



Describing Hydrological Characteristics for Inland Valley Development

Présentation des caractéristiques hydrologiques de la mise en valeur des bas-fonds

Proceedings of the Second Scientific Workshop of the Inland Valley Consortium

Compte rendu du deuxième atelier scientifique du Consortium bas-fonds

Editors / Éditeurs :
P.N. Windmeijer
M.J. Dugué
J.Y. Jamin
N. van de Giesen

West Africa Rice Development Association
Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest

© West Africa Rice Development Association / Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest (WARDA/ADRAO) 2002

Fair use of this material is encouraged. Proper citation is requested / L'ADRAO exhorte les lecteurs à faire un bon usage de cet ouvrage. Une citation correcte est requise.

Windmeijer, P.N., M.J. Dugué, J.Y. Jamin and N. van de Giesen (Ed.), 2002. Describing Hydrological Characteristics for Inland Valley Development. Proceedings of the Second Scientific Workshop of the Inland Valley Consortium / Présentation des caractéristiques hydrologiques de la mise en valeur des bas-fonds. Compte rendu du deuxième atelier scientifique du Consortium bas-fonds. WARDA/ADRAO, Bouaké, Côte d'Ivoire, 64 p.

ISBN 92 9113 134 2

For additional information, please contact / Pour de plus amples informations, veuillez contacter :

Marie-Josèphe Duqué IVC Coordinator/Coordonnateur CBF WARDA/ADRAO 01 B.P. 2551 Bouaké 01 Côte d'Ivoire

Tel./Tél.

(225) 31 65 93 00

Fax

(225) 31 65 93 11

E-mail/Courrier électronique

m.dugue@cgiar.org

WARDA/ADRAO 01 B.P. 2551 Bouaké 01 Côte d'Ivoire

Tel./Té/

(225) 31 65 93 00

Fax

(225) 31 65 93 11

(225) 22 41 18 07

E-mail/Courrier électronique

warda@cgiar.org

Web-site/Site web

http://www.warda.cgiar.org/

Printing and binding/Impression et reliure : Imprimerie du Textile de Bouaké (ITB)





Describing Hydrological Characteristics for Inland Valley Development

Présentation des caractéristiques hydrologiques de la mise en valeur des bas-fonds

Proceedings of the Second Scientific Workshop of the Inland Valley Consortium

Compte rendu du deuxième atelier scientifique du Consortium bas-fonds

Editors / Éditeurs :
P.N. Windmeijer
M.J. Dugué
J.Y. Jamin
N. van de Giesen

2002

West Africa Rice Development Association
Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest



Contents

Introduction	2
Hydrological Characterization of Inland Valleys	4
1.1 Introduction	
1.2 Hydrological Characterization of Inland Valleys	4ع
1.3 Major Hydrological Processes in Inland Valleys	
2. Water Management Systems	
2.1 Introduction	
2.2 Traditional Systems	
2.3 Improved Low-cost Water Management Systems for Rice Production	
2.4 Other Water Management Systems	
2.5 Discussion	28
3. Parameters for Selection of Water Management System Type and	
Hydrological Characterization of Inland Valleys	30
3.1 Actual Situation	
3.2 Minimum Data Set for Hydrological Characterization of Inland Valleys and Design of Water Management Systems	
4. Decision Supports Systems	20
4.1 Background	
4.2 DIARPA Decision Tool	
4.3 Future Developments	
4.4 Modeling	42
5. Databases	40
5.1 Large-scale Databases	
5.2 Small-scale databases	
The Court Gallandoo	46
6. Results of the Workshop	48
6.1 Concluding Remarks	48
6.2 Actions for the Near Future	48
References	ΕÖ

Table des matières

Introduction	3
1. Caractérisation hydrologique des bas-fonds	5
1.1 Introduction	
1.2 Principes de caractérisation	
1.3 Fonctionnement hydrologique des bas-fonds : mécanismes majeurs	7
2. Les systèmes de contrôle de l'eau	
2.1. Introduction	
2.2 Les systèmes traditionnels	
2.3 Développement de systèmes de contrôle de l'eau peu coûteux pour la rizicultur	
2.4 Autres systèmes de contrôle de l'eau	
2.5 Discussion	29
3. Paramètres pour le choix du type de système de contrôle de l'eau et caractérisation hydrologique des bas-fonds	31
3.1 Pratiques actuelles	31
3.2 Jeu de données minimum pour la caractérisation hydrologique des bas-fonds e élaboration des systèmes de contrôle de l'eau	t
elaboration des systemes de controle de l'éau	57
4. Les systèmes d'aide à la décision	
4.1 Contexte	
4.2 Outil de décision : le DIARPA	
4.3 Les développements futurs	
4.4 Modélisation	43
5. Les bases de données	
5.1 Les bases de données à grande échelle	
5.2 Les bases de données à petite échelle	47
6. Résultats de l'atelier	
6.1 Conclusions	
6.2 Actions à court terme	49
Références	51
Annexe	
Etude de cas de l'aménagement du bas-fond de Foro-Foro	53

Notice

These proceedings present a synthesis of the discussions during the second scientific workshop of the Inland Valley Consortium, held at WARDA headquarters in M'bé (Côte d'Ivoire) in June 1997. A case study, presented during this workshop is given in the annex.

The participants were scientists from various national and international institutes involved in the development of inland valleys in West Africa.

The working languages of the workshop were English and French. In this document, the outcomes of common discussions are given in both English and French. The reader will find the English text on the left-hand side and the French on the right. The case study, given by an Ivorian participant, is presented in the original language; a summary in English precedes the text of this annex.

Avertissement

Ce compte rendu présente une synthèse des discussions du second atelier scientifique du Consortium bas-fonds qui s'est tenu au siège de l'ADRAO à M'bé (Côte d'Ivoire) en juin 1997. Une étude de cas présentée lors de cet atelier est donnée en annexe.

Les participants étaient des chercheurs des instituts nationaux et internationaux impliqués dans l'aménagement et la mise en valeur des bas-fonds en Afrique de l'Ouest.

Les travaux de l'atelier ont été conduits en anglais et en français. Dans ce document, les résultats des discussions communes, sont présentées en anglais (page de gauche) et en français (page de droite), alors que l'étude de cas, faite par un participant ivoirien est présentée dans sa langue d'origine; un résumé en anglais est présentée en début de cette annexe.

Introduction

From 4 to 6 June 1997, the second IVC scientific workshop was organized at WARDA headquarters, M'bé, Côte d'Ivoire. This workshop had a main objective to bring together the hydrologists of IVC members to discuss the state of the art of low-cost water management systems.

This workshop can be seen as a specific follow-up to the first IVC scientific workshop, organized in November 1995. During the first scientific workshop, general minimum data sets for the different disciplines for inland valley agro-ecological characterization were formulated. The best methods, however, to collect the information were not fully developed.

The IVC overall objective is the sustainable intensification and diversification of agricultural production in inland-valley lowlands. It is a common understanding that improvement of agricultural production in lowlands requires the introduction of water management systems. In the philosophy of the IVC, the best adapted systems to manage the water in the valley bottoms are low-cost management systems, which are adapted to the agro-ecological environment and which can be operated and maintained by the farmers. The objective is not to have full water control, but to decrease the risks of water shortage or excess. Because improved water management is crucial for increased inland-valley lowland production, IVC decided to focus the second scientific workshop on this subject.

The objectives of this workshop included making an inventory of low-cost water management systems used in West Africa, listing information required to select appropriate water management system for prevailing hydrological conditions in specific inland-valley lowlands, and formalizing the methods to collect the required information. Main emphasis was put on water management for improved rice cultivation, but some other systems were also briefly mentioned. Another objective was to make an inventory of gaps in knowledge of inland-valley hydrology and the lack of appropriate technologies for inland-valley lowland development. Given these findings, components for an action plan for hydrology research and technology generation are proposed.

The set-up of this workshop was slightly different from other IVC workshops. The subject of each of the different sessions was introduced by one presentation. After the presentation, a half day was used for discussions. Because (parts of) most of the presentations are already published in one way or another by IVC, they are not published again in this proceedings. In this proceedings, the results of the different sessions are given.

Introduction

Le second atelier scientifique du Consortium bas-fonds (CBF) s'est tenu au siège de l'ADRAO à M'bé en Côte d'Ivoire, du 4 au 6 juin 1997. Cet atelier avait pour principal objectif de réunir les hydrologues des pays membres afin de faire le point sur l'état de l'art en matière de systèmes de contrôle de l'eau à faible coût.

Cet atelier peut être considéré comme un prolongement du premier atelier scientifique du Consortium Bas-fonds, tenu en novembre 1995. Au cours de celui-ci, des jeux de données minimum ont été définis pour les différents volets de la caractérisation agro-écologique des bas-fonds. Néanmoins, les méthodes préconisées pour recueillir les informations n'ont pas été développées en détail.

L'objectif global du Consortium est l'intensification et la diversification durables de la production agricole dans les bas-fonds. Il est communément admis que le développement de la production agricole des bas-fonds nécessite l'introduction de systèmes de contrôle de l'eau. La philosophie du Consortium bas-fonds est que les systèmes les mieux adaptés pour contrôler l'eau des fonds de vallées sont les systèmes de gestion bon marché, adaptés à l'environnement agro-écologique et qui peuvent être gérés et entretenus par les paysans euxmêmes. L'objectif n'est pas de parvenir à une maîtrise totale de l'eau mais plutôt de diminuer les risques de pénurie ou d'excès d'eau. Une meilleure gestion de l'eau étant indispensable à l'augmentation de la production dans les bas-fonds, le Consortium a décidé de consacrer le second atelier scientifique à ce sujet.

Les objectifs de cet atelier comprennent l'inventaire des systèmes de gestion de l'eau à faible coût utilisés en Afrique de l'Ouest, le recensement des informations nécessaires au choix du système de contrôle de l'eau adapté aux conditions hydrologiques dominantes des différents types de bas-fonds et la formalisation des méthodes de collecte de l'information. Un accent particulier est mis sur la maîtrise de l'eau pour l'amélioration de la riziculture, mais quelques autres systèmes seront également mentionnés. Un autre objectif était de faire un inventaire des lacunes dans la connaissance de l'hydrologie des bas-fonds ainsi que l'absence de technologies adaptées à la mise en valeur des bas-fonds. Sur la base des éléments ci-dessus, les composantes d'un futur plan d'action pour la recherche en hydrologie et l'innovation technologique ont été proposées.

Cet atelier du Consortium a été organisé un peu différemment des précédents. Le sujet de chacune des sessions a été introduit par une présentation. Après la présentation, une demi-journée a été consacrée à des discussions. La majeure partie des présentations ayant déjà été publiée d'une façon ou d'une autre par le Consortium, elles ne sont pas publiées une seconde fois dans le présent document dans lequel sont rapportés les résultats des différentes sessions.

In Section 1, a brief introduction to inland-valley hydrology and hydrological characterization is given. In Section 2, improved low-cost water management technologies developed and applied in the region are described, including their ecological niches. The hydrological minimum data set and the best methods to collect the required information are presented in Section 3. An existing decision-support system to select a best-bet water management system is described in Section 4, which also briefly describes how this system can be adapted to other agro-ecological zones by using different tools including modeling. In Section 5, the importance of databases is discussed. Finally, some components for a future action plan for hydrological research and technology generation are outlined in Section 6.

During the workshop, an inland-valley near M'bé was visited and the development plan and methods used presented. The technical document concerning the development of the Foro-Foro inland-valley is given in Annex 1.

1. Hydrological Characterization of Inland Valleys

1.1 Introduction

The objective of inland-valley characterization and classification is to identify the production potential of the inland-valley lowlands in different agro-ecological zones and to facilitate the development and dissemination of environment-specific production improving technologies. It is generally accepted that low-cost water management interventions will be an important part of any such technology package. This line of thought underlines the need for both a thorough understanding of inland-valley hydrology and for an accurate description of present water management practices.

IVC is conducting the agro-ecological characterization at four different levels, corresponding to four specific scales. It is only at detailed level that dynamic hydrological parameters are described. In this context, hydrological characterization describes the water flows through the land sub-elements of the inland-valley, predicting the temporal and spatial availability of water for crop production. As such, hydrological characterization shows the potential of available water resources. The use of the water resources can be optimized by means of certain water management measures.

The central rule followed in the design of the hydrological characterization methodology was that information needed should be readily accessible. This rule excludes, for example, the development of a time series of observations within an inland-valley system and spatial *in situ* or laboratory experimentation. Instead, the information should be either existing data, or data easily observable in the field, using standard field and laboratory tests.

Dans la première partie, on trouve une brève introduction sur l'hydrologie et sur la caractérisation hydrologique des bas-fonds. Dans la deuxième partie, sont décrites les technologies de maîtrise de l'eau à faible coût développées et utilisées dans la région, ainsi que leurs niches écologiques. Le jeu de données hydrologiques minimum et les méthodes de collecte de l'information nécessaire sont donnés dans la troisième partie. Un système d'aide à la décision pour le choix du meilleur système de contrôle de l'eau est présenté dans la quatrième partie. Dans le même chapitre, il est expliqué brièvement le moyen d'adapter ce système à d'autres zones agro-écologiques, en utilisant divers outils y compris la modélisation. L'importance des bases de données est exposée dans la cinquième partie. Pour terminer, des indications sur quelques éléments du futur plan d'action pour la recherche hydrologique et l'élaboration de technologies font l'objet de la sixième partie.

Dans le cadre de cet atelier, un bas-fond a été visité aux alentours de M'bé, le plan d'aménagement et les méthodes utilisées ont été présentés. Les documents techniques relatifs à l'aménagement du bas-fond de Foro-Foro sont présentés en Annexe 1.

1. Caractérisation hydrologique des bas-fonds

1.1 Introduction

L'objectif de la caractérisation et de la classification des bas-fonds est de caractériser leur production potentielle dans différentes zones agro-écologiques et de faciliter la mise au point et la diffusion de technologies spécifiques à l'environnement, en vue d'augmenter la production. Il est généralement admis que les opérations de maîtrise de l'eau à moindres frais doivent constituer une part importante de cet ensemble de technologies. Cette conception souligne la nécessité d'avoir à la fois une compréhension approfondie de l'hydrologie des bas-fonds et de disposer d'une description précise des pratiques actuelles de gestion de l'eau.

Actuellement le Consortium bas-fonds effectue la caractérisation agro-écologique à quatre niveaux d'échelle différents. C'est uniquement au niveau « détaillé » que seront décrits les paramètres hydrologiques. Dans ce contexte, la caractérisation hydrologique consiste à décrire les flux au sein des différentes unités composant les bas-fonds, pour prévoir les variations dans le temps et dans l'espace de l'eau disponible pour les cultures. La caractérisation hydrologique donne ainsi les ressources hydrauliques potentielles. La valorisation de ces ressources peut être optimisée par des mesures de gestion de l'eau.

Pour élaborer la méthodologie de la caractérisation hydrologique, on s'est fixé comme règle de se limiter à des informations facilement accessibles. Ceci exclut par exemple la mise en œuvre de séries d'observations périodiques dans un système de bas-fonds, de même que l'expérimentation sur le terrain et en laboratoire. Au contraire, les données nécessaires doivent préexister ou être facilement observables sur le terrain par l'emploi de tests standards de terrain ou de laboratoire.

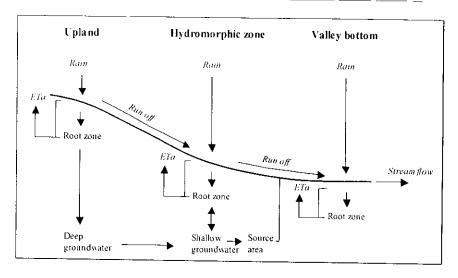


Figure 1. Water balance along inland valley toposequence with major water mouvements, system inputs and outures in italics (van de Giesen and Diallo, 1995)

Rainfall is the driving force for all hydrological processes. Not only the amount of precipitation is important, but also rainfall distribution and intensity are key parameters.

Rain falling on the surface can infiltrate into the root zone or run off over the surface. Run off occurs where the rainfall intensity exceeds the infiltration capacity of the soil (infiltration excess flow) or when the soil is saturated (storage excess flow). Infiltration excess flow may occur throughout the watershed, while storage excess flow can only occur in the valley bottom and the hydromorphic zone. The occurrence of saturated areas is highly dynamic over the year. The occurrence and extent of these saturated areas play an important role in stream discharge characteristics, because they serve as a source area for the peak discharges of the stream during and directly after the rainfall.

The water that infiltrates the soils of the upland area will be partly used by the vegetation/crop, but will partly percolate through the root zone and will, after some delay, reach the deep groundwater table. This groundwater table is continuous and underlies the whole watershed. In the upland areas, this deep groundwater table, in absolute terms, is higher than it is under the valley bottom, which results in a lateral movement of deep groundwater towards the valley bottom.

In this sense, the deep groundwater can feed the shallow groundwater occurring in the hydromorphic zone and valley bottom. However, this is not always the case. The shallow groundwater table in the hydromorphic zone and valley bottom may also be a

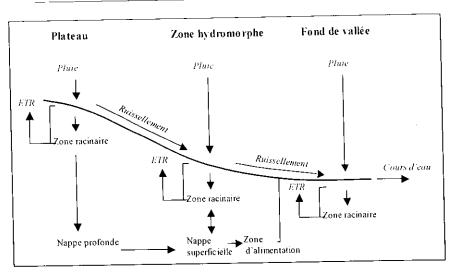


Figure 1. Bilan hydrique sur la toposéquence d'un bas-fond ; les principaux flux, les entrées et les sorties du système, sont en italique (van de Giesen et Diallo, 1995)

La pluviométrie, qui est le moteur de tous les processus hydrologiques, a une importance évidente. Ce ne sont pas seulement les hauteurs des pluies qui sont importantes : la répartition de la pluviométrie et son intensité sont aussi des paramètres clés.

Les pluies qui arrivent au sol peuvent s'infiltrer dans la zone racinaire ou ruisseler à la surface. Cette dernière situation se présente lorsque l'intensité des précipitations est supérieure à la capacité d'absorption du sol (le flux excède la vitesse d'infiltration) ou lorsque le sol est saturé (le flux excède la capacité de stockage). Il peut y avoir une infiltration insuffisante sur toute l'étendue du bassin versant, tandis que le problème de saturation ne peut se rencontrer que dans le fond de vallée et dans la zone hydromorphe. L'existence et l'importance des zones saturées varient beaucoup au cours de l'année. La fréquence d'apparition et l'étendue de ces zones saturées conditionnent les débits d'écoulement car ce sont elles qui alimentent les écoulements de pointe pendant et juste après les pluies.

L'eau qui s'infiltre dans les sols des parties hautes est utilisée en partie par la végétation et les cultures tandis qu'une partie percole à travers la zone racinaire avant d'atteindre, après un certain délai, la nappe profonde. Cette nappe phréatique, est continue et s'étend sous l'ensemble du bassin versant. Dans les zones hautes, le niveau de cette nappe phréatique est, en valeur absolue, plus haut que dans le fond de vallée ce qui entraîne un mouvement latéral de la nappe vers celui-ci.

De ce fait, la nappe profonde peut alimenter la nappe superficielle de la zone hydromorphe et du fond de vallée. Cependant, ce n'est pas toujours le cas ; cette nappe superficielle peut

perched groundwater table, due to the presence of soil horizons with a very low permeability.

Actual evapotranspiration (Eta) is one of the main outputs or losses of water from the system. Depending on the total rainfall, Eta can account for 50 to even 90% of the water balance. The second major output or loss of water from the inland valley is the stream flow. Knowing the stream flow is important because it is the single most important variable determining the need and usefulness of water management measures in the inland-valley lowland. A third output may by the loss of water to the deep groundwater table, if the deep groundwater table does not feed into the shallow groundwater table occurring in the hydromorphic zone and the valley bottom.

A number of water flows described above can be measured directly, e.g. total rainfall and rainfall distribution, and stream flow. Others are a more difficult to measure, e.g. Eta. The Eta can, however, be modeled using the water storage capacity of the soil and the depth of the root zone. During the collection of data for the hydrological characterization of an inland-valley, not only water fluxes have to be measured directly, but due attention should be given to soil physical and topographic parameters also.

2. Water Management Systems

2.1 Introduction

In this section existing water management systems are described. First, the traditional systems, then the low-cost water management systems for rice production. Finally, other water management systems are highlighted which have a purpose other than rice cultivation, or which are too expensive to call them low-cost water management systems.

2.2 Traditional Systems

Traditional water management systems store water in the rice field, without possibilities to divert water from one place to another place. The most common system applied by farmers who cultivate inland-valley lowlands is simple bunding, partly to demarcate their fields. Water is stored in the fields to the level of the height of the bunds, and flows over the bunds to adjacent fields. A lowland developed in this way shows an irregular field layout.

A second system is applied in narrow valley bottoms. Farmers make straight bunds across the valley bottom to store water in the fields. Because the lowlands are often slightly concave, these straight bunds result in deep water in the lowest parts of the lowland, and hardly any flooding near the fringes.

également être une nappe perchée liée à la présence d'horizons pédologiques très peu perméables.

L'évapotranspiration réelle (ETR) est l'une des principales sorties ou pertes d'eau du système. Selon le volume total des précipitations. l'ETR peut représenter de 50 à 90 % du bilan hydrique. La seconde cause importante de pertes d'eau des bas-fonds est l'écoulement du marigot. Il est très important de connaître le débit du cours d'eau car c'est la principale variable qui détermine la nécessité et l'intérêt du contrôle de l'eau dans le bas-fond. Une troisième sortie pourrait être la perte d'eau au profit de la nappe phréatique, si cette nappe profonde n'alimente pas la nappe superficielle de la zone hydromorphe et du fond de vallée.

Bon nombre des flux décrits ci-dessus, tels que le volume des précipitations et leur répartition et le débit du marigot, peuvent être mesurés directement. D'autres facteurs tels que l'ETR sont plus difficiles à mesurer. Néanmoins, l'ETR peut être évaluée en utilisant la capacité en eau du sol et la profondeur de la zone racinaire. Il est évident que pendant la période de collecte des données destinées à la caractérisation hydrologique du bas-fond, il n'y a pas que les flux qui doivent être mesurés, mais qu'on doit aussi s'intéresser aux paramètres physiques du sol et à la topographie.

Les systèmes de contrôle de l'eau

2.1. Introduction

Dans cette partie, seront décrits les systèmes de contrôle de l'eau existants : d'abord les systèmes traditionnels puis les systèmes de contrôle de l'eau à faible coût pour la riziculture. Enfin, d'autres systèmes de gestion de l'eau à vocation non rizicole ou trop coûteux pour être classés avec les précédents seront présentés.

2.2 Les systèmes traditionnels

Les systèmes traditionnels de gestion de l'eau sont caractérisés par le fait qu'ils sont axés sur le stockage de l'eau dans les casiers sans aucune possibilité de dévier l'eau d'un point à un autre. Le système le plus communément adopté par les exploitants agricoles qui cultivent les bas-fonds, est celui des diguettes simples qui servent, entre autres, à délimiter leurs champs. L'eau est emmagasinée dans les casiers jusqu'à la hauteur des diguettes et se déverse pardessus dans les champs voisins. Avec ce type d'aménagement, on observe des hétérogénéités dans les parcelles.

Un deuxième système est utilisé dans les fonds de vallée étroits. Les agriculteurs construisent des digues en travers de la vallée pour emmagasiner l'eau dans les champs. Les bas-fonds étant souvent légèrement concaves, ces digues rectilignes induisent une hauteur d'eau importante dans les parties les plus basses du bas-fond, alors que les bords sont à peine inondés.

2.3 Improved Low-cost Water Management Systems for Rice Production

In this section low-costs management systems, which are relatively commonly used in the region, will be explained with a description of threshold values of biophysical parameters for which these systems work. This description is mainly based on the work implemented by CIRAD, IER and SARI in Mali-Sud and northern Ghana (Legoupil *et al.*, 1995).

Three main types of water management systems are used in the region: contour bunds, water-retention dikes, and diversion barriers. Each of these can be sub-divided into subsystems adapted to specific environmental conditions. A fourth type of water management system for the very humid zones, the interception canal system, is used in Sierra Leone.

Options for water management depend strongly on the amount of money available to be invested for lowland development and the increases in net return due to production efficiency increase as result of the investments made. In highly market-oriented production systems, investment potential is much higher than in rural areas.

Options also depend on the environmental parameters. So, for some low-cost water management systems, the slope of the valley bottom should not be more than 1%. This is a threshold value upon which the investments for leveling are too high. When leveling can be done, the criterion for the longitudinal slope of the valley bottom does not apply.

For the low-cost water management systems and their environmental/physical requirements described below, it is assumed that the costs of the development should not be more than US\$ 800/ha.

2.3.1 Contour Bunds

Contour bunds are the most simple and cheapest forms of water management. The bunds are small dikes made of soil material, build in the valley bottom following the contour lines in the valley bottom. This means that bunds have the same absolute elevation. As valley bottoms are often slightly concave, the bunds will have a parabolic shape. This shape of the bunds allows a redistribution from the central part of the valley bottom to the sides. The objective of this water management system is to store water in the rice fields and allow the excess water to pass over the bunds. The contour-bund water management system can be divided into two sub-types: simple contour bunds and contour bunds with a spillway.

2.3 Développement de systèmes de contrôle de l'eau peu coûteux pour la riziculture

On étudiera ici les systèmes de contrôle de l'eau peu coûteux les plus répandus dans la région, ainsi que les valeurs seuils que doivent atteindre les paramètres biophysiques pour que ces systèmes fonctionnent. Cette description repose principalement sur le travail exécuté par le CIRAD, l'IER et le SARI au Mali-Sud et au Nord-Ghana (Legoupil *et al.*, 1995).

Trois systèmes de contrôle de l'eau principaux sont utilisés dans la région. Il s'agit des diguettes en courbes de niveau, des digues déversantes et des ouvrages de diversion. Chacun de ces systèmes peut comprendre des sous-systèmes adaptés à des conditions écologiques spécifiques. Le système du canal d'interception est un quatrième type de système de gestion de l'eau adapté aux zones très humides et utilisé en Sierra Leone.

Le choix du mode de gestion de l'eau dépend fortement des fonds disponibles pour la mise en valeur du bas-fond et de l'accroissement de revenus résultant des gains de productivité permis par les investissements. Dans des systèmes de production périurbains, tournés vers la commercialisation, la capacité d'investissement est beaucoup plus élevée que dans les zones rurales.

Le même constat pourrait être fait en ce qui concerne les paramètres du milieu décrits cidessous. Pour certains systèmes de contrôle de l'eau peu coûteux, la pente du fond de vallée ne doit pas être supérieure à 1 %. Ceci est une valeur seuil si on n'a pas les moyens de financer le nivellement. Lorsque le nivellement est réalisable, le critère de pente longitudinale n'a plus de raison d'être.

Pour la définition des critères écologiques et physiques décrits ci-dessous, on admet que, dans des systèmes de contrôle de l'eau « peu coûteux », les coûts d'aménagement ne doivent pas excéder 800 S EU à l'hectare.

2.3.1 Diguettes en courbe de niveau

Ces diguettes représentent la forme la plus simple et la moins chère de contrôle de l'eau. Ces diguettes sont de petites digues faites en terre et construites dans le fond de vallée en suivant les courbes de niveau de ce dernier. Cela signifie que ces diguettes ont le même niveau absolu. Les fonds de vallée étant souvent légèrement concaves, les diguettes auront une forme parabolique. Cette forme des diguettes permet une répartition des eaux de la partie centrale du fond de vallée vers les côtés. L'objectif de ce système est d'emmagasiner de l'eau dans les casiers et de permettre à l'excédent d'eau de passer au dessus des digues. Le système de contrôle de l'eau aux moyens de diguettes en courbe de niveau peut être divisé en deux sous-catégories, c'est-à-dire les diguettes en courbes de niveau simples et les diguettes en courbes de niveau avec déversoirs.

The simple contour bund system is shown in Figure 2. The earthen bunds are 30 cm high and store and divide the water within the fields. The maximum depth of water near the bunds is 30 cm. The minimum depth of the water in the field upstream of the bund is assumed to be 10 cm. The slope of the valley bottom defines the distance between the bunds. If the slope of the valley bottom is relatively steep, the bunds have to be made close to each other. The earthen bunds are fixed, but also sensitive to erosion. This means that the amount of water that is allowed to flow through the system, i.e. over the bunds, is limited. This system stores only water that falls in the fields or flows in from upstream parts of the valley bottom. There is no possibility to store water to be used for irrigation during dry spells. This system will only perform well if the texture of the soils in the valley bottom is fine enough. If not, the water losses through percolation will be too high.

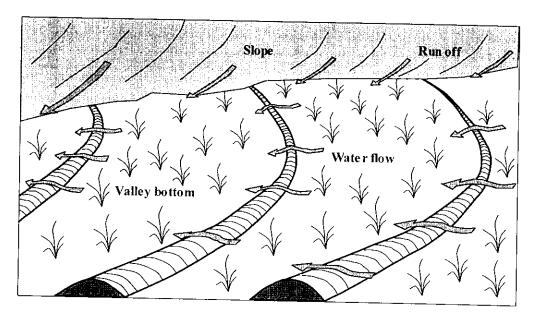


Figure 2. Simple contour bunds

Taking into account the advantages and disadvantages of this kind of water management system, the following physical selection criteria has been defined. To make a contour-bund system that will perform well, the valley bottom should have an average longitudinal gradient of less than 1%. Moreover, the soils in the valley bottom should have a permeability lower than 10⁻⁴ m/s, and the decennial peak flow per meter of valley bottom width should be less than 1 L/s. Moreover, there should be no flow axis.

Le système de diguettes en courbes de niveau simples est illustré en Figure 2. Les digues en terre, hautes de 30 cm, emmagasinent et répartissent l'eau dans les champs. La profondeur maximum de l'eau près des diguettes est de 30 cm tandis que la profondeur minimum amont est supposée être de 10 cm. La pente du fond de vallée détermine la distance entre les digues. Lorsqu'elle est relativement raide, les digues doivent être construites à une petite distance les unes des autres. Les digues en terre sont fixes, mais également sensibles à l'érosion. Cela signifie qu'il y a une limite à la quantité d'eau qui peut traverser le système, c'est-à-dire s'écouler par-dessus les digues. Un troisième point à souligner est que ce système ne retient que l'eau qui tombe dans les champs ou qui provient de la partie amont du fond de vallée. Il n'y a aucune possibilité de stocker de l'eau pour irriguer pendant les périodes sèches. Ce système ne fonctionnera correctement que si la texture des sols dans le fond de vallée est assez fine. Dans le cas contraire, les pertes d'eau dues à l'infiltration seront trop élevées.

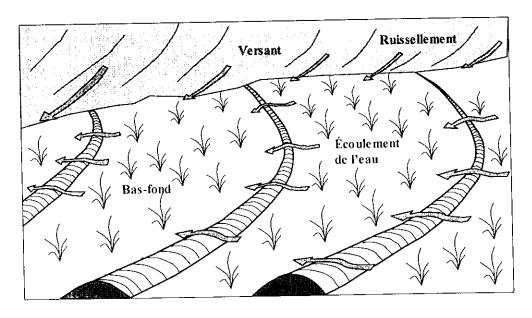


Figure 2. Diguettes en courbes de niveau simples

En tenant compte des avantages et des désavantages de ce type de système de contrôle de l'eau, un critère physique déterminant a été défini : pour qu'un système de diguettes en courbes de niveau fonctionne, le fond de vallée devrait avoir un gradient longitudinal moyen de moins de 1 %. En outre, les sols du fond de vallée doivent avoir une perméabilité inférieure à 10⁻⁴ m/s et le débit de crue décennale rapporté à la largeur du bas-fond, doit être inférieur à 1 l/s. En plus il ne doit pas y avoir d'axe d'écoulement marqué.

The contour-bund system with spillways is shown in Figure 3. The concept of this water management system is the same as the simple contour-bund system, but is adapted to higher decennial peak flows per meter of valley bottom width. To enable the flow of a greater amount of water through the system, while avoiding erosion of the bunds, the bunds are made 50 cm high. In the bunds, however, there are sections (the spillways) with a height of only 30 cm, in which there is also a gate. These lower parts of the bunds are used to drain the excess water and, thus, determine the highest water level in the fields. The gates are used to empty the field, if necessary. The spillways in the contour bunds have to be relatively wide, to avoid a strong water flow which would increase the risk of erosion. These spillways can be made of soil material, but have to be protected from erosion by (for instance) plastic sheets. The spillways can also be constructed by using bags filled with sand, or may be constructed by using concrete.

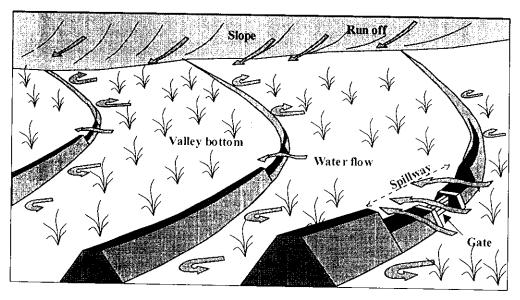


Figure 3. Contour bunds with spillway

The environmental parameters to be taken into account are the same as for the simple contour-bund system, but with some different threshold values. The requirements concerning the slope of the valley bottom and the permeability of the valley bottoms are the same, < 1% and $< 10^{-4}$ m/s, respectively. This system will perform well with decennial peak flows up to 20 L/s per meter valley bottom width, and can be applied in valleys bottom with or without a flow axis.

Le système de diguettes en courbes de niveau avec déversoirs est représenté dans la Figure 3. Le principe de ce système est le même que celui des diguettes en courbes de niveau simples mais il est adapté à des débits de crue décennale rapportés à la largeur du bas-fond plus importants. Pour permettre l'écoulement d'une plus grande quantité d'eau à travers le système et éviter l'érosion des digues, ces dernières sont hautes de 50 cm. Néanmoins, il y a dans les digues, des portions hautes seulement de 30 cm (les déversoirs) dans lesquelles sont ménagées des vannes. Ces parties basses des digues servent à drainer les excédents d'eau et déterminent donc le niveau maximum d'eau dans les champs. Les vannes servent à vider les champs le cas échéant. Les déversoirs des digues en courbes de niveau doivent être relativement larges pour éviter une forte concentration d'eau qui induirait un risque d'érosion. Ces déversoirs peuvent être en terre mais doivent être protégés contre l'érosion, par des feuilles de plastique par exemple. Les déversoirs peuvent également être construits avec des sacs remplis de sable ou du béton.

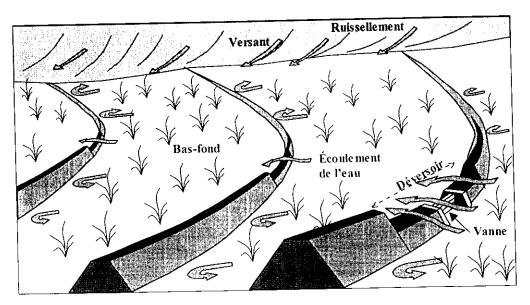


Figure 3. Diguettes en courbes de niveau avec déversoir

Les paramètres écologiques à prendre en compte sont les mêmes que ceux du simple système de diguettes en courbes de niveau. Cependant, certains des paramètres ont des valeurs seuil différentes. Pour ce qui est de la pente du fond de vallée et de la perméabilité des fonds de vallée, les conditions nécessaires sont les mêmes, c'est-à-dire respectivement < 1 % et < 10-4 m/s. Ce système fonctionnera parfaitement avec des débits de crue décennale pouvant aller jusqu'à 20 l/s par mètre de largeur de bas-fond ; il peut être utilisé dans des bas-fonds avec ou sans axe d'écoulement.

2.3.2 Water Retention Dikes

The principle of the water-retention dikes is shown in Figure 4. These dikes are bigger and more robust than bunds, because they should be able resist to higher water pressures. The dikes are constructed perpendicular across the valley bottom. In the dike, a gate is installed to regulate the water and to drain the excess water. The water-retention dike dams up the water, and the flooded zone upstream of the dike is used for rice cultivation. Two different water-retention dikes are distinguished: dikes with and dikes without a seepage barrier.

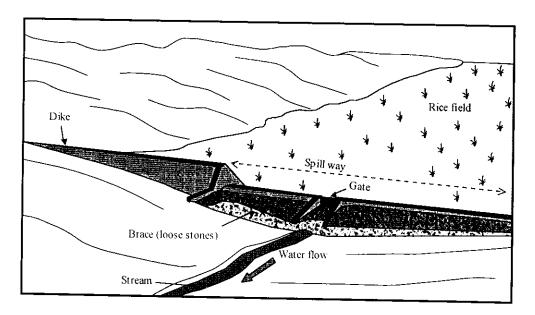


Figure 4. Water retention dike

Water-retention dikes can be introduced in inland-valley lowlands with decennial peak flow of less than 130 L/s per meter valley bottom width, longitudinal slope less than 0.5%, a shallow stream channel, and permeability of the valley bottom soils of less than 10^4 m/s.

If the permeability of the valley bottom soils is higher than 10⁻⁴ m/s, the water losses through seepage underneath the retention dike becomes important and should be avoided. This can be done by constructing an underground seepage barrier (Figure 5) by digging a trench and filling this with fine textured material. To avoid seepage losses, the seepage barrier should be constructed on a sub-soil layer with low permeability. The costs of the

2.3.2 Les digues déversantes (de rétention)

Le principe des digues déversantes est présenté dans la Figure 4. Ces digues sont plus grandes et plus solides que les diguettes décrites plus haut car elles doivent pouvoir résister à des pressions d'eau plus importantes. Les digues sont construites perpendiculairement à l'axe de la vallée. Les digues sont dotées d'un batardeau qui régule le niveau de l'eau et sera utilisé pour drainer l'eau en excès. La digue retient l'eau et la zone inondée en amont du barrage est utilisée pour la riziculture. On distingue deux types de digues déversantes : avec et sans masque d'étanchéité.

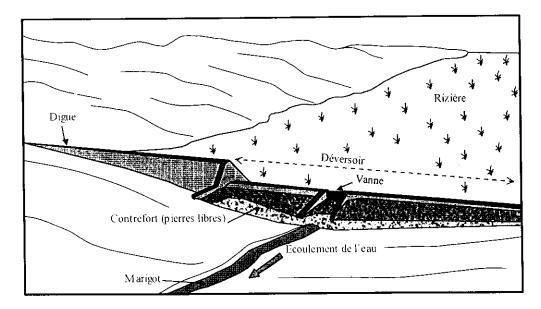


Figure 4. Seuil déversant

Les digues déversantes peuvent être utilisées dans des bas-fonds où le débit de crue décennal est inférieur à 130 l/s par mètre de largeur de bas-fond, la pente longitudinale inférieure à 0,5 %, lorsqu'il y a un thalweg peu profond et lorsque la perméabilité des sols du fond de vallée est inférieure à 10⁻⁴ m/s.

Dans le cas où la perméabilité du sol du fond de vallée est supérieure à 10⁻⁴ m/s, les pertes d'eau causées par infiltration en dessous de la digue deviennent importantes et doivent être évitées. Pour cela, on peut construire un masque d'étanchéité souterrain (Figure 5), en creusant une tranchée et en la remplissant de terre de texture fine. Pour éviter les pertes par infiltration, le masque d'étanchéité doit être construit sur une sous-couche de sol à faible

seepage-barrier construction will depend on the depth of this impermeable layer. Where the permeability of the lowland soils is high, the maximum depth of the impermeable layer should be less than 2 m, to make the construction of the retention dike with seepage barrier economical. Where the impermeable layer occurs deeper than 2 m, another water management system can be applied (see below).

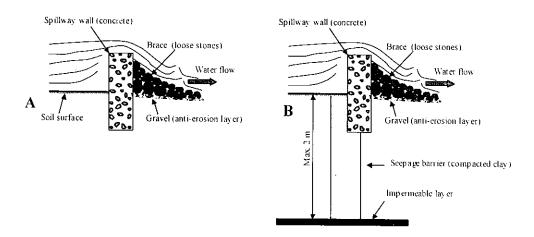


Figure 5. Schematic cross-section of water retention dike without (A) and with (B) seepage barrier

2.3.3 Diversion Barriers

This third type of water management system is in general concept different from the systems described above. To improve rice production, the contour bunds and the retention dikes dam up water in the fields upstream of the bund or dike. Diversion barriers divert water from the central, the lowest point of the valley bottom to the sides, to allow irrigation of the fields downstream of the barrier.

This type of water management system can be used in valley bottoms were a well-developed stream channel is present. In this stream channel, a concrete construction is made to dam up the water. By damming up, the water can be directed into peripheral canals to divert it to sides of the valley bottom. Because the sides of the valley bottom are often slightly higher than the central part, the water in the canals can be used for surface gravity irrigation of the bunded rice fields. The original stream canal can then be used for drainage of the rice fields and to drain the excess of water that is not diverted into the irrigation canals by the diversion structure (Figure 6).

perméabilité. Les coûts de cette construction dépendront de la profondeur de cette couche imperméable. On a établi que lorsque la perméabilité des sols de bas-fond est élevée, la profondeur de la couche imperméable doit être inférieure à 2 m pour que la construction d'une digue déversante avec masque d'étanchéité soit économiquement acceptable. Lorsque la couche imperméable est plus profonde, un autre système de contrôle de l'eau peut être adopté (voir ci-dessous).

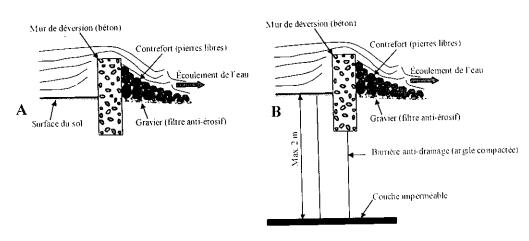


Figure 5. Coupe transversale schématique d'un seuil déversant sans (A) et avec (B) masque d'étanchéité

2.3.3 Les ouvrages de diversion

Ce troisième type de système de contrôle de l'eau est de par son principe général, différent des systèmes décrits ci-dessus. Pour améliorer la production du riz, les diguettes en courbes de niveau et les digues déversantes retiennent l'eau dans les champs en amont de la digue ou de la diguette. Les ouvrages de diversion détournent l'eau des zones basses du centre de la vallée vers les bords, afin de permettre l'irrigation des champs en aval de l'ouvrage.

Ce type de système de contrôle des eaux peut être utilisé dans les fonds de vallées où il y a un cours d'eau bien marqué. Une construction en béton sera faite sur ce cours d'eau pour canaliser l'eau. Une fois canalisée, l'eau peut être dirigée dans des canaux périphériques pour la répartir sur les côtés de la vallée. Ces zones étant souvent légèrement surélevées par rapport à la partie centrale, l'eau des canaux peut être utilisée pour l'irrigation gravitaire de surface des rizières délimitées par des diguettes. Le canal central peut être utilisé pour le drainage des rizières et l'évacuation de l'excès d'eau qui n'est pas envoyé vers les canaux d'irrigation (Figure 6).

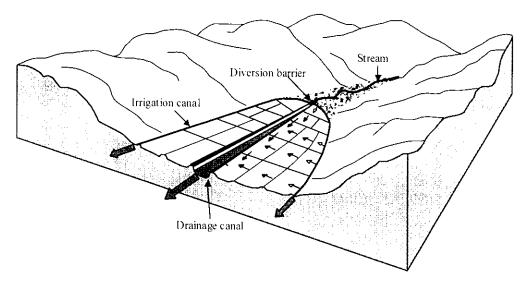


Figure 6. Diversion barrier to diffuse flow

This kind of system may be used in valley bottoms that have a longitudinal slope of less than 1% and a decennial peak flow up to 200 L/s per meter valley bottom width, in which the soils have a low permeability ($< 10^{-4}$ m/s). Moreover, this system will be profitable where the base flow covers the irrigation requirements of the crop for at least one month.

Where the permeability of the valley bottom soils is higher than 10⁻⁴ m/s, surface irrigation will be difficult because large amounts of water will be lost through seepage. However, a diversion barrier may still be used, but the main objective changes from surface irrigation to recharging the groundwater table (Figure 7). With this approach, the groundwater can be kept at (or near) the surface. The diversion barrier is the same, but will divert the water into canals across the valley bottom. From these canals, the water will seep into the soil and the groundwater will rise. Due to the constant flow of water, the groundwater level will remain high, and crops will use this groundwater as a supplementary source of water.

For this water management system, one additional physical criterion has been formulated. Recharging the groundwater will be possible if depth of the natural groundwater is not too deep. In Mali-Sud this system worked where the groundwater was within a depth of 2 meters from the surface in the beginning of January.

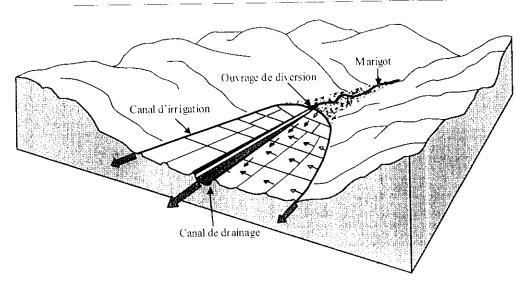
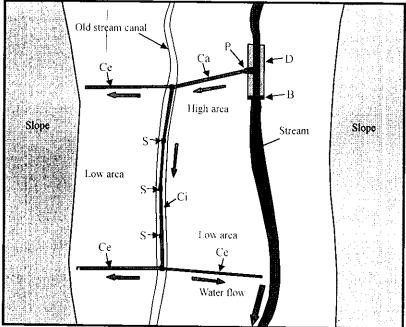


Figure 6. Ouvrage de diversion pour l'épandage des crues

Ce type de système peut être utilisé dans les fonds de vallée à pente longitudinale inférieure à 1 %, à débit de crue décennale, au plus égal à 200 l/s par mètre de largeur de bas-fond et avec des sols à faible perméabilité ($< 10^{-4}$ m/s). En outre, ce système ne sera rentable que si l'écoulement de base couvre les besoins d'irrigation des cultures pour au moins un mois.

Lorsque la perméabilité des sols du fond de vallée est supérieure à 10⁻⁴ m/s, l'irrigation de surface sera difficile car de grandes quantités d'eau seront perdues par infiltration. Néanmoins, un ouvrage de diversion peut être aussi utilisé dans ce cas mais l'objectif principal passe de l'irrigation de surface à la recharge de la nappe phréatique (Figure 7). Avec cette méthode, la nappe phréatique peut rester affleurante ou proche de la surface. L'ouvrage de diversion est le même, mais il déviera l'eau dans des canaux tracés en travers du bas-fond. A partir de ces canaux l'eau s'infiltrera dans le sol et le niveau de la nappe phréatique montera. Grâce au flux permanents, le niveau de la nappe phréatique restera élevé et cette dernière servira de ressource en eau complémentaire pour les cultures.

Pour ce type de système de contrôle de l'eau, un critère supplémentaire a été défini. La recharge de la nappe phréatique ne sera possible que si celle-ci n'est pas trop profonde. Au Mali-Sud, il a été établi que ce système marcherait à condition que la nappe phréatique soit à moins de 2 m de la surface au début du mois de janvier.



B: barrier; P: water intake; D: dikes; Ca: supply channel; Ci: primary infiltratiion channel; Ce: secondary infiltration channel; S: regulation spillway

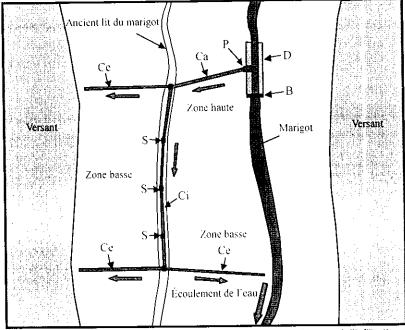
Figure 7. Diversion barrier to re-charge groundwater

2.3.4 Interception Canal System

In Sierra Leone, a system has been applied to increase the drainage of excess of water during the main season, to avoid damage to the rice crop. This is done by widening and deepening the central drain and by constructing peripheral canals along the sides of the valley bottom. The main function of these peripheral canals is to intercept surface run off and sub-surface groundwater flow from the uplands to the lowlands, decreasing the inflow of water, and thus the excess of water in the lowland. This system is not known to be used in other humid areas in West Africa.

2.3.5 Regional Use of the Low-cost Water Management Systems

As stated, most of the systems with the threshold values for key parameters are describ for Mali and Ghana. But the systems are found in a number of countries, sometir slightly adapted.



B:barrage seuil;P:prise;D:digues;Ca:canal d'amenée;Ci:canal d'infiltration primaire:Ce:canal d'infiltration secondaire;S:déversoir de régulation

Figure 7. Ouvrage de diversion pour infiltration

2.3.4 Système du canal d'interception

C'est uniquement en Sierra Leone qu'un système a été adopté pour drainer les excédents d'eau pendant la saison principale pour éviter d'endommager les cultures de riz. Cela se fait par l'élargissement et l'approfondissement du drain central et par la construction de canaux périphériques le long des bords du bas-fond. La principale fonction de ces canaux périphériques est l'interception des eaux de ruissellement et des écoulements hypodermiques des plateaux vers les bas-fonds, ce qui diminue les arrivées d'eau donc l'excès d'eau dans le bas-fond. L'adoption de ce système dans d'autres régions très humides en Afrique de l'Ouest n'a pas été signalée.

2.3.5 Place des systèmes de contrôle de l'eau peu coûteux dans la région

Comme nous l'avons dit, les valeurs-seuils pour les paramètres-clés ont été établies pour la plupart des systèmes au Mali et au Ghana. Néanmoins on peut retrouver ces systèmes dans bon nombre de pays, quelquefois avec de légères adaptations.

The simple bund system is found in other countries within the savanna zone like Togo, but also in Sierra Leone and Guinea (type I). In Guinea, often a central drain is constructed to drain peak discharges (type II). The bund system with spillovers is used in Benin (type IIIa), sometimes in combination with a drainage canal to evacuate high peak discharges (type IIIb). Also in Benin, the bund system with spillovers is combined with a water-retention dike, in which outlets are constructed through which the water flows into the rice fields closest to the retention dike (type IVa). From these fields, the water flows to downstream fields through the spillovers in the contour bunds.

Water-retention dikes as described in section 2.3.2 are also used in Burkina Faso, but often in combination with a drainage canal to drain peak discharges. A second kind of retention dike used in Burkina Faso is the 'permeable dike': in this system, the dike is made from boulders and stones through which the water may percolate to downstream.

Diversion barriers are commonly used for water management in Côte d'Ivoire (prise au fil de l'eau) and Guinea (type III). In Guinea, the main bunds of the rice fields are constructed according to the contour lines. In Côte d'Ivoire, a rectangular field layout is applied.

In Benin and Nigeria, the system of irrigation through diverting water to peripheral canals is also used. In these two countries, however, the water is not diverted from the stream canal into the peripheral canals by constructing a diversion barrier in the stream canal. Water-retention dikes are constructed across the valley bottom in which two outlets are constructed through which the water flows directly into the peripheral (irrigation) canals. The main bunds between the rice fields can be constructed along the contour lines (type IVb in Benin) or the rice plots may have a rectangular field layout (type IVc in Benin; head-dyke system in Nigeria).

2.4 Other Water Management Systems

One of the most common water management systems not described above is the small dam to create an artificial lake. Water of the lake will be used for irrigation in parts of the valley bottom downstream of the dam. This may be rice (Côte d'Ivoire, savanna and forest zones; Guinea) or other crops (Burkina Faso) in the main season, or dry-season crops (several countries). An artificial lake allows full water control irrigation. This water management system, however, is not considered to be an option for the relatively small inland-valley lowlands because of the high construction costs (up to 17,000,000 FCFA/ha) of the dam and the canals.

Artificial lakes not only function for irrigated agriculture. Especially in the dryer zones, they also serve as sources for drinking water for people and for livestock. In

On trouve le système à diguettes simples dans d'autres pays de la zone de savane comme le Togo, mais également au Sierra Leone et en Guinée (type I). En Guinée, un fossé central est souvent construit pour évacuer la crue (type II). Le système de diguettes avec déversoirs est utilisé au Bénin (type IIIa), quelquefois en association avec un canal de drainage pour évacuer des débits de crue très élevés (type IIIb). Au Bénin le système de diguettes à déversoirs peut également être connecté à un ouvrage de diversion, dans lequel sont ménagées des vannes par lesquelles l'eau s'écoule vers les rizières les plus proches de l'ouvrage (type IVa). A partir de ces champs, l'eau s'écoule vers l'aval en empruntant les déversoirs des diguettes.

Les ouvrages de diversion, telles qu'ils sont décrits dans la section 2.3.2, sont utilisés aussi au Burkina Faso mais souvent combinés à un canal de drainage pour drainer les écoulements de pointe. Un second type d'ouvrage utilisé au Burkina Faso est la « digue filtrante ». Dans ce système les digues sont construites avec des blocs de pierre et des cailloux, à travers lesquels l'eau peut s'infiltrer vers l'aval de la digue.

Les ouvrages de diversion sont communément utilisés pour le contrôle de l'eau en Côte d'Ivoire (prise au fil de l'eau) et en Guinée (type III). Dans ce dernier pays, les principales digues des rizières sont construites en suivant les courbes de niveau. En Côte d'Ivoire, le plan des champs est rectangulaire.

Au Bénin et au Nigeria, le système d'irrigation par déviation des eaux vers des canaux périphériques est également utilisé. Cependant, dans ces deux pays, on ne construit pas pour cela d'ouvrage de diversion à partir d'un canal central. Des ouvrages sont construits en travers du bas-fond avec deux vannes par lesquelles l'eau se déverse directement dans les canaux périphériques. Les digues principales entre les champs peuvent être construites en courbes de niveau (type IVb, au Bénin) mais les parcelles peuvent aussi avoir un tracé rectangulaire (type IVc au Bénin; système de digues de tête au Nigeria).

2.4 Autres systèmes de contrôle de l'eau

L'un des systèmes de contrôle de l'eau les plus utilisés et qui n'a pas été décrit ci-dessus, est la création d'un lac artificiel par construction d'un petit barrage. L'eau du lac sera utilisée pour l'irrigation de la vallée en aval. Les cultures peuvent être du riz (Côte d'Ivoire, zones de savane et de forêts; Guinée) ou d'autres cultures en saison des pluies (Burkina Faso) ou en saison sèche (dans plusieurs pays). Un lac artificiel permet un contrôle total des eaux d'irrigation. Cependant, ce système de contrôle des eaux n'est pas considéré comme une option pour les bas-fonds relativement peu étendus à cause des coûts de construction élevés des barrages et des canaux (jusqu'à 17 000 000 de F CFA/ha).

Les lacs artificiels ne jouent pas uniquement un rôle dans l'irrigation des cultures. Dans les zones les plus sèches en particulier, ils servent aussi à l'alimentation en eau des hommes

Burkina Faso, roads are often constructed in such a way that small artificial lakes are created.

In most of the countries, farmers are managing wells to use the falling groundwater table for dry-season cropping. Often this includes all kinds of vegetables, some time specific crops such as potatoes in Mali-Sud, produced for the market. The crops are irrigated manually. In Benin, a more sophisticated system has been developed. Water is pumped from a river into small basins constructed in a regular grid of 100×100 m. Farmers tap water from these basins for manual irrigation of the crops cultivated.

2.5 Discussion

Most of the low-cost water management systems for improved rice production described above focus on storing water in the (rice) fields as much as possible, or in other words, to reduce the drought risks. This can be explained by the need to optimize water use in the drier areas. Especially during the dry spells in the 1970s and 1980s, much attention was paid to improving the water use efficiency in these climatological sensitive areas. The result is that considerable expertise exists on the hydrological processes in inland-valleys in the savanna zones, and that a number technical solutions to improve the water use efficiency exist for these regions. In the very humid forest zone in West Africa, much less strategic research has been conducted on the hydrology of the inland-valleys. The result is that the knowledge on the hydrological processes in the humid areas is poor, and that technical solutions to improve water control are limited.

One of the objectives in the overall IVC research strategy and approach is the diversification of the agricultural production in inland-valley lowlands. This may include diversification during the rainy season, like fish culture, but the main impact on increased agricultural production is expected from more intensive use of the inland-valley lowlands during (part of) the dry season. One of the hypotheses in the approach is that the improved water management during the main season should result in higher water availability during at least parts of the dry season for post-rice crops and even pre-rice crops. During the discussions it became evident that hardly any information is available on the effect of improved low-cost water management systems for rice cultivation on the water availability for dry-season cropping.

et des animaux d'élevage. Au Burkina Faso, les routes sont souvent construites de telle façon que de petits lacs artificiels se créent.

Dans la plupart des pays, les paysans creusent des puits afin d'utiliser la nappe en cours de tarissement pour les cultures de saison sèche. Il s'agit le plus souvent de légumes variés et quelquefois de cultures particulières comme les pommes de terre au Mali-Sud, produites pour la vente. Les cultures sont irriguées manuellement. Au Bénin, un système plus sophistiqué a été développé ; l'eau est pompée d'un cours d'eau dans un réseau de petits bassins répartis régulièrement tous les 100×100 m. Les agriculteurs puisent l'eau de ces bassins pour irriguer manuellement les cultures.

2.5 Discussion

La plupart des systèmes de contrôle de l'eau peu coûteux destinés au développement de la riziculture et décrits ci-dessus sont axés sur un stockage maximum d'eau dans les parcelles (de riz) ou, en d'autres termes, sur la réduction des risques de sécheresse. Ceci peut s'expliquer par la nécessité d'optimiser l'utilisation d'eau dans des zones relativement sèches. En particulier pendant les périodes sèches des années 70 et 80, beaucoup d'attention a été accordée à l'amélioration de la valorisation de l'eau dans ces zones climatiquement sensibles. La conséquence a été le développement d'une expertise considérable en matière de fonctionnement hydrologique des bas-fonds des zones de savane et la mise au point de nombreuses solutions techniques pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans ces régions. Dans la zone forestière très humide de l'Afrique de l'Ouest, on a mené beaucoup moins de recherches fondamentales sur l'hydrologie des bas-fonds. Par conséquent la connaissance du fonctionnement hydrologique des zones humides est insuffisante et les solutions techniques pour améliorer le contrôle de l'eau sont limitées.

Un des objectifs de l'approche et de la stratégie globale de recherche du Consortium basfonds est la diversification de la production agricole dans les bas-fonds. Cela comprend la
diversification pendant la saison des pluies, avec des activités comme la pisciculture.
Néanmoins, on s'attend à ce que l'augmentation de production agricole vienne surtout d'une
utilisation plus intensive des bas-fonds pendant tout ou partie de la saison sèche. Une des
hypothèses est qu'une meilleure gestion de l'eau pendant la saison des pluies devrait
augmenter les quantités d'eau disponibles pendant au moins une partie de la saison sèche
pour les cultures qui suivent celle du riz et même pour celles qui la précèdent. Au cours des
discussions, il est apparu clairement qu'il n'y a guère d'informations disponibles sur l'arrièreeffet des systèmes peu coûteux de contrôle de l'eau pour la riziculture sur la disponibilité en
eau pour les cultures de saison sèche.

3. Parameters for Selection of Water Management System Type and Hydrological Characterization of Inland Valleys

3.1 Actual Situation

In the different countries, various sets of parameters for water management system selection are used. The most extensive set is used in Mali-Sud and Northern Ghana, including soil, morphological and hydrological parameters e.g. depth of impermeable layer, characteristics of the flow axis or stream canal, longitudinal slope of the valley bottom, permeability of the valley bottom soils, decennial peak flow, fluctuation of the groundwater, and discharge. In Benin, decennial peak flow and topographic characteristics of the watershed e.g. total surface, characteristics of the stream canal, and width of the valley bottom, are used.

In Côte d'Ivoire, the surface of the watershed, the longitudinal slope of the valley bottom, the dynamics of the stream (intermittent or permanent), and land cover are used for lowland development. In Nigeria stream flow characteristics and rainfall data are used for the selection and design of water management system. It is clear that the data sets used in the different countries are diverse. This also means that the data collected to characterize the hydrological characteristics of inland-valleys for development are quite different. To allow cross-site comparison and the transfer of improved water management systems, the method to describe the inland-valley hydrology needs to be harmonized.

3.2 Minimum Data Set for Hydrological Characterization of Inland Valleys and Design of Water Management Systems

As stated in Section 1, our hydrological characterization should not be descriptive only. Because serious modeling requires long-term data collection, the most appropriate characterization which allows cross-site comparison and dissemination of technologies is collecting enough data to describe and understand the water fluxes through the inland-valley system.

The following minimum data set, including climatic, hydrologic and morphological parameters has been agreed on: rainfall, evapotranspiration, decennial peak discharge per meter valley-bottom width, groundwater fluctuation, discharge, permeability of soils, residual moisture, longitudinal slope of the valley bottom, depth of an impermeable layer, and morphology of stream canals.

In the following paragraphs, data collection for the different parameters is discussed. The starting point for data collection is to obtain reliable data at low-costs.

3. Paramètres pour le choix du type de système de contrôle de l'eau et caractérisation hydrologique des bas-fonds

3.1 Pratiques actuelles

Dans les différents pays, divers jeux de paramètres sont utilisés pour choisir le système de gestion de l'eau. Le jeu le plus complet est utilisé au Mali-Sud et au Nord-Ghana ; il comprend des paramètres pédologiques, morphologiques et hydrologiques tels que la profondeur de la couche imperméable, les caractéristiques de l'axe d'écoulement ou du thalweg, la pente longitudinale et la perméabilité des sols du fond de vallée, le débit de crue décennale, les fluctuations de la nappe phréatique et le débit d'écoulement. Les paramètres utilisés au Bénin sont : le débit de crue décennale, et les caractéristiques topographiques du bassin versant, tels que la surface totale, les caractéristiques du thalweg et la largeur du fond de vallée. En Côte d'Ivoire, la surface du bassin versant, la pente longitudinale, le type de cours d'eau (intermittent ou permanent), et la couverture végétale sont les paramètres utilisés pour le mise en valeur des bas-fonds. Au Nigeria, les caractéristiques du débit des cours d'eau et les précipitations sont utilisées pour le choix et la conception du système de contrôle de l'eau. Il est donc évident que les jeux de données utilisés dans les différents pays sont très variables. Ceci signifie également que les données collectées pour déterminer les caractéristiques hydrologiques des bas-fonds à mettre en valeur sont assez différentes. Afin de permettre une comparaison des sites et le transfert des systèmes améliorés de contrôle de l'eau, la méthode de description de l'hydrologie du bas-fond doit être harmonisée.

3.2 Jeu de données minimum pour la caractérisation hydrologique des bas-fonds et élaboration des systèmes de contrôle de l'eau

Comme cela est ressorti de la première partie, notre caractérisation hydrologique ne doit pas être uniquement descriptive. Une modélisation sérieuse impliquant une collecte de données sur une longue période, la caractérisation la plus appropriée, qui permet une comparaison des sites et la diffusion des technologies, est celle qui fournit suffisamment de données pour décrire et comprendre la dynamique des flux dans le bas-fond.

Le jeu de données minimales suivant, concernant les paramètres climatiques, hydrologiques et morphologiques a été adopté : précipitations, évapotranspiration, débit de crue décennale rapporté à la largeur du bas-fond, fluctuations de la nappe, débit d'écoulement, perméabilité des sols, humidité résiduelle, pente longitudinale du bas-fond, profondeur de la couche imperméable et caractéristiques des thalwegs.

La méthode de collecte de données pour les différents paramètres est discutée dans les paragraphes suivants. Le principe de base pour la collecte est d'obtenir des données fiables à moindre coût.

3.2.1 Climatic Data Collection

Rainfall will be measured by using manual rain gauges. For an area of 100 km², six rain gauges will be sufficient. More rain gauges will have to be installed where there are major differences between adjacent rain gauges. It is recommended to have one rain recorder with daily charts installed, to measure rainfall intensities. The rainfall has to be measure on a daily basis.

Evapotranspiration will be measured with a Pan A, which can be manufactured locally. Readings of the evapotranspiration will be made on a daily basis.

3.2.2 Hydrological Data Collection

The decennial peak discharge per meter valley-bottom width is an important measure to know for the design of the water management structure. This parameter gives the maximal peak discharge expected to occur once every 10 years. By consequence, the structures built to manage the water should be robust enough to survive the passage of the decennial peak discharge. By definition, the decennial peak discharge cannot be measured over short periods. The parameter is modeled using several other parameters that can be measured or estimated.

The decennial peak discharge per meter valley-bottom width is estimated using the following parameters: the decennial rainfall, which is published by ORSTOM and CIEH; the surface of watershed, calculated from a topographic map; the state of the land surface in the watershed, using the method of ORSTOM; slope index of the watershed, using a topographic map; and the width of the valley bottom, which can be measured in the field.

It has to be noted that the ORSTOM method to calculate the decennial peak flow was developed for the moist and humid savanna zones. It has to be studied to what degree this method has to be adapted to the forest zone.

The temporal and spatial dynamics of the groundwater table are crucial parameters to be characterized. Where the groundwater table lowers rapidly and to great depth after the rainy season, the residual moisture availability for a dry-season crop will be too limited. Where the groundwater table remains for a longer period at shallow depth, crops may use the residual water, or farmers may dig wells for manual irrigation.

Fluctuations of the groundwater table will be measured in piezometers installed in lines across the valley bottom. One line of piezometers will be installed in the zone that will be developed. In addition, a line of piezometers will be installed in a first-, a second-,

3.2.1 Collecte de données climatiques

Les précipitations seront mesurées grâce à des pluviomètres manuels. Un total de six pluviomètres est suffisant pour une superficie de 100 km². Il sera nécessaire d'installer plus de pluviomètres, dans le cas où il y aurait de grandes différences entre des pluviomètres voisins. Il est fortement recommandé d'installer un enregistreur de précipitations avec des diagrammes journaliers pour mesurer l'intensité des pluies. Les précipitations doivent être relevées quotidiennement.

L'évapotranspiration sera mesurée avec un Bac A, qui peut être fabriqué localement. Les relevés de l'évaporation devront être effectués quotidiennement.

3.2.2 Collecte de données hydrologiques

Le débit de crue décennale rapporté à la largeur du bas-fond, est une mesure importante à connaître avant la conception du système de contrôle de l'eau. Ce paramètre donne l'écoulement maximum susceptible de survenir une fois tous les dix ans. Par conséquent, les structures construites pour contrôler l'eau doivent être assez solides pour résister au débit de crue décennale. Par définition, cet écoulement ne peut pas être mesuré sur une période relativement courte. Le paramètre est évalué en utilisant plusieurs autres paramètres qui peuvent être mesurés ou estimés.

Le débit de crue décennale rapporté à la largeur du bas-fond est estimé en utilisant les paramètres suivants : la pluie décennale, qui peut être trouvée dans les documents de l'ORSTOM et du CIEH : la surface du bassin versant, calculée à partir d'une carte topographique : l'état de surface du bassin versant, en utilisant la méthode de l'ORSTOM ; l'indice de pente du bassin versant en utilisant une carte topographique : et la largeur du fond de vallée, qui peut être mesurée sur le terrain.

Il faut noter que la méthode de l'ORSTOM pour calculer le débit maximum décennal a été développée pour les zones humides et sub-humides de savane. Il est nécessaire d'étudier dans quelle mesure cette méthode pourrait s'adapter à la zone forestière.

Les mouvements temporels et spatiaux de la nappe sont un paramètre essentiel à caractériser. Lorsque le niveau de la nappe phréatique baisse rapidement et jusqu'à une grande profondeur, l'humidité résiduelle disponible pour les cultures de saison sèche n'est pas suffisante. Lorsque la nappe phréatique reste peu profonde pendant une période plus longue, cela permet aux cultures d'utiliser l'eau résiduelle ou aux paysans de creuser des puits pour irriguer manuellement.

Les fluctuations du niveau de la nappe seront mesurées par des lignes de piézomètres installées en travers du fond de vallée. Une rangée sera installée dans la zone à aménager. Par ailleurs, une rangée de piézomètres sera installée dans une vallée de premier, second,

a third-, etc. order valley. Along every line, four piezometers will be installed in the valley bottom to a depth of 2 m, one at each side of the stream canal and one at each side of the stream near the fringe. One of the two piezometers in the central part of the valley bottom should have a depth of 4 m, to study the presence of a deep groundwater table and its influence on the hydrological characteristics of the valley bottom. On the slope, three piezometers will be installed with a depth of 2 m (or less if there is an impermeable layer within 2 m of the soil surface), one of which will be in the lowest part of the slope (hydromorphic zone).

Reading of the piczometers will be done once a week during the dry season, and every day during the rainy season, when a shallow groundwater table occurs in the valley bottom.

Discharge measurements are essential for data on peak discharges, which can be correlated with rainfall figures, and to quantify the base flow discharge. The base flow indicates the extent to which the system may deliver water to the lowland during dry spells in the rainy season and after the rains have stopped. The amount and period of base flow is a major determinant of the potential of the given lowland for dry-season cropping.

Discharge will be measured at one station per site. Existing structures in the fields may be used to measure the discharge, like stream sections, culverts, or bridges for large streams. This outlet should, however, be properly calibrated, cover all water levels. In smaller streams, V-notches or other discharge measuring devices can be installed. It is strongly recommended that a level-recording device be installed for permanent monitoring of the water level.

A rating curve should be developed for each station. To include the whole range of water levels in the rating curve, one should follow the rainfall events to have good peak measurements. If a level recorder is not available, manual gauging should be done twice per day. If a level recorder is in place, a daily manual gauging should be made to check the recorder.

The permeability of soils has to be measured in two different ways. The vertical permeability, or infiltration rate, will be measure by using the double-ring method. The horizontal permeability has to be measured when the groundwater table is present. With an auger, a hole can be made which will be filled with water. The water should be bailed out of the hole, and then the recharge rate of the water into the hole can be measured. This measurement has to be made only once for every main soil type.

troisième ordre ... Chaque rangée comprendra quatre piézomètres de 2 m de profondeur, installés dans le fond de vallée, à raison d'un appareil de part et d'autre du thalweg et un à proximité des franges de chaque côté. L'un des deux piézomètres centraux doit avoir une profondeur de 4 mètres pour étudier la présence d'une nappe profonde et étudier son impact sur les caractéristiques hydrologiques du fond de vallée. Sur le versant, seront installés trois piézomètres de 2 m de profondeur (ou moins s'il existe une couche imperméable à moins de 2 m de la surface), dont un en bas de pente (zone hydromorphe).

La lecture des piézomètres sera effectuée une fois par semaine pendant la saison sèche et tous les jours pendant la saison des pluies, lorsqu'il existe une nappe peu profonde dans le bas-fond.

Les mesures du débit sont fondamentales pour avoir une idée sur les écoulements de pointe, (qui peuvent être corrélés aux précipitations) et pour quantifier l'écoulement de base. Ce dernier est un indicateur de la capacité du système à libérer de l'eau dans le bas-fond pendant les périodes sèches de la saison des pluies et après l'arrêt des pluies. Le volume et la date d'apparition de l'écoulement de base déterminent en grande partie l'aptitude d'un bas-fond donné à accueillir des cultures de saison sèche.

L'écoulement sera mesuré au niveau d'une station par site. Les ouvrages existants peuvent être utilisés pour mesurer l'écoulement, tels que les biefs, les canaux, ou les ponts pour les cours d'eau plus larges. Cependant, cet exutoire, convenablement calibré, doit pouvoir couvrir toute la gamme des niveaux d'eau. Pour les cours d'eau plus petits, des encoches en V ou d'autres dispositifs de mesure de débit peuvent être installés. Il est vivement recommandé d'installer un appareil d'enregistrement des niveaux pour suivre le niveau de l'eau de façon permanente.

Un abaque doit être établi pour chaque station. Etant donné que tous les niveaux d'eau doivent y figurer, on essaiera de suivre de près les épisodes pluvieux afin d'obtenir de bonnes mesures des maxima. S'il n'y a pas d'enregistreur de niveau, une lecture manuelle de la jauge devrait être effectuée deux fois par jour. Dans le cas où un enregistreur de niveau est disponible, une lecture manuelle quotidienne est nécessaire pour vérifier l'enregistreur.

La perméabilité des sols doit être mesurée de deux façons différentes. La perméabilité verticale où taux d'infiltration sera mesurée par la méthode du double anneau, tandis que la perméabilité horizontale devra être mesurée quand la nappe phréatique est présente. On peut creuser un trou à la tarière qui sera rempli d'eau. L'eau devra être évacuée de façon à pouvoir mesurer ensuite le taux de recharge en eau du trou. Cette mesure ne doit être faite qu'une seule fois par grand type de sol.

The amount of residual moisture is an important variable for the potential of the lowland for dry-season cropping. As explained above, the fall of the groundwater largely determines the potential for dry-season cropping. However, it is also important to know the height of the capillary rise of water in the soil. In a coarse sandy soil, the topsoil can be completely dry when the groundwater table occurs at a depth of 50 cm. If the soil has a finer texture, enough water may be available in the topsoil due to capillary rise of the water from the groundwater.

Soil moisture can be measured using simple soil moisture meters like gypsum blocks or tensiometers. If these moisture meters are not available, samples can be taken in the field, weighted, and subsequently dried in an oven, and weighted again. If such oven-dried samples are used, the following sampling frequency has been defined. Samples will be taken at three points in time: when the water table is lowered to 50 cm, 100 cm, and 150 cm below the soil surface. Depths to take soil samples to be dried in an oven are 10–20 cm, 30–40 cm, 60–80 cm, 80–90 cm, 110–120 cm, and 130–140 cm.

3.2.3 Morphological Parameters

The longitudinal slope of the valley bottom can be best measured by topographic survey at scale 1:2500 to 1:5000. The depth of the permeable layer, where the soils of the valley bottom are permeable, can easily be determined with a soil auger. The morphology of the stream canal, i.e. its width and depth, can be described directly in the field.

4. Decision Supports Systems

4.1 Background

Collecting hydrological data at watershed level requires many resources. It is not feasible to measure all parameters described in the previous sections in a detailed way for every valley to be developed. Thus decision-support systems have to be developed on the basis of intensive hydrological research in a few sites. In these sites, strategic relations between measured hydrological parameters and development potential of the valley have to be established. This will result in a short list of key parameters, their critical (threshold) values for specific water management systems, and the best and most economic way to measure or estimate these values. The decision-support system will be presented for practical use in a kind of key which will allow non-scientists, with data in hand, to select the most appropriate water management system for the site they are working in.

Le niveau d'humidité résiduelle est une variable importante pour l'aptitude du bas-fond à accueillir des cultures de saison sèche. Comme nous l'avons expliqué plus haut, la baisse du niveau de la nappe détermine très largement les potentialités pour les cultures de contre saison. Néanmoins, il est également important de connaître le niveau de remontée capillaire de l'eau dans le sol. Dans le cas d'un sable grossier, la couche superficielle peut être totalement sèche alors que la nappe est à 50 cm de profondeur. Lorsque le sol a une texture plus fine, l'alimentation des couches supérieures peut être assurée par les remontées capillaires à partir de la nappe.

L'humidité du sol peut être mesurée en utilisant des appareils simples de mesure d'humidité du sol tels que des blocs de gypse ou des tensiomètres. Lorsque ces appareils ne sont pas disponibles, des échantillons de terre peuvent être prélevés au champ, pesés, puis séchés à l'étuve, et pesés à nouveau. Dans le cas des échantillons séchés à l'étuve, la méthode d'échantillonnage a été définie : des échantillons seront prélevés à trois périodes différentes, quand le niveau de la nappe atteint 50 cm, puis 100 cm, puis 150 cm de profondeur. Les échantillons seront prélevés dans les horizons 10-20 cm, 30-40 cm, 60-70 cm, 80-90 cm, 110-120 cm, et 130-140 cm.

3.2.3 Paramètres morphologiques

La meilleure façon de mesurer la pente longitudinale du fond de vallée est une levée topographique à une échelle comprise entre le 1 : 2 500 et le 1 : 5 000. La profondeur de la couche perméable éventuelle peut être déterminée facilement à la tarière. Les caractéristiques du lit du marigot, c'est-à-dire sa largeur et sa profondeur, peuvent être déterminés directement sur le terrain.

4. Les systèmes d'aide à la décision

4.1 Contexte

La collecte de données hydrologiques au niveau des bassins versants nécessite des moyens importants. Il est impossible de mesurer tous les paramètres décrits dans les parties précédentes, d'une façon détaillée pour chacun des bas-fonds à aménager. C'est pourquoi il faut développer des systèmes d'aide à la décision, sur la base d'une recherche hydrologique approfondie dans un nombre limité de sites. C'est sur ces sites que les relations de base entre les paramètres hydrologiques mesurés et le potentiel d'aménagement du bas-fond doivent être établies. Cette recherche aboutit à une liste de quelques paramètres clés, avec leurs valeurs critiques pour des systèmes de maîtrise de l'eau donnés (valeurs seuils), et les méthodes les plus économiques et les plus efficaces pour les évaluer. Pour des raisons pratiques, le système d'aide à la décision sera présenté sous forme de clé afin de permettre à des non scientifiques disposant des données, de choisir le système de contrôle de l'eau le mieux adapté au site sur lequel ils travaillent.

4.2 DIARPA Decision Tool

The best and most advanced example of a decision-support system for the selection of low-cost water management systems is DIARPA (DIAgnostic Rapide de Pré-Aménagement). This rapid hydrologic diagnosis of inland-valley systems is an operational method to evaluate criteria explaining the environmental dynamics. The specific combinations determine the requirements of the most appropriate intervention and its impact in terms of improved water availability for agricultural production.

CIRAD and IER (in Mali) and SARI (in Ghana) have developed the DIARPA tool for a number of sites in the relatively dry Guinea savanna zone. The decision-support system is shown in Figure 8. It consists of seven parameters for six types of low-costs water management systems. These low-costs water management systems, parameters, and threshold values are described in previous sections.

Figure 8 reads as a key. Knowing the different characteristics of an inland-valley studied, one starts analyzing on the left side of the figure, in the box with the '?'. The first parameter encountered in the system is the permeability of the soil. Valley bottoms to be developed are divided into those with a soil permeability lower or higher than 10^{-4} m/s, and those with permeability above 10^{-4} m/s. The next parameter is the depth of the impermeable layer. For soils in the valley bottom with a permeability of less than 10^{-4} m/s, depth of the impermeable layer is not a differentiating criterion (indicated in Figure 8 as a white block).

For valley bottoms with highly permeable soils, the depth of the impermeable layer is an important characteristic for the choice of the water management system. The critical depth of the impermeable layer is 2 m.

A next characteristic taken into account is the longitudinal slope of the valley bottom. As shown in Figure 8, four classes for the longitudinal slope are established.

The DIARPA tool is, in practice, a kind of decision tree. Following the lines in the tree, it gives the most appropriate water management system for the conditions found in the field. For instance, for valley bottoms with a soil permeability $< 10^{-4}$ m/s, longitudinal slope < 1%, with a weakly developed flow axis only, and a decennial peak flow < 20 L/s, the best water management system is contour bunding with spillways.

In certain situations, the DIARPA system does not provide solutions. If, for example, the valley bottom is characterized by soils with high permeability, a deep impermeable layer, and a longitudinal slope of more than 2%, the decision tool does not give a best-bet water management system. This does not mean that, technically, the valley bottom

4.2 Outil de décision : le DIARPA

Le système d'aide à la décision le meilleur et le plus élaboré pour le choix des systèmes de contrôle de l'eau est le DIARPA (DIAgnostic Rapide de Pré-Aménagement). Ce diagnostic hydrologique rapide des systèmes de bas-fonds est une méthode opérationnelle pour évaluer les critères qui rendent compte de la dynamique du milieu. Les différentes combinaisons fixent les conditions à satisfaire pour l'intervention la plus appropriée et peuvent en évaluer l'impact sur les quantités d'eau disponibles pour la production agricole.

Le CIRAD et l'IER au Mali ainsi que le SARI au Ghana ont mis au point le DIARPA sur de nombreux sites dans la zone relativement sèche de la savane guinéenne. Le système d'aide à la décision est présenté dans la Figure 8. Il repose sur 7 paramètres différents pour 6 catégories de systèmes de contrôle de l'eau à faible coût. Ces différents systèmes, les paramètres et les valeurs seuils ont été décrites dans les chapitres précédents.

La Figure 8 se lit comme une clé. Une personne connaissant les différentes caractéristiques du bas-fond étudié, commencera l'analyse par le côté gauche de la figure, par la case « ? ». Le premier paramètre rencontré est la perméabilité du sol. Les bas-fonds à aménager sont classés selon la perméabilité du sol (inférieure ou supérieure à 10⁻⁴ m/s). Le paramètre suivant est la profondeur de la couche imperméable. Pour les sols qui ont une perméabilité inférieure à 10⁻⁴ m/s, la profondeur de la couche imperméable ne constitue pas un critère de différenciation (ce qui se traduit par une case blanche dans la Figure 8).

Pour les fonds de vallée avec des sols très perméables, la profondeur de la couche imperméable est une caractéristique importante pour le choix du système de contrôle de l'eau. Le niveau critique de la profondeur de la couche imperméable est de 2 m.

La caractéristique à prendre en compte ensuite est la pente longitudinale du fond de vallée. Tel que nous le voyons dans la Figure 8, quatre classes de pente longitudinale ont été établies.

En pratique, le DIARPA est une sorte d'arbre de décision. En suivant les branches de l'arbre, on obtient à la fin, le système de contrôle de l'eau le plus approprié aux conditions du site considéré. Par exemple, pour les fonds de vallée avec un sol dont la perméabilité est < 10⁻⁴ m/s, une pente longitudinale < 1 %, avec un axe d'écoulement peu marqué et un débit de crue décennale < 20 l/s, le meilleur système de contrôle de l'eau est celui des diguettes en courbes de niveau avec déversoirs.

Dans certaines situations, le système DIARPA ne fournit pas de solutions. Par exemple, si le fond de vallée est caractérisé par des sols très perméables, une couche imperméable profonde et une pente longitudinale de plus de 2 %, l'outil de décision ne propose pas de choix optimal de système de contrôle de l'eau. Cela ne signifie pas que le fond de vallée ne

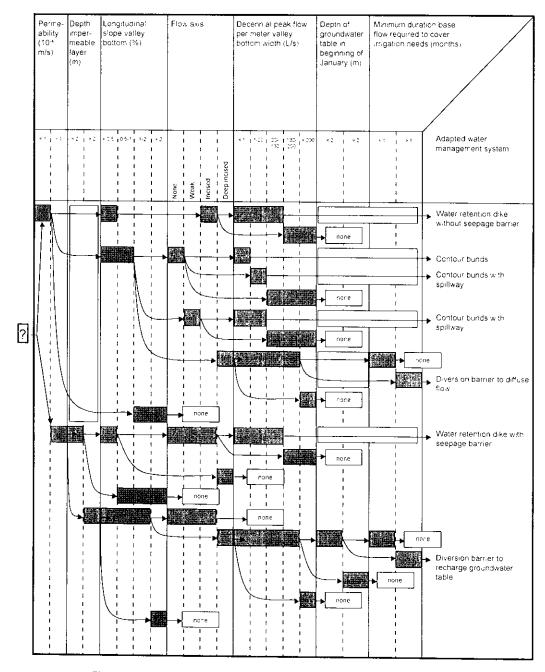


Figure 8. Key to determine the suitable water management system depending on environmental conditions

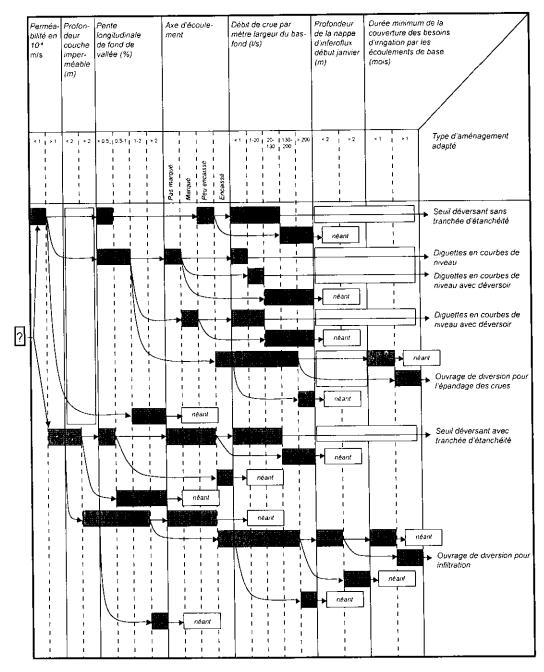


Figure 8. Clé de détermination du type d'aménagement adapté en fonction des conditions du milieu

cannot be developed. The economic assumption in the process of developing DIARPA was that the costs for developing inland-valley lowlands should not be more than US\$ 800/ha. In situations where Figure 8 does not give a solution, the investment costs for developing a valley bottom with a specific combination of characteristics are most likely higher than US\$ 800/ha.

4.3 Future Developments

As stated in the previous section, the DIARPA system has been developed for the relative dry parts of the Guinea savanna zone (northern Ghana and southeastern Mali). In the near future, IVC will test the DIARPA system in the more humid savanna zones in Benin. The purpose of this activity is to see if the system will work in more humid environments, and to what extent other parameters should be included or threshold values adapted.

Presently, CIRAD and partners are working on a refined decision tree in which variable investment costs will be an important differentiating parameter.

Finally, a similar system has to be developed for the humid-forest environment. It is expected that a decision-support system for the humid tropics will have a different structure. One of the main reasons is that the objective of the water management systems to be introduced is quit different. In the savanna zones, the main objective is water-harvesting. In the real humid tropics, one of the main objectives for the water management system will be the drainage of excess of water. So, other water management systems have to be included in the decision-support system.

It is likely that a number of parameters used in the savanna zone will also be important in the humid forest zone, but the threshold values may be different. It is expected, however, that other inland-valley characteristics become important in a decision tool for this environment.

4.4 Modeling

In order to adapt DIARPA, some parameters have to be known (rainfall, groundwater, evaporation, discharge, permeability, and residual soil moisture). Some of these parameters are difficult to measure or need long observation periods. To determine these parameters, hydrological models may be helpful.

To refine the DIARPA, a hydrological model was developed in Mali using two reservoirs (Figure 9). Input data for the model are rainfall, potential evapotranspiration, and watershed area. The model parameters were calibrated on the duration of the discharge

puisse pas être aménagé, techniquement parlant. Dans la conception du DIARPA, on a posé comme principe que les coûts d'aménagement des bas-fonds ne devaient pas dépasser 800 \$ EU/ha. Dans les cas où la Figure 8 ne donne pas de solution, cela signifie la plupart du temps que les montants à investir pour aménager un bas-fond compte tenu de ses caractéristiques spécifiques, sont supérieurs à 800 \$ EU/ha.

4.3 Les développements futurs

Comme cela a été indiqué dans les chapitres précédents, le système du DIARPA a été mis au point pour la zone relativement sèche de la savane guinéenne (Nord-Ghana et Mali-Sud). Dans un futur proche, le Consortium bas-fonds effectuera des tests d'adaptation du DIARPA dans les zones de savane plus humide du Bénin. Le but de cette opération est de voir si le système fonctionne dans des milieux plus humides et dans quelle mesure d'autres paramètres doivent être inclus ou les valeurs seuils adaptées.

A l'heure actuelle, le CIRAD et ses partenaires travaillent sur une version améliorée de l'arbre de décision, dans laquelle les coûts d'investissements seront un paramètre de différenciation important.

Pour terminer, un système similaire doit être développé pour la zone de forêt humide. On peut s'attendre à ce qu'un système d'aide à la décision adapté aux tropiques humides ait une structure différente. Une des principales raisons étant que l'objectif des systèmes de contrôle de l'eau à adopter est assez différent. Dans les zones de savane, l'objectif principal est l'économie de l'eau. Dans les tropiques réellement humides, un des principaux objectifs du système de contrôle de l'eau sera le drainage des excédents d'eau. Par conséquent, d'autres systèmes de contrôle de l'eau doivent être inclus dans le système d'aide à la décision

Vraisemblablement, un certain nombre de paramètres utilisés dans la zone de savane, seront également importants dans la zone forestière humide, mais les valeurs seuils pourraient être très différentes. On peut cependant penser que d'autres caractéristiques du bas-fond seront importantes dans un outil de décision pour cet environnement spécifique.

4.4 Modélisation

Pour savoir comment adapter le DIARPA, certains paramètres doivent être déterminés, (précipitations, nappe phréatique, évaporation, écoulements, perméabilité et humidité résiduelle du sol). Certains de ces paramètres sont difficiles à mesurer ou requièrent une longue période d'observation. Des modèles hydrologiques pourraient être utiles à la détermination de ces paramètres.

Pour affiner le DIARPA, un modèle hydrologique a été développé au Mali en utilisant deux réservoirs (Figure 9). Les données rentrant dans le modèle sont : les précipitations, l'évapotranspiration potentielle et la surface du bassin versant. Les paramètres du modèle

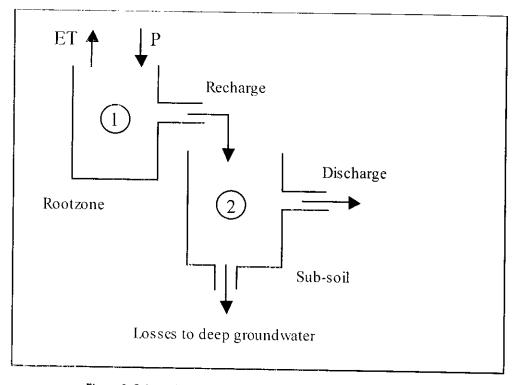


Figure 9. Schematic representation of the model used to develop DIARPA

at the end of the cycle, because that is the most critical parameter and would need a long observation period to know the statistical distribution. The hope is that the use of this model will enhance the development of inland-valleys.

It is accepted that models, similar to the Mali model, may be developed for other key sites to determine the amount of discharge over time, because standard models (ORSTOM/CIEH) focus on peak flows or yearly totals. The idea would be to conceptually divide the watershed into fast- and slow-reacting flows and to calibrate the reservoir parameters on the basis of the measured discharge. The model inputs would be area, daily rainfall, and potential evapotranspiration. It should be stressed that such modeling activities should only be developed if no simpler means are available to determine parameters that are essential for adaption of the DIARPA.

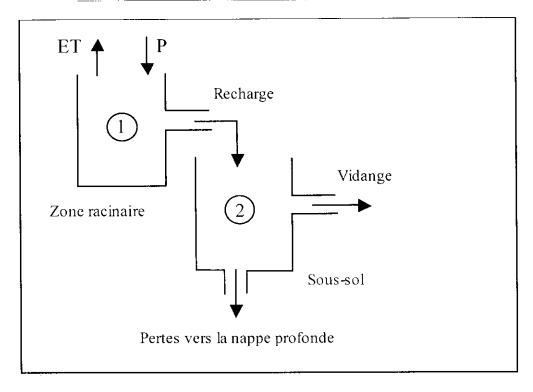


Figure 9. Représentation schématique du modèle utilisé pour développer le DIARPA

ont été calibrés sur la durée de l'écoulement à la fin du cycle, car c'est le paramètre le plus critique, qui nécessite de plus une longue période d'observation pour connaître la distribution statistique. On espère que l'utilisation de ce modèle permettra de développer l'aménagement des bas-fonds.

Il est admis que des modèles similaires au modèle du Mali pourraient être développés dans d'autres sites clés pour déterminer le niveau d'écoulement au cours du temps car les modèles standards (ceux de l'ORSTOM/CIEH) sont axés sur les débits de crue ou sur les cumuls annuels. L'idée serait de diviser artificiellement le bassin versant en flux à réponse rapide et à réponse lente et de calibrer les paramètres des réservoirs en fonction de l'écoulement mesuré. Les entrées du modèle seraient : la surface, les précipitations journalières et l'évapotranspiration potentielle. Il faut souligner que de telles opérations de modélisation ne doivent être développées que dans les cas où des moyens plus simples ne sont pas disponibles pour déterminer les paramètres essentiels à l'adaptation du DIARPA.

5. Databases

5.1 Large-scale Databases

From literature review (Lamachère and Dacosta, 1995) it is clear that large-scale databases for inland valleys are not available. There is a need to focus further database development to store information on, among others, hydrological characteristics of inland-valleys. The main objectives for developing databases are: (1) storage of data and improved record keeping. (2) easy access to data, and (3) improved data processing and cross-site analysis.

IVC partners are collecting a large amount of data on inland-valley hydrological parameters, including discharge and flooding. IVC will develop a database for storing and analyzing these hydrological data.

5.2 Small-scale databases

These kinds of databases are important to estimate characteristics of agro-ecological zones and units. In addition, these databases can be used as a basis for the extrapolation of information and knowledge generated at a detailed level.

Several regional databases for hydrological and climatological data exist in West Africa, e.g. CLICOM, HYDATA, AQUASTAT, WATERHYD, AGRIIYMET and FRIEND.

This last database was presented during the workshop.

FRIEND (Flow Regime from International Experiment Network Data) is a network with activities in six regions. One of these regions is West and Central Africa. It brings together different partners like research institutes and universities. In concerted action, several research themes have been defined including database development, discharge measurements, rain-discharge modeling, regionalization of hydrological parameters, and quality of water. Oversight is assured by a steering committee comprising the theme coordinators, the WMO, AGRHYMET and ORSTOM.

The database of FRIEND is developed to store the hydrological and climatological data generated by the national and international partner institutions. FRIEND as a project does not generate new data. In the FRIEND database, data is available on daily time scale for meteorological parameters as well as discharge for larger watersheds with a minimum area of 100 km². The database is accessible to interested parties upon request.

5. Les bases de données

5.1 Les bases de données à grande échelle

Après une revue bibliographique (l.amachère et Dacosta, 1995), il est devenu évident qu'il n'existe pas de bases de données à grande échelle relatives aux bas-fonds. Il est nécessaire d'axer entre autres le développement de nouvelles bases de données sur le recueil d'informations sur les caractéristiques hydrologiques des bas-fonds. Les principaux objectifs du développement de bases de données sont : (1) le stockage de données et une meilleure compilation des informations : (2) un accès facile aux données et (3) un traitement des données plus performant et des comparaisons entre sites.

Les partenaires du Consortium sont en train de collecter une grande quantité de données sur les paramètres hydrologiques des bas-fonds, y compris les écoulements et les inondations. Le Consortium s'efforcera de développer une base de données pour le stockage et l'analyse de ces données hydrologiques.

5.2 Les bases de données à petite échelle

Ce type de bases de données est important pour évaluer les caractéristiques des zones et des unités agro-écologiques. En outre, ces bases de données peuvent être utilisées comme une base pour l'extrapolation des informations et des connaissances produites à un niveau plus détaillé.

Plusieurs bases de données régionales contenant des données hydrologiques et climatologiques existent en Afrique de l'Ouest, telles que : CLICOM, HYDATA, AQUASTAT, WATERHYD, AGRHYMET, et FRIEND. Cette dernière base de données a été présentée pendant l'atelier.

FRIEND (Flow Regime from International Experiment Network Data—Régime des écoulements, données du Réseau d'expérimentation internationale) est un réseau qui intervient dans six régions, dont l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Il réunit différents partenaires telles que des instituts de recherche et des universités. Plusieurs thèmes de recherche ont été définis de façon concertée, dont le développement de bases de données, les mesures de l'écoulement, la modélisation des écoulements d'eau de pluie, la régionalisation des paramètres hydrologiques et la qualité de l'eau. La supervision est assurée par un comité d'organisation comprenant les coordinateurs de thèmes : WMO, AGRHYMET et ORSTOM.

La base de données FRIEND est développée pour stocker les données hydrologiques et climatologiques générées par les institutions partenaires nationales et internationales. En tant que projet, FRIEND ne produit pas de nouvelles données. Dans la base de données FRIEND, on dispose de données journalières pour les paramètres météorologiques et pour les écoulements des grands bassins versants, d'une superficie minimum de 100 km². Les données sont accessibles sur demande des parties intéressées.

6. Results of the Workshop

6.1 Concluding Remarks

After three full days for formal and informal presentations and discussions, the most important objectives of this workshop were obtained. We succeeded in:

- making a region-wide inventory of the most commonly used low-cost water management systems. Six main types were distinguished, with minor differences in the various countries
- developing a minimum data set for hydrological characterization of inland-valleys by the different IVC partners
- defining the most appropriate (standard) methods and techniques to collect the required hydrological data for the detailed agro-ecological characterization of the inland-valleys.

During the presentations and discussions, it became clear that much more hydrological information and knowledge of inland-valleys is available for the savanna zones compared to the humid-forest zones. This may be explained by the problems encountered in the past with dry periods in the savanna zones. The periodic shortage of water has a much more devastating effect on mankind than the permanent excess of water in the humid-forest zones.

The hydrological processes in the savanna zone are better understood, and water management systems, focusing on water-harvesting, are more diversified than in the forest zones. A decision-support system is available for the savanna zone, which has to be validated for other savanna areas.

Future research and development activities in inland-valleys in the savanna zone can build upon a solid basis of data and knowledge developed in the last two decades. For the forest zone, however, few baseline data are available. Future research for inland-valley development in the forest zone has to start with the collection of these data.

6.2 Actions for the Near Future

On the basis of the results of this workshop, the described gaps in knowledge, and the need to enhance the sustainable development of inland-valleys in the West African region, the following actions for the immediate future have been proposed:

 strategic research, data collection and water management system development, in the humid parts of the region

6. Résultats de l'atelier

6.1 Conclusions

Après trois jours entiers de présentations et discussions formelles et informelles, l'objectif le plus important de cet atelier a été atteint. Nous sommes arrivés à :

- faire un large inventaire régional des systèmes de contrôle de l'eau à faible coût les plus communément utilisés. On peut distinguer six grands types avec de légères différences selon les pays;
- élaborer un jeu de données minimum pour la caractérisation hydrologique des bas-fonds par les différents partenaires du Consortium bas-fonds ;
- définir les méthodes (standards) les plus appropriées ainsi que les techniques de collecte des données hydrologiques nécessaires à la caractérisation agro-écologique détaillée des bas-fonds.

Au cours des discussions et des présentations, il est apparu qu'il y a beaucoup plus d'informations et de connaissances disponibles sur les bas-fonds des zones de savane que sur ceux des zones forestières humides. Les pénuries d'eau périodiques ont un impact beaucoup plus négatif sur les hommes que les excès d'eau permanents des zones forestières humides.

Les processus hydrologiques dans la zone de savane sont mieux connus ; les systèmes de contrôle de l'eau, centrés sur la récupération des eaux, sont plus diversifiés que dans la zone forestière. Parallèlement, un système d'aide à la décision est disponible pour la zone de savane, même s'il doit être validé pour d'autres secteurs des zones de savane.

En zone de savane, les recherches à venir et les activités d'aménagement des bas-fonds, peuvent s'appuyer sur une solide base de données et de connaissances développée au cours des vingt dernières années. Par contre pour la zone forestière, on dispose de très peu de données de base. Les futures recherches pour le développement des bas-fonds en zone forestière devront commencer par la collecte de ces données.

6.2 Actions à court terme

Compte tenu des résultats de cet atelier, des trous constatés dans les connaissances et de la nécessité d'accroître le développement durable des bas-fonds en Afrique de l'Ouest, il a été proposé d'engager à court terme les actions suivantes :

 recherche fondamentale, collecte de données et développement d'un système de contrôle de l'eau dans les zones humides de la région ;

- regionalization. validation and adaptation of the DIARPA for savanna and forest zones
- development of methods for standard monitoring of inland-valley hydrology in IVC key sites.

References

Lamachère, J.M. and H. Dacosta 1995. L'Hydrologie des Bas-Fonds d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique Centrale. In: J.Y. Jamin and P.N. Windmeijer (Ed.) Sustainable use of Inland-valleys in Africa: First results of the Inland-valley Consortium. Proceedings of the Third Annual Workshop of the Inland-valley Consortium. WARDA/ADRAO. Bouaké, Côte d'Ivoire. Pp. 83–105.

Legoupil, J.C., B. Lidon and F. Blanchet. 1995. Fonctionnement hydrique, aménagement et mise en valeur durable des zones de bas-fonds en Afrique sub-saharienne. In: J.Y. Jamin and P.N. Windmeijer (Ed.) *Characterization of Inland-valley Agro-ecosystems: a Tool for their Sustainable Use.* Proceedings of the 1st scientific workshop of the Inland-Valley Consortium. WARDA/ADRAO, Bouaké, Côte d'Ivoire. Pp. 47–76.

Van de Giesen, N. and R. Diallo, 1995. Hydrological and Hydraulic Parameters for Inland-valley Characterization. In: J.Y. Jamin and P.N. Windmeijer (Ed.) Characterization of Inland-valley Afro-ecosystems: a Tool for their Sustainable Use. Proceedings of the first scientific workshop of the Inland-valley Consortium. WARDA/ ADRAO, Bouaké, Côte d'Ivoire. Pp. 281–289.

- régionalisation, validation et adaptation du DIARPA à la savane et aux zones forestières :
- développement de méthodes standard de suivi de l'hydrologie des bas-fonds dans les sites clés du Consortium.

Références

- 1.amachère J.M., Dacosta H., 1995. L'Hydrologie des Bas-Fonds d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique Centrale. In: J.Y. Jamin et P.N. Windmeijer (Eds.); Mise en valeur durable des bas-fonds en Afrique. Premiers résultats du Consortium bas-fonds. Actes du 3º atelier annuel du Consortium bas-fonds. WARDA/ADRAO. Bouaké. Côte d'Ivoire. Pp. 83-105.
- Legoupil J.C., Lidon B., Blanchet F., 1995. Fonctionnement hydrique, aménagement et mise en valeur durable des zones de bas-fonds en Afrique sub-saharienne. *In*: J.Y. Jamin et P.N. Windmeijer (Eds.); *La caractérisation des agro-écosystèmes de bas-fonds: un outil pour leur mise en valeur durable.* Actes du 1^{er} atelier scientifique du Consortium bas-fonds. WARDA/ADRAO, Bouaké, Côte d'Ivoire. Pp. 47-76.
- Van de Giesen N., Diallo R., 1995. Paramètres hydrologiques et hydraulique pour la caractérisation des bas-fonds. *In*: J.Y. Jamin et P.N. Windmeijer (Eds.); *La caractérisation des agro-écosystèmes de bas-fonds: un outil pour leur mise en valeur durable.* Actes du 1^{er} atelier scientifique du Consortium bas-fonds. WARDA/ADRAO, Bouaké, Côte d'Ivoire. Pp. 281-289.

Annexe

Etude de cas de l'aménagement du bas-fond de Foro-Foro

Touré Gnininkanhombron, Département d'hydrologie, ADRAO

Aménagement du bas-fond de Foro-Foro

Résumé

Cet exposé présente la démarche adoptée pour la conception et la réalisation de l'aménagement du bas-fond de Foro-Foro ; cette démarche a été basée essentiellement sur l'utilisation des données disponibles (données climatiques, cartes) et la modélisation.

Le bas-fond de Foro-Foro est situé à 35 km au nord de Bouaké; c'est un bas-fond encaissé, d'environ 15 ha cultivables qui draine un bassin versant de 56 km². La région connaît un régime pluviométrique plus ou moins bimodal. L'analyse des données climatiques existantes amène à distinguer deux périodes principales: la première, d'octobre à mai, connaît un déficit hydrique important qui rend l'irrigation obligatoire pour toute culture alors que la seconde est une période pluvieuse où cependant les périodes de déficit ne sont pas rares et peuvent justifier une irrigation d'appoint.

Les paramètres hydrologiques ont été évalués par application du modèle ORSTOM-CIEH.

L'aménagement retenu consiste en un canal primaire en terre situé sur la rive gauche du basfond et alimenté par une prise au fil de l'eau ; ce canal primaire alimente lui-même six canaux secondaires qui permettent une irrigation gravitaire.

Compte tenu du bilan hydrique, la création d'une retenue pour permettre l'irrigation en saison sèche est probablement faisable ; bien qu'il existe une digue permettant de faire monter le niveau de l'eau pour alimenter le canal d'amenée, on ne dispose pas des données topographiques permettant d'évaluer la capacité de la retenue potentielle ; l'installation d'une telle retenue n'est donc pas envisagée.

Development of the Foro-Foro Inland Valley

Abstract

This report presents the approach used for designing and implementing the development of the Foro-Foro inland valley. This approach was mainly based on using available data (climatic data, maps) and modeling.

The Foro-Foro inland valley is located at 35 km north of Bouaké; it is a steep inland valley of about 15 ha arable land; it drains a watershed of 56 km². In the area, the rainfall regime is more or less bimodal. Analysis of available climatic data allows to distinguish two main seasons: during the first one, from October to May, the important water deficit requires irrigation for every crop,

while the second season is a quite rainy period but where dry periods can justify a complementary irrigation.

The hydrological parameters have been estimated using the ORSTOM-CIEH model.

The water management system which was choosen consists of a primary earthen canal located on the left side of the valley bottom fed by water intake in the water flow without dam (*prise au fil de l'eau*), and feeding itself six secondary canals allowing gravity irrigation.

Given the water balance, it's probably feasible to create a reservoir for dry-season irrigation; although there is a dike allowing water level to rise to feed the supply channel, the topographic data to figure out the capacity of the reservoir are not available; so, the development of such a reservoir is not planned yet.

A.1. Introduction

Le sujet suivant est la suite logique des exposés précédents. Il s'agit de l'étude de cas de l'aménagement du bas-fond de Foro-Foro : nous présenterons la démarche suivie, depuis la recherche d'information et l'emploi de modèles jusqu'à l'aménagement du bas-fond proprement dit (choix techniques et mode de gestion de l'eau).

En tant qu'aménagiste, nous déterminons les données et informations nécessaires pour l'aménagement et procédons à leur collecte. Ensuite, leur traitement par des moyens appropriés et l'extrapolation de certains résultats par utilisation de modèles, aboutit au choix du type d'aménagement à prévoir et au système de gestion de l'eau sur le périmètre.

A.2 Généralités

A.2.1 Localisation

Le bas-fond de Foro-Foro qui fait l'objet de cette étude est situé à environ 35 km au nord de Bouaké, chef-lieu de la région administrative de la vallée du Bandama. Géographiquement Foro-Foro est situé entre 7° 59' de latitude nord et 5°,02' de longitude ouest. L'accès au bas-fond se fait d'abord par la route nationale Bouaké-Katiola puis par la piste rurale.

A.2.2 Le climat

Le climat de la zone correspond au climat équatorial de transition atténué (climat baouléen) caractérisé par quatre saisons dont la limite n'est toujours pas bien définie du fait de l'irrégularité de la pluviométrie (Figure A1): une première saison des pluies de mars à juin; un léger ralentissement des précipitations en juillet; une seconde saison des pluies d'août à octobre; et une saison sèche marquée de novembre à février.

Le déficit hydrique annuel observé dans la zone est supérieur à 600 mm. La figure 1 montre que, dans la région, la période de déficit hydrique s'étend d'octobre à mai, d'où la nécessité d'irriguer pour satisfaire les besoins en eau des plantes pendant cette période. Les aléas pluviométriques peuvent amener à faire une irrigation d'appoint même en période dite non déficitaire (juin à septembre).

Le régime pluviométrique est généralement bimodal avec deux maxima en juin (132 mm) et en septembre (159 mm). La moyenne annuelle des précipitations (1966-1994) est de 1 058 mm. Les variations interannuelles sont très fortes surtout au niveau des périodes les plus pluvieuses de la saison (Figure A2).

L'observation des moyennes mobiles sur trois et cinq ans montre une nette diminution générale de la pluviométrie dans la région depuis 1990. Cette pluviométrie est en deçà des 1 000 mm jugés comme seuil pour les cultures vivrières pluviales (Figure A3).

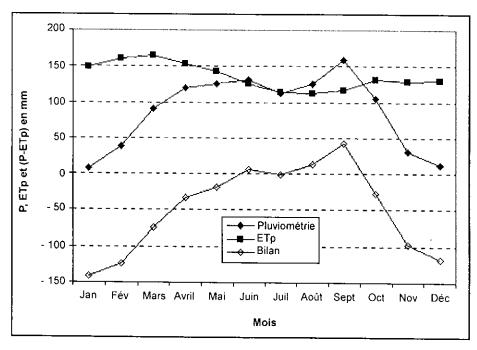


Figure A1. Climat de Bouaké, moyennes mensuelles (P, ETP, déficit) 1966-1994 (Source : aéroport de Bouaké)

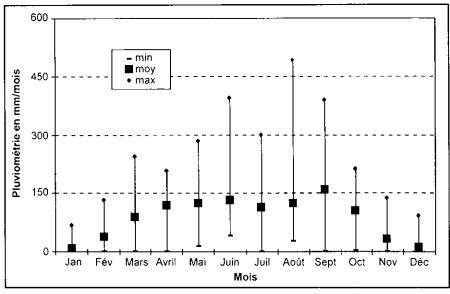


Figure A2. Pluviométrie mensuelle à Bouaké, 1966-1994 (Source : aéroport de Bouaké)

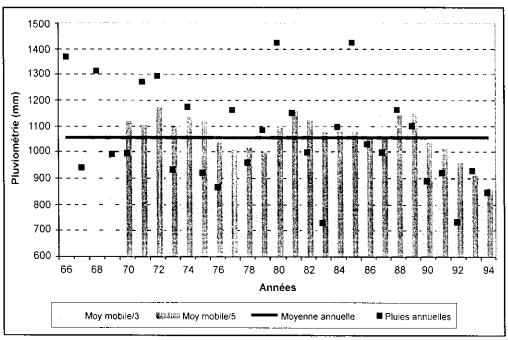


Figure A3. Variation interannuelle de la pluviométrie à Bouaké

A.2.3 Pédologie, topographie et hydrographie

Quand on évalue la ressource en terre, on s'intéresse aux zones dont la pédologie et la topographie sont favorables. En matière d'aménagement hydro-agricole des bas-fonds, on considère quatre classes d'aptitude de sols en fonction de leur infiltrabilité :

- sol convenant bien à la riziculture irriguée de bas-fond avec une vitesse d'infiltration comprise entre 0 et 12 mm/h;
- sol convenant moyennement à la riziculture irriguée de bas-fond avec une vitesse d'infiltration comprise entre 13 et 50 mm/h;
- sol à éviter si possible pour la riziculture irriguée de bas-fond avec une vitesse d'infiltration entre 51 et 100 mm/h;
- sol à déconseiller absolument pour la riziculture irriguée de bas-fond avec une vitesse d'infiltration supérieure à 100 mm/h.

Le manque de données pédologiques pour ce bas-fond nous a amené à ne considérer que les terres entre les talus (plan au 1/2 000 de la plaine).

Quant à la topographie, on note que l'altitude moyenne de bassin versant est de 290 m avec un relief relativement plat. Les pentes transversales sur les versants sont assez fortes (> 4%). La superficie brute aménageable dans ces conditions est d'environ 15 hectares. La pente moyenne longitudinale est beaucoup plus faible que les pentes transversales (< 1%). La superficie du bassin versant est quant à elle de 56 km². Le bas-fond est drainé par le cours d'eau Foro-Foro pour lequel aucune donnée hydrométrique n'est disponible. Il est situé dans le grand bassin versant du fleuve Bandama. Les ressources en eau au niveau du bas-fond sont importantes avec un réseau hydrographique long de 39 km et une densité de drainage du bassin versant de l'ordre de 0.70 km/km². Toutes les rivières qui composent ce réseau hydrographique tarissent pendant la saison sèche. Une retenue d'eau s'avère donc nécessaire pour satisfaire les besoins en eau des cultures en contre saison.

La végétation de la zone du bas-fond est de type savane arborée.

A.3 Aménagement hydro-agricole du bas-fond de Foro-Foro

A.3.1 Objectifs visés

L'aménagement hydro-agricole d'un bas-fond vise généralement :

- à améliorer l'alimentation hydrique (en toute saison si possible) des cultures qui sont pratiquées avec pour conséquence favorable l'accroissement des rendements (irrigation d'appoint en saison pluvieuse et/ou irrigation en contre saison);
- à lutter contre l'érosion des terres du bas-fond;
- a favoriser la recharge de la nappe phréatique.

L'eau constitue à n'en point douter un facteur limitant pour l'agriculture. La variabilité temporelle et spatiale des précipitations constitue de nos jours un facteur explicatif des mauvais rendements des cultures pluviales. Pour accroître les rendements de ces cultures, il est donc indispensable d'améliorer leur alimentation hydrique. Cette amélioration ne pourra se faire à l'échelle d'un bas-fond que par une maîtrise partielle ou totale de l'eau sur le périmètre.

L'aménagement hydro-agricole du bas-fond de Foro-Foro est destiné à l'Institut des savanes (IDESSA) de Bouaké. Il servira de site expérimental pour les travaux de recherche de l'Institut. Une partie du bas-fond est actuellement mise en valeur de façon traditionnelle et l'objectif principal de l'aménagement est l'amélioration de l'alimentation hydrique des plantes par un système simple et fiable. C'est pourquoi on souhaite une gestion souple de la ressource en eau et du réseau d'irrigation. L'aménagement devra permettre une irrigation d'appoint en saison des pluies et si possible, en fonction des caractéristiques de la digue et de la cuvette, une irrigation en contre saison. Ce qui suppose la maîtrise de l'eau sur le périmètre.

A.3.2 Principe d'aménagement

La démarche adoptée pour l'aménagement du bas-fond de Foro-Foro suit le cheminement suivant :

- inventaire et collecte des informations nécessaires ;
- traitement des données disponibles par des moyens appropriés :
- utilisation de modèles et extrapolation des données au site du bas-fond ;
- choix des options techniques et du mode de gestion de l'eau sur le périmètre ;
- réalisation du plan d'aménagement et des ouvrages ;
- estimation du coût des travaux à réaliser.

A.3.3 Données et informations nécessaires

L'aménagement d'un bas-fond nécessite au préalable la connaissance de sa localisation géographique et aussi du milieu physique. Pour ce faire, nous avons besoin des cartes topographiques au 1/50 000 de la zone. Du point de vue hydrologique les données nécessaires à l'aménagement d'un bas-fond sont : la pluie (annuelle et journalière), la température, l'humidité de l'air et du sol. la vitesse du vent, l'ETP (besoins en eau des cultures), le déficit hydrique pour le calage des cycles de culture, la profondeur de la nappe phréatique (pour estimer les apports d'eau souterraine et aussi prévoir un système de drainage sans dommage pour la nappe), l'hydrométrie (niveau et vitesse d'écoulement des cours d'eau). Pour estimer les apports d'eau au niveau du bas-fond on a besoin des données morphométriques et topographiques du bassin versant et du réseau hydrographique qui le compose.

Au niveau du bas-fond même, on a besoin des plans topographiques et pédologiques de la plaine pour déterminer les pentes longitudinale et transversale du bas-fond et l'infiltrabilité des sols. Les données géotechniques sont nécessaires pour l'implantation de la digue d'un barrage. Pour l'estimation des besoins en eau du riz, il convient de déterminer le coefficient cultural, l'efficience du réseau et d'autres paramètres cités plus haut.

Les objectifs de l'étude hydrologique à l'échelle d'un bassin versant pour l'aménagement d'un bas-fond sont :

- l'étude des caractéristiques morphométriques du bassin versant ;
- l'étude du régime hydrométrique des cours d'eau du bassin versant ;
- l'étude du comportement hydrologique de la nappe;
- l'estimation des apports en eau dans le bas-fond en année de pluviométrie moyenne et en année fréquentielle de sécheresse. Cette estimation permet donc d'estimer les superficies irrigables en fonction des apports et de dimensionner un réseau fiable d'assainissement par la détermination de la crue de fréquence donnée contre laquelle le périmètre devra être protégé.

Des données socio-économiques sur la zone du bas-fond sont en principe importantes pour permettre l'évaluation des retombées de l'aménagement. L'étude socio-économique de la zone du bas-fond de Foro-Foro n'a pas été intégrée dans le rapport compte tenu de l'objectif et de la destination de l'aménagement (mise en valeur par les chercheurs).

A.3.4 Données disponibles et mesures complémentaires

Les données disponibles dans le cadre de l'aménagement du bas-fond de Foro-Foro nous ont été fournies par le Bureau national d'études techniques et de développement (ex-DCGTx). Elles concernent essentiellement : la pluviométrie journalière maximale, la pluviométrie annuelle, l'ETP la température moyenne mensuelle. l'insolation moyenne mensuelle, le déficit hydrique moyen mensuel, et les cartes topographiques du bas-fond au 1/2 000 et du bassin versant au 1/50 000.

Les données complémentaires commandées dans le cadre de cette étude concernent : la topographie de la cuvette pour estimer sa capacité de stockage, les caractéristiques de la digue existante, les données pédologiques du bas-fond, le suivi piézométrique du bas-fond pour l'estimation des apports souterrains sur le bas-fond et de la position de la nappe avant et après la mise en valeur, le suivi hydrométrique des cours d'eau (limnigraphe, station de jaugeage) pour la détermination du pourcentage de pluie ruisselée et les débits de crue de ces cours d'eau.

Le manque de suivi piézométrique des bas-fonds en général amène les aménagistes à ne prévoir aucun système de protection de la nappe. Celle-ci est drainée de façon abusive si bien que le bas-fond ne joue plus son rôle de tampon. Cet abaissement excessif de la nappe contredit le principe affiché d'une recharge de celle-ci.

A.3.5 Paramètres estimés et mode de calcul

La modélisation est un moyen de transfert et d'extrapolation des données d'un bas-fond donné à l'échelle régionale ou sous-régionale.

Les modèles d'extrapolation des quelques données existantes sur les bas-fonds à aménager en Afrique de l'Ouest sont des modèles empiriques mis au point par l'ORSTOM et le CIEH. Ils concernent l'estimation des apports en eau superficielle dans le bas-fond et la détermination de la crue de fréquence donnée. Ces deux paramètres sont nécessaires dans le choix du mode d'aménagement et du système de gestion de l'eau à prévoir sur ce bas-fond.

Ainsi, pour déterminer le volume d'eau susceptible de passer par l'exutoire du bassin versant et sur lequel on peut compter pour satisfaire les besoins en eau des cultures, le modèle utilisé est basé sur la formule empirique suivante :

$$V - 1000*E*P*S$$

où:

E = coefficient d'écoulement moyen annuel sur le bassin versant, fonction de la pluviométrie annuelle :

P = pluviométrie annuelle de la zone en mm ;

S = superficie du bassin versant en km².

Le tableau A.1 présente les résultats du calcul en années décennale et quinquennale sèches puis en année moyenne.

Tableau A.1. Apports annuels dans le bas-fond.

Année	Décennale sèche	Quinquennale sèche	Moyenne
Surface du bassin (km²)	56	56	56
Pluie (mm)	880	960	1058
E (%)	3.7	4.9	6.4
Apports (m³)	1 844 000	2 649 000	3 800 000

Faute de données hydrométriques, l'estimation de la crue décennale est quant à elle basée sur la formule suivante :

$$Q = Kr*S*K*P*A/Tb$$

où :

Kr = coefficient de ruissellement sur le bassin versant (21%):

S = superficie du bassin versant (56 km²);

K = coefficient d'abattement, fonction de la pluie annuelle, de la superficie du bassin versant et donné par la formule de VUILLAUME : K = 1-0.001(9logT-0.042Pan+152)logS ; (0.80) ;

P = pluie maximale journalière de fréquence donnée, obtenue par analyse statistique des pluviométries journalières maximales (107 mm);

A = coefficient de pointe du débit maximum donné par analyse de la checklist (2,6);

Tb = temps de base de l'hydrogramme de crue obtenu à l'aide d'abaques établis par l'ORSTOM (23 heures).

Le calcul donne une crue de fréquence décennale de 30 m³/s. Elle devra être évacuée par le drain principal constitué par le lit mineur du cours d'eau.

Parmi les paramètres estimés, les besoins en eau des plantes constituent un facteur important dans la détermination de la quantité d'eau à mobiliser et de la superficie irrigable. Le réseau d'irrigation est aussi fonction de ce paramètre. Une sous-estimation des besoins provoque des pénuries d'eau sur le périmètre, tandis qu'une surestimation augmente le coût net à l'hectare aménagé. Les paramètres nécessaires à leur calcul sont : l'évapotranspiration potentielle (ETP), le coefficient cultural (Kc), la pluviométrie et l'efficience du réseau.

Les besoins globaux des cultures sont pour les deux cycles annuels envisagés de 30 000 m³.

A.3.6 Options techniques de l'aménagement

Critères d'aménagement des bas-fonds

Plusieurs critères entrent en ligne de compte pour décider oui ou non de l'aménagement hydroagricole d'un bas-fond et choisir le système de gestion de l'eau. Entre autres il y a :

- la disponibilité de la ressource en terre ;
- la topographie : les pentes ne doivent pas être trop importantes, pour limiter les terrassements qui non seulement reviennent cher mais qui pourraient favoriser un gaspillage d'eau. La pente longitudinale limite est de l'ordre de 2 % et la valeur maximale de la pente transversale est de 5 % :
- la disponibilité de la ressource en eau, car celle-ci constitue un facteur limitant pour l'agriculture. Les apports en eau dans le bas-fond sont de deux ordres :
 - les apports souterrains dus à la nappe phréatique. Ces apports sont difficilement quantifiables dans les bas-fonds faute de suivi piézométrique de ceux-ci. Ils sont négligés dans la pratique quotidienne,
 - les apports superficiels dus au ruissellement des eaux de pluie. Ceux-ci sont estimés soit à l'aide de modèles empiriques mis au point par l'ORSTOM, soit par les données hydrométriques des cours d'eau. On ne dispose pas de données hydrométriques sur l'ensemble des cours d'eau du bassin versant considéré,
- l'estimation des besoins en eau des cultures comparativement à la disponibilité de l'eau sur le bas-fond. Cette estimation implique la connaissance des données climatologiques telles que la température, l'humidité relative, la vitesse du vent pour estimer d'abord l'évapotranspiration (ETP);
- la connaissance des saisons de la région pour faciliter le calage des cultures ;
- les possibilités financières du bénéficiaire de l'aménagement ;
- et enfin, l'étude socio-économique réalisée auprès des populations bénéficiaires.

A.4 Plan d'aménagement pour le bas-fond Foro-Foro

A.4.1 Réseau et ouvrages

Le réseau d'irrigation proposé (Figure A4) est composé d'un canal primaire de 1 300 mètres de long. Celui-ci est prévu en rive gauche du bas-fond. Il est en terre et de section trapézoïdale. Il transporte dans le premier tronçon un débit de 75 l/s soit trois mains d'eau, 50 l/s dans le second et enfin une main d'eau dans le dernier tronçon correspondant respectivement à l'alimentation en aval de trois, deux et un quartier hydraulique. L'alimentation du canal primaire est assurée par une PFE (prise au fil de l'eau) constituée de :

- un chenal d'amenée pour alimenter la PFE;
- un seuil en béton armé, équipé de madriers amovibles permettant de réguler le niveau d'eau derrière la digue ;
- un bassin de dissipation en béton muni de deux déversoirs d'ou part le canal primaire d'irrigation.

Outre le canal primaire, le réseau d'irrigation est constitué de six canaux secondaires transportant chacun un module de 25 l/s. Ils sont tous en terre et de section trapézoïdale. La prise des canaux secondaires sur le canal primaire sont constituées de :

- un seuil dans le canal primaire assurant un niveau constant au droit de la prise;
- une prise avec vannette en tôle à l'entrée pouvant être réglée dans différentes positions et verrouillée. Elle alimente un tuyau PVC Ø 200 mm qui déverse dans un ouvrage en béton au départ du canal secondaire.

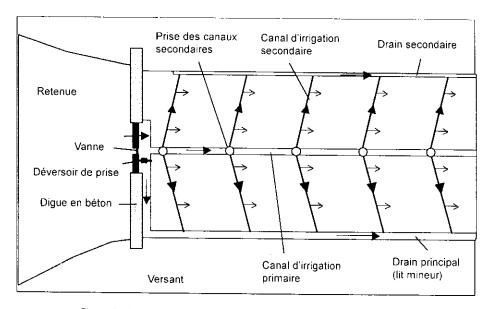


Figure A4. Vue schématique (en plan) de l'aménagement du bas-fond Foro-Foro

Cependant sur les tronçons du canal principal transportant une main d'eau ces prises sont remplacées par des prises du type « tout ou rien ». L'assainissement du périmètre des eaux sauvages est assuré par des canaux situés en bout de parcelle. Ils sont dimensionnés pour évacuer en 48 heures maximum la pluie maximale journalière de fréquence décennale (107 mm).

A.4.2 Système de gestion de l'eau proposé

Les apports en eau superficielle dans le bas-fond étant suffisants, il serait souhaitable, compte tenu de l'objectif et de la destination de l'aménagement, d'arriver à une maîtrise totale de l'eau par la création d'une retenue. Celle-ci devra stocker l'eau de ruissellement afin qu'elle soit disponible au moment opportun.

Il existe dans le bas-fond une digue en béton dont les caractéristiques n'étaient pas connues au moment de l'étude. C'est pourquoi il n'existe pas de données topographiques concernant la cuvette susceptible de stocker l'eau derrière la digue. On ne peut donc pas estimer la capacité de stockage. Le mode de prise d'eau préconisée dans cette situation est une « prise au fil de l'eau » (PFE) utilisant la digue existante comme seuil pour relever le niveau de l'eau afin d'alimenter le canal primaire d'irrigation. Dans ces conditions, on ne peut pas prévoir avec certitude la faisabilité de deux cycles de riz même si l'estimation des apports en eau dans le bas-fond montre que ceux-ci sont nettement supérieurs aux besoins en eau de la culture pendant les deux cycles. En effet, les apports en eau superficielle dans le bas-fond en année décennale sèche sont de 1 844 000 m³ tandis que les besoins en eau de deux cycles de riz par an sont de 30 000 m³ environ. Mais les cours d'eau n'étant pas pérennes. l'alimentation du canal d'irrigation ne sera pas assurée en contre saison. La prise d'eau permet seulement de dériver une partie de la crue pour l'irrigation et évacue le reste dans le drain principal. Il n'y a donc pas de possibilité de stockage d'eau afin d'assurer l'alimentation des plantes au moment opportun. La maîtrise d'eau est donc partielle sur le périmètre. Dans ce cas l'aménagement ne permet qu'une irrigation d'appoint en saison des pluies.

Signalons au passage que le levé topographique de la digue et de la cuvette a été réalisé par le service de topographie du BNETD comme nous l'avons recommandé dans notre étude. Les plans topographiques et les caractéristiques de la digue seront disponibles sous peu, permettant alors d'envisager avec objectivité une maîtrise totale de l'eau sur le périmètre et au moins deux cycles de culture par an.

L'irrigation se fera de façon totalement gravitaire sur tout le périmètre. On adopte le mode de distribution de l'eau à la parcelle dit « au tour d'eau ». Il s'agit de définir un nombre de jours fixe entre deux arrosages consécutifs sur une même parcelle. Ce tour d'eau se fait à l'intérieur d'un quartier hydraulique qui recevra par jour d'irrigation une main d'eau de 25 l/s. Il est prévu des ouvrages ponctuels pour faciliter l'irrigation sur le périmètre.

A.4.3 Coût des trayaux a réaliser

Les travaux de l'aménagement du périmètre comprennent les phases suivantes :

- mise en forme des casiers par planage;
- construction des canaux d'irrigation (primaire sur 1 300 ml et secondaires sur 892 ml);

- construction des ouvrages de distribution et de franchissement ;
- construction des canaux d'assainissement :
- création d'une piste périmétrale de 1 500 m environ : et
- construction d'aires de battage et de séchage.

Le devis estimatif de l'aménagement du bas-fond de Foro-Foro donne un coût net à l'hectare aménagé de 1 010 000 F CFA environ (soit environ 1 680 \$ EU. 1 \$ EU = 600 F CFA).

A.5 Conclusion

L'aménagement des bas-fonds se heurte en général au manque de données et d'informations. A notre sens ceci conduit à généraliser l'utilisation de modèles afin d'extrapoler celles des données qui existent, au bassin versant drainé par le bas-fond étudié. Les modèles utilisés pour l'estimation des apports en eau superficielle et de la crue décennale sont ceux mis au point par le CIEH et l'ORSTOM. Ce sont des modèles empiriques basés sur les résultats du suivi d'un certain nombre de bassins versants en Afrique de l'Ouest et du Centre. Ils donnent des résultats plus ou moins satisfaisants même si l'erreur sur leur utilisation est souvent grande. La mise en place d'une base de données relatives à l'hydrométrie des cours d'eau du bassin versant étudié, au suivi piézométrique de la nappe du bas-fond, à la topographie, à la pédologie, etc. s'avère nécessaire pour une bonne mise en valeur des bas-fonds.

Les apports en eau superficielle dans le bas-fond même en année décennale sèche sont largement suffisants pour satisfaire les besoins en eau de deux cycles de culture de riz. Cependant cette eau devra pouvoir être mobilisée en temps opportun. Le manque de données sur la digue déversante existante et la cuvette ne nous permet pas d'envisager avec objectivité deux cycles par an. L'irrigation est donc une irrigation d'appoint pour pallier à la variation dans le temps de la pluviométrie. Les sols favorables à la riziculture irriguée sont ceux compris entre les talus, soit environ 15 hectares nets aménageables. L'irrigation est totalement gravitaire sur tout le périmètre. La mobilisation de l'eau est assurée par une PFE et la distribution sur les parcelles est faite par des canaux d'irrigation au moyen d'ouvrages appropriés. Le système de gestion de l'eau proposé est le tour d'eau dans un quartier hydraulique. Il a l'avantage d'être simple et adapté à l'irrigation gravitaire.

Le développement des bas-fonds doit tenir compte de la position de la nappe dans le bas-fond afin d'éviter un drainage excessif. C'est pourquoi le suivi hydrométrique des principaux cours d'eau des bas-fonds s'avère nécessaire afin d'estimer les apports en eau superficielle dans le bas-fond et les débits de crues contre lesquelles on devra protéger le périmètre.

About the West Africa Rice Development Association (WARDA)

The West Africa Rice Development Association (WARDA) was formed as an autonomous intergovernmental research association in 1971 by 11 countries, with the assistance of the United Nations Development Programme (UNDP), the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), and the Economic Commission for Africa (ECA). Today, the Association comprises 17 member states: Benin, Burkina Faso, Cameroon, Chad, Côte d'Ivoire, the Gambia, Ghana, Guinea, Guinea Bissau, Liberia, Mali, Mauritania, Niger, Nigeria, Senegal, Sierra Leone and Togo. Since 1987, WARDA has also been a member of the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR), a network of 16 international research centers supported by more than 50 public- and private-sector donors.

WARDA's mission is: to contribute to food security and poverty eradication in poor rural and urban populations, particularly in West and Central Africa, through research, partnerships, capacity strengthening and policy support on rice-based systems, and in ways that promote sustainable agricultural development based on environmentally sound management of natural resources.

WARDA's research and development activities are carried out in collaboration with the national agricultural research systems of member states, academic institutions, international donors and other organizations, to the ultimate benefit of West and Central African farmers-mostly smallscale producers—who cultivate rice, as well as the millions of African families who eat rice as a staple food.

WARDA Headquarters are at M'bé, 35 km north of Bouaké, a major commercial center in Côte d'Ivoire. WARDA also operates research stations at N'Diaye, near Saint-Louis, Senegal, and at the International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria.

L'Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest (ADRAO)

L'Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest est une association de recherche intergouvernementale autonome créée en 1971 par 11 pays avec l'assistance du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et la Commission économique pour l'Afrique (CEA). Elle regroupe aujourd'hui 17 pays membres : Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Libéria, Mali, Mauritanie, Niger, Nigeria, Sénégal, Sierra Leone, Tchad et Togo. Depuis 1987, l'ADRAO est membre du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (GCRAI), un réseau de 16 centres de recherche agricole internationaux soutenu par plus de 50 donateurs du secteur public et privé.

L'ADRAO a pour mission de contribuer à la sécurité alimentaire et à l'éradication de la pauvreté des populations rurales et urbaines démunies, particulièrement en Afrique de l'Ouest et du Centre, grâce à la recherche, au partenariat, au renforcement de la capacité et à l'appui aux politiques en faveur des systèmes à base riz et ceci de manière à promouvoir un développement agricole durable fondé sur une gestion des ressources naturelles, respectueuse de l'environnement.

En collaboration avec les systèmes nationaux de recherche agricole des pays membres, des institutions académiques, des donateurs internationaux et divers organismes, les travaux de l'ADRAO profitent finalement aux agriculteurs africains - en particulier aux petits exploitants - qui cultivent du riz et également aux millions de familles africaines dont le riz est la nourriture de base.

Le siège de l'ADRAO se trouve à M'bé, 35 km au nord de Bouaké, un centre commercial important en Côte d'Ivoire. L'ADRAO a aussi des stations de recherche à N'Diaye près de Saint-Louis au Sénégal et à l'Institut international d'agriculture tropicale (IITA) à Ibadan au Nigeria.

Main Research Center and Headquarters/ Siège et centre principal de recherche

WARDA Sahel Station/ Station Sahel

WARDA Nigeria Station/ Station Nigeria

WARDA/ADRAO 01 B.P. 2551 Bouaké 01 Côte d'Ivoire

ADRAO B.P. 96 Saint-Louis Sénégal

WARDA c/o International Institute of Tropical Agriculture (IITA) Oyo Road, PMB 5320 Ibadan Nigeria

Tel./Tél. (225) 31 65 93 00/31 63 45 14 (225) 31 65 93 11/31 63 47 14

(225) 22 41 18 07

E-mail/Courrier électronique : warda@cgiar.org

Web Site/Site web :

http://www.warda.cgiar.org/

Tel./Tél. (221) 962 6493

(221) 962 6441 Fax (221) 962 6491

E-mail/Courrier électronique : warda-sahel@cgiar.org Tel./Tél. (234-2) 241 2626 Fax (234-2) 241 2221 E-mail/Courrier électronique : iita@cgiar.org

Inland Valley Consortium

The inland valleys represent an important potential for intensified rice cultivation and crop diversification in Sub-Saharan Africa. But poor water control is a main constraint to their development.

The Inland Valley Consortium brings together national and international institutions working to promote more intensive, and sustainable use of inland valleys.

The second scientific workshop was held in June 1997. It was an occasion to identify the land development schemes adapted to different types of inland valleys, and to inventory required data and useful criteria to choose a development scheme.

These proceedings include a synthesis of the discussions held during the workshop and a case study.

Consortium bas-fonds

Les bas-fonds présentent un potentiel important pour l'intensification rizicole et la diversification des cultures en Afrique sub-saharienne. Mais la mauvaise maîtrise de l'eau constitue un obstacle majeur à leur mise en valeur.

Le Consortium bas-fonds (IVC/CBF) regroupe des institutions nationales et internationales qui travaillent à promouvoir une utilisation plus intensive et plus durable des bas-fonds.

Le second atelier scientifique du consortium bas-fonds s'est tenu en juin 1997. Il a permis de dégager les types d'aménagement adaptés aux différents bas-fonds, et de recenser les données nécessaires et les critères à prendre en compte pour faire le choix d'un aménagement.

Ce compte rendu présente la synthèse des travaux et des discussions conduits pendant l'atelier ainsi qu'une étude de cas.



Members of IVC in 1997

Membres du CBF en 1997

National Institutes

Instituts nationaux

Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Ghana, Guinée, Mali, Nigeria, Sierra Leone, Togo

International Institutes

Instituts internationaux

WARDA/ADRAO, West Africa Rice Development Association/Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest

CIRAD, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations IITA, International Institute for Tropical Agriculture ILRI, International Livestock Research Institute SC-DLO, Winand Staring Center for Integrated Land, Soil and Water Research WAU, Wageningen Agricultural University

West Africa Rice Development Association (WARDA)
Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest (ADRAO)
01 BP 2551 Bouaké 01
Côte d'Ivoire

