HAL
open science

Atlas de l'eau du bassin de la Volta = Water atlas of the Volta basin

Jacques Lemoalle, D. De Condappa

▶ **To cite this version:**

Jacques Lemoalle, D. De Condappa. Atlas de l'eau du bassin de la Volta = Water atlas of the Volta basin. CGIAR/CPWF ; IRD, 96 p., 2009. ird-00505116

HAL Id: ird-00505116

https://ird.hal.science/ird-00505116

Submitted on 22 Jul 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Challenge Program Water and Food
Institut de Recherche pour le Développement

Water Atlas of the Volta Basin

Atlas de l'eau du Bassin de la Volta

Jacques Lemoalle
Devaraj de Condappa

2009

CGIAR Challenge Program on WATER & FOOD

IRD Institut de recherche pour le développement

MiseEnPageVOLTAfin.indd 1 30/12/09 11:03:39

Acknowledgements
Remerciements

This atlas presents findings from the Volta Basin Focal Project (BFP Volta), PN55. BFP Volta was a project of the Challenge Program on Water and Food (CPWF), a reform initiative of the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR). The project was funded by CPWF and France's Institut de Recherche pour le Développement (IRD).
We thank the many inhabitants of the Volta Basin who contributed to the project by sharing their data, their knowledge of the land and the people, and their experience.

Cet atlas est issu des travaux effectués dans le cadre du PN55, Basin Focal Project Volta du Challenge Programme pour l'Eau et l'Alimentation (CPWF) mis en œuvre par le Groupe Consultatif pour la Recherche Agricole Internationale (GCRAI). Le projet a été financé par le CPWF et l'IRD (Institut de recherche pour le Développement, France).
Nous remercions les nombreux habitants du bassin qui ont apporté une contribution utile au projet, par la mise à disposition de données, par leur connaissance du terrain et des hommes et par le partage de leur expérience.

Further information on the CPWF and on BFP Volta can be found on the following web sites:
Plus d'informations sur le CPWF, sur le BFP Volta sont disponibles sur les sites suivants:
http://cpwfbfp.pbworks.com/Publications+from+Volta
http://www.waterandfood.org

Conception and realization - Conception et réalisation graphique :
Isolde de Zborowski, CIRAD, France

Photography - Photographie : Jacques Lemoalle, IRD, France

This document should be cited as - Ce document doit être cité :
Lemoalle J., de Condappa D., 2009. Water atlas of the Volta Basin-Atlas de l'eau dans le bassin de la Volta. Challenge Program on Water and Food and Institut de Recherche pour le Développement, Colombo, Marseille, 96 p.

© CGIAR Challenge Program on Water and Food,
Institut de recherche pour le développement, 2009

Fair use: You are free to quote from, or reproduce, sections of this publication without further permission, provided the Challenge Program on Water and Food (CPWF) and IRD are acknowledged as the source. We would also appreciate receiving a copy of the publication in which the content is reproduced.

La citation ou la reproduction de parties de cet ouvrage est libre, sous la condition que le Challenge Programme Eau et Alimentation et l'IRD sont cités comme étant la source utilisée.

ISBN CPWF: 978-92-95090-00-2
ISBN IRD : 978-2-7099-1687-5

MiseEnPageVOLTAfin.indd 2 30/12/09 11:03:39

Foreword

Préface

The scientists involved in the Volta Basin synthesis project (BFP Volta of the CGIAR Challenge Program on Water and Food) collected and produced a great deal of information on water resources and their uses at the scale of the entire basin. Their work benefited from frequent interactions with the Volta Basin Authority and its committee of national experts and, in return, provided managers and policymakers with useful information for management and decision-making at the basin level, which had hitherto been poorly documented.

This atlas makes a great deal of the data collected available to a broader public. In particular, it includes information on climate change and its possible impact on hydropower generation, as well as on a basin-scale model of water allocation designed to facilitate cross-border cooperation.

It is our hope that this atlas, in illustrating the relationship between water and food over the entire Volta Basin, will enable national, regional and international policymakers to improve the targeting of their initiatives in favour of the poorest.

Dr Charles A. Biney
Acting Executive Director
Volta Basin Authority

Dr Alain Vidal
Director
CGIAR Challenge Program
on Water and Food

Les chercheurs impliqués dans la synthèse du bassin de la Volta (BFP Volta du Challenge Programme Eau et Alimentation du GCRAI) ont rassemblé et produit un grand nombre d'informations concernant la ressource en eau et ses usages à l'échelle du bassin. Leur travail a bénéficié d'échanges fréquents avec l'Autorité du Bassin de la Volta et son collège d'experts nationaux et, en retour, fournit aux gestionnaires et décideurs des éléments utiles pour la gestion et la prise de décision à une échelle jusqu'ici mal documentée.

Cet atlas met à la disposition d'un public plus large une grande partie des informations collectées. Il inclut en particulier quelques éléments sur le changement climatique et son influence possible sur la génération d'hydroélectricité, ainsi que sur un modèle d'allocation de l'eau à l'échelle du bassin destiné à faciliter les coopérations transfrontalières.

En illustrant le lien entre eau et alimentation à l'échelle du bassin de la Volta, cet atlas, nous l'espérons, permettra aux décideurs nationaux, régionaux et internationaux, de mieux cibler leurs interventions en faveur des plus pauvres.

Dr Charles A. Biney
Acting Executive Director
Volta Basin Authority

Dr Alain Vidal
Director
CGIAR Challenge Program
on Water and Food

MiseEnPageVOLTAfin.indd 3 30/12/09 11:03:40

The participants to the BFP Volta
Les participants au BFP Volta

Core team
Équipe d'animation

Winston ANDAH, WRI, Accra, Ghana
Philippe CECCHI, IRD, Ouagadougou, Burkina Faso
Devaraj de CONDAPPA, IRD, Montpellier, France
Jacques LEMOALLE, project coordinator, IRD, Montpellier, France
Isabelle TERRASSON, IRD (now BRL, Nîmes) France

Have also contributed au BFP Volta
Ont également contribué au BFP Volta

Mekke ANDERSON, CIAT, Cali, Colombia
Felix Ankomah ASANTE, ISSER, Accra, Ghana
Christophe BENE, Worldfish, Cairo, Egypt
Jean-François BOYER, HSM-IRD, Montpellier, France
Anne CHAPONNIERE, IWMI, Accra, Ghana
Jean-Charles CLANET, IRD, Montpellier, France
Evariste Constant DA DAPOLA, Univ. Ouagadougou, Burkina Faso
Claudine DIEULIN, HSM-IRD, Montpellier, France
Jean-Marie DIPAMA, INSD, Ouagadougou, Burkina Faso
Myles FISHER, Comidas Limitada COMIL, Cali, Colombia
Larry HARRINGTON, Cornell University and CPWF
Valérie HAUCHART, Univ. Reims, France
Edmond HIEN, IRD/Univ. Ouagadougou, Burkina Faso
Erik KEMP-BENEDICT, SEI, USA
Camille MARQUETTE, G-Eau (IRD), Montpellier, France
Aude MEUNIER-NIKIEMA, INSD, Ouagadougou, Burkina Faso
Marie MOJAISKY, Verseau Développement, Montpellier, France
Madiodio NIASSE, IRD, Montpellier, France
Jean-Noël PODA, INSS, Ouagadougou, Burkina Faso
Jorge RUBIANO, National University of Colombia, Palmira, Colombia
Aaron RUSSEL, Worldfish, Cairo, Egypt
Tom SOO, Verseau Développement, Montpellier, France

With collaboration of Masters interns
Avec la collaboration de stagiaires de Master

Victor BRUNEL,
Joël CACHERA,
Abir BEN SLIMANE,
Fabien LANGLOIS,
Julien HENIQUE,
Orianne LABBE.

The help of the BFP Central and of CPWF Head Office is gratefully acknowledged.
We are also very much indebted for the help we have received from numerous people, administrations and institutions in the basin countries.

Notre profonde reconnaissance s'adresse à l'office central du BFP et au siège du CPWF pour leur soutien constant au cours de l'élaboration de cet ouvrage.
Mais nous sommes aussi très largement redevables aux nombreux citoyens, administrations et institutions des pays du bassin, qui nous ont prodigué leur aide sans restriction.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 4 30/12/09 11:03:40

Contents
Sommaire

Acknowledgements – Remerciements
Foreword – Préface
Introduction – Introduction

Part I - The water resource of the Volta Basin
Partie I - La ressource en eau du bassin de la Volta

1. The Volta basin: localisation and relief — 10 - 13
1. Le bassin de la Volta : situation et relief
2. Rainfall — 14 - 19
2. La pluie
3. Main rivers and average streamflows — 20 - 25
3. Les principaux cours d'eau et leur débit moyen
4. Groundwater — 26 - 31
4. Les eaux souterraines
5. Evapotranspiration — 32 - 35
5. L'évapotranspiration
6. The water budget of the Volta basin — 36 - 39
6. Le bilan hydrique du bassin de la Volta
7. Wetlands — 40 - 43
7. Les zones humides
8. Water-related diseases — 44 - 49
8. Les maladies liées à l'eau

Part II - Uses of the water resource of the Volta Basin
Partie II - Utilisation de la ressource en eau du bassin de la Volta

9. Water availability — 52 - 55
9. Les ressources en eau disponibles
10. Access to drinking water — 56 - 59
10 . L'accès à l'eau potable
11. Large irrigated schemes — 60 - 67
11. Les grands périmètres irrigués
12. Small reservoirs — 68 - 71
12. Les petits réservoirs
13. Rain-fed food cropping systems — 72 - 75
13. Systèmes de culture pluviale vivrière
14. Water Productivity of rain-fed food crops — 76 - 79
14. La productivité de l'eau des cultures pluviales vivrières
15. Inland fisheries — 80 - 83
15. La pêche continentale
16. Hydropower production — 84 - 89
16. La production hydroélectrique
17. Future changes and impacts — 90 - 96
17. Les changements futurs et leur impact

MiseEnPageVOLTAfin.indd 5 30/12/09 11:03:40

Main references
Principales références

A number of documents and databases were used extensively during the BFP Volta project. Bibliographical information for these sources is presented below.

Un certain nombre de documents ou bases de données ont été largement utilisés au cours du Projet BFP Volta. Leurs références sont présentées ci-dessous.

Publications - Publications

Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), United Nations Food and Agriculture Programme (FAO), and Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2005. Gridded Population of the World: Future Estimates (GPWFE). Palisades, NY: Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. Available at *http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw (Accessed June 2008)*.

Dieulin C., 2007. *Afrique de l'Ouest et centrale. Bassins hydrographiques*. Paris, IRD Éditions.

Direction Générale de l'Eau et de l'Assainissement (Togo), 2007.- Appui à la mise en place de la GIRE (Gestion Intégrée de la Ressource en Eau) et à la formulation d'un programme OMD dans le secteur eau potable et assainissement. Lomé, Togo.

Direction Générale de l'Hydraulique (Burkina Faso), 2000. Ouvrages de mobilisation des ressources en eau. Inventaire et pertinence du suivi. Version provisoire. Ministère de l'environnement et de l'eau, Ouagadougou, mai 2000.

Jarvis A., Reuter H. I., Nelson A., Guevara E., 2006. Hole-filled SRTM for the globe Version 3. Available at *http://srtm.csi.cgiar.org (Accessed June 2008)*.

Kirby M., Mainuddin M., ud-Din Ahmad M., Marchand P., Zhang L., 2006. Water use account spreadsheets with examples of some major river basins. *9th International River Symposium*, 3-6 September 2006, Brisbane. Available at: *www.riversymposium.com/index.php?element=06KIRBYMac. (Accessed January 2009)*.

Lehner B., Döll P., 2004. Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *Journal of Hydrology,* 296/1-4: 1-22.

Moniod F., Pouyaud B., Séchet P., 1977. *Le bassin du fleuve Volta*. Paris, Orstom, 513 p. Available at *http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/Mon_hydr/04351.pdf (Accessed January 2008)*.

Obeng-Asiedu P., 2004. *Allocating water resources for agricultural and economic development in the Volta river basin*. Doctoral thesis, University of Bonn, Germany. Available from:
http://www.glowa-volta.de/publications/printed/thesis_pobenga.pdf (Accessed January 2008).

Web sites - Sites internet

Burkina Faso: Agristat 3.5.1. Direction Générale des Prévisisons et des Statistiques Agricoles. Available at *http://agristat.bf.tripod.com/ (Accessed July 2008)*.

CITYPOPULATION: *http://www.citypopulation.de (Accessed July 2008)*.

CRU- Climate Research Unit: dataset TS 2.10:
http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_2.10/ (Accessed July 2008).

DGSCN - Direction Générale de la Statistique et de la Comptabilité Nationale (Togo):
http://www.stat-togo.org/ (Accessed July 2008).

FAO GeoNetwork: *http://www.fao.org/geonetwork (Accessed March 2009)*.

Volta HYCOS- Hydrological Cycle Observing System:
http://www.whycos.org/rubrique.php3?id_rubrique=69

INS - Institut National de la Statistique (Ivory Coast): *http://www.ins.ci/ (Accessed July 2008)*.

INSAE - Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (Benin):
http://www.insae-bj.org/ (Accessed July 2008).

Mapping Malaria Risk in Africa (MARA) / Atlas du Risque de la Malaria en Afrique (ARMA):
http://www.mara.org.za/ (accessed July 2008).

Sierem - Système d'informations environnementales sur les ressources en eaux et leur modélisation:
http://www.hydrosciences.fr/sierem/ (accessed January 2009).

Wetlands International: *http://www.wetlands.org/ (Accessed February 2009)*.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 6 30/12/09 11:03:40

Introduction

Introduction

Management of freshwater resources is an issue that concerns all of humanity, though to varying degrees. Poor people in developing countries are particularly concerned today and, given these countries' population growth, will be still more so in the future. The question can be examined at various spatial scales. In practice, the scale that is generally considered appropriate for both analysis and operational management is the catchment basin. The Challenge Program on Water and Food has adopted this scale for its analyses of water resources and their uses, aimed at increasing food production and improving the living conditions of rural people, while at the same time preserving the environment.

The borders of river basins rarely coincide with those of administrative entities, groundwater tables, trade and agro-climatic zones. At the other extreme, small farmers are more concerned by what happens on their own plots. It is thus important to match the analytical scale to the question being investigated.

The main advantage of using the basin scale is that it obliges the analyst to consider the interdependence of the countries or communities, upstream and downstream, that share a basin or sub-basin. Allocation of water resources should thus be handled principally at this scale, but water managers and decision-makers rarely have basin-scale data available, particularly in the case of cross-border basins. The approach adopted for the Challenge Program on Water and Food's BFP Volta project made it possible to collect and develop data at the scale of the entire Volta Basin. These data are synthesised here in the form of an atlas accessible to the general public.

An atlas provides a snapshot of a situation at a given moment, and will thus necessarily change over time. Some data that could not be collected during the project will be incorporated in future online versions of the atlas.

Briefly, the Volta Basin is characterised by a north-south gradient in rainfall distribution, with high variability in both time and space, and a high rate of evapotranspiration. As a result, almost 90% of rainwater returns to the atmosphere through evapotranspiration, and river flows are extremely sensitive to rainfall variations. Subsistence agriculture, the great majority of which is rainfed, suffers from the variability of rainfall in the central area of the basin, as well as from poor soils and insufficient use of organic and mineral fertilisers. Small-scale irrigation from small dams could provide a useful complement of water to subsistence crops in the northern and central parts of the basin, without compromising flows into Lake Volta and hydroelectric power generation.

La question de la gestion de la ressource en eau douce concerne à des degrés divers l'ensemble de l'humanité. Les populations pauvres des pays en développement y sont particulièrement exposés dans la période actuelle, et plus encore à l'avenir du fait de leur démographie. Cette question peut être abordée à différente échelles. Dans la pratique, le bassin versant est généralement considéré comme une échelle convenable d'analyse et de gestion opérationnelle. Cette échelle a été adoptée par le Challenge Programme Eau et Alimentation pour analyser la ressource en eau et ses usages en vue d'améliorer la production de nourriture et les conditions de vie des populations rurales tout en préservant l'environnement.

Les frontières administratives des états, des nappes d'eau souterraines, des échanges économiques, ou des zones agroclimatiques ne suivent que rarement les limites des bassins versants. A l'autre extrême, le petit paysan est davantage concerné par ce qui se passe sur sa parcelle. Il convient donc d'accorder l'échelle d'analyse à la question posée.

L'échelle du bassin versant a pour principal avantage qu'elle oblige à prendre en compte l'interdépendance entre l'amont et l'aval, que ce soit entre pays ou entre communautés qui partagent un même bassin ou sous bassin. L'allocation de la ressource doit donc se faire essentiellement dans ce cadre. Il est cependant rare que les gestionnaires et décideurs disposent de données et

MiseEnPageVOLTAfin.indd 7 30/12/09 11:03:41

d'informations à cette échelle, surtout pour les bassins transfrontaliers. Par son approche, le projet BFP Volta du Challenge Programme Eau et Alimentation a permis la collecte et la production de données à l'échelle du bassin de la Volta qui sont résumées ici sous la forme d'un atlas accessible au plus grand nombre.

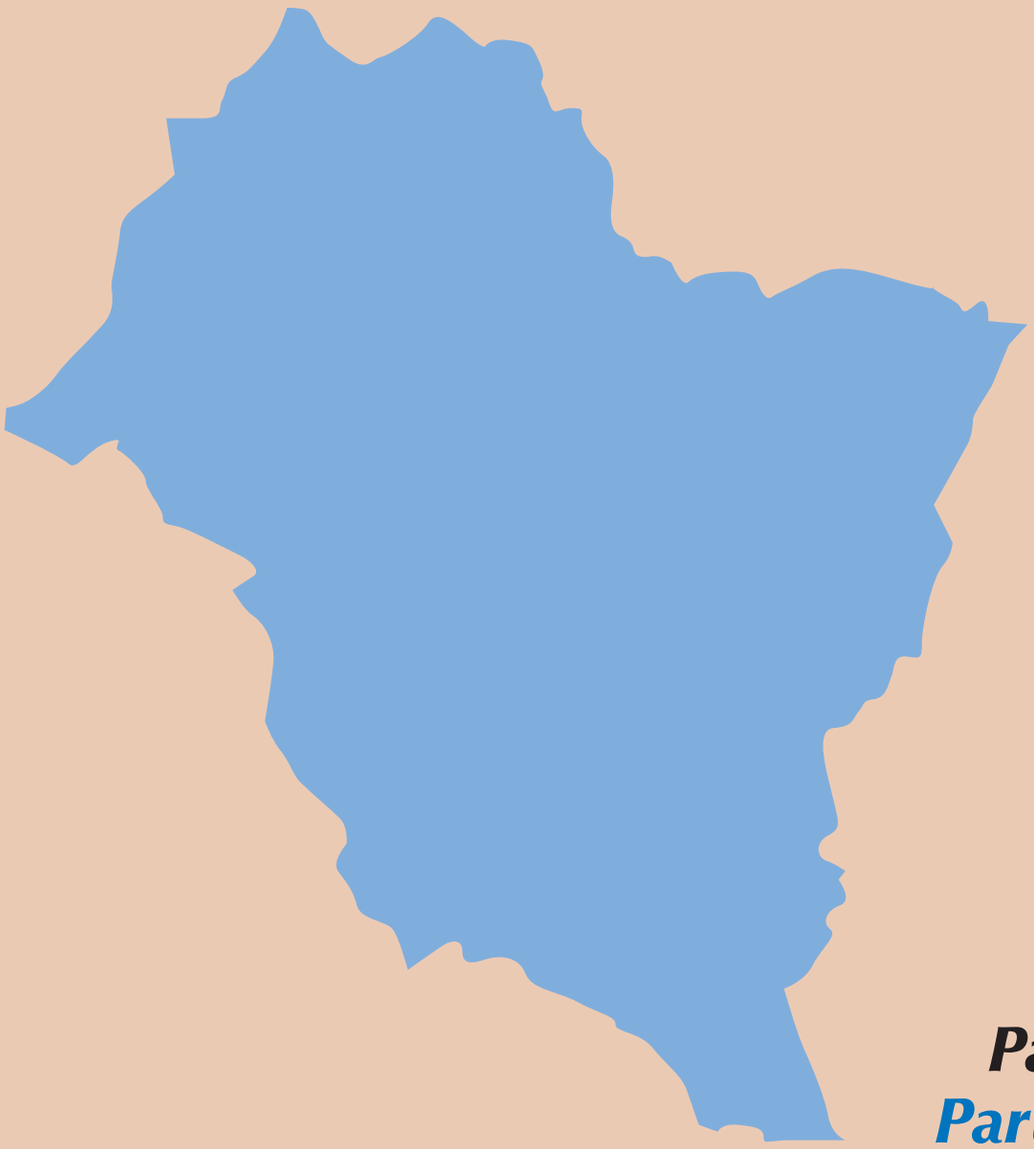
Un atlas donne un état des lieux à un moment donné. Il est donc nécessairement évolutif. Certaines données qui n'ont pu être collectées lors du déroulement du projet seront intégrées dans les versions futures de l'atlas en ligne.

En résumé, le bassin de la Volta se caractérise par un gradient nord-sud de la distribution des pluies, avec une forte variabilité dans le temps et dans l'espace, et une forte évapotranspiration. Il en résulte que près de 90 % de l'eau de pluie retourne vers l'atmosphère par évapotranspiration, et que le débit des rivières est extrêmement sensible aux variations de la pluviométrie. L'agriculture vivrière, très majoritairement pluviale, souffre de la variabilité des pluies dans la zone centrale du bassin, et aussi de la pauvreté des sols insuffisamment compensée par des apports d'engrais organiques et minéraux. La petite irrigation à partir des petits barrages peut compléter utilement les cultures vivrières dans les parties nord et centrale du bassin, sans compromettre sensiblement les apports en eau au Lac Volta et la production hydroélectrique.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 8 30/12/09 11:03:41

The water resource of the Volta Basin

La ressource en eau du Bassin de la Volta



Part I
Partie I

1 The Volta Basin: localisation and relief

Le bassin de la Volta : situation et relief

The Volta basin is located in West Africa between latitudes 9°N to 15°N and longitudes 6°W to 3°E (Map1.1). Its three main tributaries originate:

– in Burkina Faso: the Black Volta River (called Mouhoun in Burkina Faso) and the White Volta (called Nakambé in Burkina Faso),

– and in Benin: the River Pendjari, which becomes the River Oti in Togo.

These rivers meet in Lake Volta and constitute the River Volta downstream Akosombo dam. The Mouhoun and Oti rivers are respectively part of the borders between Ghana, Burkina Faso and Ivory Coast for the former and between Togo, Benin, Ghana and Burkina Faso for the latter.

The basin is shared by the six countries as indicated in Table 1.1. It covers an important part of Burkina Faso (61%), Ghana (70%) and Togo (46%), and much less in the other countries. Ghana and Burkina Faso combined account for 85% of the basin.

Le bassin de la Volta est situé en Afrique de l'Ouest entre les latitudes 9° et 15° N et les longitudes 6° W à 3° E (carte1.1). Ses trois principaux affluents prennent leur source :

– au Burkina Faso : le Mouhoun, ex Volta noire, et le Nakambé, ex-Volta blanche ;

– au Bénin : la Pendjari qui devient Oti au Togo.

Ces rivières se rejoignent dans le lac Volta pour former la Volta en aval du barrage d'Akosombo. Sur une partie de leur cours, le Mouhoun et l'Oti ou Pendjari sont des fleuves frontaliers respectivement du Ghana, Burkina Faso et Côte-d'Ivoire, d'une part et du Togo, Bénin, Ghana et Burkina Faso d'autre part.

Le bassin est partagé par six pays, dans les proportions indiquées dans le tableau 1.1. Il couvre une part importante du Burkina Faso (61 %), du Ghana (70 %) et du Togo (46 %), mais beaucoup moins des autres pays. Réciproquement, c'est aussi le Ghana et le Burkina Faso qui occupent la plus grande part du bassin, 85 % à eux deux.

Table 1.1: Area of each Volta Basin country included in the basin, and the share of the basin belonging to each country. Source: FAO GeoNetwork for the country boundaries and Dieulin (2007) for the basin limits.

Tableau 1.1 : Surfaces respectives des pays incluses dans le bassin de la Volta, et proportion du bassin dans chacun des pays. Sources : GeoNetwork de la FAO pour les frontières nationales et Dieulin (2007) pour les limites du bassin.

Country Pays	Area inside the Volta Basin Surface à l'intérieur du bassin (km²)	% of the Basin Part du bassin appartenant à chaque pays – (%)	% of the country Part du pays appartenant au bassin – (%)
Benin	*15,069*	4%	13%
Burkina Faso	*168,004*	43%	61%
Ivory Coast	*12,950*	3%	4%
Ghana	*167,298*	42%	70%
Mali	*4,801*	1%	< 1%
Togo	*26,001*	7%	46%
Total	*394,123*	100%	-

The limits and area of the basin differ slightly depending on the bibliographic sources. Those which are used in this atlas have been determined by Dieulin (2007), using the topographic database GTOPO30 of the United States Geological Service (USGS) complemented with other publications (e.g. Moniod *et al.*, 1977) and field observations by scientists with local experience. The area of the basin as identified on Map 1.1 is **394,123 km².**

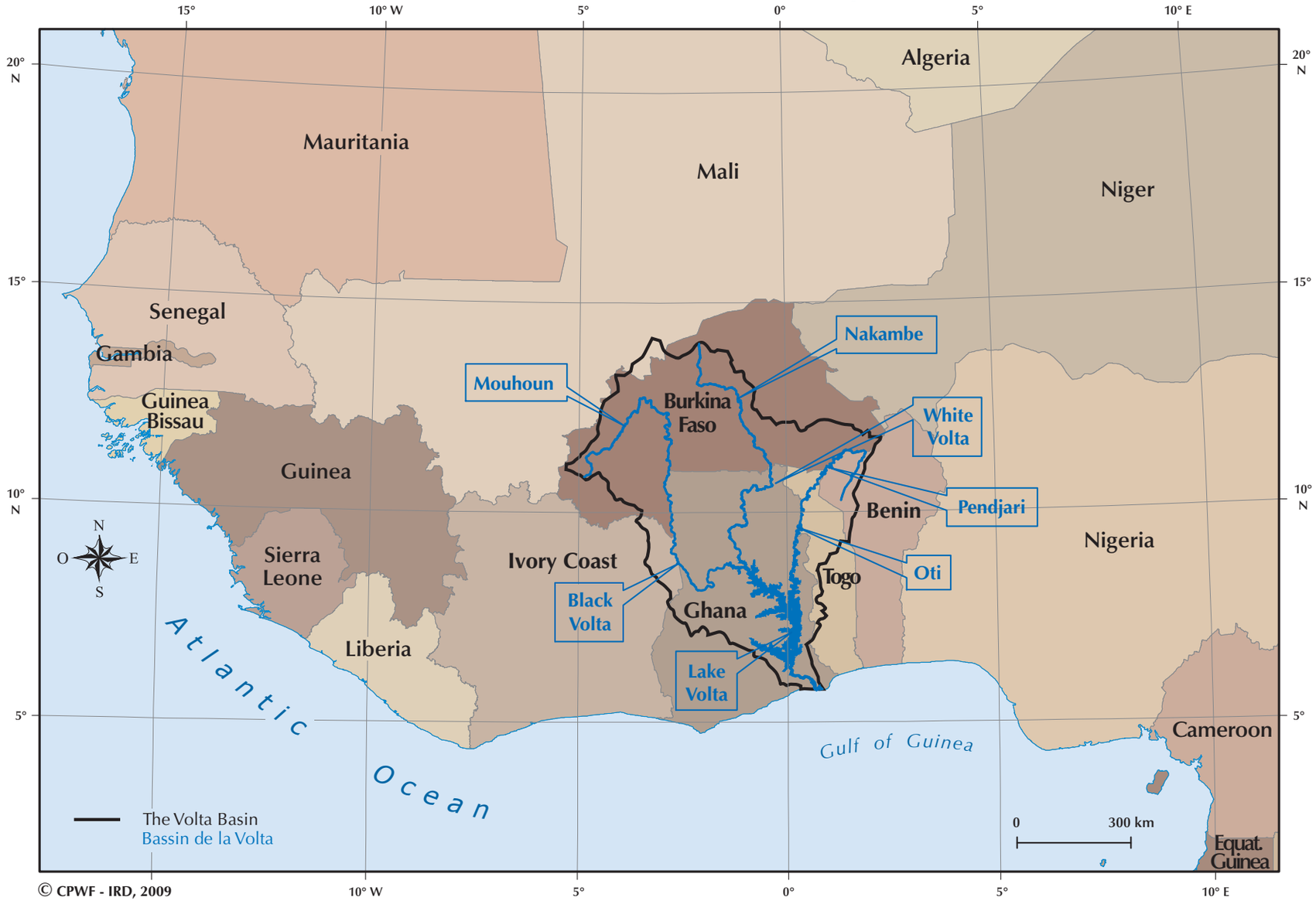
The area computed by Moniod *et al.* (1977), with some differences in the limits of the basin, was 398,390 km².

Les limites et la surface du bassin peuvent varier légèrement suivant les sources utilisées. Celles qui sont retenues ici ont été définies par Dieulin (2007) à partir de la base GTOPO30 de l'United States Geological Service (USGS), complétées par les ouvrages de référence tels que Moniod *et al.* (1977) et la connaissance du terrain de chercheurs spécialistes de la région. La surface correspondant aux limites présentées sur la carte 1.1 est de **394 123 km²**.

Avec quelques différences sur le tracé des limites, le bassin défini par Moniod *et al.* (1977) a une surface totale de 398 390 km².

MiseEnPageVOLTAfin.indd 10 30/12/09 11:03:42

Map 1.1 - Location of the Volta Basin in West Africa
Carte 1.1 - Situation du bassin de la Volta en Afrique de l'Ouest



Source: *FAO GeoNetwork (2009) and Dieulin (2007).*
Source : *FAO GeoNetwork (2009) et Dieulin (2007).*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 11 30/12/09 11:03:43

The differences between published estimates of the basin area are mainly a result of the delimitation of its northern boundaries, where runoff is limited, of short duration and of uncertain direction. This is particularly true of the area north of the Sourou River, in Mali, which depending on the author is considered either as part of the Sourou Basin, as a closed basin or as a tributary of the River Niger.

The Volta Basin has a rather simple shape. The eastern border is delimited by a series of hills and mountain ranges, initially oriented south-north and gradually tilting towards the north-east. These are, from south to north, the Akwapim Range, the Togo Mountains, the Fazao Mountains and the Atacora Range in Benin, which reaches the Niger Basin. The Oti River flows along the western side of this ridge. The Kwahu plateau, starting at Akosombo Gorge and directed toward the north-west, separates the Volta Basin from the small coastal river basins of Ghana. The Volta Basin lies north of these two ridges. To the west of Bobo-Dioulasso, the Banfora plateau is the only main northern relief. The Volta basin is thus delimited by clearly identified hills only at its southern and eastern limits; elsewhere, the altitude of the eroded plain increases slowly and regularly from south to north (Moniod *et al.,* 1977; Sierem, 2009).

The low relief of the basin may be summarised by the following characteristics:

– 95% of the basin lies below 400 m,

– 87% of the basin is comprised between 200 and 400 m asl,

– the basin slope index is 0.25 m/km.

Les différences entre estimations tiennent principalement à la limite nord du bassin dans la zone sahélienne, où l'écoulement est rare, intermittent et de direction incertaine. C'est en particulier le cas au nord du bassin du Sourou, au Mali, avec une région considérée selon les auteurs soit comme rattachée au Sourou, soit endoréique ou encore affluent intermittent du Niger.

La forme bien ramassée du bassin de la Volta résulte de la disposition du relief qui en marque les frontières. C'est notamment, à partir de la mer, l'Akwapim, suivi des monts du Togo, des monts du Fazao et de la chaîne de l'Atacora qui forment un arc montagneux initialement orienté vers le nord puis s'inclinant vers le nord-est jusqu'au fleuve Niger. Situé à l'ouest de cette chaîne, le bassin de l'Oti est ainsi séparé des rivières et fleuves du Togo et du Bénin. Le plateau de Kwahu, qui s'étend de la gorge d'Akosombo vers le nord-ouest, isole le bassin de la Volta des bassins côtiers méridionaux. C'est dans l'angle formé par ces deux édifices montagneux que s'étend le bassin de la Volta. À l'ouest de Bobo-Dioulasso, le plateau de Banfora est le seul relief notable dans le nord du bassin. Le relief du bassin n'est donc un peu accentué qu'à ses frontières orientale et méridionale ; partout ailleurs il est peu marqué, la pénéplaine s'élevant lentement et très progressivement du sud vers le nord (Moniod *et al.,* 1977 ; Sierem, 2009).

Ce relief peu marqué du bassin se traduit par les données suivantes :

– 95 % du bassin sont à une altitude inférieure à 400 m,

– 87 % du bassin sont à des altitudes comprises entre 200 et 400 m,

– l'indice global de pente est de 0,25 m/km.

References
Références

Dieulin C., 2007. *Afrique de l'Ouest et centrale. Bassins hydrographiques*. Paris, IRD Éditions, 1 map.
http://www.hydrosciences.fr/sierem/produits/produits/livret.pdf. Accessed on 23-03-2009

FAO, 2009. GeoNetwork available at *http://geonetwork-opensource.org/. Accessed on 31-03-2009.*

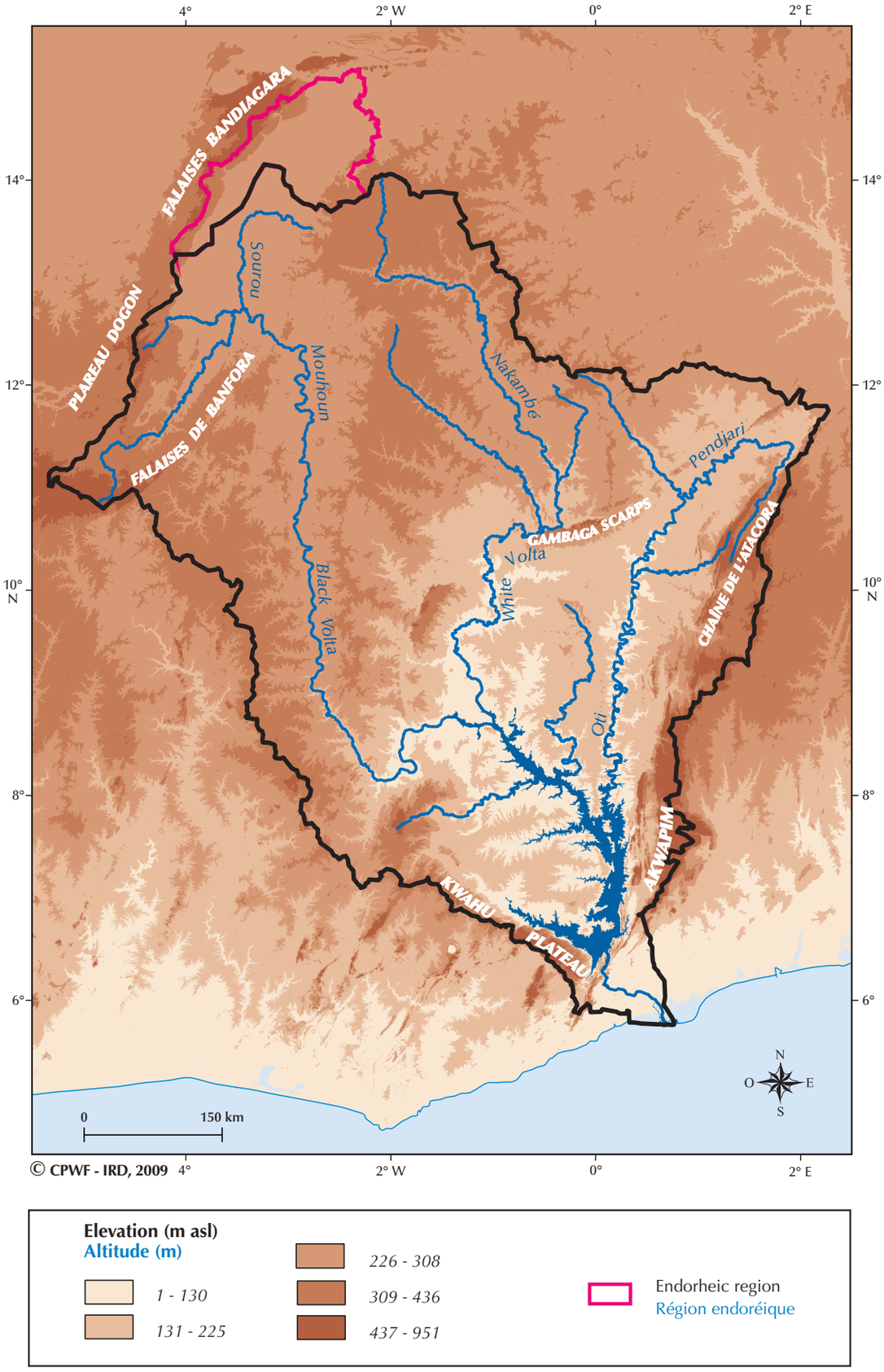
Jarvis A., Reuter H.I., Nelson A., Guevara E., 2008. Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from
http://srtm.csi.cgiar.org. Accessed on 24-04-2009.

Moniod F., Pouyaud B., Séchet P., 1977. *Le bassin du fleuve Volta*. Paris, Orstom, 513 p.
http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/pleins_textes_6/Mon_hydr/04351.pdf

Sierem (Système d'informations environnementales sur les ressources en eau et leur modélisation), 2009. *http://www.hydrosciences.fr/SIEREM/produits/gis/Volta.asp. Accessed on 30-01-2009.*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 12 30/12/09 11:03:44

Map 1.2 - The relief and main water bodies of the Volta basin
Carte 1.2 - Le relief et les principales eaux de surface du bassin de la Volta



Source: *Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Model (Jarvis* et al.*, 2008); and Dieulin (2007).*
Source : *Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Model (Jarvis* et al.*, 2008) ; et Dieulin (2007).*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 13 30/12/09 11:03:45

2 Rainfall
La pluie

The climate of the Volta Basin displays great variability in rainfall distribution:

– spatial variability, with a south-north gradient of increasing aridity,

– medium-term variability, with alternating dry and wet periods at the scale of the basin as a whole,

– strong spatial and short-term variability within a given rainy season.

This variability is compounded by the uncertainty resulting from global climate change, whose impact seems to have been fairly well identified where temperature is concerned, but not yet for rainfall.

Spatial variability

The intertropical convergence zone (ITCZ), which is especially strongly marked in the western half of Africa, separates the hot, moist south-west monsoon from the Harmattan, a very dry wind from the Sahara, with a strong north-easterly component. Rainfall distribution over the basin, with a sharp north-south gradient, depends on the seasonal displacement of the ITCZ. The farther north the ITCZ moves, and the longer it stays there during the northern summer, the more abundant the rains will be.

This north-south gradient has been used as the basis for identifying the following main agro-climatic zones of the basin according to the FAO classification for West Africa (FAO/GIEWS, 1998) (Map 2.1):

- The Sahelian zone, located in the northernmost part of the basin, defined as receiving less than 500 mm of rainfall per year, from May to September. This is a rangeland area where the primary activity is transhumant livestock herding, supplemented by some millet and drought-resistant cowpea.
- The Sudano-Sahelian zone, covering most of Burkina Faso and a small part of Mali, defined as receiving between 500 and 900 mm of rainfall per year (see Ouagadougou on Figure 2.1). Millet, sorghum and maize are the main food crops, with cotton, groundnuts and some sedentary cattle for cash income.
- The Sudanian zone, comprising the northern half of Ghana and those parts

Le climat du bassin de la Volta est marqué par une forte variabilité de la distribution des pluies :

– variabilité spatiale, avec un gradient sud-nord d'aridité croissante,

– variabilité à moyen terme, avec alternance de périodes sèches et humides à l'échelle du bassin,

– forte variabilité spatiale et à court terme au sein d'une saison des pluies.

À cette variabilité s'ajoute l'incertitude résultant du changement climatique global, dont les conséquences semblent assez bien identifiées en termes de température, mais encore mal déterminées en ce qui concerne les pluies.

Variabilité spatiale

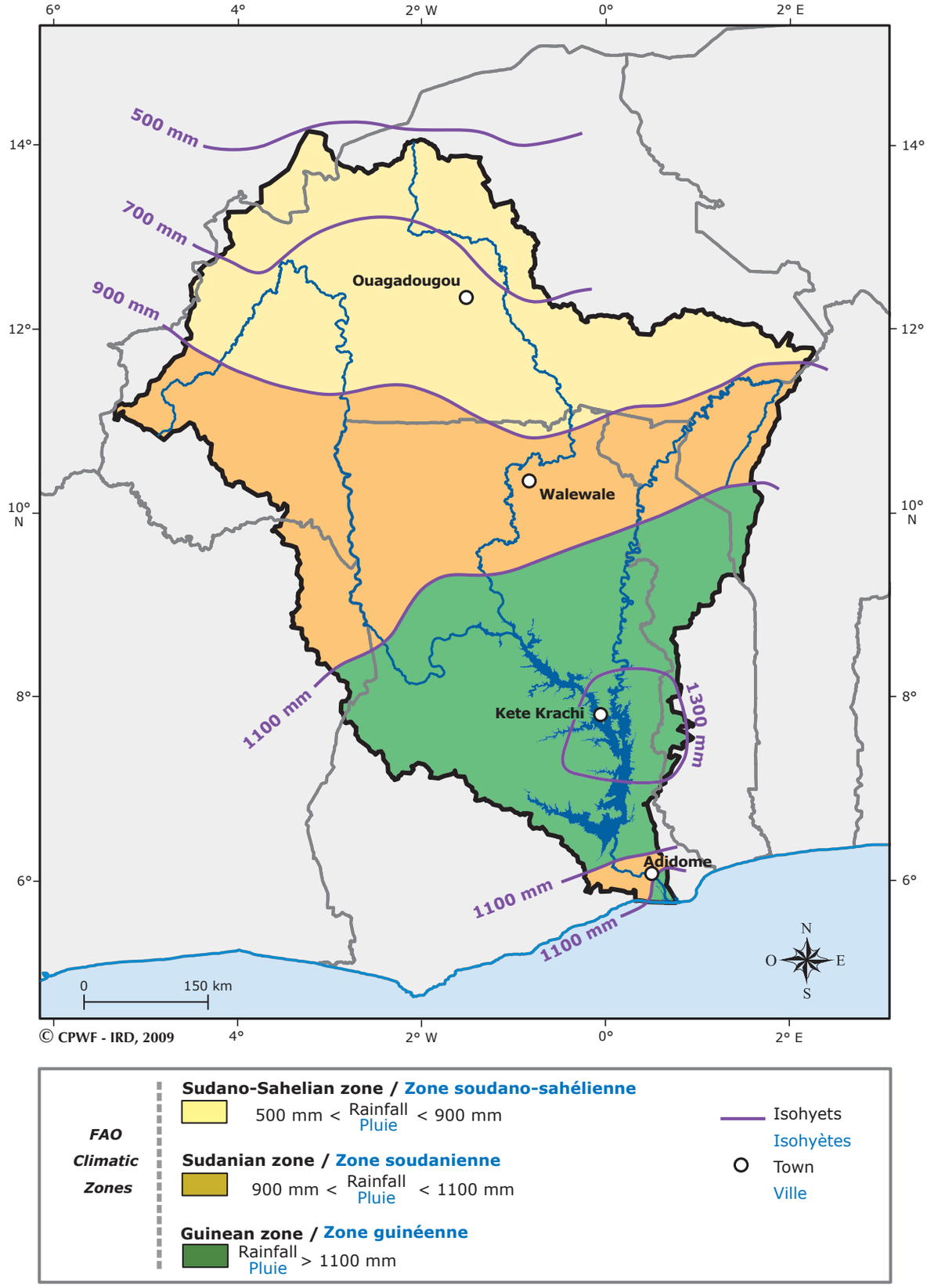
La zone de convergence intertropicale (ITCZ), particulièrement bien marquée sur la moitié occidentale de l'Afrique, sépare la mousson de sud-ouest, chaude et humide, de l'Harmattan, vent saharien très sec à forte composante nord-est. La distribution des pluies sur le bassin, avec un net gradient nord-sud, dépend du déplacement saisonnier de la zone de convergence intertropicale. Les pluies sont d'autant plus abondantes que l'ITCZ monte plus au nord, et y reste plus longtemps durant l'été boréal.

Ce gradient nord-sud a permis d'identifier les principales zones agro-climatiques du bassin selon la classification de la FAO pour l'Afrique de l'Ouest (FAO/GIEWS, 1998) (carte 2.1).

- Le Sahel, situé à la limite nord du bassin, reçoit moins de 500 mm de pluie annuelle, entre mai et septembre. C'est une région de pâturages où l'élevage transhumant est la principale activité, complétée par la culture du mil et de niébé.
- La zone sahélo-soudanienne, qui couvre presque tout le Burkina Faso, est définie comme recevant entre 500 et 900 mm de pluie par an (voir Ouagadougou sur la figure 2.1). C'est une zone céréalière, avec production de mil, de sorgho et de maïs, avec en culture de rente, le coton, et l'arachide. L'élevage est de type sédentaire.
- La zone soudanienne comprend la partie nord du Ghana ainsi que les fractions de Côte-d'Ivoire, du Togo et Bénin qui

MiseEnPageVOLTAfin.indd 14 30/12/09 11:03:45

Map 2.1 - Agro-climatic zones
Carte 2.1 - Zones agro-climatiques



Isohyets distribution and agro-climatic zones for the period 1990-2000. Data from CRU.
Répartition des isohyètes et zones agro-climatiques pour la période 1990-2000. Données de CRU.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 15 30/12/09 11:03:47

of Ivory Coast, Benin and Togo which lie in the basin, defined as receiving between 900 and 1,100 mm of rainfall per year. The rainfall pattern is also unimodal and spreads over 8 months, from March to October (see Walewale in Figure 2.1). This is a transitional zone where both cereals and tubers are produced. Some cattle are present seasonally.

• The Guinean zone, covering the southern part of Ghana and receiving in excess of 1,100 mm of rainfall per year. Toward the south, the rainfall pattern spreads over the entire year and tends to become bimodal. There is a first rainy season from January-February to July and a second from August to November-December (see Kete Krachi and Adidome in Figure 2.1). The main crops are yams, cassava and plantains.

The length of the «growing season» or «growing period» (LGS or LGP), as defined by FAO (1978), is the period (in days) during a year when precipitation exceeds half the potential evapotranspiration (0.5 ET_O). This period is shown in Figure 2.1 for the four stations presented to illustrate the north-south rainfall gradient. In calculating LGS, a period required to evapotranspire an assumed 100 mm of water from excess precipitation stored in the soil profile is sometimes added.

appartiennent au bassin. Elle reçoit entre 900 et 1 100 mm de pluie annuelle. Le régime est encore unimodal, mais les pluies durent 8 mois, de mars à octobre (voir Walewale sur la carte ou figure 2.1). C'est une zone de transition où sont cultivés les céréales et les tubercules. Le bétail y est présent de façon saisonnière.

• La zone guinéenne couvre la partie méridionale du Ghana, et reçoit plus de 1 100 mm par an. Vers le sud, le régime tend à devenir bimodal et les pluies sont réparties tout au long de l'année, avec deux saisons plus pluvieuses, la première de janvier-février à juillet, et la seconde d'août à novembre-décembre (voir Kete Krachi et Adidome sur la figure 2.1). Le manioc, l'igname et la banane plantain sont ici les principales cultures vivrières.

La période de croissance de la végétation, telle que définie par FAO (1978) est celle pendant laquelle la pluie est supérieure à la moitié de l'évapotranspiration potentielle (0,5 ET_O). Cette période apparaît pour les quatre stations illustrant le gradient pluviométrique en figure 2.1. Pour le calcul de LGS, on ajoute parfois le temps nécessaire pour que la végétation perde 100 mm supplémentaires résultant de l'excès de précipitation stocké dans le sol.

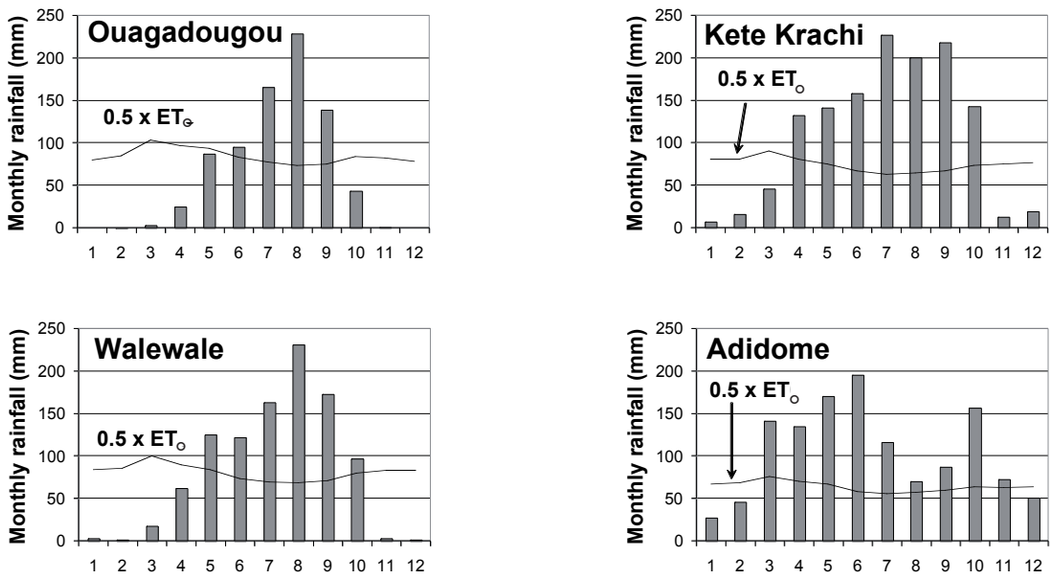


Figure 2.1: Rainfall distribution for the 1990-2000 period. ET_O is the reference evapotranspiration. Data from CRU, using the Hargreaves (1994) method for ET_O calculation.

Figure 2.1 : Répartition de la pluie pour la période 1990-2000. ET_O est l'évapotranspiration de référence. Données de CRU en utilisant la méthode de Hargreaves (1994) pour le calcul de l'ET_O.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 16 30/12/09 11:03:48

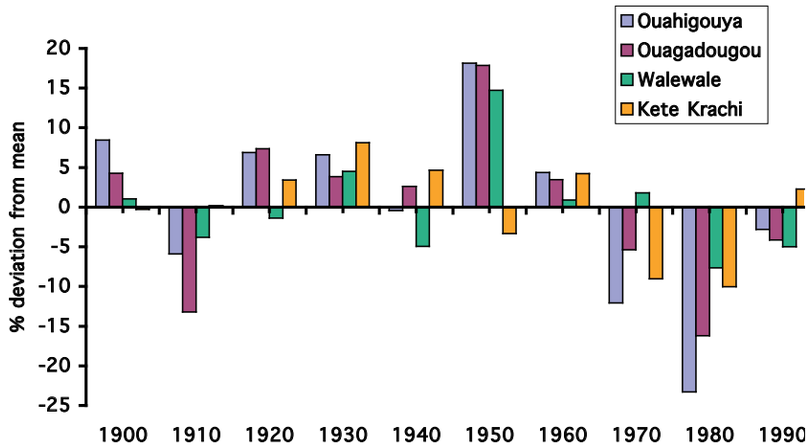


Figure 2.2: Variation of annual rainfall since 1900 at four locations in the basin. The deviation from the mean for each decade is expressed as a % of the long-term centennial average. After a wet period from 1950 to 1970, rainfall has systematically remained below the long-term average. Data from CRU.

Figure 2.2 : Évolution des précipitations sur quatre stations du bassin depuis 1900. Les écarts de chaque décennie sont exprimés en % de la moyenne du siècle. Après une phase humide de 1950 à 1970, les pluies sont restées systématiquement inférieures à la moyenne du siècle. Données du CRU.

Medium-term variability

West Africa has experienced large variations in rainfall over the last few decades, with a sharp break about the year 1970. The 1930s, 1950s and 1960s were relatively wet, while the 1940s, 1970s and 1980s were dry. The years 1972-1973 saw the beginning of a severe drought that has eased slightly since the late 1990s (L'Hôte *et al.*, 2002; Brooks, 2004) (Figure 2.2). In the Volta Basin, the isohyets of the Sahelian and Sudano-Sahelian zones moved about 150 km to the south during the climate transition of the early 1970s (L'Hôte and Mahé, 1996), but this trend will not necessarily continue, as the 1990s were wetter than the two preceding decades.

Short-term variability in space and time

Dry periods of 5 days or more during the rainy season pose a considerable risk for rainfed crops. When these dry spells occur at critical periods in the vegetative cycle, they have a strong impact on the harvest. The probability of such interruptions is higher in the north.

The studies conducted by the African Monsoon Multidisciplinary Analyses (AMMA) Project have shown that in the Sudano-Sahelian zone annual rainfall often varies by a factor of 2 within a range of 80 km (AMMA, 2009), which makes

Variabilité à moyen terme

L'Afrique de l'Ouest a connu de fortes variations des précipitations au cours des dernières décennies, avec une rupture nette autour de l'année 1970. Les décennies 1930, 1950 et 1960 ont été relativement humides, les décennies 1940, 1970 et 1980 ont été sèches. Les années 1972-1973 ont marqué le début d'une sécheresse très marquée s'atténuant légèrement à partir de la fin des années 1990 (L'Hôte *et al.*, 2002 ; Brooks, 2004) (figure 2.2). Sur le bassin, les isohyètes des zones sahélienne et soudano-sahélienne se sont déplacées d'environ 150 km vers le sud au cours de la transition climatique du début des années 1970 (L'Hôte et Mahé, 1996). Il n'est cependant pas assuré que cette tendance se maintienne à l'avenir, la décennie 1990 ayant été sensiblement plus humide que les deux précédentes.

Variabilité à court pas d'espace et de temps

Un risque important pour les cultures pluviales réside dans les interruptions de 5 jours ou plus au cours de la saison des pluies. Lorsqu'elles interviennent à des périodes critiques du cycle végétatif, ces périodes sèches ont un fort impact sur la récolte. La probabilité de ces interruptions augmente vers le nord.

Les études menées par le projet d'Analyse multidisciplinaire de la mousson africaine

MiseEnPageVOLTAfin.indd 17 30/12/09 11:03:49

for considerable uncertainty in extrapolations between distant gauging stations.

Global climate change

The impact of global climate change on rainfall in the Volta Basin is not well understood. Existing models give widely divergent results, but on the whole they indicate only moderate change (School of Geography and the Environment, 2009; IPCC, 2007). The three scenarios considered by BFP Volta all include a 2°C increase in average temperature (IPCC, 2007), with three different rainfall trends:

– an average situation, in which the isohyets of the 1980-2000 period remain unchanged,

– a relative drought, with the isohyets displaced 1° to the south,

– an increase in rainfall, with the isohyets displaced 1° to the north (Lemoalle, 2007).

These trends correspond roughly to the situations observed in various previous decades. An aspect of their impact is studied in section 17.

The time and space distribution of rainfall in the basin determines the river hydrology and the available water resources.

(AMMA) ont montré que la pluie reçue en zone sahélo-soudanienne au cours d'une même saison varie souvent d'un facteur 2 sur une distance de 80 km (AMMA, 2009). C'est un facteur d'incertitude lors d'extrapolations entre stations climatiques distantes.

Le changement climatique global

L'impact du changement climatique global sur la pluviométrie dans la région du bassin de la Volta est mal défini. Les modèles divergent encore très largement, mais indiquent globalement des changements modérés (School of Geography and the Environment, 2009 ; IPCC, 2007). Les trois scénarios envisagés par le BFP Volta comportent tous les trois une augmentation de la température moyenne de 2 °C, (IPCC, 2007) et trois évolutions de la pluviométrie comprenant :

– une situation moyenne, conservant les isohyètes de 1980-2000,

– une sécheresse relative avec un déplacement de 1° vers le sud des isohyètes,

– une augmentation de la pluviométrie avec un déplacement des isohyètes de 1° vers le nord (Lemoalle, 2007).

Ces évolutions correspondent approximativement aux situations observées au cours de diverses décennies antérieures. Leur impact est étudié en partie dans le chapitre 17.

La distribution des pluies, dans le temps et dans l'espace, détermine le régime hydrique des rivières et les ressources utilisables.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 18 30/12/09 11:03:49

References:
Références :

AMMA (African Monsoon Multidisciplinary Analyses), 2009. *www.amma-international.org/. Accessed 09/03/2009.*

Brooks N., 2004. *Drought in the African Sahel: long-term perspectives and future prospects*. Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich, Working Paper 61, 31 p.

FAO, 1978. *Report on the agro-ecological zones project. Vol. 1: Results for Africa*. World Soil Resources Report 48/1. FAO, Rome, 158 p.

FAO/GIEWS, 1998. Sahel Report No. 5/98 (10 October 1998), General Text. *www.fao.org/docrep/004/x0059e/x0059e00.htm. Accessed 05/02/2009.*

Hargreaves G.H., 1994. Defining and using reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120: 1132-1139.

IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p.

Lemoalle J., 2007. *Global trends in the Volta basin. Volta Basin Focal Project Report No. 3*. IRD, Montpellier, France, and CPWF, Colombo, Sri Lanka, 26 p. *http://cpwfbfp.pbwiki.com/Publications+from+Volta. Accessed 31/01/2009.*

L'Hôte Y., Mahé G., 1996. *Afrique de l'Ouest et centrale, précipitations moyennes annuelles (période 1951–1989)*. Map scale 1:6,000,000. Paris, Orstom Éditions.

L'Hôte Y., Mahé G., Somé B., Triboulet J-P., 2002. Analysis of a Sahelian rainfall index from 1986 to 2000; the drought continues. *Hydrological Sciences Journal,* 47: 563-572.

School of Geography and the Environment, 2009. UNDP Climate Change Country Profiles. University of Oxford. *http://country-profiles.geog.ox.ac.uk. Accessed 20/02/2009.*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 19 30/12/09 11:03:50

3 Main rivers and average streamflows

Les principaux cours d'eau et leur débit moyen

The Volta basin contains three main river systems converging downstream into Lake Volta:

– the Mouhoun, formerly Volta Noire in Burkina Faso, becomes Black Volta in Ghana,

– the Nakambé, formerly Volta Blanche in Burkina Faso, becomes White Volta in Ghana. Its main tributary in Burkina Faso is River Nazinon, formerly Volta Rouge and Red Volta in English,

– the Pendjari in Benin becomes Oti River in Togo and Ghana.

Although the drainage density is quite high (Map 3.1), only the rivers originating in the lower latitudes are perennial, reflecting the North-South gradient of the rainfall (Map 2.1 and Figure 2.1). This is the case for the upper part of the Black Volta in Burkina Faso and of the Pendjari in Benin/Burkina Faso. Some dams contribute to some flow regulation, and have changed previously seasonal rivers into perennial streams. This is the case for the White Volta downstream of Bagré (Map 3.2)

Three main directions of the river network can be seen, resulting from fractures in the geological substratum: N-S, SW-NE and SE-NW.

The Black Volta has its source in the Sudanian zone of the basin, in Burkina Faso, and flows in the north-east direction before reaching Samandeni, where its annual flow is about 460 Mm^3/year (average 1990-2004). This perennial river flows north-east until it reaches the confluence with the Sourou. The Sourou valley is very flat, and was probably in the geological past the valley of the Mouhoun when it was a tributary of the River Niger. At present, the Sourou valley is invaded by the flood of the Mouhoun which is stored by a dam for irrigation purposes. The Black Volta then bends at right angle and flows south-east before changing its course southwards. The discharge increases significantly while the river drains rivers from the Sudanian and in particular the Guinean zones. At Dapola and Bamboi its annual average flow (1990-2004) is about 2,700 Mm^3/year and 15,400 Mm^3/year respectively (Figure 3.1).

The White Volta originates in Burkina Faso from a backwater located top north of the basin which dries up during the dry season. At Wayen, the river flow is seasonal and amounts to about 370 Mm^3/year (average 1990-2000, Figure 3.1). The

Le bassin de la Volta comprend trois rivières principales qui convergent dans le lac Volta :

– le Mouhoun, qui dans le passé s'appelait Volta noire, et qui est nommé Black Volta au Ghana,

– le Nakambé, nommé Volta blanche par le passé au Burkina Faso, et appelé White Volta au Ghana. Son affluent principal au Burkina Faso est le Nazinon, antérieurement Volta rouge, et nommé Red Volta au Ghana,

– la rivière nommée Pendjari au Bénin, devient l'Oti au Togo et au Ghana.

Bien que la densité du réseau soit assez élevée (carte 3.1), seules les rivières prenant naissance aux latitudes basses sont pérennes, réflétant ainsi le gradient nord-sud des précipitations (carte 2.1 et figure 2.1). C'est notamment le cas de la partie amont du Mouhoun et de la Pendjari au Bénin et Burkina Faso. Des barrages contribuent à régulariser les débits et ont changé des rivières saisonnières en rivières pérennes. C'est notamment le cas du Nakambé en aval de Bagré (carte 3.2).

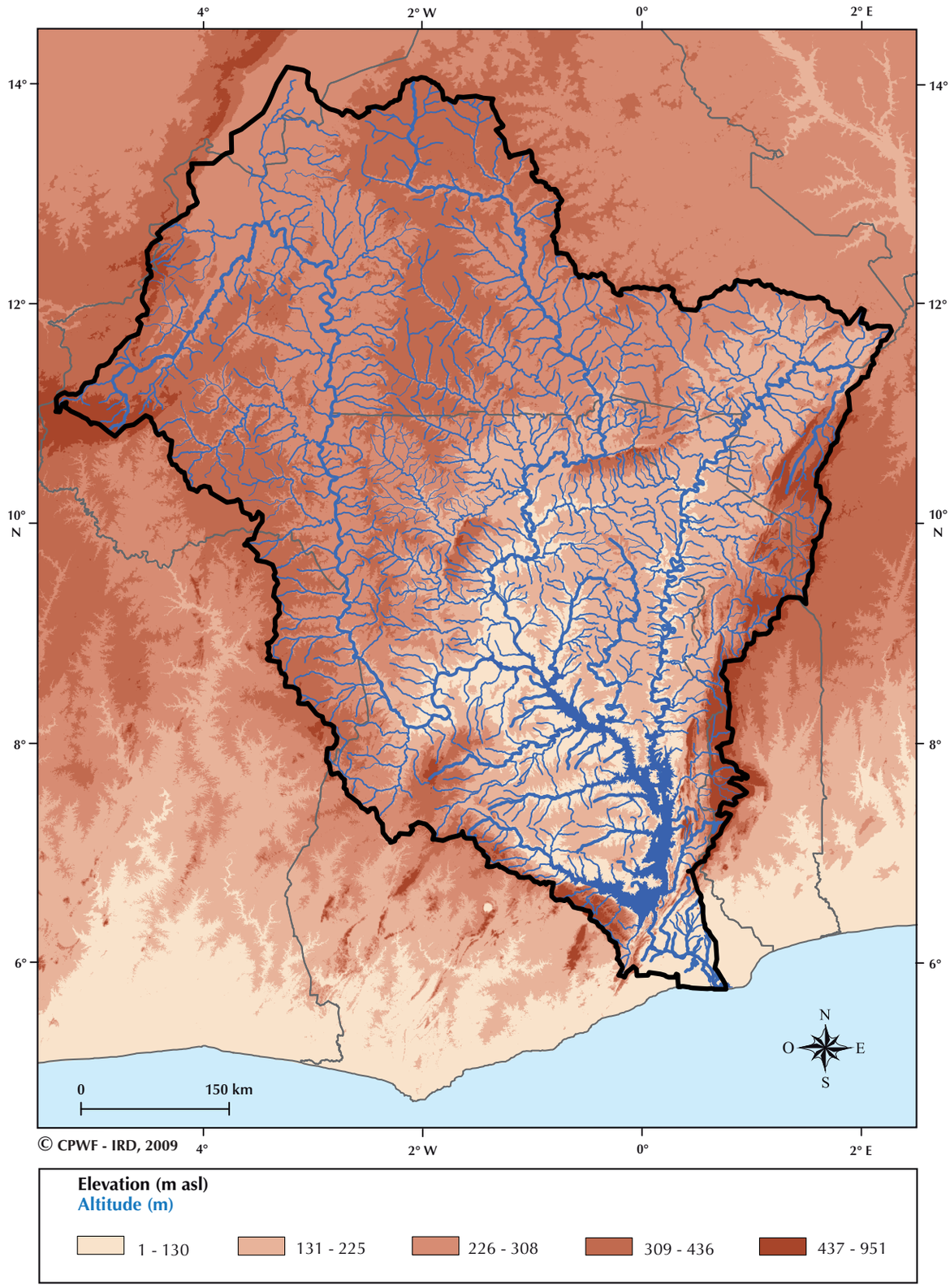
Le réseau des rivières est orienté selon trois directions principales, résultant du réseau de fractures du substrat géologique : N-S, SW-NE et SE-NW.

Le Mouhoun prend sa source dans la zone soudanienne du bassin, au Burkina Faso, et coule en direction du NE jusqu'à Samandéni où son débit annuel moyen est de l'ordre de 460 Mm^3 (moyenne 1990-2004). Cette rivière pérenne continue vers le NE jusqu'à sa confluence avec le Sourou. La vallée du Sourou est très plate, et constituait probablement dans le passé géologique la vallée du Mouhoun lorsque celui-ci était un affluent du Niger. Actuellement, la vallée du Sourou est inondée par la crue du Mouhoun qui y est conservée par un barrage à des fins d'irrigation. Le Mouhoun vire ensuite vers le sud-est puis vers le sud. Le débit augmente ensuite de façon significative, la rivière recevant des apports des zones soudanienne et surtout guinéenne. À Dapola et Bamboi, les débits moyens annuels sont respectivement de 2 700 Mm^3/an et de 15 400 Mm^3/an pour la période 1990-2004 (figure 3.1).

Le Nakambé est issu d'une zone humide saisonnière située tout au nord du bassin, au Burkina Faso. À Wayen, la rivière s'assèche en saison sèche, et a un débit moyen

MiseEnPageVOLTAfin.indd 20 30/12/09 11:03:50

Map 3.1 - The drainage network of the Volta Basin
Carte 3.1 - Le réseau hydrographique du bassin de la Volta



Source: Adapted from Dieulin (2007).
Source : Adapté de Dieulin (2007).

MiseEnPageVOLTAfin.indd 21 30/12/09 11:03:52

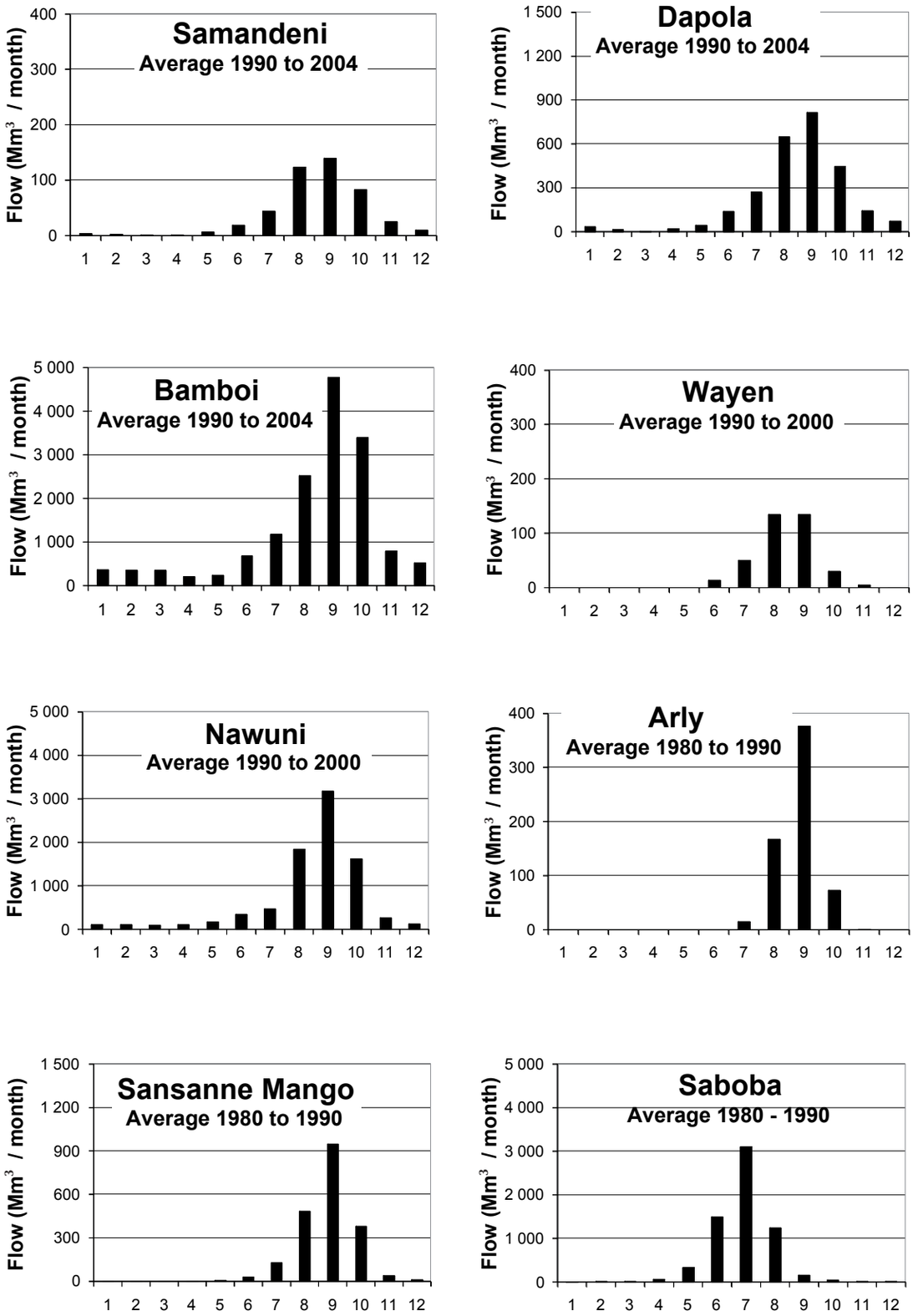
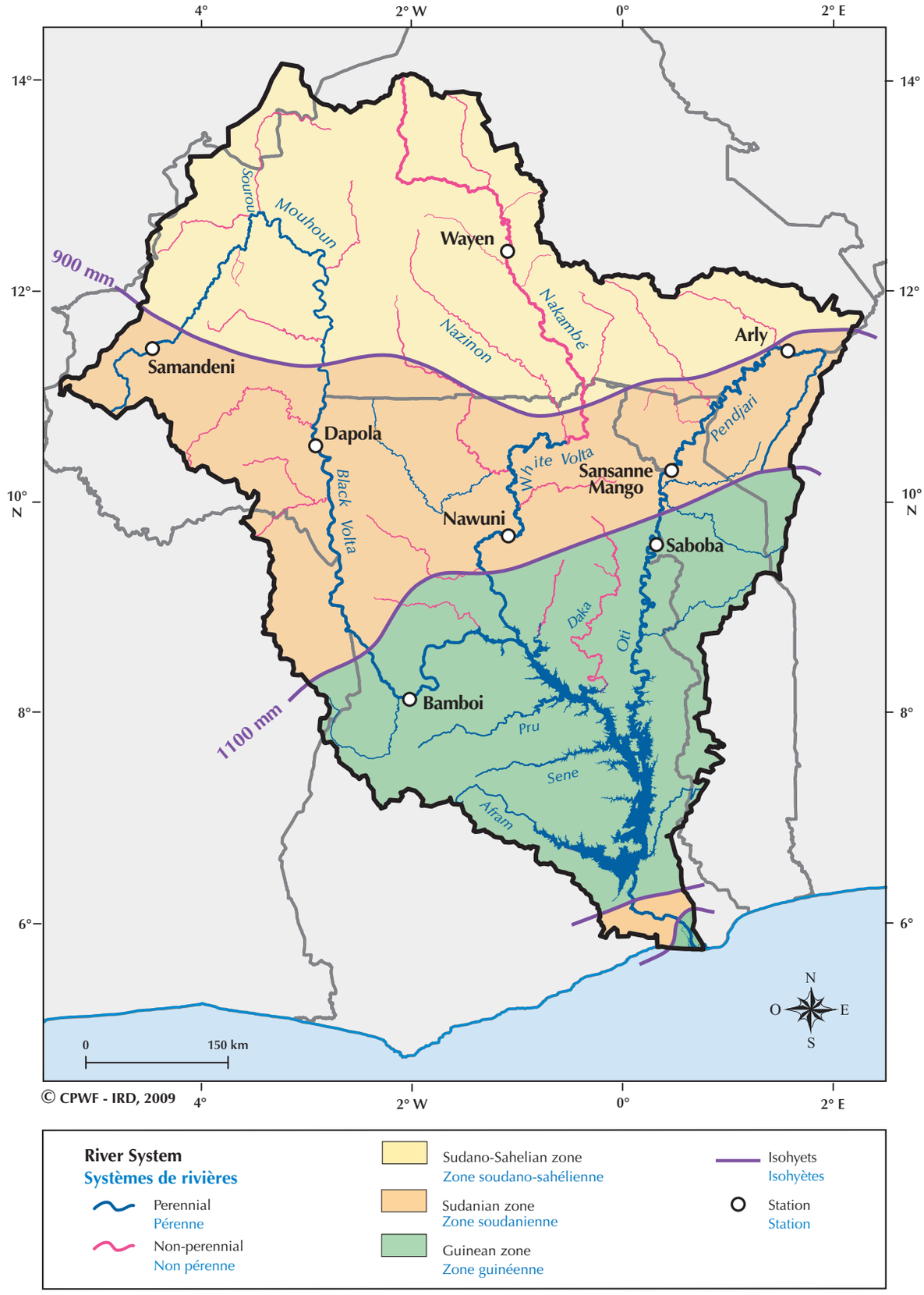


Figure 3.1: Average monthly discharge at various locations in the Volta basin. N.B. The vertical scales differ between graphs. Source: Volta HYCOS.

Figure 3.1 : Débit moyen mensuel de divers cours d'eau du bassin. N.B. Les échelles verticales des graphiques sont différentes. Source : Volta HYCOS.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 22 30/12/09 11:03:53

Map 3.2 - The main seasonal and perennial rivers in the basin
Carte 3.2 - Principales rivières saisonnières et pérennes du bassin



Source: Adapted from Moniod *et al. (1977) with data provided by Volta HYCOS.*
Source : Adapté de Moniod *et al. (1977) complété par des données fournies par Volta HYCOS.*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 23 30/12/09 11:03:55

course is south-east and further downstream it feeds into the reservoir of Bagré. The river becomes perennial below the dam due to continuous hydropower production. Further south, its discharge increases while draining catchments in the Sudanian zone and at Nawumi its average flow is about 8,500 Mm^3/year (average 1990-2000, Figure 3.1).

The Pendjari has its source in Benin, in the Sudanian zone of the basin. It flows north-east initially, then bears to the west. At Arly the flow is seasonal and totals about 630 Mm^3/year (1980-1990 average, Figure 3.1). The river then meanders along the border between Benin and Burkina Faso, flowing south-west, before entering Togo and taking the name Oti. The discharge increases as the river drains streamflows from wetter zones and its flow becomes perennial. At Sansanne Mango and Saboba its flow is about 2,050 Mm^3/year and 6,500 Mm^3/year respectively (average 1980-1990, Figure 3.1).

The downstream parts of the three main rivers, as well as the direct tributaries of Lake Volta, drain fairly humid watersheds (more than 1,000 mm rainfall per year) which provide the main part of the total inflow. The available resource in the southern part of the basin is thus fairly independent of the water uses in the northern part. This is an original characteristic of the Volta basin.

de 370 Mm^3/an (moyenne 1990-2000, figure 3.1). Elle se dirige vers le SE et alimente le réservoir de Bagré. À l'aval du barrage elle devient pérenne du fait de la production continue d'électricité. Plus au sud, son débit augmente avec les apports des sous-bassins de la zone soudanienne. À Nawumi, le débit moyen est d'environ 8 500 Mm^3/an (moyenne 1990-2000, figure 3.1)

La Pendjari prend sa source au Bénin, en zone soudanienne. Elle coule initialement vers le NE puis vire vers l'ouest. À Arly, son cours est saisonnier avec un débit annuel d'environ 630 Mm^3/an (moyenne 1980-1990, figure 3.1). La rivière serpente ensuite le long de la frontière entre Bénin et Burkina Faso en direction du SW, avant d'entrer au Togo où elle devient Oti. Là aussi, le débit augmente avec les apports des sous-bassins plus arrosés et son cours devient pérenne. À Sansanné Mango et à Saboba son débit est respectivement de 2 050 Mm^3/an et de 6 500 Mm^3/an (moyenne 1980-1990, figure 3.1).

Le cours aval des trois principaux cours d'eau, ainsi que les tributaires directs du lac Volta, drainent des bassins relativement arrosés (plus de 1 000 mm/an de pluie) qui fournissent une grande partie des apports totaux. Il en résulte que la ressource en eau dans la partie méridionale du bassin est relativement indépendante des usages en amont, ce qui constitue une caractéristique originale de ce bassin.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 24 30/12/09 11:03:55

References:
Références :

Dieulin C., 2007. *Afrique de l'Ouest et centrale. Bassins hydrographiques.* Paris, IRD Éditions, 1 map
http://www.hydrosciences.fr/sierem/produits/produits/livret.pdf

Moniod F., Pouyaud B., Séchet P., 1977. *Le bassin du fleuve Volta.* Paris, Orstom, 513 p. Available at:
http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/Mon_hydr/04351.pdf. Accessed.

Volta HYCOS (HYdrological Cycle Observing System), 2009.
www.whycos.org/ Accessed 25/03/2009

Photo 1: The river Oti in the Savanes Region in Togo, March 2009.
Photo 1 : L'Oti dans la Région des Savanes au Togo, mars 2009.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 25 30/12/09 11:03:57

4 Groundwater
Les eaux souterraines

Groundwater abstraction

Groundwater from boreholes and modern wells is considered a relatively safe source of water, preferable in both quality and availability to surface water and traditional hand-dug wells. The governments of the countries in the basin are therefore drilling boreholes at a great pace.

In 1998, 52% of the rural population in Ghana was dependent on groundwater tapped by boreholes with hand pumps and open wells with and without pumps (Gyau-Boakye, 2001). In Burkina Faso, wells and boreholes are also the main source of drinking water in rural areas, and are estimated to account for 60% of total household water demand (DGH, 2001).

Pronounced drops in groundwater level have been observed locally during some drought periods, and it has been suspected that increasing abstraction may lead to depletion of water resources at the basin scale (Gyau-Boakye and Tumbulto, 2000). While the number of boreholes drilled for rural water supply is well documented, the magnitude and spatial distribution of groundwater withdrawal and potential are not known.

Estimates of these two important variables by Martin and van de Giesen (2005) are presented here.

Map 4.1 was produced using the available data on the spatial distribution of boreholes, modern and hand-dug wells, with an average pumping rate of 2,920 m^3/y for boreholes, 600 m^3/y for wells equipped with buckets and 2,200 m^3/y for wells equipped with pumps.

The total estimated abstraction for 2001 was as follows:

- boreholes with hand pump: 61 Mm^3/y from 18,700 boreholes,
- modern hand-dug wells: 11.7 Mm^3/y from 10,400 wells,
- piped system: 15.4 Mm^3/y from 59 systems, each of which produces more than 20,000 m^3/y.

Prélèvements en eau souterraine

Les eaux souterraines captées par forage et dans des puits modernes sont considérées comme relativement saines et préférables – en qualité comme en disponibilité – aux eaux de surface et aux puits traditionnels creusés à la main. Les autorités des pays du bassin ont donc engagé un programme intensif de forages.

En 1998, 52 % de la population rurale du Ghana dépendait pour son alimentation des eaux souterraines puisées dans des forages équipés de pompes manuelles et de puits équipés ou non de pompes (Gyau-Boakye, 2001). Au Burkina Faso, les puits et les forages sont aussi la principale source d'eau potable en milieu rural et on estime qu'ils alimentent 60 % de la demande totale en eau à usage domestique (DGH, 2001).

Des baisses importantes du niveau des eaux souterraines ont été observées localement pendant certains épisodes de sécheresse, ce qui conduit certains à craindre un tarissement de la ressource à l'échelle du bassin du fait de l'augmentation des captages (Gyau-Boakye & Tumbulto, 2000). Si l'on connaît le nombre de forages réalisés pour alimenter les zones rurales, l'ampleur et la répartition spatiale des prélèvements en eau souterraine ainsi que leur potentiel restent méconnus.

Martin et van de Giesen (2005) avancent des estimations pour ces deux importantes variables, présentées ici.

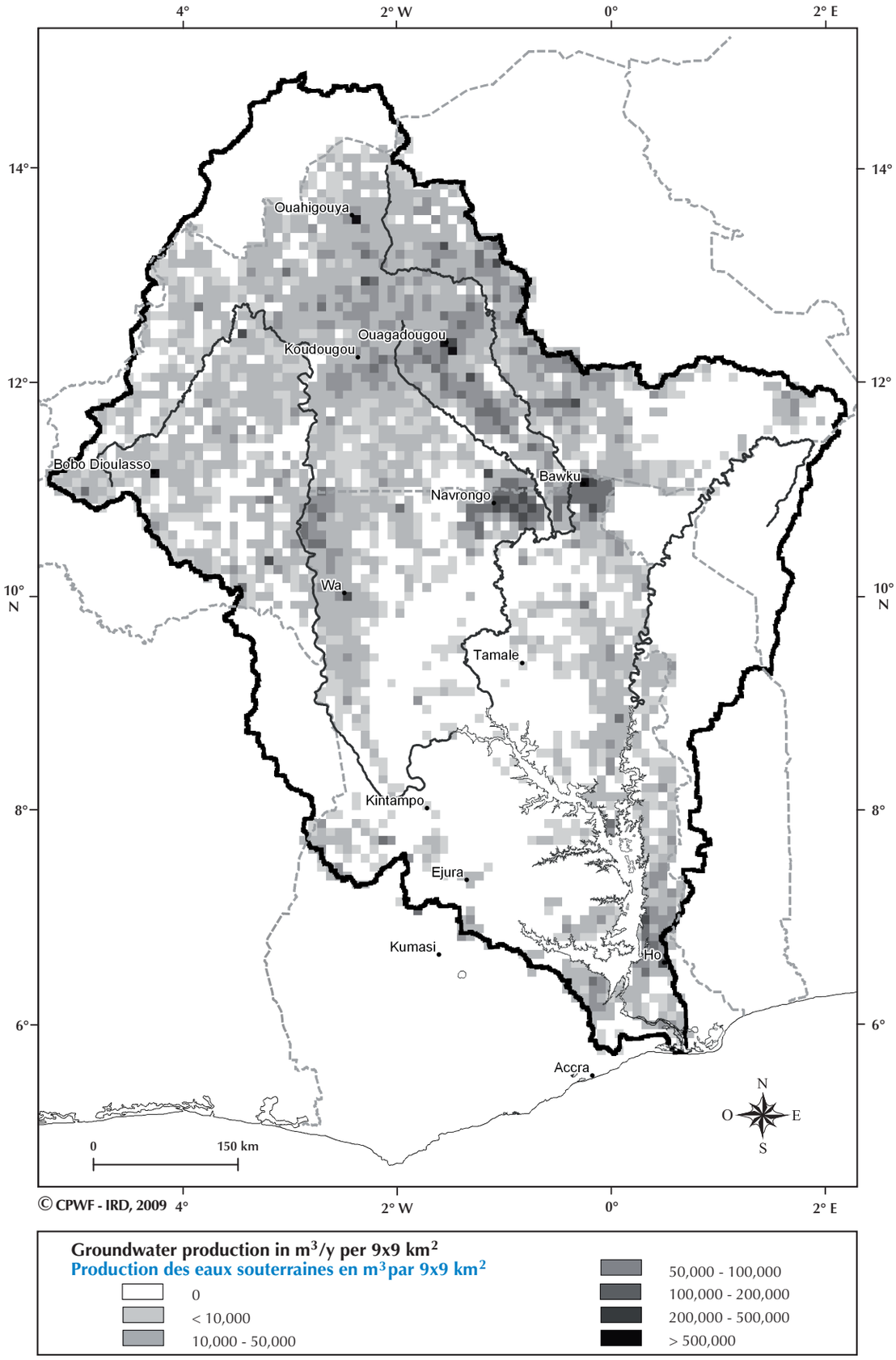
La carte 4.1 a été élaborée à partir des données de répartition spatiale des forages, des puits modernes et de ceux creusés à la main – avec un débit moyen de 2 920 m^3/an pour les forages, de 600 m^3/an pour les puits équipés de seaux et de 2 200 m^3/an pour les puits équipés de pompe.

Pour 2001, les niveaux estimés des prélèvements sont les suivants :

- forages avec pompes manuelles : 61 Mm^3/an pour 18 700 forages ;
- puits modernes creusés à la main : 11,7 Mm^3/an pour 10 400 puits ;
- système par réseau de conduites : 15,4 Mm^3/an pour 59 systèmes produisant chacun plus de 20 000 m^3/an.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 26 30/12/09 11:03:58

Map 4.1 - Groundwater abstraction in Ghana and Burkina Faso
Carte 4.1 - Prélèvements d'eau souterraine au Ghana et Burkina Faso



Spatial distribution of groundwater abstraction in the Ghanaian and Burkinabe parts of the Volta Basin. Units are m³/y per 9 x 9 km cell . Reproduced with permission from Martin and van de Giesen (2005).

Répartition des prélèvements en eau souterraine dans les parties ghanéenne et burkinabé du bassin de la Volta. Les unités sont en m³/an et par carré de 9 x 9 km. Reproduit avec la permission de Martin et van de Giesen (2005).

MiseEnPageVOLTAfin.indd 27 30/12/09 11:03:59

Groundwater potential

The Inter-African Committee for Hydraulic Studies (ICHS, 1986) defines groundwater development potential in terms of accessibility, exploitability and supply reliability. A modified version of the ICHS scheme was used by Martin and van de Giesen (2005) to draw a map of groundwater potential. The modified scheme evaluates the groundwater potential as a function of:

- accessibility (depending on borehole drilling success rates),
- exploitability (depending on borehole yield and extraction depth), and
- supply reliability (specific capacity as an indicator of the amount and mobility of groundwater).

The results show that in most of the basin, groundwater production is still less than 1% of groundwater recharge. Only towards the arid northern part of the basin do withdrawals amount to a significant fraction, exceeding 5% of average groundwater recharge (Map 4.2).

For the part of the basin that falls within the borders of Ghana and Burkina Faso, the estimated groundwater recharge is 12,600 Mm^3/y, or 3.7% of rainfall. The first-order conservative calculated groundwater production of 88 Mm3/y corresponds to less than 1% of average annual groundwater recharge, which is itself a very small fraction (4 to 10%) of the basin's water budget.

Conclusion

This assessment of groundwater resources strongly suggests that groundwater over-exploitation may occur only locally within the basin. Withdrawals exceeding the sustainable yield at a given water point are usually caused by low transmissivities, unable to sustain a yield large enough to match the pumping rate, and should not be expected to have regional impacts.

At the basin scale, exploitation of groundwater is currently a very small fraction of underground water resources, which in turn make up only a small fraction of the total available surface water of the basin. Increased groundwater abstraction would have no measurable impact on the availability of surface water.

Potentiel de l'eau souterraine

Le Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH, 1986) définit le potentiel utilisable des eaux souterraines en termes d'accessibilité, d'exploitabilité et de régularité de l'approvisionnement. Martin et van de Giesen (2005) font appel à une version modifiée de ce système pour cartographier le potentiel en eaux souterraines. Ils évaluent ce potentiel en fonction de :

- l'accessibilité (taux de réussite des forages) ;
- l'exploitabilité (dépendant du rendement du forage et de la profondeur de captage) ;
- la fiabilité de l'approvisionnement (la capacité spécifique comme indicateur de la quantité et de la mobilité des eaux souterraines).

Les résultats de l'analyse montrent que dans la majeure partie du bassin, l'exploitation des eaux souterraines est encore inférieure à 1 % de la recharge des nappes. Les prélèvements ne deviennent importants que dans la partie aride au nord du bassin, où elle dépasse 5 % de l'alimentation moyenne des nappes souterraines (carte 4.2).

Pour la zone du bassin située sur le territoire du Ghana et du Burkina Faso, l'alimentation des nappes souterraines est estimée à 12 600 Mm^3/an ou 3,7 % des précipitations. L'estimation approximative de l'exploitation des eaux souterraines indique 88 Mm^3/an – soit moins de 1 % de la recharge moyenne, qui est elle-même une très faible proportion (4 à 10 %) du bilan hydrique du bassin.

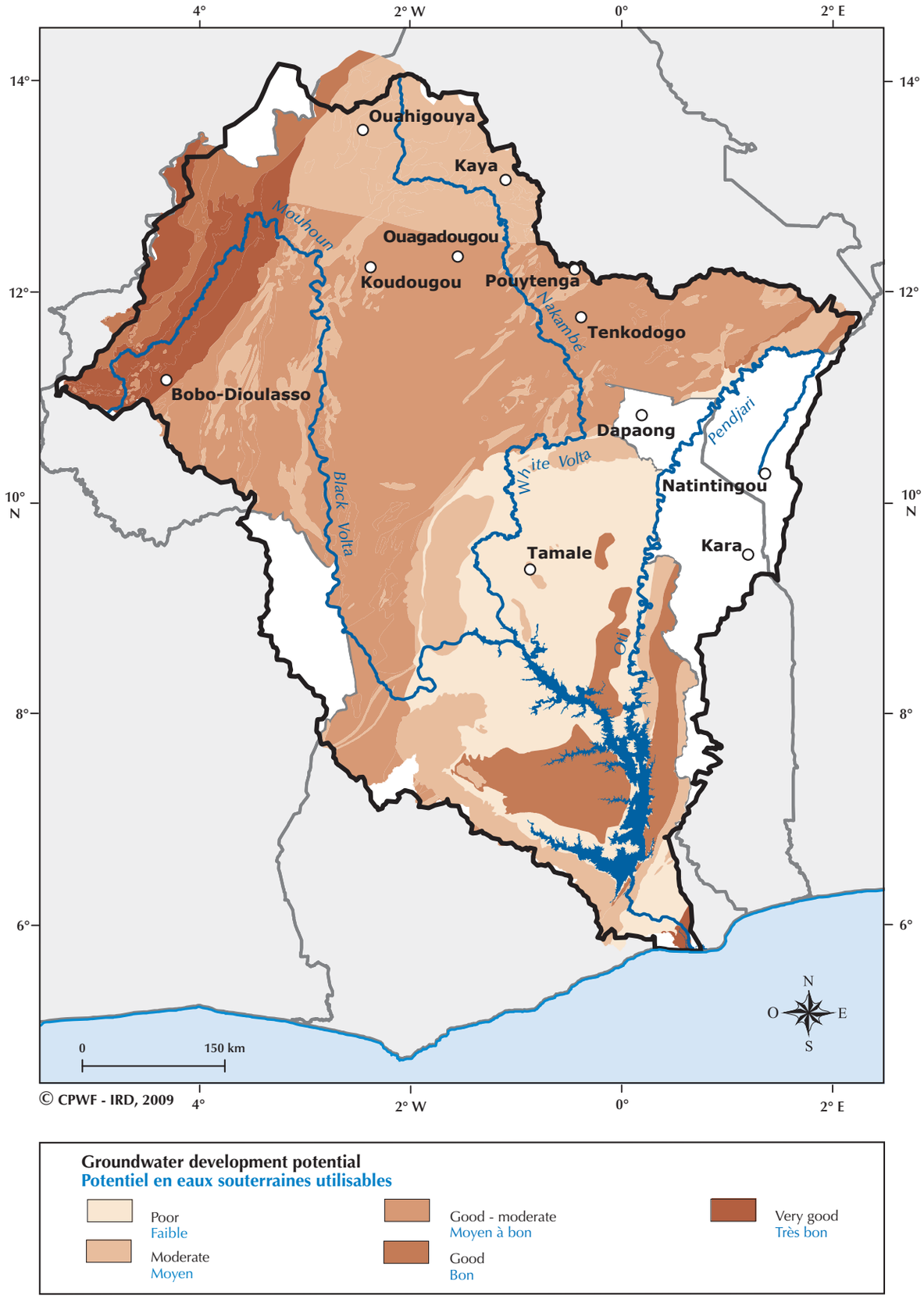
Conclusion

Cette évaluation de la ressource en eaux souterraines indique que la surexploitation n'est probablement qu'un phénomène ponctuel dans le bassin. Des prélèvements supérieurs au débit durable en un point donné résultent en général d'une transmissivité trop faible pour fournir le débit demandé. Ils ne devraient pas avoir d'impact à l'échelle régionale.

À l'échelle du bassin, l'exploitation actuelle des eaux souterraines ne représente qu'une infime fraction de la ressource souterraine qui, elle-même, ne représente qu'une part minime des eaux de surface disponibles dans le bassin. L'augmentation des prélèvements ne de-

MiseEnPageVOLTAfin.indd 28 30/12/09 11:03:59

Map 4.2 - Groundwater potential
Carte 4.2 - Potentiel en eau souterraine



Groundwater development potential in the Ghanaian and Burkinabe parts of the Volta basin. Redrawn with permission from Martin and van de Giesen (2005).

Le potentiel utilisable en eau souterraine dans les parties ghanéenne et burkinabé du bassin de la Volta. Redessiné avec leur permission d'après Martin et van de Giesen, 2005.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 29 30/12/09 11:04:01

These results indicate that groundwater development should be focused on areas where a relatively low percentage of the population has access to improved water sources, despite favourable groundwater conditions. This applies for example to the northwestern edge of the basin in the "Zone Sédimentaire" and to the Continental Terminal. Groundwater is also under-exploited along the southwestern edge of the basin. In other regions, where the development potential is low, other strategies may be applied, such as rain harvesting or mechanised distribution from high-yielding water points (Martin and van de Giesen, 2005).

vrait donc pas avoir d'impact quantifiable sur la disponibilité des eaux de surface.

Ces résultats montrent que l'utilisation des eaux souterraines doit se concentrer sur des zones où un pourcentage relativement faible de la population a accès à des sources d'eau de bonne qualité malgré un sous-sol propice. C'est le cas par exemple de l'extrémité nord-ouest du bassin, dans la « zone sédimentaire », mais aussi du Continental terminal. Les eaux souterraines sont également sous-exploitées tout le long de la bordure sud-ouest du bassin. Dans d'autres régions, où le potentiel de développement est faible, d'autres stratégies devront être déployées, comme la collecte des eaux de pluie ou le transport depuis des points d'eau à haut débit (Martin et van de Giesen, 2005).

MiseEnPageVOLTAfin.indd 30 30/12/09 11:04:01

References:
Références :

DGH (Direction génerale de l'hydraulique), 2001. *État des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion.* Ouagadougou : ministère de l'Environnement et de l'Eau.

Gyau-Boakye P., Tumbulto J.W., 2000. The Volta Lake and declining rainfall and streamflows in the Volta Basin. *Environment, Development and Sustainability,* 2: 1-10.

Gyau-Boakye P., 2001. Sources of rural water supply in Ghana. *Water International,* 26: 96-104.

ICHS (Inter-African Committee for Hydraulic Studies), 1986. *Explanatory notice and recommended usage of the map of potential groundwater resources in Western and Central Africa 1: 5,000,000.* Orléans: ICHS, BRGM.

Martin N., van de Giesen N., 2005. Spatial distribution of groundwater production and development potential in the Volta River basin of Ghana and Burkina Faso. *Water International,* 30: 239-249.

Photo 2: The dry bed of the White Volta, upstream of Bagré in Burkina Faso, March 2009.
Photo 2 : Le lit asséché du Nakambé en amont de Bagré au Burkina Faso, mars 2009.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 31 30/12/09 11:04:02

5 Evapotranspiration
L'évapotranspiration

Evapotranspiration (ET) from a land surface is by definition the flux of water vapour from the soil surface (evaporation) plus the vapour flux from the aerial part of plants (transpiration). Evapotranspiration is a major component of the water budget, especially in warm climates. In the Volta basin more than 80% of the rain returns to the atmosphere via ET (see Section 6).

It is difficult to measure actual evapotranspiration over a large region. One possible method is to derive ET from remote sensing data supplemented by careful field measures. The results presented here are from ALMIP (2009). Evapotranspiration during the year 2002 was estimated on a 0.5° grid with the land surface model SECHIBA (Schématisation des échanges hydriques à l'interface entre la biosphère et l'atmosphère) developed by de Rosnay *et al.* (2002). The forcing data for SECHIBA were the precipitations from the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) which are derived from remotely sensed measurements and variables provided by models from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (Boone *et al.*, 2009).

The annual flux of ET simulated for 2002 is distributed along a north-south gradient similar to the spatial pattern of rainfall, increasing southwards from 500 mm/y to 1,100 mm/y (Map 5.1). In the north, the figure for annual ET is close to that for annual rainfall, which means that almost all the rain water is evaporated instead of feeding the rivers. In the South, it represents a slightly lesser proportion of rainfall.

For a total rainfall of 354 km^3 over the basin in 2002, it has been estimated that 298 km^3 have returned to the atmosphere through evapotranspiration.

The evapotranspiration in 2002 displays strong seasonal contrasts (Map 5.2). In the period January to March it is almost nil in the north of the basin as there is no rainfall and no water remaining in the soil, while moderate evapotranspiration occurs in the south where there are occasional rain events. From April to June, ET increases gradually with time in the northern part as the intertropical convergence zone moves northwards. From July to September, it takes its highest values in the northern part of the Basin as the high demand in evapotranspiration by the developing vegetation is met by ample rainfall. From October to De-

L'évapotranspiration (ET) d'une surface terrestre correspond par définition à la quantité de vapeur d'eau libérée par le sol (évaporation) à laquelle s'ajoute la vapeur d'eau émise par les parties aériennes des plantes (transpiration). L'évapotranspiration est une composante importante du bilan hydrique, surtout dans les climats chauds. Dans le bassin de la Volta, plus de 80% des précipitations retournent dans l'atmosphère par le biais de l'ET (voir chapitre 6).

La mesure de l'ET réelle à l'échelle d'une grande région est délicate. On peut dériver l'ET de données obtenues par télédétection complétées par des mesures précises sur le terrain. Les données présentées ici sont celles obtenues par le projet ALMIP (2009). L'évapotranspiration au cours de l'année 2002 a été estimée sur une grille à maille de 0,5° avec le modèle SECHIBA (Schématisation des échanges hydriques à l'interface entre la biosphère et l'atmosphère) mis au point par de Rosnay *et al.* (2002). Les données de forçage utilisées pour SECHIBA sont les précipitations calculées par la mission de mesure des précipitations tropicales (TRMM), elles-mêmes obtenues à partir des données de télédétection et de variables fournies par des modèles du Centre européen de prévisions météorologiques à moyen terme (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF) (Boone *et al.*, 2009).

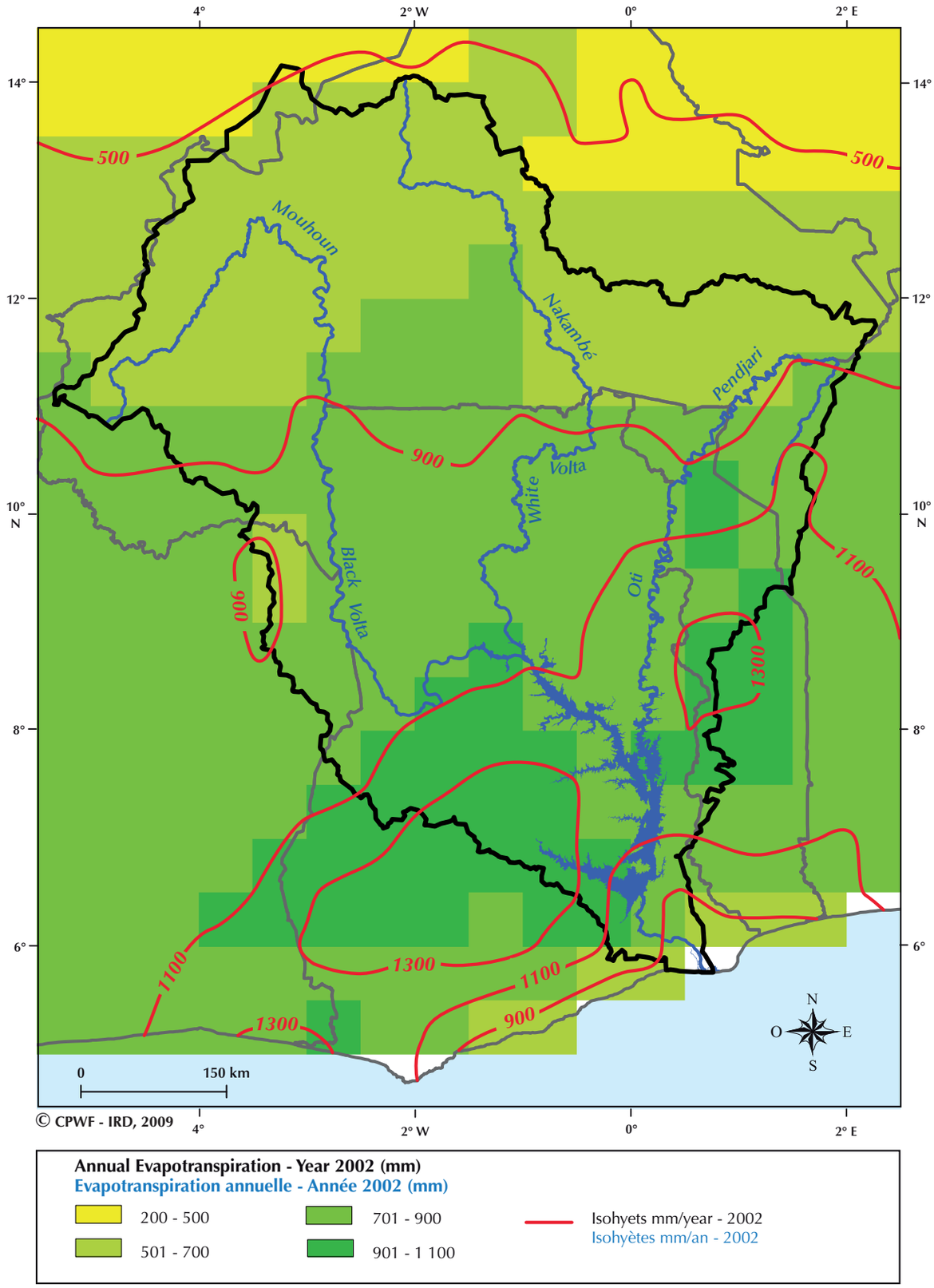
Le flux annuel d'ET simulé pour l'année 2002 est distribué le long d'un gradient nord-sud identique à la répartition spatiale des précipitations : il augmente à mesure que l'on se dirige vers le sud, de 500 mm/an à 1 100 mm/an (carte 5.1). L'évapotranspiration annuelle est proche des précipitations annuelles dans le nord, ce qui signifie que pratiquement toutes les eaux de pluie s'évaporent au lieu d'alimenter les cours d'eau. Dans le sud, l'ET représente une part légèrement moindre des précipitations.

Pour un volume total de pluie reçue sur le bassin de 354 km^3 en 2002, 298 km^3 sont retournés dans l'atmosphère par évapotranspiration.

L'évapotranspiration en 2002 diffère grandement d'une saison à l'autre (carte 5.2). De janvier à mars, elle est pratiquement nulle dans le nord du bassin, puisqu'il ne pleut pas et que le sol ne recèle plus d'eau. Dans le sud, on observe une ET modérée, grâce à des épisodes pluvieux occasionnels. D'avril à juin,

MiseEnPageVOLTAfin.indd 32 30/12/09 11:04:03

Map 5.1 - Annual evapotranspiration in 2002
Carte 5.1 - Évapotranspiration annuelle en 2002



The distribution of annual evapotranspiration (mm/year) during 2002 in the Volta basin, as computed with the land surface model SECHIBA. The isohyets (mm/year, in red) are from TRMM (2009) for the same year. Data from de Rosnay et al. *(2002) and* Boone et al. *(2009).*

Distribution de l'évapotranspiration annuelle (mm/an) dans le bassin de la Volta telle que calculée pour 2002 par le modèle SECHIBA. Les isohyètes (mm/an en rouge) pour la même année ont été produites par TRMM (2009). Données produites par de Rosnay et al. *(2002) et* Boone et al. *(2009).*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 33 30/12/09 11:04:04

cember, the evapotranspiration front shifts back to the south as the intertropical convergence zone moves southward.

These results illustrate key patterns of evapotranspiration in the Volta basin:

- the annual evapotranspiration is distributed spatially along a north-south gradient, with:
  - lower ET values in the north, accounting nonetheless for almost all the rainfall (more than 90 %),
  - greater values in the south, representing a lesser proportion of rainfall (less than 90 %);
- seasonal evapotranspiration exhibits a different spatial distribution, particularly during the rain season when ET may be greater in the north.

l'ET augmente progressivement dans le nord à mesure que le front intertropical gagne ces régions. De juillet à septembre, l'ET atteint son maximum dans le nord du bassin, puisque la forte demande d'ET des plantes en pleine croissance est alimentée par d'abondantes précipitations. Ensuite, d'octobre à décembre, le front de l'ET se déplace à nouveau vers le sud, en même temps que la zone de convergence intertropicale.

Ces résultats illustrent bien le schéma de l'évapotranspiration dans le bassin de la Volta :

- l'ET annuelle se répartit géographiquement le long d'un gradient nord-sud avec
  - des valeurs inférieures dans le nord, mais pratiquement équivalentes à la totalité des précipitations (plus de 90 %) ;
  - des valeurs supérieures dans le sud, représentant une proportion moindre des précipitations (moins de 90 %) ;
- la répartition géographique saisonnière de l'ET suit un schéma différent, en particulier pendant la saison des pluies où une ET supérieure peut survenir dans le nord.

References:
Références :

ALMIP (AMMA Land Surface Model Intercomparison Project), 2009.
http://www.cnrm.meteo.fr/amma-moana/amma_surf/almip/. Accessed February 2009.

Boone A., de Rosnay P., Balsamo G., Beljaars A., Chopin F., Decharme B., Delire C., Ducharne A., Gascoin S., Guichard F., Gusev Y., Harris P., Jarlan L., Kergoat L., Mougin E., Nasonova O., Norgaard A., Orgeval T., Ottlé C., Poccard-Leclercq I., Polcher J., Sandholt I., Saux-Picart S., Taylor C. M., Xue Y., 2009. The AMMA Land Surface Model Intercomparison Project (ALMIP). *Bull. American Meteor. Soc.*, 90: 1865-1880.

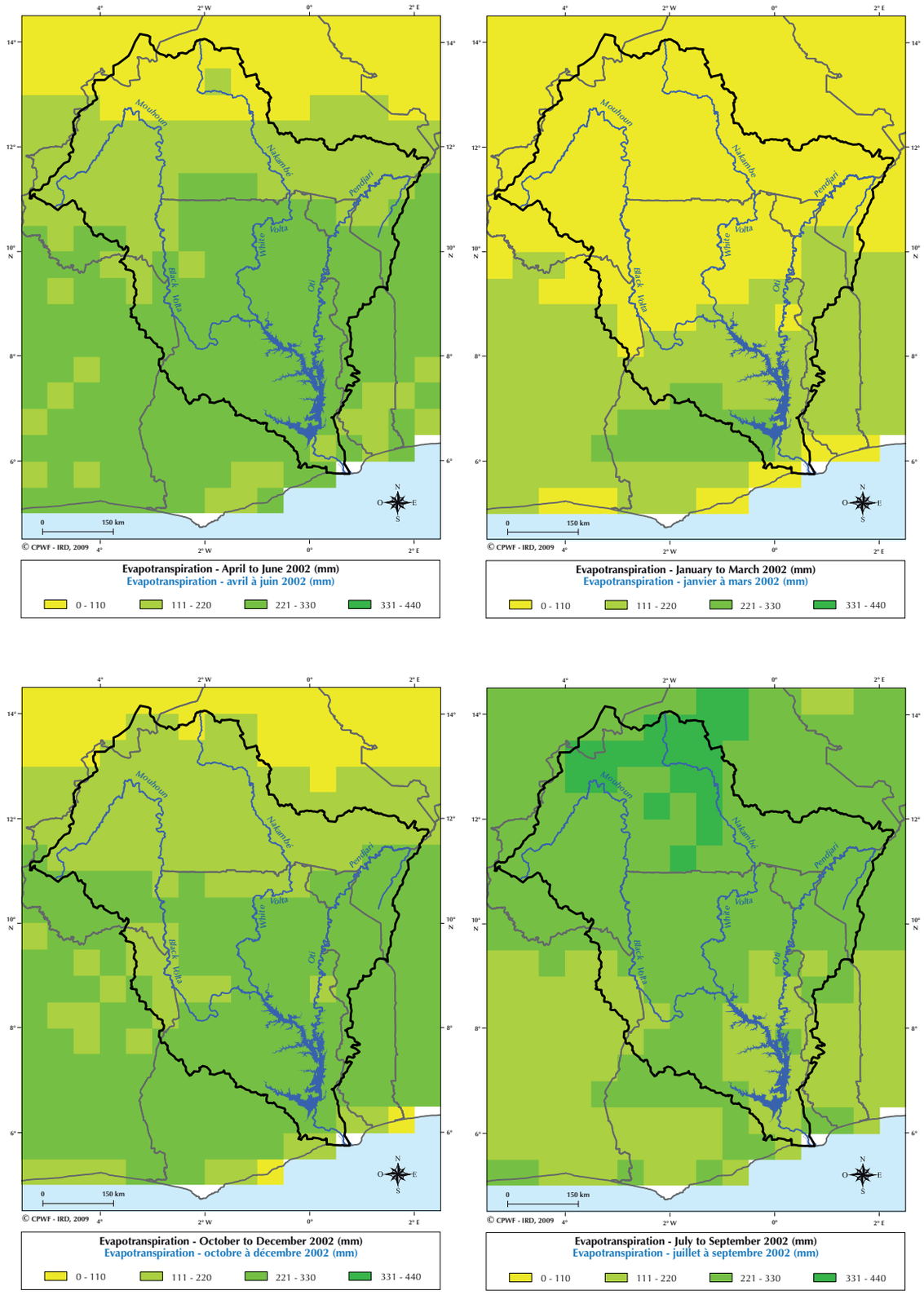
de Rosnay P., Polcher J., Bruen M., Laval K., 2002. Impact of a physically based soil water flow and soil-plant interaction representation for modeling large-scale land surface processes. *J. Geophys. Res.*, 107(D11), 4118.

TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), 2009.
http://daac.gsfc.nasa.gov/data/datapool/TRMM_DP/01_Data_Products/02_Gridded/index.html. Accessed February 2009.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 34 30/12/09 11:04:04

Map 5.2 - Seasonal evapotranspiration in 2002, as simulated by the model SECHIBA of the project ALMIP

Carte 5.2 - Évapotranspiration saisonnière en 2002, simulée par le modèle SECHIBA du projet ALMIP



Source: Adapted from de Rosnay et al. *(2002) and* Boone et al. *(2009).*

Source : Adapté de de Rosnay et al. *(2002) et* Boone et al. *(2009).*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 35 30/12/09 11:04:08

6 The water budget of the Volta basin

Le bilan hydrique du bassin de la Volta

The water budget gives an overall estimate of the water fluxes and of the available resource.

Rain is the primary water resource of a basin. After falling, rainwater undergoes some transformations and follows various routes, the main ones being:

– runoff, the water that flows in streams and ultimately reaches the ocean,

– evapotranspiration (ET), the flux of vapour water evaporating from the soil and transpired by the vegetation. Evapotranspiration may be subdivided into a part from the natural vegetation and another from cultivated vegetation,

– seepage to groundwater is often difficult to estimate.

The basin-scale water budget

The water budget of the Volta Basin was calculated for the period 1990-2000 using the method developed by Kirby *et al.* (2006). The following input data were used: land use from the Global Land Cover Characterization of the USGS, the digital elevation model from the re-adjusted Shuttle Radar Topography Mission (Jarvis *et al.*, 2008), precipitation and temperature data from the Climate Research Unit (Mitchell and Jones, 2005). Groundwater recharge was estimated at 13 km^3 for the whole basin (see Section 4).

Le bilan hydrique d'un bassin fournit une estimation globale des flux et de la répartition de la ressource en eau.

La pluie est la ressource initiale dans un bassin. Elle subit ensuite des transformations et suit des chemins divers, dont les principaux sont les suivants :

– le ruissellement, avec l'eau qui coule dans les rivières et atteint finalement l'océan,

– l'évapotranspiration, qui est le flux qui s'évapore de la surface du sol et qui est transpiré par la végétation. L'évapotranspiration peut être divisée en une part provenant de la végétation naturelle et une autre part provenant des cultures,

– l'infiltration vers les nappes souterraines, qui est en général difficile à évaluer.

Le bilan hydrique à l'échelle du bassin

Le bilan hydrique moyen du bassin de la Volta a été calculé pour la période 1990-2000 selon la méthode proposée par Kirby *et al.* (2006). Les données utilisées sont l'occupation des terres fournies par le Global Land Cover Characterization de l'USGS (2009), le modèle numérique de terrain réajusté du Shuttle Radar Topography Mission (Jarvis *et al.*, 2008), et les données de pluie et de température du CRU (Mitchell et Jones, 2005). L'alimentation des nappes souterraines a été estimée à 13 km^3 pour l'ensemble du bassin (voir chapitre 4).

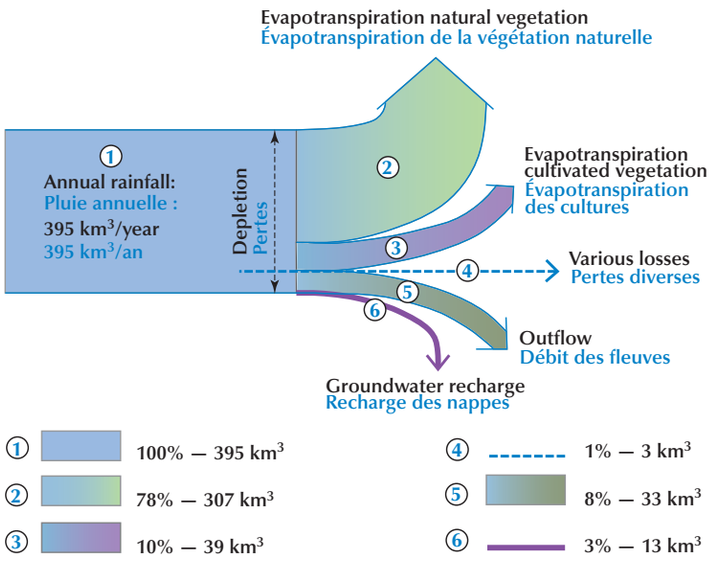
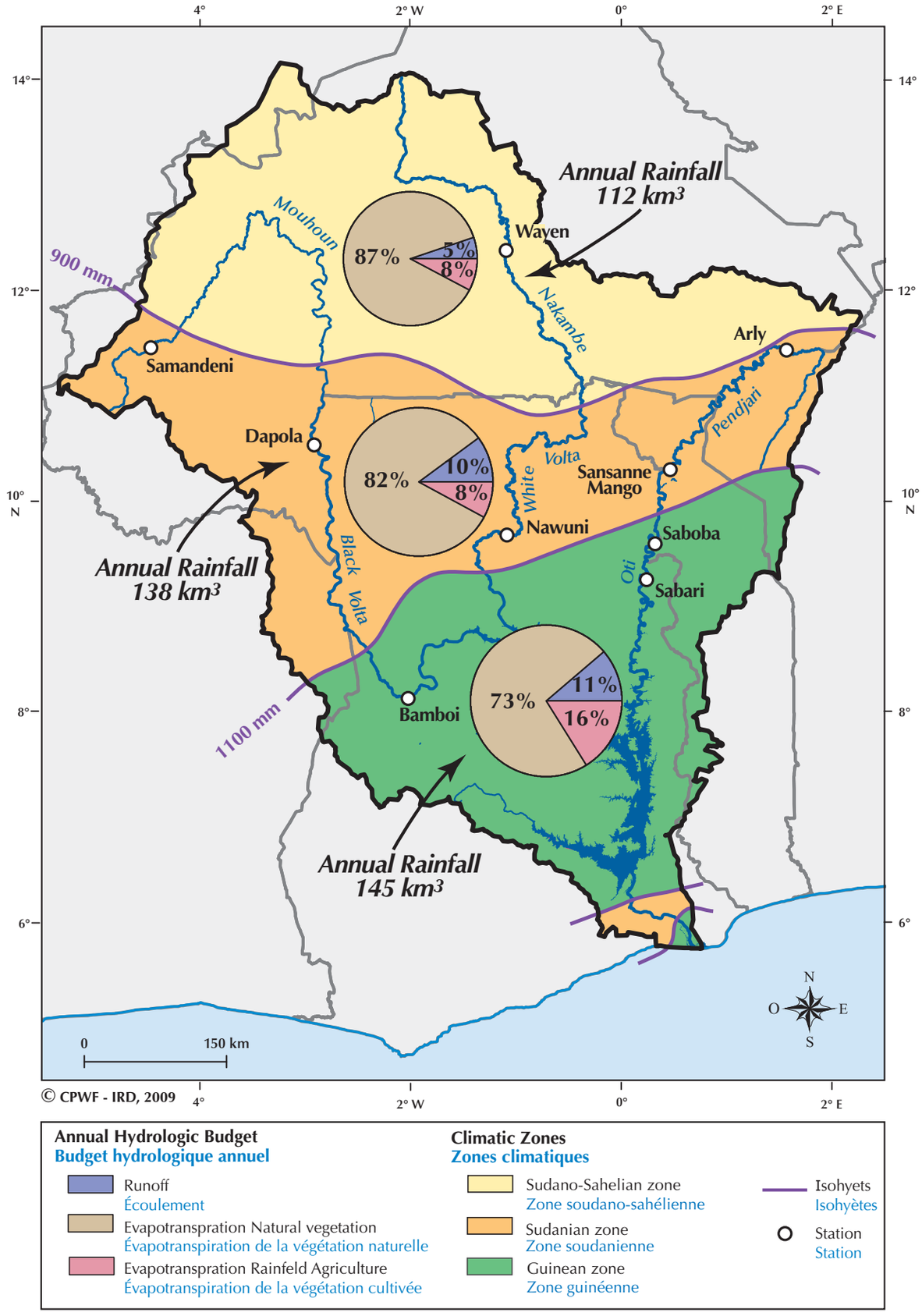


Figure 6.1: Annual water accounting of the Volta basin (average 1990-2000). "Various losses" stands for stream losses (e.g., evaporation, seepage). Source: de Condappa et al. (2008).

Figure 6.1 : Bilan hydrique du bassin de la Volta (moyenne 1990-2000). Les « pertes diverses » comprennent les pertes par les rivières (évaporation, infiltration). Source: de Condappa et al. (2008).

MiseEnPageVOLTAfin.indd 36 30/12/09 11:04:09

Map 6.1 - Surface water budget
Carte 6.1 - Bilan hydrique des eaux de surface



Annual Hydrologic Budget
Budget hydrologique annuel

- Runoff / Écoulement
- Evapotranspration Natural vegetation / Évapotranspiration de la végétation naturelle
- Evapotranspration Rainfeld Agriculture / Évapotranspiration de la végétation cultivée

Climatic Zones
Zones climatiques

- Sudano-Sahelian zone / Zone soudano-sahélienne
- Sudanian zone / Zone soudanienne
- Guinean zone / Zone guinéenne

- Isohyets / Isohyètes
- Station / Station

Annual water budget in the three main agro-ecological zones of the Volta Basin (average 1990-2000). The diameter of each pie chart is a function of the total rainfall over each region. Calculations did not take groundwater into account.
Source: DE CONDAPPA et al. *(2008).*
Le bilan hydrique dans les trois grandes zones agro-climatiques du bassin de la Volta (moyenne 1990-2000). Le diamètre des cercles est proportionnel à la pluie totale reçue par chaque région. L'infiltration vers les eaux souterraines n'a pas été prise en compte ici.
Source : DE CONDAPPA et al. *(2008).*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 37 30/12/09 11:04:11

As in most basins in semi-arid environments, most of the rainfall in the Volta basin returns to the atmosphere. At the basin scale, the total volume of annual rainfall is about 395 km³ (Figure 6.1). As much as 88% of this rainfall returns to the atmosphere: 78% is evapotranspirated by the natural vegetation, 10% is consumed by the cultivated vegetation thus contributing to agricultural production, and 1% is lost from open surface waterbodies by evaporation. The basin outflow is about 33 km³ or 8% of the rainfall, and seepage to groundwater amounts to 13 km³ or 3% (Figure 6.1).

During the 1990-2000 period, the outflow of the basin was a small but variable proportion of rainfall, ranging from 5% (17 km³/year) in a dry year to 15% (67 km³/year) in a wet year, with an average of 8% (33 km³/year)(Figure 6.2).

Comme dans la plupart des bassins de zone semi-aride, la plus grande part de l'eau de pluie reçue par le bassin de la Volta retourne dans l'atmosphère. Pour l'ensemble du bassin, le volume total des précipitations annuelles est d'environ 395 km³ (figure 6.1). La part qui retourne dans l'atmosphère par évapotranspiration représente 88 % de ce volume, dont 78 % pour la végétation naturelle et 10 % pour les cultures. Environ 1 % est évaporé par les plans d'eau. L'apport à la mer par les rivières est d'environ 33 km³, soit 8 % des précipitations, et l'infiltration vers les nappes est de 13 km³, soit 3 % des pluies (figure 6.1).

Pendant la période 1990-2000, le débit total des rivières du bassin n'a représenté qu'une part faible mais variable de la pluie totale, variant de 5 % (soit 17 km³/an) en année sèche à 15 % (67 km³/an) en année humide, avec une moyenne de 8 % (33 km³/an) (Figure 6.2).

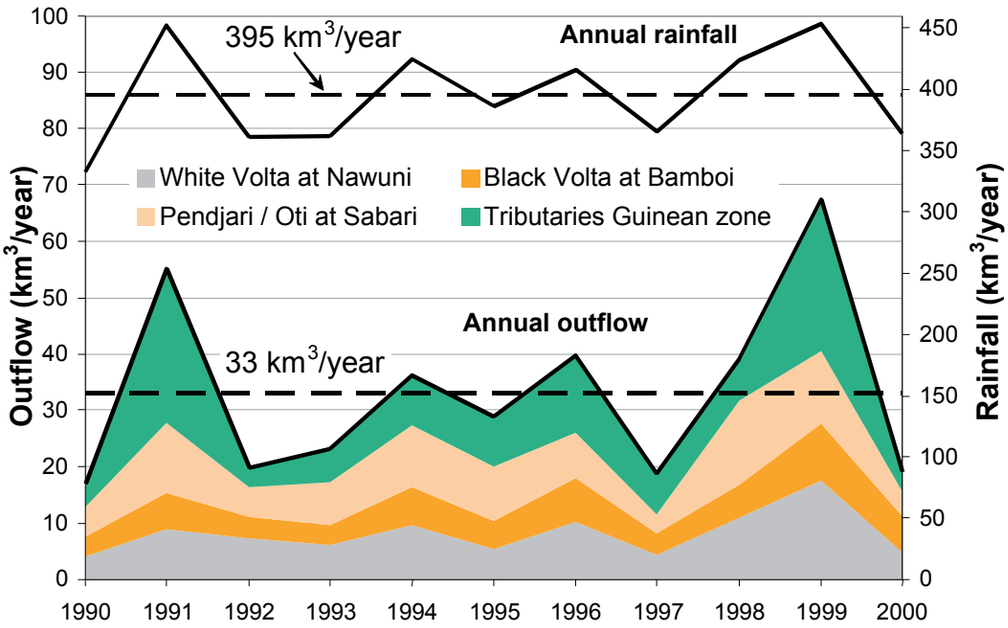


Figure 6.2: Annual rainfall over the Volta basin and contributions to the outflow of the river systems. Source: de Condappa et al. (2008).

Figure 6.2 : Volume de pluie reçue par le bassin de la Volta et contribution des principaux systèmes au débit total. Source : de Condappa et al. (2008).

The water budget of the agro-climatic zones

At the sub-basin scale (Map 6.1), the runoff coefficient is lowest in the north (Sudano-Sahelian zone), at 5% of total rainfall, and increases toward the south, reaching 11% in the Guinean zone. The ratio of evapotranspiration from

Le bilan hydrique des différentes zones hydroclimatiques

À l'échelle des sous-bassins ou des zones hydroclimatiques (carte 6.1), le coefficient d'écoulement est minimal dans le nord (zone soudano-sahélienne), avec une valeur de 5 % de la pluie totale, il augmente vers le sud, et

MiseEnPageVOLTAfin.indd 38 30/12/09 11:04:11

natural vegetation to rainfall decreases from north to south, being equal to 87% of rainfall in the Sudano-Sahelian zone down to 73% in the Guinean zone. The share in ET of the cultivated vegetation doubles from north to south (from 8% to 16%), but remains small compared to ET of the natural vegetation.

Conclusion

Although, at the basin scale, the use of the available water resource is limited (see Section 9), it may be locally useful to retain the water. Rain water harvesting devices may contribute to reduce water losses by evapotranpiration and to increase overall water productivity.

atteint 11 % dans la zone guinéenne. La part de l'eau de pluie qui repart vers l'atmosphère par évapotranspiration de la végétation naturelle décroît du nord au sud, de 87 % en région soudano-sahélienne à 73 % en région guinéenne. La part des cultures double du nord au sud, (de 8 à 16 %), mais demeure faible comparée à l'évapotranspiration de la végétation naturelle.

Conclusion

Bien que, globalement, l'utilisation de la ressource en eau du bassin soit faible (voir chapitre 9), il peut être très utile, localement, de conserver l'eau autant que possible. Les dispositifs de collecte de l'eau de pluie peuvent contribuer efficacement à réduire les pertes par évapotranspiration et à augmenter la productivité globale de l'eau.

References:
Références :

de Condappa, D., Chaponnière, A., Lemoalle, J., 2008. *Decision-support tool for water allocation in the Volta basin*. Volta Basin Focal Project Report No 10. IRD, Montpellier, France, and CPWF, Colombo, Sri Lanka, 28 p.

de Condappa D., Chaponnière A., Lemoalle J., 2009. A decision-support tool for water allocation in the Volta Basin. *Water International*, 34: 71 - 87.

Jarvis A., Reuter H.I., Nelson A., Guevara E., 2008. Hole-filled SRTM for the globe Version 4. Available from the CGIAR-CSI SRTM 90m database: *http://srtm.csi.cgiar.org. (Accessed on June 2009)*.

Kirby M., Mainuddin M, Ahmad M-u-D, Marchand P., Zhang L. , 2006. Water use account spreadsheets with examples of some major river basins. *9th international river symposium,* 3–6 September 2006, Brisbane. Available from:
http://www.riversymposium.com/index.php?element=06KIRBYMac (Accessed January 2009).

Mitchell T.D, Jones P., 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology,* 25: 693-712. Dataset available at: *http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_2.10/. (Accessed February 2009)*.

USGS, 2009. *http://edc2.usgs.gov/glcc/af_int.php. (Accessed June 2009)*.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 39 30/12/09 11:04:12

7 Wetlands

Les zones humides

Wetlands in the Volta Basin, most of which are seasonal, provide many natural resources for food-gathering, agriculture, fishing and livestock, in addition to serving as conservation areas for fauna and flora. Some of them are of international importance. Wetlands also provide other services, such as flood regulation, flood damping and groundwater recharge.

The main wetlands in the Volta Basin are described below. They are grouped in five main areas, identified by the number assigned to them in Map 7.1. The Ramsar sites were designated by the countries in which they are located and certified as being of international importance by the Ramsar Convention secretariat (2009).

The descriptions below draw extensively on Hughes and Hughes (1992).

Wetland 1

Wetland 1 is located along the Pendjari River where it forms the border between Burkina Faso and Togo. This floodplain, known locally as the "Hippopotamus Pool", covers approximately 28,000 ha, with a maximum width of 5.5 km. This Ramsar site is home to a variety of mammals and many bird species (Wetlands International, 2009). Conservation of the site requires monitoring of the spread of floating plants, particularly the water hyacinth *Eichhornia crassipes*, which in the long term represents a real threat for Lake Volta.

Wetland 2

This area contains the largest floodplain on the Oti, whose banks are covered by gallery forests, marshy areas, shrubs and brush, much of which is subject to periodic flooding. The floodplain is about 80 km long and 10 km wide, covering an area of 48,000 ha. It is classified as a Ramsar site because of the diversity of its fauna (Wetlands International, 2009).

Wetland 3

In this region, the White Volta tributaries, including the Nasia, are surrounded by approximately 55,000 ha of flood-prone areas. Further downstream, the White Volta lies in a floodplain

Les zones humides du bassin de la Volta, pour la plupart saisonnières, fournissent des ressources naturelles multiples pour la cueillette, la culture, la pêche et l'élevage, mais sont aussi des lieux de conservation de la faune et de la flore, certains d'importance internationale. Elles fournissent également d'autres services, comme la régulation et l'amortissement des crues et la recharge des nappes souterraines.

Les principales zones humides dans le bassin de la Volta sont décrites ci-dessous. Elles sont regroupées en 5 zones principales, identifiées par leur numéro sur la carte 7.1. Les sites Ramsar ont été identifiés par les pays dans lesquels ils sont situés et agréés comme étant d'importance internationale par le secrétariat de la Convention Ramsar (2009).

Les informations publiées par Hughes et Hughes (1992) ont été largement utlisées dans les descriptions ci-dessous.

Zone humide 1

Elle est située le long de la rivière Pendjari lorsque celle-ci forme la frontière entre le Burkina Faso et le Togo. Cette plaine d'inondation couvre environ 28 000 ha, avec une largeur au maximum de 5,5 km. Elle est localement appelée la « Mare aux Hippopotames ». C'est un site Ramsar qui abrite différentes espèces de mammifères et de nombreuses espèces d'oiseaux (Wetlands International, 2009). La conservation du site nécessite un suivi de l'extension des plantes flottantes, en particulier de la jacinthe *Eichhornia crassipes* qui peut être, à terme, un réel danger pour le lac Volta.

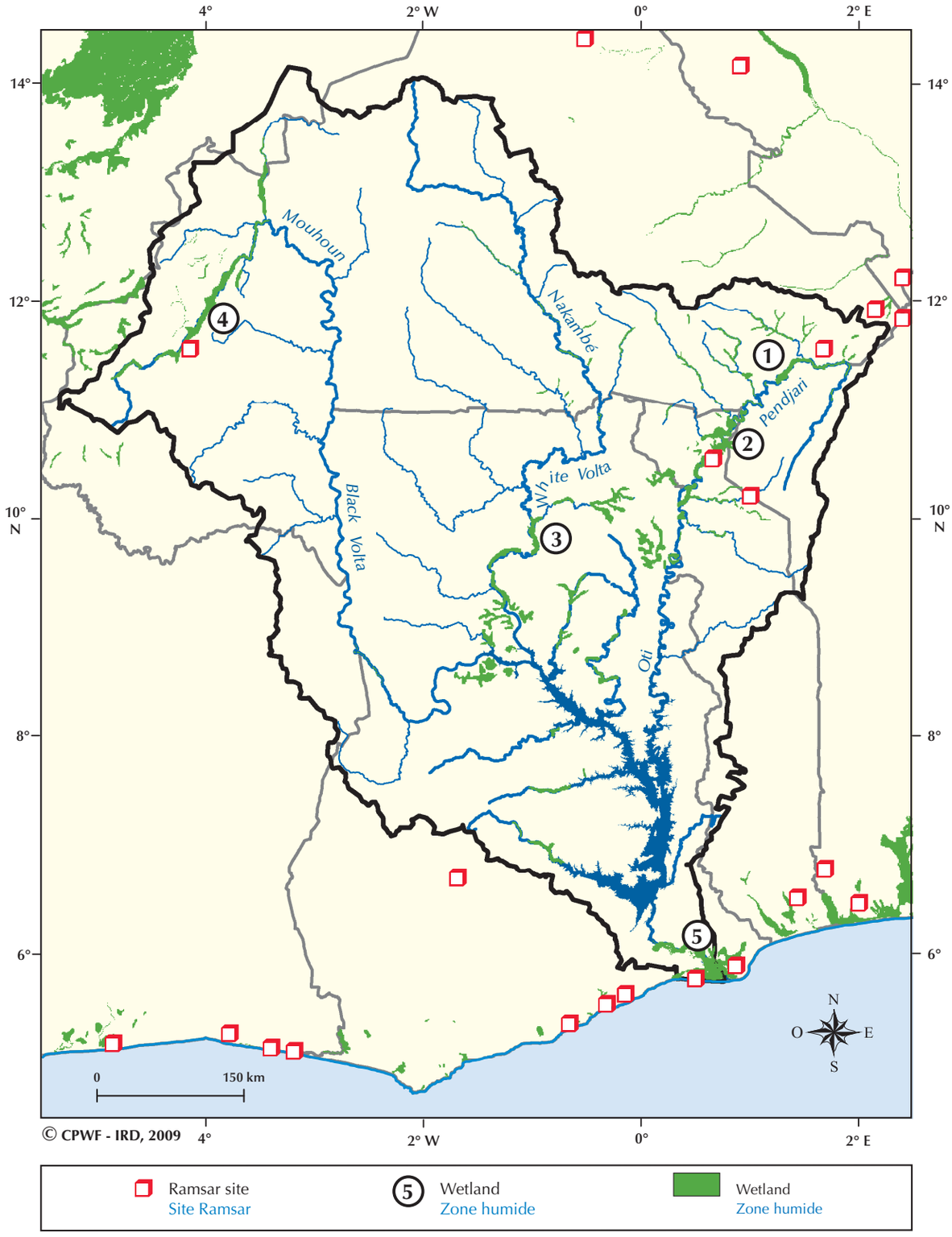
Zone humide 2

Cette région contient la plus grande plaine d'inondation de l'Oti dont les rives sont couvertes de forêts-galeries, marais, arbustes et broussailles dont une importante partie subit des inondations périodiques.

La plaine d'inondation couvre environ 80 km de long, pour 10 km de large et une surface de 48 000 ha. Elle est classée comme site Ramsar pour la diversité de sa faune (Wetlands International, 2009).

MiseEnPageVOLTAfin.indd 40 30/12/09 11:04:12

Map 7.1 - Wetlands and Ramsar sites in the Volta Basin
Carte 7.1 - Zones humides et sites Ramsar dans le bassin de la Volta



Sources: Adapted from the Ramsar list (http://www.ramsar.org/index_list.htm), from the Global Lakes and Wetlands Database (Lehner and Döll, 2004) and from Hughes and Hughes (1992). The numbers indicate the location of the main wetlands described in the text.

Sources : Adapté d'après la liste des sites Ramsar (http://www.ramsar.org/index_list.htm), de Global Lakes and Wetlands Database (Lehner et Döll, 2004) et d'après Hughes et Hughes (1992). Les numéros renvoient aux principales zones humides décrites dans le texte.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 41 30/12/09 11:04:13

about 140 km long and 4 km wide, having a total area of about 60,000 ha.

Wetland 4

In this area, the Mouhoun feeds into a permanent marshy area, which spreads during floods, as well as pools, gallery forests and a lake also known as the "Hippopotamus Pool". The latter is a Ramsar site that sustains a diversified population of mammals and birds (Wetlands International, 2009).

The floodplain extends some 190 km to the confluence with the Sourou. It can be as wide as 10 km in spots and covers more than 50,000 ha. It is an important fishery.

Wetland 5

Before reaching the sea, the Volta flows through an estuary about 5 km wide with an area of some 180,000 ha. The wetlands extend inland about 75 km from the coast. Their ecology was radically changed by the construction of the Akosombo dam: due to the regulated river regime, seawater can no longer flow up the estuary and river floodwater can no longer cover the entire area. The estuary has thus lost part of its function as a breeding area for diadromous marine species, fish, shrimp and molluscs.

On the west side of the estuary is the brackish Songor lagoon, classified as a Ramsar site. It covers some 11,500 ha, stretching for about 20 km along the coastline and 8 km inland. Its fauna includes sea turtles (leatherback, Atlantic ridley and green) and migratory birds (Dorm-Adzobu *et al.*, 2003; Wetlands International, 2009).

On the east side is a Ramsar site of about 53,000 ha, consisting of the brackish Keta lagoon, floodplains and mangrove forest. Most of this site lies outside the Volta Basin, but its wetlands are partly associated with the River Volta. The dominant form of vegetation is coastal savannah, and the area hosts many birds, fish and butterfly species. The waterbuck population in the area is endangered (Dorm-Adzobu *et al.*, 2003; Wetlands International, 2009). In the part of the estuary to the west of the river, the area covered by mangrove forest fell sharply over the 1973-1990 period, from 9,172 ha to 3,283 ha, while that covered by the fern *Acrostichum aureum* grew strongly at the expense of *Rhizophora* (Tutu, 2000).

Zone humide 3

Dans cette région, les différents affluents du Nakambé, dont la Nasia, sont entourés d'environ 55 000 ha de zones inondables. Plus à l'aval, une plaine d'inondation d'environ 140 km borde le Nakambé, sur une largeur d'environ 4 km et faisant au total une superficie d'environ 60 000 ha.

Zone humide 4

Le Mouhoun alimente dans cette région une zone marécageuse permanente, qui s'étend lors des crues, ainsi que des mares, des forêts-galeries et un lac appelé également la « Mare aux Hippopotames ». Ce lac est un site Ramsar qui abrite une population diversifiée de mammifères et d'oiseaux (Wetlands International, 2009).

La plaine d'inondation s'étire sur environ 190 km jusqu'à la confluence avec le Sourou. Elle peut être large à certains endroits de 10 km et couvre plus de 50 000 ha. C'est une zone de pêche importante.

Zone humide 5

Avant d'atteindre la mer, le fleuve Volta traverse un estuaire large d'environ 5 km d'une superficie d'environ 180 000 ha. Les zones humides du fleuve remontent jusqu'à environ 75 km du littoral. Leur écologie a été profondément modifiée par la construction du barrage d'Akosombo, la régulation du régime du fleuve ne permettant plus aux eaux salées de remonter l'estuaire ni aux eaux douces de crue de couvrir la zone. L'estuaire a donc perdu en partie sa fonction de zone de reproduction d'espèces marines amphihalines, poissons, crevettes et mollusques.

À l'ouest de l'estuaire se trouve la lagune saumâtre de Songor, classée comme site Ramsar. Elle couvre environ 11 500 ha et s'étend sur environ 20 km le long de la côte et 8 km dans les terres. Sa faune comprend la tortue luth, la tortue olivâtre, la tortue verte et des oiseaux migrateurs (Dorm-Adzobu *et al.*, 2003 ; Wetlands International, 2009).

À l'est de l'estuaire se trouve un site Ramsar d'environ 53 000 ha qui est composé de la lagune saumâtre de Keta, de plaines d'inondation et de mangroves. Ce site se situe principalement hors du bassin de la Volta

MiseEnPageVOLTAfin.indd 42 30/12/09 11:04:14

mais ses zones humides sont partiellement associées au fleuve Volta. La végétation dominante est la savane côtière. La zone est riche en oiseaux, poissons et espèces de papillons. La population de cobe à croissant est en voie de disparition (Dorm-Adzobu *et al.*, 2003 ; Wetlands International, 2009). La surface de la mangrove a fortement diminué, passant de 9 172 ha en 1973 à 3 283 ha en 1990 dans la région de l'estuaire à l'ouest du fleuve, avec un fort développement de la fougère *Acrostichum aureum* au détriment de *Rhizophora* (Tutu, 2000).

References:
Références :

Dorm-Adzobu C., Owusu E.H., Amankwah C.C., Ayivor J.S., 2003. *Inventory of wetlands in Ghana*. Ghana Wildlife Society, Accra, Ghana; the Wildlife Division of the Forest Commission, Accra, Ghana; Center for African Wetlands, Accra, Ghana.

Hughes R.H., Hughes J.S., 1992. *Répertoires des zones humides d'Afrique*. IUCN, Gland, Switzerland, and Cambridge, United Kingdom; UNEP, Nairobi, Kenya; WCMC, Cambridge, United Kingdom, 817 p.

Lehner B., Doll P., 2004. Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *Journal of Hydrology,* 296: 1-22.

Ramsar, 2009. *http://www.ramsar.org/indexfr.htm (Accessed 31-01-2009)*.

Tutu K. A., 2000. «The effect of the Volta dam on sociocultural changes for the people living in the mangrove economy of the lower Volta basin. Ch. 13». *In* H. Lauer (ed.): *Ghana: changing values/changing technologies*. Ghanian Philosophical Studies II, Washington, Council for Cultural Heritage and Contemporary Change, 322 p.
http://www.crvp.org/book/Series02/II-5/chapter_xiii.htm (Accessed 05-02-2009).

Wetlands International, 2009. *http://www.wetlands.org/ (Accessed February 2009)*.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 43 30/12/09 11:04:14

8 Water-related diseases

Les maladies liées à l'eau

Water-related diseases

The main water-related diseases in the Volta Basin are malaria, schistosomiasis (bilharzia), onchocerciasis (river blindness), dracunculosis (Guinea worm), trypanosomiasis (sleeping sickness) and also diarrhoea and cholera from unsafe domestic water (Poda, 2007). Onchocerciasis has been almost eradicated in West Africa through very strong control of the vector by the World Health Organisation with other partners, and there is good hope for dracunculosis eradication in the coming years (DFID, 2008). Malaria and schistosomiasis, however, remain a burden both at the micro (household) and macro (country) scales. Schistosomiasis is present throughout the basin and its prevalence is increasing in line with the development of irrigation: prevalence rates of up to 70% have been recorded around irrigation schemes in Burkina Faso (Poda, 2007). It is a cause of decreased manpower, but its effects have not been as documented as those of malaria.

Malaria

Malaria is caused by a parasite called *Plasmodium*, which is transmitted via the female mosquitoes of the genus *Anopheles*. Symptoms of malaria include fever, headache, and vomiting. If not treated, malaria can quickly become life-threatening. As Anopheles may breed in any volume of water, larval control over large areas is an almost hopeless undertaking.

Malaria is the main cause for mortality among children under five. It is widespread in the central part of the basin as indicated by Map 8.1. This map was generated using a statistical model based on approximately 250,000 children surveyed for malaria parasites over West Africa and on the distribution of factors relating to the parasite, the vector and the host (Kleinschmidt *et al.*, 2001).

Malaria is a challenge to human development manifesting itself as both a cause and consequence of under-development (Gallup and Sachs, 2000). Akazili (2002) found that the cost of malaria care in northern Ghana amounted to 34% of the income of the poor households. The annual cost of malaria to the entire Ghanaian health system was USD 18.4 million direct cost plus USD 23.9 million in indirect cost to households (Asante & Asenso-Okyere, 2003).

Les maladies liées à l'eau

Les principales maladies liées à l'eau dans le bassin de la Volta sont le paludisme, la schistosomiase (bilharziose), l'onchocercose (cécité des rivières), la dracunculose (ver de Guinée), la trypanosomiase (maladie du sommeil) mais aussi la diarrhée et le choléra provoqués par la consommation d'une eau insalubre (Poda, 2007). L'onchocercose a été pratiquement éradiquée en Afrique de l'Ouest grâce à un contrôle très strict du vecteur effectué par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et d'autres partenaires. La dracunculose devrait elle aussi être éradiquée dans les années à venir (DFID, 2008). Mais le paludisme et la schistosomiase sont toujours un fléau pour les populations à la fois au niveau micro (ménages) et macro (États). La schistosomiase est très répandue dans tout le bassin. Sa prévalence augmente avec le développement de l'irrigation et atteint jusqu'à 70% autour de périmètres irrigués du Burkina Faso (Poda, 2007). Comme le paludisme, elle est préjudiciable à la capacité de travail des populations, mais ses effets n'ont pas été aussi bien analysés.

Le paludisme

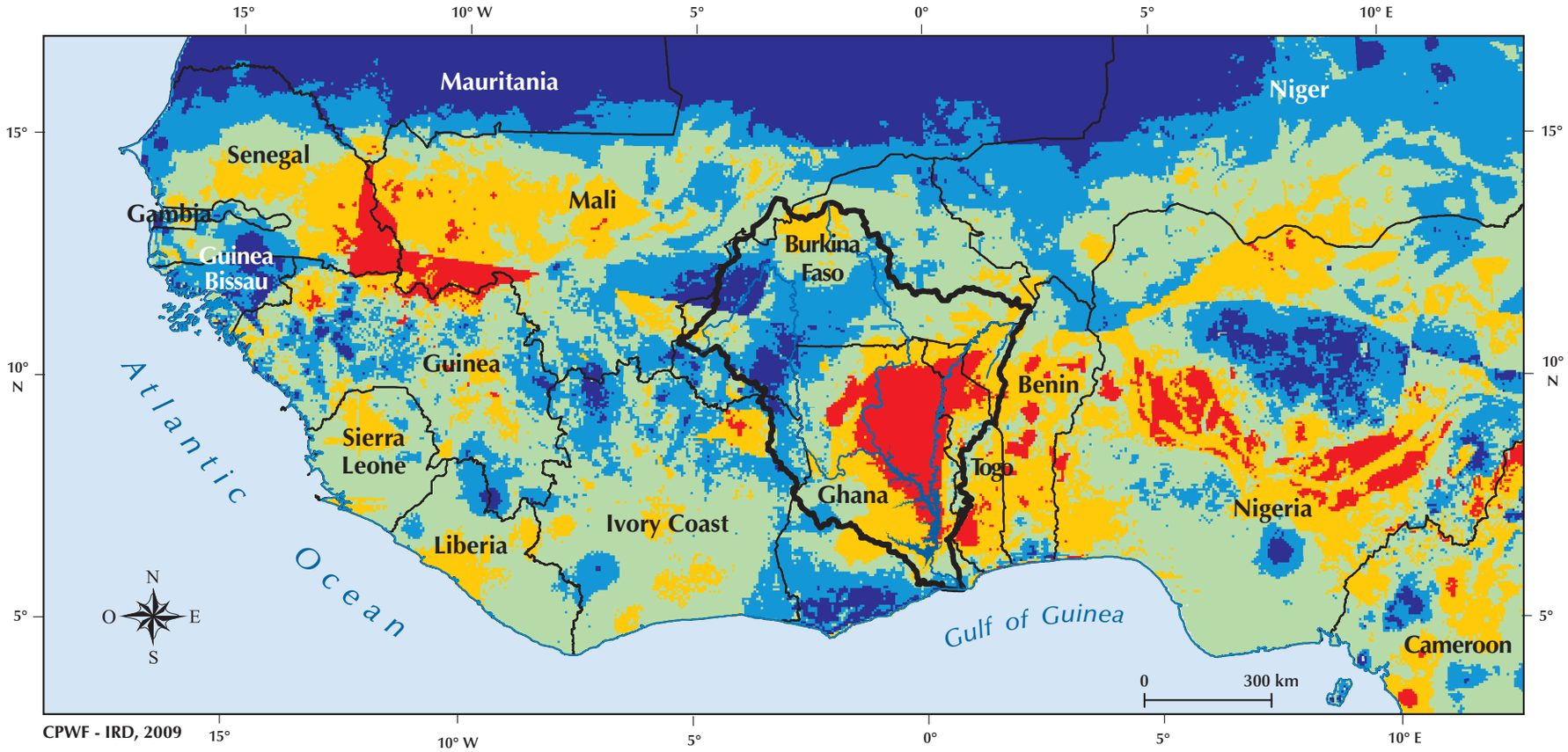
Le paludisme est une maladie parasitaire provoquée par le *Plasmodium* – un parasite transmis par la femelle du moustique du genre *Anopheles*. Le paludisme se manifeste par des poussées de fièvre, des maux de tête et des vomissements. S'il n'est pas traité, il peut rapidement devenir mortel. Les anophèles se reproduisant dans n'importe quelle petite flaque d'eau, le contrôle des larves sur de grandes étendues est une entreprise pratiquement désespérée.

Le paludisme reste la principale cause de mortalité chez les enfants de moins de cinq ans. Il est présent dans toute la partie centrale du bassin (carte 8.1). Cette carte a été obtenue à partir d'un modèle statistique issu d'une enquête en Afrique de l'Ouest auprès d'environ 250 000 enfants portant sur le paludisme et son épidémiologie (Kleinschmidt *et al.*, 2001).

Le paludisme menace le développement humain dans la mesure où il est à la fois une cause et une conséquence du sous-développement (Gallup et Sachs, 2000). Dans le nord du Ghana, Akazili (2002) a pu constater que le traitement du paludisme représentait 34% du

MiseEnPageVOLTAfin.indd 44 30/12/09 11:04:15

Map 8.1 - Prevalence of malaria in the Volta Basin
Carte 8.1 - Prévalence du paludisme dans le bassin de la Volta



Prevalence of Malaria in West Africa
Prévalence de la Maliara en Afrique de l'Ouest

- 1% - 21%
- 22% - 40%
- 41% - 60%
- 61% - 79%
- 80% - 99%

Model of malaria prevalence among children under 10 years of age in West Africa.
Source: Reproduced with permission from the Mapping Malaria Risk in Africa Project (MARA/ARMA Program, 2002).
Modèle de prévalence du paludisme dans la population des enfants de moins de 10 ans en Afrique de l'Ouest.
Source : reproduit avec permission du Projet Atlas du risque de la malaria en Afrique (Programme ARMA/MARA, 2002).

MiseEnPageVOLTAfin.indd 45 30/12/09 11:04:16

Means of preventing and curing malaria exist, but they are still too expensive for widespread application. Some national plans are in progress, however, especially for children under five and pregnant women. The new curative drugs (Artemisinin-based Combination Treatment, or ACT) are not available in most remote areas of the basin.

Onchocerciasis (river blindness)

Onchocerciasis is a disease caused by the filarial worm *Onchocerca volvulus*. This parasitic worm emits microfilariae into the dermal tissues where they provoke itching and skin lesions. They can also invade the eye, causing total blindness.

The parasite is transmitted by a black fly of the genus *Simulium* which has an aquatic larval stage, developing in the rapids of rivers. The disease is thus concentrated in foci along river courses, whence its name "river blindness". Onchocerciasis causes great suffering among the human populations, leading them to abandon the most fertile riverside land. In Africa, the largest and most severe foci were located in the Sudano-Guinean savannas in West Africa.

In 1974, several international organizations established the Onchocerciasis Control Programme (OCP) for the Volta River Basin (OCP, 1995). The area covered by the programme centred upon the Volta River Basin and included the large foci of West Africa. The Programme ceased its operations in December 2002, after 28 years. Epidemiological and entomological indicators have been used to evaluate its success.

One of these indicators is the annual transmission potential (ATP), which is related to the endemic level of the disease. It is the theoretical estimate of the total number of *S. damnosum* bites which a subject would receive during one year at a given catching point near the river.

In savannah areas, there are no serious ocular lesions when ATP is less than 200 because it is an accumulative disease. When ATP is above 1,000, the very existence of communities is threatened. In forest areas, where other less blinding vector species are present, the "tolerable" thresholds for ATP are much higher than in savannah areas, with less ocular effects.

Maps 8.2 and 8.3 show the distribution of ATP values in the OCP area before (1972–1973) and

revenu des ménages pauvres. Le coût annuel du paludisme pour l'intégralité du système de santé du Ghana s'élève en coûts directs à 18,4 millions USD auxquels s'ajoutent 23,9 millions USD de coûts indirects pour les familles (Asante et Asenso-Okyere, 2003).

La technologie pour prévenir et soigner le paludisme est connue, mais elle reste encore trop coûteuse et insuffisamment appliquée même si des plans nationaux sont en cours qui visent notamment les enfants de moins de cinq ans et les femmes enceintes. Dans la plupart des régions isolées du bassin, les nouveaux traitements thérapeutiques à base d'artémisine (ACT ou Traitement par Combinaison à base d'Artémisine) sont encore inaccessibles.

Onchocercose (ou cécité des rivières)

L'onchocercose est une filariose cutanée provoquée par le parasite *Onchocerca volvulus*. Ce ver parasitaire produit des microfilaires dans le tissu sous-cutané de l'homme qui provoquent des démangeaisons et des lésions puis migrent vers l'œil où elles entraînent une cécité définitive.

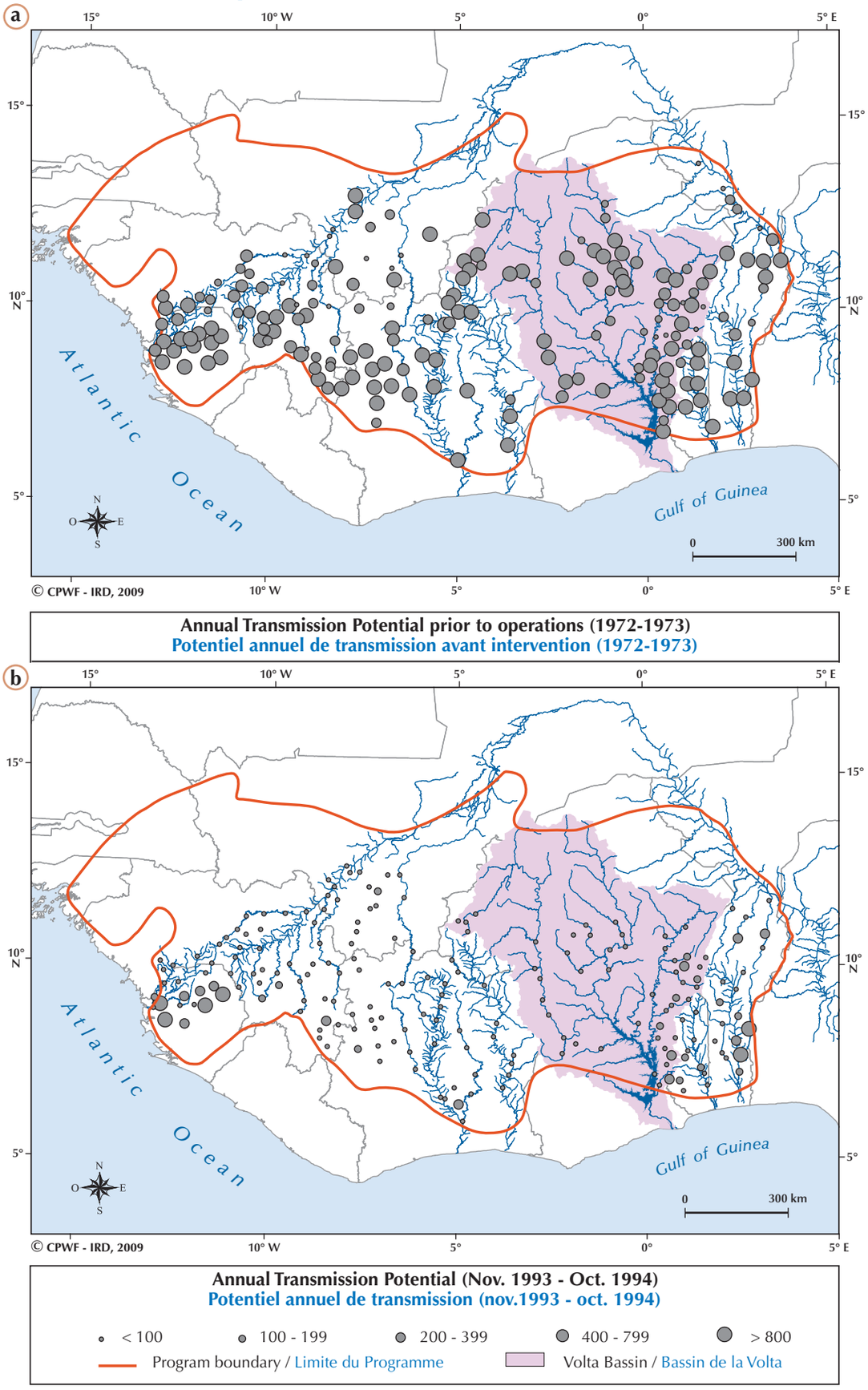
Le parasite est transmis par un moucheron diptère du genre *Simulium* qui, lors de sa phase larvaire aquatique, se développe dans les rapides. Les foyers de la maladie se concentrent donc le long des cours d'eau – d'où son appellation « cécité des rivières ». L'onchocercose pousse les populations à abandonner les zones très fertiles des berges des cours d'eau. En Afrique, les foyers les plus importants et les plus graves se trouvent dans les savanes soudano-guinéennes de l'Ouest.

En 1974, plusieurs organisations internationales ont lancé le Programme de contrôle de l'onchocercose (OCP) dans le bassin du fleuve Volta (OCP, 1995). Les interventions de l'OCP concernaient avant tout le bassin de la Volta et les foyers de l'Afrique de l'Ouest. Le programme a pris fin en décembre 2002, après 28 ans d'activité. Des indicateurs épidémiologiques et entomologiques ont servi à en évaluer l'efficacité.

L'un d'entre eux – le potentiel annuel de transmission (PAT) – est lié à l'intensité endémique de la maladie. C'est une estimation théorique du nombre total de piqûres de *S. damnosum* qu'un individu placé au point de capture à proximité du cours d'eau peut recevoir pendant un an.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 46 30/12/09 11:04:17

Map 8.2 - Annual transmission potential of onchocerciasis
Carte 8.2 - Le potentiel annuel de transmission de l'onchocercose



Annual transmission potential for Simulium damnosum *complex species infected with Onchocerca sp. a) prior to OCP operations (1972-1973), b) from Nov. 1993 to Oct. 1994. Source: OCP (1995).*
Potentiel annuel de transmission pour les espèces du complexe S. damnosum *porteuses de l'onchocercose a) avant le lancement du programme (1972-1973) ; et b) de novembre 1993 à octobre 1994. Source : OCP (1995).*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 47 30/12/09 11:04:21

after (Nov. 1993-Oct. 1994) larviciding treatment which involved spraying insecticides over the river rapids.

Pre-larviciding data show that 56 % of the catching points had an ATP higher than 800 and were in a hyperendemic situation, while for 35 % of them ATP ranged between 800 and 100. Only 9 % had an ATP lower than 100, i.e. an acceptable level.

In 1993-1994, after almost 20 years of treatment, all the hyperendemic areas of the savannah part of the Volta basin have been freed from infected black flies, and only a few stations of the forest area, along the Oti River and east of Lake Volta had an ATP between 100 and 400.

Since the cessation of the larvicide treatment in the rivers, chemotherapy with ivermectine has been implemented to prevent onchocercal morbidity in some regions where the results were not entirely satisfactory. The risk of resistance to ivermectine is being carefully studied (Bourguinat *et al.*, 2007).

In a World Bank estimate, the "new land" suitable for cultivation which was made available as a result of onchocerciasis control amounted to some 150,000 km^2 in the original programme area which covered about half of the total programme area.

Results from monitoring of the fish fauna regularly exposed to larvicides did not indicate any measurable effects of pesticides on the abundance of species, trophic structure, community structure or fish health (Paugy *et al.*, 1999).

Dans les savanes, un PAT inférieur à 200 est le signe d'absence de risque de lésion oculaire grave. Au-dessus de 1 000, la survie même des communautés est menacée. Dans les forêts, où d'autres vecteurs sont présents, les seuils « tolérables » de PAT sont bien supérieurs à ceux des zones de savane, avec moins d'effets sur la vue.

Les deux cartes (8.2 et 8.3) illustrent la répartition des valeurs du PAT dans la zone du programme OCP avant (1972-1973) et après (nov. 1993-oct. 1994) les traitements par pulvérisation de larvicide sur les rapides.

Les données préalables à la pulvérisation montrent que 56 % des points de capture affichaient un PAT supérieur à 800 et se trouvaient donc en situation hyperendémique, alors que 35 % des points de capture avaient un PAT allant de 800 à 100. Seuls 9 % des points de capture présentaient un taux acceptable, inférieur à 100.

En 1993-1994, soit au bout de pratiquement 20 ans de traitement, toutes les zones hyperendémiques de la partie du bassin de la Volta couverte de savanes avaient été débarrassées des simulies infectées et seuls quelques points dans les zones de forêts le long de la rivière Oti et à l'est du lac Volta affichaient encore un PAT compris entre 100 et 400.

Après la fin des pulvérisations de larvicide, un traitement chimiothérapique à base d'ivermectine a été mis en place pour prévenir la morbidité liée à l'onchocercose dans certaines régions où les résultats n'étaient pas entièrement satisfaisants. Le risque de résistance à l'ivermectine est soigneusement étudié (Bourguinat *et al.*, 2007).

Selon une estimation de la Banque mondiale, les « nouvelles terres » cultivables libérées par le programme OCP sont de l'ordre de 150 000 km^2 dans la zone initialement couverte par le programme.

Un suivi de l'ichtyofaune régulièrement exposée aux larvicides n'a relevé aucun effet quantifiable des pesticides sur la diversité des espèces, la structure trophique, la structure des peuplements ou la santé des poissons (Paugy *et al.*, 1999).

MiseEnPageVOLTAfin.indd 48 30/12/09 11:04:22

Conclusion

The spread and impact of some water-related diseases in the basin may be limited in part by a proper management of the water or of the environment, but mainly by changes in the social and cultural behaviour, and in improvements in the health services. Most of these diseases may be considered not only as a consequence, but also as a cause of poverty.

Conclusion

Si la propagation et les effets de certaines maladies liées à l'eau dans le bassin peuvent être en partie maîtrisés par une gestion convenable de l'eau et de l'environnement, ce sont surtout les changements de comportements sociaux et culturels ainsi que l'amélioration des services de santé qui jouent un rôle décisif. La plupart de ces maladies peuvent être considérées non seulement comme une conséquence, mais aussi comme une cause de pauvreté.

References:
Références :

Akazili J., 2002. «Costs to households of seeking malaria care in the Kassena-Nankana District of Northern Ghana». *In:* Third MIM Pan-African Conference on Malaria, Arusha, Tanzania, 17-22 November 2002. Bethesda, MD.

Asante F.A., Asenso-Okyere K., 2003. Economic burden of malaria in Ghana. Final Report. ISSER, Univ of Ghana, 81 p.

Bourguinat C., Pion S., Kamgno J., Gardon J., Duke B.O.L., Boussinesq M., Prichard R.K., 2007. Genetic selection of low fertile *Onchocerca volvulus* by ivermectine treatment. *PloS Neglected Tropical Diseases,* 1: e72.

DFID . Department for International Development (2008).-
http://www.dfid.gov.uk/news/files//pressreleases/tropical-diseases.asp.

Gallup J.L., Sachs J.D., 2000. The economic burden of malaria. Center for International Development at Harvard University. CID Working Papers 52.

Kleinschmidt H., Omumbo J., Briet O., van de Giesen N., Sogoba N., Kumasenu Mensah N., Windmeijer P., Moussa M., Teuscher T., 2001. An empirical malaria distribution map for West Africa. *Tropical Medicine and International Health*, 6: 779-786.

MARA/ARMA Project, 2002.- *Mapping Malaria Risk in Africa*. Medical Research Council, Durban, South Africa.
http:// www.mara.org.za . Accessed 25-04-2009.

OCP (Onchocerciasis Control Programme in West Africa), 1995. *Twenty years of onchocerciasis control in West Africa.* Geneva, World Health Organization, 175 p.

Paugy D., Fermon Y., Abban K.E., Diop M.E., Traoré K., 1999. Onchocerciasis Control Programme in West Africa: a 20-year monitoring of fish assemblages. *Aquat. Living Resources*, 12: 363-378.

Poda J.-N., 2007. *Les maladies liées à l'eau dans le bassin de la Volta : état des lieux et perspectives.* Volta Basin Focal Project Report No 4. IRD, Montpellier, France, and CPWF, Colombo, Sri Lanka, 87 p
http://cpwfbfp.pbwiki.com/Publications+from+Volta

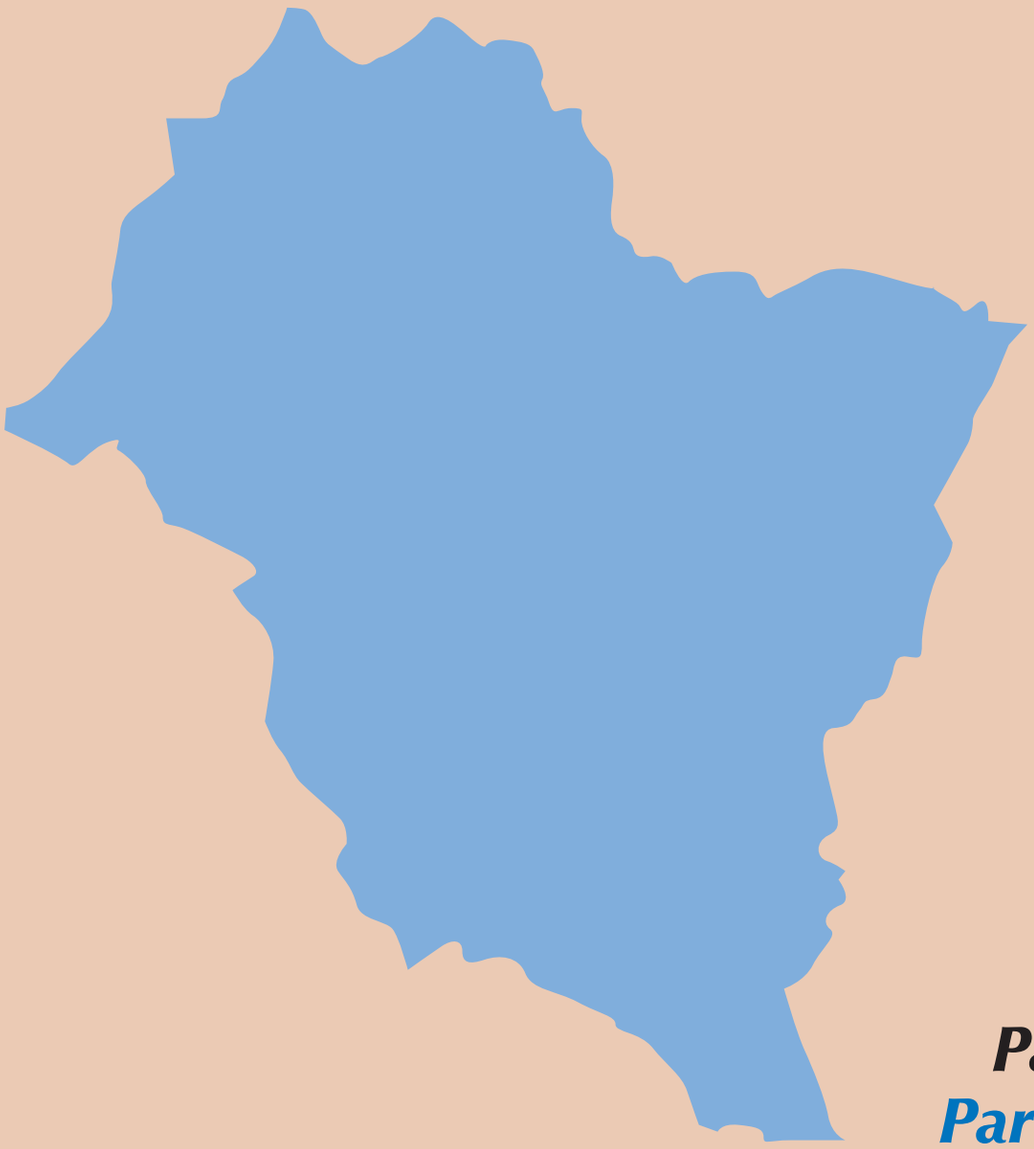
MiseEnPageVOLTAfin.indd 49 30/12/09 11:04:23

Photo 3: Food crops in the southern part of the Volta Basin.
Photo 3 : Production vivrière dans le sud du bassin de la Volta.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 50 30/12/09 11:04:24

Uses of the water resource of the Volta Basin

Utilisation de la ressource en eau du bassin de la Volta



Part II
Partie II

9 Water availability

Les ressources en eau disponibles

The Volta basin receives about 395 km³ of rain over a land area of 394,000 km² and had a population of 20.7 million inhabitants in 2005 (Table 9.1). Most of this water returns to the atmosphere and the actual renewable water resources have been estimated at 33 km³/year for surface water and 13 km³/year for groundwater (see Section 4).

Le bassin de la Volta reçoit environ 395 km³ de précipitations pour une zone de 394 000 km² et une population de 20,7 millions d'habitants en 2005 (Tableau 9.1). L'essentiel de cette eau retourne dans l'atmosphère et les ressources en eau effectivement utilisables sont estimées à 33 km³ par an pour les eaux de surface et à 13 km³ par an pour les eaux souterraines (voir chapitre 4).

Table 9.1: Population in the Volta Basin in 2005. Adapted from CIESIN* et al. *(2005).
Tableau 9.1 : Population du bassin de la Volta en 2005. Adapté de CIESIN* et al. *(2005).

Country Pays	Benin	Burkina Faso	Ghana	Ivory Coast	Mali	Togo	*Total*
Population in the basin ('000) **Population dans le bassin ('000)**	515	10,224	7,872	278	148	1,663	***20,700***
Contribution to the total population in the basin **Contribution à la population totale du bassin**	2%	43%	38%	1%	< 1%	8%	***100%***

With more than 2,000 m³ of renewable water resources per capita per year the Volta Basin population may be considered as slightly above the world standard for **physical water stress**, which has been set at 1,700 m³ per capita (World Resources Institute, 2000). At the sub-basin scale, however, most of the northern part of the basin suffers **physical water scarcity** with less than 1,000 m³/capita/year.

Renewable water resources in Burkina Faso amount to about 930 m³/capita/year, with dry river beds during several months per year and irregular distribution of groundwater availability. However, the population uses only 6.4 % of this renewable resource.

In Ghana, internally produced renewable water resources amounted to 2,489 m³/capita/year in 2004, and only 1.8 % of this water was effectively withdrawn for uses other than hydropower production (FAO-Aquastat, 2009). Demographic trends may, however, lead to a global water stress in the basin as soon as in year 2025.

The current low level of use of available resources is a strong indicator of **economic water scarcity.**

Economic water scarcity occurs when water resources are abundant relative to water use, but a lack of infrastructure or financial capacity prevents people from accessing the water they need. In the Volta basin, this dilemma primarily affects smallholder farmers, most of whom rely

Avec plus de 2 000 m³ de ressources en eau renouvelables par habitant et par an, la population du bassin de la Volta peut être considérée comme légèrement au-dessus de la norme internationale de **stress hydrique physique** établie à 1 700 m³ par habitant (World Resources Institute, 2000). À l'échelle du sous-bassin pourtant, pratiquement toute la partie nord connaît une **pénurie physique de l'eau**, avec moins de 1 000 m³ par habitant et par an.

Au Burkina Faso, les ressources en eau renouvelables sont d'environ 930 m³ par habitant et par an, avec des cours d'eau restant secs plusieurs mois de l'année et des ressources en eaux souterraines inégalement réparties. Mais 6,4 % seulement de ces ressources renouvelables sont utilisés par la population.

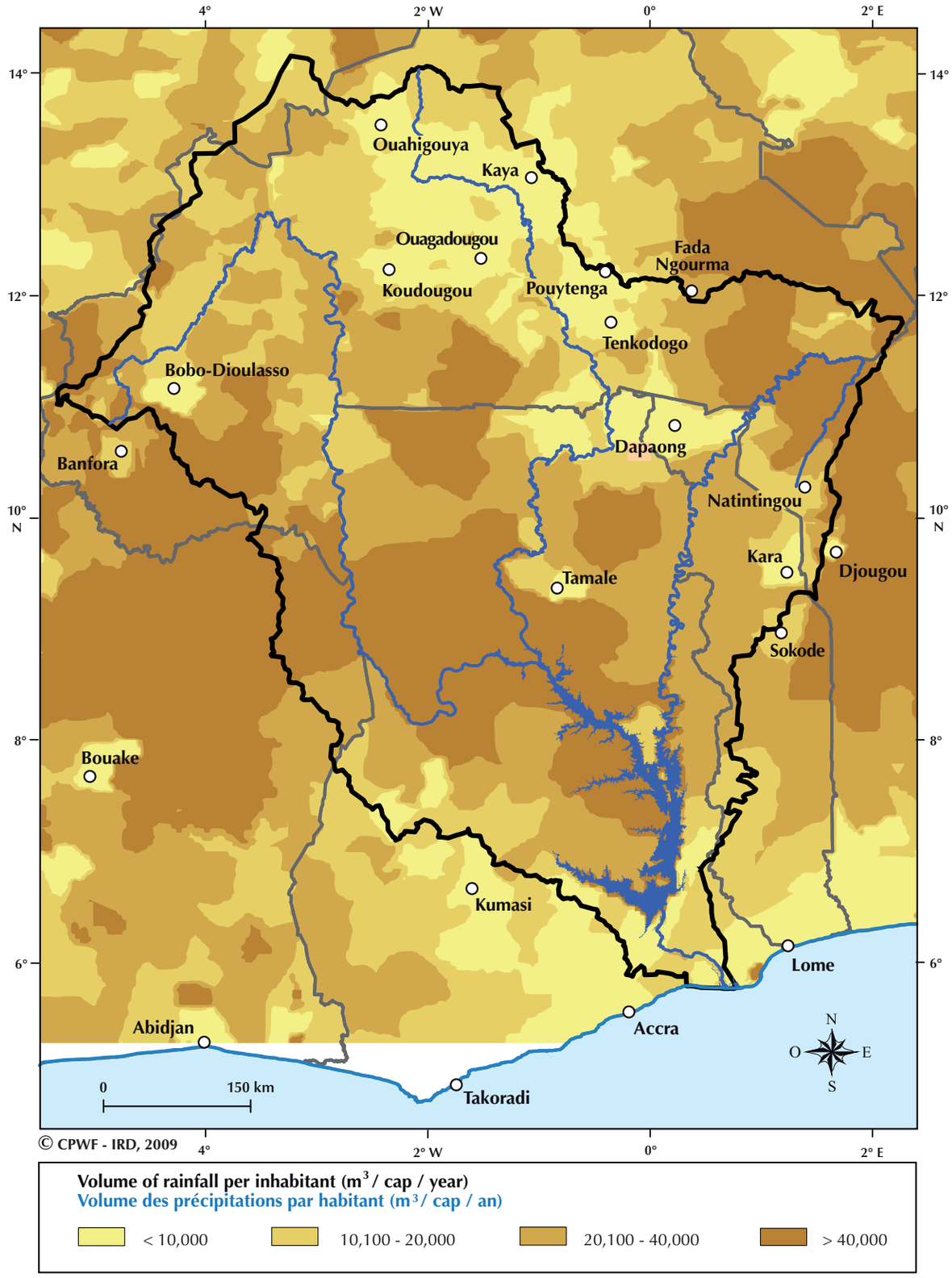
Au Ghana, les ressources renouvelables produites à l'intérieur du pays représentaient 2 489 m³ par habitant et par an en 2004 mais 1,8 % seulement de cette eau était effectivement affecté à d'autres usages que la production d'électricité (FAO-Aquastat, 2009). La pression démographique pourrait bien cependant engendrer un stress hydrique généralisé sur l'ensemble du bassin à l'horizon 2025.

La très faible utilisation actuelle des ressources disponibles est un indicateur fort de **pénurie économique de l'eau.**

On parle de rareté économique de l'eau lorsque les ressources en eau sont abondantes

MiseEnPageVOLTAfin.indd 52 30/12/09 11:04:25

Map 9.1 - Volume of rainfall per inhabitant in 2005
Carte 9.1 - Volume des précipitations par habitant en 2005



The map was generated by dividing the average rainfall during the period 1990–2000 by the population density in 2005.The units are m³/capita/year.
Source: rainfall data from CRU and population from CIESIN et al. *(2005).*

Cette carte a été produite en divisant les précipitations annuelles moyennes sur la période 1990-2000 par la densité de population en 2005. Unités : m³ par habitant et par an.
Source : données sur les précipitations du CRU et données sur la population de CIESIN et al. *(2005).*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 53 30/12/09 11:04:26

on low-yield, rain-fed agriculture, and whose livelihoods are constantly threatened by irregular precipitation and drought. For this reason, additional investment in the water sector, especially for small-scale irrigation and dry season crops, could play a transformative role in poverty alleviation in the nothern part of the basin (World Resources Institute, 2007).

These usual indicators of water availability are not fully suited to the Volta Basin because a large volume of water (about 33 km^3/y, depending on the period considered) is used for hydropower production in the lower part of the basin, and thus is not available for agriculture or other uses. As most farmers rely on rain-fed agriculture, we have calculated the available mean **rainfall per capita** over the basin (Map 9.1). The range of variation within the basin is quite large – six-fold, in fact – from less than 10,000 m^3 to more than 40,000 m^3/capita/year, the large cities being omitted. The upper White Volta basin in Burkina Faso, in the historical region of the Mossi ethnic group, and the Upper East Region in Ghana exhibit low values owing to the combination of high population densities with low rainfall. Although most of the arable land of these regions is cultivated, the rain-fed production has to be supplemented either with dry season crops irrigated by small reservoirs or by other means of rain water harvesting (see Section 12). The regions of high rainfall per capita lie in the centre of the basin, where high rainfall is distributed over sparse populations and national parks.

proportionnellement à l'utilisation qui en est faite mais qu'un manque d'infrastructures ou de moyens financiers empêche la population d'accéder à l'eau dont elle a besoin. Ce dilemme frappe surtout les petits exploitants du bassin de la Volta dont la plupart vivent d'une agriculture pluviale à faible rendement et dont la source de revenu est constamment menacée par l'irrégularité des précipitations et la sécheresse. C'est pourquoi de nouveaux investissements dans le secteur de l'eau, et en particulier dans l'irrigation à petite échelle pour les cultures de saison sèche, pourraient contribuer sensiblement à la lutte contre la pauvreté en transformant les pratiques agricoles dans la partie nord du bassin (World Resources Institute, 2007).

Les indicateurs habituels de la disponibilité en eau ne sont pas pleinement adaptés au bassin de la Volta, à cause de l'important volume de la ressource (environ 33 km^3 par an, selon les périodes) consacré à la production d'électricité dans la partie inférieure du bassin, et qui n'est donc plus disponible pour l'agriculture ou d'autres usages. Comme la plupart des agriculteurs pratiquent des cultures pluviales, nous avons calculé le niveau moyen de **précipitations disponibles par habitant** sur l'ensemble du bassin (carte 9.1). Les écarts sont assez prononcés, d'un facteur six, allant de moins de 10 000 m^3 à plus de 40 000 m^3 par habitant et par an (hors grandes villes). Le bassin supérieur du Nakambé, au Burkina Faso, dans la région historique des Mossi, et la région du Nord-Est, au Ghana, affichent les valeurs les plus faibles – résultat de densités de population importantes et de faibles précipitations. Alors que pratiquement toutes les zones arables de ces régions sont cultivées, la production pluviale doit être complétée soit par des cultures de saison sèche irriguées par de petits réservoirs, soit par d'autres moyens de collecte des eaux pluviales (voir chapitre 12). Les régions les plus arrosées (par habitant) sont situées au centre du bassin, les populations, peu nombreuses, et les parcs nationaux bénéficiant de précipitations abondantes.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 54 30/12/09 11:04:26

References:
Références :

CIESIN (Center for International Earth Science Information Network), FAO (United Nations Food and Agriculture Programme), and CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), 2005. Gridded Population of the World: Future Estimates (GPWFE). Palisades, NY: Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. Available at
http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw Accessed June 2008.

FAO, 2009. FAO Aquastat country profiles.
http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat. Accessed June 2009.

World Resources Institute, 2000. PAGE, Projected Annual Renewable Water Supply Per Person by River Basin, 2025.
http://earthtrends.wri.org/maps_spatial/maps_detail_static.php?map_select=265&theme=2
Accessed 26-03-2009.

Photo 4: Multiple uses of surface water for household activities. Northern Region, Ghana, March 2009.
Photo 4 : L'eau de surface est utilisée pour de nombreux usages domestiques. Région du Nord, Ghana, mars 2009.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 55 30/12/09 11:04:29

10 Access to drinking water

L'accès à l'eau potable

Water requirements for household use in the basin were evaluated at 156 Mm^3 in 2005, for a population of 20.7 million, 70% of which is rural. Despite government efforts, partly offset by population growth, a high proportion of households (primarily rural ones) do not have access to good quality water and as a result are exposed to major health risks (diarrhoea, cholera, dracunculosis). Non-access to good quality water is considered an indicator of poverty at the country or basin scale.

Access to water depends on a number of factors. International organisations (WHO and Unicef, 2008) take two of these as indicators: (a) the distance or time required to fetch water, and (b) the quality of the available water. Households considered as having reasonable access are those able to draw an adequate amount of water from an improved source, such as a household connection, public standpipe, borehole, protected well or spring, or rainwater collector. Unimproved sources include vendors, tanker trucks, unprotected wells and springs, and surface water. Reasonable access is defined as the availability of at least 20 litres per person per day from a source within one kilometre of the dwelling (WHO and Unicef, 2008). Other factors also affect the use of good quality water, such as whether access is free of charge, the number of families sharing a water supply point or the taste of the available water.

The countries making up the basin have published data on access to safe drinking water. Such data do not always consider whether the associated infrastructure is in good operating condition, and they change rapidly owing to the development programmes in progress. In general, they indicate a sharp difference between rural and urban areas; in Burkina Faso, for example, only 11.5% of the urban population does not have access to safe water, as against 35% of the rural population (INSD, 2003).

The data collected over the course of the BFP Volta programme show a highly varied situation in the basin. In particular, the rural populations in the loop of the Black Volta and in the Savanes Region of northern Togo have very low rates of access to safe water (Map 10.1).

The 2006 UNICEF assessment for the three countries accounting for the bulk of the basin's population showed the following rates of access to good quality water: 71, 66 and 40% of

Les besoins en eau à usage domestique dans le bassin ont été évalués à 156 Mm^3 en 2005 pour une population de 20,7 millions d'habitants, dont 70 % de ruraux. Malgré les efforts des gouvernements, en partie contrecarrés par la croissance démographique, il reste une forte proportion de ménages, essentiellement ruraux, qui n'ont pas accès à une eau de bonne qualité et qui sont de ce fait exposés à des risques sanitaires importants (diarrhée, choléra, dracunculose). Le non-accès à une eau de bonne qualité est considéré comme une caractéristique de la pauvreté à l'échelle d'un pays ou d'un bassin.

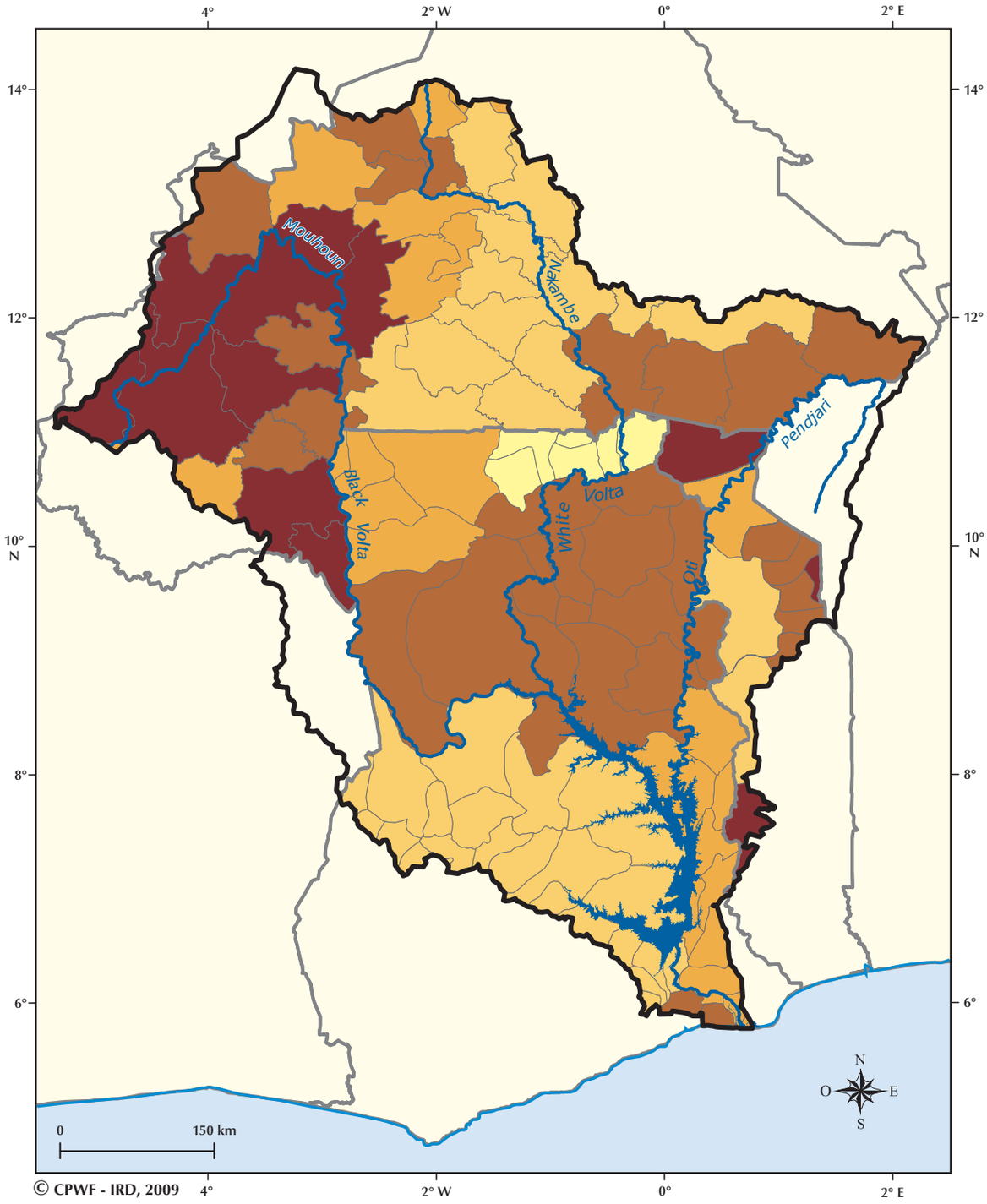
L'accès à l'eau dépend de plusieurs facteurs. Deux sont pris en compte par les organismes internationaux (WHO & Unicef, 2008). Ce sont (a) la distance ou le temps nécessaire pour chercher l'eau et (b) la qualité de l'eau disponible. Sont considérées comme ayant accès à une bonne source d'eau domestique les familles disposant d'un robinet, de l'accès à une borne-fontaine, à un forage, à un puits protégé (puits moderne) ou une source protégée ou à un récupérateur d'eau de pluie. À l'opposé, sont considérés comme ne fournissant pas de l'eau de bonne qualité les revendeurs d'eau, les citernes sur camion, les sources ou puits non protégés et les eaux de surface. L'accès raisonnable se comprend comme la possibilité d'obtenir au moins 20 litres par personne et par jour à une distance inférieure à un kilomètre du foyer (WHO & Unicef, 2008). D'autres facteurs interviennent également dans l'usage d'eau de bonne qualité, parmi lesquels figurent la gratuité, le nombre de familles qui se partagent le même point d'eau ou encore le goût de l'eau disponible.

Des données sur l'accès à l'eau potable ont été publiées par différents pays du bassin. Elles ne tiennent pas toujours compte du bon état de fonctionnement des ouvrages, et évoluent rapidement en fonction des programmes de développement en cours. Elles indiquent en général une forte différence entre milieu rural et urbain, comme au Burkina Faso où seulement 11,5 % des urbains n'ont pas accès à une eau de bonne qualité contre 35 % des ruraux (INSD, 2003).

Les données rassemblées au cours du programme BFP Volta montrent une forte hétérogénéité dans le bassin, avec un fort déficit d'accès à une eau convenable pour les po-

MiseEnPageVOLTAfin.indd 56 30/12/09 11:04:29

Map 10.1 - Lack of access to good quality water in rural areas
Carte 10.1 - Non-accès à une eau de bonne qualité en zones rurales



Access to only poor quality water (% of population)
Accès seulement à de l'eau de mauvaise qualité (% de la population)

14% | 15% - 47% | 48% - 60% | 61% - 73% | 74% - 94%

Percent of the population in the departments (Burkina Faso) or provinces (Ghana) who rely on surface water or traditional wells for domestic water.
Pourcentage de la population des départements (Burkina Faso) ou des provinces (Ghana) qui dépendent des eaux de surface ou des puits traditionnels pour leur alimentation en eau domestique.

Data sources: *Source des données :*
- *Burkina faso: Recensement général de la population et de l'habitation en 1996 (INSD, 2000 and Cachera, 2007),*
- *Togo: Direction générale de l'eau et de l'assainissement (DGEA, 2007),*
- *Ghana: Ghana Living Standard Survey 4, 1998 (Ghana Statistical Service, 2009).*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 57 30/12/09 11:04:31

the rural population respectively for Ghana, Burkina Faso and Togo (WHO and UNICEF, 2008). The rate of population growth in the basin is making it particularly difficult to achieve the Millennium Development Goals concerning safe drinking water: apart from Ivory Coast, the Volta Basin countries are all in the lowest quartile of the World Bank's (2009) ranking of countries by access to water.

pulations rurales de la boucle du Mouhoun et dans la Région des Savanes dans le Nord-Togo. Ces déficits d'accès sont représentés sur la carte 10.1.

La situation établie pour 2006 par l'UNICEF pour les trois pays représentant la majeure partie de la population du bassin indiquait un accès à une eau de bonne qualité pour les populations rurales de 71, 66 et 40 % respectivement au Ghana, au Burkina Faso et au Togo ((WHO & UNICEF, 2008). La croissance démographique dans le bassin rend plus difficile qu'ailleurs la réalisation des Objectifs de Développement du Millénaire en matière d'eau potable : hormis la Côte d'Ivoire, les pays du bassin sont classés par la Banque mondiale dans le dernier quartile des pays du monde pour l'accès à l'eau (World bank, 2009).

References:
Références :

CACHERA J., 2007. *Étude de l'accès à l'eau et de la pauvreté hydrique sur le bassin des Voltas*. Volta Basin Focal Project Report No 5. IRD, Montpellier, France and CPWF, Colombo, Sri Lanka, 41 p.

DGEA (Direction générale de l'eau et de l'assainissement, Togo), 2007. *Rapport de la mission de consultation sur l'OMD pour l'Eau et l'Assainissement au Togo*. Lomé, Togo, Direction générale de l'eau et de l'assainissement.

Ghana Statistical Service, 2009. Ghana Living Standard Survey 4 (GLSS4). *http://www.statsghana.gov.gh/DataRequest.html. Accessed 28/06/2009.*

INSD (Institut national des statistiques et de la démographie), 2000. *Analyse des résultats du recensement général de la population et de l'habitat de 1996*. Burkina Faso, Ouagadougou, Ministère de l'Économie et du Développement, 374 p.

INSD (Institut national des statistiques et de la démographie), 2003. *Analyse des résultats de l'enquête burkinabé sur les conditons de vie des ménages*. Rapport final. Ouagadougou, Ministère de l'Économie et du Développement, 223 p. plus Annexes 43 p.

WHO, UNICEF, 2008. *World Health Organization and United Nations Children's Fund Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation*. Progress on Drinking Water and Sanitation: Special Focus on Sanitation. UNICEF, New York and WHO, Geneva, 2008. *http://www.unicef.org/infobycountry/ghana_statistics.html. Accessed 28/04/2009.*

World Bank, 2009. *http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTHEALTHNUTRITIONANDPOPULATION/EXTDATAS. Accessed 24/05/2009.*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 58 30/12/09 11:04:32

Photo 5: Household water is sometimes collected from a reservoir. Northern Region, Ghana, March 2009.
Photo 5 : L'eau domestique est parfois puisée dans une petite retenue. Région du Nord, Ghana, mars 2009.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 59 30/12/09 11:04:34

11 Large irrigated schemes
Les grands périmètres irrigués

Various irrigation methods are used in the Volta Basin. In addition to large irrigation schemes, presented in this section, we should mention irrigation from small reservoirs (Section 12), the use of inland valleys, and informal irrigation, often using wastewater, in urban and peri-urban areas. It is estimated, for example, that informal peri-urban irrigation in Ghana covered nearly 12,000 ha in 2008, or 38% of the total irrigated area in the country (FAO Aquastat, 2009). However, less than 0.5% of cultivated land, and only 2% of irrigable land, is in fact irrigated (FAO, 2009; Ministère de l'Environnement et de l'Eau, 2001).

Owing to the development of new irrigated perimeters and the abandonment or rehabilitation of old ones, it is difficult to give a precise figure for irrigated area in the basin. It is estimated that during the 1998-2002 period the major irrigated perimeters in the basin were found in Burkina Faso and Ghana, where they covered 6,500 and 5,100 ha respectively.

A description of two large irrigation schemes in the basin is given below.

Bagré

The Bagré dam is on the White Volta, about 200 km south-east of Ouagadougou, in the Bissa country. The reservoir was primed from 1992 to 1994. At its maximum height, it is about 80 km long, covers an area of 255 km^2 and contains 1,700 Mm^3 of water. It is thus quite shallow, with an average depth of 7 m, which makes the share of water loss through evaporation relatively large. Water is drawn for irrigation through two main irrigation canals, one on each bank. Apparently, the dam is now under-sized, possibly as a result of the increase in the runoff coefficient of the upper White Volta basin in recent years (Mahé *et al.*, 2005). A new lateral spillway has increased security downstream, where floods have inflicted heavy damage in the past.

Water is used in priority for irrigation, but the dam has a hydropower plant with installed capacity of 16 MW. Two fishing villages on the shores of the lake produce an estimated 1,200 tonnes per year, with more than 1,500 people directly employed in fishing (Morand, 1997; Villanueva *et al.*, 2006).

The potential irrigable area is 21,000 ha

Divers modes d'irrigation sont utilisés dans le bassin de la Volta. En complément de l'irrigation sur des grands périmètres, présentée dans ce chapitre, il faut citer l'irrigation développée à partir des petits barrages (chapitre 12), l'utilisation des bas-fonds inondables et aussi l'irrigation informelle urbaine ou péri-urbaine qui utilise souvent des eaux usées. Il est estimé, par exemple, que l'irrigation informelle péri-urbaine au Ghana occupait en 2008 près de 12 000 ha, soit 38 % de la surface irriguée totale du pays (FAO Aquastat, 2009). Au total, l'irrigation n'occupe cependant que moins de 0,5 % des terres cultivées et seulement 2 % du potentiel irrigable (FAO, 2009; Ministère de l'Environnement et de l'Eau, 2001).

Du fait de la création de nouveaux périmètres, de l'abandon ou la réhabilitation des anciens, il est difficile de donner un état précis des surfaces irriguées dans le bassin. Il est estimé que les grands périmètres irrigués du bassin se trouvaient, dans la période 1998-2002, au Burkina Faso et au Ghana où ils couvraient respectivement 6 500 et 5 100 ha.

Une description de deux grands périmètres irrigués du bassin est donnée ci-dessous.

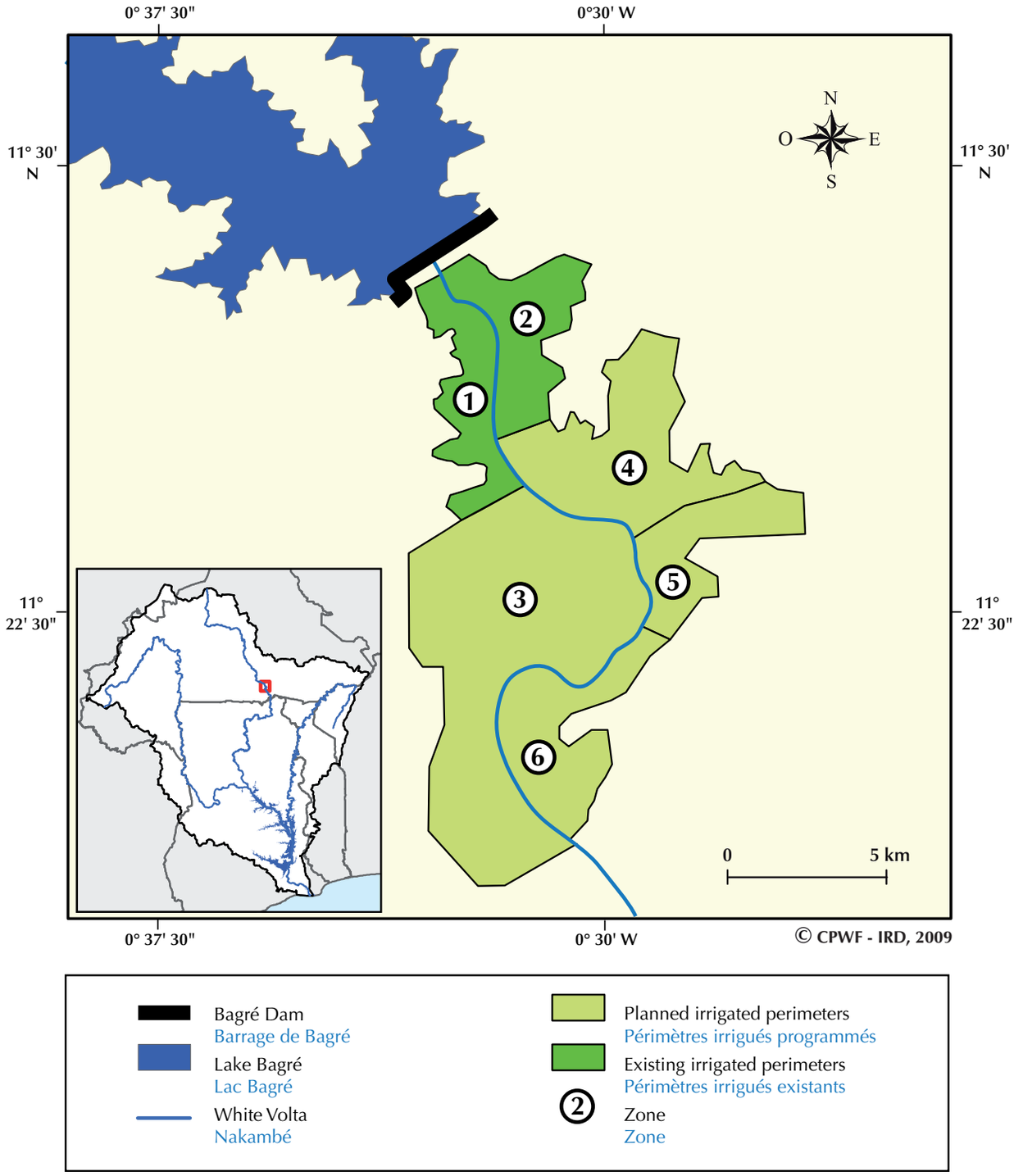
Bagré

Le barrage de Bagré est situé sur le Nakambé, environ 200 km au SE de Ouagadougou, en pays bissa. La mise en eau du réservoir s'est déroulée de 1992 à 1994. En cote maximale, il couvre une superficie 255 km^2 avec une longueur d'environ 80 km, pour un volume de 1 700 Mm^3. Le lac est donc particulièrement peu profond, avec une profondeur moyenne de 7 m, ce qui rend la part de l'évaporation relativement importante. Deux canaux primaires périphériques permettent l'irrigation, l'un en rive droite et l'autre en rive gauche. Il apparaît que le barrage est actuellement sous-dimensionné, ce qui peut être dû à l'augmentation du coefficient de ruissellement dans le bassin supérieur du Nakambé au cours des dernières années (Mahé *et al.*, 2005). Un nouveau déversoir latéral contribue à sécuriser l'aval du Nakambé où des inondations ont causé de graves dégâts par le passé.

L'utilisation de l'eau concerne en priorité l'irrigation, mais le barrage est équipé d'une centrale d'une puissance installée de 16 MW.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 60 30/12/09 11:04:34

Map 11.1 - The Bagré irrigation scheme (Burkina Faso)
Carte 11.1 - Le périmètre irrigué de Bagré (Burkina Faso)



Source: Adapted from Maîtrise d'ouvrage de Bagré (personal communication, March 2009).
Source : Adapté de Maîtrise d'ouvrage de Bagré (communication personnelle, mars 2009).

MiseEnPageVOLTAfin.indd 61 30/12/09 11:04:35

downstream of the dam, of which 7,400 ha can be irrigated by gravity and 9,000 ha upstream of the dam, by pumping from the lakeshore.

Development of the downstream area began in 1996 and is proceeding gradually. The irrigated perimeter is managed by a state-owned company, Maîtrise d'ouvrage de Bagré (MOB).

In March 2009, the developed area amounted to 1,880 ha, distributed among 1,800 families belonging to 18 villages and forming 18 cooperatives. These families also grow rainfed cereal crops outside the irrigated perimeter. Within the perimeter, the only crop is rice, with two crop cycles a year. The dry season cycle starts with transplanting in January and ends with the harvest in May, while the rainy season cycle extends from July to late November. Irrigation consumes 13,000 m^3/ha and 6,000 m^3/ha of water respectively for the two cycles. There is a fish-farming and rice-fish cultivation station in the perimeter, with pellet fish feed manufactured on site.

An additional lot of 1,500 ha was scheduled for delivery in 2009, to be allocated in larger parcels (25 to 50 ha) for more mechanised agriculture, with three annual crop cycles and cattle raising (Map 11.1).

By end 2009, the total surface area farmed should be 3,380 ha; subsequent extensions will add 4,100 ha to this figure.

Operational difficulties relating to input supply and unpaid water fees led MOB to lower its rates and subsidise inputs. The distinction between poor and non-poor farmers is primarily based on possession of means of production (tools and draught oxen), which enables the farmer to grow rainfed cereal crops.

Sourou

The Sourou is a tributary/distributary of the Black Volta on the border between Mali and Burkina Faso. Under natural conditions, floodwater from the Black Volta backs up into the bed of the Sourou, then drains back into the Black Volta as the flood level recedes. This flooding of the Sourou's valley allows flood-recession cultivation, fishing and livestock raising. The floodplain covers 68,660 ha, divided roughly equally between Mali and Burkina Faso (Map 11.2).

Burkina Faso has gradually developed the floodplain to make better use of the available

Deux villages de pêche sont implantés sur les rives du lac dont la production a été estimée à 1 200 tonnes par an pour plus de 1 500 personnes pratiquant la pêche (Morand, 1997 ; Villanueva *et al.* 2006).

Le potentiel irrigable est de 21 000 ha en aval du barrage, dont 7 400 par gravité, et de 9 000 ha avec pompage en amont du barrage sur les rives du lac.

L'aménagement de la zone aval est progressif. Il a commencé en 1996. Le périmètre est géré par une société d'État, la Maîtrise d'ouvrage de Bagré (MOB).

En mars 2009, la superficie aménagée était de 1 880 ha, distribués entre 1 800 familles appartenant à 18 villages et regroupées en autant de coopératives. Ces familles pratiquent également la culture pluviale de céréales, hors périmètre. Dans le périmètre, la production de riz est la seule culture avec deux cycles par an. Le cycle de saison sèche commence par le repiquage en janvier et récolte en mai, tandis que le cycle de saison pluvieuse se déroule de juillet à fin novembre. La consommation d'eau d'irrigation est respectivement de 13 000 m^3/ha et de 6 000 m^3/ha pour ces deux cycles. Une station de pisciculture et de rizipisciculture est implantée dans le périmètre, avec fabrication d'aliments granulés sur place.

Une tranche supplémentaire de 1500 ha était prévue pour livraison en 2009, avec attribution de parcelles de 25 à 50 ha pour une agriculture plus mécanisée, avec 3 cycles annuels et élevage bovin (carte 11.1).

Au total, la surface exploitée prévue pour fin 2009 est de 3 380 ha, avec des extensions ultérieures prévues de 4 100 ha.

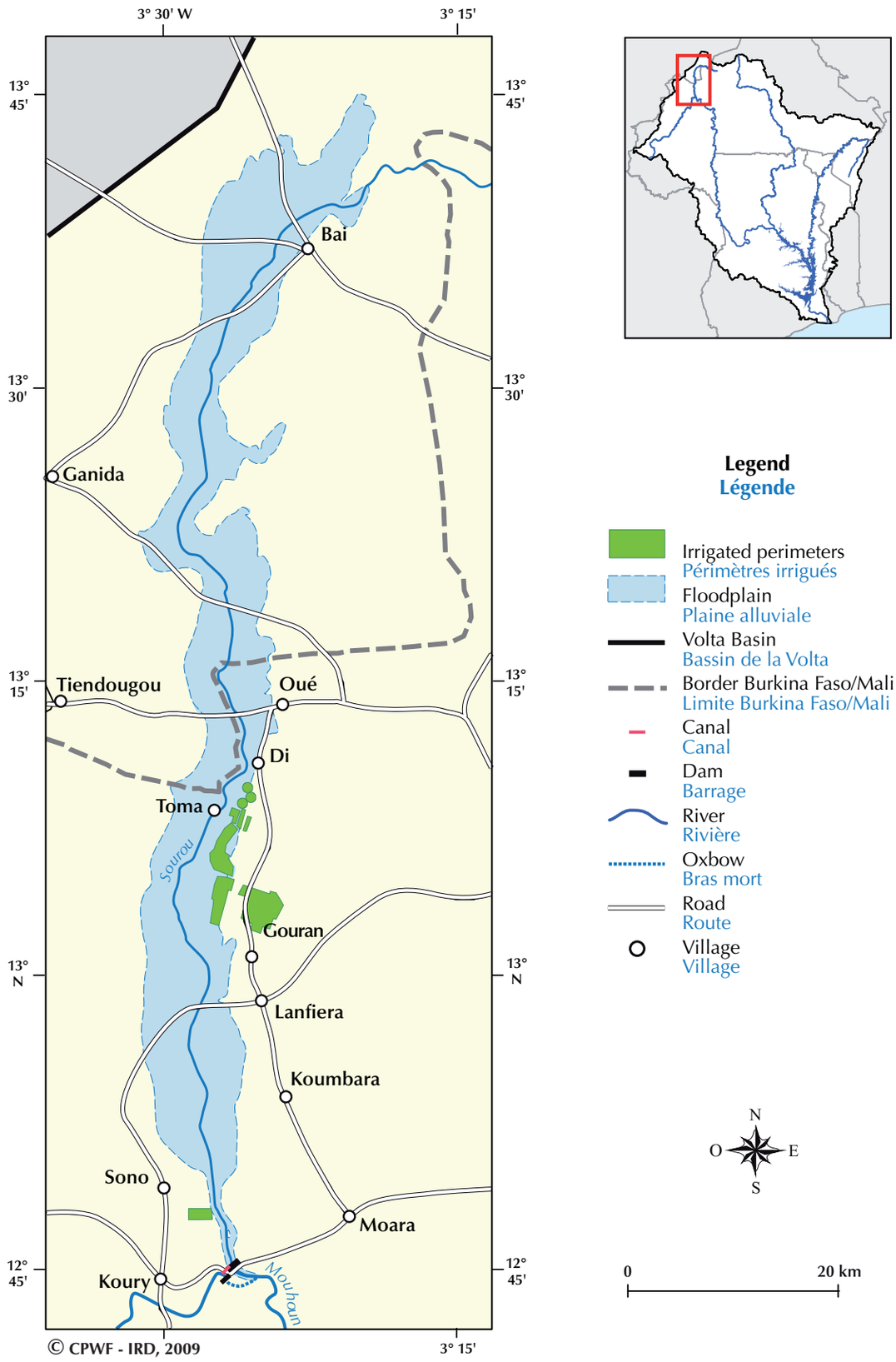
Les difficultés d'exploitation tiennent en partie à l'approvisionnement en intrants et dans le non-paiement des redevances, ce qui a conduit la MOB à abaisser ses tarifs et à subventionner des intrants. La distinction entre agriculteurs pauvres et non pauvres se fait principalement sur la base de la possession des moyens de production (outils et bœufs de labour) qui permet en particulier la culture pluviale des céréales.

Sourou

Le Sourou est un affluent/défluent du Mouhoun sur la frontière entre le Mali et le Burkina Faso.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 62 30/12/09 11:04:36

Map 11.2 - The floodplain of the lower Sourou valley
Carte 11.2 - La zone inondable de la basse vallée du Sourou



Source: Adapted from Autorité de mise en valeur de la vallée du Sourou (personal communication, March 2009).
Source : Adapté de Autorité de mise en valeur de la vallée du Sourou (communication personnelle, mars 2009).

MiseEnPageVOLTAfin.indd 63 30/12/09 11:04:37

land and water. After the establishment of the agricultural station at Di (1956), the main steps have been (Zan, 1995):

– development of a 150-hectare irrigated perimeter for market gardening at Guiedougou (1967),

– establishment of 210-hectare with 3 centre pivots at Di (1980), followed by two linear irrigators (1986),

– construction of sluice gates on the Sourou (1977) and subsequently a check dam on the Black Volta to divert water into the Sourou (1984), making it possible to store 600 Mm^3 of water, and gradual development of the land (Map 11.3).

Maize is grown during the rainy season but requires an additional 250 mm of irrigation water, which increases the cost appreciably. Yields are 3 to 4 tonnes/ha for both rice and maize. The off-season is devoted to market gardening, chiefly onions, tomatoes and various vegetables, as well as to a second rice cycle (Dialla, 2002).

In 2007, 3,818 ha were developed, or 13% of the development potential. Farms ranging from 0.5 to 2 ha in size are worked by 3,129 farmers (including only 42 women), who are organised in cooperatives. According to the laws and regulations in force, farmers have only a non-hereditary right of occupation and use (Dialla, 2002). There are also a few large agribusiness farms covering 10 to 60 ha.

Farmers' difficulties, apart from insecure land tenure, stem from the region's isolation, the shortage of infrastructure, extension services and producers' organisations, as well as technical factors such as pest control. Regrettably, there is no co-management of water resources between Mali and Burkina Faso.

The Malian part of the Sourou floodplain is less developed. Floating rice is cultivated, with yields of 900 kg/ha.

As in other irrigated perimeters and wetlands, the closer dwellings are to the water, the greater is the prevalence of schistosomiasis (particularly intestinal). On Toma Island, the prevalence rate in 2002 was 91% (Poda *et al.*, 2004).

In the Sourou valley as a whole, farming is supplemented by other activities, such as fishing, livestock raising and forestry, with the usual conflicts over space and resources. Fishing, practised mainly by fishers not native to the region, provides about 800 tonnes of fish a

En régime naturel, l'eau de crue du Mouhoun remonte dans le lit du Sourou qui se vide ensuite dans le Mouhoun à la décrue. L'inondation du lit majeur du Sourou permet la culture de décrue, la pêche et l'élevage. L'ensemble du lit majeur inondable couvre 68 660 ha, répartis à parts à peu près égales entre le Mali et le Burkina Faso (carte 11.2).

Des aménagements ont été progressivement réalisés au Burkina Faso pour permettre un meilleur usage de l'eau et des terres disponibles. Après la création de la station agricole de Di (1956) les principales étapes ont été successivement (Zan, 1995) :

– l'installation d'un périmètre maraîcher de 150 hectares à Guiedougou (1967),

– l'implantation à Di de trois pivots couvrant 210 ha (1980), puis de deux rampes frontales (1986) sur 210 ha,

– la construction de vannes sur le Sourou (1977) puis d'un barrage submersible sur le Mouhoun pour le détournement des eaux dans le Sourou (1984) qui permet de stocker 600 Mm^3 d'eau, et l'aménagement progressif des surfaces (carte 11.3).

Le maïs est cultivé en saison des pluies avec un apport complémentaire d'environ 250 mm d'eau d'irrigation, ce qui accroît sensiblement son prix de revient. Les rendements sont de 3 à 4 tonnes/ha pour le riz et le maïs. Le maraîchage est pratiqué en contre-saison et concerne essentiellement l'oignon, la tomate et divers autres légumes tandis que le riz est cultivé en double campagne (Dialla, 2002).

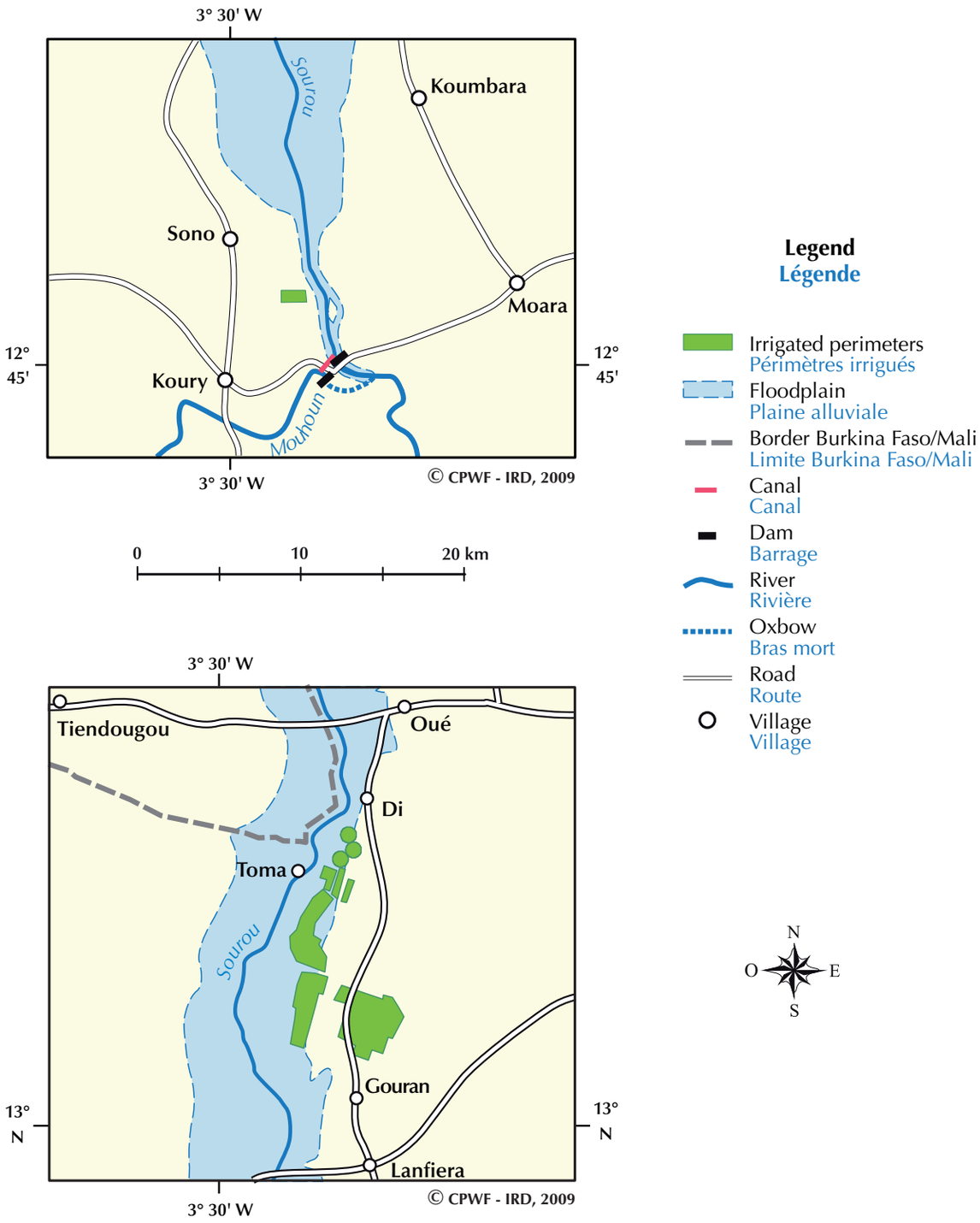
En 2007, 3 818 ha étaient aménagés, soit 13 % du potentiel aménageable. Les 3 129 exploitants, dont seulement 42 femmes, cultivent des parcelles de 0,5 à 2 ha et sont regroupés en coopératives. Selon les textes en vigueur, l'exploitant d'une parcelle n'a qu'un droit de jouissance non transmissible à ses héritiers (Dialla, 2002). Il existe également quelques grosses exploitations (agrobusiness) de 10 à 60 ha.

Les difficultés des agriculteurs, outre l'insécurité foncière, tiennent à l'enclavement de la région, à l'insuffisance des infrastructures, de l'encadrement, ou d'organisation des producteurs, ainsi qu'à des facteurs techniques comme la maîtrise des parasites. Il apparaît surtout une absence regrettable de cogestion de la resource en eau entre Mali et Burkina Faso.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 64 30/12/09 11:04:38

Map 11.3 - A close-up on hydraulic development: the dams on the Black Volta and Sourou rivers and the canal between the two valleys

Carte 11.3 - Détail des aménagements hydrauliques : barrages sur le Mouhoun et le Sourou, canal de dérivation



Source: Adapted from Autorité de mise en valeur de la vallée du Sourou (personal communication, March 2009).
Source : Adapté de Autorité de mise en valeur de la vallée du Sourou (communication personnelle, mars 2009).

MiseEnPageVOLTAfin.indd 65 30/12/09 11:04:39

year (genus *Tilapia*, *Heterotis* and *Clarias*) in the Burkinabe part, and probably the same amount in the Malian part. The banks of the Sourou offer abundant water and grazing all year round, in an area presenting no epidemiological vectors. Many livestock farmers make use of this resource.

Planned irrigation schemes

There are many plans for irrigated perimeters, some of which have existed for many years. Projects that have just been completed, are in progress or are planned for the decade 2010-2020 include:

- **In Burkina Faso**

  – Samandéni, in the upper basin of the Black Volta, a dual-purpose project, with 21,000 ha irrigated in the initial phase and planned hydropower generation of 16.8 GWh annually.

  – Noumbiel, 7,900 ha irrigated for a variety of crops and annual hydropower generation of 203 GWh (projected).

- **In Ghana**

  – The Kpong Irrigation Project (KIP) on the right bank of the Volta, downstream of the Kpong dam in the Akuse-Asutsuare area. A surface area of 1,636 ha was developed for rice farming by some 2,300 smallholders, 37% of whom are women (2004 data from ADF, 2005). One of the operational difficulties is poor drainage of the irrigated perimeter.

  An extension of this scheme – the Accra Plains Irrigation Project to irrigate 81,000 ha (200,000 acres) in the communities of Dawhenya, Akuse, Asutsuare, Battor, Sogakope and Ada – was in the planning stage in 2009.

  – An irrigated area is in project downstream of the planned Bui hydroelectric dam on the Black Volta.

Dans la partie malienne de la zone inondable du Sourou, moins aménagée, la culture du riz flottant fournit un rendement de 900 kg/ha.

Comme dans d'autres périmètres irrigués ou zones humides, la schistosomiase (bilharziose), notamment intestinale, présente une prévalence d'autant plus forte que les habitations sont proches de l'eau. C'est en particulier le cas à Toma-île, avec une prévalence de 91 % en 2002 (Poda *et al.*, 2004).

Dans l'ensemble de la vallée du Sourou, l'agriculture est complétée par d'autres activités comme la pêche et l'élevage ou la foresterie, avec les conflits habituels pour la ressource et l'espace. La pêche, pratiquée principalement par des pêcheurs allochtones, fournit environ 800 tonnes par an (*Tilapia, Heterotis* et *Clarias*) dans la partie burkinabé, et probablement autant du côté malien. Les bords du Sourou offrent toute l'année l'abreuvement et des pâturages en abondance dans une zone dépourvue de tout vecteur épidémiologique. Cette ressource est mise à profit par de nombreux éleveurs.

Les projets

Il existe de nombreux projets de périmètres irrigués, certains depuis de nombreuses années. Parmi ceux dont la réalisation est juste achevée, en cours ou envisagée pour la décennie 2010-2020, on peut citer :

- **Au Burkina Faso**

  – Samandéni, dans le haut bassin du Mouhoun, à vocation mixte, avec 21 000 ha irrigués en première phase, et 16,8 GWh de production annuelle prévue.

  – Noumbiel, 7 900 ha irrigués pour des productions variées et une production électrique annuelle de 203 GWh (en projet).

- **Au Ghana**

  – Le périmètre irrigué de Kpong (KIP) a été réalisé sur la rive droite de la Volta en aval du barrage de Kpong dans la zone de Akuse-Asutsuare. Une surface de 1 636ha a été aménagée pour la riziculture pour environ 2 300 paysans dont 37 % de femmes (données pour 2004 de ADF, 2005). Une des difficultés d'exploitation résulte du mauvais drainage du périmètre.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 66 30/12/09 11:04:39

Une extension de ce périmètre, Accra Plains Irrigation Project, portant sur 81 000 hectares (200 000 acres) était à l'étude en 2009 pour les localités de Dawhenya, Akuse, Asutsuare, Battor, Sogakope et Ada.

– Il est prévu un périmètre irrigué à l'aval du futur barrage de Bui sur le Mouhoun.

References:
Références :

ADF (African Development Fund), 2005. *Kpong Irrigation Project,* Ghana. Project Completion Report, 57 p. *http://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Project-and-Operations/ADF-BD-IF-2005-250-EN-GHANA-PCR-KPONG-IRRIGATION.PDF. (Accessed 24/04/2009).*

Dialla B.E., 2002. La sécurité foncière sur les périmètres irrigués du Burkina Faso : le cas de la vallée du Sourou. *Afrique et Développement,* 27: 62-83.

FAO Aquastat, 2009. FAO Information system on water and agriculture.
http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries/index.stm. Accessed 20/02/2009.

Mahé G., Olivry J.C., Servat E., 2005. Sensibilité des cours d'eau ouest-africains aux changements climatiques et environnementaux : extrêmes et paradoxes. *IAHS Publ.,* 296: 169-177.

Ministère de l'Environnement et de l'Eau (2001). *État des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion*. Ouagadougou, Ministère de l'Environnement et de l'Eau, 243 p.

Morand P., 1997. *Rapport au gouvernement de la République du Burkina Faso. Appui à l'élaboration de plans d'aménagement des lacs de Bagré et Kompienga sur le renforcement du système de suivi des pêcheries des lacs de Bagré et de la Kompienga*. FAO, Rome, CP/INT/466/NOR Doc Travail 7/43, 45 p.

Poda J.-N., Wango S.P., Sorgho H., Dianou D., 2004. Évolution récente des schistosomoses dans le complexe hydroagricole du Sourou au Burkina Faso. *Bull. Société Pathologie Exotique,* 97: 15-18.

Villanueva M-C., Ouedraogo M., Moreau J., 2006. Trophic relationships in the recently impounded Bagré reservoir in Burkina Faso. *Ecological Modelling*, 191: 243-259.

Zan C.E.,1995. « Le maïs dans les systèmes de culture irriguée dans la vallée du Sourou » *In : Production et valorisation du maïs à l'échelon villageois en Afrique de l'Ouest.* Montpellier : Cirad-SAR : 69-105 . Actes du séminaire Maïs prospère, 1994-01-25/1994-01-28,Cotonou, Bénin.
http://www.fao.org/docrep/x5158f/x5158f0r.htm. (Accessed 17-04-2009).

MiseEnPageVOLTAfin.indd 67 30/12/09 11:04:39

12 Small reservoirs
Les petits réservoirs

In semi-arid areas, small reservoirs serve two purposes: first, supplying villages with water for household use and livestock watering during the dry season, and second, making it possible to grow off-season crops, which are needed to supplement the variable and often insufficient income from rainfed crops. Small reservoirs are an important factor in water management in the northern half of the Volta Basin (Andreini *et al.*, 2005).

Burkina Faso is probably the West African country with the highest density of small reservoirs. The oldest reservoirs are over 100 years old, but more than half were built between 1974 and 1987, in response to the dramatic drought that struck the Sahel (P. Cecchi, personal communication).

Storage capacity

A total of 1,454 reservoirs, of which 1,141 are located in the Volta Basin, were identified in Burkina Faso in 2001 (DGIRH, 2006), and 152 reservoirs in the Upper East Region of Ghana in 1999 (Liebe *et al.*, 2005) (Map 12.1). An older estimate, carried out in 1986, found that the Ghanaian part of the basin contained approximately 1,140 small dugouts (less than 4 ha each) with a total area of 1,400 ha, and 7,000 ha of small reservoirs having a surface area greater than 4 ha. These are primarily concentrated in the Upper East, Upper West and Northern Regions, the northernmost and driest regions of the country (Kapetsky, 1991). In Burkina Faso, small reservoirs are heavily concentrated in the most densely populated areas of the Mossi country along the White Volta (Map 12.1).

Small reservoirs, defined as those having a storage capacity less than 1 Mm^3, account for over 90% of all reservoirs in the Burkinabe part, and 99% in the Upper East Region. The most common size classes are 0.01 to 0.1 Mm^3 in northern Ghana (56%) and 0.1 to 1 Mm^3 in Burkina Faso (56%). Their total volume has been estimated as 232 Mm^3 in 2008.

Use of water resources

To illustrate the uses of water from small reservoirs, we will consider the Toukoumtouré reservoir, located near the White Volta in central Burkina Faso. Its storage capacity is about

Dans les zones semi-arides, les petites retenues (ou petits barrages) ont une double vocation : d'une part approvisionner les villages en eau pour l'usage domestique et l'abreuvement du bétail durant la saison sèche, et, d'autre part, rendre possible une culture de contre-saison nécessaire pour compléter les revenus souvent insuffisants et variables de la culture pluviale. Les petits réservoirs constituent un élément important dans la gestion de la ressource en eau dans la moitié nord du bassin de la Volta (Andreini *et al.*, 2005).

Le Burkina Faso est probablement le pays d'Afrique de l'Ouest qui abrite la plus forte densité de petits barrages. Les plus anciens ont plus de cent ans, mais plus de la moitié ont été construits entre 1974 et 1987 en réaction aux années de sécheresse qui ont frappé le Sahel (P. Cecchi, com. pers.).

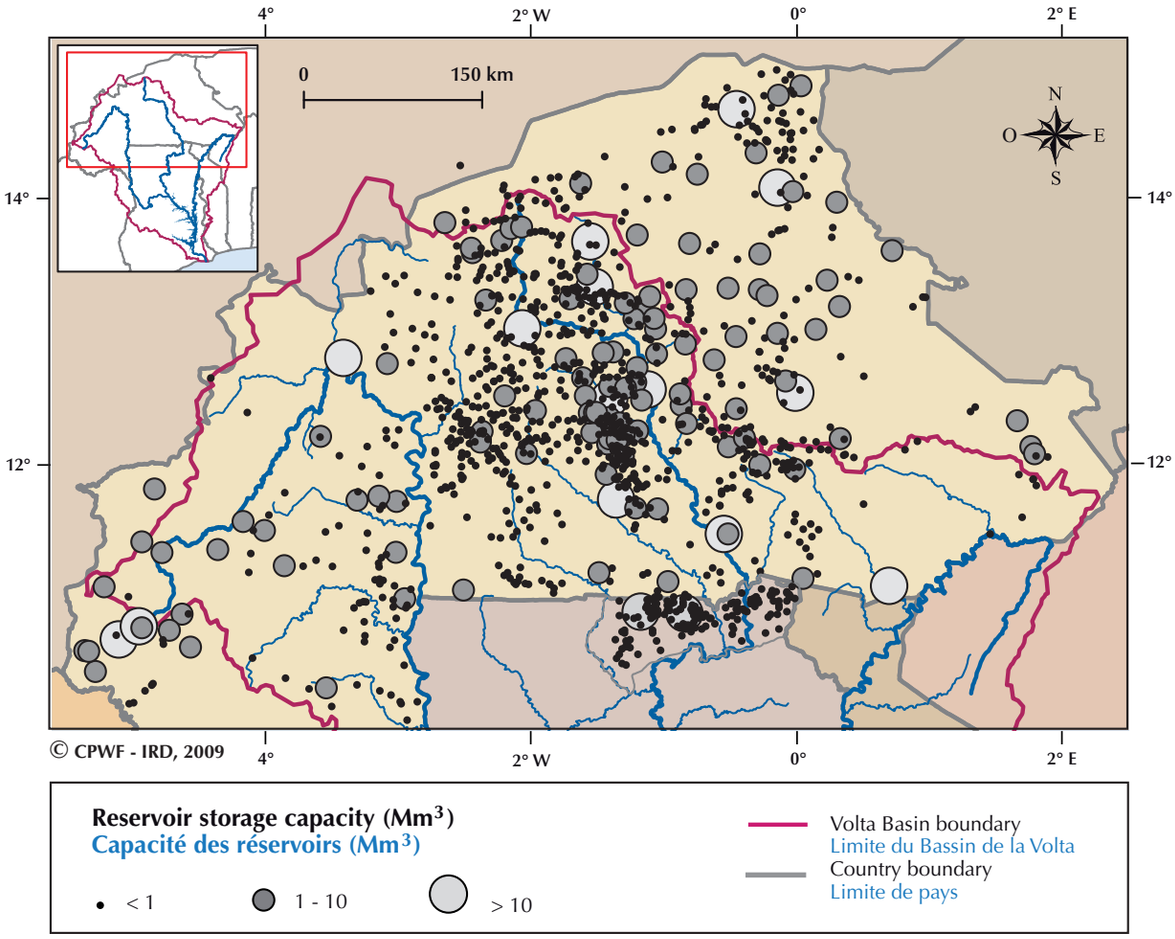
La ressource mobilisée

Un total de 1454 réservoirs, dont 1 141 dans le bassin de la Volta, ont été identifiés au Burkina Faso en 2001 (DGIRH, 2006), et 152 dans la Région Upper East au Ghana, en 1999 (Liebe *et al.*, 2005) (carte 12.1). Une estimation plus ancienne, effectuée en 1986, indique pour la partie ghanéenne du bassin, environ 1 400 ha de mares creusées (dugouts) et 7 000 ha de petits réservoirs de plus de 4 ha, pour l'essentiel concentrés dans les trois régions du nord du pays, les moins arrosées : Upper East, Upper West et Northern Region (Kapetsky, 1991). Les plus petits plans d'eau, de moins de 4 ha de surface individuelle, étaient au nombre de 1 140, pour une surface totale de 1 400 ha. Au Burkina, les petits barrages sont plus particulièrement concentrés dans les zones les plus peuplées du pays mossi le long du Nakambé (carte 12.1).

Si l'on définit les petits barrages comme retenant moins de 1 Mm^3, ceux-ci représentent plus de 90 % des ouvrages dans la partie burkinabé, et 99 % dans l'Upper East Region. La classe de taille la plus fréquente est 0,01 à 0,1 Mm^3 dans le nord du Ghana (56 %) et 0,1 à 1 Mm^3 au Burkina Faso (56 %). Leur volume total est estimé à 232 Mm^3 en 2008.

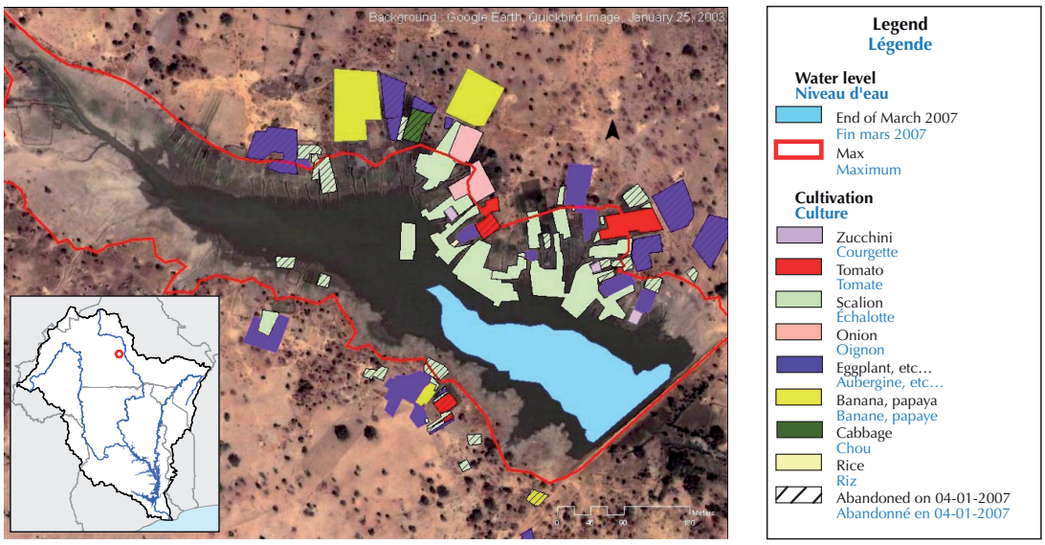
MiseEnPageVOLTAfin.indd 68 30/12/09 11:04:40

Map 12.1 - Distribution of small reservoirs in the northern part of the basin
Carte 12.1 - Distribution des petits réservoirs dans le nord du bassin



Source: Adapted from Liebe et al. *(2005) and P. Cecchi (personal communication, June 2008).*
Source : Adapté de Liebe et al. *(2005) et P. Cecchi (communication personnelle, juin 2008).*

Map 12.2 - Irrigation around the Toukoumtouré reservoir (2006-2007)
Carte 12.2 - Cultures irriguées autour du réservoir de Toukoumtouré (2006-2007)



Source: Reproduced from Hyrkäs *and* Pernholm *(2007).*
Source : Reproduit d'après Hyrkäs *et* Pernholm *(2007).*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 69 30/12/09 11:04:44

250,000 m³, with a surface area of 24 ha (Map 12.2). Its water is used for household needs (1,200 m³) and livestock watering (5,000 m³) during the first part of the dry season, after which it becomes cloudy and rich in micro-algae. A well located near the reservoir is used for drinking water. Farmers living near the reservoir engage in extensive rainfed cultivation of millet, sorghum and maize on traditional fields during the rainy season (June to November). Subsequently, those who have the means to invest and have access to land around the reservoir practice irrigated and flood-recession cultivation, both for home consumption and for the market (tomatoes, eggplant, zucchini, onions, bananas and papayas). These crops are grown around the reservoir and irrigated either by hand or by motor-driven pumps (Map 12.2). A total of about 5.8 ha were irrigated in 2006-2007, consuming an estimated 57,000 m³ of water (Hyrkäs and Pernholm, 2007).

Access to water and irrigable land is determined by a complex mixture of formal and customary laws (Hyrkäs and Pernholm, 2007; Labbé, 2007).

Opportunities and constraints

Small reservoirs make it possible to water livestock and raise crops during the seasons when water is scarce, thus reducing the seasonal migration off the land. They satisfy the strong demand for water from rural communities in the northern part of the basin. These reservoirs also provide a dispersed but considerable supply of fish, amounting to some 5,000 tonnes in Burkina Faso and over 2,000 tonnes in Ghana (P. Cecchi, personal communication, June 2008; Kapetsky, 1991). It has been shown that the water used is only a very small fraction of the volume received by Lake Volta, and hence that the impact on hydropower generation is negligible (de Condappa *et al.*, 2009; see Section 16).

Care needs to be taken, however, to preserve good ecological conditions in these ecosystems, among other things by reducing the use of fertilisers and phytosanitary products and preventing them from entering the aquatic environment (Hyrkäs and Pernholm, 2007 ; Leboulanger *et al.*, 2009). The impact on human health and the spread of schistosomiasis among local populations should also be taken into account (Boelee *et al.*, 2009). Lastly, cooperative approaches should be employed to ensure equitable sharing of access to the

L'usage de la ressource

Le barrage de Toukoumtouré a été choisi pour illustrer l'usage des petits barrages. Il est situé près du Nakambé, dans le centre du Burkina Faso, et sa capacité est d'environ 250 000 m³ pour une surface de 24 ha (carte 12.2). L'eau du réservoir est utilisée pour les besoins domestiques (1 200 m³) et l'abreuvement du bétail (5 000 m³) en première partie de saison sèche, avant qu'elle ne devienne trouble et riche en micro-algues. Un puits qui bénéficie de la proximité du réservoir est utilisé pour l'eau de boisson. Les fermiers qui habitent près du réservoir pratiquent la culture pluviale extensive de mil, sorgho et maïs en saison des pluies sur les champs traditionnels (juin à novembre). Ensuite, ceux qui peuvent investir et qui ont accès aux surfaces découvertes par la décrue du réservoir pratiquent une culture de décrue et irriguée, à la fois pour leur consommation propre et pour la commercialisation (tomates, aubergines, courgettes, oignons, banane et papaye). La culture se fait autour du réservoir, avec arrosage manuel ou par pompes à moteur (carte 12.2). Pour une surface cultivée de 5,8 ha en 2006-2007, la consommation d'eau a été estimée à 57 000 m³ (Hyrkäs et Pernholm, 2007).

L'accès à la ressource en eau et en terre irrigable résulte de combinaisons entre lois formelles et règles coutumières (Hyrkäs et Pernholm, 2007 ; Labbé, 2007).

Opportunités et contraintes

Les petits barrages permettent d'abreuver le bétail et de pratiquer la culture à des saisons où l'eau n'est pas disponible, ce qui réduit l'exode rural saisonnier. Ils répondent ainsi à une forte demande des communautés rurales du nord du bassin. Ces petites retenues fournissent en outre une ressource en poissons qui, bien que dispersée, représente un apport important, de l'ordre de 5 000 tonnes pour le Burkina Faso et plus de 2 000 tonnes pour le Ghana (Cecchi, comm. pers. ; Kapetsky, 1991). Il est par ailleurs montré que l'eau ainsi utilisée ne représente qu'une très faible part des volumes que reçoit le lac Volta, et donc l'impact sur la production hydro-électrique est négligeable ((de Condappa *et al.*, 2009 ; voir chapitre16).

Il faut cependant veiller à conserver un bon état écologique de ces écosystèmes, notam-

MiseEnPageVOLTAfin.indd 70 30/12/09 11:04:45

new resources stemming from small reservoirs, notably for the poorest groups.

ment en réduisant l'utilisation des engrais et des produits phytosanitaires ainsi que leur transfert dans le milieu aquatique (Hyrkäs & Pernholm, 2007 ; Leboulanger *et al.*, 2009). L'impact sur la santé humaine, et l'expansion de la bilharziose chez les populations riveraines méritent également d'être pris en compte (Boelee *et al.*, 2009). Enfin, le partage équitable de l'accès aux nouvelles ressources associées aux petits barrages, notamment pour les catégories les plus démunies, doit faire l'objet d'approches concertées.

References:
Références :

Andreini M., Andah W., Balazs C., Boelee E., Cecchi P., Huber-Lee A., Liebe J., Rodrigues L., Senzanje A., Steenhius T., van de Giesen N., 2005. *Small reservoir ensemble planning: innovative methods.* Challenge Program on Water and Food Forum, Uganda, Entebbe, Nov. 2005.

Boelee E., Koné A., Cecchi P., 2009. *Health impacts of small reservoirs in Burkina Faso.* IWMI Working Paper No.136 Colombo, Sri Lanka.

Cecchi P., Nikiema A., Moiroux N., Sanou B., 2009. *Towards an atlas of lakes and reservoirs in Burkina Faso. In:* Andreini M., Schuetz T., Harrington L. (eds) Small reservoirs toolkit. Battaramulla: IWMI, Sri lanka, 23 p.

de Condappa D., Chaponnière A., Lemoalle J., 2009. A decision-support tool for water allocation in the Volta Basin. *Water International,* 34: 71-87.

DGIRH (Direction générale de l'inventaire des ressources hydrauliques, Burkina Faso), 2006. *Inventaire national des ouvrages hydrauliques et d'assainissement au Burkina Faso.* Rapport général d'exécution. Ouagadougou, Burkina Faso : ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources halieutiques, 37 p. *http://www.eauburkina.bf/rubrique.php3?id_rubrique=70. Accessed 24/04/2009.*

Hyrkäs W., Pernholm S., 2007. *Impact of market gardening on surface water reservoirs in Burkina Faso. Impacts of current agricultural practices around the reservoir of Toukoumtouré, Nariarlé basin, on natural phytoplankton communities.* Lund University: Lund, Sweden, 111 p.

Kapetsky J.M., 1991. *Technical assistance and investment framework for culture-based fisheries in Ghana.* FAO Project report AC110/E No. 14.
http://www.fao.org/docrep/field/003/AC110E/AC110E00.htm#TOC. Accessed 26/04/2009.

Labbé O., 2007. *Analyse institutionnelle de la gestion et des usages de l'eau en Afrique de l'Ouest. Bassins du Niger et de la Volta.* Volta Basin Focal Project Report No. 8, IRD, Montpellier, France and CPWF, Colombo, Sri Lanka, 121 p.

Leboulanger C., Bouvy M., Pagano M., Dufour R.A., Got P., Cecchi P., 2009. Responses of planktonic microorganisms from tropical reservoirs to paraquat and deltamethrin exposure. *Arch. Environ Contam. Toxicol.,* 56: 39-51.

Liebe J., van de Giesen N., Andreini M., 2005. Estimation of small reservoir storage capacities in a semi-arid environment. A case study in the Upper East Region of Ghana. *Physics and Chemistry of the Earth,* 30: 448-454.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 71 30/12/09 11:04:46

13 Rain-fed food cropping systems

Systèmes de culture pluviale vivrière

Rain-fed agriculture is the main activity of the majority of the rural populations. The challenge is to improve the use of the available rain water by cultivating the crops which are best adapted to the rainfall amount and variability and by using the appropriate techniques.

The main cropping systems which contribute to food production are distributed in the agro-climatic regions of the basin, mainly as a function of rainfall and soil characteristics, with a successive north-south dominance of millet, sorghum, maize, which are replaced by cassava, yam and plantain (Terrasson and Mojaisky, 2008). The progressive transition of the main crops has been described by statistically homogeneous clusters of production (expressed in kilocalories) in Map13.1 and by the percent of cultivated area in Figure 13.1.

L'agriculture pluviale est l'activité principale de la majorité des populations rurales du bassin. Le défi consiste donc ici à faire le meilleur usage de l'eau de pluie en cultivant les spéculations les mieux adaptées à la quantité disponible et à la variabilité des précipitations.

Les principaux systèmes agricoles qui contribuent à la production de nourriture sont répartis dans les différentes zones agroclimatiques du bassin, en fonction principalement de la pluie et de la nature des sols, avec une succession nord-sud des dominances des céréales mil, sorgho et maïs, puis du manioc, de l'igname et de la banane plantain (Terrasson et Mojaisky, 2008). Cette transition progressive des principales cultures est décrite par la carte 13.1 où sont représentées les zones de production (exprimées en kilocalories) statistiquement homogènes, et par le changement progressif des pourcentages des surfaces cultivées représenté figure 13.1.

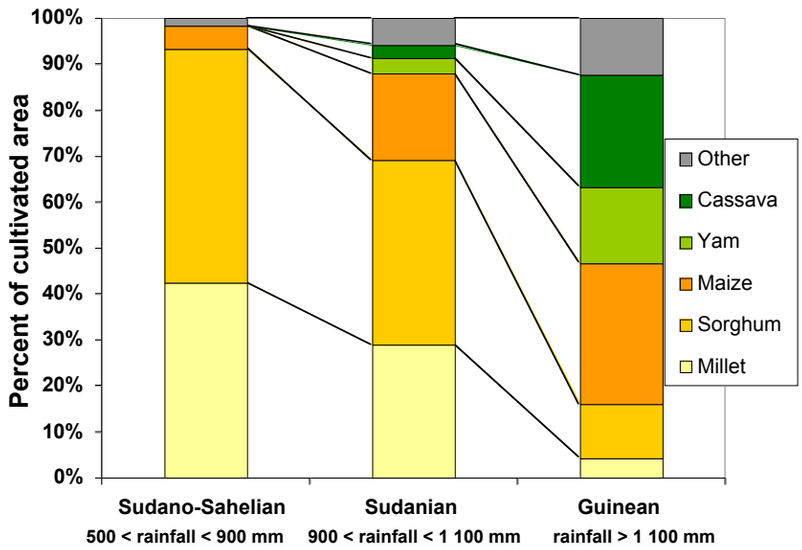


Figure 13.1:The rainfall regime is a main determinant of the distribution of the main food crops in the Volta basin. Data from MOFA and MAHRH, mean values of the proportion of cultivated area in the three agroclimatic regions for each crop for 1992-2000.

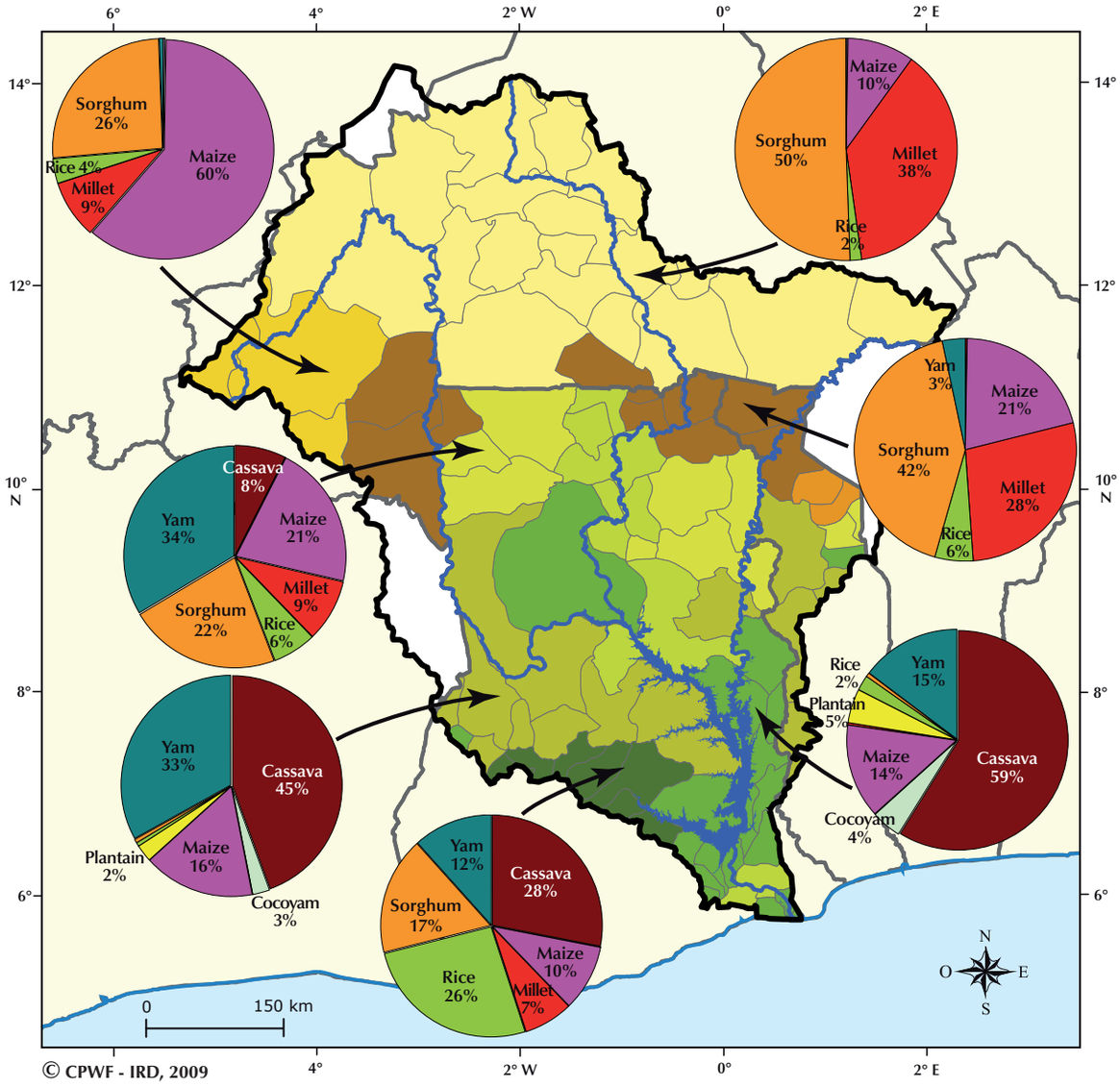
Figure 13.1 : Le régime des pluies est une variable déterminante de la répartition des principales cultures vivrières du bassin de la Volta. Données de MOFA et MAHRH, en pourcentage de la surface cultivée dans chacune des trois principales zones agroclimatiques pour la période 1992-2000.

Parklands, where mature trees occur scattered in cultivated or recently fallowed fields, are a major feature of the landscape in most of the basin. The African butter tree (*Vitellaria* spp.), the nitta tree (*Parkia* spp.) and the applering acacia *(Acacia albida)* are very common in these parklands.

La culture sous parc, avec des arbres adultes dispersés dans les champs ou les jachères, est une caractéristique notable du paysage dans la majeure partie du bassin. Le néré *(Parkia biglobosa)*, le karité (*Vitellaria* spp.) et l'acacia *(Acacia albida)* sont particulièrement bien représentés dans ces parcs.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 72 30/12/09 11:04:46

Map 13.1 - The main cropping systems in the Volta basin
Carte 13.1 - Les principaux systèmes de culture vivrière dans le bassin de la Volta



Cereal systems - Céréales

- Sorghum, Millet - Sorgho, millet
- Maize - Maïs
- Sorghum, Maize - Sorgho, maïs
- Multi-cereals - Multi-céréales

Rootcrop systems - Céréales

- Yam, Maize, Sorghum
  Igname, maïs, sorgho
- Cassava, Rice
  Manioc, riz
- Cassava, Yam, Maize
  Manioc, igname, maïs
- Cassava
  Manioc
- Cassava, Plantain, Cocoyam, Maize
  Manioc, banane plantain, taro, maïs

Map by BFP Volta with average production data from MAHRH and MOFA data for 1992-2000, expressed as kilocalories.
Carte élaborée par le BFP Volta avec des données de production moyenne de MAHRH et MOFA pour la période 1992-2000, exprimées en kilocalories.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 73 30/12/09 11:04:48

Although the farmers have developed a variety of strategies to avoid the risk linked with the time and space irregular distribution of rainfall, failed seasons are still quite common. For each of the main cropping systems in Sub-Saharan Africa, Hyman *et al.* (2008) have developed a method to assess and map drought risk by estimating the probability of a failed growing season. A failed growing season was conservatively defined as one that has rainfall at the start sufficient for germination and establishment, less than 50 growing days and a clearly defined end. This probability has been added to the description of the different systems, in order to underline the effects of rainfall variability. The distribution of the crop systems is summarized below, according to the agroclimatic zones

- The Sahel, with less than 500 mm annual rainfall, is a zone of rangeland where livestock herding is the primary activity, complemented with some millet and drought-resistant cowpea. The probability of a failed growing season is 53%.
- The Sahelo-Sudan, covering most of Burkina Faso and a small part of Mali, receives between 500 and 900 mm of rainfall per year. Millet and sorghum are the main crops in northern Burkina Faso, while maize is important in the western part of the country where it benefits from fertilizer input together with cotton. Groundnuts and some sedentary cattle contribute to cash income. The drought risk has been estimated ay 24%.
- The Sudan, including the northern half of Ghana, and those parts of Ivory Coast, Benin and Togo which lie in the basin, receives between 900 and 1,100 mm of rainfall per year. This is a transition zone where both cereals and root crops are produced. Maize production is increasing as a result of urban demand. Some transhumant cattle is present seasonally, and sedentary cattle is widespread. The probability of failed growing season is 17%.
- The Guinean zone, covering the southern part of Ghana, receives in excess of 1,100 mm of rainfall per year, with a bimodal regime toward the south of the basin. Yam, cassava and plantain, and also maize, are here the main food productions. The drought risk is only 8%.

Bien que les agriculteurs aient développé un ensemble de stratégies pour éviter les risques résultant de l'irrégularité de la distribution spatio-temporelle des pluies, les mauvaises récoltes sont encore assez fréquentes. Hyman *et al.* (2008) ont développé pour chacun des principaux systèmes de culture de l'Afrique subsaharienne une méthode pour estimer et cartographier le risque de sécheresse et d'échec de la saison de culture. Cette probabilité a été ajoutée à la description des principaux systèmes, de façon à souligner les effets de la variabilité des pluies. La répartition des systèmes de culture est résumée ci-dessous, en fonction des zones agroclimatiques.

- Le Sahel, situé à la limite nord du bassin, reçoit moins de 500 mm de pluie annuelle. C'est une région de pâturages où l'élevage transhumant est la principale activité, complétée par la culture du mil et de niébé. La probabilité d'occurrence d'échec d'une saison de culture est de 53 %.
- La zone sahélo-soudanienne, qui couvre presque tout le Burkina Faso, est définie comme recevant entre 500 et 900 mm de pluie par an. Le mil et le sorgho sont les principales productions dans le nord du Burkina Faso, tandis que le maïs est important dans l'ouest du pays où il bénéficie des engrais utilisés pour le coton. L'arachide et l'élevage sédentaire contribuent au revenu monétaire. Le risque d'échec par sécheresse est estimé à 24 %.
- La zone soudanienne comprend la partie nord du Ghana ainsi que les fractions de Côte-d'Ivoire, du Togo et Bénin qui appartiennent au bassin. Elle reçoit entre 900 et 1 100 mm de pluie annuelle. C'est une zone de transition où sont cultivés les céréales et les tubercules. La production de maïs se développe en réponse à une demande urbaine croissante. Le bétail transhumant y est présent de façon saisonnière, tandis que le bétail sédentaire est bien représenté partout. La probabilité d'échec du fait de sécheresse est de 17 %.
- La zone guinéenne couvre la partie méridionale du Ghana, et reçoit plus de 1 100 mm par an. Vers le sud, le régime tend à devenir bimodal et les pluies sont réparties tout au long de l'année. Le manioc, l'igname et la banane plantain, ainsi que le maïs, sont ici les principales cultures vivrières. Le risque d'échec par sécheresse est de 8 %.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 74 30/12/09 11:04:49

Conclusion

The farmers in the basin have developed an array of strategies to avoid failed seasons. The research programmes may contribute to provide better and early forecasts of the rain season, and more generally of the climatic changes.

Conclusion

Les agriculteurs ont développé des stratégies multiples pour limiter les risques de mauvaises récoltes. Les programmes de recherche peuvent contribuer à une meilleure prévision des précipitations en début de saison, et plus généralement des changements climatiques à venir.

Photo 6: Parkland in Burkina Faso, March 2009.
Photo 6 : Culture sous parc au Burkina Faso, mars 2009.

References:
Références :

Hyman G., Fujisaka S., Jones P., Wood S., Carmen de Vicente M. & Dixon J., 2008. Strategic approaches to targeting technology generation: Assessing the coincidence of poverty and drought-prone crop production. *Agricultural Systems*, 98: 50-61.

Terrasson, I., Mojaisky, M., 2008. *Yields and water productivity of rainfed agriculture in the Volta basin*. Volta Basin Focal Project Report No 12. IRD, Montpellier, France, and CPWF, Colombo, Sri Lanka, 64 p. *http://cpwfbfp.pbworks.com/Publications+from+Volta. Accessed 19-06-2009.*
.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 75 30/12/09 11:04:51

14 Water Productivity of rain fed-food crops

La productivité de l'eau des cultures pluviales vivrières

The concept of water productivity (WP) was reintroduced recently by Rockstrom *et al.* (2003) as a robust measure of the ability of agricultural systems to convert water into food. While it has been developed principally to evaluate irrigation systems, the concept may be extended to include rain-fed agriculture and maybe some other types of livelihood support (Cook *et al.*, 2006). The WP concept is useful to analyze how the water resource is used and for which benefit.

WP is a ratio where the product is the numerator and the water depleted during the production process is the denominator. Water is considered to be depleted when it becomes unavailable for further use, for example when it is evaporated or transpired, or polluted to the point where it can no longer be used.

When a single rain-fed crop is considered, the numerator is the edible biomass, expressed either as biomass (kg), as energetic content (kcal) or its monetary value. The denominator is either the water evapotranspired by the field or the annual rainfall it has received. We have used here the annual rainfall. When different crops are considered together, the energetic or monetary values are used.

The basin scale

Water productivity (WP) at the basin scale was estimated as the amount of agricultural food production divided by the amount of rainfall received.

The total production of the main food crops in the basin for the year 2000 amounted to 1.6 x 10^{13} kilocalories (Terrasson *et al.*, 2009) (see also Section 13).

This represents a WP of 52 kcal/m^3 if the rainfall over the whole basin is considered. If only the rainfall over the cultivated area is taken into account, the WP value is 466 kcal/m^3 for the cultivated food crops (wild crops, secondary food crops and the products of the trees in parklands have not been included). Given the present yields in the basin, the amount of water needed per capita, with an average human energy requirement of 2,500 kcal/day, is about 2,000 m^3 per year. This is the quantity of water per capita presently available. The present situation is obviously not sustainable if one considers the demographic increase (see Section 9).

Le concept de productivité de l'eau (WP) a été repris récemment par Rockstrom *et al.* (2003), comme une mesure robuste de la capacité des systèmes agricoles à utiliser l'eau pour produire de la nourriture. Bien que le concept ait initialement été développé pour évaluer la performance des systèmes irrigués, il peut être étendu à l'agriculture pluviale ainsi qu'à d'autres modes de production (Cook *et al.*, 2006). Le concept de productivité de l'eau est particulièrement utile pour analyser comment la ressource en eau est utilisée, et pour quel bénéfice.

WP est une fraction dans laquelle le produit est le numérateur et où l'eau consommée dans le processus de production est le dénominateur. On considère que l'eau est consommée quand elle devient indisponible pour d'autres usages, par exemple quand elle est évaporée, ou polluée à un point tel qu'elle ne peut être réutilisée. Quand une seule production est analysée, le numérateur est la biomasse comestible, évaluée soit par sa masse (kg), soit en contenu énergétique (kcal) ou en valeur marchande. Le dénominateur peut être l'eau perdue par le champ en évapotranspiration ou bien reçue sous forme de pluie annuelle. C'est cette dernière variable que nous avons utilisée. Quand différentes spéculations sont considérées ensemble, les unités monétaires ou énergétiques doivent être utilisées.

La productivité de l'eau à l'échelle du bassin

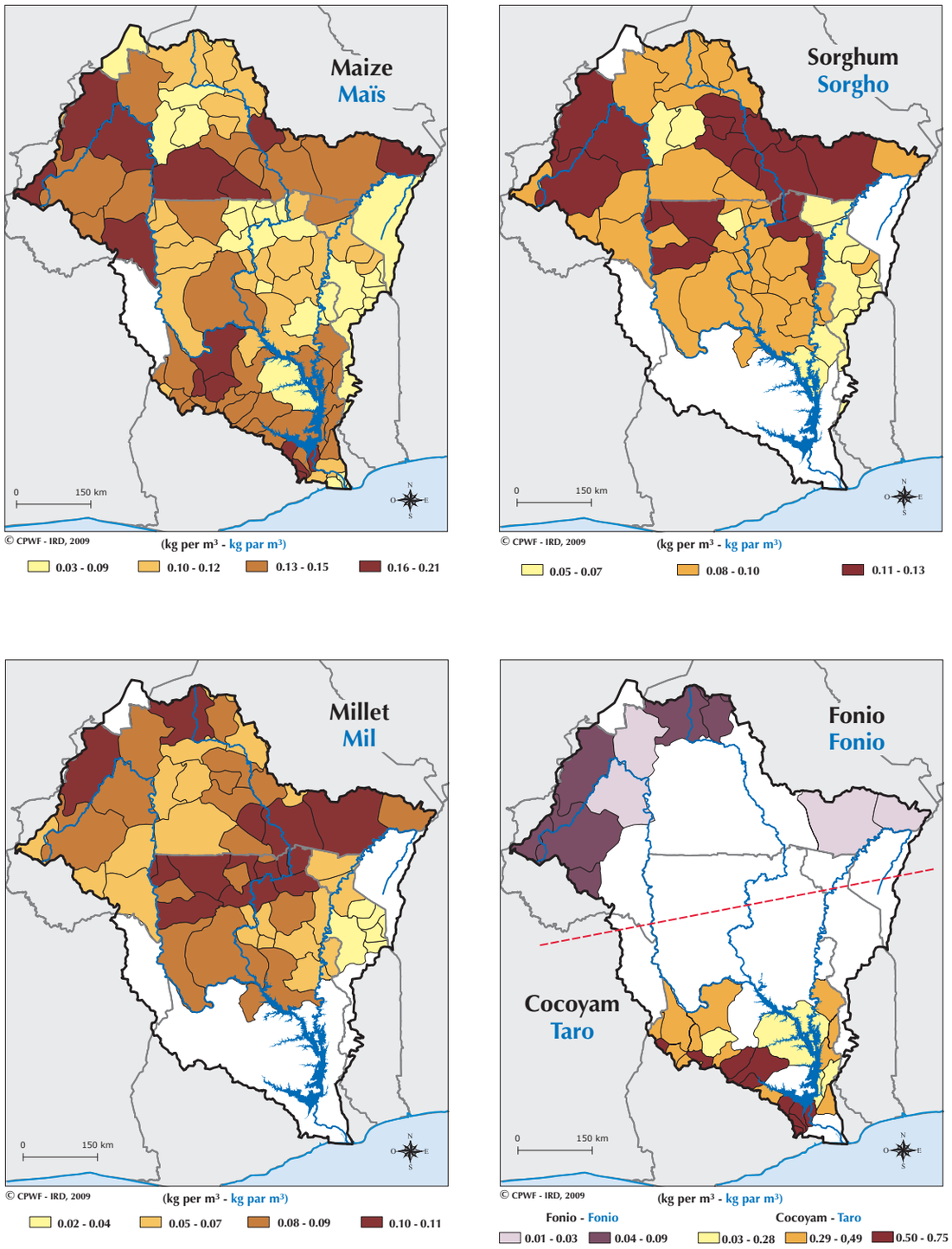
WP à l'échelle du bassin a été évaluée en divisant la quantité de la production agricole de nourriture par la quantité totale de pluie reçue.

La production totale de nourriture produite dans le bassin en 2000 est de 1,6 x 10^{13} kilocalories (Terrasson *et al.*, 2009) (voir aussi le chapitre 13).

Cela correspond à une WP de 52 kcal/m^3 si la totalité de la pluie reçue par le bassin est prise en compte. Si seule la pluie reçue par les surfaces cultivées est prise en compte, la valeur de WP est de 466 kcal/m^3 pour les principales cultures vivrières (les graines sauvages, les cultures secondaires et les produits des arbres des parcs n'ont pas été inclus dans ce calcul). Compte tenu des rendements actuels des cultures vivrières dans le bassin, la quantité d'eau nécessaire pour nourrir chaque habitant, avec un besoin énergétique moyen

MiseEnPageVOLTAfin.indd 76 30/12/09 11:04:51

Map 14.1 - Water Productivity of rain-fed food crops (kg/m³)
Carte 14.1 - La productivité de l'eau des cultures pluviales vivrières (kg/m³)



Distribution of food crop water productivity. Average values for 1992 to 2000. Map drawn by BFP Volta with data from MOFA, MAHRH and CRU.

Répartition de la productivité de l'eau en agriculture vivrière. Valeurs moyennes pour 1992 à 2000. Carte produite par le BFP Volta à partir des données MOFA, MAHRH et CRU.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 77 30/12/09 11:04:55

Field scale

Water productivity at the field scale was estimated as yield per hectare divided by the amount of rainfall per hectare.

Mean values for crop water productivity were, on average for the period 1992-2000:

- 0.12 kg/m^3 (±0.03) for maize,
- 0.09 kg/m^3 (±0.02) for sorghum,
- 0.07 kg/m^3 (±0.02) for millet,
- 0.76 kg/m^3 (±0.30) for yam,
- 0.88 kg/m^3 (±0.35) for cassava,
- 0.57 kg/m^3 (±0.31) for plantain.

The spatial distribution in the Volta basin of field scale water productivity for the main food crops is shown in Map 14.1.

Relationships between maize, millet and sorghum yields in different parts of the basin on the one hand, and annual rainfall on the other, were analyzed : maize yields tended to be slightly higher where rainfall is more favourable. No such correlations were found for sorghum and millet yields.

Conclusion

In the Volta basin, water productivity is quite low. At the basin scale, crop water productivity would increase if a larger proportion of arable land in the basin were to be cultivated.

At present, low WP may be considered largely as a result of the risk avoiding strategy of most small farmers, which may be a reasonable strategy at the household scale. At the country or basin scale, however, the demographic trends point to an increased demand. There is thus a need to increase both the WP and the yields of the rain fed agriculture. This is possible with the introduction of improved techniques, but needs changes in the social, political and economic environment, with improved infrastructures.

de 2 500 kcal/jour, est d'environ 2 000 m^3 par an. C'est la quantité d'eau par habitant actuellement disponible. La situation n'est donc pas durable si l'on considère l'accroissement démographique (voir aussi chapitre 9).

La productivité de l'eau à l'échelle du champ

À l'échelle du champ, la productivité de l'eau a été évaluée en divisant le rendement à l'hectare par la pluie annuelle reçue.

Les valeurs moyennes pour les différentes productions au cours de la période 1992-2000 sont :

- 0,12 kg/m^3 (±0.03) pour le maïs,
- 0,09 kg/m^3 (±0.02) pour le sorgho
- 0,07 kg/m^3 (±0.02) pour le mil,
- 0,76 kg/m^3 (±0.30) pour l'igname,
- 0,88 kg/m^3 (±0.35) pour le manioc,
- 0,57 kg/m^3 (±0.31) pour le plantain.

La distribution spatiale de la productivité de l'eau pour les principales productions alimentaires est représentée sur la carte 14.1.

Les relations entre la pluie annuelle et les rendements en maïs, sorgho et mil dans différentes régions du bassin ont été analysées. Il apparaît que le rendement du maïs augmente légèrement quand la pluie est plus favorable, mais aucune relation n'a été trouvée pour les rendements du sorgho ou du mil.

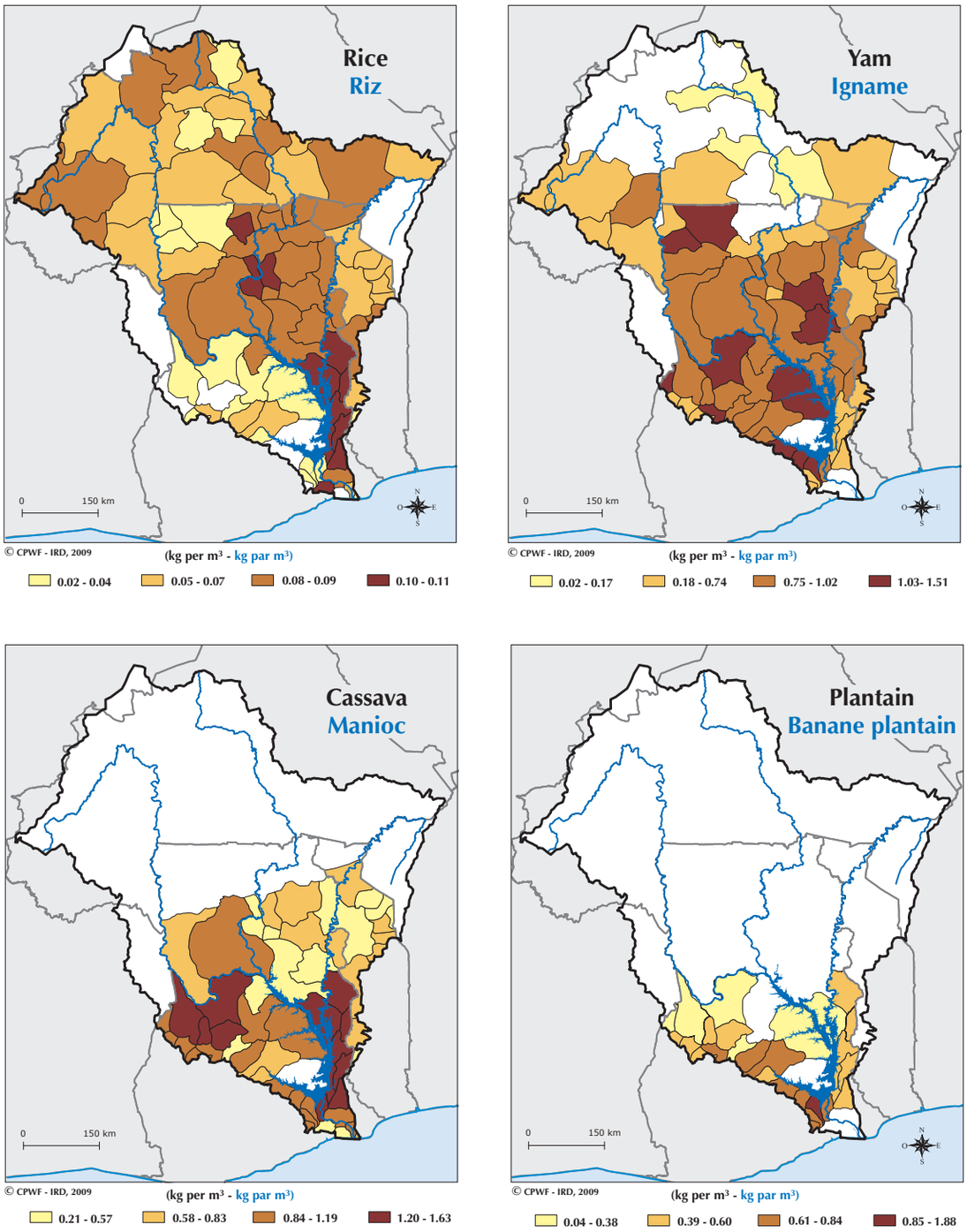
Conclusion

La productivité de l'eau dans le bassin de la Volta est relativement basse. À l'échelle du bassin, cette productivité serait plus élevée si une plus grande partie des terres arables était cultivée.

On peut considérer que la faible productivité actuelle de l'eau résulte de la stratégie de limitation du risque pratiquée par la plupart des petits agriculteurs. On peut considérer que cette stratégie est raisonnable à l'échelle de la famille. Cependant, à l'échelle des pays ou du bassin, la croissance démographique indique une augmentation de la demande. Il est donc nécessaire d'augmenter à la fois la WP et le rendement des cultures pluviales. Cela est possible en mettant en œuvre des techniques plus efficaces, ce qui nécessite des changements dans l'environnement social, politique et économique et une amélioration des infrastructures.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 78 30/12/09 11:04:56

Map 14.1 - *Suite* – Carte 14.1 - *Suite*



References:
Références :

Cook S.E., Gichuki F., Turral H., Fisher M., 2006. Agricultural water productivity: Issues, Concepts and Approaches: Basin Focal Project: Working with partners to enhance Agricultural water productivity sustainably in benchmark river basins. CPWF/BFP Working Paper 1, 17 p.
http://www.waterandfood.org/publications/basin-focal-projects.html. Accessed on 15/02/2009.

Rockstrom J., Barron J., Fox P., 2003. «Water prodcutivity in rainfed agriculture: challenges and opportunities for smallholders farmers in drought-prone tropical ecosystems». *In:* Kjine, J.W. Barker, R., D. Molden (eds.), *Water Productivity in Agriculture. Limits and Opportunities for Improvement.* CAB International, Wallingford, UK: 145-162.

Terrasson I., Fisher M., Andah W., Lemoalle J. 2009. Yields and water productivity of rainfed grain crops in the Volta basin (West Africa). *Water International,* 34: 104 - 118.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 79 30/12/09 11:05:00

15 Inland fisheries
La pêche continentale

There are 139 freshwater fish species in the Volta basin. The ichthyofauna of the basin is very similar to that of the Niger, with which faunal exchanges have probably occurred as the Mouhoun and the Pendjari rivers may have been tributaries of the Niger River during the Holocene (Lévêque & Paugy, 1999). Despite these relatively recent connections, 8 fish species are endemic to the basin.

Fisheries activity is widespread among the basin, along rivers and in small reservoirs, but the main concentrations occur in the large reservoirs, Lakes Volta, Bagré and Kompienga and in some floodplains such as the upper Mouhoun and Sourou rivers (Béné, 2007 ; Béné & Russell, 2007).

In the large reservoirs, fishing is practised by full-time allochthonous fishers and, often part time, by the local populations. The fish catch in Bagré amounted to about 975 tonnes/year between 1994 and 2004, with about 600 full-time fishers. In Kompienga, the catch has been slightly above 1,200 tonnes/year between 1991 and 1997 (Morand, 1998 ; Pittaluga, 2003).

The data available on the fish catch in Lake Volta are rather contradictory, ranging from 40,000 to 250,000 tonnes/year according to the different authors. The results of a frame survey of the fisheries in Lake Volta, in 1998, indicated the following results : there were 1,232 fishing villages (86 of them habouring more than 50 canoes), for 71,900 fishers owning 24,000 canoes, most of these being managed by 2 to 3 persons. The most common legal gears were gillnets, hook lines and traps. The beach seines (11,000) and purse seines (450) were regarded as destroying the resource (Braimah, 2000).

Self-consumption amounts to 10 to 15 % of the total catch.The fishers channel their products through market towns, a few being accessible by paved roads. Yeji, Buipe, Kpando-Torkor and Kwame-Krome are among the large fish markets (Map 15.1).

After the construction of the dam at Akosombo, the regulated river flow in the Lower Volta River did not allow for the former high productivity of the clam *Egeria radiata* and of the estuarine shrimps.

Elsewhere in the basin, fishing is often a secondary activity that complements a main

Il y a dans le bassin de la Volta 139 espèces de poissons d'eau douce. Cette ichtyofaune est très semblable à celle du bassin du Niger avec lequel des échanges d'espèces ont pu avoir lieu durant l'Holocène quand le Mouhoun et la Pendjari ont probablement été des affluents du Niger (Lévêque et Paugy, 1999). Il y a cependant 8 espèces endémiques du bassin de la Volta malgré ces connexions relativement récentes.

L'activité de pêche est répandue dans tout le bassin, sur les rivières et dans les petits réservoirs. Mais l'essentiel est concentré dans les grands réservoirs, les lacs Volta, Bagré et Kompienga, ainsi que dans les plaines d'inondation du Mouhoun et du Sourou (Béné, 2007 ; Béné & Russell, 2007).

Dans les grands réservoirs, la pêche est pratiquée à plein temps par des pêcheurs allochtones, et souvent à temps partiel par les populations locales. La production de Bagré était de l'ordre de 975 tonnes/an entre 1994 et 2004, avec environ 600 pêcheurs à plein temps, et celle de Kompienga légèrement au-dessus de 1 200 tonnes/an entre 1991 et 1997 (Morand, 1998 ; Pittaluga, 2003).

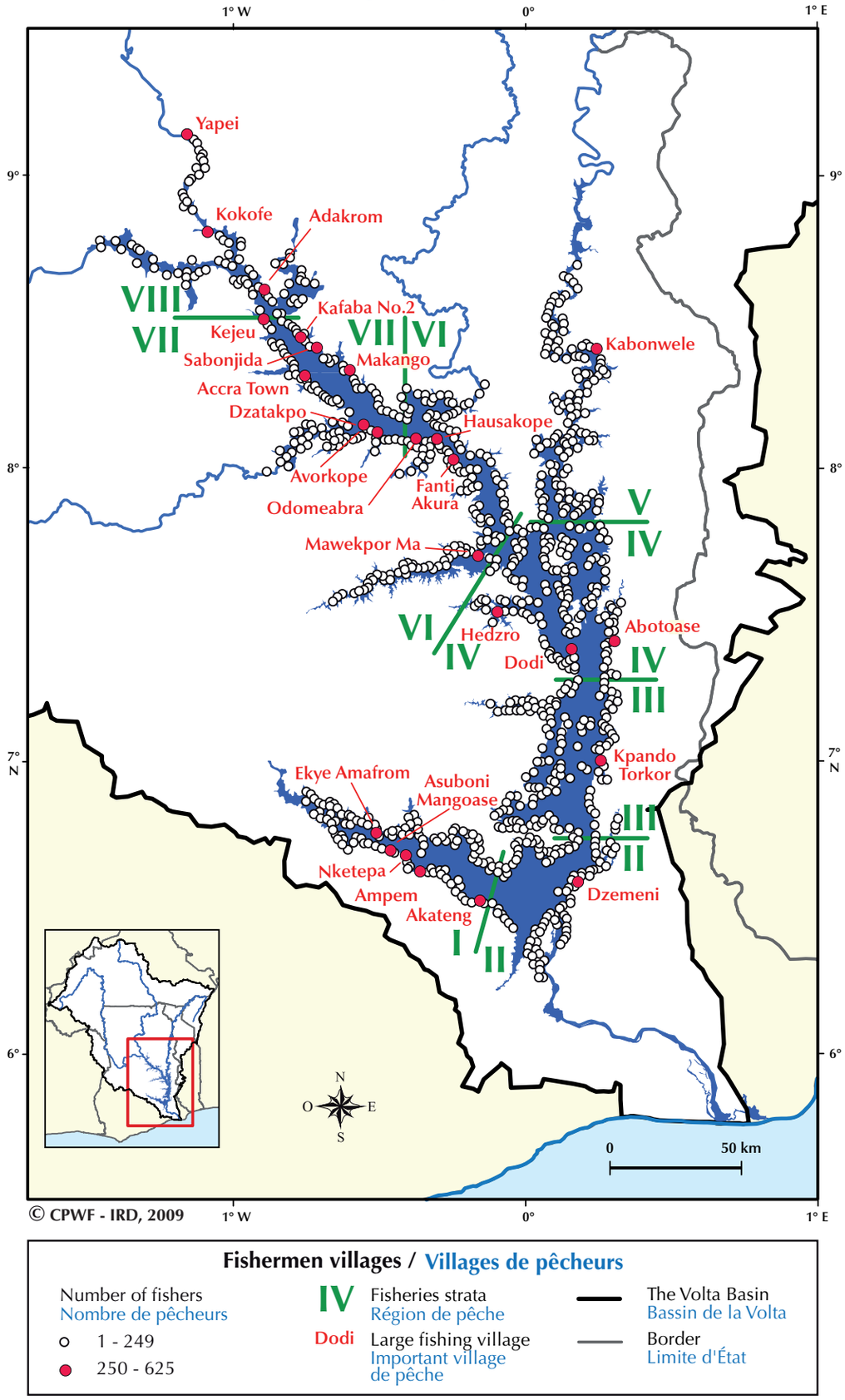
Les données concernant la production de la pêche dans le lac Volta sont assez contradictoires, variant de 40 000 à 250 000 tonnes/an selon les auteurs. Une enquête cadre en 1998 a fourni les données suivantes : 1 232 villages de pêche (dont 86 abritent plus de 50 pirogues de pêche) pour 71 900 pêcheurs possédant au total 24 000 embarcations, pour la plupart des pirogues maneuvrées par deux à trois personnes. Les engins utilisés sont très variés, les nasses, les filets maillants et les lignes dominent parmi les engins autorisés. Les sennes de plage (11 000) ou de pleine eau (450), sont accusées de détruire la ressource (Braimah, 2000).

L'autoconsommation représente environ 10 à 15 % des prises totales. La production transite le plus souvent par les quelques marchés riverains accessibles par route goudronnée tels que Yeji, Buipe, Kpando-Torkor ou Kwame-Krome (carte 15.1).

Du fait de la régularisation du cours d'eau à l'aval après la construction du barrage d' Akosombo, la productivité de la zone estuarienne a été profondément modifiée,

MiseEnPageVOLTAfin.indd 80 30/12/09 11:05:01

Map 15.1 - The fishing villages around Lake Volta
Carte 15.1 - Les villages de pêche autour du lac Volta



Fishermen villages / Villages de pêcheurs

Number of fishers Nombre de pêcheurs	IV Fisheries strata Région de pêche	The Volta Basin Bassin de la Volta
○ 1 - 249	Dodi Large fishing village Important village de pêche	Border Limite d'État
● 250 - 625		

The 22 villages indicated with their name on the map have more than 250 fishers. The roman numbers indicate the eight fisheries strata in the lake. Data for 1998 from Braimah, 2000.

Les 22 villages indiqués par leur nom sont ceux qui abritent plus de 250 pêcheurs. Les chiffres romains indiquent les huit régions de pêche. Données pour 1998 de Braimah, 2000.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 81 30/12/09 11:05:04

activity such as farming or herding that does not meet family needs. In this case, the fishing gear is often rudimentary and its productivity remains low.

Kapetsky (1991) has estimated the fishery potential of the inland waters of Ghana. For the Ghanaian part of the basin (Lake Volta excluded), the annual potential amounted to about 5,000 tonnes with respectively 730 tonnes for dugouts, 960 tonnes for the small reservoirs, 3,300 tonnes for floodplains and 100 tonnes for the swamp areas.

In the recent years, cage fish farming, at both the small and industrial scales, has proliferated in Lake Volta and Kpong Reservoir. The Ghanaian government has reserved about 1% of Lake Volta for the development of fish farming systems. Culture-based fisheries (restocking) in smaller water bodies have up to now not proven their economic efficiency.

avec une forte diminution du bivalve *Egeria radiata* et des crevettes d'estuaire.

Ailleurs dans le bassin, la pêche représente le plus souvent une activité accessoire qui vient en complément d'une activité principale, culture ou élevage, qui ne suffit pas à subvenir aux besoins de la famille. Dans ce cas, les moyens mis en œuvre sont rudimentaires et la productivité reste faible.

Kapetsky (1991) a estimé le potentiel de pêche de divers plans d'eau du Ghana. Pour ce qui concerne la fraction ghanéenne du bassin, ce potentiel annuel est de 5 000 tonnes dont 730 tonnes pour les mares creusées (dugouts), 960 tonnes pour les réservoirs, 3 300 pour les plaines inondables et 100 tonnes pour les marécages.

Au cours des dernières années, l'élevage de poissons en cage s'est largement développé dans le lac Volta et le réservoir de Kpong, aussi bien à l'échelle artisanale qu'industrielle. Environ 1 % de la surface du lac Volta est réservée par le gouvernement du Ghana pour le développement de la pisciculture. Les pêches de repeuplement dans les plans d'eau plus petits n'ont pas jusqu'à maintenant prouvé leur efficacité économique.

References:
Références :

Béné C., 2007. *Diagnostic study of the Volta Basin fisheries Part 1 - Overview of the Volta Basin fisheries resources.* Report commissioned by the Focal Basin Project - Volta. Cairo Egypt: WorldFish Center Regional Offices for Africa and West Asia, 31 p.
http://cpwfbfp.pbworks.com/Publications+from+Volta. Accessed 31-01-2009.

Béné C., Russell A.J.M., 2007. *Diagnostic study of the Volta Basin fisheries Part 2 - Livelihoods and poverty analysis, current trends and projections.* Report commissioned by the Focal Basin Project - Volta. Cairo Egypt: WorldFish Center Regional Offices for Africa and West Asia, 66 p
http://cpwfbfp.pbworks.com/Publications+from+Volta. Accessed 31-01-2009.

Braimah L.I., 2000. *Full frame survey at Lake Volta, Ghana (1998)*. Integrated Development of Artisanal Fisheries Project, Yeji, 2000, 195 p.

Lévêque C., Paugy D., 1999. « Distribution géographique et affinités ». *In* Lévêque C., Paugy D. (eds) : *Les poissons des eaux continentales africaines. Diversité, écologie , utilisation par l'homme,* Paris, IRD Éditions : 55-67.

Morand P., 1998. Atelier de restitution des études pêche sur le lac du Barrage de Kompienga (Pama, 18-20 juin 98) et préparation d'un document de projet au format InfoDev pour le financement de la mise en place des systèmes d'information de Kompienga et de Bagré. Programme de coopération GCP/INT/466/NOR FAO/gouvernement de Norvège, Food and Agriculture Organization.

Pittaluga F. (ed), 2003. Pêcheurs-agriculteurs ou agriculteurs-pêcheurs ? Les moyens d'existence des communautés rurales autour des lacs Bagré et Kompienga au Burkina Faso. Programme pour des moyens d'existence durables dans la pêche en Afrique de l'Ouest. DFID et FAO, 108 p.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 82 30/12/09 11:05:04

Photo 7: A big fishing canoe at Yeji, on the shore of Lake Volta in Ghana, March 2009.
Photo 7 : Grande pirogue de pêche sur le lac Volta, à Yeji, Ghana, mars 2009.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 83 30/12/09 11:05:07

16 Hydropower production
La production hydroélectrique

Hydropower generation in 2009 in the Volta basin is provided by three main reservoirs: Lake Volta in Ghana, Lake Bagré and Lake Kompienga in Burkina Faso.

Lake Volta is a major feature in the basin. It was formed by the construction of the Akosombo dam, started in 1961 and completed in 1965. The lake is one of the largest man-made lakes, with an area of 8,502 km² and a volume of 148 km³ at the maximum operating level of 84.7 m. The minimum operating level is 71.8 m (data from VRA). The water level since the closure of the dam is presented in Figure 16.1.

La production hydroélectrique en 2009 du bassin de la Volta est fournie par trois lacs de barrage : le lac Volta au Ghana et les lacs de Bagré et Kompienga au Burkina Faso.

Le lac Volta est une composante majeure du bassin. Il a été créé par la construction du barrage d'Akosombo, commencée en 1961 et terminée en 1965. C'est l'un des plus grands lacs artificiels du monde, avec une surface de 8 502 km² et un volume de 148 km³ pour un niveau de l'eau de 84,7 m. Le niveau minimum de fonctionnement est de 71,8 m (données VRA). L'historique du niveau du lac depuis sa mise en eau est présentée figure 16.1.

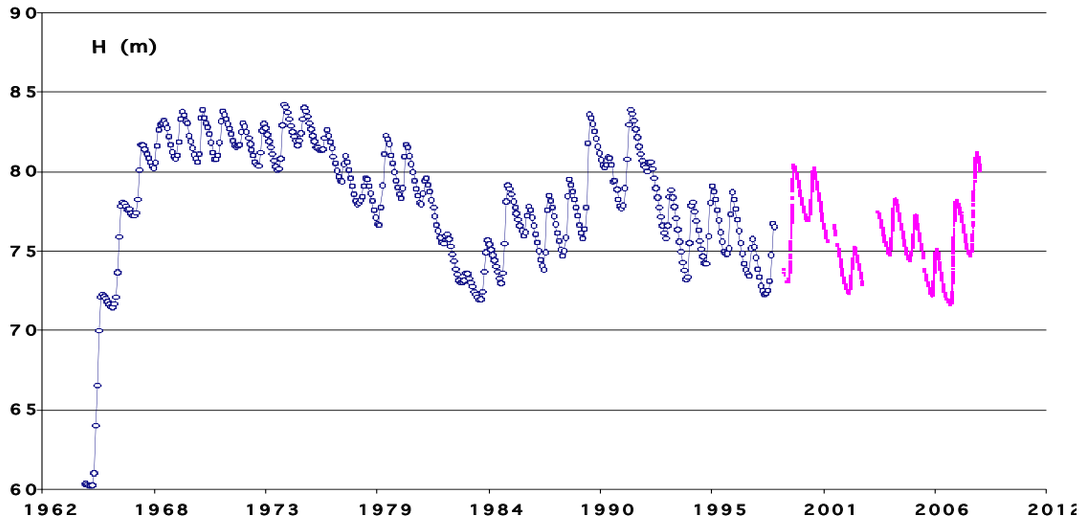


Figure 16.1: The water level in Lake Volta since the closure of the dam. Data from* VAN DE GIESEN et al. *(2001) and VRA (2009).

Figure 16.1 : Le niveau de l'eau dans le lac Volta depuis sa mise en eau. Données* VAN DE GIESEN et al. *(2001) et VRA (2009).

The primary function of the Volta River Authority (VRA) is to generate and supply electrical energy for industrial, commercial and domestic use in Ghana. The VRA is also responsible for safeguarding the health, environment and socio-economic well-being of the inhabitants of the communities alongside Lake Volta.

The Akosombo Generating Station started producing 588 MW of power in 1965 from four generating units. In 1982, a second hydro generating station was commissioned on the Volta River at Kpong, 31 km downstream of Akosombo. adding a capacity of 160 MW to that of Akosombo. After a number of successive improvements, the total capacity of the

La fonction première de la Volta River Authority (VRA) est de produire et distribuer l'énergie électrique pour les usages industriels, commerciaux et domestiques au Ghana. L'Autorité a aussi pour charge de protéger la santé, l'environnement et le bien-être socioéconomique des communautés riveraines du lac.

La centrale de production d'Akosombo a commencé par fournir 588 MW en 1965 avec quatre turbines. En 1982, une deuxième centrale a été installée 31 km en aval sur la Volta à Kpong, ce qui a ajouté une puissance de 160 MW. Après une série d'améliorations successives la capacité totale du système Akosombo/Kpong a atteint 1 180 MW en 2005. La capacité de production totale annuelle était

MiseEnPageVOLTAfin.indd 84 30/12/09 11:05:20

Map 16.1 - Lake Volta
Carte 16.1 - Le lac Volta

Image taken on March 31, 2002 by the Moderate Resolution Imaging Sprectroradiometer (MODIS). Distributed by NASA Visible Earth (2009).

Image prise le 31mars 2002 par le Moderate Resolution Imaging Sprectroradiometer (MODIS). Source : NASA Visible Earth (2009).

MiseEnPageVOLTAfin.indd 85 30/12/09 11:05:24

Akosombo/Kpong scheme reached 1,180 MW in 2005. This brought the total annual capacity to 6,100 GWh and an actual production of 4,800 GWh depending on the water inflow. This energy is consumed mainly by households in Ghana and neighboring countries, and by the gold and aluminum mining industries.

The construction of the Akosombo dam and hydropower plant was planned in a wet period, when the inflows averaged over 40 km^3 per year (Moniod *et al.*, 1977). The relatively low and irregular inflows of the recent decades with a mean value of 36.5 km^3/y during the 1985-2000 period (Obeng-Asiedu, 2004) did not allow for a full exploitation of the dam's capacity, and has even led to some complete operation stoppages as in March 2007. This is a result of the large variation in inflow relatively to variations in rainfall over the basin: a 10 % change in annual rainfall around the mean leads to a 39 % change in river inflow to the Lake (Figure 16.2). Section 17 presents an analysis of the potential impact of an increased number of small reservoirs in the upper basin, or of climate change on the Akosombo and Kpong plants.

alors de 6 100 GWh, avec une production effective moyenne de 4 800 GWh, variable en fonction des apports en eau. Cette production est consommée principalement par les usages domestiques ainsi que par l'industrie minière de l'or et de l'aluminium.

La conception du barrage et de la centrale d'Akosombo s'est déroulée pendant une période humide, quand les apports par la Volta étaient de l'ordre de 40 km^3 par an (Moniod *et al.,* 1977). Les apports relativement plus faibles et irréguliers des décennies récentes, avec une moyenne de 36,5 km^3/an pour la période 1985-2000 (Obeng-Asiedu, 2004), n'ont pas permis une exploitation totale de la puissance disponible et ont même conduit à un arrêt total de la production en mars 2007. Ceci est dû au fait qu'une faible variation de la pluie se traduit par une forte variation des apports fluviaux au lac : une variation de 10 % autour de la moyenne de la pluie annuelle résulte en une variation de 39 % des apports fluviaux sur le bassin (figure 16.2). Une analyse de l'impact possible du changement climatique ou d'une augmentation des prélèvements de l'irrigation autour des petits barrages dans le bassin amont, est présentée au chapitre 17 .

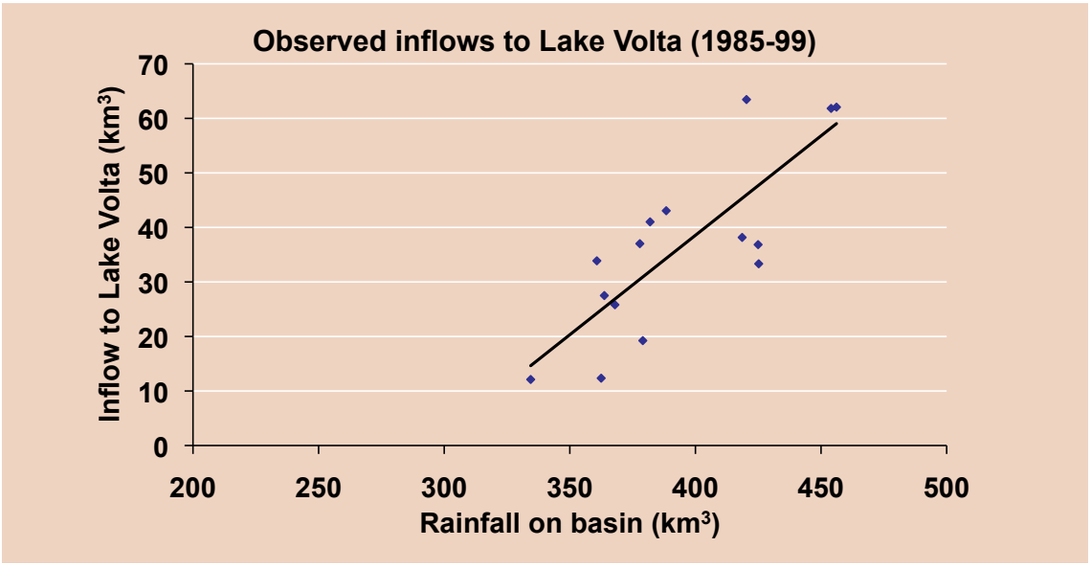


Figure 16.2: The observed inflows to Lake Volta as a function of rainfall over the basin for the period 1985-1999. Rainfall data from CRU and inflow data from Obeng-Asiedu (2004).

Figure 16.2 : Les apports au lac Volta en fonction de la pluie sur le bassin au cours de la période 1985-1999. Données de pluie de CRU et données hydrologiques d'après Obeng-Asiedu (2004).

In Burkina Faso, the reservoirs of Bagré, used for both hydropower and irrigation, and Kompienga, used only for hydropower, contribute also to electricity production (Table 16.1). Both reservoirs are very sensitive to rainfall varia-

Au Burkina Faso, le réservoir de Bagré, utilisé pour l'hydroélectricité et l'irrigation, et celui de Kompienga utilisé uniquement pour la fourniture d'électricité, contribuent également à la production d'énergie (tableau 16.1). Ils sont tous deux très sensibles à la variabilité des pluies du

MiseEnPageVOLTAfin.indd 86 30/12/09 11:05:25

bility, being located in the upper and drier part of the basin. Overspills have occurred at Bagré with some harmful effects for the people living downstream. Such floods probably result from a recent increase in the runoff coefficient in the watershed, which had not been taken into account in the dam design. Two other small reservoirs, Niofila and Tourni are situated outside of the basin and contribute about 4.1 GWh per year. The construction of a dam in Samandeni, on the Black Volta, will provide some energy (Table 16.1) as well as the possibility to irrigate 21,000 ha for dry-season agriculture.

In Togo, there is no hydropower production in the Volta Basin, but possibilities exist at Landa Pozada and Tihalea on the River Kara and Titira on R. Keran, both tributaries of the Oti River.

The construction of a new dam is planned at Bui, where the Black Volta crosses the Banda Hills in Ghana (ERM, 2007) (Table 16.1). The reservoir will have an area of 440 km^2, of which about 20 % will be located in the present Bui National Park which hosts one of the two populations of black hippopotamus in Ghana. An irrigation scheme may be developed downstream of the dam to mitigate its adverse impact on the riparian population. The construction of the Bui dam may compromise the project of a dam in Noumbiel (Burkina Faso/Ghana), some distance upstream on the Black Volta.

fait de leur position dans la zone amont, plus aride, du bassin. Des débordements se sont produits à Bagré, entraînant des dommages pour les populations en aval. De telles crues résultent probablement d'une augmentation récente du coefficient de ruissellement dans l'amont du bassin qui n'avait pu être prévue dans la conception du barrage. Deux autres barrages de moindre importance, Niofila et Tourni, situés au Burkina Faso mais hors du bassin de la Volta, participent pour environ 4,1 GWh à la production annuelle du pays. La construction du barrage de Samandéni, dans le bassin supérieur du Mouhoun, doit produire de l'énergie (tableau 16.1) et également permettre l'irrigation de 21 000 ha pour les cultures de contre-saison.

Au Togo, il n'y a pas de production hydroélectrique mais des possibilités ont été identifiées, notamment à Landa Pozada et Tihalea sur la rivière Kara et à Titira sur la rivière Kéran, toutes deux affluents de l'Oti.

Il est également prévu la construction d'un barrage sur le site de Bui, à l'endroit où le Mouhoun traverse les Banda Hills au Ghana (ERM, 2007) (tableau 16.1). La retenue aura une surface de 440 km^2, dont environ 20 % occuperont l'actuel parc national de Bui, qui abrite, entre autres, une population d'hippopotames. Un périmètre irrigué en aval pourrait modérer l'impact du barrage sur les sociétés riveraines. La construction du barrage de Bui peut en partie remettre en question celle du barrage envisagé à Noumbiel (Burkina Faso/Ghana) plus en amont sur le Mouhoun.

Table 16.1: The main hydropower schemes in the Volta basin. The production of the Burkinabe plants is a mean value for 2003 and 2004.

Tableau 16.1 : Les principales centrales électriques du bassin de la Volta. La production des centrales burkinabé est une moyenne pour les années 2003 et 2004.

Reservoir Réservoir	Volume/Volume (Mm^3)	Date constuction/ Date constuction	Energie/Énergie GWh/year/an	Source/ Source
Akosombo/Kpong (GHA)	148,000	1965	4,800	VRA (2009)
Bagré (BFA)	1,700	1993	65	Sonabel (2009)
Kompienga (BFA)	2,500	1990	19	Sonabel (2009)
Samandéni (BFA)	1,050	*Planned/en projet*	17	Sonabel (2009)
Bui (GHA)	12,350	*Planned/en projet*	980	ERM (2007)

MiseEnPageVOLTAfin.indd 87 30/12/09 11:05:25

References
Références

ERM - (Environmental Resources Management), 2007. *Environmental and social impact assessment of the Bui Hydropower Project.* ERM, London, 177 p.

Moniod F., Pouyaud B., Séchet P., 1977. *Le bassin du fleuve Volta*. Paris, Orstom, 513 p. *http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/pleins_textes_6/Mon_hydr/04351.pdf*

NASA Visible Earth, 2009.
http://veimages.gsfc.nasa.gov/3057/Volta.A2002090.1020.250m.jpg. Accessed on March 2009.

Obeng-Asiedu P., 2004. *Allocating water resources for agricultural and economic development in the Volta river basin.* Doctoral thesis, University of Bonn, Germany. Available from:
http://www.glowa-volta.de/publications/printed/thesis_pobenga.pdf. Accessed January 2008.

Sonabel (Société nationale d'électricité du Burkina), 2009.
http://www.sonabel.bf/Statist/sour_prod.htm, Accessed on 25-01-2009.

van de Giesen N., Andreini M., van Edig A., Vlek P., 2001. Competition for water resources of the Volta basin. *IAHS Publication,* 268: 99-205.

VRA (Volta River Authority) 2009.-
http://www.vra.com/Power/akohydro.php. Accessed on 15-01-2009.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 88 30/12/09 11:05:25

Photo 8: Akosombo dam and the turbine intakes, March 2009.
Photo 8 : Le barrage d'Akosombo avec les prises d'eau des turbines, mars 2009.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 89 30/12/09 11:05:26

17 Future changes and impacts

Les changements futurs et leur impact

The national priorities for water use are quite different in the two main countries of the Volta Basin. To compensate for a rather short rainy season and growing period, Burkina Faso has developed small and medium-sized reservoirs for small-scale irrigation throughout the country (see Section 12). With Lake Volta and its Akosombo-Kpong hydropower plant, Ghana aims at maximizing the energy production (see Section 16). There is sufficient rainfall over most of Ghana for satisfactory production of rain-fed agriculture.

In such a transboundary basin, tools are needed to enable cooperative management of water resources (Andah *et al.*, 2004 ; Owusu *et al.*, 2008). A water allocation model has been developed for this purpose, and two examples of its use are given below.

The first analyzes the impact of climate change on the hydropower generation. The second considers how a further sustained development of small reservoirs in the upper basin may alter the water flow into Lake Volta.

The WEAP allocation model

An application of the software Water Evaluation And Planning (WEAP) for the Volta Basin was developed through a collaboration between the Project for Improving Water Governance in the Volta River Basin (PAGEV), the Stockholm Environment Institute (SEI) and BFP Volta (Map 17.1) (de Condappa *et al.*, 2009).

WEAP-Volta simulated two processes simultaneously. The first process modelled the surface discharge by subdividing the basin into 19 subunits and using the input data described in Section 6. The second process considered five categories of water use and demand (Table 17.1): (i) irrigation from large reservoirs, (ii) hydropower from large hydroelectric dams, (iii) water stored in small reservoirs, (iv) domestic consumption in urban areas and (v) river-side irrigation and livestock consumption.

The observed situation in year 2000 was set as initial condition in year zero, with the simulation starting in year 1. We considered three types of scenarios over 20 years:

- a reference scenario in which no changes occurred (business as usual), which was simulated by using the meteorological

Les deux principaux pays du bassin de la Volta affichent des priorités nationales d'utilisation de l'eau assez différentes. Pour compenser une saison des pluies et une période de végétation relativement courtes, le Burkina Faso a multiplié les petits et moyens réservoirs pour une irrigation à petite échelle sur l'ensemble du territoire (voir chapitre 12). Le Ghana en revanche cherche, avec le lac Volta et son complexe hydro-électrique d'Akosombo-Kpong, à maximiser la production d'énergie (voir chapitre 16). Les pluies sont suffisantes sur ce pays pour assurer une agriculture pluviale satisfaisante.

Dans ce type de bassin partagé par plusieurs pays, les outils qui permettent de pratiquer une gestion de l'eau en coopération sont indispensables (Andah *et al.*, 2004 ; Owusu *et al.*, 2008). Un modèle d'allocation de l'eau a été mis au point à cet effet. Deux exemples de son utilisation sont proposés ici.

Le premier analyse l'impact du changement climatique sur la production d'énergie hydro-électrique. Le second analyse comment la construction intensive de nouveaux petits réservoirs dans la partie supérieure du bassin pourrait modifier les apports d'eau au lac Volta.

Le modèle d'allocation WEAP

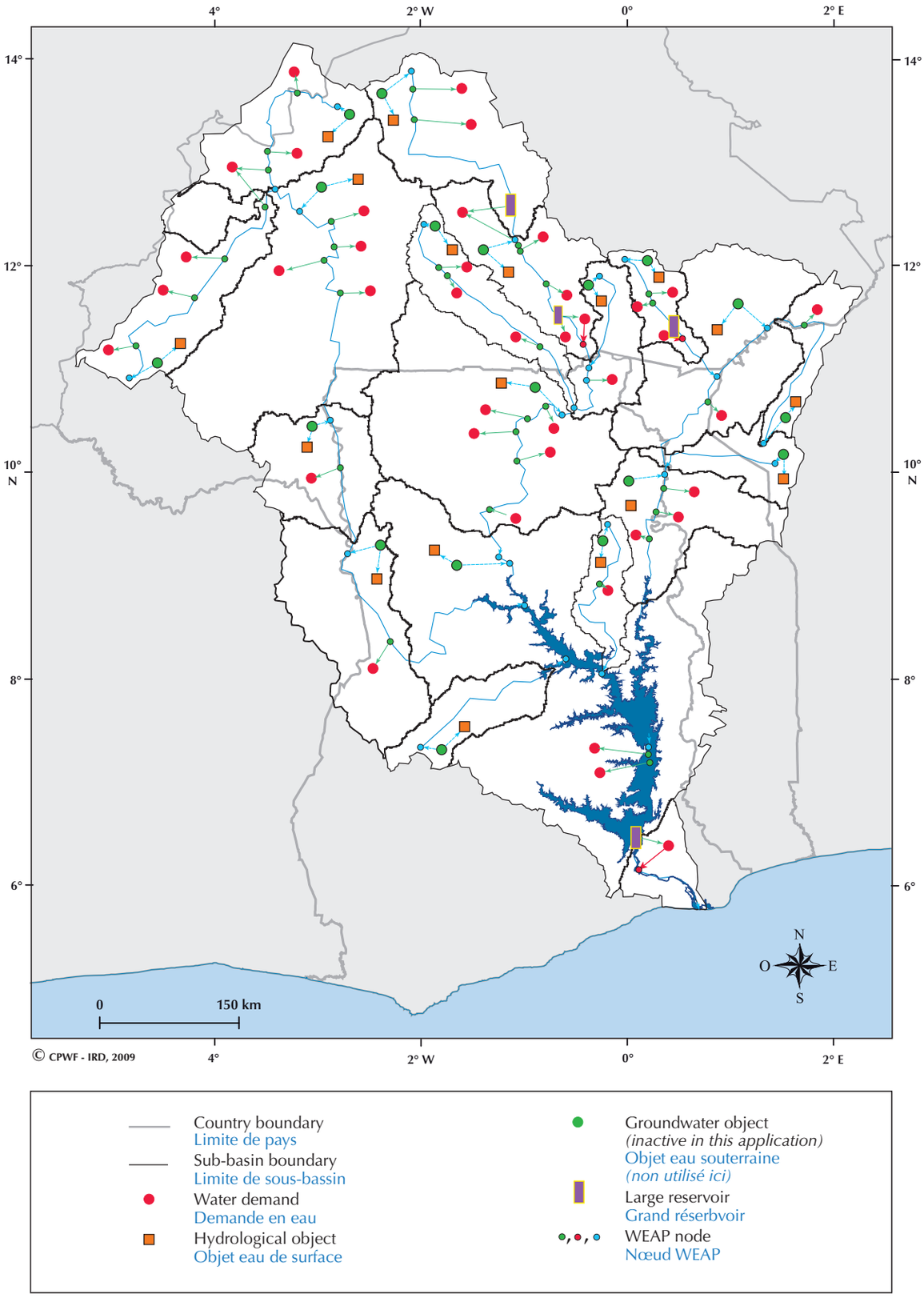
Une application du logiciel WEAP (Water Evaluation and Planning) a été développée pour le bassin de la Volta, grâce à une collaboration entre le PAGEV (Projet d'amélioration de la gouvernance de l'eau dans le bassin de la Volta), le SEI (Stockholm Environment Institute) et le BFP Volta (carte 17.1), (de Condappa *et al.*, 2009).

Le WEAP-Volta a permis de simuler deux processus simultanément. L'écoulement superficiel a été modélisé en subdivisant le bassin en 19 sous-unités et en utilisant les données décrites au chapitre 6. On a ensuite considéré cinq catégories différentes d'utilisation de l'eau (tableau 17.1) : i) irrigation à partir de grands réservoirs ; ii) énergie hydro-électrique à partir de grands barrages ; iii) eau stockée dans les petits réservoirs ; iv) eau à usage domestique dans les zones urbaines et v) systèmes d'irrigation le long des berges et consommation par le bétail.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 90 30/12/09 11:05:27

Map 17.1 - The schematic WEAP network of the Volta Basin.

Carte 17.1 - Le réseau schématique WEAP du bassin de la Volta.



Source: DE CONDAPPA et al. *(2009).*

Source : DE CONDAPPA et al. *(2009).*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 91 30/12/09 11:05:29

Table 17.1: Annual water demand in the sub-basins of the Volta Basin in 2005. Source: DE CONDAPPA **et al.** ***(2009).***
Tableau 17.1 : Demandes d'eau annuelles dans les sous-bassins du bassin de la Volta en 2005. Source : DE CONDAPPA **et al.** ***(2009).***

Sub-basin Sous-bassin	Dom. *(Mm³/year)* Dom. *(Mm³/an)*	Livestock *(Mm³/year)* Élevage *(Mm³/an)*	Irrigation *(Mm³/year)* - Irrigation *(Mm³/an)* Riv. / Riv.	LR - GR	SR - PR	Hydr. *(Mm³/year)* En. hydr. *(Mm³/an)*
Arly	-	-	-	-	0	-
Bamboi	12	4	-	-	-	-
Dapola	17	13	19	-	31	-
Ekumdipe	2	1	-	-	-	-
Kompienga	3	3	-	-	6	580
Lerinord	4	4	-	89	4	-
Mango	-	-	-	-	1	-
Nanggodi	5	4	3	-	18	-
Nawuni	23	13	-	82	17	-
Noumbiel	-	-	-	-	2	-
Nwokuy	13	6	46	188	5	-
Pwalagu	-	-	-	-	10	-
Sabari	7	3	27	-	-	-
Senchi	30	5	81	-	-	31,570
Yakala	38	16	66	-	49	870
Wayen	-	-	-	150	32	-
Total	***156***	***71***	***242***	***509***	***174***	***33,020***

Dom. - Dom. = domestic and urban demand / usage domestique et urbain
Riv = irrigation from river side / irrigation depuis les cours d'eau
LR – GR= large reservoirs / grands réservoirs – SR – PR= small reservoirs / petits réservoirs
Hydr. = Hydropower - En. hydr. = Énergie hydraulique

data observed during the 1980-2000 period;

- climate changes, as indicated below.
- and a strong, steady increase in the number of small reservoirs (+10 %/year).

A report from the Intergovernmental Panel on Climate Change (CHRISTENSEN *et al.*, 2007) concluded that there is no consensus on the change in rainfall in West Africa for the next decades (see Section 2 on climate). Hence, we studied three climate scenarios for 20 years: (i) warmer by increasing the temperature by + 2°C, (ii) warmer and drier and (iii) warmer and wetter. Changes in rainfall were simulated by mimicking the changes in precipitation that occurred in the basin in the 1970's (LEMOALLE, 2007). We shifted the meteorological grids observed during the period 1980-2000 so as to simulate, starting from year 1:

– a drier period, by a shift of 1 degree southwards,

– a wetter period, by a shift of 1 degree northwards.

The reference scenario and the two hypothetical rainfall scenarios are presented in Map 17.2.

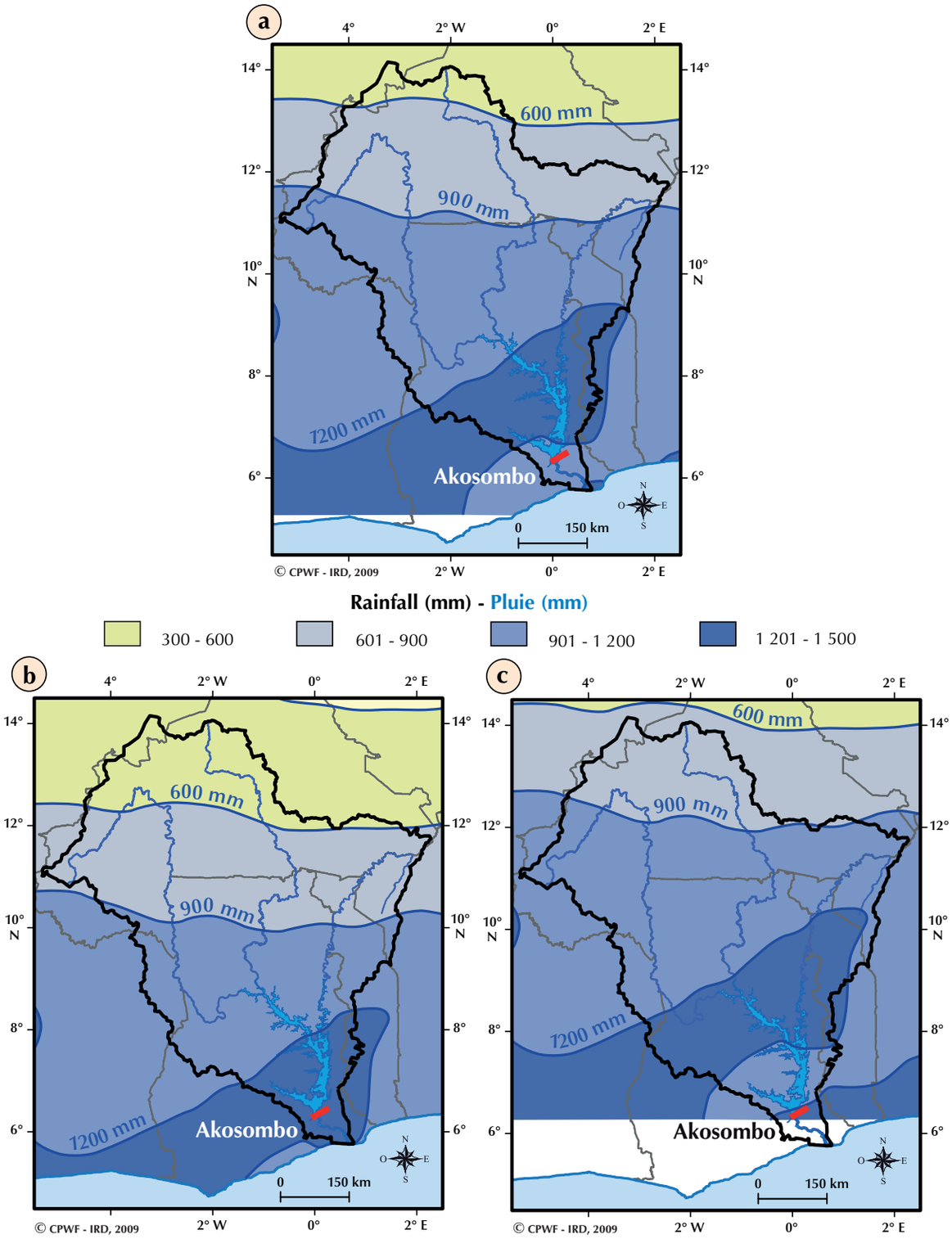
La situation observée en 2000 est la condition de départ pour l'année zéro de la simulation, qui débute en année 1. Trois types de scénarios sur 20 ans ont été envisagés :

- un scénario de référence, sans changement, simulé à l'aide des observations météorologiques sur la période 1980-2000 ;
- un scénario de changements climatiques (voir *infra*) ;
- un scénario comprenant un accroissement continu du nombre des petits réservoirs de 10 % par an.

Le rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC – CHRISTENSEN *et al.*, 2007) a conclu à l'absence de consensus sur l'évolution des précipitations en Afrique de l'Ouest dans les prochaines décennies (voir chapitre 2 sur le climat). Nous avons donc étudié trois scénarios climatiques sur 20 ans : (i) un réchauffement de 2 °C sans modification du régime des pluies ; (ii) un réchauffement accompagné d'une plus grande sécheresse ; et (iii) un réchauffement accompagné d'une plus grande pluviométrie. Les évolutions des précipitations ont été simulées en reproduisant le changement de précipita-

MiseEnPageVOLTAfin.indd 92 30/12/09 11:05:30

Map 17.2 - Simulation of climate changes by shifting the isohyets.
Carte 17.2 - Simulation des changements climatiques par translation des isohyètes



a) Isohyets of average annual rainfall observed from 1980 to 2000 (reference scenario). Data from CRU. b) Rainfall distribution shifted southwards by 1° (drier scenario). c) Rainfall distribution shifted northwards by 1° (wetter scenario).

a) Isohyètes des précipitations moyennes annuelles observées entre 1980 et 2000 (scénario de référence). Données du CRU ; b) déplacement de la répartition des précipitations de 1° vers le sud (scénario plus sec) ; c) déplacement de la répartition des précipitations de 1° vers le nord (scénario plus humide).

MiseEnPageVOLTAfin.indd 93 30/12/09 11:05:32

Although the observed turbine flow increased gradually in the late 1990s, the simulated demand for hydropower was assumed to remain constant in all the scenarios and equal to the average value observed for the 1980-2000 period. Additional details on the setting of WEAP-Volta parameters can be found in DE CONDAPPA *et al.* (2008; 2009).

The impact of climate change on the hydropower production

The increase in temperature affects Lake Volta, by slightly reducing the water level, but the changes in rainfall pattern have a much greater impact (Figure 17.1).

In the drier scenario, the water level of the lake is very low and most often below the minimum operating level where hydropower production becomes impossible. In the wetter scenario, conversely, water levels are close to the maximum.

These simulations illustrate that electricity generation such as observed in late 1990's would be sustainable only in a wetter climate. This calls for careful management of the Akosombo hydropower plant and for an increased adaptability to climate change of the whole electric power network.

tions enregistré sur le bassin dans les années 1970 (LEMOALLE, 2007). Les grilles météorologiques observées entre 1980 et 2000 ont été déplacées, de manière à simuler à partir de l'année 1 :

– une période plus sèche, avec un déplacement de 1° des isohyètes vers le sud ;

– une période plus humide, avec un déplacement de 1° des isohyètes vers le nord.

Le scénario de référence et les deux scénarios de précipitations hypothétiques sont présentés, voir carte 17.2.

Bien que le débit turbiné ait augmenté progressivement à la fin des années 1990, la demande simulée pour l'énergie hydraulique a été posée comme constante dans tous les scénarios et égale à la valeur moyenne observée sur la période 1980-2000. Pour plus de détails sur les paramètres du WEAP-Volta, voir DE CONDAPPA *et al.* (2008 ; 2009).

L'impact du changement climatique sur la production hydro-électrique

L'augmentation de la température a un impact sur le lac Volta, en réduisant légèrement le niveau de l'eau mais cet impact est bien moindre que celui de la modification du régime des précipitations (figure 17.1).

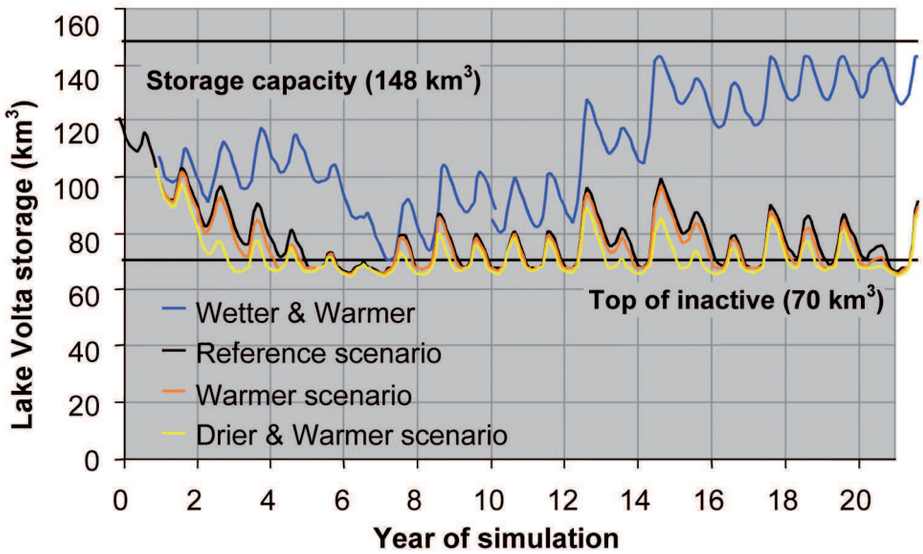


Figure 17.1: Simulation of the water stored in Lake Volta in three scenarios of climate change.
Source: DE CONDAPPA et al. *(2009).*

Figure 17.1 : Simulation du volume stocké dans le lac Volta pour les trois scénarios de changement climatique.
Source : DE CONDAPPA et al. *(2009).*

MiseEnPageVOLTAfin.indd 94 30/12/09 11:05:33

The impact of the increase in small reservoirs

At a steady rate of increase of 10% annually, the number of small reservoirs after 20 years would be 7 times higher than in 2000. This probably unsustainable rate would enhance the resilience of many small farmers to rainfall variability, whereas the simulated impact on Lake Volta is small in terms of both the stored water volume and the inflow to the lake. We estimated that the reduction in inflows to the lake is about 1 km^3/year, or 3% of the mean inflow, at the end of the scenario. This impact on hydropower production is small compared to the present variability in the stored volume or to the possible consequences of a climate change.

Conclusion

Further developments of the WEAP application may be used to analyse the impact of population increase, of changes in water demand and in allocation strategies, and to contribute to multi-national agreements at the basin or sub-basin scale.

Dans le scénario plus sec, le niveau de l'eau du lac est très bas et le plus souvent en dessous du niveau limite inférieur, ce qui rend impossible la production d'électricité. À l'inverse, le niveau d'eau est proche de son maximum dans le scénario plus humide.

Ces simulations montrent bien que la production d'électricité telle qu'observée à la fin des années 1990 ne pourrait être maintenue que si le climat devenait plus humide. Cela appelle à une gestion prudente de la centrale d'Akosombo mais aussi à une meilleure adaptabilité de l'ensemble du réseau de production électrique au changement climatique.

L'impact du développement des petits réservoirs

Avec un taux annuel de progression de 10 %, le nombre de petits réservoirs construits après 20 ans serait sept fois supérieur à celui observé en 2000. Ce rythme, probablement intenable, pourrait améliorer la résilience des petits exploitants face à la variabilité des précipitations. L'impact simulé sur le lac Volta est cependant faible, qu'il s'agisse du volume d'eau dans la retenue ou des apports au lac. Nous avons estimé que la réduction des apports d'eau au lac, à la fin du scénario, est d'environ 1 km^3/an, soit 3 % de l'apport moyen. L'impact sur la production d'énergie est faible par rapport à la variabilité actuelle du volume stocké ou des conséquences possibles d'un changement climatique.

Conclusion

D'autres développements de l'application WEAP pourront permettre d'analyser l'impact de la pression démographique, de l'évolution de la demande d'eau et des stratégies d'allocation. Ils pourraient également contribuer à nouer des accords internationaux à l'échelle du bassin ou des sous-bassins.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 95 30/12/09 11:05:34

References
Références

Andah W., N. van de Giesen, A., Huber-Lee and Biney C. A., 2004. Can we maintain food production without losing hydropower? The Volta Basin (West Africa). *In* Aerts J.C.J.H., Droogers P. (eds): *Climate change in contrasting river basins,* CABI Publ. Wallingford UB: 181-194.

Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen A., Gao X., Held I., Jones R., Kolli R.K., Kwon W.-T., Laprise R., Magaña Rueda V., Mearns L., Menéndez C.G., Räisänen J., Rinke A., Sarr A., Whetton P., 2007. Regional climate projections. *In:* Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds), *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press: 847-940.

de Condappa D., Chaponnière A., Lemoalle J., 2008. *Decision-support tool for water allocation in the Volta basin*. Volta Basin Focal Project Report No 10. IRD, Montpellier, France, and CPWF, Colombo, Sri Lanka, 28 p.

de Condappa D., Chaponnière A., Lemoalle J., 2009. A decision-support tool for water allocation in the Volta Basin. *Water International,* 34: 71-87.

Lemoalle J., 2007. *Global trends in the Volta Basin*. Volta Basin Focal Project Report No 3. IRD, Montpellier, France, and CPWF, Colombo, Sri Lanka, 26 p.

Owusu K., Waylen P. , Qiu Y., 2008. Changing rainfall inputs in the Volta Basin: implications for water sharing in Ghana. *GeoJournal*, 71: 201-210.

Photo 9: Children contributing to family farming activities. Ouagadougou Region, Burkina Faso, July 2005.
Photo 9 : Activité de la petite culture pluviale. Région de Ouagadougou, Burkina Faso, juillet 2005.

MiseEnPageVOLTAfin.indd 96 30/12/09 11:05:35