Academic Publishers/IFDC, Dordrecht/Lomé, 244 pp.
- Nicou R., Charreau C., Chopart J.L.** 1993. Tillage and soil physical properties in semi-arid West Africa. *Soil and Tillage Research* 27: 125-147.
- Onyewotu, L.O.Z., Stigter C.J., Oladipo E.O., Owonubi J.J.** 1998. Yields of millet between shelterbelts in semi-arid northern Nigeria, with a traditional and a scientific method of determining sowing date, and at two levels of organic manuring. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 46: 53-64.
- Payne, W.A.** 1997. Managing yield and water use of pearl millet in the Sahel. *Agronomy Journal* 89: 481-490.
- Penning de Vries, F.W.T., Djitéye, M.A.** (Eds), 1982. La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. *Agricultural Research Reports* 918. Wageningen, Pays Bas: PUDOC, 525 pp.
- Sivakumar, M.V.K., Salaam, S.A.** 1999. Effect of year and fertilizer on water-use efficiency of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in Niger. *J. of Agric. Sci (Cambridge)* 132: 139-148.
- van Duivenbooden, N., Pala, M., Studer, C., Biielders, C.L.** (Eds), 1999. Efficient soil water use: the key to sustainable crop production in dry areas of West Asia, and North and sub-Saharan Africa. *Proceedings*

of the 1998 (Niger) and 1999 (Jordan) workshops of the Optimizing Soil Water Use (OSWU) Consortium. Aleppo, Syria, ICARDA and Patancheru, India, ICRISAT, 496 pp.

van Duivenbooden, N., Bitchibaly, K., Tiendrébéogo, J.P. 1998. Multi-scale land use systems analysis: a bridge between researchers and stakeholders: an example from semi-arid West Africa. *The Land 2.3*: 155-171.

Zougmore, R., Kamboun, F., Ouattara, K., Guillobez, S. 1998. The cropping system of sorghum-cowpea in the prevention of runoff and erosion in the Sahel of Burkina Faso. pp. 217-224 *In*: D. Buckless, A. Eteka, O. Osiname, M. Galiba & G. Galiano (Eds), *Cover crops in West Africa: contributing to sustainable agriculture*. Ottawa, Canada: IDRC.

**Les aspects socio-économiques
et études de cas: Burkina Faso,
Niger, Nigeria et Cameroun**

**Socio-economic aspects and
case studies: Burkina Faso,
Niger, Nigeria and Cameroon**

Participation in water-resource management: the gender issue

In rural Africa experience in combating land degradation and rural poverty has been generally disappointing. Poor results have been especially noted in narrowly focussed projects in which structural solutions only are employed. In addition, until relatively recently, environmental concerns were seen as belonging in government policy, thus programmes to resolve degradation were based on the premise that stewardship of natural resources was a state responsibility (Leach and Mearns, 1996)

Many reasons for failure have been suggested and among those most frequently cited are:

- the gradual nature of degradation
- the pressure on farmers to produce food in the short term
- the relative inadequacy of physical solutions that do not actually stop degradation or increase yield but merely contain the result of erosion for a limited period
- the low-priority accorded to sedentary agriculture in many of the areas where projects have been undertaken
- the low population density and therefore scarcity of labour and capital
- poor market access and, most importantly,
- the fundamental mis-match between local peoples needs and the intervention proposed (all in Turton and Bottrell, 1997 and Shaxon et al 1997).

A longitudinal study of soil conservation efforts over a sixty-year period in Machakos, Kenya revealed a fascinating record of the lack of success of colonial good intentions. The imposed strategies arose from the perception that it was the job of government to conserve the agricultural environment. Recent progress from a degraded, overgrazed landscape to one that abounds with green terraces and trees has resulted from people investing in their own lands (Tiffen et al., 1994). Essentially, farmers were encouraged to adopt a range of soil and water conservation strategies because their environment was changing in several aspects:

- the evolution of land tenure from communal to individual rights
- the build-up of indigenous and exogenous knowledge about conservation techniques in the area
- the tradition of communal and self-help activity
- favourable access to markets, and
- remittances from migrants that could be invested in technology.

Setting realistic goals is difficult because there is enormous pressure on governments both to feed populations and conserve resources. Somehow policies must avoid imposition, a lesson learned from Machakos, yet aim to provide an enabling environment for people to achieve both food security and conservation goals. Water harvesting and soil conservation is important to people in areas where water shortage is regularly a part of their complex strategy to eke out today's living and protect future livelihoods. An understanding of how people cope in water-short conditions is needed so that, wherever possible, the assistance offered supports survival strategies. Women share an interest in water harvesting and soil conservation not only as a result of their traditional obligation to provide water for family consumption and domestic uses but also from their ever-increasing role in providing labour and managing farms in the rural areas. However, although women are involved in physical soil and water conservation initiatives such as creating stone contours and trash-lines, their involvement in participatory planning tends to be low.

INCREASING WOMEN'S CONTRIBUTION TO PLANNING AND DECISION-MAKING

Barbier and Conroy (1989) state "It is only when traditional management regimes breakdown from changes in population, land tenure and ownership that resource sustainability becomes difficult. Available evidence suggests that a more efficient African agriculture would ensue from clearer titling, leasing and registration of land". The question of how women are to be included in this trend towards privatisation of land will have far reaching impact on the ability of future generations of women to control resources and provide for their families. Including women in decision making is an integral part of building their capacity to sustain livelihoods in the future. At the same time, The International Food Policy Research Institute (IFPRI), stress the need for specific action now to avert the growing gap between the demand for food and production, in sub-Saharan Africa. Women are key actors in both demand and production sectors, and their active participation is crucial to successful policy interventions.

Generally, men are more involved than women in decisions relating to water used for food production through water harvesting and irrigation schemes. Women's lack of decision making power follows from the position of men and women in relation to ownership of land and is reinforced by government and agency approaches. Officials are commonly men, and deal with male landowners, perhaps because agreements reached with women are not legally binding or because of the social and cultural context in which they operate. This man to man exchange of views often dictates who will participate in decisions relating to the management of water at regional and district level. In contrast, the provision of water at household level and the securing of water to grow subsistence foods for the family are generally women's business and men seldom participate at this level. Clearly such arrangements leave a gap in the communication of water-related needs from the household level up to the district and regional level where policy is decided. Similarly, there are gaps between participants in water resource management projects and the planners of programmes. The existence of these communication gaps reduces the potential for projects and programmes to fulfil the needs of individuals and communities and thus endangers sustainability.

EFFECTS OF NON-PARTICIPATION ON WOMEN

Looking at the circumstances of women in water resource management for irrigated agriculture, examples can be found that illustrate the gender biases that have occurred. In these examples, biases have not been created or strengthened intentionally but appear to result, at least in part, from neglect of the separate needs of men and women.

In Gambia, an area of swamp was developed for rice production in a bid to reduce rice imports. The area comprised two sections, one where pumps facilitated two crops per year and one where flood control improved yield for one crop per year. The main focus of the project was increased production; traditional rights and the complex social structures that governed labour and the obligations of men and women to each other and their families were largely ignored. Women were obliged to increase their labour contribution to their husband's fields, without a mechanism for accessing benefit from the extra rice produced. In addition, the project by interacting with men to introduce technical innovations on land that had formerly been in the women's domain created conditions in which women lost the right to an important resource (swamp land). This led to considerable conflict and forced amendments, that attempted to recognise the needs of the women (Dey, 1990).

Registering of the land formerly used by women in men's names was a major area of difficulty, yet, despite significant re-registering to restore balance, after a decade and a half, control of the double cropping area was mainly with men. Women were ousted to the single cropping area. The reasons for this were many. Even the big concession of registering women as plot-holders was not enough to allow women to retain control of the valuable double cropping swampland. Women's needs were not central to the project and the complete mismatch between the women's resources and the resources required to use plots successfully rendered women's task impossible. The only solution was for the women again to relinquish control. The project has not yet produced rice at the level forecast and an opportunity for people and the country as a whole was lost.

Important lessons were learned from this case. It is crucial to the success and sustainability of projects that the developers understand:

- underlying patterns of land ownership and land-use
- who does what and where
- the different objectives, resource bases and abilities of men and women
- that, if scheme design fails to take account of user needs, results will be poor.
- that women cannot be assumed to be willing to provide labour for activities that do not in some way help them achieve their objectives.

In many water short areas of Zimbabwe and South Africa irrigation is essential to ensure a crop reaches maturity. Historically, irrigation was used to intensify agriculture in areas where the population was unable to subsist on rain-fed agriculture only. Projects tended to allocate user-rights to men as household heads and only recently has it become usual to make provision for women farmers and women household heads.

In most irrigated farms women are the providers of the human energy required to grow crops. Men control expenditure on inputs, land preparation and bulk sales. However, as the demography of rural areas changes there is an increasing number of female-headed households both of the *de jure* type when women remain unmarried or become widowed or divorced and the *de facto* type where married men migrate in search of paid employment. These women are all obliged to fulfil the extra agricultural tasks and must organise land preparation, inputs to grow subsistence crops and marketing to generate income for family, education and equipment.

Many women face enormous workloads as a result; hiring of labour and equipment is fraught with social and economic difficulties and, often, laborious preparation with hand hoes is all that

can be managed. In schemes designed to apply water by long furrow, the task of levelling is difficult without draught power and ploughs. Women are often unaware of potentially labour-saving strategies and equipment and seldom have had access to the training that would help them get the best out of the equipment they have. In the past, training in the use of equipment was targeted to men and boys. The potential for improving results by investing in women is vast in Southern Africa.

In Kenya, women built on a long history of self-help and communal action. Yet many early water-conservation and water-use projects continued to interact with and target men because of male dominance in the existing land-tenure arrangements. Although women's role in the management of drinking water projects is widespread, women tend to be less prominent in decision-making in agricultural water use, although, here too women provide the majority of the human energy required. Much of the decision making is done through the medium of mass meetings despite the well-established mores that preclude women from disagreeing with husbands and male elders in public. Credit is also an area for concern and women's savings clubs are successfully used to overcome the lack of land-based collateral.

Van Koppen (1998), studying women irrigators in Burkina Faso concludes that many of the project shortcomings for women resulted from the relative inaccessibility of women and their views to the project staff. The project set a pace of its own through donor financial commitment and a pre-conceived construction plan became the aim, staff, seeking acceptance for implementation. The local male elite was the most easily accessible and effective partner for arranging expropriation of land and mobilising labour. Their support to the project put them in a favourable position to access improved resources and their participation in the plot allocation procedure fulfilled the project commitment to include farmers in decision-making, while neatly strengthening their control of local resources. She claims that the erroneous construct of the 'household' farm was instrumental in rationalising the preferential treatment of men over women (van Koppen, 1998).

Although the examples above relate to irrigated perimeters, similar problems occur with other projects including those we are concerned with here water-harvesting and soil conservation. Kunze (1998) summarising erosion control work in Bam Province, Burkina Faso finds that the construction of stone lines, dikes and dams has been proven to be sustainable and is widely acceptable by the rural population. Nonetheless, she notes that women have no rock bunds on their individual plots and gain only from resource conservation on family fields. She questions whether in fact women's livelihoods are enhanced or stabilised by resource conservation. Her observations are supported to some extent by David's findings in the Sahel. She argues that male migration seldom makes women more vulnerable, nor has it given them any extra decision making power or opened up new livelihood possibilities for them that might improve environmental management (David, 1995; Redclift, 1997).

FACTORS AFFECTING SUCCESS OR FAILURE OF PARTICIPATION

Participation is found by many researchers to be more effective where undertaken by NGO's. While accepting this finding, it has to be recognised that there is a trade off between the resources devoted to effective participation and those devoted to technical viability and wide coverage that is expected from government departments. In general, there are a number of factors that contribute to the difficulty of achieving effective participation and explain the relative lack of participation of women:

- Development and engineering professionals are largely untrained in participatory techniques or gender issues. Many therefore believe that participation is complete when farmers attend a meeting and fail to disagree with a proposed plan.
- Effective participation must inevitably include the possibility of rejection; professionals are not motivated by rejection.

Intra-household effects of new technologies

A question, which is presently discussed in scientific literature, is the effect of new technologies on intra-household resource and income distribution (Haddad et al. 1997). A study in Burkina Faso has shown that farm households give high preference to ameliorate their family fields in comparison to the treatment of individual fields (Kunze et al. 1997). Additionally, rock bund constructions were more often found on individual men's plots than on women's plots. On the other hand, women are largely engaged in the construction of water harvesting measures (Monimart 1989). The question arises, if and how individual household members and particularly women will benefit from these innovations. Past experiences have shown that women are often not only excluded from government programmes, but that such programmes even had negative effects on female household members due to change of land tenure or crop responsibility (Dwyer and Bruce 1988).

The above mentioned study wanted to find out whether labour productivity on women's fields reaches that of family fields as is demonstrated below.

	Yield ^a kg/ha	Price ^b FCFA/kg	Sales value FCFA/ha	Labour hours	Labour productivity FCFA/h	FCFA/day ^d
Family fields:						
Ameliorated	547	55	30.060	1.101	27,3	220
Non-ameliorated	330	55	18.150	713	25,5	200
Indiv. women's plots ^e	330	55	18.150	911	18,6	150

a from table field survey.
b prices received by farmers in October 1993 field study.
c field survey 1993/94 on 65 family fields.
d app. 8 hours field work per day from 1992/94 labour survey.
e non-ameliorated.

Source: Kunze *et al.* 1997.

Labour input on women's plots proved to be less than on ameliorated family plots, but higher than on non-improved family plots. Due to low yield, women's return to labour is about one third less than the return to ameliorated family fields and one quarter less than the one on non-improved family fields. Besides household responsibilities and the obligation to cultivate family fields, women tend not to have enough time to cultivate individual plots. The immanent question remains, if the introduction of water harvesting techniques on household level will lead to further decrease in women's own agricultural activities.

Dwyer, D., Bruce, J. 1988: *A Home Divided: Women and Income in the Third World*; Stanford Univ. Press.
Haddad, L., Hoddinott, J., Alderman, H. (Eds.) 1997: *Intrahousehold Resource Allocation in Developing Countries*; IFPRI, J. Hopkins University Press, Baltimore, London.

Kunze, D., Runge-Metzger, A., Waibel, H. 1997: *The Economics of Erosion Control Innovations in Northern Burkina Faso*; In: Heidhues, F. Fadani, A. 1997: *Food Security and Innovations*, Int. Sympos., Peter Lang ed.
Monimart, M. 1989: *Femmes du Sahel*, Karthala, OCDE/Club du Sahel, Paris.

- Departments and agencies are in the business of implementation and work to budgets and time-scales that do not readily match the decision-making processes of rural poor people.
- The professional culture is oriented to governments, donors and NGO programmes as clients. Poor farmers are not regarded as clients, their wives even less so.
- Rural people (especially poor women) are short of time and energy for participation.
- The quality of participation that can be achieved depends largely on all participants possessing an understanding of the issues at stake. Developers need to understand both formal and informal dynamics of the community, whereas the community needs to understand the processes of conservation.
- Women are educationally deprived and lack confidence in their own indigenous knowledge.
- Participation often stops short of decision making so that results are disappointing and incentives to participate further are rapidly diminished.
- Determining the appropriate people to participate is affected by the existing power structure within the community as well as by the objectives of the project.

In water resource management, women's key role in water supply and sanitation has been recognised and women have successfully undertaken and maintained key roles in funding, developing and maintaining water supply infrastructure. Their interest in provision of water for the home, maintaining family health and their capacity for voluntary work and organisation has formed a sound basis for developing technical and administrative skills in this sector. Key factors in success were:

- Enabling women to include their aims and objectives by their participation at the planning stage
- Commitment to good quality, on-going training for women
- Community support for women participants, such as childminding and relief from other agricultural obligations.

These same factors were crucial to the success of a training programme for women to maintain hand tractors in the Gambia.

However, in water-use projects such as irrigation and water harvesting it has been common to wrongly assume that women will benefit simply by participating at a practical level. The result in many cases has been exploitation of women's labour and possible reduction in the overall value of their livelihoods.

Soil conservation projects that used a food-for-work or cash incentive were thought to serve women's interests but in practice the benefits were short term. Once the food or cash incentive was withdrawn, women did not find it worthwhile to continue to maintain the conservation initiatives.

APPROACHES TO GUARANTEE WOMEN'S PARTICIPATION

Commitment to **gender-sensitive or gender-based approaches** is difficult to achieve. A major source of difficulty arises from the priorities of the individuals charged with the task of implementing projects and programmes. The lack of gender-awareness at this level is a constraint to the support that is available to field workers. Lip service is paid to the concept of gender-based approaches while the supporting funds and training needed to make commitment real is not forthcoming. Paternalistic attitudes are hard to overcome because of the basically good intentions underlying them.

The gender-based approach is distinct in that it recognises and considers the needs of both men and women. In particular it takes into account:

- social and cultural conventions that reinforce men's dominant position in the family, the community and state bodies;
- women's and men's interests, especially within households and how the differences affect actions and attitudes;
- overall workload and obligations of men and women in relation to the roles they play in home, in production and community;
- age, wealth, educational, social and ethnic differences among men and among women;
- the changing nature of gender roles in response to economic trends, migration patterns and policy changes.

Attention to these aspects can help provide a more informed and accurate picture of the complex interactions between men and women in their pursuit of livelihood strategies that allow them to develop and expand the various aspects of their lives. In relation to this it may be useful to consider the sustainable livelihoods concept.

In its thrust to eliminate poverty, the Department for International Development, (DFID), UK, has adopted the sustainable livelihoods approach. This provides a means of assessing how people, families and communities manage their assets. There are five livelihood assets - human, natural, social, physical and financial - which should be exploited in a sustainable manner to enhance livelihood. The main assets under each of these five categories are shown in table 1.

If development progress is being made, the overall sum of all these assets increases, although they do not all necessarily increase together. To help visualise this, the assets may be represented as a pentagon where it may be seen that a net gain is shown by an increase in the area enclosed. In applying this evaluation it is important to consider the various sub-groups of men and women who will have pentagons of differing shapes and sizes.

TABLE 1
Elements of the "Livelihood Assets"

Human	Natural	Physical	Social	Financial
Labour	Land	Buildings	Networks	Savings
Health	Water	Machinery	Relationships	Credit
Nutrition	Trees	Infrastructure	Affiliations	Remittances
Education	Bio-diversity			
Knowledge				

The **Association for Better Land Husbandry (ABLH)** promotes a holistic approach to conservation of soil and water. It argues that more emphasis on care of the land is needed in recognition of farmer priority to raise yield and stabilise income as they conserve or reverse depletion of resources. In other words they advocate that the conflict between immediate needs and conservation is resolved (Shaxon *et al.*, 1997).

The focus is on improving farmer management of the soils to provide an optimum rooting environment thereby reducing the erosion that makes physical structures necessary. Physical structures would have a complementary and backup role to this central activity. The farmers are integral to the process. Men and women assume centre stage in this people focussed approach. They 'husband' the land and should be in a position to select potential remedies according to their priorities. The role of the outside experts and specialists is to provide information, however, that must only be done after the initial listening phase in which they strive to understand the perspectives and priorities of the community and the main sub-groups it comprises. This might include the specific priorities of, for example; men and women; old and young; rich and poor. ABLH suggest a number of policy measures based on experiences in conservation projects in Machakos and Kakamega in Kenya:

- Co-ordination of policies affecting land-use between ministries and government department,
- Training for professionals on collaboration and development of interpersonal skills,
- Farmer participation in design of research projects and programmes with more emphasis on inter-linkages and interactions in the application of technical knowledge,
- Nurturing the 'farmer client' culture,
- Moving away from coercive or punitive instruments to facilitating appropriate local initiatives.

THE DEMAND FOR GOOD QUALITY PARTICIPATION

There is no single factor that can guarantee the success of soil or water conservation projects and programmes. The ever-increasing involvement of women in land preparation and agricultural activities highlights the need to address gender issues to foster sustainable use of soils.

The relevance of narrow programmes is questioned in the light of the pressing need of men and women in degraded environments to feed families in the present. The examples referred to in this paper suggest that holistic approaches and attention to gender issues, developing understanding of the different objectives of men and women and the disparity in the resources that are available to them, will assist professionals in working with farmers to develop 'user-friendly' initiatives.

Early, good quality participation is the key issue in involving women. If a programme wants more than simply women's presence and acquiescence, it must plan and budget for, focussed, well targeted good quality participation that can be sustained and developed throughout the project. However, it is also important to strengthen programmes in terms of their impact on the farmers' priority of maintaining or increasing current production and income. Both the gender approach and the land husbandry approach can contribute according to the needs of the area. Programmes developed in this way put men and women at the centre of decision making and offer ways of increasing the total resource asset. The resultant mix of activities will provide programmes that men and women will be keen to sustain.

REFERENCES

- Barbier, E., Conroy, C.** 1989. Setting the right economic environment for sub-Saharan Africa, *Appropriate technology* Volume 16 no. 2.
- Chancellor, F.** 1997. Developing the skills and participation of women irrigators: Experiences from smallholder irrigation in Sub-Saharan Africa, OD 135, HR Wallingford Ltd., Wallingford Oxon., OX10 8BA, UK.
- Dey, J.** 1990. Gender issues in irrigation project design in Sub-Saharan Africa, in International Workshop "Design for Sustainable Farmer-Managed Irrigation Schemes in Sub-Saharan Africa" February 1990. Agricultural University of Wageningen, The Netherlands.
- Kunze, D.** 1998. Socio-economic impact of rock bund construction for small farmers of Bam Province, Burkina Faso, Ph.D. Dissertation, Georg-August-Universitat, Gottingen.
- Leach, M., Mearns, R.** 1996. *The lie of the land: challenging received wisdom on the African environment.* London International African Institute, with J Currey and Heinemann.
- David, R.** 1995. *Changing Places? Women, Resource Management and Migration in the Sahel*, IIED Publications, 3, Endsleigh Street, London, WC1H ODD.
- Redclift, M.** 1997. Environmental security, *Development Research Insights*, AN ODI-IDS Publication March 21, 1997.
- Shaxon F., Tiffen, M., Wood, A., Turton, C.** 1997. *Better Land Husbandry: rethinking approaches to land improvement and the conservation of Water and Soil.* Natural Resources Perspectives, Number 19, June 1997, Overseas Development Institute, London.
- Tiffen, M., Mortimore, M., Gichuki, F.** 1994. *More People Less Erosion: Environmental recovery in Kenya*, John Wiley, ISBN 0-471-94143-3.
- Turton, C., Bottrell, A.** 1997. Water resource development in drought-prone uplands, *Natural Resources Perspectives*, Number 18, February 1997, Overseas Development Institute, London.
- Van Koppen, B.** 1998. *More jobs per drop: Targeting irrigation to poor women and men*, Royal Tropical Institute, The Netherlands.

Methods to evaluate the economic impact of water harvesting

Technical solutions to the problem of erratic rainfall have been developed and benefits such as improved nutrition, food security, and poverty reduction and constraints such as land tenure, communal approaches, and institutional support have been widely discussed. Since governments heavily subsidise these interventions, economic assessment will answer to the question, if such subsidies can be afforded in the future and if farm households are able to take over in financing these measures.

This chapter gives an overview over a range of valuation techniques for water harvesting for agricultural production between simple and sophisticated methods to estimate the economic impact of such measures at the plot and the household level. It takes a detailed look at the data necessary for analysis. Results of a field study undertaken in 1992-94 in Bam Province of Burkina Faso will be used as examples.

METHODS TO EVALUATE PERFORMANCE OF TECHNIQUES ON FIELD LEVEL

Methods for economic evaluation of the performance of different techniques vary between simple yield comparison and more sophisticated risk analysis models such as stochastic dominance (Anderson and Dillon 1992). Whereas on-station trials were prevalent until the 1980's, in the course of the 1990's on-farm research became more important and the main approach for real-world investigation.

Yield comparison and gross margin calculations

The most popular analysis according to case studies and research literature are:

- simple yield comparisons between a with and without water harvesting technique trial, either on-farm or on-station;
- a comparison between a zero variable and different water harvesting techniques, such as rock bunds and planting pits;
- a water harvesting plus a soil fertility measure such as planting pits and manure.

Table 1 shows a set up for a calculation of a two crop mixture with and without applied water harvesting measures. Benefits contain gross agricultural output (yield), which are valued with market prices. Here, benefits expressed in monetary values can include yield from mixed cropping such as niebe in sorghum production and side products such as straw for animal feed or household use. Costs comprise inputs also rated at market prices such as seed, fertiliser and pesticides.

*D. Kunze, Farming Systems Development,
FAO Regional Office for Africa, Accra, Ghana*

According to the definition, gross margin calculations also include costs for hired labour. This makes comparisons between plots where farmers have used hired labour and such plots where all work was done by family labour difficult. If all variable costs are to be included, interest in cash or in kind in case of borrowing has to be incorporated as well. This distorts comparison between farmers again. Gross margin analysis is still a much used technique to compare between farms, although it is originally meant to decide between crops at the same farm.

TABLE 1

Gross margin calculation for crop production on ameliorated and non-ameliorated plots

Applied water harvesting measures		No water harvesting measures	
Total crop earnings in FCFA/hectare	Total costs in FCFA/hectare	Total crop earnings in FCFA/hectare	Total costs in FCFA/hectare
Sales value of grain	Seeds	Sales value of grain	Seeds
Sales value of straw	Fertiliser	Sales value of straw	Fertiliser
Sales value of crop 2	Pesticide	Sales value of crop 2	Pesticide
	Hired labour costs		Hired labour costs
	Machinery		Machinery
	Interest charges		Interest charges
Total plot earnings	Total plot costs	Total plot earnings	Total plot costs
<i>Profit with applied water harvesting measures</i>		<i>Profit without water harvesting measures</i>	

While gross margin evaluates the productivity of the land, expressed in monetary value per unit of land, labour productivity evaluates the “return to labour”, expressed in monetary value per unit of labour. Looking at an example of labour productivity from Burkina Faso is Table 2. A comparison between ameliorated and non-ameliorated plots leads to the conclusion that although the sales value of the ameliorated plots is obviously higher, more labour has been invested in such plots and the return to labour is not much above the one of non-ameliorated plots.

One major problem in applying these techniques lies in the low number of plots, which are being compared. A case study, which is thoroughly carried out and in which all variables at field level are kept constant except for the water harvesting variable, can be at times more accurate than a multiple plot average with widely varying field conditions.

Table 2

Estimation of labour productivity of ameliorated and non-ameliorated family fields 1993/94

	Yield ^a kg/ha	Price ^d FCFA/kg	Sales value FCFA/ha	Labour ^c hours	Labour productivity FCFA/h ^d	Labour productivity FCFA/day ^e
Family fields:						
Ameliorated	547	55	30.060	1.101	27,3	220
Non-ameliorated	330	55	18.150	713	25,5	200

a from field survey.
b prices received by farmers in October 1993 field study.
c field survey 1993/94 on 65 family fields.
d labour productivity per hour.
e app. 8 hours field work per day from 1992/94 labour survey.

Source: Author's calculation.

Partial budgeting

Generally costs and benefits are the major aspects of valuation of new techniques. If measures are looked upon as technical innovations, a simple valuation could be made by a partial budget analysis as demonstrated in Table 3:

TABLE 3
Partial budgeting example with technology change

Comparing new with old technology	
Losses with new technology (-)	Gains with new technology (+)
Higher costs	Lower costs
More harvesting labour	Less pesticides
More weeding labour	Less reseeded
Lower earnings	Higher earnings
Less straw sold	More cereal sold
Losses	Gains
Overall result: + or -	

Source: Author's compilation

In this case losses and gains of the new and old technology are compared by taking all variables into account which change by using a new technology. If the overall result is positive, the change from the old technology to the new technology has greater benefits than costs. If the result is negative, the new technology reduces the financial benefits compared to the old technology.

Typical water harvesting measures lasting for one year only are the "Zai" techniques. Those are planting pits of a diameter of app. 30 cm, often used in the Sahelian region in millet and sorghum production as well as in tree planting. Farmers often apply this technique where no other materials such as rocks are available, like in northern Sahelian regions where sandy soils prevail.

In the case of a change which will be lasting for more than one year, such as permanent rock bund constructions, a simple form of calculation is to divide the total costs of the investment by the number of seasons of use for a simplified one-season estimate of cost. A more sophisticated approach consists in a more periodical investment analysis.

Investment analysis

The investment analysis allows costs and benefits to spread across the lifetime of the investment, which is more than one year for such measures as terraces, rock bunds, gullies and others. Again costs and benefits are taken into account, this time over the total lifetime of the investment. In this analysis the main factors consist in the evaluation criterion, the time horizon, an "appropriate" discount rate, the valuation of labour and the prices. To estimate the profitability of water harvesting measures farm survey data on yield increase, empirical data on opportunity costs of inputs provided by the rural households as well as government subsidies are taken into account from a field study undertaken in Burkina Faso.

To compare costs and benefits of alternative investments, such as different types of techniques, four evaluation criteria are commonly chosen. They include the internal rate of return (IRR), benefit-cost ratio (BCR), net present value (NPV) and net benefit-investment ratio. All of them allow the costs and benefits to spread across the life time of the investment. The time aspect is crucial when productivity development due to conservation measures is discussed, because some techniques only become distinguishable in the future or generate costs that one year of production will not cover. This means, that yields are expected to differ more significantly in the future than right after introducing the technique. For small farm investments

such as water harvesting measures the IRR has often been used, since it allows a comparison to official interest rates (as shown in de Graaff 1993).

The choice of *time horizon* given in an overview of soil conservation analysis varied from 6 to 100 years, yet the given time frame of analysis was rarely discussed (Enters 1998). In investment analysis it should generally reflect the lifetime of the investment. Many authors argue that poor subsistence farmers may have a very short time horizon because of pressing needs. This point is often used to explain farmers unwillingness, incapability or disinterest to invest in soil conservation. Although examples of farmer's long term investments, such as children's education, exist, distant future benefits should not be exaggerated, since little is known about the development of influential factors, i.e. on productivity development.

In the case of rock bunds usually 15 to 20 years are taken as investment period. Table 4 shows a number of resource conservation measures and proposes a respective time horizon for investment analysis.

TABLE 4
Proposal for time horizon for investment calculation of various water harvesting techniques

Type of technique	Investment period
Dams	20
Terraces	20
Stone lines	15-20
ontrol gullies	10-15
Water holes (boulis)	10-20
Irrigation (variable)	5-15
Earth contour bunds/semi-circular bunds	1-5
Tied ridges	1-5
Living barriers/hedges/vegetation barriers	5
Vegetation barriers	5
Tree protection	1-2
Trash barriers	1-2
Mulching	1
Manuring	1 season
"Zai" or planting pits	1 season
Contour ploughing	less than 1 season

Source: Author's compilation.

The *discount rate* is a much debated issue (de Graaff 1996). When analysis is done at farm level, as in this case, the private rate is taken into account. For farmers, it is usually the marginal cost of money to the farm for which the analysis is being done. However, it can be the rate at which the enterprise is able to borrow money (Gittinger 1982 p.314). In many circumstances official credit is not available and private borrowing is either at zero interest (but induces social obligations) or at very high interest rates, such as from money lenders. Farmer's private interest rate varies according to their attitude towards risk. Generally investment calculations consider interest rates between 5 and 15% (Enters 1998).

Valuation of labour: Many investment analysis disregard labour costs or use opportunity costs such as the national minimum wage, which is usually overestimating labour opportunity costs in rural areas. While some authors have suggested the opportunity costs of labour to be zero (Stocking and Abel 1992), this cannot be accepted even at high unemployment rates, because also social activities, which often express social security involvement, engender a rate above zero.

Table 5 shows empirical opportunity costs of dry season activities in various places of the study region according to gender. The daily return was in all cases except for one lower for women than for men, the average proved to be more than twice as high for men than for women. It becomes especially obvious in case of commercial activities, where women are equally active, but receive only about 20% of what men earn, who are often engaged in clothes and kola nut retail selling. Overall, only few activities generated a return higher than the daily wage rate of 500 FCFA (before devaluation of 1994).

Prices highly influence investment calculation. Most often market prices directly after harvest are chosen, although they are inclined to be low and do not reflect the average price received by farmers, if they intend to store their harvest. In the study region seasonal variation between 1992 and 1994 reached 25% price range for cereal grain and even higher amounts for straw.

In case of more periodic investment analysis, the best bases for calculation consists in empirical price and yield information to allow interannual comparison. Since this data often do not exist, average farm gate prices are a reasonable substitute.

TABLE 5
Opportunity costs of labour during dry season according to income generating activity and gender in 1992/93

Activity	Daily income (in FCFA)			
	women	n	men	n
Commerce	160	35	900	49
Wage labour	-		530	7
Gold mining	260	28	450	43
Vegetable production	-		400	25 ^{a)}
Modern crafts	480	3	330	31
Selling millet beer	150	17	-	
Blacksmith	-		230	7
Traditional crafts	130	20	150	75
House construction	-		260	8
Farm-related activities	100	3	240	9
Average	180	106	418	254

a) n represents in this case households, because younger family members help in cultivation and income distribution among members is unknown.

Source: Kunze 1998.

Subsidised services: In many government programmes, which support water harvesting and resource conservation, services such as transport of construction material, training and extension are subsidised as well as the distribution of planting material like tree seedlings and equipment such as wheelbarrows, shovels and levelling tubes. Large food for work programmes,

which are conducted in soil conservation in some countries such as Niger and India, are likewise subsidising labour investment costs, which are often not considered by analysis. In case these are not taken into account such programmes risk not to be sustainable on farm household level, since farmers will turn to other activities as soon as subsidies stop. Sometimes governments also carry out pilot programmes in certain regions in view of extending activities to other areas, but might not be able or willing to afford the same amount of subsidies.

Investment calculation and sensitivity analysis

The results of the calculations generally proved the construction of permeable rock bunds to be profitable at farm level. The above discussed criteria are found in table 6, which shows details of the sample analysis on sorghum production with stone dikes as water harvesting measures from the study area. Different types of techniques were analysed each with sorghum and millet production. Depending on type of technique used and crop grown the Internal Rates of Return (IRR) rose up to 45% in case of large stone dams with sorghum production.

In case of decreasing subsidies, investment analysis has to look at various scenarios, such as those including or excluding subsidies like transport of material and equipment, even training and extension were taken into consideration (estimation per hectare of land from project budgets). Internal rates react most sensitive to changes in labour costs proving them to be crucial. To estimate such influences more detailed sensitivity analysis is carried out, varying the discussed criteria, for instance labour costs, prices, discount rate and subsidies.

TABLE 6
Investment analysis for stone dams under sorghum production with a time horizon of 20 years

Calculation per ha	Years									
Years	0	1	2	3	4	5	20
Benefits										
Incremental yield, grain (kg)		352	352	352	352	352	352
Incr. sales, grain (FCFA)		21120	21120	21120	21120	21120				21120
Incr. yield, straw (kg)		633	633	633	633	633				633
Incr. sales, straw (FCFA)		1899	1899	1899	1899	1899				1899
Incr. sales, tot. (FCFA)		23019	23019	23019	23019	23019				23019
Costs										
Construction, tot (FCFA)	88452									
Maintenance, tot. (FCFA)		474	474	474	474	474				474
Opport. costs land (FCFA)		1474	1474	1474	1474	1474				1474
Transport of stones (FCFA)	47800									
Equipment (FCFA)	8210									
Training (FCFA)	4000									
Extension (FCFA)	5900									
Total costs (FCFA)	136252	1948	1948	1948	1948	1948				1948
Benefits-costs (FCFA)	-136252	21071	21071	21071	21071	21071				21071
" , discounted. (FCFA)	-136252	19165	17414	15831	14392	13084				3132
" , discounted. Summed (FCFA)	-136252	-117096	-99682	-83851	-69459	-56375				4314
Discount rate	0,1									
IRR in %	14,42	24,03	45,05	at different labour rates, incl. transport only						

Source: Author's calculation.

Risk analysis

Climatic changes have made water management of rain fed agriculture an increasingly risky task. Farmers in most parts of the world tend to be risk averse, meaning opposed or disinclined to risk, which makes risk mitigation a major factor in the assessment of new technologies. To know to which extent they decrease or increase risk two methods will be described shortly. Although a number of risk factors exist in agricultural production, it is only production risk, meaning climatic risk, that will be looked upon. Producers can mitigate risk by diversification of activities, flexibility, productivity of all factors and stabilisation of yields (Anderson and Dillon 1992). The last point is demonstrated in Table 7. It implies, that the presented water harvesting measures reduce risk and have a yield stabilising potential. Yield varied significantly less on fields with water harvesting techniques, especially the grain yields, which seem to be more reliable (smaller measurement error).

TABLE 7
Coefficient of variation* of sorghum and millet yield with and without ameliorative measures, 1993

	Sorghum		Millet	
	Grain	Straw	Grain	Straw
Without	58%	55%	57%	78%
Stone dikes	47%	59%	39%	40%
Stone dams	40%	59%	26%	44%

* coefficient (%) = Standard Deviation (STD) / arithmetic average*100

Source: unpublished data of the research division, PATECORE 1994.

A more sophisticated method is the stochastic dominance analysis. It is based on the assumption that farmers are mostly regarded as risk averse decision makers (Hien et al. 1991 for farmers in Burkina Faso). Hence they will judge the risk inherent to varying yields and prices of an investment from this point of view and, in economic terms, not maximise the expected profit, but the expected utility (Erenstein 1999). In case such a person chooses between two alternatives, the option giving the highest personal satisfaction will be selected. To find out about the performance of investment alternatives, the cumulative probability distribution of the expected value, say of annual net benefits, is calculated and displayed as a function. The investment alternative, which indicates the highest average expected outcome, will be selected.

Based on this theory, optimisation of risk analysis has been developed to be carried out by commercially available computer programmes, which are based on excel spreadsheets and run under windows (i.e. RISK[®] under www.palisade.com).

METHODS TO EVALUATE PERFORMANCE OF TECHNIQUES ON HOUSEHOLD LEVEL

Changes on household level due to the application of water harvesting techniques, remain negligible, hidden or difficult to measure, since the amount of land on which water harvesting is applied might be too small to make effects visible. One measurement parameter could be income, which is generated by agricultural and non-agricultural activities in most farm households in Western Africa. Since crop production, animal production and non-agricultural activities are closely interrelated, income effects are expected in each of these categories as shown in Table 8.

TABLE 8
Expected income effects resulting from the introduction of water harvesting techniques

Expected effects	Total household income		
	Crop production	Animal production	Non-agricultural
Increase due to:	<ul style="list-style-type: none"> • increase in grain yields • lower labour input in reseeded • more even distribution of labour due to early sowing • higher manure input • decrease of costs of seeds, fertiliser and manure 	<ul style="list-style-type: none"> • increase in straw yields • hedges as fodder plants • lower mortality and higher fertility rates • higher amount of manure for sale • decrease in costs for treatments; more capital available 	<ul style="list-style-type: none"> • more labour time available during rainy season • more capital available
Decrease due to:	<ul style="list-style-type: none"> • higher labour input: weeding, harvesting, transport • higher costs of pesticides due to humidity increase 	<ul style="list-style-type: none"> • competition with other uses of straw and grass such as mulching 	<ul style="list-style-type: none"> • less labour available in rainy season due to agricultural activities • less labour available in dry season due to construction activities

Source: Authors compilation.

DISCUSSION, CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

This paper has described a number of methods to evaluate the performance of water harvesting techniques at plot and farm household level by using a sample survey from Burkina Faso. It was shown that methods on field level are numerous and lead to empirical evidence more easily than methods on household level, where aggregated data reduces the influence of one of the various household activities. This leads to the observation that impact of new technologies will only be discovered if mayor changes occur in the distribution of resources and income on household level. Additionally, the water harvesting techniques have to be widely applied, in terms of number of adopters as well as rate of adoption per adopter, in other words the area under water harvesting per farm household.

Data requirements for the presented methods are often very large. The analytical tools were presented without taking research methods into account. Obtaining data is often the most time consuming and costly part of research. Quantitative research is often carried out with standardised, long lasting questionnaires and not necessarily welcomed by the participating farmer. New approaches have to be developed to integrate participatory data collection into more quantitative research, which could then be used for calculation in the frame of the outlined methods.

Further research has to evaluate the different techniques and their performance on field as well as on household level. It has to be discussed subsequently, to which extent the presented methods are likely to produce useful results, as many of the outcomes will be highly site specific.

Governments need information on performance of techniques on the various levels; plot; household; regional and national. This paper has outlined a number of options on plot and household

level. Further research needs to aggregate data at regional and national level and assess various ways of programme development, technically as well as economically.

Besides methodology development, future research needs to find out, if higher returns to the land, resulting in “added value” to land, will lead to major transformation on household level. One of the questions to be answered is, if applied water harvesting techniques will lead to a decrease in women’s own agricultural activities, since hiring labour is almost unknown in the region as in many parts of Western Africa. Transformation could be expressed in changes in individual field sizes, intensification or extensification. Modification in tenure will have to be closely monitored in the frame of any programme in water harvesting or resource conservation.

REFERENCES

- Anderson, J.R., Dillon, J.L.** 1992. Risk Analysis in Dryland Farming Systems; FAO, Rome.
- Enters, Th.** 1998. Methods for the economic assessment of the on- and off-site impacts of soil erosion; Issues in Sustainable Land Management no.2, IBSRAM.
- Erenstein, O.C.A.** 1999. The Economics of Soil Conservation in Developing Countries: The Case of Crop Residue Mulching, Dissertation, Mansholt Studies, Wageningen University.
- Gittinger, J.P.** 1982. Economic Analysis of Agricultural Projects; EDI Series in Economic Development, WB, Johns Hopkins University Press, Baltimore, London.
- Graaff, J. de** 1993. Soil Conservation and Sustainable Land Use, Royal Trop. Inst., Amsterdam, Netherlands.
- Graaff, J. de** 1996. The price of soil erosion. An economic evaluation of soil conservation and watershed development; Mansholt Studies 3, Wageningen Agricultural University.
- Hien, V., Kaboré, D., Youl, S., Lowenberg-DeBoer, J.** 1997. Stochastic Dominance Analysis of On-Farm-Trial Data: The Riskiness of Alternative Phosphate Sources in Burkina Faso; Agricultural Economics 15, 213-221.
- Kunze, D., Waibel, H., Runge-Metzger, A.** 1998. Sustainable land use by Women as Agricultural Producers? In: Blume, H.-P. et al. 1998: Sustainable land Use, Advances in Geoecology 31, Volume II, Chapter 15.3, Catena Vlg., Germany.
- Kunze, D.** 1998. Sozio-oekonomische Wirkungen der Anlage von Steinkonturwaellen in kleinbauerlichen Betrieben der Provinz Bam/Burkina Faso, Goettingen, Dissertation.com.
- Mazzucato, V. Niemeijer, D.** 2000. Rethinking soil and water conservation in a changing society – a case study in eastern Burkina Faso; Tropical Resource Management Papers, 32, Wageningen University and Research Center.
- PATECORE (Projet Aménagement des Terroirs et Conservation des Ressources Naturelles).** 1994. Fiches Techniques en Conservation des Eaux et des Sols, Kongoussi, Burkina Faso.
- Stocking, M., Abel, N.** 1992. Labour Costs: A Critical Element in Soil Conservation, In: Tato, K., Hurni, H. (eds.): *Soil Conservation for Survival, Soil and Water Conservation Society*, Ankeny, Iowa.

Water harvesting in various farming systems in Nigeria

This chapter focuses on modern and indigenous types of water harvesting in Nigeria in relation to their economic performance in different farming systems. A study was conducted in two contrasting agro-ecological zones, the Sahel and the Sudan Savanna. It focused essentially on *masakwa* farming and the small-basin irrigation. Sites from the Sahel were taken from Marte, Dikwa, and Mafa local government areas of Borno State, Northeast Nigeria. The three sites selected in the Sudan Savanna were located in Tarau in Kano and Kafur in Katsina states respectively.

INDICATORS OF THE ECONOMIC PERFORMANCE OF FARMING SYSTEMS

The economic performance of different techniques chosen as criteria for comparison of farming system in sites, A and B are based on input-output data collected from randomly selected farmers. In calculating these, all the expenses involved in major farming operations were computed. The expenditure on input was subdivided into fixed and variable cost. While fixed costs were made up of expenses on land purchase, variable costs covered expenses on land rent, ploughing, land clearing, harrowing, seed treatment, planting, fertilizer application, bunding, weeding, watering, harvesting, transportation of produce home and to market, and inputs such as, fertilizers, pesticides; because limited information was available, cost depreciation was considered.

Imputed costs were used in the case of services that were not purchased directly from the market. It was assumed that the cost of family labour was equal to the average wage rate paid to the hired labourer working on the farm, while seeds used from previous stocks were valued at the average market prices prevailing at the time of data collection.

The analysis started from the site level and each site with its own farming systems. Analysis of site A includes the (rain-fed) farming system without additional water harvesting found on the fringes of Lake Chad, farming systems with water harvesting, such as:

- *masakwa* production (dura sorghum);
- the irrigated farming in Baranga;
- the irrigated farming using water from ponds around Kolbe.

Analysis of site B includes the upland rain-fed farming system without water harvesting and the farming system with water harvesting (small basin irrigation). Results for each location are also compared with the various farmers in each site and the synthesis of the results for both sites is also made. Results are summarized in table 1.

A. Kolawole, Dept. of Geography, Ahmadu Bello University, Samaru, Zaria, Nigeria.
J.K. Adewumi, Dept. of Agricultural Engineering Ahmadu Bello University, Samaru, Zaria, Nigeria.

TABLE 1
Performance parameters of farming systems with and without water harvesting

Site A - (Sahelian zone)				
Performance Parameters	FS I	FS II	FS III	FS IV
Yield (t/ha)	1.0	0.56	31.0*	1.8
Gross Margin per hour family labour (ha)	131	163	254	
Gross Margin per (ha)	18280	10668	52625	40320
Gross Margin per m ² (₦)**	3.0	4.0	14.0	
Net Household Income (₦)	7566	4661	33025	10762
Type of crops	Grain	Masakwa	Onion	Wheat
Site B - (Sudanese zone)				
	FS I	FS II	FS III	
Yield (t or BSK/ha)	2.2	302.33 BSK*	350 BSK*	
Gross Margin per hour family labour (₦)	192	196	175	
Gross Margin per ha (₦)	35025	51317	52500	
Gross Margin per m ³ (₦)	5.80	8.50	10.50	
Net Household Income (₦)	20889	26191	31640	
Type of crops	Grain	Vegetable	Tomato	

* BSK = vegetable production in baskets ** Nigerian Nira

Notes: FS I = Farming system without water harvesting (maize/sorghum)
 FS II = Farming system with WH (sorghum and onion on Site A and tomato on Site B)
 FS III = Farming system under irrigation (tomato/onion)
 FS IV = Farming system with large-scale irrigation (wheat)

Source: Field study 1997.

Farming system without water harvesting in the Sahel Savanna

The farming system without water harvesting, relying on rain-fed plus residual moisture is a farming system with a very low external input. Fertilizers were not applied and although menace of pests and incidence of diseases were prominent, pesticides were not used. The bulk of the variable costs (91%) are expended on labour (both family and hired). Next to labour cost is the expenditure on seed, which was 9.3% of the total variable costs, and again 53% of this were from old seeds.

In addition, the table shows that the average net household income from rain-fed farming in Site A was 7,566/ha. However, this figure must be treated with caution, because it only takes grain production (maize/sorghum) into account. Farms under this farming system additionally produce crops such as cowpeas, watermelon, melon, pepper, onions and garlic either as sole or as mixed crops. When these crops are mixed, they increase the average productivity. Second, the year 1997 was not a typical year as locust invasion was reported by at least two of our sampled farmers, who lost 50 - 75% of their normal yields.

The average labour productivity was ₦130.57 while the gross per ha (land plod.) was ₦18,280, ranging from ₦8,000 to ₦29,801.

Farming systems without water harvesting in the Sudan Savanna

Table 1 shows that the average net household income for rain-fed farming in Site B was found to be ₦20,889/ha, ranging from ₦9,853 to ₦34,837 (FS I). This rate was presumably higher than in site B due to relatively favourable climatic conditions, mixed-cropping, intensive farming practices through the use of chemical fertilizers and the proximity to the urban areas. The average margin per man/day/family labour was ₦192, ranging from ₦90 to ₦345. The productivity of labour was found to be lower in Kafur due to the fact that labourers tend to work longer hours. The gross margin per ha was ₦35,025 ranging from ₦19,687 to ₦51,750. The gross margin per mm rain in critical months is 5.80/mm for rain-fed farming.

Farming system with water harvesting in the Sahel Savanna

Like rain-fed plus residual moisture, masakwa farming (Site A, FS II) is dependent on low external inputs. As in the previous farming system, labour cost accounted for 70% of the total variable cost and expenses on seeds accounted for 30% of the total variable cost.

The result of this survey shows that chemical fertilizers are not used for masakwa production. In addition, mulching and mulch tillage is practised not only to improve soil structure but also to conserve soil and water by reducing run-off and allowing more water to infiltrate into the soil. Furthermore, excess herbs are spread on the soil and burnt during land preparation, which serves as the chief main source of fertilizer. As earlier indicated, crop/livestock interaction is increasingly being practised to allow livestock to graze the crop residues on the field after harvest.

The average net household income was found to be ₦4,6661, ranging from ₦6,450 to ₦18,400. It is noted that the productivity of masakwa is being measured in terms of the frequency with which successful masakwa can be harvested. This is a function of plot location in relation to water flows and areas of accumulation (James, 1977). It is also argued that although the net income may appear to be relatively small, masakwa is only complementary to other crops but a significant contribution to self-sufficiency in food production.

The gross margin per man/day/family labour was ₦163 clearly higher than the one for crops without WH, ranging from ₦128 to ₦197, because masakwa production needs only little input. The gross margin per ha of ₦10,668, was lower than that of crops without WH. This is caused by the relatively low price masakwa is getting on the market level.

The productivity of water harvesting in Kaje contrasts sharply with that of Site A, FS III, where the farmer combined water harvesting with irrigation, using pumps to abstract water from a pond. The net household income of ₦33,025, above the others farming systems, the same as the gross margin per man/day/family labour and the gross margin per ha. As will be seen below, performance of farming systems in Kolbe is compared favourably with farming systems with water harvesting and irrigation in the Sudan Savanna.

Farming system with water harvesting in the Sudan Savanna (small basin irrigation)

In the Sudan Savanna (Site B), where small basin irrigation is practiced as water harvesting technique, labour input predominates as 63.9% of the total variable cost on labour. This is due to high cost of hired labour in this zone ranging from ₦150/md in Tarau to ₦270/md in Kafur.

However, family labour is responsible for more than half of labour input. Fertilizer accounted for over a third of the total variable costs. Unlike Site A, farming in Site B is characterised by high external inputs, mainly of chemical fertilizers. Variable costs are constituted to 44% of family labour to 39% of fertilizers to 11% of hired labour and to 5% of seeds.

In the Sudan Savanna, crops grown with water harvesting are tomatoes, pepper and lettuce. According to table 1, the average net household income was ₦26,171 ranging from ₦12,334 to ₦36,340. The gross margin per man/day/family labour was relatively high compared to farming systems without water harvesting. This is due to the labour intense vegetable crops. The gross margin per ha reflects the higher market prices for vegetables as compared to other crops. The result was still affected by inadequate and irregular water supply from the pond as well as inadequate fertilizer application. Tarau was badly affected as the reservoir storage efficiency was only 7% while that of Kafur was 72%. Consequently on both locations, the amount of water available for use cannot sustain the required period.

CROPS UNDER SURFACE IRRIGATION IN THE SAHEL AND SUDAN

In the Sahel Savanna (Site A), the major irrigated crop is onion with subsidiary crops such as mango, cowpea, okro, pepper, tomatoes, water melon, melon, garden eggs and potatoes (FS III). Irrigation is labour intensive as more than half (56.3%) of the total variable costs was on labour while over a third (36.5%) was on fertilizers.

The average net household income was ₦33,026, ranging from ₦18,100 to ₦43,395. The gross margin per man/day/family labour was high, as compared to the purely rainfed farming system's. The same is true for the gross margin per ha.

In the Sudan Savanna, emphasis was on tomato production for the market. The net household income was ₦31,640, which was the highest of the farming system's of Site B. Contrary, gross margin per man/day/family labour was a little lower. Tomato production might be more labour intensive than the mixed production of FS II (Site B). Similarly the gross margin per man/day/family labour was found to be higher for irrigation and water harvesting than for the farming system's without water harvesting. For the Sudan Savanna, the gross margin per hour for the three farming systems was very close to each other (FS I to III). The net household income was however highest for irrigated farming in the two zones (Sahel = ₦33,025/ha; Sudan Savanna = ₦31,640/ha) as well as the gross income per ha.

NEGLECTED INDIGENIOUS TECHNIQUES

The results of this study show that water harvesting is a profitable agricultural technique in the semi-arid area of Nigeria especially in vegetable production.

It has been a neglected technique, which might as well be able to improve traditional crops such as masakwa production. The potentials of the traditional water harvesting technologies in the Sahelian zone, particularly flood-advance, flood-retreat farming on the fringe of Lake Chad and that of Masakwa have been outlined. Kolawole (1986) has described, how the Lake Chad recession has provided new opportunities to the inhabitants of this environment in the form of movement on-to the lake floor, and the production of food for both subsistence and commercial scale. This situation ameliorated negative agriculture effects on human lives of the 1983-85 drought. Similarly, Kolawole, Adewumi and Odo (1996) have noted value of masakwa.

These two water harvesting techniques are still largely indigenous, with low external inputs and high internal inputs. Farmers operate at this level with little or no modification as yet and very little efforts, if any, have been made to improve the technical efficiency of such indigenous techniques. The total variable costs in the Sahel seem to be relatively highest for irrigation, medium for rain-fed/residual moisture farming and low in the case of the water harvesting (masakwa) farming. This is understandable given the fact that farmers do not apply fertilizer on the latter two farming systems. However, in the Sudan zone, the average variable cost was highest for water harvesting, medium for irrigation, and low for rain-fed agriculture. This is little surprising given the fact that intensive farming is practised in the Sudan zone.

POTENTIALS OF WATER HARVESTING IN NIGERIA

This paper has demonstrated that water harvesting has great potentials in the two agro-ecological zones considered. Several ponds exist along the natural depressions or excavation pits, about 60% of which were found dry during the time of the fieldwork in November, 30% serving as watering points for livestock, and only 10% used for farming, fishing and domestic consumption. Investigations revealed that the amount of stored water ranged between 3500m³ and 8500m³, which cannot sustain the crop requirements throughout the dry season.

With the coming of the new civilian administration in the country, there has been an increasing commitment in favor of the greening of the environment and sustainable development.

This policy is supported by the National Action Plan on Desertification (NAP), which focuses on sand dune stabilization, alternative energy, water harvesting and village sustainable development. Similarly, the country, in collaboration with the FAO, has currently embarked on National Food Security Programme, based on assistance to local farmers in the area of farm input supplies, provision of credit facilities and irrigation pumps. In addition, the Poverty Alleviation Programme of the present administration has a similar package for the rural masses of this country. A programme of water harvesting would seem to be central to these three programmes to transform the semi-arid areas of Nigeria. It is therefore recommended as follows:

- That if water harvesting technique is to be made popular in the semi-arid and arid regions of Nigeria, the existing reservoir capacity should be enlarged to store more water during the rainy season for use in the dry period, and more than 2 depressions or reservoir per location or community is recommended to take care of both domestic, livestock and crop production.
- That the Federal Government of Nigeria integrate into their programmes of Food Security, Poverty Alleviation and Desertification Control Measures the use of water harvesting techniques by encouraging the building of earth dams and provision of supportive services such as irrigation pumps, extension services, farm inputs and credit schemes.
- That such integration programme must be preceded by detailed feasibility and baseline studies as well as Environmental Impact Assessment (EIA). In particular, the feasibility study must span over a period of one year or more when volume of water can be measured immediately after the rainy season, middle of dry season and at the on-set of the rainy season for effective reservoir monitoring and evaluation.
- That given the great potential of Masakwa as water harvesting technique, research should now be commissioned into ways and means of improving its technical efficiency, including variety improvement, improved pitting system, the use of manure, planting space, survey and bund construction to enhance productivity.

- That there is an urgent need to improve the production environment by addressing squarely the identified constraints, including restoration of price subsidies on farm inputs to stimulate food production at affordable costs, the provision of indirect subsidies to the small farmers through the construction of infrastructure, and by directly lowering the prices of farm inputs and advancing cheaper credits to them.

REFERENCES

- Adams, W. M.** 1987. "Approaches to water resource development, Sokoto Valley, Nigeria: the Problem of Sustainability". In Anderson, D. and Grove, R. (eds) *Conservation in Africa, People, Policies and Practice* pp. 307-326.
- Kolawole, A.** 1986. Irrigation and drought on Borno, Nigeria a study of hazards and responses in connection with the South Chad Irrigation Project (SCIP), Unpublished Ph.D. Thesis, University of Cambridge, U.K.
- Kolawole, A., Adewumi, J. K., Odo, P. E.** 1996. "Firki/ Masakwa Cultivation in Northeast Borno, Nigeria". In Reiji, C. Scoones, I. and Toulmin, C. (eds) *Sustaining the Soil: Indigenous Soil and Water Conservation on Africa*, Earthscan Publications Ltd., London pp. 90 - 96.
- Kolawole, A., Adewumi, J. K.** 1998. Farming system Assessment of Water Harvesting In Western Africa: The Case of Nigeria. A Commissioned Study by FAO, Final Report.
- Phillips-Howard, K., Oche, C.** 1996. "Local Farming in the former Transkei South Africa." In Reiji C., Scoones, I. and Toulmin, C. (eds). *Sustaining the Soil: Indigenous Soil and Water Conservation in Africa*, Earthscan Publications Ltd. London pp. 181 - 190.
- Reij, C.** 1990. Indigenous Soil and Water Conservation in Africa: An Assessment of Current Knowledge.

Water harvesting technologies in the Mandara Mountains of Cameroon

Irrigation is the best technically efficient method of increasing soil moisture in semi-arid lands in the dry season. However, irrigation schemes are not always affordable by resource-poor cultivators. In addition, irrigation schemes tend to meet the needs of rich and more privileged farmers. *In situ* water conservation and water harvesting present sustainable alternatives to the management of soil moisture in semi-arid zones. With *in situ* water conservation methods, rain is conserved where it falls and hence runoff is reduced.

CHARACTERISTICS OF THE MANDARA MOUNTAINS

The study was limited to the Mandara Mountain Region in the Far North Province, where the rainfall is most irregular in relation to other parts of Cameroon. It is also here that soil water management problems are known to be most severe. The specific study sites include the villages around Mokolo in Mayo Tsanaga Division. Mokolo was identified as the area with the highest concentration of soil and water management activities. Coincidentally, the Mandara Mountain Region is also the breadbasket of the Far North Province. It produces 80% of the tubers, 73% of Soybeans, 70% of cocoyams, 65% of sorghum and 35% of the cotton crop in the province (Consult, 1995). As concern livestock, the region accounts for approximately 55% of livestock production in the province. Hence the improvement in yields in the Mandara Mountains through better soil water management will have a significant effect on the region as a whole.

The region is about 150 km long, 60 km wide with an area of about 7660 km² covering three administrative divisions: Mayo Sava, Mayo Tsanaga and the sub-division of Meri in the Diamare division. The climate in the region can be classified as tropical Sudan Sahelien type (Neba, 1987) characterized by a very distinct long dry season from October to April and a short rainy season from May to September. The long term mean annual rainfall varies from about 582 mm in Waza to 1024 mm in Sir (Beauvilain, 1995). The study area is located within two watersheds: Lake Chad and the Benoue drainage basins.

The soils in the mountains and transition areas from the mountain to plains are generally light, porous sandy soils. They have very low organic matter contents of 1-3%, but are rich in minerals like quartz and feldspar (Brabant and Gavand, 1985). The soils are fragile and the risk of water erosion is very high. The water retention of these soils is therefore low. For good yields the addition of organic matter is essential. These soils are mainly used for millet production. In the plateau areas, the soil is mainly colluvial with fine particles and some sand. The water holding

M. Fonteh, Dept. of Agricultural Engineering, University of Dschang, Dschang, Cameroon.

A. Nji, Sept. of Rural Sociology and Agricultural Extension, University of Dschang, Dschang, Cameroon.

capacity is higher than that of soils in the mountains and the soils are suitable for the production of millet and groundnut. Production of potatoes, fruits and vegetables is carried out beside the rivers. In the plains or valleys the soils are mainly alluvial sandy-clays. There are two types of soils in the plains that need special mention.

In 1987, the total population of the region was 667,479 with an average density of 87 inhabitants per square kilometre. Meanwhile the national average population density for Cameroon in the same year was 22 inhabitants/km². For the Sudano-Sahelian zone the density was 27 inhabitants and 54 inhabitants per square kilometre for the Far North Province. The population density for the area jumped in 1995 to 102 inhabitants/km² with a total population of about 770,000 (Ministère de l'Économie et des Finances, 1995:48).

With water as a limiting resource to crop and livestock development in a dense populated area, this is bound to create an intense competition for available scarce resources such as funds, forest resources, infrastructure and wildlife. The population has responded to demographic pressure in various ways:

- internal migration between the divisions of the North and Far North Provinces. Most of the migrants move to the Benoue Valley, which offers greater opportunities in agriculture;
- involvement in farmer and livestock producer conflicts as a result of diminishing farm and grazing land;
- development of innovative soil water management techniques.

Other coping mechanisms to the water problem include over-cultivation and migration to regions with relatively more water resources. In terms of agricultural production, the pressure of human population in the receiving communities results in over-grazing, extensive land-use patterns with very little consideration for soil enrichment. This certainly aggravates the ecological problems in the region. In the face of these natural and man-made obstacles to agricultural development in the region, the farmers seem to leave nothing to chance. They are known to carry back to the mountains soil that has been washed off from the hilltops to the valleys, in their quest to restore the fertility of their soils.

The average farm size in the region is estimated at 5 hectares based on the latest agricultural census statistics for Cameroon although a few large farmers own several hundreds of hectares of land. These are generally more wealthy farmers who have accumulated capital from cotton production and social and political power brokerages. The average household size is 4.8 persons, compared to 5.2 for the whole of Cameroon. Because low technological inputs and capital, mixed cropping and a few heads of livestock in the farm families predominantly traditionally characterise the farming system, production is bound to be low. Limited water resources compound this.

In a simulation of production systems in the area, we found that farmers on the mountains were least privileged than farmers cultivating the plateau area while those in the foothills were the most advantaged of all three types of farmers in the region. The determining variable that seems to make all the difference is water. Our calculations show that taking a 20% post harvest loss into consideration, the annual average per household farm income for mountain dwellers is 73,202 CFA. The amount for plateau cultivators is 219,919 CFA and 369,296 CFA for farmers in the foothills or valleys. The same variations will be expected for livestock enterprises. About 34% of the households have annual incomes of less than 100,000 FCFA while only 17% earn more than 250,000 FCFA. This indicates a potential economic constraint to the widespread adoption of expensive water harvesting technologies.

Potential for water harvesting

The annual rainfall data for the semi-arid northern part of Cameroon indicates that the amount of rainfall is sufficient for agricultural production even in the furthest parts of the province. However, the erratic variations imply that timely germination and uninterrupted plant growth cannot be assured. Water stress during critical stages of plant growth will consequently lead to yield reductions. Proper water management to ensure sufficient soil moisture storage can therefore increase yields.

Rainfall and evapotranspiration data indicate that there is a water deficit in the region during the early and late months of the rainy season. There are only three months during which rainfall exceeds evapotranspiration. Crops grown in the semi-arid north of Cameroon are therefore short duration varieties or drought tolerant crops. Water harvesting will not only improve yields, but also make it possible to extend the growing season and diversify agricultural production into crops which are more drought sensitive.

Water harvesting is only effective, if the soil has a sufficient capacity to store the water harvested (Huibers, 1985 as quoted by Reij et al. 1988). Hence water harvesting should be practiced with associated measures aimed at increasing the soil storage capacity.

Bruins *et al.* (1986) used the ratio between rainfall and potential evapotranspiration to identify regions suitable for water harvesting. It does not appear necessary in Maroua between July and September. However, it will be needed in April, May and October if uninterrupted plant growth is desired.

Yields of many crops grown in the semi-arid part of Cameroon are below the expected levels (Consult 1995). One of the main constraints is water. Ensuring sufficient water in the soil through harvesting and conservation can therefore lead to significant improvements in yields and farm incomes. The introduction and adoption of water harvesting technologies in the area therefore has great economic and social potential.

SOIL WATER MANAGEMENT TECHNOLOGIES IN THE REGION

The people of the Mandara Mountains Region have developed an intensive system of soil and water management over the centuries to maintain soil fertility and manage the soil water essentially through water conservation. A range of physical water conservation measures has been developed. Coupled with biological methods and irrigation, these technologies are being used in the region to enhance agricultural production. *In situ* water conservation methods using technologies like terraces, earth basins and earth bunds are the main techniques for soil moisture management in the area (Hiol et al. 1996).

Water conservation

Terraces, are indigenous structures, which have existed in the Mandara Mountains for centuries. The functions of the terraces are to increase infiltration, reduce runoff, stabilize the soil with a stone wall and hence conserve soil and water. Terraces constitute the most commonly used water conservation method accounting for about 70% of all soil and water conservation measures in some localities (Hiol et al. 1994). The main part of a terrace is the stone wall that can be either vertical or inclined backwards. The wall is made of dry stones of different sizes arranged

in a very stable structure. The walls vary from 30 cm to 2 m in height while the widths of bench vary from 10 cm to 4 m (Van Oostrum 1994).

Another very common physical water conservation measure in the region is rectangular earth basins locally called *diguettes* (contrary to the use of the term “diguette” in the Sahel, where it refers to little stone or earthen dams). This indigenous technology practiced in relatively level land consists of earth basins, which retain runoff to ensure that all rain infiltrates into the soil. The basins vary from 1 - 50 m² with dikes of about 25 cm high constructed mainly on alluvial plains with slopes usually less than 2% (Obale 1991). The alluvial soils have a high clay content (30-50%) and consequently a high availability in moisture content. The soils are locally termed *Karal*. Because of the high availability of water content in these soils, the water conserved is used to grow a dry season sorghum variety called *muskwari*.

Stone bunds (walls) are another physical soil and water conservation measure used in the region. These are constructed along contour lines and are usually about 30 cm high. The porous structures reduce the flow velocity down the slope and hence increase infiltration. This technique is mostly found in the mountainous parts of the Mandara Mountains Region.

Water harvesting

The following six water harvesting systems were identified in the region; (a) flood diversion/water spreading, (b) mini-dams locally called *biefs*, (c) watering ponds (*mares*), (d) micro sand dams, (e) roof top rainwater harvesting and, (f) rock bed rainwater harvesting. Five out of these harvesting techniques identified above are used for domestic and livestock consumption. This is due to the fact that the major problem of the majority (98%) of the population is domestic water supply (Consult 1995). Most developmental efforts are therefore geared towards alleviating this problem.

Flood diversion or water spreading is the only form of water harvesting for crop production identified in the area. It is an indigenous water harvesting system carried out in the mountains called *guimelther*, which literally means house of *taro*. The system involves diverting water from ephemeral streams into cultivated basins enclosed by a permeable dry stone wall. This system is used mainly for the production of taro (*colocasia esculenta*).

A channel is constructed upstream of the plot, through which water diverted from the stream is directed to flow into the plot through a hole in the wall. The hole can be opened or closed as needed. Each plot is further divided into compartments separated by small stone dikes. The height of the stone wall depends on the flow rate during floods. The height of the *guimelther* almost never exceeds 30 cm, while the width and length vary from 1-3 m (Van. Oostrum 1994).

The cost of constructing a *guimelther* is low. Only labour is required and there is no technical or financial external support. Unfortunately, no quantitative information was available at the time of the study on the effect of these structures on the yield of taro. However, Hiol et al. (1994) report that farmers interviewed considered that the yields of their taro fields would be reduced without the use of *guimelthers*. Van Oostrum (1994) also reports that these fields are perceived to be very important by the farmer. In an area where land rental is common, one would think that land on which *guimelthers* can be constructed would be available for rent. But evidence suggests that because of the high productivity of these areas, they are rarely rented out. Farmers interviewed indicate that this system of soil water management has grown in popularity within the last five years.

Mini dams or *Biefs* have been introduced in the region to alleviate the problem of reduced ground water recharge, because most of the water supply for domestic consumption in the area is from ground water (Damien, 1990). These are water harvesting structures aimed at reducing the speed of water in small ephemeral streams on the mountain, and retaining some of the water temporarily so that it infiltrates into the soil, to recharge the ground water. Wells are subsequently constructed downstream from the structure. At the start of the rainy season, water appears in wells downstream of the *biefs* much faster than wells not associated with *biefs*. Also in the dry season the water tables in the associated wells are higher and the wells hold water for longer periods than other wells. *Biefs* are essentially small dams or check structures. The name *bief* was coined in 1984 in the region to differentiate it from micro dams whose function was surface storage of water. Between 1985-1995 a total of 753 *biefs* were constructed in the Mandara Mountain region (Charniaux 1995).

Watering ponds or *Mares* guarantee water supply for livestock during the dry season, since the Mandara Mountain region is a very important area for livestock production. Wells or boreholes constructed have also been used for animals and domestic water supply. With decreasing rainfall and reduced ground water recharge, many natural water points completely dry up in the dry season. Hence there has been a need to construct artificial watering points. In the 80's the Ministry of Livestock, Fisheries and Animal Industry, constructed about 100 watering ponds for animals in the Northern Provinces. Due to lack of maintenance, most of the ponds have been abandoned or are barely functional (Zakariaou 1997). The estimated average cost per cubic meter of water stored is 1750 FCFA, while the average total cost of *mares* in the area is 17,000,000 FCFA. About 85% of the cost of construction is borne by the state.

Micro sand dams are watertight dams built with concrete across *mayos* in relatively flat areas to reduce the flow rate, increase infiltration and store water behind the dam in accumulated sand. The build up of sand reduces evaporation. These dams are usually constructed with stones/mortar or with concrete. The structures are therefore similar to *biefs* of similar materials but larger and filled with sand, because they are constructed in low-lying areas.

The dams are constructed in series such that when full of sand, the top of succeeding dams have a height difference of 1m. When constructed in series, water is stocked in the sand along the length of the section of the *mayo*. In this way, the riverbed remains wet and holding water well into the dry season. The height of the structure can be up to 3m. Government agencies and non-governmental organizations usually carry out the construction. The construction requires technical expertise. The water stocked behind the sand dam can be released for domestic consumption by an outlet pipe with a control valve. This provides relatively clean filtered water. The filtration of the water from the dam can be further improved by placing the outlet pipe in a gravel-sand-charcoal filter. The sand dam requires very little maintenance. However, if a sand filter is placed in the sand, it will need to be cleaned periodically or else it will become clogged.

Rock bed rainwater harvesting for domestic consumption is used in some parts of the Mandara Mountains, where the ground water table is either very deep, non-existent or the profile is composed of hard rocks which have to be broken before finding water. In some isolated communities with very poor road infrastructure, it is impossible to transport the heavy equipment needed to construct deep bore holes. One approach in such circumstances is to identify a rock bed, which is cleaned and prepared to serve as a catchment area for rainwater. The runoff is collected in a reservoir below the catchment area and used for domestic consumption, notably cooking and drinking. CARE International has used this expensive approach in three isolated villages in the region. It is mentioned to show the extreme scarcity of water in some areas of this region.

CONSTRAINTS IN THE ADOPTION OF WATER HARVESTING TECHNOLOGIES

The adoption of technology is influenced by two main groups of factors; characteristics of the adopter and the characteristics of the technology itself:

Adopter characteristics

The adopter's characteristics include sex, age, educational level, income and membership in organizations. These variables may influence the behaviour to accept or reject a technology for various people in a number of ways. Research has shown that older farmers are less likely to adopt technologies that take a long time to develop to maturity (e.g. a new variety of coffee or cocoa).

Level of income and the cost of the technology are perhaps the two most important economic determinants of adoption behaviour particularly if heavy financial outlays are required. The analysis of incomes per household in the Mandara Mountains Region shows that a wide differential exists between the farmers as a function of the system of production as well as gender. Those who grow food for subsistence and thus have lower incomes tends to be indigenous mountain people mainly women. From the point of view of affordability then, the wealthy farmers have a greater potential to adopt water-harvesting technologies for agriculture than the poor mountain cultivators do.

Characteristics of the technology

The second group of factors that influence technology adoption is the nature of the technology itself. These factors include the divisibility of the technology, *availability* of the technology to its potential users, the *relative advantage* of one technology over the other, *compatibility* of the technology with the existing value system of the adopters, and *complexity* or the degree to which the technology is difficult to understand and use (Rogers 1962).

In summary, four key factors influence the adoption of water harvesting technologies in the region in the short and long term: cost, income, culture and the technology itself. Cost and income from the point of view of affordability by the users; culture from the point of view of integration of the technology within the social structure of the region; and the technology itself from the point of view of its complexity, divisibility and compatibility. Together, these factors constitute the bulk of socio-economic constraints to the spread of soil water management technologies in the region in general and water harvesting in particular.

Many exotic technologies have been introduced to the area but have not been accepted or widely adopted because they were inappropriate. Thus for any new water harvesting technology to be adopted in the area, it must meet the four-way test of technological appropriateness: technical, social, economic and political cultural. Technical appropriateness refers to whether the technology does what it is supposed to do. Social appropriateness relates to the extent to which the technology promotes social stability and maintains harmony between the various ethnic groups, community and social factors. To what extent does the technology exacerbate or reduce social tensions in the area. Economic appropriateness describes the degree to which the technology is affordable by the various social classes affected by the problems of water scarcity. Finally, political and cultural appropriateness refers to the degree of compatibility or fit with the

existing farming systems of the area, and how local authority and leadership might contribute to hinder or help the acceptance and continuity of the technology. The implication of this is that for the study site, the technology should be low cost, use available local materials and be easily integrated into the traditional farming system.

The various techniques will be compared and their suitability determined by using factors that influence the adoption of technology, namely: cost, culture and the nature of the technology as shown in table 1. The main constraint to the spread of water harvesting technology for domestic and livestock consumption is the cost of construction, maintenance/operation and the high level of technical support needed to establish these technologies. Due to the very low purchasing power of the communities these technologies are generally not feasible without external financial and technical support. The most commonly used soil water technologies are those that are indigenous to the population. These include terraces, earth basins, stone bunds and flood diversion-terrace systems. In terms of cost and ease of application, these technologies are economically affordable by the farmers. They are socially consistent with the farming system in the area and are technically efficient. In general, these indigenous technologies do not need external resources such as technical or financial assistance and are constructed using locally available materials.

FUTURE OUTLOOK

In situ water conservation methods using indigenous technologies like terraces, earth basins and earth bunds are the main techniques for soil moisture management in the Mandara Mountains Region. They are cost effective, socially and culturally acceptable and technically appropriate.

Rainwater harvesting is recognized as an alternative method of soil water management. However, water-harvesting technologies for crop production is not widespread in the study area. Only one type of system; a flood diversion and water spreading into a stone-lined basin on the farm was identified. The system is locally called *guimelther*.

There is high potential for the introduction and promotion of rainwater harvesting technologies to manage the soil water. Such technologies can provide a window of opportunity for increasing yields and diversifying crop production in the region. Their adoption or widespread acceptance will depend on several key factors: a) compatibility with the existing farming systems; b) low cost of investment maintenance and; c) low level of external technical inputs.

Technologies, which are most adapted to the type of resources that farmers possess (labour), will be more likely adopted.

From a technical point of view the following techniques correspond best to the needs in the region.

- Water harvesting from long slopes to supply water during the deficit months.
- Flood water harvesting in deficit months
- Micro catchments for agro-forestry to grow more trees and alleviate the shortage of fuel wood circular hoops for annual crop production.

REFERENCES

- Beauvilain, A.** 1995. Tableau de la pluviométrie dans les bassins du Tchad et de la Benoue. CNAR, B.P. 1228, N'jamena, Tchad.
- Brabant, P., Gavand, B.** 1985. Les sols et les ressources en terres du nord Cameroun, ORSTOM/MESRES. Collection notices explicative N 103, 285 pp.
- Bruins, H.J., Evenari, M., Nessler, U.** 1986. Rainwater harvesting agriculture for food production in arid zones: The challenge of the African famine. *Applied Geography* 6:13- 32.
- Charniaux, C. et al.** 1995. L'histoire des biefs et évaluation; Comité Diocésain de Développement, Maroua, Cameroun.
- Consult, B.C.** 1995. Programme de développement de la région de Monts Mandara: Définition des indicateurs de suivi-évaluation; Ministry of Economy & Finance, Yaounde, Cameroun.
- Damien, C.** 1990. Manuel technique pour la réalisation de biefs: dans le cadre d'une maîtrise de l'eau à échelle villageoise sur les Monts Mandara, Extrême-nord, Cameroun. Unpublished Manual, Comité Diocésain de Développement, Maroua, Cameroun.
- Hiol, H.F, Ndoum, D.M., Tchala, A.F.** 1994. Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et du sol dans les Monts Mandara: situation actuelle et perspectives d'avenir; Research Report, University of Dschang, Faculty of Agriculture, Dschang, Cameroun.
- Hiol, H.F, Ndoum, D.M., Tchala, A.F.** 1996. Traditional Soil and Water Conservation techniques in the Mandara Mountains, North Cameroon; In: Reij, C., Scoones, I., Toulmin, C., *Sustaining the Soil: Indigenous Soil and Water Conservation in Africa*, Earthscan Publications Ltd., London.
- Neba, A.S.** 1987. Modern Geography of the Republic of Cameroon; Neba Publishers, Camden, New Jersey.
- Obale, F.** 1991. Plan d'action de lutte contre la désertification au Cameroun: La gestion des ressources en eau au nord Cameroun. Rapport technique sectoriel # 2; Ministère du Plan et de l'Aménagement du Territoire, Yaounde, Cameroun.
- Reij, C., Mulder, P., Begemann, L.** 1988. Water harvesting for plant production. World Bank Technical Paper # 91. Washington D.C., The World Bank.
- Rogers, E.M.** 1962. Diffusion of Innovations; Free Press, New York.
- van Oostrum, K.** 1994. Sustainable land use and social change: a study on ecological knowledge, soil and water management and social dynamics of Mafa in Nord Cameroon. M.A. Thesis; Institute for Cultural and Social Studies, Leiden, Netherlands.
- Zakariaou, B.** 1997. Etudes de faisabilité du projet de réhabilitation des points d'eau d'abreuvement du bétail dans les provinces de l'extrême-nord et du nord. Personal communication.

TABLE 5
Matrix matching water harvesting techniques with technical and socio economic parameters

Types of technologies Parameters	GUIMELTHER	MINI-DAMS (BIEFS) Interlocked stone Type	MICRO SAND DAMS	WATERING PONDS	ROCK BED HARVESTING
1) Brief description and Use	Flood diversion in the mountains into basins for cultivation of cocoyams	Water harvesting in the mountains to slow down flow in streams and increase infiltration thereby recharging the ground water table	Water harvesting in relatively level areas to slow down the flow velocity increase infiltration, and store water along the river bed	Water harvesting from surface runoff for storage in open ponds for animal consumption	Water harvested from rock bed and directed into reservoirs for domestic consumption in the dry season.
2) Source of Technology	Indigenous	Innovation with external input in 1985	Exotic	Exotic	Exotic
3) Materials:	Stones	Stones and soil	Stones, sand, cement*	Sand, gravel, cement and fencing wire*	Cement, sand, stones, plastic pipes, fittings*
Availability/Source Cost	Abundant locally	Abundant locally	* From the market	* Imported	* Imported
4) Technical Efficiency	Free	Free	* Expensive	* Expensive	* Expensive
	Good	Good	Good	Fair, high losses due to evaporation	Good
5) Level of External Technical Support Required	Low	Low	Medium	Very High	Very High
6) Frequency of Maintenance	As needed during the growing season and at the start of the rainy season.	Infrequently as needed	Infrequently as needed	Regular (every 3 months) for pump, fences, drinking troughs etc. and annual removal of silt from pond	Annual at the start of the rainy season to clean the rock bed as well as the reservoir.
7) Labour Input Amount Skill required	High	High	High	High	High
	Low	Low	High	High	High
8) Construction Costs ¹	Low	Low	Medium	Very High	Very High
9) Operation and Maintenance Costs	Low	Low	Low	High	Low
10) Farming Systems Fit	High	Not Applicable	Not Applicable	High	Not Applicable
11) Management Required	Low	Low - Medium	Low - Medium	High	Medium
12) Adaptability	High (Can be adopted by individuals)	Medium (Requires community involvement/ ownership)	Low (Requires community involvement /ownership and external inputs)	Very Low: (Requires community involvement /ownership and substantial capital and technical inputs)	Very Low: (Requires community involvement /ownership, substantial capital, technical inputs)

¹ Low = < 500,000 FCFA, Medium = 500,000 to < 2,000,000 FCFA, High = 2,000,000 FCFA to < 5,000,000 FCFA and Very High = > 5,000,000 FCFA
US\$ 1 = 620 FCFA in October 1999.
Source: Author's compilation.

La collecte des eaux de surface au Burkina Faso

L'une des conséquences «heureuses» de la grande sécheresse de 1973/1974 survenue au Sahel aura sans conteste été l'éveil de la conscience collective des populations vivant dans cette zone, à lutter contre la nature pour survivre chacun dans son terroir d'origine.

En effet, c'est depuis cette catastrophe qui malheureusement ne cesse de se reproduire à intensité variable, qu'ont été initiées certaines mesures et actions pour lutter contre les effets de la sécheresse et contre la désertification. Parmi celles-ci on compte les techniques de collecte de l'eau de ruissellement. Elles sont, soit des techniques ancestrales qui ont été améliorées et adaptées au contexte actuel (cas du zaï et des alignements d'obstacles à l'écoulement des eaux de ruissellement); soit des techniques nouvelles introduites dans le milieu par les structures d'encadrement et de promotion du monde rural (cas de certaines techniques culturelles, des boulis etc.). Deux décennies plus tard, il est tout à fait loisible de constater que la partie septentrionale du Burkina Faso (zone de pluviométrie moyenne annuelle inférieure à 650 mm) ressemble à un vaste chantier pour les aménagements anti-érosifs et les boulis.

Evaluer les performances de ces techniques de conservation des sols et des ressources en eau, particulièrement leurs impacts socio-économiques est un souci aujourd'hui largement partagé par tous les acteurs sur le terrain, notamment les structures d'encadrement. En effet, lancé dans un mouvement un peu de «sapeur pompier» le développement des techniques de collecte de l'eau n'avait nullement pour ambition de viser une quelconque rentabilité économique, mais bel et bien de résoudre des problèmes majeurs immédiats qui menacent la survie même des populations bénéficiaires.

Après deux décennies, on dispose d'assez de recul pour étudier la performance socio-économique de ces ouvrages afin de dire s'il est toujours judicieux de poursuivre leur promotion.

LES PRINCIPALES TECHNIQUES DE COLLECTE DES EAUX DE SURFACE

L'alignement de pierres ou diguettes en pierres: C'est un alignement de pierres selon les courbes de niveau. Il existe trois systèmes de diguettes en pierre : le système de pierres dressées avec sous-solage (PDS); le système FEER¹ qui se caractérise par deux rangées de pierres alignées selon les courbes de niveau et une superposition de pierres; et enfin le système de pierres alignées selon les courbes de niveau.

¹ Fonds de l'Eau et de l'Équipement Rural

Entre 1978 et 1996, au total 34294,5 hectares ont été aménagés en diguettes en pierres dans le Yatenga. (Seddon et Kafando, 1996; Sorgo et Da, 1997).

Dans la période de 1988/89 à 1996/97, le PATECORE² a quant à lui réalisé 9848 hectares en diguettes et 10344 hectares en cordons pierreux. Le coût de construction des diguettes varie en fonction des moyens de transport et de l'organisation de la main-d'œuvre. Vlaar (1992) estime qu'on a besoin de 80 à 160 personnes/jour pour réaliser un traitement en diguettes sur un hectare de champ. Mais l'importance de ce volume de travail de groupe pourrait se justifier par le manque de motivation lorsque les individus ne travaillent pas sur leur propre champ. Selon les hypothèses de Vlaar (1992), on arrive à une estimation de coût de 248 FCFA/m de cordon en supposant 300 mètres d'aménagement à l'hectare. En revanche, ce coût serait beaucoup plus faible lorsque les paysans travaillent sur leur propre champ avec le soutien d'une structure extérieure qui assure la formation et le matériel nécessaire. Dans ces conditions, KABORE *et al.* (1994) arrivent à un coût de 10 FCFA par mètre de site aménagé si les moellons sont disponibles à faible distance et abstraction faite du coût de l'assistance extérieure qui peut être supportée par un projet ou une ONG.

Le Zai (en mooré: «se lever tôt pour préparer sa terre») est une technique traditionnelle utilisée par les paysans du Yatenga pour remettre en culture les terrains dégradés ou augmenter leur rendement en céréales. Ces terrains sont fréquents dans la région, en particulier les glacis ou «zipellés», à horizon de surface argilo-limoneux et battant.

Le Zai correspond à une trouaison de 0,10 à 0,30 m de diamètre sur 0,08 à 0,20 m de profondeur. Les trous sont distants de 0,5 à 1,2m. Ces trous sont creusés en saison sèche à l'aide d'une grosse daba ou d'une pioche.

Les digues filtrantes: Quand apparaît une grosse ravine, cela indique toujours un niveau de dégradation accélérée du milieu physique. En une seule campagne la ravine peut s'élargir et s'allonger de plusieurs mètres. Ce qui correspond à des pertes énormes de terre pouvant atteindre une tonne par mètre linéaire.

Dans ces conditions les cordons pierreux ne peuvent pas lutter contre un tel phénomène. En effet, la lutte contre ce type d'érosion ne peut pas se limiter seulement au traitement de la ravine. Il est plutôt mieux indiqué d'intervenir sur l'ensemble du bassin versant de la ravine. Si celle-ci n'est pas trop profonde mais relativement large, on peut réaliser une digue filtrante qui permet d'étaler et de ralentir l'eau.

Dans la zone d'intervention de la FUGN (Fédération des Unions des Groupements Naam), un total de 404 digues filtrantes ont été réalisées en fin 1996 (Sorgo et Da, 1997).

Quant au PATECORE, il a à son actif, entre 1988/89 et 1996/97 le démarrage du projet, soit un total de 3325,16 hectares aménagés en digues filtrantes. Il faut environ 6 à 7 voyages de camion-benne pour construire une digue filtrante. Cela représente 3 journées de location du camion à 80.000 F CFA/jour. Le coût partiel de réalisation d'une digue filtrante est de 240.000 F CFA, abstraction faite du coût de la main-d'œuvre fournie par les populations bénéficiaires.

²Projet d'Aménagement des Terroirs et Conservation des Ressources

Le gabion est en fait des caisses de grillage (2m x 1m x 0,5m) remplies de pierres. En général, il comporte deux niveaux de hauteur différente dont le plus bas coïncide avec le lit du ravin. Le gabion est fixé dans une tranchée d'encrage creusée perpendiculairement au sens d'écoulement. En aval on fait un empierrement pour empêcher l'érosion due à la chute de l'eau. La longueur du gabion est fonction de la largeur du ravin. La largeur est d'environ un mètre. A titre d'exemple, il faut signaler que les groupements Naam ont réalisé entre 1985 et 1996 un nombre total de 276 traitements de ravines dans la zone de notre étude.

La demi-lune est une cuvette en forme de demi-cercle creusée perpendiculairement à la pente et entourée d'un bourrelet de terre.

Les caractéristiques de la technique «demi-lune» sont les suivantes:

- demi-cercle de 2 m de rayon et 20 à 30 cm de profondeur, perpendiculaire à la pente;
- demi-cercles situés sur des courbes de niveau distantes de 4 m, chaque demi-cercle étant à un intervalle de 4 m sur la courbe de niveau;
- demi-cercles disposés en quinconce, chacun étant entouré d'une levée de 50 à 60 cm dont les ailes se prolongent en se rétrécissant jusqu'à la lunette (levée de terre) amont.

Les micro-réservoirs ou boulis: Les aménagements pour stocker l'eau pour l'abreuvement du bétail ou pour l'irrigation des cultures se font sous forme de micro-retendue ou bouli. Sur le terrain, il n'y a pas un prototype unique de bouli. C'est un ouvrage qui se présente généralement sous forme de cône renversé avec un diamètre de 60 m à la surface et de 50m au fond. La profondeur peut atteindre 3 à 4 m. En aval du bouli et sur ses côtés à une distance variable de 10 à 20m, est construite une grosse digue en terre de 1 à 2,5m de haut et dont les parois peuvent être stabilisées avec des pierres. Cette digue est généralement végétalisée avec des ligneux comme *Acacia senegal*, *Acacia nilotica* ou *Prosopis juliflora* associés avec des herbacés. Le canal d'amenée d'eau dans le bouli est souvent stabilisé par un empierrement de même que la berge du bouli pour éviter les éboulements.

Pour les boulis maraîchers, c'est l'espace entre le réservoir d'eau et la digue de protection qui est aménagé en parcelles et en planches pour les cultures. L'ensemble de l'ouvrage doit être entouré d'un grillage pour empêcher l'accès des animaux.

Pour les boulis pastoraux, on peut aménager une pente douce permettant aux animaux de descendre au fur et à mesure que l'eau s'épuise jusqu'à environ 1,5 m de profondeur. Au-delà de cette profondeur, les éleveurs sont obligés de puiser l'eau pour abreuver le bétail. Le bouli pastoral n'a pas besoin d'être protégé par un grillage.

En dix ans (1982/83 à 1992/93) la FUGN a réalisé 1442 nouveaux boulis et marres surcreusées (Seddon et Kafando, 1996). Quant à l'UFC (Union Fraternelle des Croyants) Dori, elle a réalisé 24 boulis entre 1974, année de démarrage de cette activité et 1995 (Compaoré, 1996).

PERFORMANCES DES TECHNIQUES DE COLLECTE DES EAUX DE SURFACE

Il paraît difficile d'évaluer les effets directs des techniques de collecte de l'eau sur la vie des populations rurales. En revanche, il est aisé d'évaluer le degré de prise de conscience de celles-ci sur l'impact positif de ces techniques. Partant donc de l'hypothèse que la réalisation des

techniques de conservation des eaux et des sols peut conduire indirectement à l'amélioration des conditions de vie des populations bénéficiaires, nous avons conditionné l'évaluation économique à l'analyse de l'incidence des ouvrages étudiés sur les autres domaines du milieu.

En effet l'incidence des techniques de collecte de l'eau est multidimensionnelle. Leurs effets induits ont indubitablement une influence sur: le milieu physique (eau - sol - végétation); le système foncier ; le milieu socio-économique.

En deux décennies, les alignements de pierres ont apporté une véritable révolution dans le comportement socio-économique des paysans de certains villages que nous avons visités.

Incidences sur la végétation et le sol

Tous les bas-fonds que nous avons visités (Tiéblega, Rim, Kera, Rissiam etc...) présentent des résultats spectaculaires dans le domaine de la régénération du sol et de la végétation. Sur ces sites avant la réalisation des digues filtrantes, il était pratiquement impossible de faire des cultures, l'érosion avait fait apparaître la roche-mère et dénudé les racines des arbres. Certains arbres ont même été déracinés. Environ 5 années après la construction des digues filtrantes et des cordons pierreux, les ravines sont pratiquement comblées (en tout cas, on y cultive même du riz dans le lit en amont des ouvrages). Les terres agricoles ont été récupérées, de nouvelles touffes d'arbustes ont poussé et étaient encore bien vertes de même que les feuilles des arbres dans les bas-fonds.

Les ouvrages ont un impact sur la production des arbres. C'est le cas du karité (*Butyrospermum parkii*). Dans le bas-fond de Kera, on trouve une population appréciable de karité. Avant la réalisation des digues filtrantes leur production était négligeable. Mais après les ouvrages ces arbres ont repris une production correcte qui permet aux femmes du village de fabriquer du beurre et même du savon aussi bien pour la consommation familiale que pour le petit commerce.

Un dispositif spécial installé dans les villages de Kirsi et Nionko a permis d'étudier sur de grandes parcelles l'influence des écartements des ouvrages anti-érosifs sur le statut hydrique d'un sol ferrugineux tropical lessivé, moyennement profond sur les deux sites.

Une étude a été menée au cours de l'hivernage 1995 respectivement à Kirsi, sol sableux et à Nioniogo sur sol limonio-argileux. Il s'agissait d'évaluer l'efficacité des deux systèmes d'aménagement anti-érosif en pierres (type FEER et type PDS) utilisés actuellement dans le Plateau Central. Une parcelle aménagée en diguettes en terre a également été associée aux blocs d'essai en vue d'une comparaison aux ouvrages en pierres.

Les résultats montrent que les cordons type PDS retiennent beaucoup plus d'eau en amont que le cordon de type FEER.

Le système PDS a une plus grande capacité de rétention en eau mais aussi une meilleure répartition de l'immersion de la surface arable en raison de la faible filtration des diguettes.

Cependant, dans les zones où la pluviométrie est satisfaisante et sur sol argileux, le système FEER conviendrait mieux du fait de sa faible capacité de rétention en eau et de sa vitesse d'écoulement qui est plus importante.

Incidence sur l'économie de l'exploitation

L'évaluation économique des techniques de collecte de l'eau a montré une augmentation distincte des récoltes et revenus pour la plupart des techniques. Les essais menés par l'INERA à Nionio en 1995/96 ont d'une part manifesté une supériorité du zai associé au paillage sur le plan du rendement, mais comme le paillage est coûteux en main d'œuvre, le zai simple est plus performant sur le plan du revenu. D'autre part, l'association des engrais (compost et fumier) aux techniques de collecte de l'eau a révélé une augmentation des rendements, ce qui n'est pas le cas du revenu.

Un certain nombre d'études de cas menées auprès des producteurs à Sissamba, Bakou, Manessa, Rim, Rissiam et Tiebelga a également fait apparaître une augmentation distincte du rendement en grain et en paille. Dans ce cas, les estimations en unité locale confirment une augmentation graduelle des rendements en fonction de la pluviométrie annuelle (INERA 1998).

Incidence sur le système foncier

Le cordon pierreux plus le zai a assurément revalorisé les nombreuses plages dénudées dans la zone d'étude. Des autochtones qui avaient cédé leurs anciens champs dégradés à d'autres personnes n'hésitent pas à chercher à les récupérer pour les mettre en exploitation.

Incidence sur le système social du village

L'impact des techniques de collecte de l'eau réalisées dans un village sur les modifications des rapports humains est indéniable. Pouvait-il en être autrement dans une zone aride où l'adage «l'eau est source de vie» prend toute sa signification?

Dans plusieurs villages, les populations reconnaissent que depuis la réalisation des ouvrages anti-érosifs, le phénomène d'exode saisonnier ou de migration des populations a été fortement ralenti. Ainsi dans le village de Rim (Yatenga) on n'hésite pas à affirmer que «ceux qui avaient migré au Sourou par découragement à cause des conditions de vie difficiles reviennent s'installer à nouveau dans le village». La raison est bien simple, leurs terres peuvent maintenant produire suffisamment.

CONCLUSION

Un nombre élevé d'incidences positives se sont fait remarquer au niveau des ressources naturelles, des forêts, des systèmes fonciers, des systèmes sociaux du village et de l'économie des exploitations par la mise en place des techniques de la collecte des eaux de surface au Burkina Faso. Les techniques simples qui sont appliquées au niveau des champs familiaux des ménages, se sont présentées particulièrement favorables et effectives.

Comme les observations se sont manifestées souvent de façon qualitative, elles restent à être vérifiées de façon quantitative. Le Burkina Faso étant l'un des pays où ces techniques étaient mises en place à grande échelle, les effets devraient se présenter dans les années suivantes, notamment dans les Provinces du Yatenga et du Bam où un nombre élevé de ménages ont été encadrés par de nombreux organismes de développement.

RÉFÉRENCES

- Compaoré, N.** 1996. Une ONG Originale née au cœur de la Tourmente de la Famine de 1996, Union Fraternelle des Croyants de Dori, Burkina Faso.
- INERA.** 1994. Diagnostic des contraintes; définition d'axes de recherches pour les CRREA Nord-Ouest.
- INERA.** 1998. Evaluation de la performance des techniques de collecte de l'eau dans les systèmes de production agricole au Burkina Faso; unpublished case study, delivered to RAFA Unit/FAO Regional Office for Africa March, 1998.
- Seddon D., Kafando.** 1996. Evaluation du programme de lutte contre la désertification de la FUGN, Province du Yatenga - Burkina Faso.
- Sorgho, Da.** 1997. Etude des impacts des aménagements CES/AGF de la fédération des unions des groupements NAAM.
- Vlaar, J.C.J.** 1992. Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel. CIEH/ Université de Wageningen, 99 p.

La performance économique de la collecte des eaux de surface: L'expérience du Niger

La présente étude a pour objet l'évaluation de la performance économique de quelques techniques de collecte de l'eau dans les systèmes de production agricole de localités choisies au Niger en vue de vérifier le potentiel économique qui pourrait justifier d'en faire la promotion.

La description des systèmes d'exploitation agricole qui y prévalent, met particulièrement l'accent sur les stratégies de gestion des sols et des ressources en eau et sur les pratiques en matière de collecte de l'eau. *L'analyse des résultats est faite en vue des* possibilités qui se présentent pour une adoption plus large des techniques en matière de collecte de l'eau.

L'ADER HAOUSSA ET LE TILLABÉRI NORD - LES ZONES D'ÉTUDE

Situé dans le centre-ouest du pays à plus de 500 km de Niamey la capitale, l'Ader Haoussa se trouve dans la zone sahélienne et singulièrement dans la sous zone sud et de transition. Le relief est marqué par de vastes plateaux de grès ferrugineux. L'érosion y a taillé des vallées encaissées pour former un relief composé de plateaux, de versants abrupts, de glacis et de bas-fonds.

Le département de Tillabéri se situe dans la partie nord-ouest du Niger limitrophe du Mali et du Burkina Faso. Cette zone correspond à la ligne des 400mm de précipitations. Les sols sont de types ferrugineux tropicaux dans les vallées favorables à la culture du mil, argileux dans les bas-fonds adaptés au maraîchage et à la culture du sorgho.

Trois groupements phytogénétiques sont en présence: la brousse tigrée, caractéristique des plateaux; la steppe arbustive occupant les versants sableux; la savane arbustive et arborée dans les vallées.

LES SYSTÈMES DE PRODUCTION

Le système de production pastorale se caractérise par la pratique de l'élevage extensif sous forme de transhumance et de nomadisme et se rencontre essentiellement dans le Nord et l'Est du pays constituant la zone dite pastorale. Sa fonction principale est la multiplication des animaux. C'est le domaine des Peuls (transhumants) et des Touaregs, Toubous et arabes (nomades). A cause de la sécheresse, on y assiste:

*I. Wata, Ministère de l'Hydraulique et de L'Environnement, Niamey, Niger
S. Gamake, Direction Genie Rural, Niamey, Niger*

- à la dégradation du milieu;
- au glissement de l'aire de l'élevage bovin vers les zones agricoles;
- à l'acquisition du bétail par de nouveaux acteurs (commerçants, fonctionnaires);
- à la paupérisation des éleveurs qui se reconvertissent en agriculteurs (culture de contre-saison), simples bergers et ouvriers salariés dans les centres urbains.

Le système de production agro-pastorale est un système d'élevage qui se trouve dans la zone intermédiaire (zone pastorale et agricole) où les agro-pasteurs pratiquent l'agriculture comme activité secondaire et la transhumance comme activité principale.

Le système de production pastorale à dominante agricole est le système qu'on retrouve dans la plupart des terroirs étudiés. Il est propre à la zone dite d'embouche (bovine et ovine). La circulation du bétail pour l'accès à l'eau et au pâturage constitue le problème fondamental de cette zone. La prise en compte des couloirs de passage et leur aménagement (délimitation) au niveau des espaces agraires apparaît dès lors comme une priorité.

A ces systèmes s'ajoute le système de production urbain et péri urbain où les animaux sont confiés à des bouviers rémunérés par tête, en espèce et par mois qui les conduisent au parcours le matin et les ramènent le soir.

Le système de production agricole extensif est caractéristique des zones dunaires de la région. Les exploitations agricoles y occupent des superficies relativement importantes sur lesquelles la monoculture de mil est prépondérante, mais on relève également la pratique de l'association mil + niébé dans une moindre mesure.

L'essentiel des superficies concernées par le **système de production agricole semi-intensif sous irrigation traditionnelle** sont exploitées en décrue, mais une irrigation traditionnelle y est pratiquée. Celle-ci est caractérisée par une exhaure en général manuelle à partir des puisards traditionnels ou de puits cimentés. L'exhaure par traction animale est très rare, mais il y a une tendance au développement de l'exhaure motorisée, en particulier dans la vallée de la Tarka.

Les exploitations familiales sont très morcelées et de petites dimensions à cause de la configuration du relief. Elles pratiquent, pendant la période de contre-saison, des cultures maraîchères (oignon, tomate) sous arrosage et autour des mares; celles des tubercules et de la dolique sous forme de culture de décrue.

L'arboriculture fruitière et la sylviculture pour la production de bois de service (destiné aux constructions rurales) prennent une place de plus en plus grande dans les systèmes de culture. S'agissant de l'arboriculture fruitière, elle est centrée sur le manguié (90% de la production), les autres espèces étant les agrumes et le bananier. En saison pluvieuse, les associations mil + niébé + sorgho et dans une moindre mesure la culture pure du mil, constituent les pratiques les plus répandues. Un certain niveau d'intensification tend à s'imposer face à la pénurie des terres.

Le système de production agricole intensif sous irrigation se rencontre uniquement sur les aménagements hydroagricoles de la *maggia* dans la région de Tahoua. Ce sont des aménagements utilisant des retenues colinéaires et s'étendant sur 3.592 hectares répartis sur six périmètres irrigués avec une concentration sur celui de Konni qui occupe à lui seul 2.447 hectares. Les 4.800 exploitants concernés par les six aménagements, organisés en 67 groupements mutualistes de production pratiquent une irrigation d'appoint en saison pluvieuse et une irrigation totale en contre saison. L'assolement prévoit le sorgho et le coton en saison des pluies et le maraîchage en saison sèche (oignon essentiellement).

REVUE DES TECHNIQUES DE COLLECTE DE L'EAU ET DE GESTION DE L'HUMIDITÉ

Les techniques de CES/DRS (Conservation des Eaux et Sols/Défense et Restauration des Terres) sont pratiquées au Niger depuis plus de deux décennies. Certaines de ces techniques sont traditionnelles, reprises et améliorées par des projets et ONG. D'autres sont importées mais adaptées au contexte du pays. A chaque unité géomorphologique correspond un ou plusieurs types d'ouvrages de CES. Ces techniques sont résumées dans le tableau 1. Il fait ressortir les caractéristiques dimensionnelles, le rôle de l'ouvrage, les unités géomorphologiques qui le reçoivent et le mode et les moyens de son exécution.

TABEAU 1
Matrice des techniques de collecte de l'eau

Type ouvrage	Rôle	Unité physique	Dimensions	Matériaux de construction	Mode d'exécution Moyens
Tassa	Récupérer les terres dégradées	1) Plateau 2) Glacis 3) Versant	diamètre : 0,20-0,30 m profondeur : 0,2-0,25m écartement : 0,8m		<u>Exécution manuelle</u> Houes, Pelles, Pioches
Demi-lune	Capter et stocker les eaux de ruissellement	1) Glacis 2) Pente faible 3) Versant	diamètre : 4m profondeur : 0,2 m écartement : 4x4 m	Terre de déblais pour le bourrelet	<u>Exécution manuelle</u> Niveau à eau dabas, pioches, pelles
Cordons de pierres	Protéger le B.V Favorise l'infiltration	1) Plateau 2) Glacis dégradés	Hauteur : 0,20 m Largeur : 0,30 m	Pierres	<u>Exécution manuelle</u> Niveau à eau Dabas, pioches
Banquettes Sylvo-agricoles	Capter les eaux ruissellées Favoriser l'infiltration	1) Plateau	Longueur : 100 m Largeur impluvium (aile) : 15 m	Terre argileuse Pierres	<u>Exécution mécanique</u> Tracteur ou bull, rouleaux compacteur <u>Exécution manuelle</u> Niveau à eau, pioches, pelles
Banquettes Sylvo-pastorales	Capter les eaux ruissellées Favoriser l'infiltration	1) Plateau 2) Glacis	Longueur : 60 m Largeur impluvium : 10 m	Terre argileuse Pierres	<u>Exécution mécanique</u> Tracteur ou bull, rouleaux compacteur <u>Exécution manuelle</u> Niveau à eau, pioches, pelles
Murets	Freiner l'écoulement	1) Versant	Hauteur : 0,50 m Largeur : 0,30 à 0,40 m	Pierres	<u>Exécution manuelle</u> Petit matériel Moyens de transport de pierres
Tranchées	-Stocker l'eau ruissellée -Protéger les terres avales	1) Versant 2) Glacis à forte pente 3) Plateau	Longueur : 3 m Largeur : 0,60 m Profondeur : 0,60 m	Terres de déblais pour bourrelet	<u>Exécution manuelle</u> Pelles, pioches, niveau à eau...
Seuils d'épandage	-Correction du lit, -Création de l'épandage	1) Vallée	Variable	- Gabions - Terres ou latérites, compactées	<u>Exécution mécanique</u> Engins de terrassement, camions.
Barrages de retenue	Stockage d'eau	En fin de glacis Au bas de versant	Variable	- Terres ou latérites, compactée -Autres (à définir)	<u>Exécution mécanique</u> Engins de terrassement, camions.

Source: Wata et Gamake 1999.

PERFORMANCE DES TECHNIQUES DE COLLECTE DES EAUX DE SURFACE DANS LES SYSTÈMES D'EXPLOITATION AGRICOLE

L'expérience du PDRT (Projet de Développement Rural de Tahoua) dans l'augmentation de la production agricole est montrée dans le tableau 2. Il donne la moyenne sur trois ans des rendements de mil avec quelques interventions de conservation des eaux et des sols et des témoins (sans CES).

TABLEAU 2
Rendement du mil avec quelques interventions du PDRT

Traitement	Unité écologique	Rendement (Kg/ha)	Explication	Source
Tassa + fumier	?	487	Essai à Mountché en 1996 avec une application de fumier suivi sur 3 ans, l'effet du fumier arrivait au maximum pendant la deuxième année	Kriegl & Abdelah, 1996
Tassa sans fumier		157		
Tassa + compost	?	346	Mountché en 1996 (voir en haut) avec compost, suivi sur 3 ans, l'effet du compost arrivait au maximum pendant la première année.	Kriegl & Abdelah, 1996
Tassa sans compost		157		
Demi-lunes	Versant	315	Carré de rendement, Jaja en 1997	PDRT/Unité S & E
Sans demi-lunes		245		
Demi-lunes	Dune	335	Carré de rendement, Sabon-Kalgo en 1997	PDRT/Unité S&E
Sans demi-lunes		85		
Mulching	Dune	660	Carré de rendement, Hada en 1997	PDRT/Unité S&E
Sans mulching		420		
Mulch. + fumier	Dune	310	Carré de rendement, Rangatt en 1997	PDRT/Unité S&E
Ni mulch, ni fum		204		

Les résultats enregistrés montrent que, l'application du compost ou du fumier dans les tassas double ou triple le rendement. Il ressort que la technique de demi-lune est plus efficace sur les dunes que sur les versants. La simple application du mulching ou fumier accroît le rendement d'environ 50%.

Le PDRT a également procédé à l'évaluation des rendements en biomasse de quelques sites en jachère ayant reçu des traitements de collecte des eaux. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 3. Avec les banquettes, le rendement passe du simple au double alors que les murets (utilisés surtout sur les versants) permettent un triplement de la production.

TABLEAU 3
Rendements en biomasse selon intervention

Intervention	Rendement Moyen (Kg/ha)
Témoin (sans traitement)	60
Murets	200
Banquettes	135

Source: Unité Suivi Evaluation, PDRT 1997.

Il ressort que toutes les techniques de collecte de l'eau (tranchées demi-lunes et banquettes) assurent mieux la survivance, le sous-solage et la trouaison (considérée comme site témoin) ayant des taux plus faibles: 51 et 46% respectivement.

Suite à une étude diligentée par le PEICRE (Projet Evaluation des Interventions pour la Conservation et la Récupération de l'Environnement) sur trois sites du PIK, à savoir le plateau de Tamaské, le plateau de Seyté, les versants de Seyté et Tinkirana et la vallée aménagée de Tinkirana, les résultats du tableau 4 étaient observés.

Les productions de plateau non aménagé de Seyté et plateau aménagé de Seyté indiquent que la technique préconisée (banquettes + cordons) donne des résultats satisfaisants sur les plateaux.

TABLEAU 4
Rendement en biomasse des sites aménagés et non-aménagés

Biomasse	Tamaske Plateau aménagé	Seyte Plateau non traité	Seyte Plateau traité	Seyte Versants non traités	Tinkirina	
					Vallée aménagée	Versants non aménagé
Foin (kg/ha)	897,36	408,3	601,7	844,9	859	462,5
Matière sèche (kg/ha)	748,77	310,7	463,4	656,35	633,9	335,5

Source: Unité Suivi Evaluation, PDRT 1997.

Avec la même technique d'aménagement, Tamaské plateau donne une production de biomasse supérieure à celle de Tinkirana vallée. Cette technique (banquettes) paraît donc plus appropriée sur plateaux que dans les vallées.

L'impact sur la production agricole des techniques de collecte de l'eau de pluie ou leurs combinaisons a été suivi au cours de la campagne agricole 1998-1999 dans douze terroirs de l'arrondissement de Filingué (Tillabéri Nord) par le PASP. La spéculation concernée est le mil et les résultats du tableau 5 ont été enregistrés selon les techniques appliquées en comparaison aux parcelles témoins.

Il ressort que toutes les techniques de collecte de l'eau appliquées permettent d'obtenir des suppléments de récolte assez significatifs par rapport au témoin. Ce sont les combinaisons suivantes qui ont donné le meilleur supplément de récolte : cordons + mulching + pacage, suivis de cordons + demi-lune + fumier et Tassa + fumier avec 681 kg/ha, 657 kg/ha et 584 kg/ha, respectivement.

TABLEAU 5
Rendement du mil selon le type d'intervention

Technique de collecte de l'eau	Rendement moyen kg/ha	Rendement moyen des témoins kg/ha	Supplément moyen kg/ha	Appréciation
Cordons simples	634	358	276	Résultat significatif
Tassa + fumier	937	353	584	Résultat très significatif
Cordons + Tassa + Fumier	776	293	483	"
Cordons + demi-lune + fumier	1 092	435	657	Résultat hautement significatif
Cordons + Mulching + Parcage	1 136	455	681	"
Cordons + Muching	683	359	324	Résultat significatif

Source: Fiches techniques 1, 7, 14; Volet Anti-érosifs, PASP 1998.

La performance économique des techniques selon les expériences du PASP est présentée dans le tableau 6. Le tableau fait apparaître entre autres, le rendement du mil, le revenu brut et les coûts d'investissement à l'hectare obtenus à la suite de l'application des techniques de collecte de l'eau et des mesures d'accompagnement comme la fumure organique et le mulching. Le bénéfice net constitue le revenu supplémentaire obtenu dans les parcelles aménagées en comparaison des parcelles non-aménagées. Les coûts comprennent la participation de la population aux travaux de nivellement des terres, au chargement des camions et à la construction des ouvrages. La location des camions et du petit outillage est à la charge du projet; le mulching,

le pacage et la distribution du fumier ne sont pas pris en compte. Selon les fiches techniques disponibles le coût unitaire de la main d'œuvre est estimé à 800 FCFA.

Il ressort de cette évaluation que toutes les techniques de collecte de l'eau donnent un revenu supplémentaire couvrant les coûts d'investissement et ce dès la première année de construction. Parmi toutes les techniques, celle associant le mulching et le pacage aux cordons pierreux rentabilise le mieux l'investissement, les coûts ne représentent que 21% du revenu. Cette technique offre également le meilleur revenu supplémentaire estimé à 81.720 FCFA/ha.

Bien qu'ayant le plus faible résultat au niveau du revenu global, la technique cordons + demi-lune + fumier permet néanmoins d'obtenir un revenu supplémentaire très intéressant de 78.840 FCFA/ha. Ici, les coûts élevés d'établissement de la demi-lune réduisent le résultat global.

TABLEAU 6
Performance économique des techniques de collecte de l'eau

Techniques de collecte de l'eau	Rendement kg/ha	Revenu brut* FCFA/ha	Revenu supp.** FCFA/ha	Coûts construction FCFA/ha	Bénéfice net*** FCFA/ha	Coûts en % de revenu FCFA/ha
Cordons de pierres	634	76.080	33.120	14.370	18.750	43.4
Tassa**** + Fumier	937	112.440	70.080	29.800	40.280	40.5
Cordons + Tassa + Fumier	776	93.120	57.960	44.170	13.790	76.2
Cordons + Demi-lune + Fumier	1.092	131.040	78.840	64.970	13.870	82.4
Cordons + Mulching + Pacage	1.136	136.320	81.720	17.370	64.350	21.3
Cordons + Mulching	683	81.960	38.880	14.370	24.510	37.0

* 120 FCFA/kg mil, coûts variable non inclus; ** revenu avec intervention - revenu des témoins (tableau 5);

=revenu - investissement; * = zai

Source: Fiches techniques 1, 7, 14; Volet Anti-érosifs, PASP 1998; prix du marché.

Le mulching associé aux cordons pierreux permet d'améliorer l'efficacité de la technique de collecte de l'eau. En effet, il fait passer le revenu supplémentaire de 33.120 FCFA/ha à 38.880 FCFA/ha. La différence d'environ 5.000 FCFA devrait couvrir le coût de la main d'œuvre investi dans le mulching.

La technique de Tassa + fumier offre un revenu supplémentaire intéressant de 70.080 FCFA/ha et un bénéfice élevé de 40.280 FCFA/ha.

En général, il faut noter, que le calcul se base sur une seule année. Les techniques considérées dans le tableau 6 sont une association de techniques qui sont réalisées annuellement comme c'est le cas du tassa ou la demi-lune et d'autres qui nécessitent une main d'œuvre annuelle réduite après leur installation. Une analyse d'investissement couvrant plusieurs années pourrait montrer la performance des techniques durables comme les cordons en pierre.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Au terme de notre étude sur les systèmes de production dans cette partie du Sahel Nigérien, il apparaît qu'au vu des situations qui les caractérisent, l'enjeu principal demeure la recherche d'un équilibre optimal entre les modes d'exploitation des ressources et leur capacité de régénération. A l'évidence le principal facteur de dégradation du milieu reste l'occupation humaine à travers les pratiques d'une agriculture pluviale dans une zone aussi climatiquement exposée.

Sur ce plan, les techniques visant une meilleure économie de l'eau associées aux méthodes de fertilisation du sol apparaissent sans nul doute comme la solution première à l'amélioration des capacités productives. Il faut les rendre disponibles et accessibles à la grande majorité de paysans pour qu'ils puissent en tirer les meilleurs profits.

- Bien que nécessitant certaines connaissances techniques, les techniques de collecte de l'eau et de gestion de l'humidité des sols demeurent des techniques simples et rapidement appropriables par les paysans.

Toutes les techniques décrites dans la présente étude tendent à corriger ces contraintes, totalement ou en partie. Ces techniques peuvent être rangées dans 2 groupes fonctionnels:

- Les techniques visant un amendement organique (apport de fumier frais ou de compost, pacage, branchage, paillage ect.).
- Les techniques ayant pour fonction la collecte des eaux de ruissellement et le contrôle de l'érosion (cordons de pierres, tassas, banquettes, demi-lunes etc.) et visant à mettre en valeur les terres imperméables des plateaux.

Ces techniques installées de manière isolée ne répondent pas toujours efficacement aux différentes contraintes liées à la productivité des terres. C'est pourquoi pour augmenter sensiblement l'efficacité des mesures, il est indispensable de combiner les effets complémentaires de ces deux groupes de techniques.

Ainsi par exemple, en se basant sur les résultats de l'expérience du PASP relative à la production de suppléments de récolte de mil permise par les différentes techniques, on peut faire le constat suivant : Bien que la technique cordon + demi-lune + fumier autorise l'un des meilleurs revenus supplémentaires de 78.840 FCFA/ha, elle a dans le même temps le plus faible bénéfice net des investissements de 13.870 FCFA/ha. En revanche, bien que présentant un bénéfice net un peu plus élevé de 24.510 FCFA/ha, la technique de cordons de pierres associée au mulching autorise un revenu supplémentaire relativement faible (38.880 FCFA/ha). Il y a donc un choix à opérer. Cependant, il y a lieu de faire remarquer ceci: Bien que le cadre temporel de l'investissement ne soit que d'une seule année, et que la relation entre les techniques avec recours à la main d'œuvre et celles sans main d'œuvre n'ait changé que dans une période plus longue, toutes les techniques peuvent être classées comme profitables car le bénéfice net est positif dès la première année.

Comme il est aisé de s'en apercevoir à l'issue de ce travail, les techniques de collecte des eaux de pluie et de gestion de l'humidité des sols constituent une des bases de l'entretien et de la durabilité du système de production agro-sylvo-pastoral nigérien, aussi leur vulgarisation s'avère d'une impérieuse nécessité.

RÉFÉRENCES

- Ada, L., Rockström, J.** 1994. Etude sur le système agraire du Zarmaganda Central, Niger.
- Busacker, D.** 1989. Etude Socio-économique de 3 sites pilotes du projet Agro-Sylvo-Pastoral Nord-Tillabéri/PASP-GTZ.
- GTZ.** 1997. Où la volonté déplace des pierres: de la grande valeur des petites méthodes; GTZ/KfW.
- INRAN (Inst. Nat. de Recherche Agricole du Niger).** 1989. Les actes du séminaire national sur l'aménagement des sols, la conservation de l'eau et la fertilisation.
- MAE (Min. de l'Agriculture et de l'Élevage).** 1997. Gestion durable des ressources naturelles: leçons tirées du savoir des paysans de l'Ader, Niger.
- Mazou, I., Amirou, T., Yayé, S.** 1996. Etude sur les systèmes de production au Niger.
- Moussa, I., Amadou, S., Bachir, O.** 1998. Initiative pour la fertilité des sols et collecte des eaux de ruissellement : inventaire des techniques de collecte des eaux de ruissellement; FAO.
- PAGT/FAC/CCE.** 1991. Plan de Développement villageois, terroir de Bangali synthèse du diagnostic, plan de développement (Niger).
- PDRT.** 1997. Les pratiques agricoles: causes principales de la dégradation des sols dans l'Ader, rapport N°3.
- PASP.** 1998. Fiches techniques 1, 7, 14; Volet Anti-érosifs, Niamey, Niger.
- Wata, I., Gamake, S.** 1999. Evaluation de la performance des techniques de collecte de l'eau dans les systèmes de production agricole en Afrique occidentale, Cas du Niger, FAO, Bureau Régional pour l'Afrique, Accra.
- Zabeirou, T., Karim, L. K.** 1997. Analyse des techniques de conservation des sols au Niger.

**Historique et politique nationale de
collecte des eaux de surface en
Mauritanie, en Gambie et au Tchad**

**History and national policy of
water harvesting in Mauritania,
The Gambia and Chad**

La collecte des eaux de surface en Mauritanie

La République Islamique de Mauritanie, située au Nord-Ouest du continent Africain, s'étend sur une superficie de 1.032.000 km² avec une population estimée à 2.500.0000 habitants dont 55% vivent de l'agriculture. L'agriculture pluviale et celle des oasis (phoeniculture) régressent en surface et en production au profit des cultures irriguées.

Sur le plan climatique, le pays est désertique et comprend du Nord au Sud: un climat saharien avec une pluviométrie inférieure à 100 mm; un climat Saharo-Sahélien avec des précipitations comprises entre 100 et 200 mm/an; un climat sahélien avec précipitations comprises entre 200 et 400mm/an; et un climat Soudano-Sahélien avec une pluviométrie comprise entre 400 et 600mm/an. L'isohyète 100 qui marque la limite sud du climat saharien, est descendue, de la période 1933 – 1970 considérée comme période humide, à la période 1970 – 1988 considérée comme période sèche, de près de 250 km vers le sud. Le déficit pluviométrique, également variable d'une année à l'autre a rendu impossible la culture de certaines spéculations (arachide et poix de terre dans le Diéri).

Les bassins versants situés en Mauritanie sont homogènes presque imperméables à perméables avec des pentes modérées à fortes. Pour des bassins versants inférieurs à 120 km², les coefficients de ruissellement sont compris entre 25 et 55%.

Le pays importe annuellement près du tiers ou de la moitié de ses besoins alimentaires en céréales (en moyenne 350.000 tonnes). Les superficies mises en culture et les productions obtenues sont variables d'une année à l'autre. A l'exception des cultures irriguées pratiquées le long du Fleuve Sénégal, toutes les autres sont plus ou moins aléatoires et fortement tributaires de la pluviométrie. Parmi ces dernières, les cultures dans les oasis et dans les bas-fonds dépendent beaucoup plus des eaux de ruissellement que des eaux reçues directement de la pluie. Les mares, qui sont également alimentées par les eaux de ruissellement, assuraient une production importante pendant la période humide mais depuis les années de sécheresse, ce type de culture ne cesse de régresser.

PRATIQUES TRADITIONELLES

Dans les zones climatiques sahariennes et saharo-sahéliennes, c'est-à-dire celles dans lesquelles la phoeniculture domine, ce sont les diguettes en terre qui dominent comme pratiques traditionnelles. Leur faible résistance aux crues n'entache nullement l'ardeur des pheniculteurs à les reconstruire chaque année ou après chaque averse. De même, les canaux à ciel ouvert aménagés dans l'oasis pour alimenter gravitairement en eau les pieds des palmiers dattiers à

partir d'un bassin de fortune, sont régulièrement endommagés soit sous l'effet de la pression de l'eau d'irrigation, soit sous celle érosive de la crue.

La propension des agriculteurs à retenir le maximum d'eau, par la construction de digues en terre à retenue complète sans laisser de passage à l'eau, est la cause de rupture et de dégâts causés à leurs digues. Dans les zones d'épandage où il coule peu d'eau et où également la charge d'eau de ruissellement est faible, il est possible, quand le bassin versant est petit (10 à 20km²) de maîtriser totalement l'eau de surface. Par contre, quand il s'agit de grands bassins versants ou lorsque l'eau dévale directement des montagnes ou des collines en empruntant des chenaux, les digues traditionnelles offrent peu de résistance à la poussée de l'eau, qu'elle soit dynamique : pendant le passage de la crue, ou statique : quand la charge d'eau dépasse 1 mètre. Il n'est pas rare de rencontrer dans les endroits dits « batha » (sol argilo-sableux à sablo-argileux) ou dans ceux appelés « aftout » (sols à dominance argileuse dans une dépression entourée de dunes de sable ou de collines) des diguettes construites manuellement. Cette technique qui se répand actuellement dans les sols classés comme étant marginaux, a pour fonction principale de retenir de l'eau dans un impluvium donné cultivé en céréales.

Les mares, principalement celles situées dans le Guidimakha qui est la région la plus arrosée du pays, sont connues pour leur contribution à l'amélioration de la sécurité alimentaire. Celles qui sont situées dans la partie méridionale sont remplies uniquement par les eaux de ruissellement: elles sont à usage pastoral plus qu'à usage agricole. Quant à celles qui sont situées dans la partie septentrionale, elles sont circonscrites dans le lit majeur du Fleuve Sénégal. Elles sont d'abord remplies par les eaux de ruissellement et à l'occasion, quand l'eau déborde de son lit mineur, par des bras du Fleuve Sénégal. Toutes ces mares autorisent des activités diversifiées dont l'agriculture (riz traditionnel dit improprement sauvage, sorgho, maïs, patate douce et maraîchage), l'abreuvement des animaux, la pêche et la recharge de la nappe.

PRATIQUES PENDANT LA PÉRIODE COLONIALE

C'est pendant la période coloniale que les meilleurs barrages du pays sur les plans conception et réalisation avaient été construits. La production céréalière était abondante au point d'atteindre le seuil de l'autosuffisance alimentaire. La construction de la digue ou du barrage se faisant avec l'autorisation ou la bénédiction du pouvoir colonial, les travaux proprement dits étaient effectués en mobilisant les populations tributaires de l'autorité locale. Les apports de l'administration consistaient à fournir la main-d'œuvre qualifiée, les matériaux importés: ciment, fer à béton, bois de coffrage au besoin, les engins motorisés et la maîtrise d'œuvre.

C'est pendant cette période également que la conception des ouvrages a été «révolutionnée», en particulier:

- la section des digues a pris désormais une forme trapézoïdale. Les digues sont construites avec de l'argile de bonne qualité prélevée à partir d'un lieu d'emprunt proche ou éloigné de l'emprise de l'ouvrage et transportées avec des camions;
- le déversoir en béton, en pierres maçonnées ou en gabions de même que l'ouvrage de vidange ont été rajoutés à la digue en terre;
- du matériel et des matériaux nouveaux pour de tels travaux de construction: le fer, le ciment, le bois de coffrage, ont fait leur apparition;
- la formation d'une catégorie professionnelle de main-d'œuvre à des tâches de maîtrise a été instaurée.

PRATIQUES À PARTIR DES ANNÉES DE SÉCHERESSE

L'installation et la persistance de la sécheresse (1970) ont eu pour effet, dans le domaine de la collecte des eaux de surface, l'abandon progressif des pratiques traditionnelles et l'amélioration des ouvrages d'art dans leur conception et dans leur réalisation. Il est difficile de dresser l'inventaire exhaustif des ouvrages de captage des eaux de ruissellement en Mauritanie, tous types confondus. Selon les observations, un chiffre de 500 barrages est souvent avancé avec un potentiel aménageable de 55.000 hectares. Ces retenues d'eau recevraient en moyenne 300 millions de mètres cubes d'eau qui ruissellent sur près de 60.000 kilomètres carrés de bassins versants.

La construction des ouvrages qui sont exploités en commun procède de l'approche du développement participatif. A savoir que l'Etat ou le bailleur de fonds apporte le financement nécessaire aux gros investissements, tandis que les populations bénéficiaires apportent la main-d'œuvre non qualifiée pour les travaux de finition. Parfois même, notamment dans le cadre des opérations financées par le Fonds Régional de Développement, les populations contribuent financièrement à hauteur de 20 à 50 % des coûts.

Le renforcement des **diguettes simples** est visible à partir des années de sécheresse aussi bien dans les oasis que dans la zone agropastorale qu'agro-sylvo-pastorale. Elle a été si vite adoptée que de plus en plus, quand l'aménagement d'un terroir est financé par les populations elles-mêmes, cette technique est souvent utilisée.

La diguette filtrante, construite avec des pierres sèches a fait son apparition au début des années 1990. Elle est en phase expérimentale dans la région du Brakna par l'Association Française des Volontaires du Progrès (AFVP), et au Hodh El Gharbi. Elle est déjà en application dans la région de l'Assaba par le Programme de Lutte contre l'Abandon de Terroirs Villageois de l'Assaba dans le cadre de l'aménagement de bassins versants et également dans le Guidimakha par l'ONG française Groupement de Recherche pour le Développement Rural dans le Tiers Monde (GRDR).

Les digues en terre qui étaient exécutées de manière traditionnelle ont également évolué dans leur conception et dans leur réalisation. Sous l'impulsion de la Direction du Génie Rural qui est devenue plus tard la Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Rural (DEAR) et ensuite de projets financés par des bi/multilatéraux, ou des ONGs, ou avec les propres moyens des populations, la digue en terre a été aménagée dans toutes les zones écologiques du pays. Leur amélioration par rapport à la digue traditionnelle se traduit dans les mêmes termes que les diguettes à savoir au point de vue de la conception et de la réalisation en vue d'assurer leur pérennité. A cause de son coût relativement cher, elle a connu moins de réussite que la diguette améliorée au niveau du terroir ; elle est plutôt l'œuvre d'une commune ou d'une tribu qui l'édifie soit de manière définitive, soit, et plus fréquemment, en prévision d'une future réhabilitation ou transformation en barrage en terre sur financement extérieur ou du Fonds Régional.

Les mares qui avaient constitué un apport substantiel dans l'alimentation sont en voie d'être abandonnées. De la région du Gorgol à l'Ouest, à celle du Hodh Charghi à l'Est en passant par le Guidimakha, les mares ne contiennent plus ou suffisamment d'eau pour satisfaire les besoins à partir du mois de mars et ce jusqu'au mois de juillet. Les captures de poisson sont devenues si faibles qu'elles ne sont plus considérées comme un complément dans l'alimentation. Dans les deux premières régions, le creusement d'oglat et de puisards a favorisé l'introduction du maraîchage dans ces mares.

Les barrages en terre sont avec les diguettes, les techniques qui ont eu le plus de succès dans toutes les régions du pays. Leur succès tient à plusieurs facteurs:

- la rigueur de la sécheresse qui recommande à l'homme de constituer dans son environnement immédiat une source d'eau pérenne;
- l'exiguïté des bonnes terres de cultures;
- leur plus ou moins bonne tenue qui les rend plus viables et plus durables que les autres techniques;
- leur capacité de stockage d'eau sur une surface à aménager plus importante et en plus grande quantité.

Ils sont construits par des brigades équipées d'engins de terrassements ou de génie civil. Le schéma type est le suivant:

- une digue qui forme le corps de l'ouvrage d'art: elle est en argile prélevée dans une carrière dont les caractéristiques sont reconnues comme bonnes. Ce matériau est transporté par des camions, déposé le long de l'axe de l'ouvrage, régalez, arrosé et compacté au rouleau lisse ou pied de mouton ou à la sauterelle. La section a une forme trapézoïdale, une hauteur variable et des talus doux à l'amont et à l'aval;
- un déversoir: quand il n'est pas naturel et placé vers le bout de la digue, il est formé par un ouvrage en béton armé, en pierres maçonnées ou en gabions. Sa crête est calée à une cote inférieure de 1 mètre au moins par rapport à celle de la digue, de manière à ce que l'eau retenue inonde toute la cuvette à cultiver sur une tranche d'eau minimale de 25 à 30cm. En période de crue, lorsque le volume d'eau dépasse la quantité désirée, l'excédent passe au-dessus du déversoir, ce qui expose moins la digue à la poussée de l'eau;
- un ou des ouvrages de vidange: ils sont construits en béton armé ou en pierres maçonnées et implantés dans la partie la plus basse du profil en long du barrage. Ils ont pour objet de fonctionner comme un « robinet »: quand ils sont ouverts, ils vident l'eau de la cuvette pour libérer les terres. Quand ils sont fermés, ils participent au stockage de l'eau au même titre que la digue. Plusieurs techniques sont utilisées pour leur fermeture: soit des vannes, soit des rangées de batardeaux dont l'interstice est bourré de matériaux imperméables, etc.

Le déversoir et l'ouvrage de vidange sont souvent prolongés en aval par un dissipateur d'énergie en béton maigre ou en gabion pour éviter le ravinement.

Les techniques les plus courantes en Mauritanie aujourd'hui sont les diguettes en terre, les digues de retenue, le barrage de retenue, la diguette filtrante et la réhabilitation des marres.

PLUS QU'UN PROBLÈME TECHNIQUE DE COLLECTE D'EAU

Les ouvrages de captage des eaux de ruissellement sont situés généralement dans des zones qui sont difficiles d'accès dans lesquelles on trouve des dunes de sable mobiles, des marigots, des pistes et des sentiers sinueux.

La main d'œuvre non qualifiée s'occupe des travaux de finition, tandis que les terrassements sont faits par les engins. L'introduction progressive de ces derniers a eu pour corollaire l'augmentation du coût de l'aménagement. L'achat des engins, leur location ou leur réparation

(acquisition de pièces de rechange à l'étranger) est hors de portée des communautés qui manquent également de main d'œuvre qualifiée dans leurs terroirs. Il faudra alors recourir à des financements extérieurs difficiles à obtenir.

La terre à valoriser crée souvent des conflits et ravive quelques fois ceux qui étaient latents. L'appartenance du terroir à telle ou telle tribu, l'attribution du droit d'exploitation à telle ou telle famille, le libre accès à l'eau stockée derrière un barrage ou puisée à partir d'un puits, sont entre autres autant de sources de conflits qui prennent une autre dimension quand il faudra trancher entre les agriculteurs et les éleveurs dont les animaux sont attirés par la verdure dans les champs.

Les animaux en divagation sont un danger potentiel pour les digues et les diguettes lorsqu'elles ne sont pas revêtues. Ils dégradent les talus, accentuent les effets du renardage et accélèrent leur dégradation.

L'entretien des ouvrages est un signe de leur appropriation par l'exploitant. Cette activité est malheureusement peu observée, ce qui a pour conséquence sa dégradation rapide à court terme et sa réhabilitation au prix fort à moyen terme.

La construction d'un barrage requiert une certaine expertise et des compétences qui, même si elles existent au niveau des services centraux, manquent au niveau régional et communal. Comme la durabilité requiert aussi la maîtrise de la technique et de la science, le renforcement des capacités au niveau régional, est nécessaire.

L'existence des matériaux de qualité, en quantité suffisante, constitue quelquefois un handicap. Son transport à partir des lieux d'emprunt est onéreux ce qui amène beaucoup de personnes à utiliser du matériau argileux de moins bonne qualité.

Les paysans ne maîtrisent pas les techniques simples qui sont susceptibles de doubler voire tripler le rendement: utilisation de semences améliorées, traitement phytosanitaire, semi-précoces, écartement des plantes, utilisation d'engrais, etc.;

Le manque de données est une contrainte supplémentaire. Pour un projet donné, il est souvent difficile de connaître le nombre de bénéficiaires, les superficies aménagées et la taille des exploitations, une définition claire de l'approche de développement en général et des apports de chaque partie en particulier.

En plus de ces contraintes qui sont d'ordre technique, il en existe d'autres qui sont d'ordre organisationnel et institutionnel. Actuellement, la construction des retenues collinaires se fait de manière désordonnée par les populations qui ne se réfèrent guère aux autorités régionales. Il en est presque toujours ainsi quand il s'agit d'aménager une digue ou une diguette. Tant que l'aménagement et l'exploitation de l'ouvrage d'art n'engendrent pas de conflits majeurs, ni les représentants régionaux du MDRE, ni les autorités locales (Gouverneur, Préfet) ne sont avisés. Or l'aménagement d'un bassin versant procède d'un plan ou d'un schéma qu'il faudra respecter.

En Mauritanie, le Ministère de l'Intérieur, des Postes et des Télécommunications s'occupe de l'aménagement des terroirs par le canal de sa Direction de l'Aménagement du Terroir et de l'Aménagement Rural (DATAR) dont les activités sont financées par le Fonds Régional de Développement (FRD). Cette situation est source de duplication et de confusion avec les attributions du MDRE.

Il n'est pas rare de rencontrer plusieurs bailleurs de fonds qui interviennent sinon dans le même terroir, tout au moins dans le même département, chacun ayant son propre label et sa propre approche. Des approches différentes se côtoient ainsi au grand dam de l'esprit de développement communautaire, d'où un manque de synergie qui a tant de fois été décrié et par les bailleurs de fonds et par le Gouvernement. Les tentatives de créer dans chaque région un comité chargé d'harmoniser les approches sont restées vaines.

TECHNIQUES ET APPROCHES POUR LA MAURITANIE

Les pays situés sous les latitudes de la zone sahélienne confrontés à un problème de disponibilisation quantitative et qualitative de l'eau sont contraints à collecter les eaux de pluie, à les maîtriser et à mieux les gérer. Il existe plusieurs techniques en fonction des moyens à investir mais celles répliquables à la portée des populations, sont plus durables.

En Mauritanie, à part Foum Gleyta et dans une moindre mesure Rkiz, il n'existe pas de mares ou de lacs créés artificiellement. Du fait que les apports des mares sont importants et peuvent être augmentés pour les besoins agricoles, pastoraux ou piscicoles, et que leur entretien demande peu d'investissements, il est dommage que leur maintien n'ait guère (ou très peu) suscité l'intérêt du Gouvernement et des bailleurs de fonds en vue de les réhabiliter. D'autant plus qu'elles sont situées dans les zones où la densité de la population est plus élevée que la moyenne nationale. Les études menées dans les années 1970 sur les mares du Guidimakha, pourront alors être reprises ou étendues à toute la zone agrosylvopastorale pour les faire revivre.

Le barrage en terre classique est de loin l'ouvrage le plus demandé par les populations quand elles n'en sont pas le bailleur. Il est certes plus viable, mais son coût est tel que très peu de populations sont en mesure de financer sa construction. S'il est durable en terme de résistance aux intempéries et aux déprédateurs, ramené à la dimension des populations, il est difficilement répliquable. Il contribue en fait à la résolution de problèmes d'urgence.

Les diguettes filtrantes par contre, de par leur coût de réalisation relativement bas et leur exécution relativement facile sont une technique qui mérite d'être vulgarisée à grande échelle en Mauritanie d'autant que les matériaux (pierres sèches) qu'elles demandent, existent en abondance. L'amélioration de leur résistance à la poussée de l'eau recommande de placer les pierres sèches dans des cages en gabion que certains artisans fabriquent déjà au niveau des régions: d'où une promotion pour ce matériau.

Les barrages en terre munis d'un déversoir naturel méritent également d'être vulgarisés d'autant que leur coût à l'hectare est relativement avantageux.

La construction de barrages ou de digues clés en main est à éviter. Il faudrait que les bénéficiaires s'approprient l'ouvrage d'art, ce qui veut dire qu'elles participent à son identification, contribuent d'une manière ou d'une autre à sa construction et assument la responsabilité de leurs entretiens/réparations. Autrement, l'ouvrage continuera à porter le nom du bailleur de fonds qui l'aura financé ou de l'entreprise qui l'aura construit. Il sera abandonné à lui-même dès l'apparition des premiers travaux d'entretien.

Plus qu'un problème de collecte d'eau de ruissellement, la sécurité alimentaire est un problème d'organisation et de gestion des bassins versants. A cet égard:

- la construction d'un ouvrage quelconque devra obéir à des normes et à des procédures;
- le bassin versant doit être aménagé de manière ordonnée et judicieuse par des ouvrages qui répondent aux règles de l'art;
- les eaux qui sont lâchés méritent d'être gérées et valorisées pour augmenter les surfaces cultivées en aval;
- l'harmonisation des approches de développement est à rechercher pour éviter des distorsions;
- la référence à une autorité technique ou administrative doit être de règle lors de la création d'un ouvrage d'art.

Gambian experience in water harvesting

The Gambia is situated on the West Coast of Africa with a total area of 10,402 km². The River Gambia runs from east to west dividing the country into two strips of land 25 to 50 km wide and about 450 km long. The climate is the Sahelian type with an average annual rainfall that has been declining from above 1200 mm to around 600-700 mm over the past 30 years.

The vegetation of The Gambia is the Savanna with shrub and grass understoreys, mangroves are found in the western half of the country in the floodplains of the River Gambia. The lowlands have been conservatively estimated at about 310,000 ha representing about 30% of the total land area. The lowlands are mainly the sites of the water harvesting practices. Here, the soils are of recent alluvium showing a high degree of variability in both morphology and chemical characteristics. They include alluvial soils of the river and its tributaries that are permanently saturated to the surface and may develop a high degree of acidity upon drying out.

The farming systems in The Gambia include the growing of upland crops such as groundnuts, millet, maize, cotton, sesame, and other grain legumes on the uplands, while rice and vegetables are grown in the lowlands during the rainy and dry seasons, respectively. Generally, the women work in the lowlands growing rice and vegetables while the men are in the uplands growing other cereals and grain legumes for cash and subsistence purposes.

WATER HARVESTING IN THE VALLEYS AND UPLANDS

Water harvesting techniques for improving food security fall under two broad categories, namely; runoff water retention with the construction of dikes or small tied-ridges in the valleys, and with contour and diversion bunds in the uplands. The impoundment of freshwater tidal flows into the adjacent floodplains with the help of perimeter bunds and gates are not emphasised here.

Runoff water harvesting in the valleys

Dikes with spillways for the community and tied-ridges by individual women farmers in portions of their sloping rice fields, are the two main types. Of increasing significance is water harvesting in the uplands for village protection against high velocity and erosive runoffs, while retaining some for extra depth of infiltration. While the latter is practised by individual women farmers in their plots, the construction of dikes with spillways involve the community, the government or NGOs.

The problem of water retention and the prevention of salt water (sea water) intrusion in to the rice growing valleys are identified by the community. They seek assistance through local agricultural extension workers based in the community from government institutions like the Soil and Water Management Unit (SWMU), or an NGO like the FFHC (Freedom From Hunger Campaign).

The SWMU with experts in Soil and Water Conservation Engineering, Soils and Land Evaluation, Agronomy, Monitoring and Evaluation Sections makes a reconnaissance survey to the site with a multidisciplinary team of experts from all the sections of the unit. The problems are diagnosed together and the solutions are based on the engineering, agronomic and social suitability. That means, the site must have the right construction material and other physical precondition; rice growing must be profitable and land tenure issues should not be aggravated.

Under these circumstances, the community and the particular agency e.g. LADEP (Lowland Agricultural Development Program), sponsors of the implementation of SWMU's water harvesting activities, make and sign an agreement that the community will provide unskilled labour and locally available construction materials like sand, gravel and water for concrete works, and the agency provides equipment like tractors, spades, headpans for carrying the soil construction material, and all other materials and skilled labour.

The construction of dikes with concrete spillways for impounding runoff water in the valleys takes place between January and June/July (during the dry season). The dikes are built on the contour, to a height of 125 cm with 350 cm base width and 100 cm top width with 1:1 side slopes. They have weirs of 35 cm high, which marks the level and average depth of the impounded water in the rice fields. Because of the ponding, farmers are advised as to what specific agronomic practices they should perform. Appropriate rice varieties for deep, shallow and phreatic zones are given to farmers on loan along with fertilizers. Demonstrations of soil amelioration methods such as liming in low pH sites, are included in the agronomic follow-up by the agronomy section of SWMU.

Presently, SWMU as the main implementing agency of LADEP, is the biggest in the construction of dikes and spillways for harvesting runoff water for agricultural (mainly rice) production. NGOs like ADWAC (Association for the Development of Women and Children), and the EDF (European Development Fund) are increasing their interventions in this area too.

Because of poor soil used as construction material for building dikes, and because of saline and acid sulphate affected areas, where the dikes are built (mostly in western half of the country) a maintenance and upgrading section is now created in the SWMU. It upgrades old and degraded dikes and spillways at the request of the community.

Harvesting freshwater from the tides of the River Gambia is the second category of surface water harvesting in the lowlands of The Gambia. This technique is done in the Central River Division where the River is fresh and the adjacent lowlands are flooded by the tide. The design and construction of these tidal perimeter bunds are more elaborate and capital intensive than those of water retention dikes and spillways in the other valleys. The perimeter bunds are up to 300 cm wide at the top and 100 cm high. Concrete culverts, turnouts, and gates, are parts of the system, which make it expensive.

Runoff water harvesting in the uplands

High runoff rates soils induced by a decreasing vegetative cover, and mechanised cultivation without regards to the contour are causing erosion and drainage problems. Since most rural Gambia settlements are located somewhere between the lowlands and the uplands, the excess runoff water from the fields in the uplands drain through their settlement areas, causing serious gully erosion and flooding in its wake. Often, the capacity to discharge flash floods is insufficient. Sheet erosion in the upland fields resulting in declining soil fertility and vital topsoil is decreasing soil productivity.

Run off water harvesting in the uplands has the same implementation procedure of activities as those of water harvesting in the valleys. Equally, the request has to come from the farmers. However, the participation of the local communities in upland conservation is generally limited to digging out and supplying rocks (large laterite boulder stones) for rock and brush dams at the points where the bunds cross eroded drainage ways. These crossings are often marked by deep gullies of more than one meter depth and more than four meter width within critical locations in the settlement areas, and in the upland fields.

The increasing demand in form of request for assistance for upland conservation from rural communities is giving this technique of water harvesting in the upland soils an increasing level of importance.

SUCCESS AND FAILURES IN THE FIELD OF WATER HARVESTING

Runoff water harvesting started in the early 1980s by the Department of Water Resources and later by the Soil and Water Management Unit of the Department of Agricultural Services. NGOs such as FFHC, Save the Children USA, the EDF and others mentioned earlier, also joined these activities from 1988 onwards.

The first dikes built by SWMU around 1984/85 were constructed with the soils found insitu. The alluvial soils, have a high proportion of silt and clays with varying degrees of layers of sandy inclusions. Generally, in the western half of the country the profiles are fine (silty, clayey) over coarse (sandy) textures. This part of the country has built the highest numbers of dikes and spillways. The region is often perennially saline and the low rainfalls over the past 30 years have exacerbated the moisture stress conditions of the rice growing valleys. Due to the presence of acid sulphate, acidity is high as well as salinity due to the intruding seawater into the rice fields. The soil physical (textural) and chemical limitations affect the durability of the dikes. In some of these soils, especially those in the barren flats and perennially sea water flooded plains, the dike height and general size diminish so fast, that maintenance and upgrading works occur much too early, and too often. This is because even grass cannot grow on the dikes to give it the added stability against erosion. The emergence and prominence of red or "rust-coloured" substances believed to be Iron toxicity is in some instances being viewed by some farmers with suspicion because it is associated with the impacts of dike construction. Material to build the dike with is limited where the depth of the coarse textured subsoils is shallow. Deep ploughing is recommended in such valleys.

Future ownership responsibilities in maintaining and upgrading the dikes and spillways is being enhanced by community mobilisation at presence. Without adequate participation of the community in the aftermath of the construction period the durability of the structures becomes

uncertain. Associated with the community, is the participation by gender. Women who grow rice and vegetables in the lowlands find it difficult to dig up gravel for use in concrete spillways. The same is true for the participation of men in many places in the rural Gambia for this type of activity. Delay in the provision of vital construction materials like gravel from the community can affect the final completion of the dike and spillway system severely.

Another Gambian experience is the difficulty in meeting standards and specifications designed for the dikes and spillways. The dikes are often smaller or the soil construction material can be seriously affected by salinity or acidity. The last stage of the construction process is often delayed, and results in improper filling of the gap between the wing walls of the concrete spillways and the earthen dikes. These can be potential weak points, and they are often the first points where the dikes break.

In the valleys of the wulumbango type, the deposit of coarse-textured, sandy materials is beginning to be alarming in some places. The prevalent use of animal traction in the uplands and the increasing cultivation of marginal lands up to the footslopes of the valleys are generally responsible of this sedimentation in the lowlands.

In some places, the area ponded by the dikes and spillways is not cropped at all during the first few years. Possible reasons include the fact that the total area available to individual farmers become far greater than they are capable of cultivating with manual family labour input. The quantity of water ponded in the ricefields, especially in those fields near the dikes, can become too large too early, before other necessary cultural practices can take place. Though the need for installing gates becomes visible, gated spillways require a certain level of management, which were difficult to implement during the earlier years.

Ploughing services for the farmers by SWMU are based on the criteria that the area to be reclaimed must have been abandoned for at least 10 years or never been cultivated before. This area must be within the command area of the dikes. To ensure benefits for farmers from rice growing on reclaimed areas agronomic follow-up is necessary. This package includes the provision of inputs such as seeds and fertilizers on a loan basis. Collection of repayments from farmers is a difficult task. Demonstrations of cultural practices with different varieties and methods of operation, and the use of liming and other forms of soil amelioration, are provided for the farmers through the SWMU. It is part of the package of water harvesting for improving food security.

The construction of contour and diversion bunds in the uplands is presently gaining momentum. Requests for assistance are coming in from the eastern half of the country where erosion of the upland fields are alarming. Both, the eastern and western halves of the country have some sites designed and constructed by the SWMU for the EDF (European Development Fund) on behalf of the local communities. The construction of upland conservation structures is also done during the dry season. Soils are often hard and dry so that disc ploughs mounted on tractors cannot break enough soil to build up ridges. Usually, graders and other heavy earth moving equipment are used. Such graders don't make bunds bigger than 30 cm after settling. However, they make channels on the upstream side of the bunds for conveying excess water away from the fields and settlement areas. Making contour and diversion bunds at the beginning of the rainy season when the ground is softer is easier than during dry season. It is ideal, except for the fact that little time is available before the farmers begin planting. Local varieties of vetiver grass are planted on some upland conservation bunds for stability and durability.

In constructing contour and diversion bunds intense sensibilisation is required for farmers on the upper reaches of the watershed. Usually, if the villages in the upper reaches are not involved, the villages below cannot be effectively protected from flooding and drainage problems due to the rushing down of the runoff water. This may happen because the diversion and contour bunds are placed too far below the crest. Such structures very often wash or break away because they fail to sufficiently evacuate the excess runoff water.

As for the small tied-ridges made by the individual women farmers in their rice fields, the amount of water trapped in these micro-catchments are so limited, that the water retention is only for a matter of days before drying out. This farmer's initiative has not been taken up by other agencies, and is not very common in The Gambia, in comparison to the Sahelian countries. Therefore, the small tied-ridges constructed by women farmers will not be further elaborated

Apart from the damages and degradations of the structures due to physical and chemical soil composition, the tracks of cattle crossing, from the uplands to the lowlands for feed and water persistently become a danger of breaching the dike and spillway system.

The cost of constructing dikes in the valleys are about US\$3 per metre considering the labour and all other inputs. The cost of concrete spillways are estimated at about US\$30 per metre. The contour and diversion bunds are often long (about 1km), but much smaller in size. Including the rock dams that are installed in the system especially at road crossing, they cost about US\$1 per metre. Generally, the horizontal spacing between these bunds is 60-75 m.

Benefits for individual farmers have so far not been evaluated. However, the increase in soil moisture lowers the risk of crop failure even in rainy seasons with drought spells.

The degradation of the soils due to salinity or acidity is stopped, and in some cases even reversed, which can be seen as a long term benefit. Impounding water in the valleys for rice production has recorded increases in yields from 0.9 - 1.5 tons/ha to 3- 3.5 tons/ha, a major short term benefit to the farm households.

Positive environmental impacts are observed as birds and other wildlife uses these ponds for drinking. No significant health hazards or negative impacts seem to exist. The residual moisture after the rainy season supports women's dry season vegetable production. Both the lowland dikes and the upland contour and diversion bunds increase the depth of infiltration and consequently recharge the groundwater.

DEVELOPMENT PRIORITIES FOR THE GAMBIA

It can be concluded that water harvesting in The Gambia concerns women more than men in the rural communities, since they receive sediments and runoff water in their lowland ricefields.

Men's upland fields often contribute to the erosion of those lands and the sedimentation. This is due to their cultivating along the slope with animal traction. Contour farming is therefore highly recommended in the upland areas. Where the runoff water starts to cause severe erosion in their own farms and in the settlement areas, men become more interested in participating in runoff harvesting and diversion of excess water safely away into the valleys.

In the lowlands, water harvesting works are carried out during the dry season, when the farmers are less busy and the ground is hard enough (especially in the valleys) to bear the weight of tractors and other heavy equipment. Because of the hardness of the soils during the dry season, only tractors with disc ploughs are able to break loose the soils for dike construction material.

The upland soils are so hard during the dry season that even tractors with disc ploughs do not loosen-up sufficient soils to make good bunds. The use of heavy plants like graders is not readily available, but has proved very useful. Constructing contour and diversion bunds is easier during the beginning of the rains, but competes with planting of groundnuts and other upland cereals. Therefore, the beginning of the rainy season is not the best time.

Marking of the contour guidelines during the dry season (around April/May) with a tractor and disc plough and raising the bunds with some equipment can be effective, and is therefore recommended.

Growing vetiver or similar grasses on the bunds will increase the sustainability. Because of the physical and chemical limitations of the soils in some of the lowlands, soil amendments such as lime, phosphogypsum and others must be used to improve the productivity of the reclaimed areas.

The kind of heavy equipment used in the establishment of water harvesting structures always requires government or donor assistance to local communities.

REFERENCES

- Remington, T.R., Posner, J.** 1994. The Impact of Run-off Retention Dikes on the Rice-based Cropping Systems in the Small Valleys of Western Gambia; IIMI (Inst. Int. du Management de l'Irrigation), BRIAO (Bulletin du Réseau Irrigation Afrique de l'Ouest), no. 004, Mars, Burkina Faso.
- Remington, T.R.** 1991. Increasing Rice Production in the Inland Valley Swamps of Western Gambia. University of Wisconsin, Madison, WI, USA.
- Updegraff, G.E., Secka, S. Senghore, E. Lawrence, D.** 1991. The Gambia Soil and Water Management Activity Review; Soil conservation service, Washington D.C.; USA.
- Wright, J.P.** 1988. Maize/Cowpea Relay Performance as Affected by Relay Time and Tied Ridge Cultivation in the Gambia; MSc. thesis. U. of Wisconsin, Madison, WI, USA.

La collecte des eaux de surface au Tchad

Le Tchad est un vaste territoire peuplé d'environ 7.300.000 habitants répartis de façon inégale sur les 1.284.000 km² qui constituent sa superficie.

Trois grandes zones agro-climatiques composent le Tchad. La zone soudanienne, caractérisée par une pluviométrie supérieure à 600 mm/an, couvre une superficie correspondant à 25% du territoire, où vivent 47% de la population. La zone sahélienne enregistre une pluviométrie entre 300 et 600 mm/an et couvre 28% du territoire, où vivent 51% de la population. La zone saharienne avec une pluviométrie inférieure à 300 mm/an couvre 47% du territoire, où vivent moins de 2% de la population.

L'agriculture tchadienne subit depuis une trentaine d'années les effets négatifs de la sécheresse mais la prise de conscience de la vulnérabilité du système de production agricole basé sur la culture pluviale n'a eu que très peu d'effets sur les réalisations dans le domaine de la maîtrise de l'eau en vue de constituer une alternative à cette situation de précarité.

En effet, malgré un problème de sécurité alimentaire quasi endémique lié au déficit pluviométrique, les réalisations dans le domaine des aménagements hydroagricoles, au regard des importantes potentialités hydroagricoles, sont insignifiantes. Le potentiel irrigable à partir des eaux de surface s'élève à 350.000 ha dans les zones soudanienne et sahélienne dont 220.000 ha dans les vallées du Chari et du Logone et 90.000 ha autour du Lac Tchad. Malgré tout, à l'heure actuelle, seulement 7.000 à 8.000 ha sont exploités sur environ 18.000 ha aménagés.

Le développement de l'irrigation au Tchad n'est pas limité par les disponibilités en terres irrigables et en eau. Les contraintes au développement de la production agricole avec maîtrise de l'eau sont essentiellement d'ordre technique, socio-économique et institutionnel.

HISTORIQUE DE LA COLLECTE DES EAUX DE SURFACE

La collecte des eaux de surface à des fins agricoles est un phénomène récent au Tchad. En effet, l'agriculture tchadienne a toujours été basée sur les cultures pluviales. Et lorsque les premiers grands aménagements ont démarré dans les années cinquante et soixante, l'accent a été tout naturellement mis sur l'utilisation des cours d'eau, sans maîtrise par des ouvrages de retenue. Il a fallu attendre les années quatre vingt avec l'avènement de la sécheresse qui a fait prendre conscience d'une nécessité de changement de stratégie. C'est ainsi que de nombreuses idées qui ont émergé, ont débouché sur un certain nombre de projets de constructions de certains ouvrages de retenue, notamment de petits barrages en terre. Malheureusement, cette prise de conscience ne s'est pas traduite par la mise en place d'un nombre important d'ouvrages, et les quelques barrages réalisés ont le plus souvent une durée de vie très courte.

Les principaux types d'ouvrages de collecte développés dans le pays sont les suivants:

Les barrages de diversion

Le premier barrage réalisé au Tchad est le barrage de Facha, situé à 25 km à l'ouest d'Abéché dans le Ouaddaï, qui n'étant d'ailleurs qu'un amas de terre compactée sans déversoir n'a pas résisté aux premières crues. La réalisation d'une série de petits barrages dans le Ouaddaï a été entreprise dans les années quatre vingt par l'ONG «Africare» et l'ONG nationale «Altawoun». Les cultures de décrue sont pratiquées en amont du barrage, après sa vidange par infiltration et par évaporation et latéralement dans une plaine d'épandage où l'étalement de la crue est favorisé par des diguettes. Sur l'ensemble des réalisations, on peut citer notamment les barrages de Ouéré, Matar, Sounar, Tarbaka (par Africare) et de Malanga (par Altawoun), tous situés autour d'Abéché.

Les ouvrages de lutte anti-érosive

La lutte anti-érosive par des cordons pierreux, des digues d'étalement de crue et des diguettes d'aménagement de bas-fond, a véritablement démarré avec la mise en place de deux projets:

- Le Projet d'Aménagement des Ouadis (PAO), qui intervient au Ouaddaï et au Biltine, est financé par la Coopération Allemande et exécuté conjointement par le Ministère de l'Environnement et de l'Eau et par la GTZ. Le programme de réalisation des ouvrages du PAO a démarré depuis 1993;
- Le Projet de Sécurité Alimentaire du Nord Guéra (PSANG), intervient au Guéra avec un financement du FIDA. Le PSANG est exécuté par le Ministère de l'Agriculture et a démarré ses activités depuis 1994.

Le surcreusement des mares

Le surcreusement des mares est un programme récent. Ce programme est la conséquence des difficultés rencontrées dans la mise en œuvre des programmes de forages et puits, notamment dans les zones de socle, le captage des eaux de surface étant considéré comme une alternative. Le surcreusement des mares a été initié notamment dans le cadre du projet «Almy Bahaïm» et du Projet de Développement Intégré du Salamat.

Les barrages

Le barrage de Ouéré a été construit en 1984 par les paysans, avec l'appui d'Africare. L'ouvrage a été détruit par la crue de juillet 1985. L'ouvrage a été reconstruit en 1986-87. Le barrage de Matar a été édifié en 1986 et 1987. Partiellement endommagé en juillet 1988, il a été réhabilité au cours de la saison sèche suivante (1988-89). Le barrage de Sounar, réalisé en 1987, s'est rompu en juillet 1988. On n'a pas estimé intéressant de le reconstruire. Le barrage de Tarbaka a été construit en 1989-1990 à proximité de la digue d'Aboundoura, cassée en 1988 et actuellement abandonnée. Le barrage de Tarbaka est conçu pour pratiquer la décrue, uniquement en amont dans la cuvette. Le barrage de Kariari est implanté à l'Est du Tchad sur le ouadi du même nom qui fait frontière entre le Tchad et le Soudan. Le projet vise à satisfaire les besoins d'une zone

où le problème d'alimentation en eau se pose avec acuité. Le barrage de Kariari est dans sa phase de finition. Il est financé conjointement par le Tchad et le Soudan pour un montant total de 500 millions de FCFA. Les caractéristiques du barrage sont les suivantes: longueur totale: 500 m; longueur du déversoir en béton: 300 m; longueur de la digue en terre: 200 m; profondeur moyenne: 4 m; volume stockable: 80.000 m³.

Les mares

Le projet d'hydraulique pastorale «Almy Bahaïm» vise à améliorer la disponibilité en eau du bétail dans les zones de grand pâturage et le long des couloirs de transhumance. Le projet prévoit de réaliser notamment les points d'eau de surface (mares). Financé par la Caisse Française de Développement (CFD), le projet a réalisé dans sa première phase (1995-1999), 2 mares dans l'Ennédi (sous forme de projet pilote) et 30 mares dans 5 autres préfectures.

La poldérisation de la zone du Lac-Tchad

Un polder est un bras du Lac Tchad généralement inondé que l'homme arrive à assécher par des travaux appropriés en vue d'une exploitation agricole. En fait, la poldérisation a un objectif contraire aux objectifs recherchés par la mise en place des ouvrages de collecte des eaux de surface. Mais étant donné que l'essentiel des travaux consiste à faire des ouvrages de retenue (barrages et digues), nous avons jugé nécessaire de les inclure parmi les ouvrages de collecte des eaux.

Les polders traditionnels sont des bras du Lac asséchés par la mise en place d'une ou plusieurs digues, de hauteur moyenne de 1,5 m et de largeur en crête d'environ 10 m. Les digues sont implantées aux endroits resserrés entre les dunes. Les cuvettes ainsi isolées du Lac Tchad s'assèchent progressivement par évaporation, en quelques années, libérant ainsi de nouvelles terres pour la culture de décrue ou pour l'irrigation au chadouf.

Ces polders ont été créés surtout dans les années cinquante et soixante, et on estime à 38 le nombre total des bras du Lac polderisés depuis le début de cette opération, totalisant une superficie de l'ordre de 16.000 ha.

Depuis leur création, les sols des polders sont l'objet d'un double phénomène rendant à terme leur exploitation impossible: salinisation sous l'effet de l'évaporation des eaux de surface et des eaux de la nappe phréatique, et assèchement. Pour remédier à la situation, les paysans pratiquent une brèche dans le barrage pour submerger les polders en eau douce du Lac. La brèche est ensuite refermée à la main.

Cette technique présente les inconvénients suivants:

- les travaux de fermeture, souvent sommaires, condamnent les barrages à plus ou moins brève échéance. De nombreux barrages cèdent lors de la première crue qui suit l'ouverture contrôlée;
- d'importantes quantités de sables du barrage sont entraînées lors du passage de la crue dans la brèche et se déposent sur le fond du polder, réduisant la fertilité du sol.

Les polders semi-traditionnels: Afin de faciliter l'admission de la crue dans les polders et de supprimer les inconvénients liés à l'exécution des brèches, la SODELAC a démarré un programme de pose de conduites et de vannes dans les digues. L'exemple-type du polder semi-traditionnel est le barrage de Kindjiria. Ce barrage a été réalisé en 1989-90 sur financement italien pour un coût total de 850.000.000 de Lires italiennes (longueur: 250 m; hauteur maximale: 8 m; largeur en crête: 4 m; talus amont et aval: 3/2; volume remblai: 18.850 m³). Le barrage ferme un polder de 800 ha. Sa conception permet le contrôle de l'admission des crues grâce à une conduite vannée, insérée dans le corps de la digue et garantit l'ouvrage contre la submersion par les fortes crues

Les polders modernes: On appelle polder moderne, un bras du lac endigué protégé contre les crues et comportant des réseaux d'irrigation, de drainage et de pistes. Les travaux d'aménagement des polders modernes ont démarré dans les années soixante dix avec l'aménagement complet du polder de Guini et un aménagement partiel du polder de Bérin (les deux polders totalisent 1.200 ha dont 800 ha pour Bérin).

Le réseau d'irrigation d'un polder moderne est constitué en général d'un chenal d'amenée, d'une prise gravitaire ou par pompage (installée sur l'un des barrages isolant le polder), d'un canal tête morte à ciel ouvert, d'un réseau de conduites enterrées en PVC (secondaires) et d'un réseau de canaux en terre (tertiaires et quaternaires éventuellement). La mise en culture des 750 ha de Bérin a nécessité la construction de 4 digues de clôture, de 2 stations de prise d'eau équipées d'un système de pompage (en cas d'une crue insuffisante) et d'une station de drainage.

Les réalisations de DRS/CES

Les zones du Guéra, du Ouaddaï et du Biltine sont des zones soumises à une forte dégradation liée à la topographie du terrain (zones accidentées) et à la violence des précipitations. Traditionnellement, les paysans établissent des billons et des diguettes en terre ou en branchages d'épineux pour protéger leurs champs. Les diguettes traditionnelles se dégradent rapidement et demandent à être renouvelées chaque année. Les diguettes en pierres sont construites comme alternative. Elles ont été introduites respectivement par le projet PAO au Ouaddaï et au Biltine et par le PSANG au Guéra.

La perte en terre pour la plupart des champs non protégés dans la zone du projet PSANG est estimée entre 10 à 15 tonnes/ha/an, correspondant à environ 1% de la couche arable. La terre ainsi érodée comprend des quantités élevées de particules fines et de matières organiques.

Des mesures faites dans la zone du PAO ont fait ressortir une baisse importante de la valeur des pertes en terre lorsque le sol est traité: 14 t/ha en culture de mil en billons et 2,1 t/ha en culture de mil avec diguettes.

LES PROJETS EN COURS

Il s'agit des projets en cours d'exécution et ceux dont le financement est acquis et dont le démarrage est prévu dans un bref délai.

Le Projet de Valorisation des Eaux de Ruissellement Superficiel (PVERS)

Ce projet, plus connu sous le nom de «Projet Eau de Ruissellement», devrait démarrer depuis décembre 1999. La réalisation de barrages constitue l'une des actions les plus importantes à mettre en place par le projet, les autres actions étant essentiellement des actions d'accompagnement.

Il faut noter que les ouvrages à mettre en place sont de petits barrages dont le plus important en terme de volume est Beyrakouna avec 1.600.000 m³. Les faibles hauteurs (1,5 à 2 m en moyenne) indiquent que ce sont des barrages de diversion, qui sont utilisés pour la production agricole en culture de décrue. Le coût de l'ha aménagé va d'un peu moins de 3 millions de FCFA à plus de 10 millions.

Le projet du Développement Intégré du Salamat

Le projet de Développement Intégré du Salamat (PDIS) est en cours d'exécution. Il a plusieurs composantes dont l'Infrastructure Rurale qui vise à mettre en place entre autres des points d'eau de surface. Les ouvrages de retenue de surface prévus sont constitués essentiellement de mares et de barrages. Quelques 17 mares d'une capacité moyenne de 25.000 m³ seront réalisées. Ces mares présentent dans l'ensemble les caractéristiques suivantes: longueur: 90 à 100 m; largeur: 40 à 50 m; hauteur: 2,7 à 3,5 m.

Outre les mares, le projet prévoit la réalisation de deux barrages. Le premier ouvrage est implanté sur le Bahr Azoum. D'une capacité de 1.600.000 m³, la retenue a une longueur de 12 km et permettra d'irriguer plus 100 ha d'arboriculture et de maraîchage. Le deuxième ouvrage est le barrage de Tinga, situé à l'intérieur du Parc de Zakouma. Son but est touristique et permettra l'abreuvement des animaux sauvages du parc.

Le Projet d'aménagement des ressources naturelles au Sahel

Ce projet d'appui à l'aménagement des ressources naturelles dans la zone sahélienne vise à réaliser entre autres sous forme de Vivres Contre Travail (VCT) des diguettes en pierres (cordons pierreux), des micro-barrages, des diguettes d'aménagement de bas fonds. L'intervention du PAM se fera en partenariat avec le PAO dans le Ouaddaï/Biltine, le PSANG dans le Guéra et Africare au Ouaddaï.

Le Projet de Mamdi

L'aménagement du polder de Mamdi devrait permettre la mise en valeur d'environ 1.800 hectares de terres avec maîtrise totale d'eau. Les travaux d'aménagement proprement dits sont couplés à la réalisation du chenal de navigation de Bol, long de 36 km. L'endiguement de Mamdi nécessitera la mise en place de 6 digues de clôture, 4 stations de prise et 1 station de drainage. Le coût initial du projet, dont les travaux ont démarré en 1998, estimé à 38,8 millions de dollars est passé après quelques années de retard, à 43,6 millions de dollars.

Le Projet de Développement Rural du Lac Tchad

Le projet de Développement rural du Lac, dans le domaine d'amélioration du système de prise des polders traditionnels, a prévu équiper 18 polders. Le coût à l'ha d'aménagement et d'équipement des barrages est en moyenne de 1 à 1,5 million FCFA.

SITUATION DE LA COLLECTE DES EAUX DE SURFACE AU TCHAD

Le passage en revue des réalisations des ouvrages de collecte des eaux de surface a montré que le Tchad est très en retard dans ce domaine. Malgré la nécessité évidente de mettre l'accent sur la maîtrise de l'eau par des ouvrages appropriés pour résoudre le problème du déficit céréalier chronique (les énormes possibilités d'irrigation du pays sont sous-exploitées), le Tchad n'a pas encore de véritables ouvrages de collecte d'eau, particulièrement dans le domaine de barrages alors que des sites favorables ne font pas défaut.

Certes, des réalisations significatives sont menées dans le domaine de la conservation des eaux et des sols à l'Est du pays (construction de cordons pierreux), mais elles sont encore insuffisantes.

En perspective, on peut dire que la situation des ouvrages de captage des eaux de surface peut être considérablement améliorée à court terme, mais il faut reconnaître que les projets en cours d'exécution ou en attente de financement ne peuvent pas occasionner une véritable révolution en irrigation dans la mesure où les ouvrages prévus sont soit destinés spécifiquement à l'hydraulique pastorale (telles que les mares), soit des barrages de diversion de faible capacité agricole. Beaucoup de choses restent à faire dans le domaine de la collecte et de l'utilisation rationnelle des eaux de surface, à commencer par un inventaire complet des réalisations dans ce domaine et l'établissement des normes de réalisations de manière à disposer d'un référentiel fiable sur le sujet.

RÉFÉRENCES

FAO. 1995: Irrigation en Afrique en chiffres.

Friedemann & Johnson Consultants GmbH. 1997. Etude agro-écologique/-économique du Projet d'Aménagement des Ouadis dans le Ouaddaï/Biltine (Abéché/Tchad).

Louis Berger International, Inc. Etude des possibilités d'utilisation des eaux de ruissellement superficiel dans quatre préfectures; Batha, Guéra, Ouaddaï, Biltine.

Louis Berger International, Inc. 1996. Etude du projet de développement rural de la Préfecture de Biltine.

PAM. 1999. Rapport de Mission de Formulation du Projet d'Appui à l'Aménagement des Ressources Naturelles dans la Zone Sahélienne.

S.G.I. 1998. Etude faisabilité d'Aménagement des Polders du Lac et de la zone insulaire.

SODETEG. 1992. Schéma-Directeur du Développement Socio-économique de la Région du Lac.

Liste des participants

ADEWUMI, J.K.
Lecturer/Researcher
Ahmadu Bello University, Zaria - Nigeria
Dept. Agric. Eng.
P.M.B. 1044, ABU, Zaria
NIGERIA
Tel: 234 069 55 01 87
Fax: 234 069 33 24 12
E-mail: caredzar@skannet.com

AMADOU ALLAHOURY
Ingénieur Agronome/Directeur Général
Agence Nigérienne de Promotion de
l'Irrigation Privée (ANPIP)
B.P. 507, Niamey,
NIGER
Tel: 227 73 68 73
Fax: 73 62 93
E-mail: anpip@intnet.ne

BANGOURA SOURAKATA
Fonctionnaire Technique Chargé des
Ressources en Eau
Bureau Régional de la FAO
B.P. 1628, Accra
GHANA
Tel: 233 21 701 0930
E-mail: Sourakata.Bangoura@fao.org

BIELDERS CHARLES
Land and Water Management Scientist
ICRISAT-Niamey
B.P. 12404, Niamey
NIGER
Tel: 227 72 25 29
Fax: 227 73 43 29
E-mail: c.bielders@cgiar.org

BOTOROU OUENDÉBA
Coordonnateur Réseau Mil (ROCAFREMI)
ROCAFREMI/ICRISAT
B.P. 12404, Niamey
NIGER
Tel: 227 72 26 26
Fax: 227 73 43 29
E-mail: b.ouendeba@cgiar.org

DAGMAR KUNZE
Farming Systems Development
FAO - Regional Office for Africa
P.O.B. 16 28, Accra
GHANA
Tel: 233 21 701 09 30
E-mail: dagmar.kunze@fao.org

DIAGANA FODIÉ AMADOU
Chargé de Programme
PNUD
B.P. 620, Nouakchott
Tel: 222 25 24 09 / 25 24 11
E-mail: fodie.diagana@undp.org

DIEYE ATOUMANE
Expert
SRDC
B.P. 744, Niamey
NIGER
Tel: 227 72 29 61
Fax: 227 72 28 94

EBRIMA O. SONKO
Agriculturalist
Soil and Water Management Unit
P.O. Box 719, Banjul
THE GAMBIA
Tel: 220 472 782
Fax: 220 472 782
E-mail: swmu@qanet.gm

FELICITY CHANCELLOR
Consultant
HR. Wallingford Ltd. UK
Howber Park Wallingford, Oxon
UNITED KINGDOM
Tel: 44 1491 822 493
Fax: 44 1491 826 352
E-mail: f.chancellor@hrwallingford.co.uk

FONTEH MATHIAS FRU
Lecturer / Agric. Engineering
University of Dschang
P.O. Box 447, Dschang
CAMEROON
Tel: 237 45 17 01
Fax: 237 45 19 32 / 1381

GADELLE FRANÇOIS
Senior Irrigation Engineer
The World Bank
1818 H Street WW, Washington, DC 20009
(USA)
Tel: 202 458 1566
Fax: 202 473 8229
E-mail: Fgabelle@worldbank.org

GAMAKÉ SEYDOU
Ingénieur Chargé de Programme
Direction du Génie Rural
B.P. 241, Niamey
NIGER
Tel: 227 73 21 48
Fax: 227 73 20 16

GARBA RADJI
Directeur Adjoint des Ressources en Eau
Ministère de l'Hydraulique et de
l'Environnement
B.P. 257, Niamey
NIGER
Tel: 227 72 38 89
E-mail: drehydro@intnet.ne

HIERNAUX PIERRE
Chercheur (Agronome)
ILRI/ICRISAT
B.P. 12404, Niamey
NIGER
Tel: 227 72 25 29
Fax: 227 73 43 29
E-mail: P.hiernaux@cgiar.org

ISSAKA ILLA
Ingénieur des Eaux et Forêts
SSRT/Direction de l'Environnement
B.P. 578, Niamey
NIGER
Tel: 227 72 31 89
Fax: 227 73 27 84

K. ANAND KUMAR
Site Leader
ICRISAT-Niamey
B.P. 12404, Niamey
NIGER
Tel: 227 72 25 29
Fax: 227 73 43 29
E-mail: A.kumar@cgiar.org

KAÏGAMA KIARI NOUDJIA
Chef Service Législatif MH/E
Ministère de l'Hydraulique et Environnement
B.P. 257, Niamey
NIGER
Tel: 227 72 38 89
E-mail: drehydro@intnet.ne

KAMBOU N. FRÉDÉRIC
Agronome
Institut National d'Etudes et de Recherches
Agronomiques (I.N.E.R.A)
O4 B.P. 8645, Ouagadougou 04
BURKINA FASO
Tel: 226 34 02 70 / 34 71 12
Fax: 226 34 02 71
E-mail: ineradirection@fasonet.bf

KEITA AMADOU
Conseiller Technique Projet
GCP/RAF/340/JPN
ETSHER
01 B.P. 594 Ouagadougou 01
Tel: 226 92 03 04
Fax: 226 31 92 34
E-mail: etsher@fasonet.bf

ALI TOURÉ ABDOURAHAMANE
Assistant de Recherche
ADRAO
01 B.P. 2551, Bouaké
CÔTE D'IVOIRE
Tel: 225 63 45 14
Fax: 225 63 47 14
E-mail: A.toure@cgiar.org

KOLAWOLE ARE
Consultant
Cared Consultants
P.O. Box 286, No. 54 Market Road
Samaru, Zaria
NIGERIA
Tel: 234 069 55 01 87
Fax: 234 069 33 24 12
E-mail: caredzar@skannet.com

LHERITEAU FABRICE
Farm Manager
ICRISAT-Niamey
B.P. 12404, Niamey
NIGER
Tel: 227 72 25 29
Fax: 227 73 43 29
E-mail: F.lheriteau@cgiar.org

MAHAMANE MOUTARI
Chef de Service de Vulgarisation Agricole
Direction de l'Agriculture
B.P. 263, Niamey
NIGER
Tel: 227 75 23 35
Fax: 227 72 27 75

MAMADOU MANSOUR
Ingénieur Chargé d'Etudes
Direction du Génie Rural /MHE
B.P. 241, Niamey
NIGER
Tel: 227 73 21 48
Fax: 227 73 20 16

NAOURA DÉLI
Ingénieur du Génie Rural
CTSE/DG/M.A.
B.P. 441, N'Djamena
TCHAD
Tel: +235 52 21 48

SOUMAH, H.G.
OIC-SRDC
SRDC/CEA
B.P. 744, Niamey
NIGER
Tel: 227 72 29 61
Fax: 227 72 28 94

NGUETORA MADJARA
Chef de Filière Hydrologie
Centre AGRHYMET
B.P. 11011, Niamey
NIGER
Tel: 227 73 21 81
E-mail: Nguetora@sahel.agrhymet.ne

ZABEIROU YACOUBA
Secrétaire Général
Ministère de l'Hydraulique et de
l'Environnement
B.P. 257, Niamey
NIGER
Tel: 227 72 38 89/72 21 86
Fax: 227 72 22 30

NIASSE MOUSTAPHA
Consultant, FAO
FAO
B.P. 5936, Dakar-Fann
SÉNÉGAL
Tel: 221 8240977
E-mail: niasse@telecomplus.sn

ZANGUINA IBRAHIM
Chercheur
Institut National de Recherche Agronomique
du Niger
INRAN/Labosols
B.P. 429, Niamey
NIGER
Tel: 227 74 29 67
Fax: 227 72 21 44
E-mail: inran@intnet.ne

NIEK VAN DUIVENBOODEN
Land Use Systems Scientist
Coordonnateur du Projet OSWU
ICRISAT-Niamey
B.P. 12404, Niamey
NIGER
Tel: 227 72 25 29
Fax: 227 73 43 29
E-mail: N.van-duivenbooden@cgiar.org