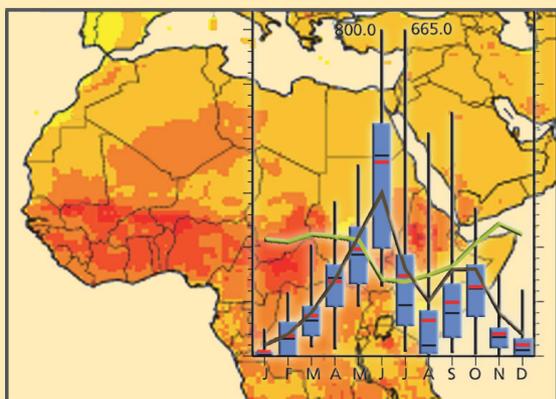
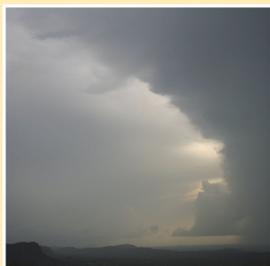


IMPETUS Atlas du Bénin

Résultats de Recherche 2000 – 2007



Troisième Édition



IMPETUS Atlas du Bénin

Résultats de Recherche 2000 – 2007



Editeurs en chef:

Dr. Michael Judex
Dr. Hans-Peter Thamm
Dr. Julia Röhrig
Dr. Oliver Schulz

Comité de rédaction:

Dr. Michael Christoph
Prof. Dr. Bernd Diekkrüger
PD Dr. Andreas Fink
Dr. Simone Giertz
Moritz Heldmann
Ralf Hoffmann
Dr. Arnim Kuhn

© 2009, Projet IMPETUS

Troisième édition traduite en français

ISBN-13 978-3-9810311-8-8

Cette publication peut être reproduite intégralement ou partiellement à des fins pédagogiques ou non lucratives sous quelque forme que ce soit sans autorisation spéciale du détenteur du droit d'auteur, à condition de mentionner la reconnaissance de la source.

Aucun usage de cette publication ne peut être fait à des fins de revente ou commerciales sans autorisation préalable écrite délivrée par le Projet IMPETUS.

Une version imprimée de l'Atlas peut être commandée auprès du bureau de IMPETUS

Dr. Michael Christoph
Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität Köln
Kerpener Str. 13
50923 Köln, Allemagne
e-Mail: christoph@meteo.uni-koeln.de

Pour besoin de références bibliographiques et de citation, cette publication devrait être citée de la manière suivante :

Judex, M., Röhrig, J., Schulz, O. et Thamm, H.-P. (éditeurs) (2009) : IMPETUS Atlas du Bénin. Résultats de recherche 2000–2007. Troisième édition. Département de Géographie, Université de Bonn, Allemagne.

Idee : Dr. Hans-Peter Thamm

Conception et Mise en page : Dr. Michael Judex, Dr. Oliver Schulz, Tim Breuer, Dominique Kohn

Consultation : Gregor Fellenz (wikisquare.de)

En collaboration avec : Scribus version 1.3.3.12 / 1.3.5

Impression : Eichberger Digital-Print, Troisdorf, Imprimé en Allemagne

Photos : Chaque auteur est responsable des photos contenues dans son article, excepté: Michael Judex (titre, p. 1–2, 59–60, 79–80, 101–102); Volker Ermert (p. 9–10); Alexandra Uesbeck (p. 27–28); Hans-Peter Thamm (titre)

L'usage de noms descriptifs généraux, les noms agréés, marques, etc. dans cette publication, n'implique pas, même en l'absence d'une déclaration spécifique, que de tels noms sont exemptes des lois et règlements protecteurs pertinents et par conséquent libres d'utilisation générale.

Toutes les démarcations utilisées dans cet atlas n'impliquent aucune demande de complément, de correction ou d'autorité administrative.

Le projet IMPETUS a été supporté financièrement par le Ministère Fédéral Allemand de l'Education et de la Recherche (BMBF), No. d'aide financière 01 LW 06001 A et No. 01 LW 06001 B, et du Ministère de la Innovation, des Sciences, de la Recherche et de la Technologie (MIWFT) du Land de la Rhénanie-du-Nord-Westphalie, No. d'aide financière 313-21200200.



Universität zu Köln

Ministry of Innovation, Science, Research
and Technology of the German State of
North Rhine-Westphalia



Federal Ministry
of Education
and Research

universität**bonn**

Préface

Au sein du projet IMPETUS, beaucoup de données de qualité, des analyses complètes et des résultats de modèles pertinents relatifs au cycle de l'eau douce et à d'autres sujets apparentés ont été compilés. La préoccupation du projet est de pouvoir communiquer ces résultats scientifiques dans un style facile et compréhensible aux administrations locales et nationales, aux agences de développement, à la communauté scientifique en général et autres acteurs intéressés.

L'atlas IMPETUS est une approche appropriée pour combler la distance entre les scientifiques et les acteurs locaux intéressés, étant donné qu'il peut être utilisé comme une base de données complète et une base pour une analyse détaillée dans toutes les situations se rapportant aux sujets concernés. De plus, il devrait démontrer la recherche interdisciplinaire approfondie de IMPETUS pendant les sept dernières années. Pour assurer la fiabilité de l'atlas, chaque contribution a été revue et examinée à fond par deux membres expérimentés du projet. Un atlas spécifique a été préparé pour chacune des deux régions d'étude au Maroc et au Bénin.

Les contributions individuelles de cet atlas n'auraient jamais été possibles sans l'aide de beaucoup d'institutions et collègues qui ont partagé leurs données et leurs expériences. Nous remercions tout particulièrement la Direction Générale de l'Eau, l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique, l'Institut de Recherche pour le Développement, le Service Météorologique National et beaucoup d'autres.

Nous remercions aussi les assistants étudiants Tim Breuer, Dominique Kohn et Arthur Rachowka, qui ont fait un travail formidable pendant la mise en forme et la réalisation des cartes.

La traduction de l'atlas de l'anglais en français a été assurée au Bénin par Dr. C. Jean Houndagba, Dr. C. François Tchibozo, Dr. Vincent O. A. Orékan, Jean Bosco Vodounou et Norbert Agoïnon (Laboratoire de Biogéographie et Expertise Environnementale du Département de Géographie à l'Université d'Abomey-Calavi LABEE/UAC), par Dr. Luc Sintondji (FSA/UAC), et par Sylvain Anato (interprète). Les articles traduits ont été retouchés par Laurie-Mai Denoux (Paris), Khadidja Merouari (Cologne), Aymar Bossa et Côte

Linsoussi (doctorants IMPETUS Bénin / Allemagne) en coopération avec les auteurs. Merci beaucoup à tous pour vos engagements exceptionnels!

L'atlas est structuré en plusieurs chapitres qui reflètent divers sujets de la recherche à différentes échelles spatiales.

Les nombreux liens entre les différentes contributions sont indiqués par une référence entre parenthèses (↗) qui renvoie le lecteur au numéro d'une contribution.

Une multitude de publications scientifiques et de thèses de doctorat sont parus ces dernières années. La plupart des thèses de doctorat sont publiées en ligne et accessibles sur les sites web des bibliothèques:

http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/ or <http://kups.ub.uni-koeln.de>. D'autres résultats du projet IMPETUS non résumés dans cet atlas peuvent être retrouvés sur le site web du projet:

<http://www.impetus.uni-koeln.de>.

Les cartes de cet atlas seront rendues disponibles par l'utilisation de la version électronique « Atlas numérique interactif de IMPETUS » qui sera bientôt publiée peu après la parution de la présente version imprimée (<http://www.impetus.uni-koeln.de/iida>). De nouvelles améliorations viendront compléter et élargir la version imprimée; par exemple, l'outil d'agrandissement, création de carte personnalisée et la récupération d'informations à partir des données de la carte.

Au nom de toute l'équipe du projet et de tous ceux ayant apporté leurs contributions, les éditeurs ont la ferme conviction que l'atlas peut être utilisé comme un outil précieux d'échange et de vulgarisation des nouveaux résultats de recherche et pour faciliter la communication, servant ainsi comme une référence pour les sujets appliqués.

Michael Judex
Hans-Peter Thamm

Julia Röhrig
Oliver Schulz
(pour l'édition française)

Table des matières

Introduction

1	IMPETUS – Une approche intégrée pour la gestion efficiente des ressources hydriques limitées en Afrique de l'Ouest et du Nord-Ouest	3
	<i>Andreas Fink, Barbara Reichert et Michael Christoph (Président d'IMPETUS)</i>	
2	Bénin – Les bases socio-économiques	5
	<i>Moritz Heldmann, Valens Mulindabigwi et Tim Breuer</i>	
3	Le bassin versant de l'Ouémé supérieur	7
	<i>Mulindabigwi, Hadjer, Giertz, Heldmann et Judex</i>	

Climat – Conditions actuelles et impacts des changements climatiques

4	Variabilité des pluies en Afrique de l'Ouest	11
	<i>Andreas H. Fink, Simone Kotthaus et Susan Pohle</i>	
5	Activité humaine et changements climatiques futurs	13
	<i>Heiko Paeth, Kai Born et Kai Oliver Heuer</i>	
6	Impact des changements climatiques sur le risque de paludisme en Afrique de l'Ouest	15
	<i>Volker Ermert, Andreas H. Fink, Andrew P. Morse, Anne E. Jones et Heiko Paeth</i>	
7	Le climat du Bénin (1961 – 1990)	17
	<i>Volker Ermert et Tim Brücher</i>	
8	Observations sur les précipitations passées et présentes au Bénin	19
	<i>Malte Diederich et Clemens Simmer</i>	
9	Climatologie des pluies spatiales et temporelles du Bénin	21
	<i>Andreas H. Fink, Susan Pohle et Ralf Hoffmann</i>	
10	Changements dans le climat de mousson du Bénin	23
	<i>Heiko Paeth, Kai Born et Kai Oliver Heuer</i>	
11	Scénarii de la variabilité locale à régionale des précipitations	25
	<i>Andreas Krüger et Kai Born</i>	

Eau : Disponibilité, consommation et santé

12	Les sous-bassins versants jaugés du fleuve Ouémé	29
	<i>Simone Giertz</i>	
13	Le réseau hydrométéorologique de la HVO	31
	<i>Andreas H. Fink et Simone Giertz</i>	
14	Observation de l'hydrochimie et de la piézométrie dans le bassin versant de l'Ouémé	33
	<i>Antoine Kocher et Tobias El-Fahem</i>	
15	Modélisation hydrologique aux échelles locale et régionale dans le bassin versant de l'Ouémé	35
	<i>Simone Giertz et Gero Steup</i>	
16	Evaluation de l'impact des changements climatiques et d'utilisation des terres sur la disponibilité future de l'eau dans le bassin versant de l'Ouémé	37
	<i>Simone Giertz</i>	

17	Acquisition d'une base de données pour l'analyse de processus hydrologiques dans le bassin versant d'Aguima	39
	<i>Simone Giertz et Gero Steup</i>	
18	Analyse des impacts des changements de l'occupation du sol / utilisation des terres sur le cycle de l'eau	41
	<i>Simone Giertz et Gero Steup</i>	
19	Approvisionnement en eau potable au Bénin	43
	<i>Moritz Heldmann et Martin Doevenspeck</i>	
20	Approvisionnement en eau potable dans le bassin de l'Ouémé supérieur	45
	<i>Farouk Mazou, Alexandra Uesbeck et Rainer Baginski</i>	
21	Analyse bactériologique des sources d'eau de boisson dans le bassin de l'Ouémé supérieur	47
	<i>Alexandra Uesbeck, Rainer Baginski et Farouk Mazou</i>	
22	Contamination virale des sources d'eau potable	49
	<i>Jens Verheyen et Herbert Pfister</i>	
23	L'eau et la santé	51
	<i>Thamar Klein</i>	
24	Enquête régionale : Dépendance économique de l'eau	53
	<i>Kerstin Hadjer</i>	
25	La consommation d'eau interprétée en fonction du contexte social	55
	<i>Kerstin Hadjer, Thamar Klein et Marion Schopp</i>	
26	La demande en eau au niveau des ménages au Bénin	57
	<i>Marion Schopp et Eva Adams</i>	

Géologie, géomorphologie et sols

27	Carte pédologique du Bénin	61
	<i>Simone Giertz et Claudia Hiepe</i>	
28	Géomorphologie du Bénin	63
	<i>Simone Giertz et Sarah Schönbrodt</i>	
29	Géologie du bassin versant de l'Ouémé	65
	<i>Tobias El-Fahem et Antoine Kocher</i>	
30	Carte des sols du bassin versant de l'Ouémé supérieur	67
	<i>Claudia Hiepe et Simone Giertz</i>	
31	Modélisation de l'érosion dans le bassin de l'Ouémé supérieur – le statu quo	69
	<i>Claudia Hiepe</i>	
32	Modélisation de l'érosion dans le bassin de l'Ouémé supérieur – Analyse de scénario	71
	<i>Claudia Hiepe</i>	
33	Distribution des sols dans le bassin de Aguima	73
	<i>Claudia Hiepe et Birte Junge</i>	
34	Erosion du sol dans le bassin versant de l'Aguima	75
	<i>Claudia Hiepe et Birte Junge</i>	
35	Processus hydrologiques et répartition des sols dans le bassin versant de l'Ara	77
	<i>Gero Steup</i>	

Occupation et utilisation du sol

36	Utilisation du sol dans le bassin de l'Ouémé	81
	<i>Hans-Peter Thamm et Michael Judex</i>	
37	Imagerie satellitaire de l'Ouémé supérieur	83
	<i>Michael Judex et Hans-Peter Thamm</i>	
38	Utilisation des terres et occupation du sol dans le centre du Bénin	85
	<i>Michael Judex, Hans-Peter Thamm et Gunter Menz</i>	
39	Dynamiques d'utilisation des terres dans le centre du Bénin	87
	<i>Michael Judex, Hans-Peter Thamm et Gunter Menz</i>	
40	Scénarii de modélisation de la dynamique d'utilisation des terres	89
	<i>Michael Judex</i>	
41	Utilisation expérimentale d'un aéronef ultraléger (UAV) pour une télédétection à haute résolution	91
	<i>Hans Peter Thamm</i>	
42	Evolution de la végétation au Bénin (1982 – 2003)	93
	<i>Julia Röhrig</i>	
43	Marginalité agricole naturelle au Bénin	95
	<i>Julia Röhrig, Claudia Hiepe et Malte Diederich</i>	
44	Les feux de brousse au Bénin	97
	<i>Hans-Peter Thamm</i>	
45	Inventaire des bas-fonds dans le bassin de l'Ouémé supérieur	99
	<i>Simone Giertz, Gero Steup, Luc Sintondji, Felix Gbaguidi et Sarah Schönbrodt</i>	

Société et économie – Aperçu d'un phénomène complexe

46	Démographie : Disparités spatiales et taux de croissance élevés	103
	<i>Moritz Heldmann et Martin Doevenspeck</i>	
47	Projections démographiques pour le Bénin jusqu'en 2025	105
	<i>Moritz Heldmann et Martin Doevenspeck</i>	
48	Religion au Bénin	107
	<i>Kerstin Hadjer et Moritz Heldmann</i>	
49	Groupes ethniques au Bénin	109
	<i>Moritz Heldmann</i>	
50	Analphabétisme et fréquentation scolaire	111
	<i>Moritz Heldmann et Martin Doevenspeck</i>	
51	Dynamique de peuplement au Bénin central	113
	<i>Martin Doevenspeck et Uwe Singer</i>	
52	Enquête régionale sur la sécurité de la subsistance	115
	<i>Kerstin Hadjer, Thamar Klein et Uwe Singer</i>	
53	Traits fondamentaux du comportement social et économique	117
	<i>Kerstin Hadjer</i>	
54	Influences des pratiques occultes sur le comportement économique	119
	<i>Kerstin Hadjer</i>	

55	Droits de propriété foncière dans la Haute Vallée de l'Ouémé (HVO) _____	121
	<i>Moritz Heldman, Kerstin Hadjer et Valens Mulindabigwi</i>	
56	Droits d'utilisation des terres : Migrants et éleveurs étrangers _____	123
	<i>Valens Mulindabigwi, Moritz Heldmann et Kerstin Hadjer</i>	
57	Modes de conduite de l'élevage et utilisation des ressources au Bénin _____	125
	<i>Ina Gruber</i>	
58	Niveaux et formation du prix de la terre agricole au Bénin _____	127
	<i>Armin Kuhn, Mousseratou Saliou et Ina Gruber</i>	

Auteurs

Eva Adams
Institut de l'Economie Agro-alimentaire
et des Ressources Naturelles
Université de Bonn
Nußallee 21
53115 Bonn, Allemagne

Dr. rer. nat. Dr. med. Rainer M. Baginski
Institut de Microbiologie médicale,
Immunologie and Hygiène
Université de Cologne
Goldenfelsstr. 21
50935 Cologne, Allemagne
Tél.: ++49(0)221-47832104
e-mail: rainer.baginski@uni-koeln.de

Dr. Kai Born
Institut de Géophysique
et de Météorologie
Université de Cologne
Kerpener Str. 13
50923 Cologne, Allemagne
Tél.: ++49-(0)-221-4703686
e-mail: kai.born@uni-koeln.de

Tim Breuer
Centre de la Télé-détection
de la Surface terrestre (ZFL)
Université de Bonn
Walter-Flex-Str. 3
53113 Bonn, Allemagne
e-mail: tbreuer@uni-bonn.de

Dr. Tim Brücher
Centre for Ice and Climate
Institut Niels Bohr
Université de Copenhague
Juliane Maries Vej 30
2100 Copenhague, Danemark
Tél.: ++45 353-20042
e-mail: bruecher@gfy.ku.dk

Dr. Michael Christoph
Institut de Géophysique
et de Météorologie
Université de Cologne
Kerpener Str. 13
50923 Cologne, Allemagne
Tél.: ++49-(0)-221-4703690
e-mail: christoph@meteo.uni-koeln.de

Malte Diederich
Institut de Météorologie
Université de Bonn
Auf dem Hügel 20
53121 Bonn, Allemagne
Tél.: ++49-(0)228- 735104
e-mail: uszqm0@uni-bonn.de

Dr. Martin Doevenspeck
Institut de Géographie Sociale et de la
Population
Université de Bayreuth
Universitätsstraße 30
95447 Bayreuth, Allemagne
Tél.: ++49-(0)921-552281
e-mail: doevenspeck@uni-bayreuth.de

Volker Ermert
Institut de Géophysique
et de Météorologie
Université de Cologne
Kerpener Str. 13
50923 Cologne, Allemagne
Tél.: ++49-(0)221-4703686
e-mail: vermert@meteo.uni-koeln.de

Dr. Tobias El-Fahem
Institut Fédéral Allemand des Sciences de la
Terre et des Matières Premières
P.O. Box 692, Sana'a
République du Yémen
Tél.: Office GSMRB +967 (0)1 471465
Tél.: Office NWRRA: +967 (0)1 314083
e-mail: bgr-sanaa.ptop@gmx.de

Dr. HD habil Andreas Fink
Institut de Géophysique
et de Météorologie
Université de Cologne
Kerpener Str. 13
50923 Cologne, Allemagne
Tél.: ++49-(0)221-4703819
e-mail: andreas.fink@uni-koeln.de

Félix Gbaguidi
MAEP, Direction du Génie Rural
Cellule Bas-Fonds
Porto-Novo, Bénin
Tél.: ++229-(0)20-211405
e-mail: gbag327@yahoo.fr

Dr. Simone Giertz
Institut de Géographie
Université de Bonn
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn, Allemagne
e-mail: sgiertz@uni-bonn.de

Dr. Ina Gruber
Institut de l'Economie Agro-alimentaire
et des Ressources Naturelles
Université de Bonn
Nußallee 21
53115 Bonn, Allemagne
e-mail: ina.gruber@ilr.uni-bonn.de

Dr. Kerstin Hadjer
Institut d'Anthropologie Sociale et Culturelle
Université de Cologne
Albertus-Magnus-Platz
50923 Cologne, Allemagne
Tél.: ++49-(0)221- 4705479
e-mail: khadjer@uni-koeln.de

Moritz Heldmann
Institut d'Anthropologie Sociale et Culturelle
Université de Cologne
Godesberger Str. 10
50968 Cologne, Allemagne
Tél.: ++49-(0)221-4705479
e-mail: moritz.heldmann@uni-koeln.de

Kai Oliver Heuer
Institut de Géographie,
Université de Wurtzbourg
Am Hubland
97074 Wurtzbourg, Allemagne
Tél.: ++49-(0)931-8885435
e-mail: Kai-Oliver.Heuer@uni-
wuerzburg.de

Dr. Claudia Hiepe
Unité des Changements Climatiques et
de la Bioénergie (NRCB)
L'Organisation des Nations Unies pour
l'alimentation et l'agriculture
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Rome, Italie
Tél.: +39-(0)6-5705347
e-mail: Claudia.Hiepe@gmx.net

Ralf Hoffmann
Institut de Géophysique
et de Météorologie
Université de Cologne
Kerpener Str. 13
50923 Cologne, Allemagne
Tél.: ++49-(0)221-4707302
e-mail: rhoff@meteo.uni-koeln.de

Anne E. Jones
Faculté de Géographie,
Roxby Building
Université de Liverpool
Liverpool L69 7ZT, Royaume-Uni
e-mail: Anne.Jones@liverpool.ac.uk

Dr. Michael Judex
Centre de la Télé-détection
de la Surface terrestre (ZFL)
Université de Bonn
Walter-Flex-Str. 3
53113 Bonn, Allemagne
e-mail: m.judex@uni-bonn.de

Dr. Birte Junge
IITA,
PMB 5320, Ibadan, Nigeria
Tél.: ++234-(0)2-2412626
e-mail: b.junge@cgiar.org

Dr. Thamar Klein
Institut Max Planck de l'Anthropologie
Sociale
Advokatenweg 36
06114 Halle/Saale, Allemagne
Tél.: ++49-(0)345-2927585
e-mail: klein@eth.mpg.de

Antoine Kocher
Institut Steinmann de Géologie,
Minéralogie et Paléontologie
Université de Bonn
Nußallee 8
53115 Bonn, Allemagne
Tél.: ++49-(0)228-739774
e-mail: antoine.kocher@uni-bonn.de

Dominique Kohn
Centre de la Télédétection
de la Surface terrestre (ZFL)
Université de Bonn
Walter-Flex-Str. 3
53113 Bonn, Allemagne
Tél.: ++49-(0)-228-731831
e-mail: demm@uni-bonn.de

Simone Kotthaus
Institut de Géophysique
et de Météorologie
Université de Cologne
Kerpener Str. 13
50923 Cologne, Allemagne
Tél.: ++49-(0)221-4703692
e-mail: skott@meteo.uni-koeln.de

Dr. Andras Krüger
Institut de Géophysique
et de Météorologie
Université de Cologne
Kerpener Str. 13
50923 Cologne, Allemagne
Tél.: ++49-(0)221-4703686
e-mail: akrueger@meteo.uni-koeln.de

Dr. Arnim Kuhn
Institut de l'Economie Agro-alimentaire
et des Ressources Naturelles
Université de Bonn
Nußallee 21
53115 Bonn, Allemagne
Tél.: ++49-(0)228-732912
e-mail: arnim.kuhn@ilr.uni-bonn.de

Farouk Mazou
Laboratoire d'analyses des eaux
IMPETUS
02BP19 Parakou, Bénin
Tél.: ++229-(0)23-613024
e-mail: mazoufarouk@yahoo.fr

Prof. Dr. Gunter Menz
Institut de Géographie
Université de Bonn
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn, Allemagne
Tél.: ++49-(0)228-739700
e-mail: g.menz@geographie.uni-bonn.de

Dr. Andrew P. Morse
Faculté de Géographie,
Roxby Building
Université de Liverpool
Liverpool L69 7ZT, Royaume-Uni
Tél.: ++44-(0)151-7942879
e-mail: A.P.Morse@liv.ac.uk

Dr. Valens Mulindabigwi
Institut de l'Anthropologie Sociale et Culturelle,
Université de Cologne
Albertus-Magnus-Platz
50968 Cologne, Allemagne
Tél.: ++49-(0)221-4705479
e-mail: vmulinda@uni-koeln.de

Prof. Dr. Heiko Paeth
Faculté de Géographie
Université de Wurtzbourg
Am Hubland
97074 Wurtzbourg, Allemagne
Tél.: ++49-(0)931-8884688
e-mail: heiko.paeth@uni-wuerzburg.de

Prof. Dr. Herbert Pfister
Institut de Virologie
Université de Cologne
Fürst-Pückler-Str. 56
50935 Cologne, Allemagne
Tél.: ++49(0)221-4783900
e-mail: herbert.pfister@uk-koeln.de

Susan Pohle
Institut de Géophysique
et de Météorologie
Université de Cologne
Kerpener Str. 13
50923 Cologne, Allemagne
Tél.: ++49-(0)221-4703689
e-mail: spohle@meteo.uni-koeln.de

Prof. Dr. Barbara Reichert
Institut Steinmann de Géologie,
Minéralogie et Paléontologie
Université de Bonn
Nußallee 8
53115 Bonn, Allemagne
Tél.: ++49-(0)228-732490
e-mail: b.reichert@uni-bonn.de

Dr. Julia Röhrig
Institut de Géographie
Université de Bonn
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn, Allemagne
Tél.: ++49-(0)228-739706
e-mail: j.roehrig@geographie.uni-bonn.de

Moussaratou Saliou
Faculte des Sciences Economiques et de
Gestion (FASEG)
Universite d'Abomey-Calavi (UAC)
01 BP 526 Cotonou, Bénin
e-mail: salioumoucha@yahoo.fr

Sarah Schoenbrodt
Institut de Géographie,
Université de Tuebingen
Ruemelinstrasse 1923
72070 Tuebingen, Allemagne
Tél.: ++49-(0)7071-2977504

Dr. Marion Schopp
Institut d'Economie de la Nourriture
et des Ressources
Université de Bonn
Nußallee 21
53115 Bonn, Allemagne
e-mail: marion.schopp@ilr.uni-bonn.de

Prof. Dr. Clemens Simmer
Institut de Météorologie
Université de Bonn
Auf dem Hügel 20
53121 Bonn, Allemagne
Tél.: ++49-(0)228-731601
e-mail: csimmer@uni-bonn.de

Dr. Uwe Singer
InWEnt - Internationale Weiterbildung
und Entwicklung GmbH
(Formation continue internationale et
développement)
Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn, Allemagne
Tél.: ++49-(0)228-44601538
e-mail: uwe.singer@inwent.org

Dr. Luc Sintondji
Faculté des Sciences Agronomiques
Université d'Abomey-Calavi
01 BP 526 Cotonou, Bénin
Tél.: ++229-90047803
e-mail: o_sintondji@yahoo.fr

Gero Steup
Institut de Géographie
Université de Bonn
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn, Allemagne
Tél.: ++49-(0)228-731635
e-mail: g.steup@giub.uni-bonn.de

Dr. Hans Peter Thamm
Institut des Sciences Géographiques
Université Libre de Berlin
Malteserstrasse 74-100
12249 Berlin
Tél.: ++49-(0)30-83870342
e-mail: thamm@geog.fu-berlin.de

Alexandra Uesbeck
Institut de Microbiologie médicale,
Immunologie et Hygiène
Université de Cologne
Goldenfelsstraße 19-21
50935 Cologne
Tél.: ++49(0)221-47832104
e-mail: a.uesbeck@gmx.de

Dr. Jens Verheyen
Institut de Virologie
Université de Cologne
Fürst-Pückler-Str. 56
50935 Cologne, Allemagne
Tél.: ++49-(0)221-4783927
e-mail: Jens.Verheyen@medizin.uni-koeln.de



Pêcheurs sur le *Lac Nokué*



Introduction

IMPETUS – Une approche intégrée pour la gestion efficiente des ressources hydriques limitées en Afrique de l'Ouest et du Nord-Ouest

Andreas Fink, Barbara Reichert et Michael Christoph (Président d'IMPETUS)

La disponibilité en eau potable est une condition fondamentale pour la vie humaine et un des plus grands défis pour les prochaines décennies, surtout en Afrique. Pour résoudre les problèmes actuels et éventuellement futurs liés à l'approvisionnement en eau potable, il est nécessaire d'avoir recours à une approche interdisciplinaire et holistique assez claire impliquant les sciences naturelles, socio-économiques, et de la santé.

Pour l'Afrique de l'Ouest et du Nord-Ouest, l'initiative de IMPETUS – un projet commun des Universités de Cologne et de Bonn en Allemagne, adopte une telle approche intégrée pour deux bassins représentatifs. Les fleuves Oued Drâa au sud-est du Maroc et l'Ouémé au Bénin ont été choisis pour leur superficie raisonnable (< 100 000 km²), la disponibilité de données existantes, la stabilité politique, leur importance et enfin leur représentativité. Le bassin du Drâa dans le sud-est du Maroc est typique d'un transect de montagnes subtropicales humides/semi-humides à leurs contreforts arides; le bassin de l'Ouémé au Bénin est typique des variations de climat sub-humide des tropiques externes à l'intérieur (saison des pluies bi-/unimodale). Le fleuve Ouémé draine environ la moitié du Bénin, tandis que l'Oued Drâa est le plus important fleuve qui coule de la montagne de l'Atlas vers le Sahara.

La gestion durable de l'eau requiert des données et des projections fiables pour une planification régionale et pour les décideurs politiques. Un diagnostic complet du cycle de l'eau a été réalisé au cours de la première phase du projet (2000–2003). Au cours de la deuxième phase (2003–2006), des modèles qualitatifs et quantitatifs ont été adaptés ou élaborés pour les deux régions. Les projections de développements futurs découlent des calculs de scénarii, de la compréhension du processus, et de l'expérience des experts. Au cours de la dernière phase du projet (2006–2009), les systèmes spatiaux de support à la prise de décision (SSPD) et les systèmes d'information (SI), ainsi que les outils de surveillance (OS), ont été élaborés à partir d'un ensemble de « nœuds complexes de recherche multi-disciplinaires ». Une variété de nœuds complexes de recherche a été définie pour traiter les problèmes complexes restés sans solutions adéquates. Les nœuds complexes sont des problèmes qui exigent une analyse multidisciplinaire pour tirer des conclusions au regard des développements futurs. Les nœuds complexes sont regroupés en quatre sous domaines thématiques: sécurité alimentaire, hydrologie, utilisation des terres, société et santé.

Les SSPD, SI et OS élaborés dans ces nœuds complexes de recherche sont disponibles en ligne sur <http://www.impetus.uni-koeln.de/fr/isdss.html>.

Cependant, un grand nombre de résultats plus pertinents sur les régions d'étude au Bénin et au Maroc ont été obtenus dans le cadre du projet IMPETUS.

La publication de la version imprimée de cet atlas et de sa modification numérique vise à rendre ces résultats largement accessibles aux scientifiques, aux administrations régionales, et au public (<http://www.impetus.uni-koeln.de/fr/publications/atlas-digital-imprime.html>). Le présent atlas donne un aperçu de la diversité d'analyse des facteurs d'influence et de la résolution des problèmes relatifs à la question de l'eau. Il présente quelques-uns des résultats de recherche les plus importants obtenus aux échelles spatiales et temporelles. Les cartes thématiques et les explications supplémentaires permettent à une large audience d'accéder à l'information relative à l'eau.

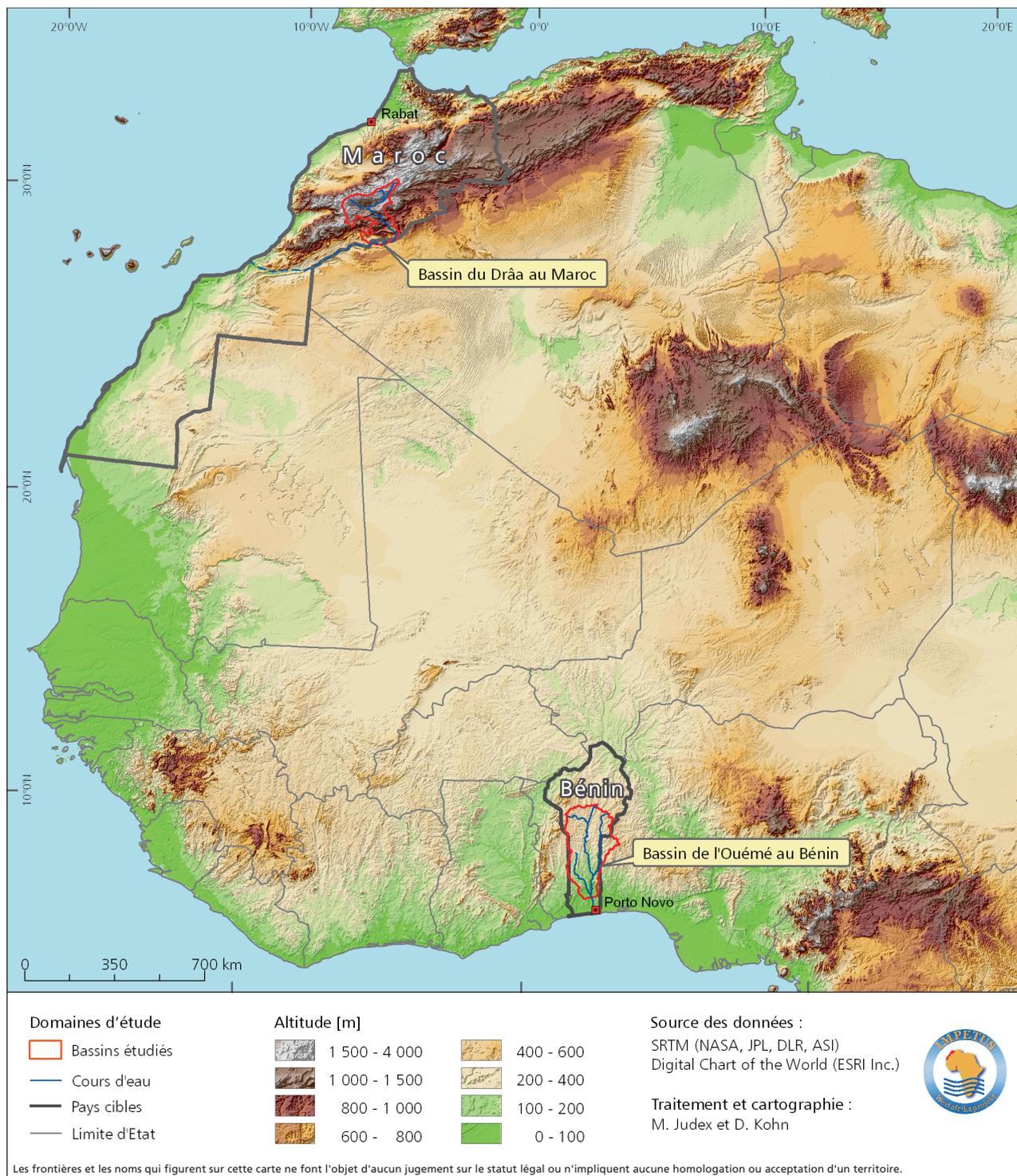


Fig. 1: Les bassins versants étudiés en Afrique de l'Ouest et du Nord-Ouest

2 Bénin – Les bases socio-économiques

Moritz Heldmann, Valens Mulindabigwi et Tim Breuer

Le Bénin est situé en Afrique de l'Ouest sur la côte du Golfe de Guinée (entre 6°25' et 12°30' de latitude nord d'une part, et entre 0°45' et 4° longitude est d'autre part) et est limité à l'ouest par le Togo, à l'est par le Nigéria, au nord par le Niger et le Burkina Faso. Il s'étend sur 670 kilomètres de la côte Atlantique du sud, vers le fleuve Niger au nord et a une côte qui s'étend sur 122 km de l'est à l'ouest.

Histoire et Population

Nom officiel	République du Bénin
depuis 1990	République, système parlementaire présidentiel
1975 – 1990	Période socialiste
1960	Indépendance
Population	2002 : 6 769 914 (Recensement); 2008 : 8 009 445 (estimation d'IMPETUS)
Groupes ethniques	59 (2002) recensement
Langues	Français (officiel) plus de 50 langues africaines, langues principales véhiculées : Fon, Yoruba, Dendi, Bariba
Religions	Christianisme, Islam, Vodoun et autres religions traditionnelles

Après l'indépendance arrachée de la domination coloniale française, le pays était appelé « République du Dahomey » en référence au royaume pré-colonial « Royaume de Danxomè » qui avait prospéré au Sud-Bénin jusqu'à la conquête du pays par les Français en 1892. En 1975, l'ex-Président Kérékou changea ce nom en un autre beaucoup plus impartial : le « Bénin », qui a un royaume historique localisé chez le voisin Nigéria.

Structure Régionale

Depuis les réformes de décentralisation en 2002, le Bénin a été subdivisé en 12 régions administratives appelées départements (au lieu des six existantes auparavant) qui représentent le gouvernement national à l'échelle régionale (Fig. 1). Chaque département est dirigé par un préfet nommé par le gouvernement central. Au niveau inférieure, les ex-Sous-Préfectures transformées en 77 régions municipales financièrement autonomes appelées communes, représentent la population locale à travers un conseil municipal régulièrement élu et dirigé par des maires.

Capitale	Porto-Novo (capitale officielle), Cotonou est la capitale économique et le siège du gouvernement
12 départements	Structures locales de l'Etat Central/National
77 communes	Unités territoriales décentralisées, régions municipales ; subdivisé en 546 Arrondissements

Economie et Développement

PIB	5,5 Milliards de dollars US (2007 ¹) (Agriculture: 37,1 %, Industries: 14,5 %, Services: 48,4 %) ¹
Croissance réelle du PIB	5,0 % ¹
PIB par tête d'habitant	1 141 dollars US (mesuré par acquisition de pouvoir de parité, PPP, revenu) ²
Indice de Développement Humain	RANG 163 sur 177, (valeur 0,437, données de 2005) ²

¹EIU, 2008

²UNDP, 2007

L'économie du Bénin est basée sur l'agriculture, le commerce et le transit. La plus importante culture d'exportation et culture de rente est le coton, comptant pour plus de 16,7 % du PIB en 2006 (EIU, 2008), suivi des autres cultures tels que le cajou, le karité, le palmier à huile et l'ananas. La Chine est de loin le plus grand partenaire commercial. Le Bénin importe principalement des produits alimentaires, des biens d'équipements, et des produits pétroliers. En plus des indicateurs économiques officiels, le secteur informel et le transit vers les pays voisins joue un rôle capital dans l'économie du pays. L'indice du Développement Humain du PNUD, basé notamment sur l'espérance de vie, le PIB et l'éducation, classe le Bénin à la 163^{ème} place sur 177 (UNDP, 2007). Le Bénin est donc classé comme l'un des pays sous-développés (PVD).

Références

INSAE (2003): Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation. Cotonou.

EIU – The Economist Intelligence Unit (2008): Country Report Benin. London.

UNDP (2007): United Nations Development Programme. Human Development Report 2007/2008. New York.

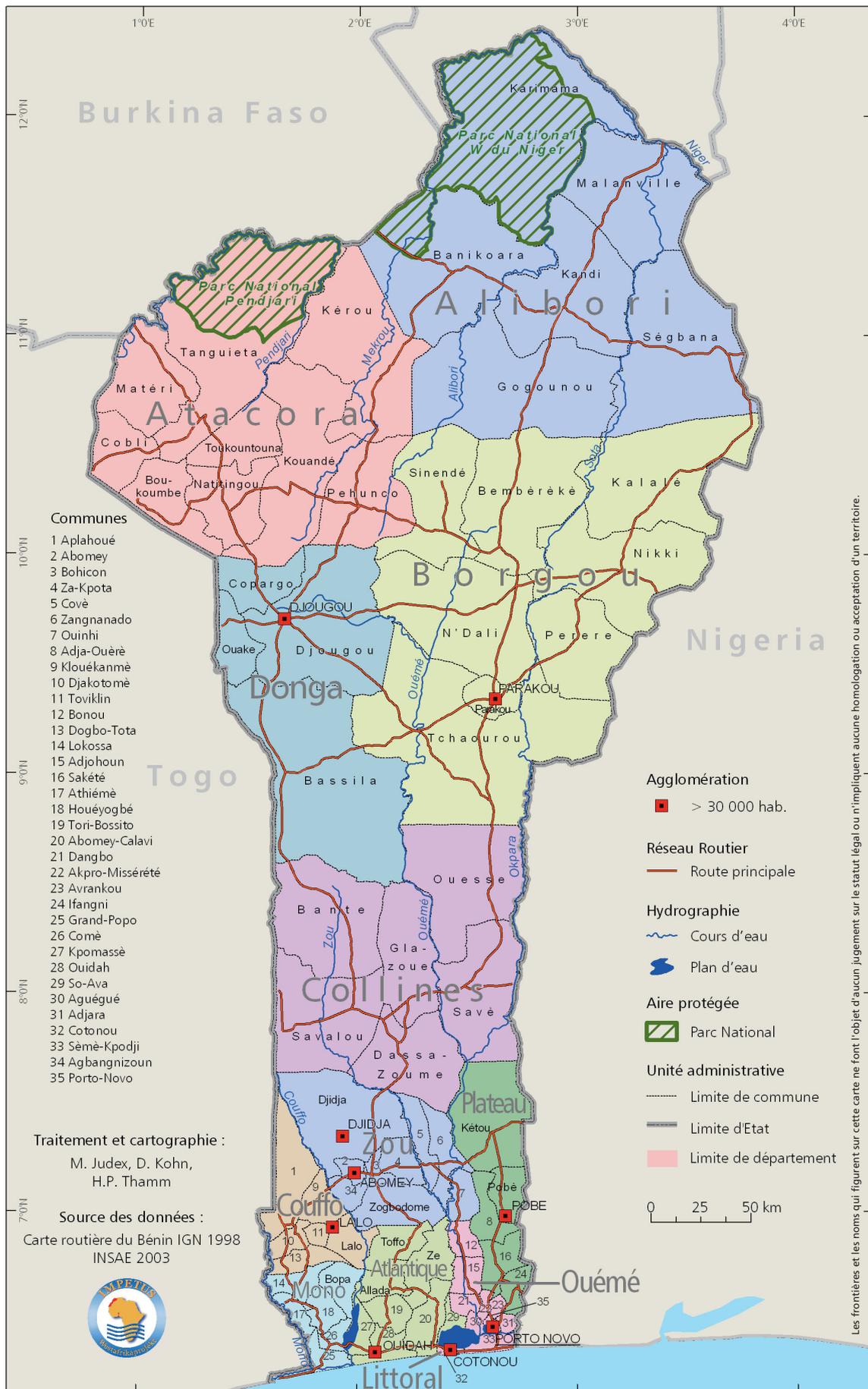


Fig. 1: Carte administrative du Bénin

3 Le bassin versant de l'Ouémé supérieur

Valens Mulindabigwi, Simone Giertz, Kerstin Hadjer, Moritz Heldmann et Michael Judex

Le bassin versant de l'Ouémé supérieur (HVO: Haute Vallée de l'Ouémé) est situé au centre du Bénin (9° - 10°N et 1°30' - 2°45'E) dans les départements de la Donga et du Borgou et couvre une superficie de 14 366 km² (Fig.1). Il est habité par environ 400 000 personnes et dispose au moins de 35 groupes ethniques. Les principales langues sont le Bariba, le Yom, le Lokpa et le Yorouba.

Éléments de base

Le bassin versant de l'Ouémé supérieur est situé au centre du Bénin.

- Superficie totale 14 366 km²
- Aire protégée (forêt classée) 2 420 km²
- Longueur de route (pavée) ~ 320 km

Milieu naturel

Climat: unimodal avec une saison des pluies de mai à octobre.

- Précipitations (Ø station de Parakou) : 1 150 mm
- Température (Ø station de Parakou) : 26,8 °C

Végétation: La végétation naturelle est une mosaïque de savanes boisées et de petits îlots de forêts. La densité des arbres varie entre zéro et près de 70 %. Certaines unités de végétation azonale se trouvent à des emplacements spéciaux (exemples des bas fonds, des forêts galeries ou des inselbergs).

Sols: Le principal type de sol est un sol ferrugineux tropical.

Géomorphologie: Le paysage est une pénéplaine avec des inselbergs isolés.

- Point le plus élevé (Inselberg Mont Sobbaro) 658 m d'altitude
- Point le plus bas (Ouémé) 230 m d'altitude

Géologie: Les principaux types de roches cristallines précambriennes (Dahomeyides) sont les migmatites.

Hydrogéologie: La région est caractérisée par un aquifère de fracture rocheuse par le bas et un aquifère régolite par le haut dans sa zone d'altération.

Hydrologie: causée par la saison pluvieuse unimodale, la dynamique de l'écoulement est caractérisée par un débit élevé pendant la saison des pluies. De décembre à mai presque tous les cours d'eau s'assèchent.

- Densité de drainage : 0,78 km / km²
- Débit moyen Ouémé Bétérou saison des pluies (Septembre) durant la période de mesure 1952 – 2002 : 249 m³ / s

- Débit de pointe maximal durant la période de mesure 1952 – 2002 : 787 m³ / s (1963)

Structure administrative

Les communes de Parakou, Tchaourou, et N'Dali dans le Borgou et les communes de Bassila, Copargo, et Djougou dans la Donga couvrent la majeure partie de ce bassin. Bien que les communes aient été des unités territoriales autonomes responsables du développement local depuis les réformes de la décentralisation en 2002, la planification et la réalisation de projets de développement sont difficiles en raison de l'insuffisance des budgets, et en partie de la compétence technique.

Migration et démographie

En raison d'une faible densité démographique (28 habitants/km²) et des conditions climatiques favorables pour l'agriculture, la population de cette région est en pleine croissance (4 % par an) par rapport à la croissance moyenne nationale (3,25 %). Ce taux de croissance élevé est la conséquence de la colonisation agricole par les migrants

Economie et Développement

L'économie du bassin de l'Ouémé supérieur est principalement basée sur l'agriculture et le commerce (Tab. 1). Les principaux produits d'exportation sont le coton, les noix de cajou, et le karité (*Vitellaria paradoxa*). La commune de Tchaourou est le plus grand producteur de noix de cajou au Bénin, avec une production annuelle d'environ 4 000 – 5 000 t/an. Bien que le maïs, le manioc, l'arachide et le riz ne soient généralement pas exportés, ils sont des produits importants pour le revenu rural.

Tableau 1: Activités économiques dans les communes du bassin de l'Ouémé supérieur et de Ouaké

Activités économiques	Hommes	Femmes	Total
Agriculture et foresterie	396	163	559
Artisanat et Industrie	65	126	191
Services	96	292	388
Total	557	581	1 138

Source: Enquête statistiquement représentative, 2004 (n = 790)

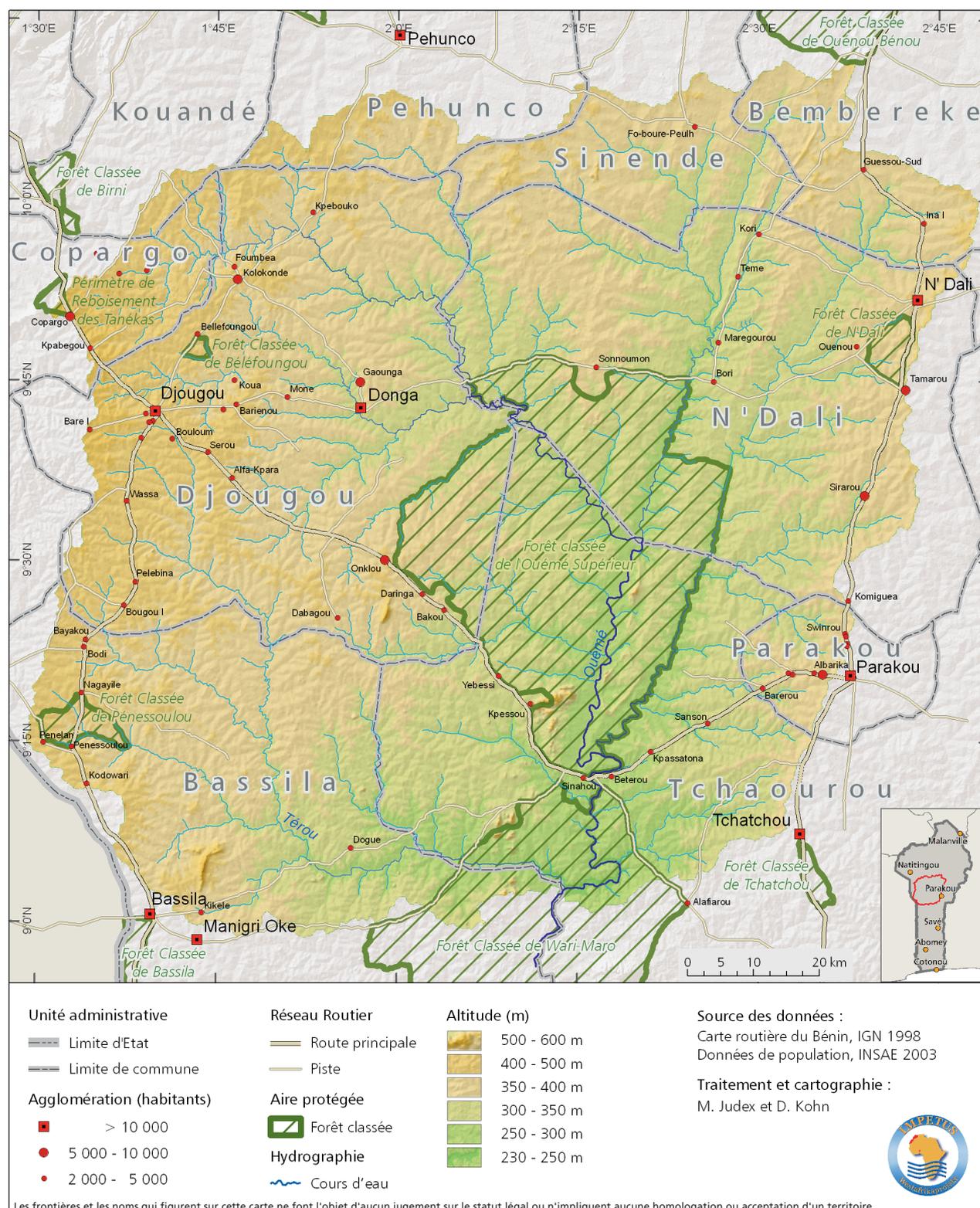


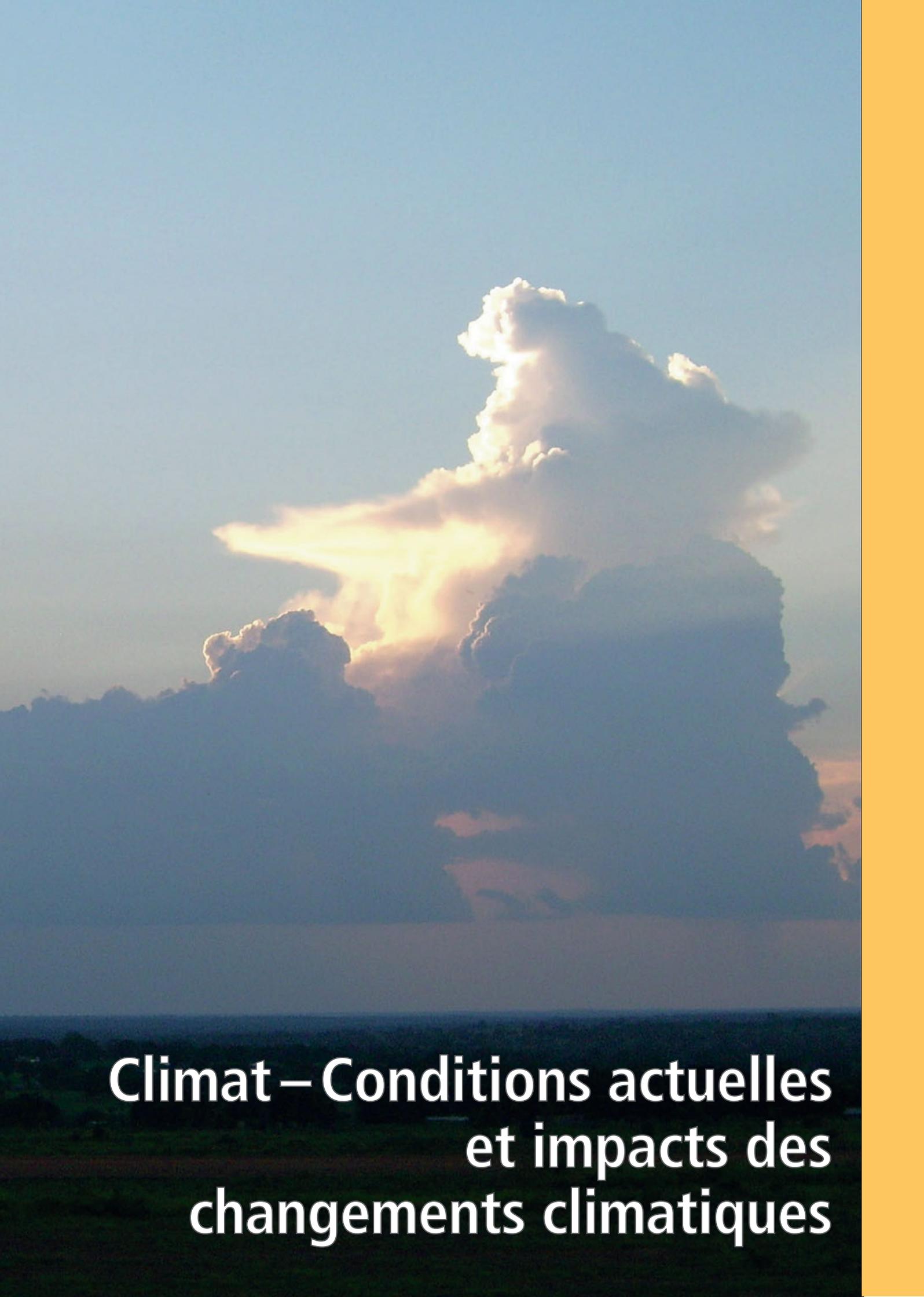
Fig. 1: Carte du bassin de l'Ouémé supérieur au Bénin

Plusieurs unités de transformation sont situées dans la région, y compris une usine de textile (COTEB) et deux usines de coton à Parakou, une usine de transformation de noix de cajou à Tchaourou, une brasserie (SOBEBRA) et une société d'exportation des noix de karité à Parakou. Le bassin de l'Ouémé supérieur a un fort potentiel de développement dû

à sa position géographique, à la présence des villes de Parakou et Djougou, et spécialement à cause de ses infrastructures routières connectant les centres commerciaux aux pays voisins. En outre, les projets en cours pour construire un aéroport international et un port sec à Parakou sont avantageux pour la croissance économique.



Nuages de tempêtes près de Parakou



Climat – Conditions actuelles et impacts des changements climatiques

Variabilité des pluies en Afrique de l'Ouest

Andreas H. Fink, Simone Kotthaus et Susan Pohle

Le climat en Afrique de l'Ouest sub-saharienne a subi une grande variabilité ces dernières décennies, excédant souvent celles de n'importe où sur terre. Des tendances distinctes et la variabilité décadaire peuvent être identifiées dans trois régions climatiques : le Sahel occidental, le Sahel central et la côte Guinéenne. La sécheresse globale est une caractéristique frappante de la région d'étude depuis les années 70, quoique les pluies sahéliennes montrent une tendance récente à la hausse.

Introduction

Les stations pluviométriques de l'Afrique de l'Ouest (Fig. 1) à l'intérieur des régions du Sahel occidental (7 stations), du Sahel central (14 stations) et de la côte Guinéenne (16 stations) ont montré la même variabilité des pluies aux échelles inter-annuelle et décadaire (Nicholson et Palao, 1993; Moron, 1994). Afin d'analyser la variabilité des pluies de ces régions, les anomalies standardisées de juin à septembre des pluies de la période 1921–2007 ont été calculées et représentées sur la Fig. 2. En raison de la collaboration avec les organisations panafricaines comme AGRHYMET et ACMAD, les séries actuelles de données pluviométriques sont stockées dans une base de données presque constante (Fig. 2, courbes noires).

Méthode

L'indice $x_j(i)$ standardisé des anomalies de pluies de juin à septembre pour une station j et une année donnée i est calculé en divisant les données d'anomalie de pluies observées de juin à septembre relatives à la moyenne de la période de base 1950–1990 par la déviation standard X_j de la période de base,

$$\text{Indice}_j(i) = \frac{X_j(i) - \bar{X}_j(1950 - 1990)}{\sigma_j(1950 - 1990)}$$

$$\sigma_j(1950 - 1990) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1950}^{1990} (X_j(k) - \bar{X}_j)^2}{N_j - 1}}$$

où N_j est le nombre d'années disponibles à une station j . L'indice $x_j(i)$ n'est pas calculé s'il manque la quantité de pluies pour une période d'au moins un mois entre juin et septembre. Les indices régionaux sont des moyennes des données de toutes les stations disponibles n_i , à l'année i .

$$\text{Indice}_{\text{Région Ouest-Africaine}}(i) = \frac{\sum_j \text{indice}_j(i)}{n_i}$$

Résultats

Le climat de l'Afrique occidentale sub-saharienne varie clairement au-delà de la période d'étude. Il est bien connu que ce secteur est affecté par des tendances et une variabilité déca-

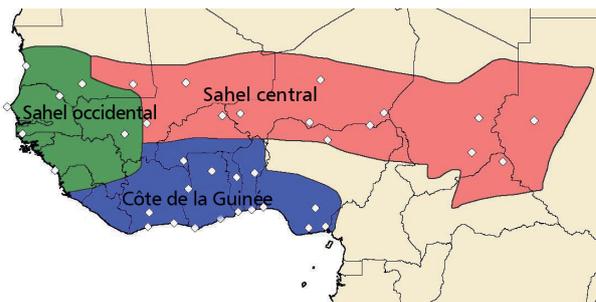


Fig. 1: Les trois régions en Afrique occidentale comprenant les positions des stations pluviométriques.

daire des pluies qui sont, depuis quelques années, beaucoup plus fortes que dans d'autres régions du monde.

Les deux régions sahéliennes (Fig. 2a) ont connu un épisode humide multi-décadaire entre 1930 et 1970 temporairement interrompu par quelques années de sécheresse irrégulière pendant les années 1940, causant un minimum secondaire de la moyenne glissante sur 11 ans. Un épisode sec multi-décadaire a commencé au début des années 1970 avec des périodes remarquables de sécheresse au début des années 1970 et au milieu des années 80. Dans les deux zones sahéliennes, les 17 dernières années (à partir de 1990) sont caractérisées par un retour aux conditions presque normales de pluies, comme indiqué par les courbes des moyennes glissantes sur 11 ans qui tournent autour de la ligne du zéro dans la Fig. 2a. Ce phénomène s'applique particulièrement au Sahel central où les deux années 1999 et 2003 sont particulièrement humides. Quoique la variabilité des pluies d'année en année soit plus élevée dans les régions côtières densément peuplées, il est évident que des séquences d'années sèches ont dominé la première moitié du 20^{ème} siècle, et prévalent depuis les années 1970 (Fig. 2b). La seule décennie humide importante sur la côte de Guinée a été celle des années 1960 : pendant cette période, quatre années sur un total de cinq années ont été marquées par un dépassement de la déviation standard positive.

Il est intéressant de noter que les années appelées années dipolaires (par exemple 1958, 1999 et 2003), caractérisées par des conditions sèches (humides) inhabituelles dans les régions du Sahel, correspondent à des périodes d'anomalies positives (négatives) sur la côte de Guinée. Cependant, les critères de cette bipolarité, qui suggèrent une position lati-

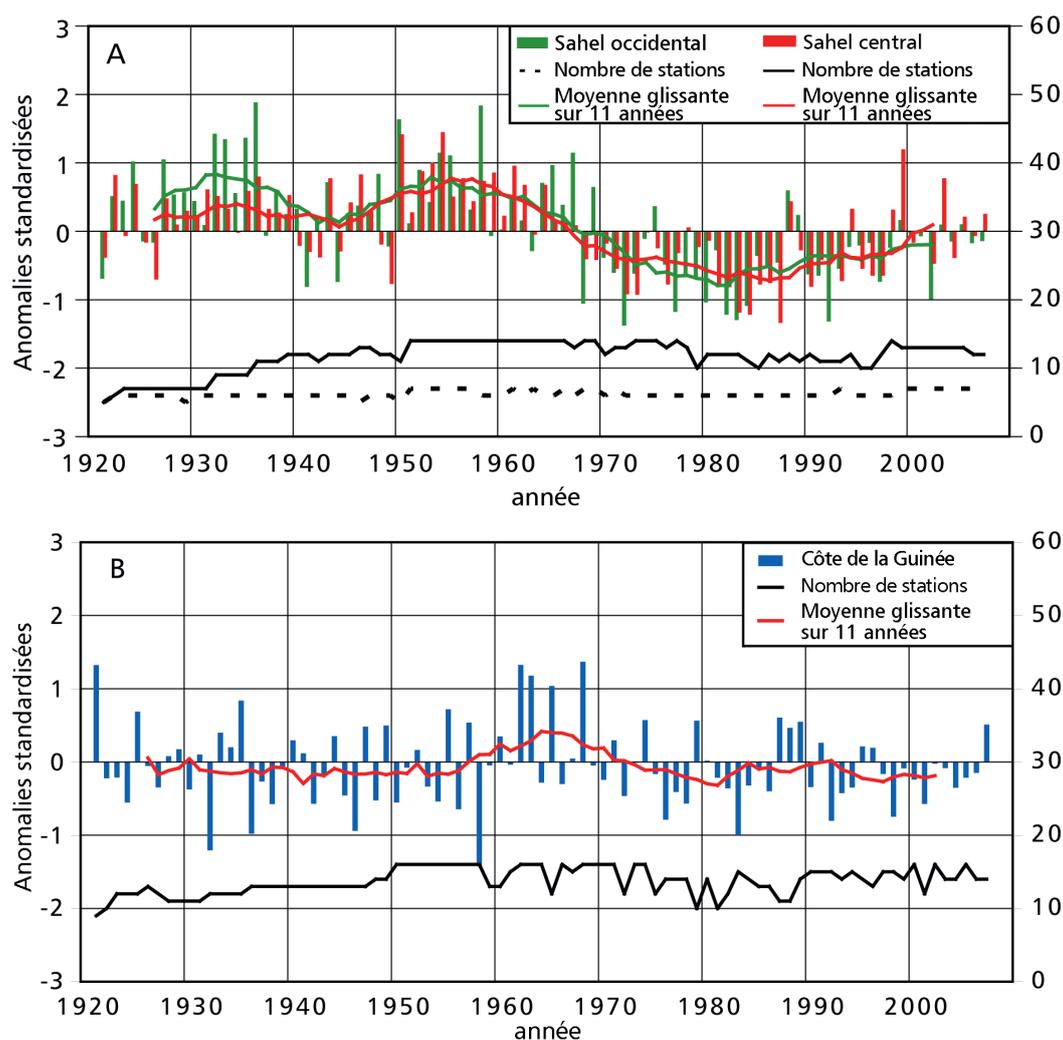


Fig. 2: Anomalies standardisées des pluies pour les années 1921–2006 (a) au Sahel central et occidental et (b) sur la côte de Guinée

tudinale anormale de l'état pluvieux de la zone de convergence intertropicale (ZCIT), sont remplis environ aussi longtemps que les conditions humides ou sèches qui prévalent en Afrique de l'Ouest.

La grande variabilité naturelle et les perspectives d'une accélération des changements climatiques anthropiques mettent en danger la possibilité d'un développement durable dans les pays ouest-africains, dans lesquels le secteur agricole représente jusqu'à 80 % de l'économie. Par conséquent, la communauté des chercheurs dans le domaine climatique essaye d'obtenir des prévisions fiables concernant les pluies de la mousson ouest-africaine s'étendant de semaines en décades. Cette prévision requiert l'emploi de méthodes interdisciplinaires et de données entrantes provenant de diverses disciplines scientifiques, une approche qui est poursuivie au sein d'IMPETUS.

Remerciements

Les données jusqu'en 1998 ont été gracieusement mises à disposition par Dr. Landsea de NOAA/AOML/HRD à Miami et ont été mises à jour par des auteurs utilisant des messages de CLIMAT et SYNOP. Les données utilisées pour combler les vides entre les années 1999 et 2007 ont été fournies par A. Kamga et Athanase Bizimama de ACMAD (Niamey, Niger) et Abou Amani d'AGRHYMET (Niamey, Niger).

Références et lectures complémentaires

- Le Barbé, L., Lebel, T. et Tapsoba, D. (2002): Rainfall variability in West Africa during the years 1950–90. *J. Climate*, 15, 187–202.
- Nicholson, S. E. et Palao, I. M. (1993): A re-evaluation of rainfall variability in the Sahel. Part I. Characteristics of rainfall fluctuations. *Int. J. Climatol.*, 13, 371–389.
- Moron, V. (1994): Guinean and Sahelian rainfall anomaly indices at annual and monthly time scales (1933–1990). *Int. J. Climatol.*, 14, 325–341.



Activité humaine et changements climatiques futurs

Heiko Paeth, Kai Born et Kai Oliver Heuer

Outre des concentrations croissantes de gaz à effet de serre, les changements dans l'occupation du sol imposés par les activités humaines telles que la déforestation, l'agriculture et l'élevage jouent un rôle crucial dans l'évolution du climat africain. Un nouvel ensemble de prévisions du changement du climat réalisé à l'aide d'un modèle climatique régional à haute résolution, permet d'estimer les perspectives régionales de changement du climat africain dans des conditions de forçage réalistes.

Simulations de modèle

Le modèle climatique régional REMO a été mis en oeuvre en Afrique tropicale et du nord pour expliquer les processus atmosphériques à l'échelle synoptique qui ne sont pas résolus par les modèles climatiques globaux. L'objectif est de déterminer des caractéristiques régionales de la variabilité interannuelle et des changements totaux du climat correspondant aux exigences des gouvernements aux niveaux national et régional. A ce jour, le modèle REMO est considéré comme fiable pour ce qui concerne la reproduction des caractéristiques observées du climat africain (Paeth et al., 2005).

Evaluer le changement climatique futur suppose que des évaluations réalistes des activités humaines futures soient réalisées. Pour les simulations avec REMO, les concentrations croissantes du gaz à effet de serre sont issues des scénarios A1B et B1 du GIEC (Nakicenovic et Swart, 2000) afin d'évaluer l'effet de la politique d'atténuation des impacts de ces paramètres sur le climat africain futur. De plus, le processus de dégradation de la terre a été pris en compte en insistant sur les changements anthropiques dans l'albédo, la forêt et la couverture végétale. Ces changements sont calculés à partir des prévisions de croissance démographique future en Afrique (UN, 2006) et des taux de déforestation

engendrés par cette croissance (FAO, 2006). Les simulations d'ensemble sur le long terme avec REMO reproduisent les changements transitoires du climat entre 1960 et 2050 et permettent de quantifier les signaux de changements climatiques en fonction de l'historique de la variabilité interne.

Résultats

Les prévisions de changements de la couverture végétale au Bénin sont représentées par la Fig. 1. L'hypothèse est que les changements d'occupation du sol s'opèrent principalement dans les savanes boisées denses et autres savanes, en transformant ces régions en champs et en étendues d'herbes; l'urbanisation est également prise en compte. De plus, le processus de désertification est modélisé dans la zone sud du Sahel.

Les changements dans les précipitations annuelles et dans la température à la surface du sol, résultant de l'influence combinée d'effets de serre accrus et de la dégradation de la terre sont représentés à la Fig. 2. Les panneaux indiquent les valeurs de la moyenne d'ensemble qui constituent une mesure du signal du changement climatique exprimée sous forme de tendances linéaires pour la période 2001 – 2050.

Les deux scénarii suggèrent un réchauffement important sur toutes les masses de terre, avec la plus haute amplitude en

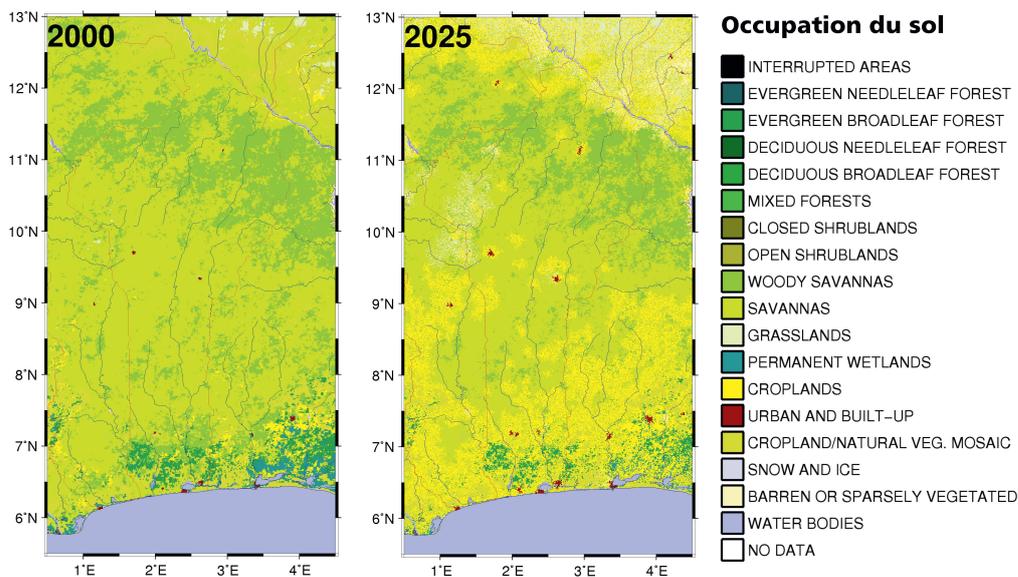


Fig. 1: Occupation du sol observée en 2000 et changements d'occupation du sol simulés jusqu'en 2025 au Bénin et dans les pays voisins, dérivés des images USGS/GLCC dont le pixel couvre 1x1 km² (Hagemann 2002)

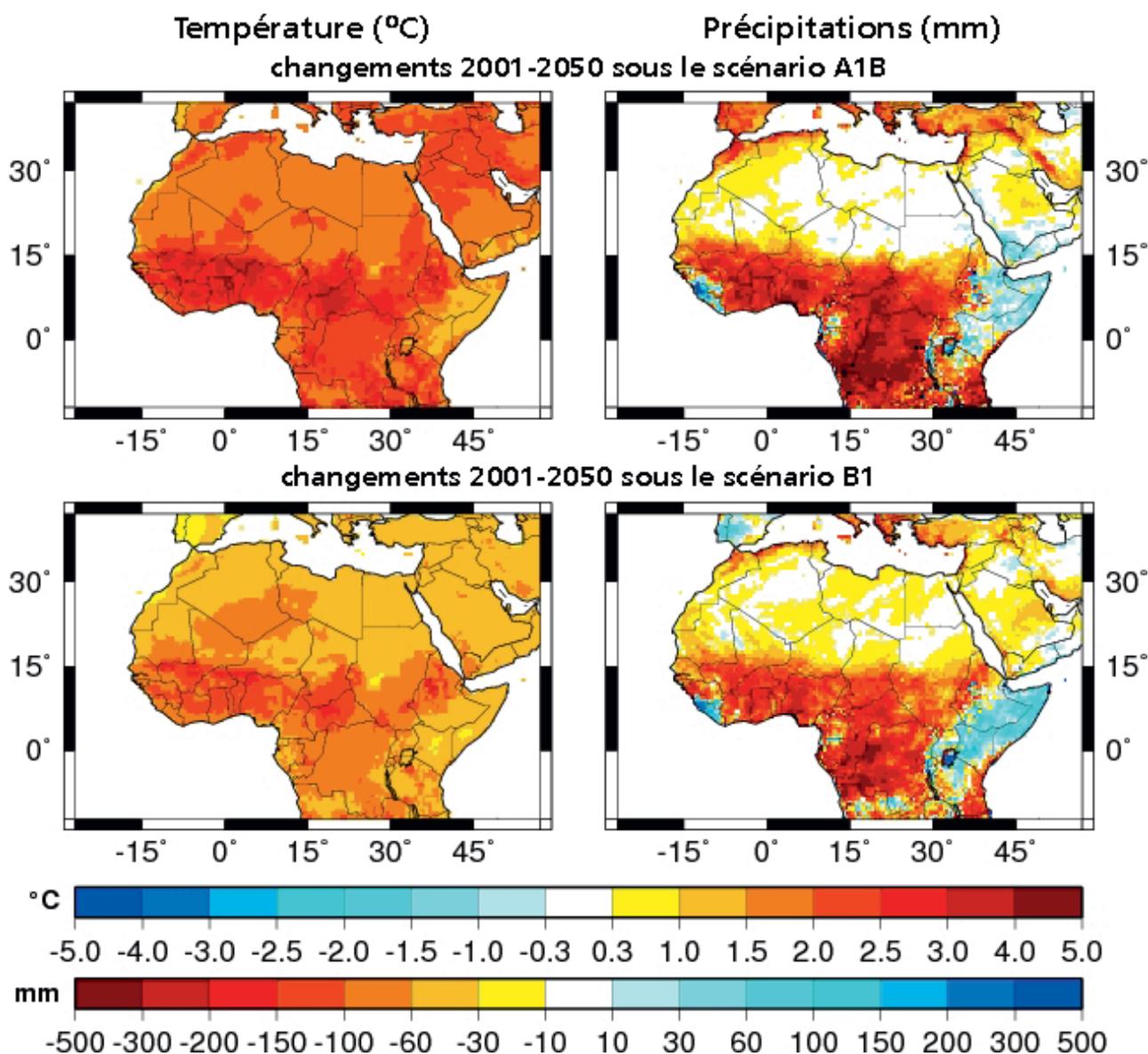


Fig. 2: Prédiction concernant les changements de précipitations annuelles et des températures de surface jusqu'en 2050 sous les tropiques et au nord de l'Afrique du fait des concentrations croissantes de gaz à effet de serre et des modifications de l'occupation du sol induites par des activités anthropiques

Afrique subsaharienne où les changements d'occupation des sols observés sont les plus forts. Le scénario B1 est associé à un taux de réchauffement baissant d'1 °C jusqu'en 2050. Les deux scénarii suggèrent un affaiblissement dramatique du cycle hydrologique sur la plupart des territoires d'Afrique tropicale et subtropicale, ce qui peut être expliqué par une évapotranspiration réduite et une interruption du recyclage local de l'eau dans l'atmosphère tropicale.

La baisse prévisionnelle des précipitations jusqu'en 2050 est de 25 à 30 %, ce qui est comparable au déclin observé après les années soixante. Les scénarii A1B et B1 sont presque identiques pour prédire cette tendance à l'assèchement.

Références

- FAO (2006): Food and Agriculture Organization, Global forest resources assessment 2005. Progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper 147.
- Hagemann, S. (2002): An improved land-surface parameter data set for global and regional climate models. MPI Report 336.
- Nakicenovic, N. et Swart, R., Eds. (2000): Emission Scenarios 2000. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, U.K..
- Paeth, H., Born, K., Podzun, R. et Jacob, D. (2005): Regional dynamic downscaling over West Africa: Model evaluation and comparison of wet and dry years. Meteorol. Zeit., 14, 349–367.
- UN (2006): United Nations Publications, World population prospects: the 2004 revision. Disponible à: <http://esa.un.org/unpp/>

Impact des changements climatiques sur le risque de paludisme en Afrique de l'Ouest

Volker Ermert, Andreas H. Fink, Andrew P. Morse, Anne E. Jones et Heiko Paeth

Le paludisme est l'un des problèmes de santé les plus sérieux dans le monde. Les changements climatiques prévus modifieront probablement l'étendue et la transmission du paludisme. Les changements potentiels de transmission du paludisme sont évalués grâce au Liverpool Malaria Modèle (LMM) en utilisant les données des scénarii climatiques du Modèle Régional (REMO). Du fait d'une saison pluvieuse sèche, l'une diminution de l'extension du paludisme est prévue dans la plupart des parties d'Afrique de l'Ouest, mais le risque épidémique croît dans les régions densément peuplées.

Introduction

Le paludisme est l'une des maladies infectieuses les plus importantes dans le monde avec approximativement 273 millions de cas cliniques dénombrés et causant 1,12 million de morts par an. Plus que 40 % de la population globale (>2,1 milliards de gens) sont exposés au paludisme (Touré et Oduola, 2004). Au moins 90 % des décès causés par le paludisme (plus d'un million par an) surviennent en Afrique subsaharienne (Greenwood et al., 2005).

Modélisation du paludisme

Afin d'évaluer la fréquence du paludisme en Afrique de l'Ouest, un modèle existant de l'Université de Liverpool est utilisé. Le Liverpool Malaria Modèle (LMM) simule l'extension du paludisme à une résolution quotidienne qui utilise la température moyenne journalière et la précipitation cumulée de 10 jours (Hoshen et Morse, 2004). Plusieurs expériences de sensibilité révèlent que le LMM est assez sensible à certains paramètres du modèle qui sont discutés ci-après. La proportion de population porteuse du parasite du paludisme, dénommée prévalence, dépend fortement de l'application du plan de survie du moustique. Le modèle utilise le taux de rétablissement du paludisme ($r=0,0284$) chez les êtres humains, entraînant une prévalence maximale de paludisme de 65 % dans le modèle. De plus, dans les régions où la température n'est pas un facteur, la transmission simulée du paludisme des moustiques aux êtres humains est principalement déterminée par la fréquence des pluies. Ce paramètre associe les précipitations cumulées sur 10 jours avec l'oviposition des moustiques femelles et finalement détermine la taille de la population des moustiques. En hautes altitudes, la température minimum requise pour le développement du parasite du paludisme dans le moustique (cycle sporogonique) est importante. Contrairement au modèle LMM décrit par Hoshen et Morse (2004), la version utilisée dans la présente étude était paramétrée avec un plan de survie du moustique différent et un seuil de la température pour que le cycle sporogonique se déroule de 16 °C.

Données

Les simulations du LMM le long du transect nord-sud à environ 2 °E sont fondées sur des données de 10 stations synoptiques localisées au Bénin, au Niger et au Mali. En outre, les simulations actuelles de l'ensemble à deux dimensions ont été exécutées par le LMM sur une grille de 0,5° pour la période de 1960 à 2000. Dans ce cas, le LMM a suivi des données de haute résolution issues du Modèle Régional (REMO) qui prend en compte l'utilisation du sol et la couverture végétale. De plus, les prévisions concernant le paludisme ont été faites pour la période 2001–2050 aussi bien d'après les scénarii climatiques A1B et B1 que d'après les changements dans l'occupation et l'utilisation du sol en concordance avec les estimations de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation).

Résultats

D'après les données des stations du transect (1973–2006), le LMM montre une baisse dans la prévalence du paludisme pour la durée de la saison du paludisme de Cotonou à la côte Guinéenne à Gao dans la zone Sahélienne du nord. Ce résultat n'est pas surprenant, puisque le dépôt de l'oeuf du moustique est directement proportionnel à la quantité de pluie cumulée en 10 jours. C'est pourquoi la taille de la population des moustiques dépend fortement de l'importance des précipitations durant la mousson estivale en Afrique de l'Ouest. Au niveau des stations du transect les plus au nord, à Tillabery (14°12'N, 1°27'E), la saison du paludisme ne dure que quelques semaines et à Gao (16°16'N, 0°03'W), la maladie survient de façon épidémique.

Le déclin de la prévalence du paludisme à travers le Sahara est aussi montré par les simulations LMM d'ensemble à deux dimensions. En accord avec les précipitations annuelles, les simulations LMM montrent une baisse de la prévalence du paludisme depuis la Côte Guinéenne vers le Sahel pour la période 1960–2000. Les régions d'occurrence du paludisme épidémique, définies par une grande variabilité interannuelle de la prévalence maximum, se trouvent entre 13 et 18°N (Fig. 1). Plus au sud, la distribution du paludisme simulée au sein de la population est plus stable

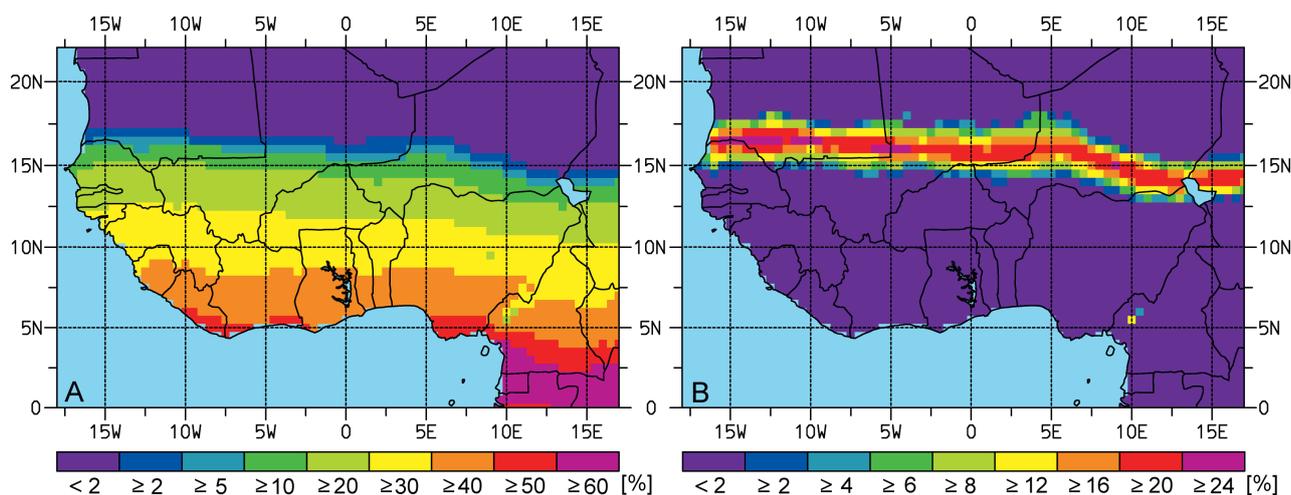


Fig. 1: (A) Prévalence moyenne annuelle du paludisme (en %) et (B) écart type de la prévalence maximum annuelle basée sur l'ensemble de simulation LMM pour 1960 à 2000.

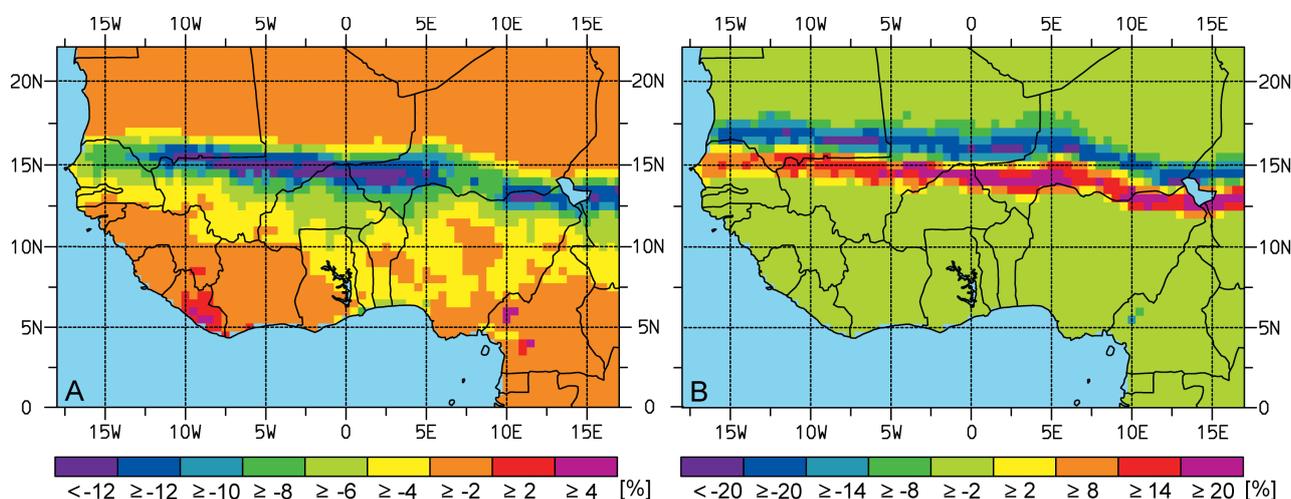


Fig. 2: (A) Variations de la prévalence maximum annuelle et (B) variations de l'écart type de la prévalence annuelle maximum entre 2041 et 2050 pour le scénario A1B et la période 1960 à 2000

d'une année à l'autre et est donc classée comme étant endémique.

Notamment du fait de la dégradation des terres superficielles, REMO simule une grande surface qui se réchauffe et une réduction considérable des précipitations annuelles dans la plus grande partie de l'Afrique tropicale pour les deux scénarii ($\nearrow 5$). En conséquence, les prévisions concernant le paludisme montrent une extension décroissante de la maladie dans la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest pour la décennie 2041–2050 (Fig. 2). De plus, les variations d'année en année de la prévalence du maximum saisonnier du paludisme sont réduites dans la partie nord du Sahel. Par conséquent, une diminution du nombre d'épidémies dans ces régions est attendue, voire même une disparition du paludisme dans quelques régions. Cependant, la variabilité augmente dans la partie sud de la zone Sahélienne (entre 13 et 16°N). L'immunité partielle des populations contre le paludisme baissant, le risque d'épidémies augmentera donc dans ces régions plus densément peuplées.

Le maximum de transmission du paludisme reste stable plus au sud (Fig. 2B). Cependant, du fait de la saison pluvieuse sèche et plus courte, la période de transmission du paludisme sera également plus courte.

Les résultats concernant les séquences d'ensemble LMM pour les scénarios A1B et B1 sont semblables. Cependant, les changements sont généralement plus importants dans le scénario A1B que dans B1 et l'amplitude de changement est plus prononcée à la fin de la période de simulation dans les années 2040 et suivantes.

Références

- Greenwood, B. M., Bojang, K., Whitty, C. J. M. et Targett, G. A. T. (2005): Malaria. *Lancet*, 365, 1487–1498.
 Hoshen, M. B. et Morse, A. P. (2004): A weather-driven model of malaria transmission. *Malaria Journal*, 3:32.
 Touré, Y. T. et Oduola, A. (2004): Focus: malaria. *Nature Reviews Microbiology*, 2, 276–277.

7 Le climat du Bénin (1961 – 1990)

Volker Ermert et Tim Brücher

Le Bénin présente un climat tropical subhumide qui est en grande partie contrôlé par la circulation de la mousson Ouest africaine. Une bonne partie des précipitations annuelles est obtenue pendant la saison pluvieuse de l'été boréal. La saison sèche est caractérisée par les vents secs, poussiéreux et l'harmattan qui a une direction nord-est.

Facteurs climatiques clés : le FIT et la ZCIT

Le Bénin est situé dans une zone de transition entre le climat équatorial tropical au sud et un climat soudanien dans le nord. Le climat tropical subhumide du Bénin est affecté aussi bien par les deux masses d'air fraîche et humide de la mousson que par la masse d'air chaude et sèche du Sahara. Le Front Inter-Tropical (FIT) définit la frontière entre ces deux masses d'air. La couche de la mousson étant peu épaisse, au sud du FIT, la région du FIT est généralement associée à un beau temps. Le FIT est approximativement localisé entre 7°N en janvier et peut s'étendre jusqu'à 20°N en août. En conséquence, la région côtière du Bénin est située dans une zone humide correspondant à la circulation du sud vers ouest de la mousson durant l'année. Ceci se ressent dans la variation minimale annuelle de l'humidité relative qui reste au-dessus de 60 % pendant l'année (voir Cotonou dans Fig. 1). Cependant, la période sèche peut durer plusieurs jours durant les mois hivernaux (décembre – mars) du fait des vents poussiéreux de l'harmattan.

La Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT) est définie par la convergence de la vapeur d'eau maximale dans la colonne troposphérique. La ZCIT est localisée entre des latitudes de 6° et 10° au sud du FIT et peut être délimitée dans les schémas pluviométriques par la zone de précipitation maximale.

Données

Les données climatiques du Bénin pour les Normales Climatologiques (CLINO) pour la période 1961 – 1990 ont été obtenues par l'Organisation Météorologique Mondiale (WMO; WMO 1996). Les statistiques pluviométriques ont été dérivées des données de précipitations mensuelles du Réseau Global de la Climatologie Historique version 2 (GHCN; Peterson et Vose, 1997).

Les saisons sèche et pluvieuse

Entre novembre et mars, les régions centrale et nord du Bénin sont localisées au nord du FIT. Les alizés, connus sous le nom d'harmattan, prédominent en direction du nord-est. L'harmattan souffle à travers le désert du Sahara ce qui le rend sec et poussiéreux. Entre novembre et janvier, l'harmattan est frais et provoque une saison sèche fraîche. De février à avril, la masse d'air s'échauffe progressivement en s'approchant du zénith du soleil / tandis que le soleil s'approche du

zénith. Les plus hautes températures annuelles sont enregistrées pendant cette saison chaude et sèche. La température moyenne maximale atteint 38,6 °C en avril à Kandi (Fig. 1). La forte insolation journalière et les nuits claires et sèches aboutissent à une grande variation de l'amplitude thermique journalière qui dépasse 17 °C à Kandi en février (Fig. 1). Au contraire, la période humide et nuageuse de l'été boréal (avril à septembre) est caractérisée par un cycle diurne de températures plus basses, avec une amplitude thermique journalière de 8,4 °C en août à Kandi (Fig. 1).

En mars et avril, la radiation solaire croissante sur les régions du Sahel et du Sahara entraîne un renforcement et une progression vers le nord de la chaleur continentale basse. Dans cette lancée, la mousson, relativement fraîche, humide et la troposphère de façon instable, pénètre plus tard le continent. En avril, la position climatologique de la ZCIT est localisée dans le Golfe de Guinée. Cependant, la grande dépression de la mousson et les excursions de court terme de la ZCIT depuis le nord déclenchent les premières pluies importantes dans le littoral (par exemple Cotonou, Fig. 1). La première saison pluvieuse intense culmine en juin (↗ 9). Plus loin au nord du Bénin, la saison pluvieuse ne débute pas avant mai ou juin. À la fin du mois de juin, la ZCIT se déplace subitement à 10°N environ, entraînant une pluie abondante et des conditions nuageuses dans le centre et au nord du Bénin. Au nord de Savè, les précipitations maximales se produisent entre juillet et septembre. Pendant ces périodes, le littoral est affecté par la « petite saison sèche » qui est directement liée à la remontée des eaux froides côtières (upwellings en anglais) aux températures de surface marine plus froides, et à la pluie qui en résulte. Le retrait rapide de la ZCIT vers l'équateur de septembre à novembre cause une seconde saison pluvieuse de moindre intensité dans le Sud. Vers la fin du mois de novembre, la ZCIT s'éloigne de la côte, dans la zone équatoriale du Golfe de Guinée. La Figure 1 représente les faibles quantités de précipitations durant cette saison sèche de décembre à janvier sur tout le Bénin.

En général, on observe une diminution des précipitations vers le nord. Cependant, les précipitations annuelles moyennes à Natitingou constituent une exception en raison des implications orographiques induites par la basse chaîne de montagnes Togo-Atakora (Tableau 1).

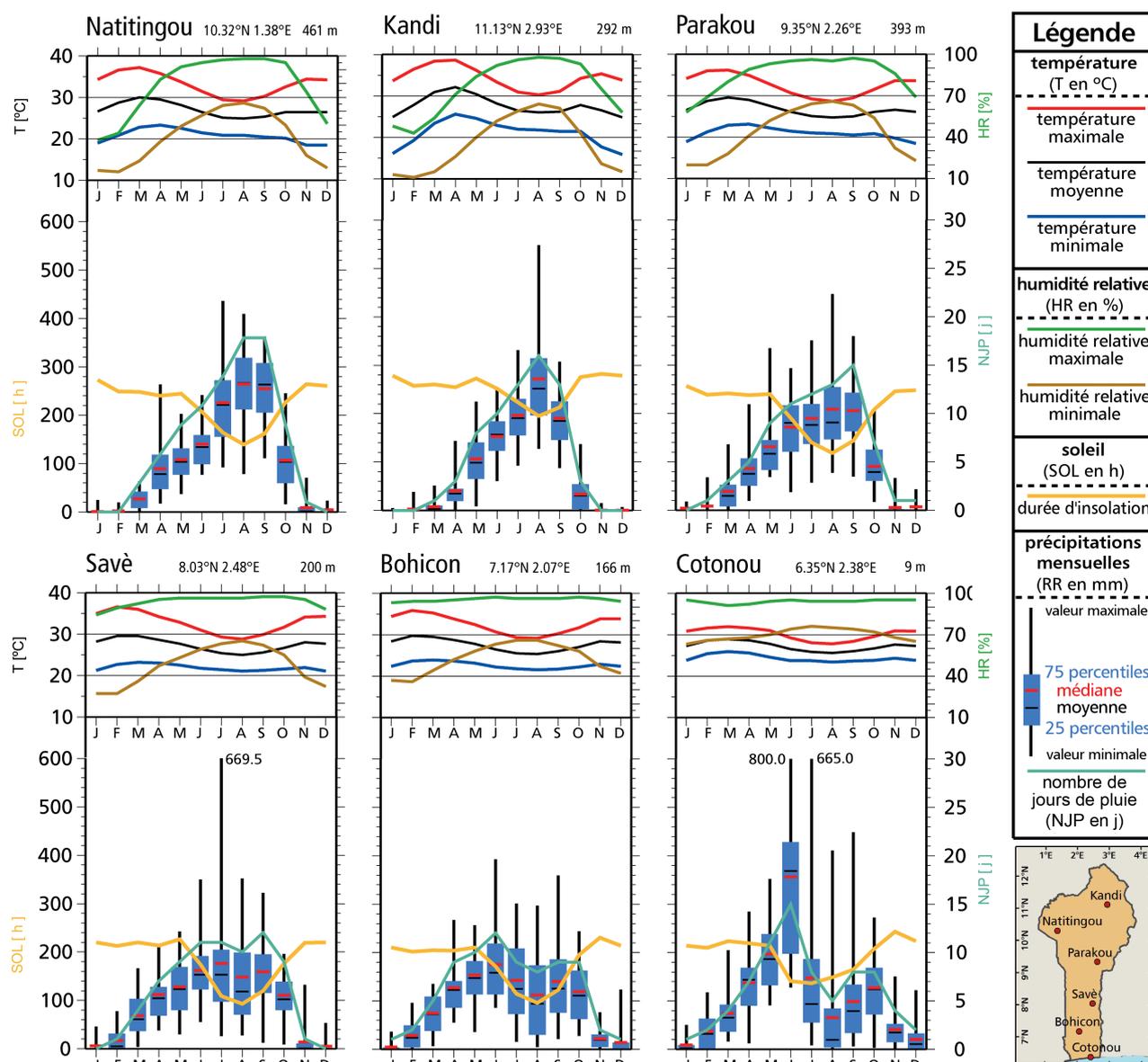


Fig. 1: Localisation des six stations synoptiques du Bénin et leurs diagrammes climatiques (CLINO, 1961–1990) montrant des moyennes mensuelles calculées sur 30 ans. Sont indiqués: la température moyenne (T en $^{\circ}\text{C}$), la température maximale moyenne (T_{\max}), la température minimale moyenne (T_{\min}), les moyennes maximum et minimum de l'humidité relative (HR en %), la durée d'insolation mensuelle (SOL en h), et le nombre de jours où les précipitations dépassent 1 mm de hauteur (NJP en d). La quantité de précipitations mensuelles (RR en mm) est fournie par la moyenne, la médiane, le domaine de 25 à 75 percentile, et les valeurs absolues.

Tableau 1: Valeurs moyennes annuelles à long terme pour les six stations synoptiques (Fig. 1)

Station	T [$^{\circ}\text{C}$]	T_{\min} [$^{\circ}\text{C}$]	T_{\max} [$^{\circ}\text{C}$]	RR [mm]	NJP [d]	SOL [h]
Kandi	27,7	21,0	34,3	1 008	67	3 045,2
Natitingou	27,0	20,8	33,2	1 232	89	2 678,4
Parakou	26,8	20,9	32,6	1 150	87	2 510,0
Savè	27,4	21,9	32,8	1 105	75	2 203,6
Bohicon	27,6	22,6	32,5	1 105	77	2 176,8
Cotonou	27,2	24,3	30,1	1 309	75	2 345,1

Références

Peterson, T. C. et Vose, R. S. (1997): An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database. BAMS, 78, 2837–2849.

World Meteorological Organization (1996): Climatological Normals (CLINO) for the Period 1961–1990. Geneva.

Observations sur les précipitations passées et présentes au Bénin

Malte Diederich et Clemens Simmer

La quantification des pluies enregistrées au Bénin a commencé au cours des années 1920 avec peu de stations météorologiques dans les villes principales puis s'est étendue en un réseau de près de 120 stations de mesures en 2006. Bien que la couverture spatiale des mesures n'ait pas été dense au cours des premières années et que seules quelques stations aient fourni des mesures de haute résolution de façon régulière, les archives décrivaient avec précision la variabilité du climat à échelle grossière.

Les précipitations annuelles et la variabilité interannuelle

Au nord Bénin, le total des précipitations annuelles tombe lors d'une unique saison des pluies qui s'étend d'avril à octobre. Les plus grandes valeurs mensuelles de précipitation s'observent en août, tandis que deux périodes de précipitations peuvent être distinguées au sud : distribuées entre une grande saison des pluies allant de mi-février à début août, et une petite saison allant de mi-août à novembre (Fig. 1 et 2, ↗7, ↗9).

Toutes les régions du Bénin sont sujettes à une variabilité climatique perceptible qui se répète tous les deux à cinquante ans. La variabilité interannuelle est plus forte au sud avec des totaux moyens de précipitations variant de 800 à 1800 mm par an (Fig. 3) et un nombre de jours pluvieux allant de 45 à 95 par an (Fig. 4).

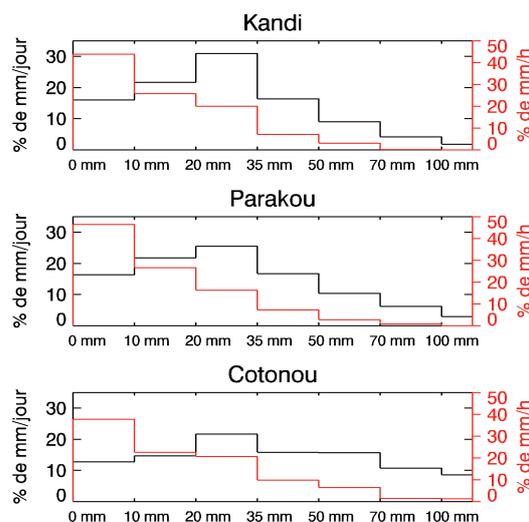


Fig. 2: Contribution de sept classes d'intensités (0–10, 10–35, 35–50, 50–70, 70–100, et plus de 100 mm) et des précipitations journalières (noir) et horaires (rouge) aux totaux pluviométriques selon les mesures de jaugeage à trois emplacements différents

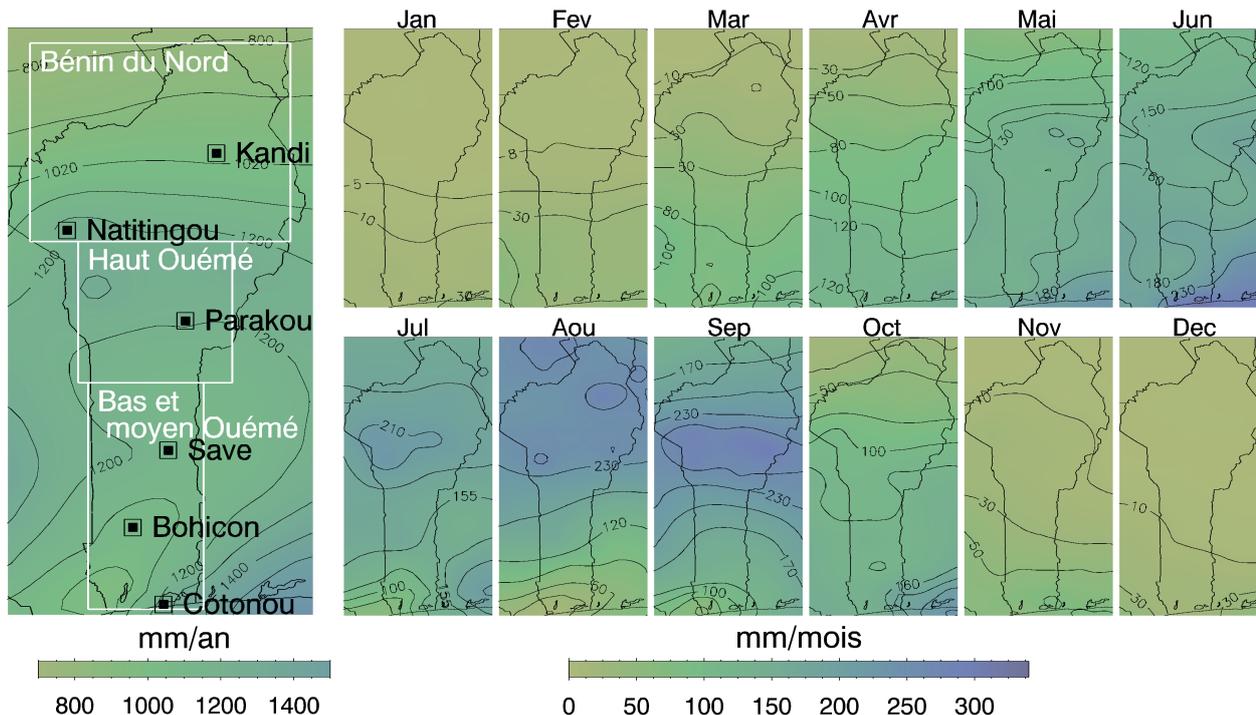


Fig. 1: Gauche : Précipitations moyennes annuelles 1921–2004; Droite : Précipitations moyennes mensuelles 1921–2004

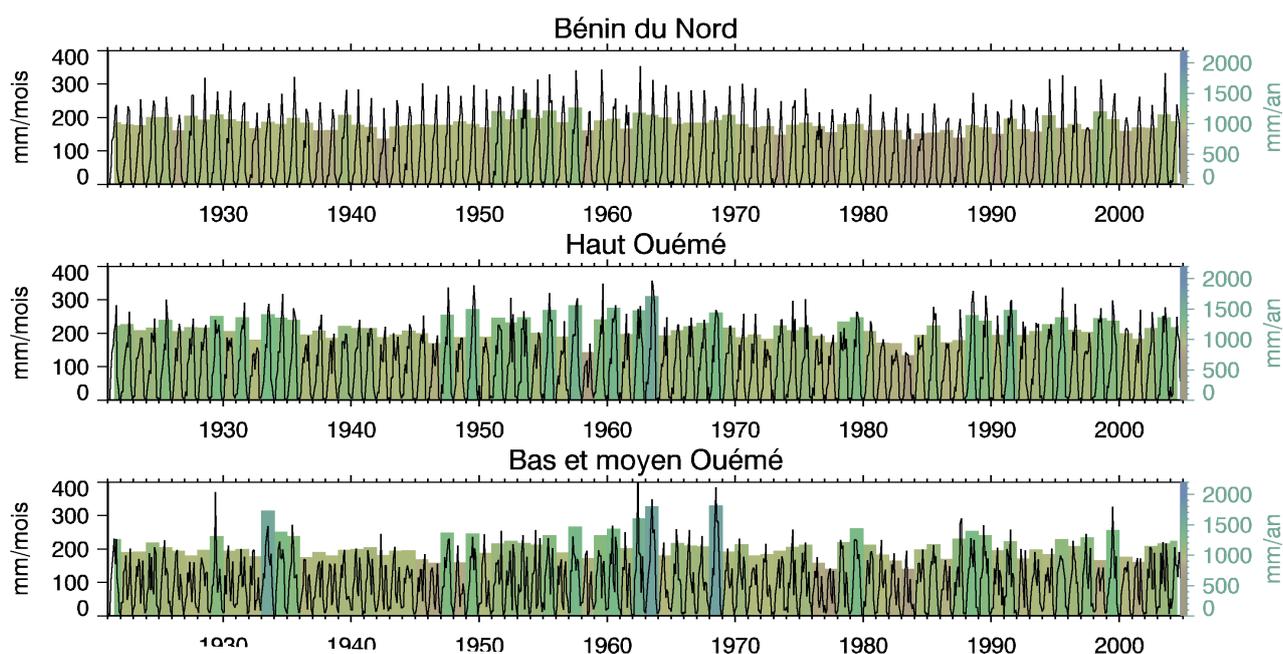


Fig. 3: Précipitations moyennes mensuelles (lignes noires) et annuelles (barres colorés) des trois régions du Bénin

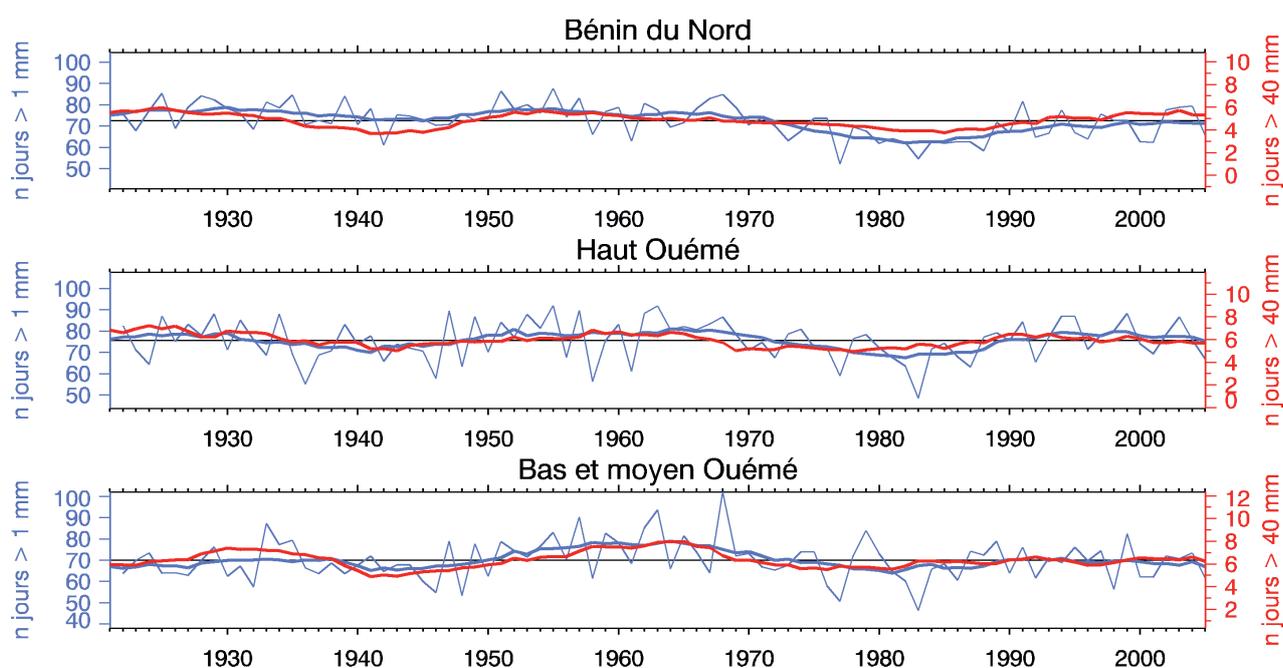


Fig. 4: Nombre de jours de pluie par an (fine ligne bleue, ligne bleue en gras : nombre moyen sur 11 ans) et nombre de jours avec plus de 40 mm de précipitations par an (#RR40 : ligne rouge en gras, moyenne sur 11 ans) mesurés par station dans trois régions du Bénin (Fig. 1). La ligne noire marque la moyenne de 1921 – 2005.

Répartition de l'intensité des précipitations

Les distributions de probabilité de totaux pluviométriques quotidien et horaire augmentent en intensité à mesure que l'on descend du nord vers le sud (Fig. 2). Les trois régions affichent les plus fortes anomalies positives de précipitations au début des années 1960, et les plus fortes anomalies négatives au début des années 1980 (Fig. 3). Avec la baisse des précipitations totales, le nord Bénin a éprouvé une forte baisse du nombre de jours pluvieux par an pendant la période sèche de 1980, tandis que le nombre d'événements extrêmes

(> 40 mm, 92 % quintile) avait atteint un minimum semblable pendant la période sèche des années 1940 (Fig. 4).

Remerciements

IMPETUS remercie le Service Météorologique National du Bénin et l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) pour leurs contributions à l'enregistrement des précipitations journalières (BDMET) et l'intensité horaire des précipitations (BDNUM).

Climatologie des pluies spatiales et temporelles du Bénin

Andreas H. Fink, Susan Pohle et Ralf Hoffmann

En partant des totaux pluviométriques annuels moyens, de l'évolution des pluies durant la saison pluvieuse, et de leur apparition au cours de la journée, le Bénin peut être subdivisé en différentes régions de pluies.

Méthodologie

Les 93 stations climatologiques du Bénin ont connu des lacunes dans l'enregistrement des pluies journalières sur la normale climatologique 1961–1990. Les quarante-deux stations qui intéressent la présente étude répondent aux critères suivants : a) le nombre de valeurs manquantes est en dessous de 10 % pour une année donnée, et b) plus de 80 % des totaux pluviométriques annuels sont disponibles pour la période 1961–1990.

La probabilité de pluies au cours d'une journée dans les six stations synoptiques du Bénin a été calculée comme le pourcentage d'occurrence des pluies pour les 96 intervalles de 15 mn entre 00 et 24 UTC pour la période de 29 ans entre 1962 et 1990.

Pluies moyennes annuelles

La carte de la pluviométrie moyenne annuelle (Fig. 1, tableau de droite) au Bénin présente plusieurs caractéristiques remarquables. Premièrement, une inclinaison est-ouest est observée le long de la bande côtière, avec les plus importantes quantités de pluies près de la frontière nigériane (Sèmè : 1 485 mm) et une zone sèche avec moins de 1 000 mm près de la frontière togolaise. Cette dernière représente la pointe sèche nord-est de la côte Ghana-Togo (Vollmert et al., 2003). Deuxièmement, les quantités de pluies sont aussi évidemment plus élevées dans les régions béninoises de l'Atacora dans les basses chaînes de montagnes au nord-ouest jusqu'à la frontière du Togo (Djougou : 1 309 mm). Enfin, la carte montre un grand déclin vers le nord des pluies au nord de 10°30'N avec Malanville, la station nationale la plus sèche (787 mm).

Au moins trois régimes de pluies saisonnières (Fig. 1, tableau de gauche) sont observés au Bénin. Ces régimes comprennent : a) une répartition bimodale des pluies entre la côte et de 7°30'N avec la première saison pluvieuse qui est plus intense (exemple : Cotonou et Sakété), b) un sommet large avec des indications concernant une distribution tri- ou bimodale dans certaines stations au centre du Bénin (exemple : Savè et Parakou), et c) un signal clair unimodal caractérisé par une lente montée des pluies et une baisse brusque (exemple : Kandi) (Adam et Boko, 1993).

Pluies diurnes

Comme dans les autres régions de l'Afrique de l'Ouest, la probabilité des pluies diurnes varie à travers le Bénin en fonction de la distance qui sépare une station donnée de l'océan et des grandes caractéristiques topographiques. Par exemple, l'extension de la brise marine sur le continent durant une journée provoque un maximum matinal à Cotonou et un maximum aigu dans l'après-midi à Bohicon (Fig. 2). Autre exemple, la pic de probabilité primaire ou secondaire après minuit dans les stations du nord de Parakou, Kandi et Natitingou (Fig. 2). A ce moment de la journée, de grands clusters d'orages, qui ont été formés tard dans l'après-midi dans les régions montagneuses au-dessus du centre du Nigéria et qui ensuite se propagent vers l'ouest à une vitesse constante d'environ 50 km/h, atteignent le centre nord du Bénin (Fink et al., 2006).

Remerciements

Nous exprimons notre sincère gratitude aussi bien à C. Depraetere et J.M. Bouchez de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), qu'à la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) pour avoir mis à notre disposition les données sur les pluies au Bénin.

Références

- Adam, K. S. et Boko, M. (1993): Le Climat du Benin. Les Editions du Flamboyant/EDICEF, Cotonou/Benin. Le Benin, 15–18.
- Fink, A. H., Vincent, D. G. et Ermert, V. (2006): Rainfall Types in the West African Soudanian Zone during the Summer Monsoon 2002. *Mon. Wea. Rev.*, 134 (8), 2143–2164.
- Le Barbé, L., Lebel, T. et Tapsoba, D. (2002): Rainfall Variability in West Africa during years 1950–1990. *J. Climate* 5 (1), 187–202.
- Vollmert, P., Fink, A. H. et Besler, H. (2003): Ghana- und Dahomey-Trockenzone: Ursachen für eine Niederschlagsanomalie im tropischen Westafrika (in German). *Erde*, 134 (4), 375–393.

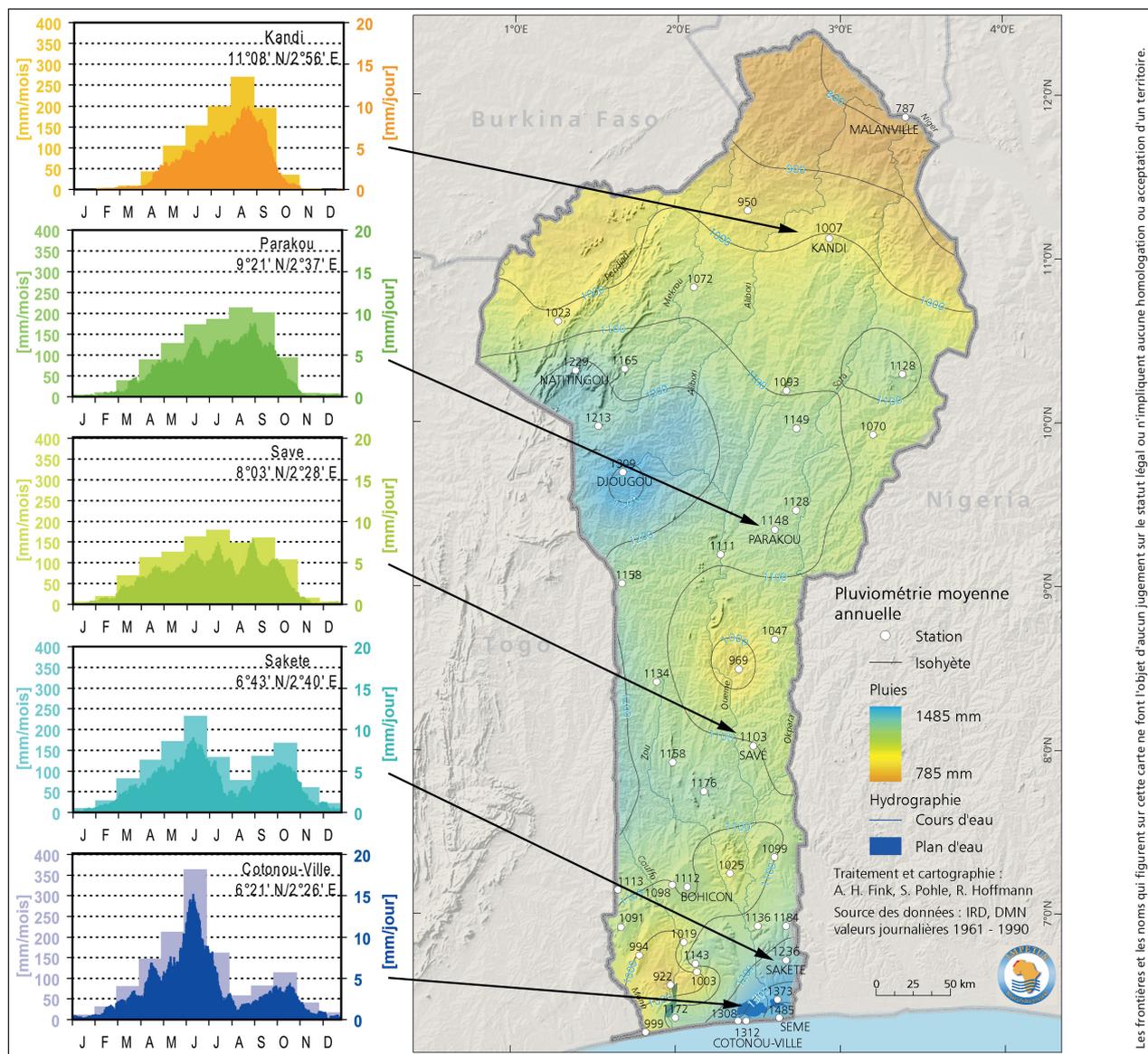


Fig. 1: Pluies (1961 – 1990) moyennes mensuelles (ordonnées de gauche) et pluies journalières (ordonnées de droite) exprimées comme moyenne glissante sur 11 jours des pluies journalières quotidiennes de la période 1961 – 1990 pour des stations sélectionnées (gauche); Carte des pluies moyennes annuelles (en mm) pour la période allant de 1961 à 1990 (droite)

Distribution des événements de pluies

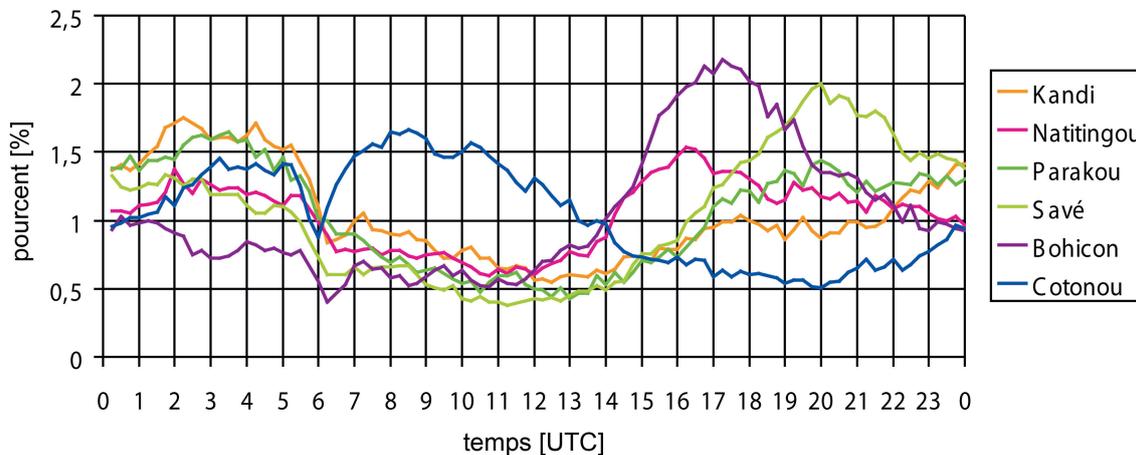


Fig. 2: Le cycle diurne de probabilité de pluies exprimées en pourcentage pour des intervalles de 15-mn entre 0 et 24 UTC pour la période 1962 à 1990 (1961 non disponible)

Les frontières et les noms qui figurent sur cette carte ne font l'objet d'aucun jugement sur le statut légal ou n'impliquent aucune homologation ou acceptation d'un territoire.

Changements dans le climat de mousson du Bénin

Heiko Paeth, Kai Born et Kai Oliver Heuer

Le Bénin fait partie de région de la Côte Guinéenne qui est caractérisée par un important climat de mousson avec des saisons sèches et humides prononcées. Pendant la mousson d'été, des périodes de sécheresse surviennent régulièrement, mettant en péril la production agricole et la sécurité alimentaire. Un modèle climatique régional capable de résoudre des processus atmosphériques à l'échelle synoptique permet d'évaluer les changements futurs de saisonnalité et de périodes sèches dans le climat du Bénin.

Simulations du modèle

Afin d'évaluer précisément les variations spatiales climatiques actuelles et futures en Afrique, le modèle climatique régional (REMO) a été développé et mis en application pour la région tropicale et septentrionale de l'Afrique (Paeth et al., 2005). REMO reproduit fidèlement les phénomènes climatiques observés en Afrique. Les changements climatiques futurs en Afrique ont été modélisés en incluant dans les simulations d'ensemble de REMO des concentrations accrues de gaz à effet de serre et les effets anthropiques liés à la dynamique d'occupation du sol pendant la période 1960–2050 (↗ 5). A partir de ces expériences dont le réalisme est fermement vérifié, un générateur de temps a été ajusté aux données des stations météorologiques disponibles sur les précipitations au Bénin en vue de simuler le climat local pour les séquences passées et futures. Les changements climatiques peuvent donc être évalués à l'échelle de ces stations météorologiques.

Changements dans les périodes sèches

L'apparition de périodes sèches au cours de la saison pluvieuse estivale représente une contrainte importante pour la production agricole en Afrique au sud du Sahara. De telles interruptions de pluies sont associées au déplacement de la Zone de Convergence Intertropicale aux échelles synoptique et intra saisonnière. La Figure 1 montre les périodes sèches le long de la côte guinéenne et au sud de la zone sahélienne, calculées à partir du modèle avec des valeurs statistiques précises (extrêmes). Le panel supérieur représente les moyennes des plus longues interruptions de précipitations pendant la saison pluvieuse de mai à octobre entre 1961 et 1970. Alors que les plus longues interruptions des pluies de mousson durent entre 5 et 15 jours au sud de 10°N, ne posant pas de problème pour la plupart des cultures en Afrique, les périodes sans pluie peuvent être plus longues au nord de 10°N et mettre en péril les cultures vivrières. Ainsi la position 10°N constitue-t-elle une sorte de frontière naturelle entre les cultures vivrières étant suffisamment et celles étant insuffisamment irriguées. Le panel du bas révèle les changements prévus dans la durée des extrêmes interruptions de précipitations jusqu'en 2050. Dans plusieurs parties de l'Afrique sub-saharienne et particulièrement au Bénin, il

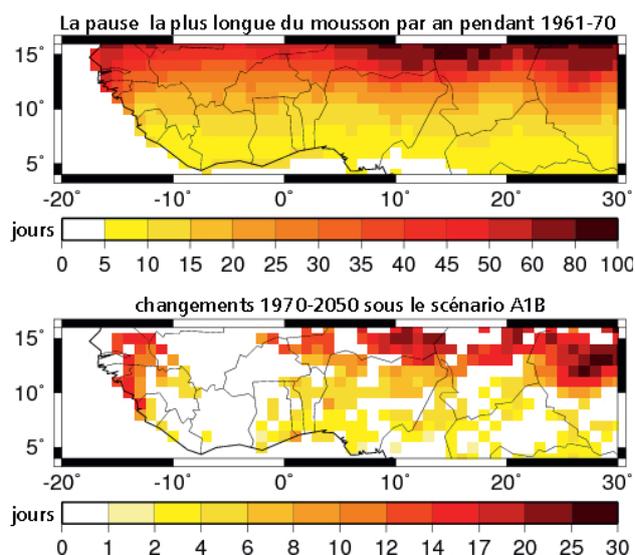


Fig. 1: Les plus longues périodes sèches par an simulées pendant la période estivale pluvieuse (mai–octobre) 1961–1970 et changements prévus jusqu'en 2050 (changements statistiquement significatifs avec une marge d'erreur de 5%).

est prévu que les périodes sèches s'allongent de façon statistiquement significative.

Changements dans le climat moyen

La Figure 2 présente deux diagrammes climatiques classiques de stations sélectionnées sur un transect nord-sud au Bénin, comparant les périodes passées et futures. Le réseau de stations météorologiques est dérivé des simulations de long terme avec REMO. Le passage de la répartition bimodale (Cotonou) à unimodale (Kandi) des précipitations est bien reproduit par REMO qui prédit un climat plus sec et plus chaud au Bénin jusqu'en 2050.

Références

- Paeth, H., Born, K., Podzun, R. et Jacob, D. (2005): Regional dynamic downscaling over West Africa: Model evaluation and comparison of wet and dry years. *Meteorologische Zeitschrift*, 14, 349–367.
 Walter, H., Lieth, H. et Rehder, H. (1960): *Klimadiagramm-Weltatlas*. G. Fischer VEB.

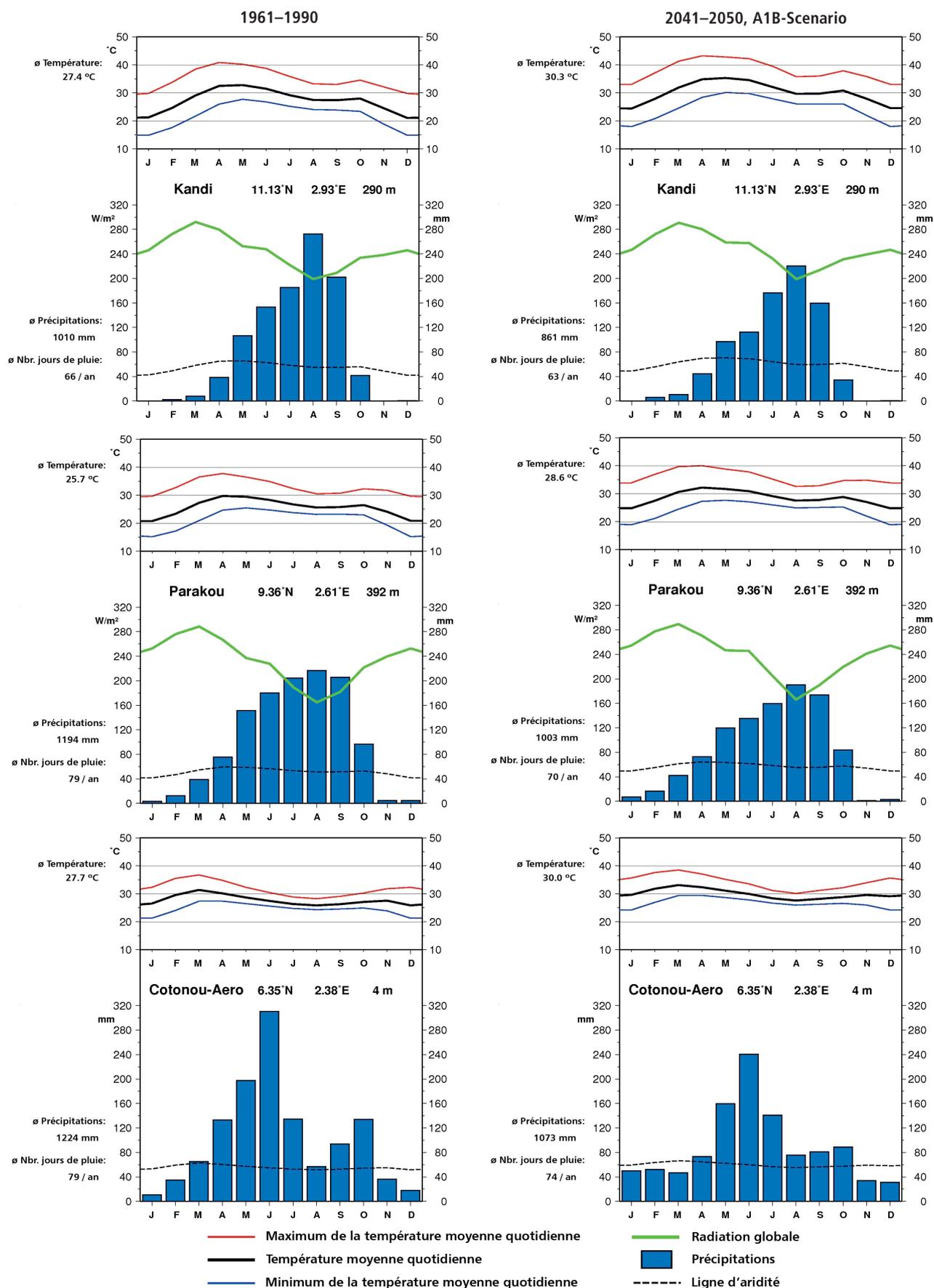


Fig. 2: Diagrammes climatiques comparatifs de stations sélectionnées au Bénin (période 1960–1999 / période 2041–2050) tels que simulés par le modèle régional climatique REMO. En raison d'erreurs de résultats dans les simulations, aucune radiation globale n'est montrée pour la station de Cotonou. La ligne d'aridité: (Température moyenne*2) / [(°C/mm)].

Scénarii de la variabilité locale à régionale des précipitations

Andreas Krüger et Kai Born

Les modèles de haute résolution du projet IMPETUS (Lokal-Modell et FOOT3DK) estiment la variabilité du climat de l'échelle régionale à l'échelle locale. Pour les régions étudiées, les facteurs clés identifiés comme influençant la variabilité du climat à l'échelle locale comprennent la variation des températures de surface marines – incluse dans les prévisions du climat à plus grande échelle – et les changements dans l'utilisation des terres – qui doivent être évalués à partir de la modélisation du climat à petite échelle. Ces deux mécanismes sont pris en compte dans l'approche IMPETUS. Les cartes des précipitations sont présentées aussi bien pour une année de contrôle que pour une projection dans le futur qui vise seulement la saison pluvieuse à l'horizon 2025.

Méthode

Grâce aux interactions entre plusieurs groupes de travail IMPETUS, l'importante influence des changements dans l'utilisation des terres sur les caractéristiques et le développement locaux des précipitations (Sogalla et al., 2006) a pu être explicitement prise en compte. Pour les deux modèles de haute résolution d'IMPETUS (Lokal-Modell et FOOT3DK), plusieurs méthodes complexes et spécifiques ont été appliquées afin de développer les conditions de surface de terrain requises et adéquates pour l'étude. Le rôle des températures de surface marin, influençant également fortement la variabilité du climat local, est simulé implicitement en utilisant des modèles à plus petite échelle et des modèles de résolution plus grossière du projet IMPETUS (REMO et ECHAM5).

Les simulations LM pour l'année 2025 ont été réalisées sur la base des données REMO. Les études sont focalisées sur cette année-là qui présente un intérêt particulier; des investigations supplémentaires permettraient de tirer des conclusions plus générales. La réalisation par intervalle de temps a été réalisée d'après le scénario B2 de forçage de RSSE du GIEC.

Variabilité régionale

Pour les simulations LM, les scénarii de changements d'occupation du sol (LCC) sont calculés par un modèle stochastique complexe LCC (↗ 5). Les simulations du climat régional avec LM ont été réalisées pour toute la région de la côte Guinéenne à une résolution de 0,1° pour les années 2000 et 2025.

La comparaison des saisons de pluie modélisées pour les années 2000 et 2025 (Fig. 1a, 1b et 1c) révèle une grande variabilité spatiale du développement des précipitations à travers toute la zone de simulation, bien que les caractéristiques des précipitations soient pour la plupart préservées. En particulier, au nord et au nord-est de la zone LM visualisée, les précipitations annuelles ont augmenté, tandis que dans les régions du sud, du sud-est et dans certaines zones proches de la frontière nord, des conditions plus sèches sont simulées. Contrairement à REMO qui simule une tendance générale vers des conditions plus sèches (Paeth et al., 2007), la plus grande résolution temporelle et spatiale (intervalle de temps d'une heure et taille de maille de 10 km x 10 km)

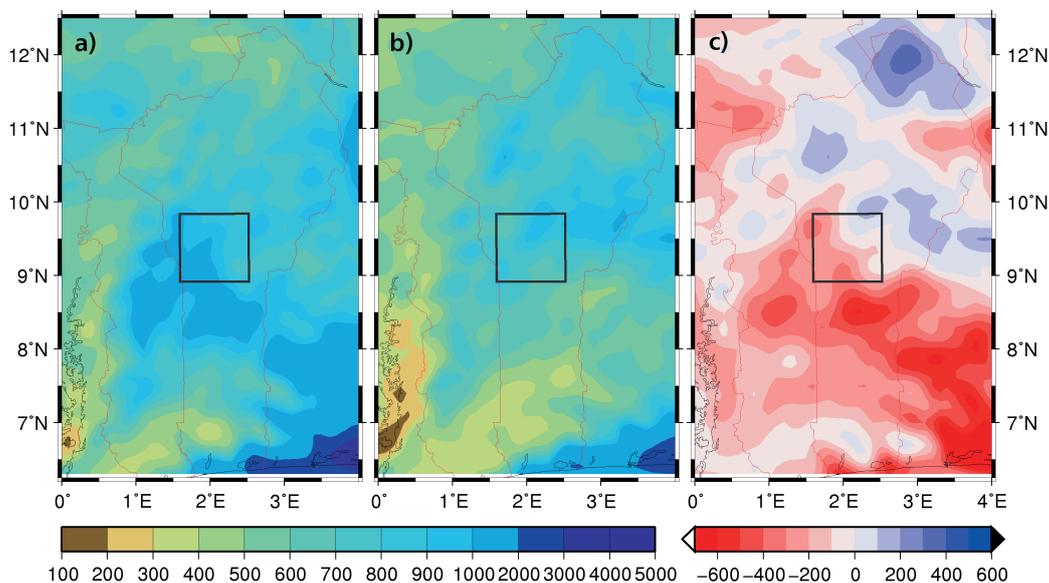


Fig. 1: Précipitations accumulées pour les saisons pluvieuses de 2000 (a) et de 2025 (b) et la différence de 2025 moins 2000 (c) calculée au moyen du LM (Lokal-Modell)

du LM, révèle des caractéristiques plus hétérogènes, alors même qu'il est calculé pour une seule année.

Variabilité locale

Avec une méso-échelle (intervalle de temps d'une heure et taille de maille de 3 km x 3 km), les précipitations pour une

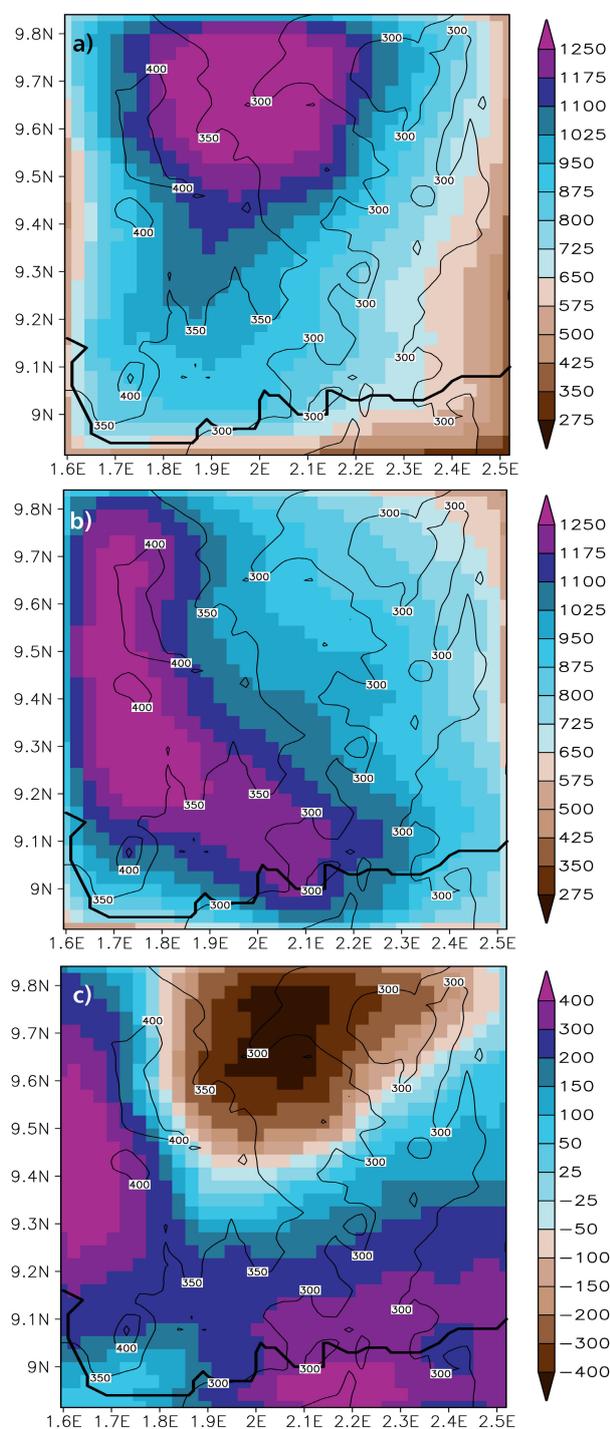


Fig. 2: Répartition des précipitations pour les années (a) 2002, (b) 2025, et (c) les différences entre les deux. Les fines lignes noires indiquent l'orographie, les lignes noires épaisses représentent les limites de la HVO. Les trois premières lignes au marge du domaine de simulation devraient être ignorées car les effets au marges conduisent à des résultats irréalistes.

quelconque saison pluvieuse désirée sont dérivées d'une approche de recombinaison utilisant les modèles de simulations avec FOOT3DK. Pour rassembler des épisodes appropriés pour la recombinaison choisie, on a procédé à une évaluation combinée d'images satellites et d'analyses statistiques au sol des caractéristiques des précipitations. Huit différents types de systèmes de nuages (Fink et al., 2006) ont été identifiés pour construire la base statistique pour l'approche de recombinaison.

Pour la saison pluvieuse de 2002, trente épisodes de 54 heures qui comprenaient tous les types de systèmes de nuages mentionnés ci-dessus, ont été simulés et recombinaison. Les précipitations accumulées qui en résultent (Fig. 2a) s'accordent bien avec les observations antérieures, bien que le maximum observé dans la Haute Vallée de l'Ouémé (HVO) se situe plus loin au sud (non indiqué), et que les valeurs soient sous-estimées de 35 % dans le sud-est du domaine.

Sur la base des données du modèle LM, quarante épisodes de 72 heures ont ensuite été simulés pour la saison pluvieuse de 2025. De plus, un registre de mutation des terres spécialement conçu pour les besoins de FOOT3DK a été utilisé. Celui-ci est basé sur les scénarii de changement dans l'utilisation des terres, scénarii développés au sein d'IMPETUS (Thamm et al., 2005). Le scénario relatif aux précipitations de la HVO a été subjectivement rattaché à une association de systèmes de nuages au moyen d'une comparaison des ressemblances entre les caractéristiques des pluies observées et les quantités de précipitations simulées par heure par FOOT3DK. De cette façon, la répartition pour l'année 2025 (Fig. 2b) montre un décalage vers l'ouest en comparaison avec la principale zone de précipitations de l'année 2002 (Fig. 2c). Malheureusement, les résultats de modélisation pour la saison pluvieuse de 2025 ne sont pas concluants statistiquement. Toutefois, ces résultats préliminaires justifient les premières conclusions concernant l'augmentation du risque d'apparition des phénomènes pluvieux locaux extrêmes (sec et humide) en raison de la dégradation progressive future de la surface de la terre.

Références

- Fink, A. H., Vincent, D. G. et Ermert, V. (2006): Rainfall Types in the West African Soudanian Zone during the Summer Monsoon 2002. *Mon. Wea. Rev.*, 134(8), 2143–2164.
- Paeth, H., Born, K., Girmes, R., Podzun, R. et Jacob, D. (2007): Regional climate change in tropical and northern Africa due to greenhouse forcing and land-use changes. *J. Climate*, 22(1), 114–132.
- Sogalla, M., Krüger, A. et Kerschgens, M. (2006): Mesoscale modelling of interactions between rainfall and the land surface in West Africa. *Meteor. Atmos. Phys.*, 91, 211–221.
- Thamm, H.-P., Judex, M. et Menz, G. (2005): Modelling of Land-Use and Land-Cover Change (LUCC) in Western Africa using Remote Sensing. *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, 3, 191–199.



Villageoises pompant l'eau d'un puits



Eau : Disponibilité,
consommation et santé

Les sous-bassins versants jaugés du fleuve Ouémé

Simone Giertz

Les données concernant les débits de cours d'eau sont indispensables pour évaluer les ressources en eau disponibles d'un bassin versant. Le réseau d'observations des débits implanté dans le bassin versant de l'Ouémé est directement géré par la Direction Générale de l'Eau (DG-Eau), autorité nationale de gestion de l'eau au Bénin, qui mène une active coopération avec l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD). En effet, des jauges sont installées dans le fleuve Ouémé lui-même et dans ses grands et principaux affluents comme le Zou, l'Okpara et le Térou. En outre, des limnigraphes sont installés et suivis par le projet IMPETUS dans le petit bassin versant d'Aguima (↗ 17).

Les jaugeages de cours d'eau et les mesures de débits

Vingt jauges de cours d'eau (limnigraphes) sont disponibles à partir du réseau d'observations du bassin de l'Ouémé (y compris les jauges de cours d'eau de l'IRD). Les emplacements des stations hydrométriques sont indiqués à la Fig. 1, et le Tableau 1 fournit des informations sur le type et les caractéristiques des jauges. Par ailleurs, cinq jauges ont été installées par le projet IMPETUS dans le bassin d'Aguima.

La plupart des jauges sont équipées d'enregistreurs automatiques permettant d'obtenir de façon continue le niveau d'eau. Au niveau de certaines jauges, le niveau de l'eau est lu manuellement deux fois par jour. Durant les saisons pluvieuses, les mesures de débits sont effectuées régulièrement au niveau de chaque jauge par le personnel de la DG-Eau et

de l'IRD afin de déterminer la relation hauteur-débit. Sur la base de cette relation et des mesures ininterrompues du niveau de l'eau, le débit est calculé en continu.

Délimitation des sous-bassins versants

Les sous-bassins versants ont été délimités avec l'outil Hydro qui est une extension de ArcGIS 9.1 à partir des Modèles Numériques de Terrain (MNT) de la mission SRTM. L'outil Hydro utilise la méthode D8 pour déterminer la direction du flux à partir des MNT. La résolution des MNT du SRTM est de 90 m x 90 m.

Les superficies des sous bassins versants délimités vont de 261 km² (We-We) à environ 50 000 km² (Ouémé Bonou).

Tableau 1: Les jauges de cours d'eau du réseau national d'observations dans le bassin de l'Ouémé. Les numéros correspondent au nommage dans la carte (Fig. 1).

Numéro	Code de DGE	Station	Cours d'eau	Disponibilité des données	Données manquantes	Propriétaire	Long.	Lat.	Superficie du bassin [km ²]
1	4501660	AGUIMO	AGUIMO	1997–2000		IRD	2,02	9,13	396
2	4501302	VOSSA	BEFFA	1953–1996	1960–1983, 1988–1990	DG-Eau	2,35	8,50	1 932
3	4500106	AFON (DONGA)	DONGA	1996–2006		IRD	2,10	9,73	1 308
4	4501690	DONGA-PONT	DONGA	1998–2006		IRD	1,95	9,71	587
5	4501103	KABOUA	OKPARA	1951–1997		DG-Eau	2,72	8,25	9 464
6	4500104	AFON	OUEME	1983–2004	1993, 1994, 1999	DG-Eau	2,10	9,75	1 188
7	4500105	PONT DE BETEROU	OUEME	1952–2004		DG-Eau	2,27	9,20	10 083
8	4500107	BONOU	OUEME	1948–2002		DG-Eau	2,45	6,90	49 285
9	4500118	PONT DE ZANGNANADO	OUEME	1986–1996		DG-Eau	2,47	7,22	38 167
10	4500119	PONT DE SAVE	OUEME	1951–2002		DG-Eau	2,42	8,00	23 491
11	4500121	TEBOU	OUEME	1997–2000		IRD	1,87	9,96	656
12	4501700	AVAL-SANI	OUEME	1999–2000		IRD	2,15	9,73	3 279
13	4500130	SANI	SANI	1997–2000		IRD	2,12	9,76	745
14	4501603	WANOU (DOTE 238)	TEROU	1983–2002		DG-Eau	2,08	9,08	3 060
15	4501650	SAR AMANGA	TEROU	1998–2005		IRD	1,82	9,23	1 360
16	4501710	IGBOMAKO RO	TEROU	1998–2006		IRD	1,90	9,07	2 323
17	4501505	WE-WE	WE-WE	1961–1999		DG-Eau	2,10	9,38	261
18	4501803	BAREROU	YEROU MARO	1983–1998		DG-Eau	2,37	9,35	2 134
19	4501002	ATCHERIGBE	ZOU	1951–1999		DG-Eau	2,03	7,53	7 035
20	4501005	DOME	ZOU	1952–1997	1959, 1960	DG-Eau	2,33	7,12	4 083

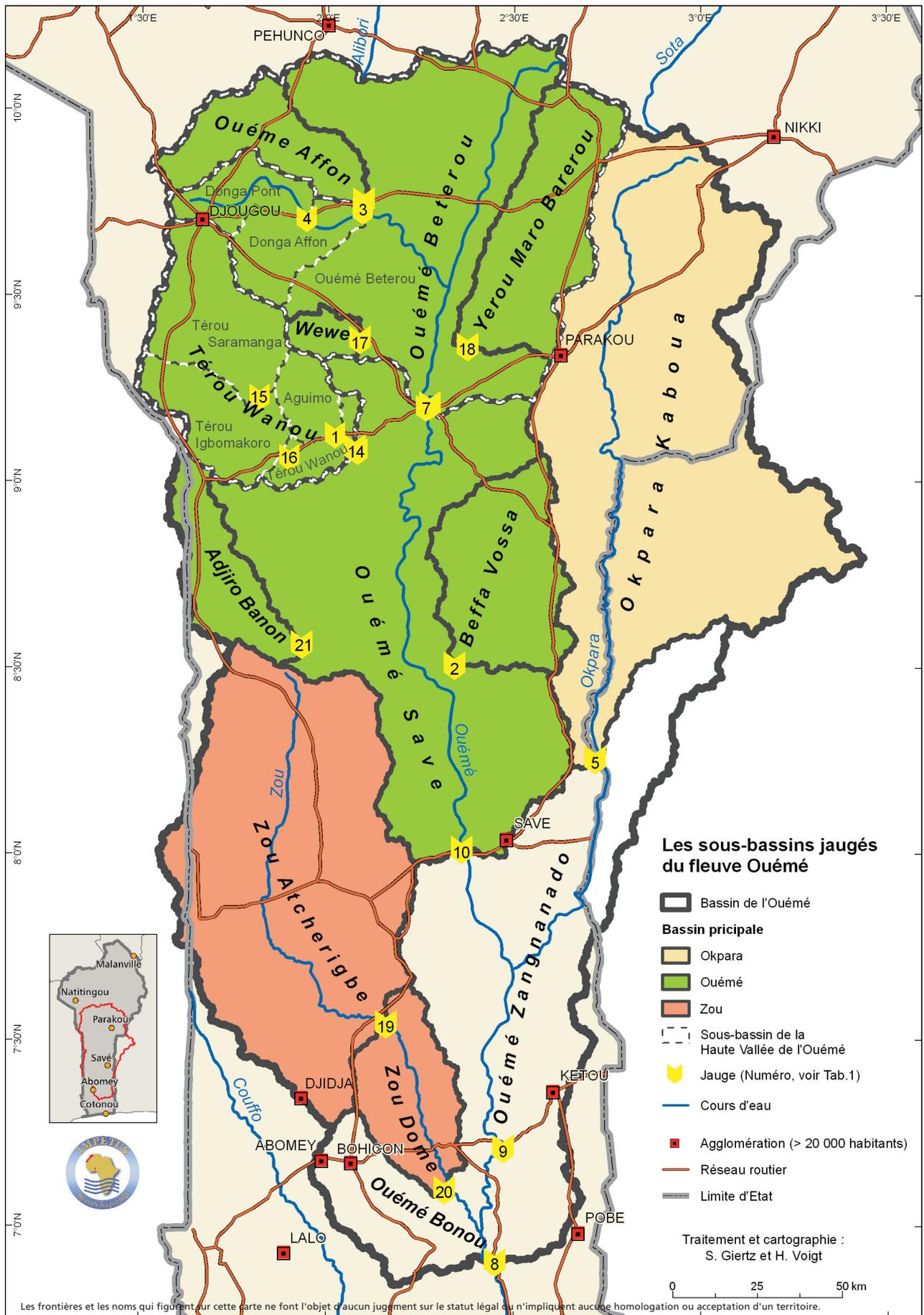


Fig. 1: Les sous bassins versants jaugés du fleuve Ouémé

Le réseau hydrométéorologique de la HVO

Andreas H. Fink et Simone Giertz

Les données issues du dense réseau hydro-météorologique du bassin de la Haute Vallée de l'Ouémé (HVO) permettent d'étudier différents aspects de la partie terrestre du cycle hydrologique dans la zone climatique soudanienne d'Afrique de l'Ouest.

Instrumentation météorologique

Entre 1997 et 2006, 65 pluviographes ont été installés par IMPETUS et CATCH/AMMA (Couplage de l'Atmosphère Tropicale et du Cycle Hydrologique / Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine). IMPETUS et CATCH/AMMA ont fourni respectivement 13 et 52 instruments. Les pluviomètres fournissent des mesures des pluies et de leur intensité à une résolution atteignant jusqu'à 0,1 mm/min. Deux types d'instruments sont en place : un auget basculeur et une jauge de pesage. Ces pluviographes sont inégalement répartis sur les 20 000 km² de la HVO (Fig. 1). Un groupe de pluviomètres est situé dans le bassin versant de la Donga dans la région nord-ouest de la HVO. Le groupe de pluviomètres d'IMPETUS est situé dans la partie sud de la HVO près du super site d'Aguima. Au moment de la rédaction du projet, le financement pour le fonctionnement du réseau est assuré jusqu'à fin 2009. Par ailleurs, 11 pluviomètres gérés par la Direction Météorologique Nationale (DMN) sont lus manuellement chaque matin.

Deux stations climatiques automatiques à Doguè et une troisième à Djougou facilitent l'analyse des variables météorologiques de surface lorsque dépassent les événements pluvieux. La station de flux du super site d'Aguima mesure de plus le vent, les profils de température, les profils d'humidité, le flux de chaleur sensible, les flux de chaleur du sol et l'humidité du sol.

Ce réseau dense permet d'étudier des lignes de grains, les principaux systèmes porteurs de pluie dans la zone soudanienne. En combinaison avec l'imagerie satellite, il est possible de classer les événements de pluie, d'analyser la convection et de calibrer les estimations des précipitations à partir de la luminosité des satellites, des températures ou des images micro-ondes. Des exemples sont décrits dans Fink et al. (2006), et Schrage et Fink (2007).

Instrumentation hydrologique

Le réseau hydrologique se compose des jauges du niveau d'eau (limnimètres), des sondes multiparamétriques (conductivité, turbidité, et température), des mesures du niveau des eaux souterraines (piézomètres), et des mesures de l'eau du sol. Outre les mesures du niveau d'eau réalisées par la Direction Générale de l'Eau (DG-Eau) à Ouémé-Beterou et à Térou-Wanou, 18 jauges du niveau d'eau (limnimètres) ont été installées depuis 1997 par le projet catch (IRD) dans la

HVO sur les fleuves Ouémé, Térou, et la Donga et sur leurs affluents. A toutes les stations de jaugeage, des mesures de débits sont effectuées régulièrement par le projet CATCH pour le calcul de la relation hauteur – débit. Les données de débits sont disponibles depuis 1950 pour les stations de la DG-Eau et depuis 1997 pour les stations de CATCH.

Afin d'analyser les processus de ruissellement et de transport de sédiments, trois sondes multiparamétriques ont été installées par le projet IMPETUS en 2003. La même année, 12 « plongeurs/piézomètres » ont été installés dans la HVO pour surveiller les fluctuations du niveau des eaux souterraines, dont 10 (plus un nouveau installé à l'automne 2007) enregistrent actuellement les niveaux d'eau. En outre, 16 enregistreurs de niveau d'eau gérés par le projet CATCH sont situés dans le bassin versant.

Enfin, un dense réseau de mesures, incluant cinq jauges de niveau d'eau, des sondes TDR, et des tensiomètres, a été installé dans les sous-versants (par exemple, le bassin versant d'Aguima) en vue d'analyser les processus hydrologiques à l'échelle locale.

Les données d'IMPETUS et de CATCH/AMMA, sont disponibles au niveau de la base de données AMMA sur le site <http://ammainternational.org/database>.

Il faut noter que les mesures au niveau des stations individuelles commencent à des moments différents, que les séries chronologiques de données contiennent diverses lacunes, et que les utilisateurs doivent nécessairement s'identifier sur la base de données AMMA pour obtenir les données.

Références

- Fink, A. H., Vincent, D. G. et Ermert, V. (2006): Rainfall Types in the West African Soudanian Zone during the Summer Monsoon 2002. *Mon. Wea. Rev.*, 134 (8), 2143–2164.
- Schrage, J. M. et Fink, A. H. (2007): Use of a Rain Gage Network to Infer the Influence of Environmental Factors on the Propagation of Quasi-Linear Convective Systems in West Africa. *Wea. Forecasting*, 22 (5), 1016–1030.

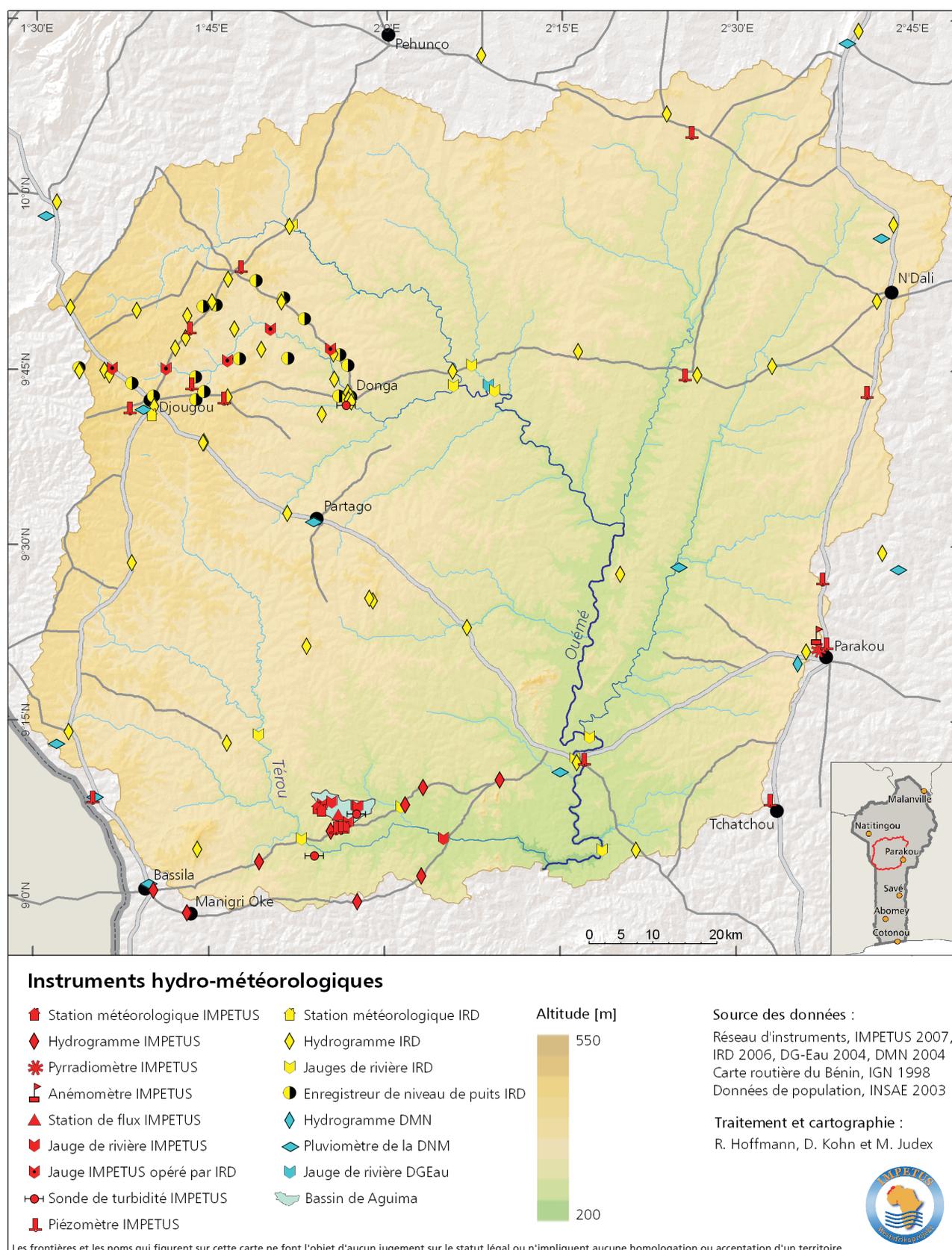


Fig. 1: Réseau d'instruments hydro-météorologiques dans la Haute Vallée de l'Ouémé, Bénin. Des informations complémentaires concernant le réseau d'instrumentation peuvent être trouvées sur les sites internet : <http://www.impetus.uni-koeln.de> (IMPETUS) et <http://medias.obs-mip.fr/amma> (AMMA-France).

Observation de l'hydrochimie et de la piézométrie dans le bassin versant de l'Ouémé

Antoine Kocher et Tobias El-Fahem

Pour parvenir à une caractérisation hydrogéologique du bassin versant de l'Ouémé, un certain nombre de points d'observation ont été sélectionnés. Les échantillons d'eau ont été prélevés à partir de puits et de forages en fonction de leur situation géologique et géographique, visant à une meilleure compréhension de la dynamique des eaux souterraines. En outre, un suivi piézométrique effectué sur plusieurs saisons a permis de caractériser la dynamique des niveaux de la nappe en diverses régions du bassin.

Echantillonnage de terrain et mesures

Au cours de plusieurs campagnes de terrain dans la partie supérieure du bassin de l'Ouémé (de 2004 à 2005) et dans l'ensemble du bassin versant (depuis 2007), des échantillons d'eau provenant des eaux souterraines et des eaux de surface ont été prélevés. La priorité a été donnée à la caractérisation chimique des eaux souterraines selon leur profondeur et en fonction de la saison. Durant l'année, le niveau de la nappe piézométrique varie de plusieurs mètres (Fig. 1) et peut se déplacer entre le système aquifère fracturé à la base et l'aquifère saprolitique sus-jacent. L'analyse des échantillons d'eau permet de déterminer différentes caractéristiques chimiques des deux aquifères.

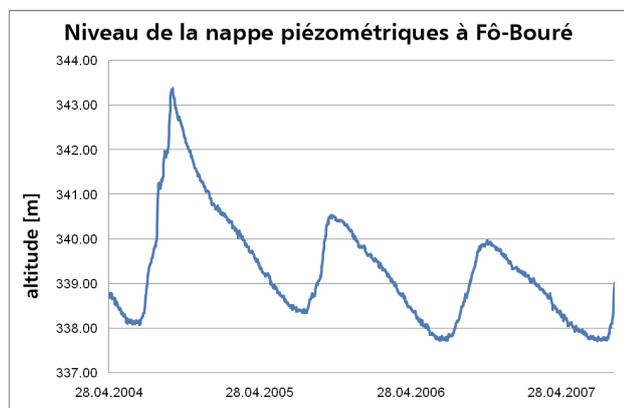


Fig. 1: Enregistrement du niveau piézométrique sur le site de Fô-Bouré, illustrant les fluctuations saisonnières de 2004 à 2007.

Les paramètres analysés sont les principaux cations et anions, ainsi que Br^+ , F^+ , NO_3^{2-} , NO_2^- , NH^+ , PO_4^{3-} , SiO_2 , Sr^{2+} , Fe^{2+} , et Mn^{2+} . En outre, les éléments (As, Ni, Cu, Cd, Pb) ont été examinés.

Une sélection d'échantillon d'eau souterraine a fait l'objet d'analyse des isotopes stable (deutérium et oxygène-18). Les isotopes stables des eaux de pluies de trois sites (Parakou, Djougou et Sérrou) ont également été déterminés.

L'objectif est de comprendre le mode de recharge des eaux souterraines dans la zone d'étude, de déterminer l'origine des eaux souterraines, et de caractériser la qualité physico-chimique générale des ressources en eau disponibles.

Le travail de terrain comprend également des mesures de la profondeur de la nappe, notamment manuelles, effectuées au cours de chaque campagne de terrain avec un indicateur lumineux. Des mesures piézométriques continues ont été faites par 12 enregistreurs automatiques de données installés dans des forages munis de pompes à pédales et des puits d'observation utilisés par la Direction de l'Hydraulique. Chaque enregistreur prend des mesures à 3 heures d'intervalle. Cela permet d'obtenir des données aux premières heures de la matinée quand le niveau de l'eau a recouvrer un état « naturel » suite au pompage ayant eu lieu dans la journée.

En résumé, les fluctuations de la nappe indiquent l'existence d'un système très dynamique dans lequel le stock global d'eau est très sensible aux variations saisonnières.

L'hydrochimie et les isotopes confirment l'importance des caractéristiques locales du système; de telle sorte que l'extension limitée de l'aquifère n'offre pas de grandes capacités tampon, qui pourraient protéger contre l'influence de facteurs externes tels que le changement du régime des précipitations ou des changements dans l'utilisation des sols à long terme.

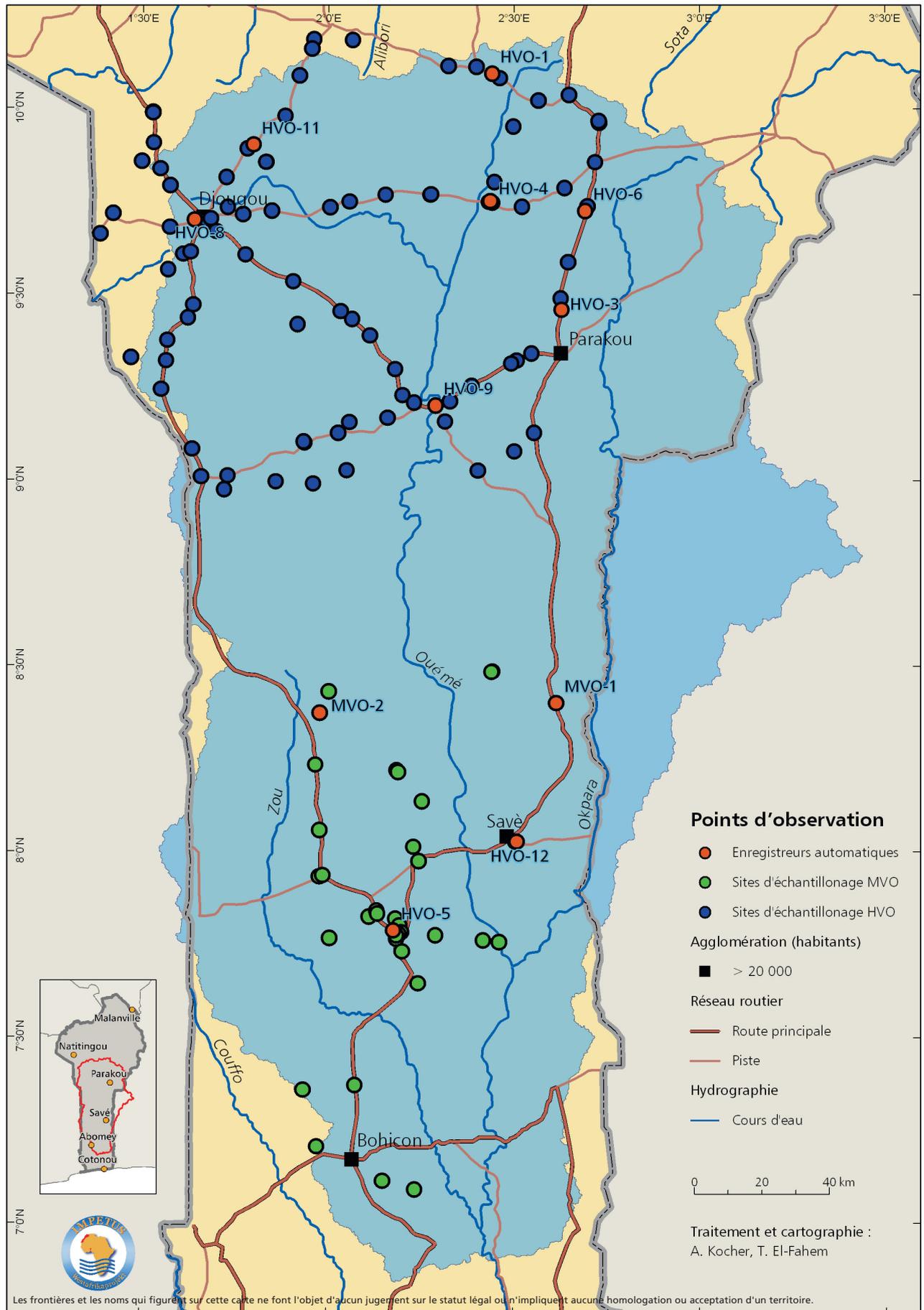


Fig. 2: Emplacement des sites d'échantillonnage des eaux souterraines, dans le bassin de l'Ouémé

Modélisation hydrologique aux échelles locale et régionale dans le bassin versant de l'Ouémé

Simone Giertz et Gero Steup

Les modèles hydrologiques sont des outils importants pour évaluer la disponibilité future de l'eau dans les bassins versants en simulant différents scénarii. Avant d'utiliser les modèles pour l'évaluation des scénarii, ils doivent être testés et validés dans la région cible. Seul un petit nombre de modèles hydrologiques a été appliqué aux bassins versants d'Afrique de l'Ouest. C'est pourquoi nous avons testé différents types de modèles dans le bassin de l'Ouémé afin d'évaluer leurs capacités à simuler des scénarii prospectifs relatifs à la disponibilité de l'eau.

Modélisation hydrologique à l'échelle locale

Le modèle physique SIMULAT a été appliqué à l'échelle locale dans une version où les pentes sont modifiées (SIMULAT-H; Giertz, 2004; Giertz et al., 2006a). A partir d'une base de données fiable (↗ 17), le modèle a été évalué à l'aide de multiples critères de validation en utilisant les données de débits, les composantes de débits et les données sur l'humidité du sol. Les débits simulés ont été validés au regard des résultats satisfaisants obtenus pour les années sèches (2001) et humides (2002) (Fig. 1 et Tableau 1). Les principales différences ont été observées au début de la saison pluvieuse.

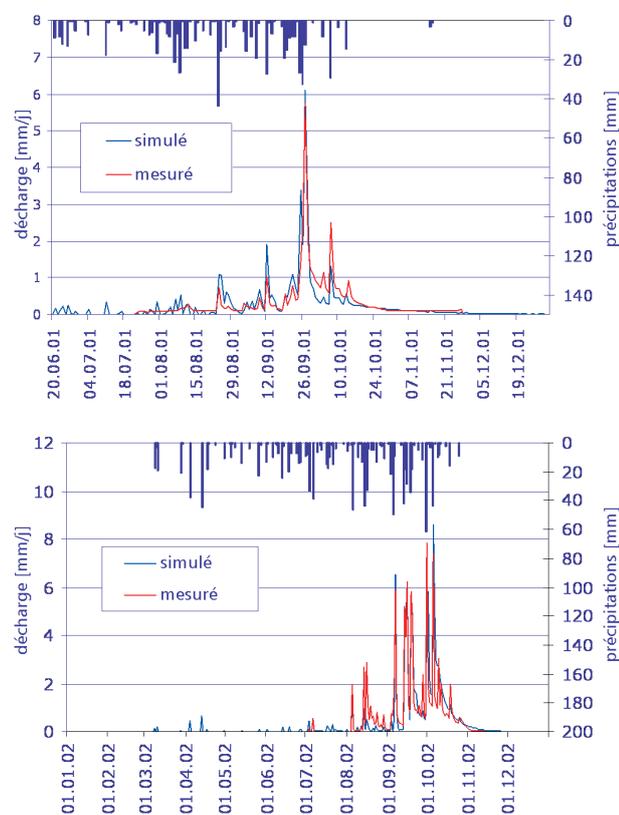


Fig. 1: Validation du débit, Aguima inférieur (16,5 km²), 2001 et 2002

Tableau 1: Mesures qualitatives de la validation du modèle, Aguima inférieur (16,5 km²)

	Q mesurée [mm]	Q simulée [mm]	Efficience du modèle	R ²	Indice d'acceptation
Indicateur test du bassin	139,6	132,5	0,86	0,87	0,96
Test échantillon fractionné	45,5	47,4	0,82	0,82	0,95

En comparant les composantes du débit déterminées par mesures hydrochimiques avec celles obtenues par simulation, il apparaît que le modèle avait correctement simulé le ratio des écoulements souterrains par rapport aux composantes de l'écoulement rapide.

Les composantes du débit ont été déterminées par des mesures géochimiques. Pour les composantes de l'écoulement rapide (ruissellement de surface et écoulement hypodermique), la valeur simulée était 69 %, tandis que les mesures indiquaient 73 %. Le débit de l'écoulement souterrain a été estimé à 27 %, tandis que le résultat de la simulation était de 31 %. De plus, la dynamique d'humidité des sols a été bien représentée par le modèle (Fig. 2).

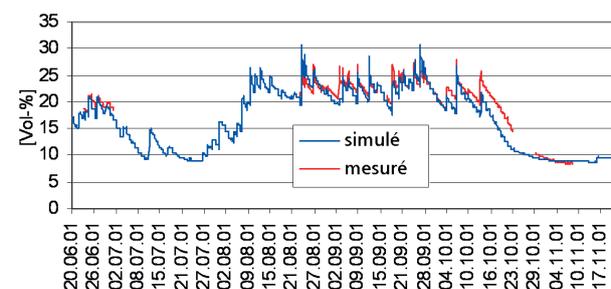


Fig. 2: Comparaison des humidités du sol simulée et mesurée pour l'horizon de surface du Lixisol (sol ferrugineux tropical lessivé) sous une végétation boisée dans l'Aguima supérieur

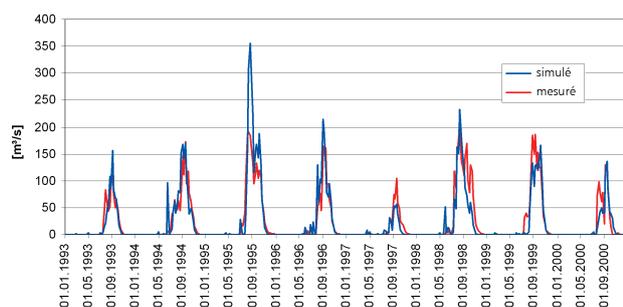


Fig. 3: Validation du débit, Térou-Wanou (3 060 km²), 1993 – 2000

Modélisation hydrologique à l'échelle régionale

À l'échelle régionale, le modèle conceptuel et distribué UHP-HRU a été appliqué (Giertz et al., 2006b). Il s'agit d'un modèle conceptuel qui prend en compte tous les processus hydrologiques pertinents comme l'évapotranspiration, le ruissellement, l'écoulement hypodermique, la percolation et la recharge des nappes souterraines. Le modèle est composé de trois réservoirs linéaires, zone de stockage racinaire, zone de stockage non saturée, et zone de stockage saturée, qui sont liés par la percolation et la remontée capillaire. L'évapotranspiration potentielle peut être calculée avec les approches de Penman, Turc ou Priestley/Taylor. Pour calculer le ruissellement, l'approche par les courbes de ruissellement SCS (Soil Conservation Service) a été utilisée.

UHP-HRU a été appliqué avec succès à différents sous-bassins versants du fleuve Ouémé et validé par rapport aux débits mesurés. Pour la plupart des bassins versants simulés, les résultats obtenus étaient bons ou satisfaisants (Tableau 2).

Après la validation du modèle pour différents sous-bassins versants et pour différentes années, les scénarii relatifs au climat et à l'utilisation des terres ont été simulés (↗ 16).

Tableau 2: Mesures qualitatives de l'application de l'UHP-HRU dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur (période de validation)

Rivière jaugée	Période simulée	Efficience du Modèle	R ²
Térou-Wanou	1993 – 2000	0,79	0,80
Térou-Saramanga	1998 – 2001	0,81	0,77
Térou-Igbomakoro	1998 – 2003	0,84	0,81
Aguima	1997 – 2003	0,70	0,69
Donga-Pont	1998 – 2003	0,73	0,72
Donga-Affon	1998 – 2002	0,81	0,80
Ouémé-Beterou	1997 – 2000	0,82	0,75

Références

- Giertz, S. (2004): Analyse der hydrologischen Prozesse in den sub-humiden Tropen Westafrikas unter besonderer Berücksichtigung der Landnutzung am Beispiel des Aguima-Einzugsgebietes in Benin. Thèse de doctorat, Université de Bonn.
- Giertz, S. et Diekrüger, B. (2006): Evaluation of three different model concepts to simulate the rainfall-runoff processes in a tropical headwater catchment in West Africa. *Geoöko*, 27, 117–147.
- Giertz, S., Diekrüger, B. et Steup, G. (2006a): Physically-based modeling of hydrological processes in a tropical headwater catchment in Benin (West Africa) – process representation and multi-criteria validation. *Hydrology and Earth System Sciences (HESS)*, 10, 829–847.
- Giertz, S., Diekrüger, B., Jaeger, A. et Schopp, M. (2006b): An interdisciplinary scenario analysis to assess the water availability and water consumption in the Upper Ouémé catchment in Benin. *Adv. Geosci.*, 9, 3–13.

Evaluation de l'impact des changements climatiques et d'utilisation des terres sur la disponibilité future de l'eau dans le bassin versant de l'Ouémé

Simone Giertz

Après avoir été validé avec succès, le modèle hydrologique UHP-HRU a été ensuite utilisé pour simuler différents scénarii climatiques et d'utilisation des terres pour le bassin supérieur de l'Ouémé. Pour le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou, seuls les scénarii climatiques ont été simulés, car aucun scénario de changement d'utilisation des terres n'était disponible.

Approche de modélisation de scénarii

Pour évaluer les effets du changement du climat et du changement d'utilisation des terres sur les futures ressources en eau dans le bassin versant de l'Ouémé, nous avons utilisé une approche de modélisation interdisciplinaire (Giertz et al., 2006). Dans le processus de modélisation de scénarii, les paramètres d'entrée relatifs au temps sont calculés avec d'autres modèles. La modélisation du changement dans l'utilisation des terres et de la couverture végétale (LUCC) est effectuée avec le modèle CLUE-S (↗ 40). Les scénarii climatiques sont simulés avec le modèle climatique régional REMO sur une grille de 55 km. Le modèle est imbriqué dans le modèle général de circulation (GCM) ECHAM. Afin d'utiliser les résultats de REMO (données de précipitation) pour la modélisation hydrologique, nous avons appliqué une approche statistique et dynamique de conversion descendante.

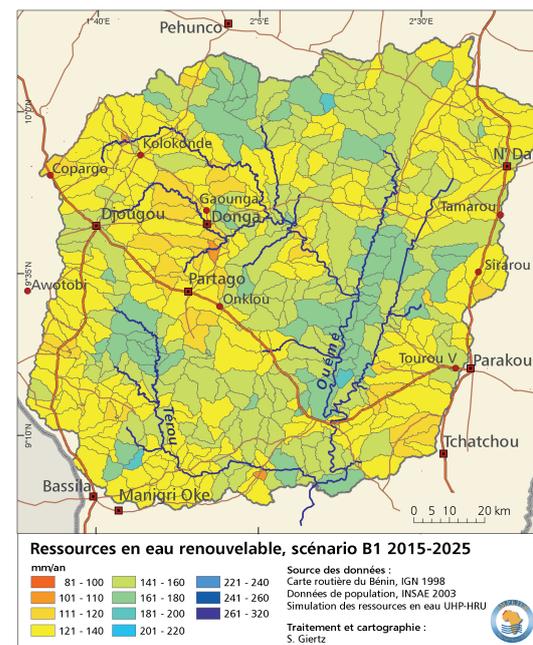
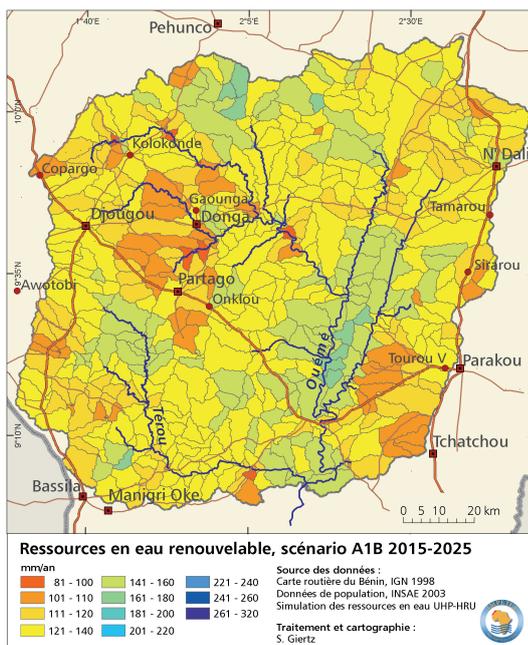
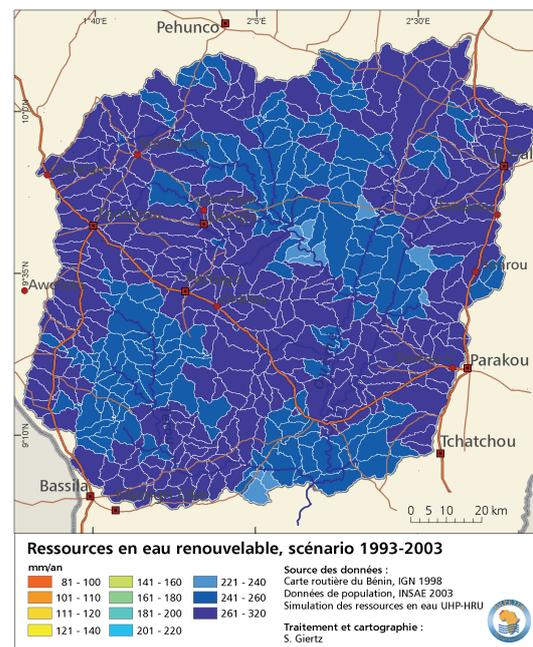


Fig. 1: Comparaison des ressources en eau renouvelables, telles que calculées pour 1993–2003 (ci-dessus) et pour les scénarii climatiques A1B (à gauche) et B1 (à droite) combinés au scénario d'utilisation des terres 2015–2025, maintien du statu quo

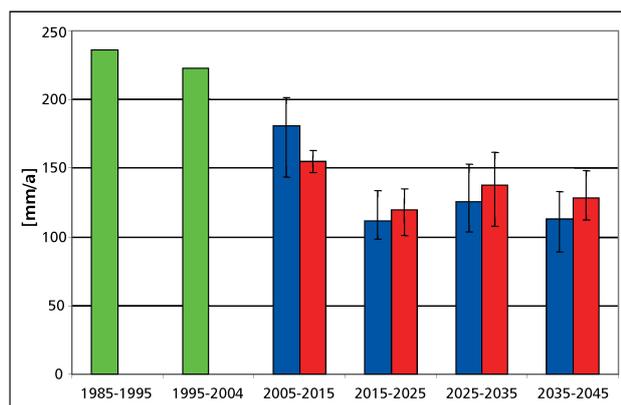


Fig. 2: Ressources en eau renouvelables dans le bassin versant de l'Ouémé-Bonou pour différentes décennies, les scénarii passés (en vert) et futurs A1B (en bleu) et B1 (en rouge)

Les scénarii climatiques A1B et B1 du GIEC étaient disponibles. Le scénario A1B décrit un monde plus globalisé, avec une forte croissance économique, tandis que le scénario B1 est caractérisé par une croissance plus durable.

Pour chaque scénario, trois séries de résultats ont été obtenues avec REMO. Afin de prendre en compte la variabilité des résultats de REMO, le modèle hydrologique a été lancé trois fois pour chaque scénario, et le résultat retenu correspond à la moyenne des trois exécutions.

Combinaison des scénarii d'utilisation des terres et des scénarii climatiques

Pour la Haute Vallée de l'Ouémé (HVO), nous avons simulé des scénarii combinés de changements dans l'utilisation des terres et dans le climat. Les deux scénarii climatiques ont été combinés avec le scénario d'utilisation des terres appelé « business as usual » (« maintien du statu quo »). La Figure 1 compare la moyenne des ressources en eau renouvelables (débit du cours d'eau et recharge des nappes souterraines)

pour la période 1993–2003 et le scénario A1B pour la période 2015–2025. Le scénario montre une forte réduction de la quantité d'eau disponible en raison d'une baisse des précipitations et de l'augmentation de la température. Pour le scénario B1, la réduction de la quantité d'eau disponible a été moins importante que pour le scénario A1B. Tandis que pour l'ensemble de la HVO, la disponibilité moyenne en eau était d'environ 262 mm/an pour la décennie 1993–2003, les simulations indiquent seulement 129 mm/an pour A1B et 141 mm/an pour B1 (2015–2025).

Scénarii climatiques pour l'Ouémé-Bonou

Le modèle UHP-HRU a également été appliqué à l'ensemble du bassin versant de l'Ouémé. Puisqu'aucun scénario de changement dans l'utilisation des terres n'était encore disponible, les scénarii climatiques ont été calculés en supposant une utilisation constante des terres.

La Figure 2 montre les résultats de la modélisation des scénarii climatiques. A l'instar des résultats obtenus pour le bassin versant supérieur de l'Ouémé, la quantité d'eau renouvelable diminue pour les deux scénarii futurs par rapport aux décennies passées. La plus forte diminution est observable pour le scénario A1B, et est causée par une baisse extrêmement importante des précipitations dans la région. Dans le scénario B1, plus durable, la diminution des ressources en eau est également importante par rapport aux dernières décennies, mais moins élevée que pour A1B. Les limites d'incertitude indiquent les valeurs minimum et maximum obtenues lors des trois exécutions du modèle.

Références

Giertz, S., Dieckrüger, B., Jaeger, A. et Schopp, M. (2006): An interdisciplinary scenario analysis to assess the water availability and water consumption in the Upper Ouémé catchment in Benin. *Adv. Geosc.*, 9, 3–13.

Acquisition d'une base de données pour l'analyse de processus hydrologiques dans le bassin versant d'Aguima

Simone Giertz et Gero Steup

Durant la première phase du projet IMPETUS, la plupart des activités de recherche concernant l'hydrologie, l'hydrogéologie, les sciences du sol, la dynamique de la végétation et l'agriculture ont été menées dans le bassin versant d'Aguima, qui est situé au sud du bassin versant supérieur de l'Ouémé (Fig. 1). Ce bassin a été choisi comme le principal site d'expérimentation du projet car il est représentatif de la géologie, des sols et de la végétation de la région. Puisqu'aucune donnée hydrologique n'était disponible pour le bassin au début du projet, plusieurs instruments de mesure ont été installés et des mesures manuelles de terrain ont été réalisées en vue de créer une base de données adéquate pour une analyse hydrologique (↗ 18).

Introduction

Afin d'analyser les processus hydrologiques, des mesures de débits, d'humidité du sol, du potentiel de l'eau du sol et des propriétés physiques du sol ont été effectuées, principalement dans deux sous-bassins versants du bassin de l'Aguima (Niaou supérieur et Aguima supérieur), dans lesquels l'utilisation des terres est différente. Dans les deux bassins versants, les données climatiques ont été obtenues à l'aide de stations météorologiques automatiques. La Figure 1 montre les sites de mesures hydrologiques du bassin versant de l'Aguima et le Tableau 1 résume les activités de mesures dans le bassin d'Aguima au cours du projet IMPETUS.

Mesures de débit

Les mesures de débits servent de base pour les analyses hydrologiques et pour la validation des modèles. Dans le bassin versant d'Aguima, quatre jauges du niveau d'eau ont été installées en 2001, et un autre en 2002. Le niveau de l'eau (mesuré avec un flotteur ; Thalimède, société Ott, Allemagne) a été enregistré à intervalles de 10 mn par un enregistreur automatique de données. Les débits ont été mesurés à différents niveaux de l'eau suivant la méthode par zones de vitesses en utilisant un capteur électromagnétique de débit (Nautilus, société Ott, Allemagne). A l'aide de ces données, la relation hauteur-débit a été déterminée pour chaque jauge.

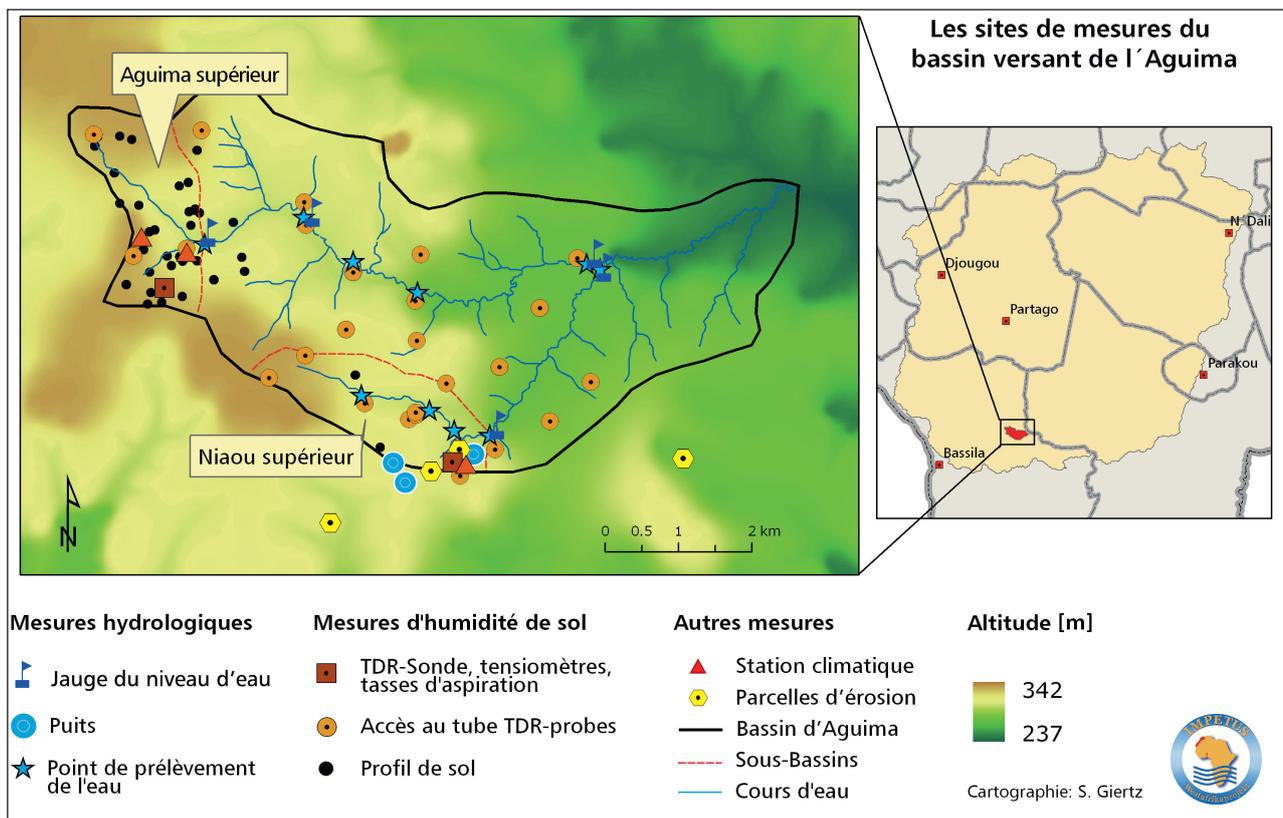


Fig. 1: Les sites de mesures du bassin versant de l'Aguima

Tableau 1: Aperçu des mesures dans le bassin versant d'Aguima

Paramètre mesuré	Capteur	Nombre	Résolution temporelle	Période
Données climatiques				
Précipitations	Pluviomètre à augets basculeurs	3	10 min	Juin 2001 – 2007
Données climatiques	Stations climatiques Campbell	3	10 min	Juin 2001 – 2007
Hydrologie de surface				
Tirant d'eau / débit	Flotteur, capteur de débit électromagnétique	5	10 min	Juin 2001 – 2007
Conductivité électrique	Capteur automatique de la conductivité électrique	2	10 min	22. 08. 02 – 31. 10. 02
Ruissellement	Parcelles d'érosion	6	Basé sur l'événement pluvieux	Saisons pluvieuses 2001 et 2002
Dynamique de l'eau du sol				
Humidité du sol, tension de l'eau du sol	Sondes TDR, Tensiomètres	4 parcelles à 4 profondeurs	10 min	Juin 2001 – 2004
Humidité du sol	Sonde TDR mobile	3 transects	par semaine	Mars 2002 – Novembre 2002
Humidité du sol	Tube d'accès des sondes	35 tubes, 3 – 7 profondeurs de mesures	par semaine	Juin 2001 – 2004
Propriétés physiques du sol				
Mesures d'infiltration	Double anneaux, anneau simple, infiltromètre	15 parcelles		Campagne de mesures 2001 – 2003
Propriétés physiques du sol (K_{sat} , K_u , pF, densité apparente)	Différentes méthodes de laboratoire	50 profils de sol		Campagne de mesures 2001 – 2003

En vue de déterminer les composantes du débit, des sondes de conductivité ont été installées au niveau des jauges des bassins versants de l'Aguima supérieur et du Niaou supérieur en 2002. Ces données ont été utilisées pour analyser les composantes du débit de bassins versants présentant des utilisations des terres différentes.

Mesures climatiques

La densité des stations climatiques au Bénin est très faible. Les données climatiques étant nécessaires pour les analyses hydrologiques et pour la modélisation, trois stations climatiques ont été installées dans le bassin d'Aguima. Une de ces stations est située sur une petite colline (inselberg), et les autres ont été installées dans les sites de végétation (savane, champ de maïs / jachère). Toutes les données ont été enregistrées à intervalles de 10 min.

Dynamique de l'eau du sol

Des sondes TDR et des tensiomètres ont été mis en place sur quatre parcelles avec différentes utilisations des terres (champ de maïs, champ de coton, savane dense, forêt claire). Les sondes ont été installées à quatre profondeurs (0–20, 30–50, 80–100 et 120–140 cm). La mise en place des mesures sur les parcelles est représentée par la Fig. 2. En outre, 38 tubes d'accès aux sondes ont été installés pour mesurer la différence spatiale dans l'utilisation des terres. Les emplacements de ces tubes sont indiqués sur la Fig. 1.

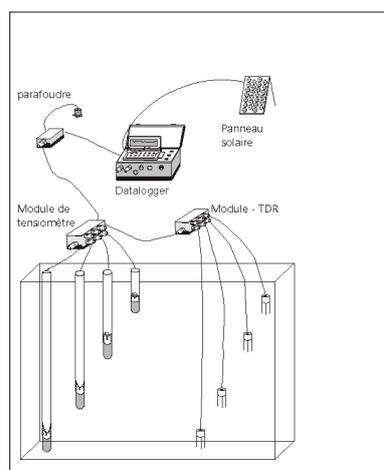


Fig. 2: Schéma d'installation des parcelles de mesure de l'eau du sol

Ces données ont été utilisées pour analyser la dynamique de l'eau du sol pour des terres étant utilisées différemment et pour valider le modèle hydrologique local.

Références

- Giertz, S. et Diekrüger, B. (2003): Analysis of the hydrological processes in a small headwater catchment in Benin (West Africa). *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 1333–1341.
- Giertz, S. (2004): Analyse der hydrologischen Prozesse in den sub-humiden Tropen Westafrikas unter besonderer Berücksichtigung der Landnutzung am Beispiel des Aguima-Einzugsgebietes in Benin. Thèse de doctorat, Université de Bonn.

Analyse des impacts des changements dans l'occupation du sol / dans l'utilisation des terres sur le cycle de l'eau

Simone Giertz et Gero Steup

La couverture végétale joue un rôle important dans le cycle de l'eau. Durant la première phase du projet IMPETUS, les impacts des changements dans la couverture végétale/dans l'utilisation de terres sur les processus hydrologiques ont été analysés dans deux sous-bassins versants de l'Aguima : le bassin versant supérieur d'Aguima (3,2 km²), caractérisé par une végétation naturelle (principalement une savane arborée) et le bassin versant supérieur de Niaou (3,1 km²) qui est dominé par les terres utilisées pour l'agriculture. Dans les deux bassins versants, le débit, la dynamique de l'eau du sol et les propriétés physiques du sol ont été mesurés pour servir des analyses hydrologiques (↗ 17).

Impact de la couverture végétale sur les propriétés physiques du sol

La couverture végétale a un impact majeur sur les propriétés physiques du sol. Les mesures in situ de la conductivité hydraulique saturée au moyen d'infiltromètres à anneaux double et simple, et de perméamètre à capot ont été effectuées sur des parcelles avec différentes utilisations des terres dans le bassin versant d'Aguima. Huit mesures au moins ont été effectuées sur chaque parcelle. Les résultats (Fig. 1) montrent que la conductivité saturée est plus faible sur les parcelles cultivées que sur les parcelles recouvertes par une végétation naturelle. Ceci s'explique par le fait que l'activité de la microfaune du sol est réduite sur les sites

cultivés (Giertz et al., 2005) ce qui conduit à une réduction des macropores dans le sol, lesquels ont un impact majeur sur la conductivité saturée.

En outre, la conductivité saturée a été mesurée sur des échantillons de sol prélevés à différentes profondeurs du sol. Les mesures ont révélé que les perméabilités des horizons du sous-sol des types de sols dominants (Plinthosol et Lixisol/Acrisol) sont faibles, entraînant un écoulement latéral (écoulement hypodermique) dans ces sols (Tableau 1).

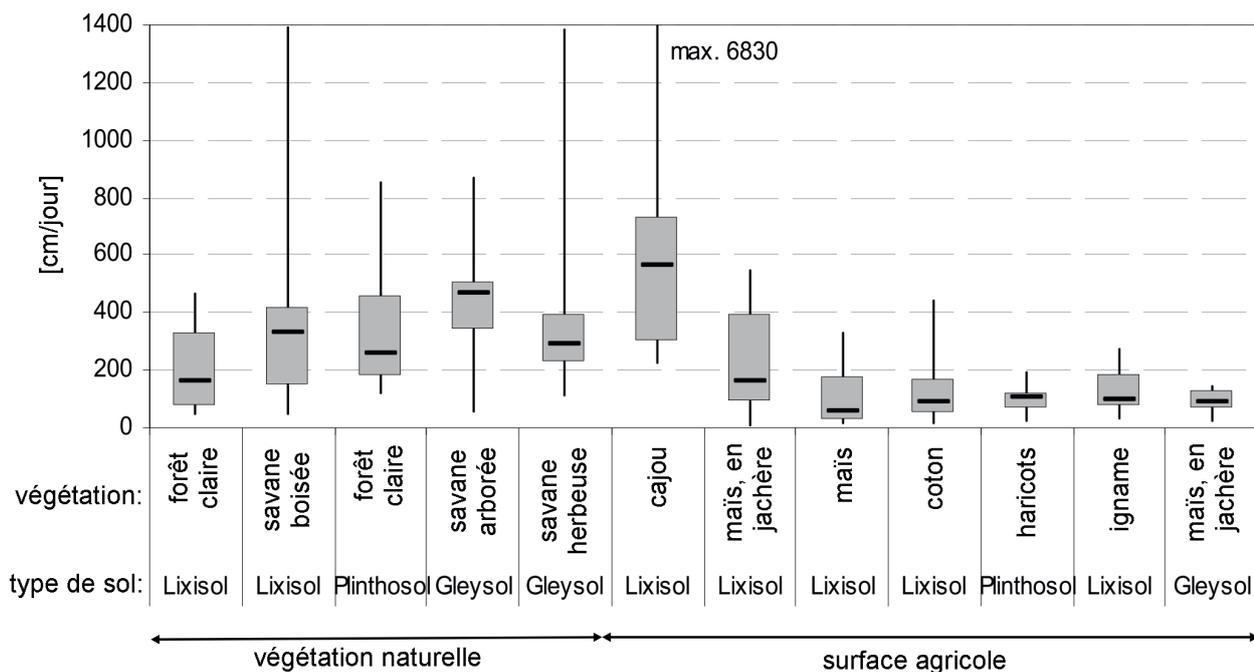


Fig. 1: Parcelles de mesures in situ de conductivité saturée pour les différentes occupations des terres et types de sol. Barre horizontale : médiane, longueur de la boîte : intervalle inter-quartiles, traits verticaux : minimum et maximum

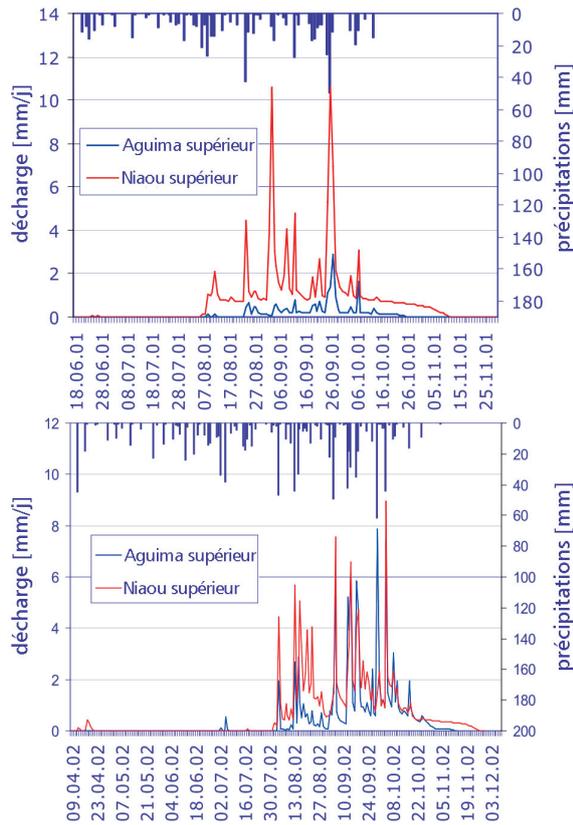


Fig. 2: Hydrographes des bassins supérieurs d'Aguima et de Niaou pour 2001 et 2002

Impact de la couverture végétale sur le débit de la rivière

La comparaison des hydrographes des sous-bassins versants étudiés (Fig. 2) montre des débits plus élevés et des pics de débits plus prononcés dans le bassin versant à usage agricole (Niaou). La différence est particulièrement remarquable durant l'année sèche 2001 (Tableau 2).

La principale raison expliquant ce volume d'écoulement et ce débit de pointe plus élevés est l'augmentation du ruissellement de surface dans les champs par rapport à la végétation naturelle. Cette situation est causée par une réduction de la perméabilité de la surface des sols dans les champs; ce qui a été révélé par les mesures d'infiltration sur des terres occupées différemment et pour différents types de sol (Fig. 1).

D'autres raisons qui expliquent le volume accru d'écoulement dans les bassins versants agricoles sont la diminution de l'évapotranspiration (à cause de la faible densité de végétation) et une diminution de la capacité de rétention en eau du sol. Ceci est causé par la réduction de l'épaisseur du sol due à l'érosion du sol, qui a été montrée par Giertz et al. (2005).

Les principaux processus hydrologiques basés sur les mesures de terrain et les observations sont résumés à la Figure 3.

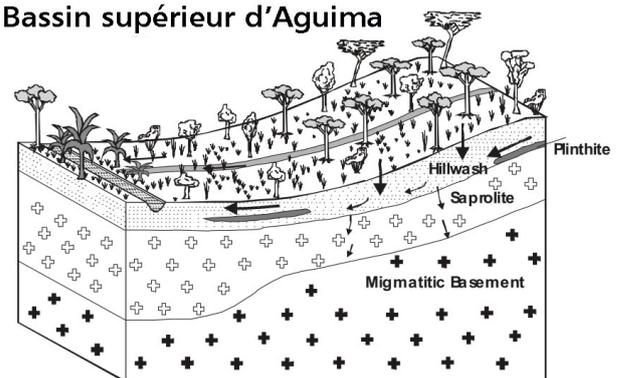
Tableau 1: Conductivité saturée des Lixisols dans le bassin d'Aguima (mesures de laboratoire sur des carottes de sol)

horizon	n	conductivité saturée moyenne [cm/jour]	
		champ	végétation naturelle
Ah/Ap	64	17,17	64,85
E	46	30,89	33,21
Btc	45	55,81	112,98
Ct	38	13,02	24,46

Tableau 2: Bilans hydriques des années 2001 et 2002

	précipitation saisons pluvieuses (Juin – Octobre)	débit Aguima supérieur	débit Niaou supérieur
2001	609 mm	23 mm	136 mm
2002	820 mm	109 mm	160 mm

Bassin supérieur d'Aguima



Bassin supérieur de Niaou

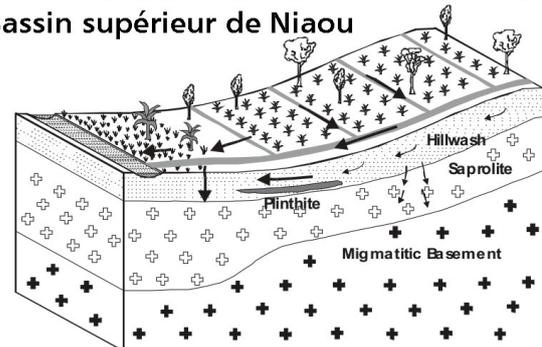


Fig. 3: Processus hydrologiques dans deux sous-bassins d'Aguima

Références

- Giertz, S. et Diekrüger, B. (2003): Analysis of the hydrological processes in a small headwater catchment in Benin (West Africa). *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 1333–1341.
- Giertz, S., Junge, B. et Diekrüger, B. (2005): Assessing the effects of land use change on soil physical properties and hydrological processes in the sub-humid tropical environment of West Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30, 485–496.

19 Approvisionnement en eau potable au Bénin

Moritz Heldmann et Martin Doevenspeck

L'eau potable au Bénin est tirée de sources très diverses, allant des eaux de surface à l'eau courante du robinet. La SONEB (Société Nationale des Eaux du Bénin), qui est une société publique fournit l'eau courante dans les villes, tandis que la DG-Eau (Direction Générale de l'Eau), un autre service public, est responsable de l'eau dans les zones rurales, où aucun approvisionnement principal n'existe. L'accès limité à l'eau potable et les disparités spatiales de l'offre caractérisent encore la situation de l'eau au Bénin.

L'approvisionnement en eau potable au Bénin

Les données sur l'approvisionnement en eau à l'échelle nationale sont disponibles grâce au recensement national de 2002 (INSAE, 2003). Bien que les données ne révèlent pas la complexité de la situation de l'eau potable, qui se caractérise par l'usage de diverses sources par les mêmes utilisateurs à différentes périodes et en différents lieux, il donne une vue d'ensemble sur l'approvisionnement en eau potable au Bénin. Pendant le recensement, les chefs de ménage ont été questionnés sur leur principale source d'eau potable. Même si l'accent a été mis sur « la principale source », il est fort probable que d'autres sources d'eau potable en dehors de celles qui sont mentionnées soient utilisées par les mêmes ménages.

Toutefois, les cartes dessinées à partir de ces données (à l'échelle des Arrondissements) révèlent les fortes disparités géographiques concernant l'approvisionnement en eau.

Les sources d'eau potable

Les différents types de sources d'eau potable peuvent être grosso modo rangés en sources plutôt salubres et sources plutôt insalubres (Tab. 1 et 2, ↗21). Seulement 54,5 % des ménages au Bénin boivent principalement de l'eau plutôt salubre. Dans les zones rurales, il s'agit notamment de l'eau des pompes, des citernes et des bornes fontaines (↗21). L'eau courante, considérée comme la plus saine source d'eau, est disponible uniquement dans les villes, et donc dans une très petite partie du pays (Fig. 1).

Même dans les villes, de nombreuses personnes ne disposent pas de leur propre robinet d'approvisionnement en eau, mais vont plutôt acheter de l'eau auprès des personnes qui sont connectées au système d'approvisionnement. Il y a même un marché informel de l'eau courante en pleine croissance autour des agglomérations urbaines au Bénin.

Tableau 1: Ménages utilisant principalement de l'eau plutôt salubre (INSAE, 2003)

Eau courante (branchement)	Achat externe de l'eau cour.	Borne fontaine	Pompe	Citerne
9,8 %	21,3 %	5,7 %	15,3 %	2,4 %
54,5 % (de tout les chefs de ménages)				

Les sources d'eau plutôt insalubre

Les sources d'eau de surface comme les rivières, les étangs et les puits peuvent être considérés comme des sources d'eau qui sont susceptibles d'être insalubre, voire dangereuses : 45,5 % des ménages du Bénin utilisent principalement ces sources d'eau insalubres. Même les puits modernes sont souvent contaminés (↗21).

A côtés de certaines régions du Sud-est du Bénin, comme la Basse Vallée de l'Ouémé, l'eau insalubre est un problème majeur au centre et au nord du pays. Pour un nombre important de ménages, les eaux de surface des rivières, des étangs ou des petits trous d'eau constituent encore la principale source d'eau de boisson. Il existe plusieurs raisons à cette situation, mais dans de nombreux villages, les pompes d'eau ou encore les puits modernes sont inexistantes ou ne contiennent pas assez d'eau durant les différentes saisons.

Tableau 2: Ménages utilisant principalement de l'eau plutôt insalubre (INSAE, 2003)

Puits protégé	Puits non protégé	Eau de surface (fleuve, étangs)	Autre source	non determ.
8,2 %	22,3 %	13,0 %	0,7 %	1,3 %
45,5 % (de tous les chefs ménages)				

Références

INSAE (2003): Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation. Cotonou.

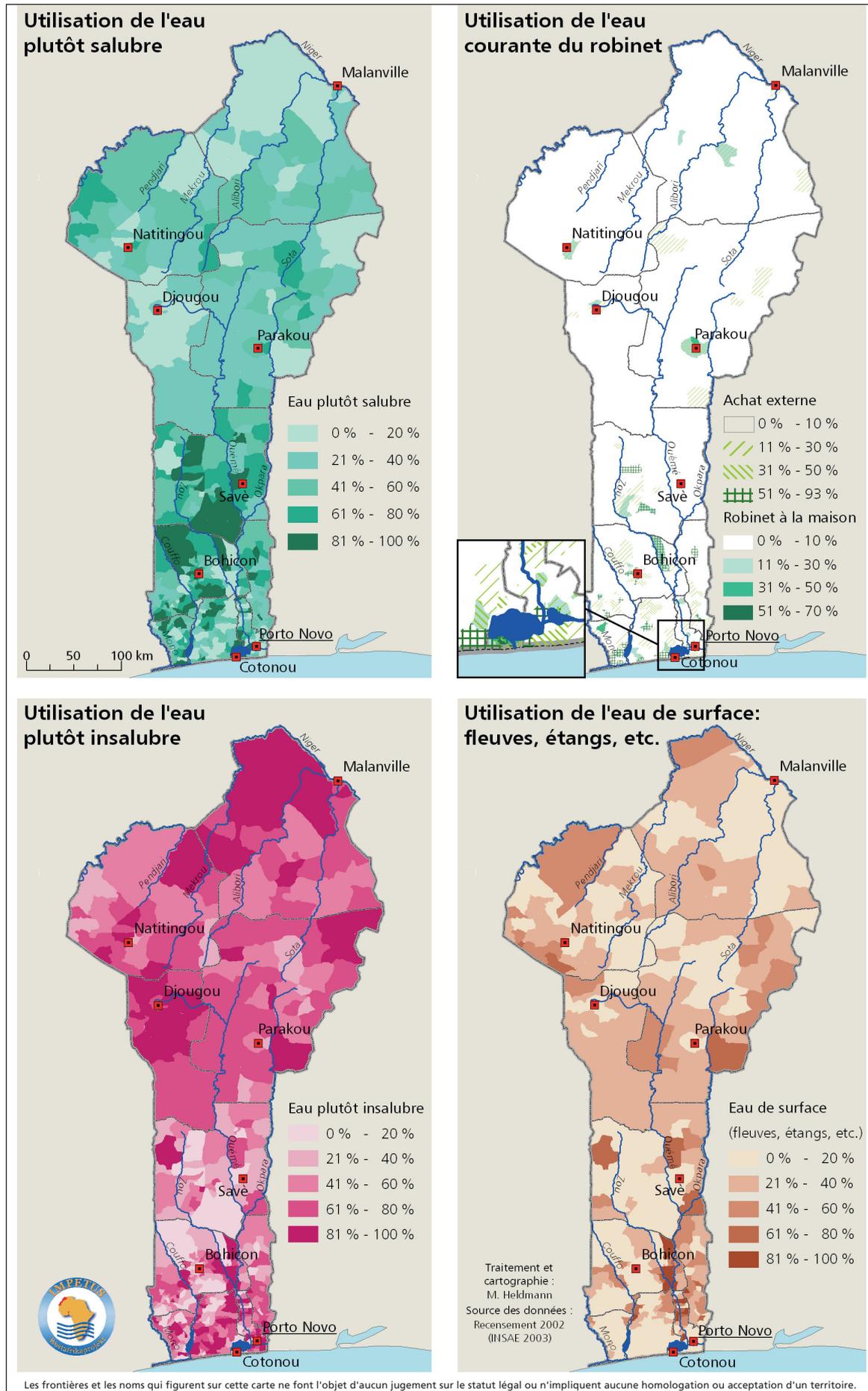


Fig. 1: Approvisionnement en eau potable au Bénin

Approvisionnement en eau potable dans le bassin de l'Ouémé supérieur

Farouk Mazou, Alexandra Uesbeck et Rainer Baginski

Le milieu rural africain constitue un lieu privilégié pour toute une série de maladies gastro-intestinales liées à l'environnement et notamment à un approvisionnement en eau de boisson insalubre. Au Bénin, deux ménages sur cinq n'ont pas accès à une eau potable saine. Des analyses bactériologiques et virologiques des différentes sources d'eau ont été effectuées pour avoir un aperçu de la qualité de l'eau potable dans une partie de la région du bassin de l'Ouémé supérieur comprise entre les villes de Parakou, de Bassila et de Djougou.

Différents types de sources d'eau

Lors d'une première étape dans l'estimation des bactéries d'origine hydrique et des agents responsables de maladies virales, toutes les sources d'approvisionnement en eau, situées à l'intérieur du triangle Parakou/Bassila/Djougou ont été localisées. Les coordonnées GPS de ces sources ont été prises, les caractéristiques des puits et des pompes enregistrées et leur cadre environnemental documenté.

Cette base de données totalisant plus de 1 200 sources d'eau douce (Fig. 5) révèle que 89 % de l'ensemble des sources utilisées comme eau potable sont des puits à ciel ouvert (traditionnels et modernes), représentant ainsi le type de source d'eau potable le plus fréquent. Les « Marigots » – les

étangs et les lacs – représentent 4,5 % des sources, tandis que les forages munis de pompes ne représentent que 5 % des sources d'eau enregistrées. Certains villages n'ont pas du tout accès à l'eau potable des forages munis de systèmes de pompe. L'eau des puits ouverts ne possédant pas de margelle ou de couvercle peut facilement être contaminée par des bactéries ou des virus drainés par infiltration des eaux de ruissellement ou lors d'inondations ou encore par l'introduction de « puisettes » stockées dans de mauvaises conditions d'hygiène et utilisées pour puiser l'eau.



Fig. 1: Puits traditionnel



Fig. 2: Puits moderne



Fig. 3: Petit lac, traditionnellement appelé marigot



Fig. 4: Pompe à motricité manuelle

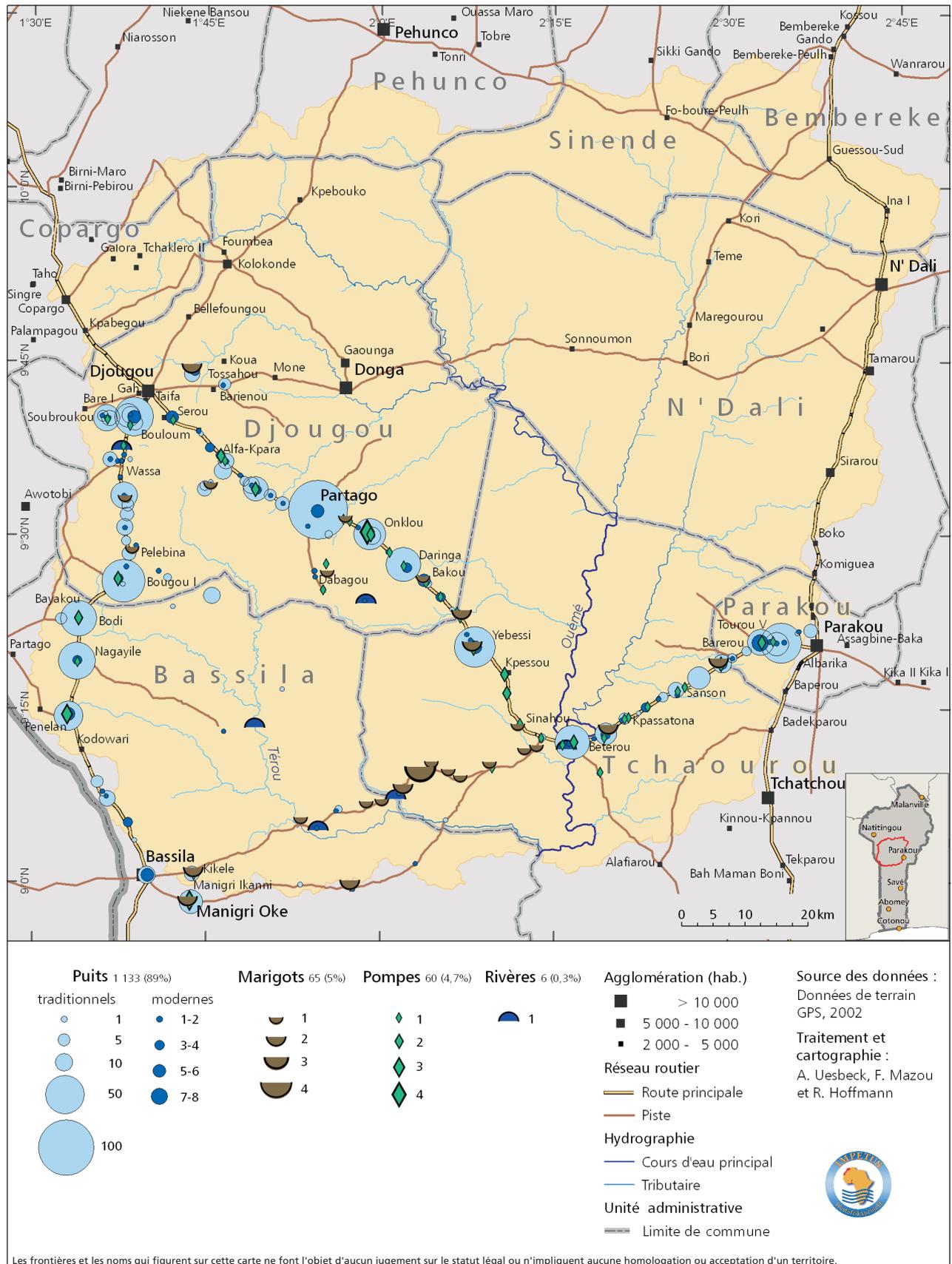


Fig. 5: Les types d'approvisionnement en eau potable dans le bassin de l'Ouémé Supérieur

Analyse bactériologique des sources d'eau de boisson dans le bassin de l'Ouémé supérieur

Alexandra Uesbeck, Rainer Baginski et Farouk Mazou

Dans le monde entier, plus de 1,2 milliard de personnes n'ont pas accès à un approvisionnement amélioré d'eau potable et par conséquent, plus de 2 millions de personnes, pour la plupart des enfants, meurent chaque année de maladie diarrhéique liée à la qualité inappropriée de l'eau et à l'hygiène. Plusieurs germes pathogènes peuvent causer des maladies infectieuses d'origine hydrique telle que la fièvre typhoïde, les gastro-entérites ou le choléra. Puisque la proportion de bactéries dans l'eau de consommation n'est plus régulièrement contrôlée par les autorités nationales en charge de l'eau, cette étude a pour but d'analyser la qualité des différentes sources d'eau dans les milieux ruraux au Bénin.

Les germes pathogènes d'origine hydrique

L'eau des différentes sources d'eau de consommation du bassin versant de l'Ouémé supérieur a été prélevée pour mettre en évidence l'existence d'agents infectieux. Les germes pathogènes comme *Yersinia sp.*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella*, *Shigellae* et espèce de *Clostridium* peuvent être à l'origine des maladies infectieuses telles que les fièvres entériques, la fièvre typhoïde, les gastro-entérites, la dysenterie, la septicémie et le choléra qui constituent un problème majeur pour les enfants, les personnes âgées et sous-alimentés.

Les résultats d'analyse bactériologique révèlent que 70 % environ de toutes les sources d'eau de surfaces ouvertes, tels que les rivières, les marigots et plusieurs types de puits

sont contaminés par les bactéries d'origine fécale (comme les bactéries coliformes et *E. coli*). La présence de ces bactéries d'origine fécale dans l'eau de consommation indique une probable source de contamination de l'eau par des germes pathogènes comme *Vibrio cholerae* ou *Salmonella Typhi*.

De toutes les sources d'eau de consommation examinées, 8 % sont contaminés par des *Salmonelles* entériques (Fig. 1). Ces *Salmonelles* sont largement présentes dans l'environnement, avec pour origine l'appareil digestif d'êtres humains et une grande gamme d'animaux, y compris les volailles, les vaches, les cochons, les moutons, les oiseaux et aussi les reptiles. L'introduction habituelle des germes pathogènes dans les systèmes d'eau à travers la contamination fécale

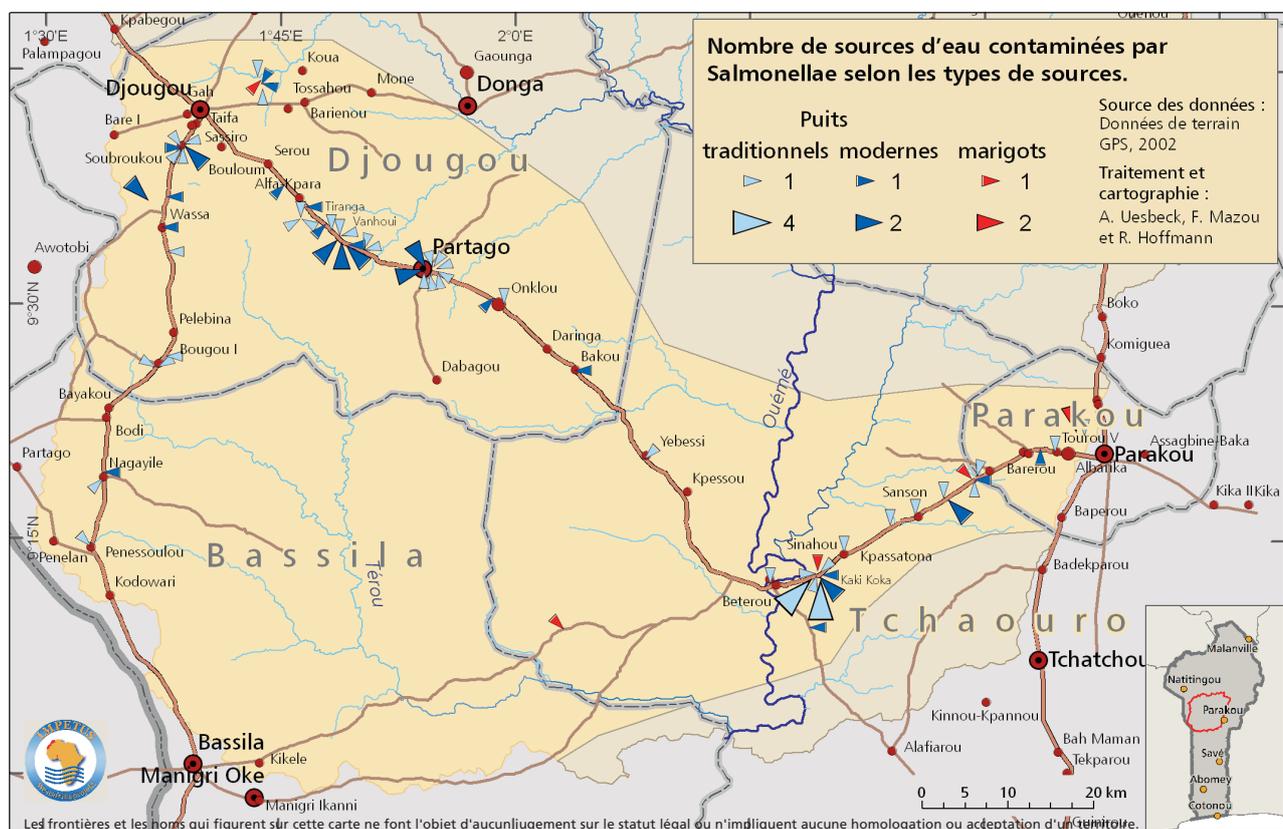


Fig. 1: Sources de l'eau contaminées par Salmonellae dans le HVO (2005)

provient des égouts, des décharges, du bétail et des animaux sauvages. Par contre, les échantillons d'eau prélevés dans les systèmes de pompes fermées n'étaient pas contaminés.

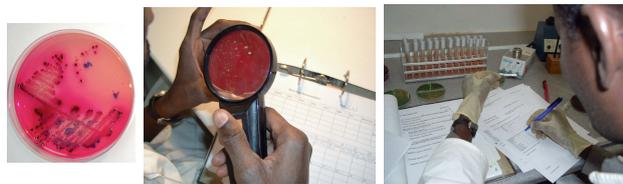


Fig. 2: Les *Salmonellae* sur milieu sélectif de plat de gélose au sang et détermination du biotype des bactéries

Détection des bactéries dans les échantillons d'eau

Les contaminants bactériens ont été isolés à partir d'échantillons d'eau, cultivés sur milieux sélectifs et identifiés biochimiquement dans notre laboratoire à Parakou. De plus, l'identification a été exécutée suivant les méthodes sérologique, biochimique et génétique à l'Institut de Microbiologie Médicale, Immunologie et Hygiène à Cologne (IMMIH).

Étude du cas dans le village de Kaki Koka

Dans le village de Kaki Koka, les *Salmonelles* ont été détectées dans six sources d'eau de boisson sur un total de 22 (Fig. 3). Pour trouver un rapport entre les affections diarrhéiques et la contamination de l'eau, des échantillons de selles de 357 habitants consommant l'eau de ces sources, ont été analysés. Les résultats ont révélé que 2 % des habitants sont porteurs des *Salmonelles*. Pour apprécier leur situation actuelle de santé et les habitudes socio-médicales, les données du questionnaire ont été rassemblées à Kaki Koka. Ils montrent une haute prédominance de diarrhée et d'autres maladies gastro-intestinales.

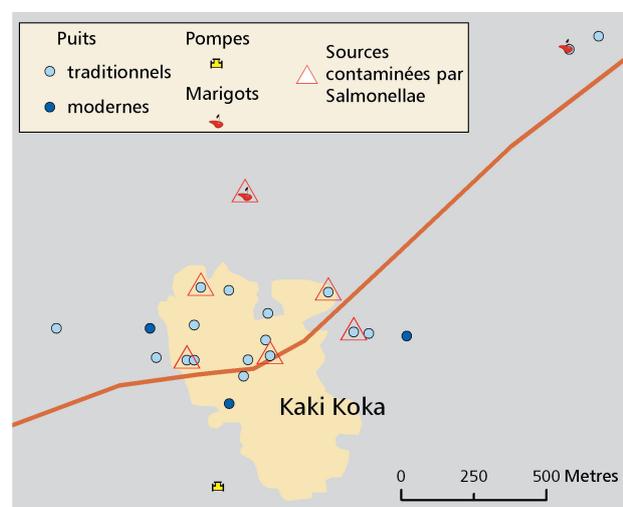


Fig. 3: Eau approvisionnée contaminée à Kaki Koka, 2004

Système sanitaire et désinfection de l'eau

En collaboration avec l'ONG CARITAS, l'effet de la désinfection de l'eau par le chlore a été examiné. Les échantillons d'eau pris ont été analysés en même temps puis une nouvelle analyse a été effectuée après plusieurs semaines de désinfection. Les premiers résultats ont montré que, quelques jours seulement après une désinfection réussie, la plupart des puits présente une nouvelle contamination bactérienne. Ce retour des contaminations peut être dû aux « puisettes » qui sont utilisées pour puiser l'eau et souvent stockées en contact direct avec les animaux et les fèces après usage.

En coopération avec le projet Suisse HELVETAS, l'effet de la restauration des puits à grand diamètre sur la qualité de l'eau des puits ouverts a été recherché: des puits traditionnels dans 15 villages ont été modifiés par la pose d'une pompe à motricité humaine et la fermeture complète du puits. La sensibilisation sur l'hygiène de ces pompes conduite par IMPETUS a révélé qu'après plusieurs mois, le niveau d'insalubrité fécale a été considérablement réduit (Tableau 1).

Tableau 1: Suivi hygiénique de puits restaurés

Village	Contamination avant modification	Contamination après modification
Sakarou	20 <i>E. coli</i> / ml > 500 coliform bacteria / ml	0 <i>E. coli</i> / ml 5 coliform bacteria / ml
N'Dali	33 <i>E. coli</i> / ml > 500 coliform bacteria / ml	0 <i>E. coli</i> / ml 0 coliform bacteria / ml
Kpari	0 <i>E. coli</i> / ml > 500 coliform bacteria / ml	0 <i>E. coli</i> / ml 5 coliform bacteria / ml

Références

- UNDP (2006): The 2006 Human Development Report.
- WHO (2006): Guidelines for drinking water quality.

Contamination virale des sources d'eau potable

Jens Verheyen et Herbert Pfister

Les virus liés à la diarrhée ou à l'hépatite ont un impact majeur sur la santé publique dans les pays en développement et peuvent être retrouvés dans tous les types d'échantillons environnementaux. Nous avons établi une méthode validée permettant de détecter et de quantifier les concentrations des différents virus dans des échantillons d'eau. La gamme détectable de virus inclut les Adéno-, les Entéro-, les Noro-, les Rotavirus et l'hépatite A.

Introduction

Les maladies d'origine hydrique causées par des virus, tels que les graves diarrhées ou l'hépatite, sont largement répandues dans les pays en développement et ont un impact important sur la santé publique. La détection de virus dans des échantillons environnementaux pourrait donc améliorer les conditions d'hygiène et aiderait à sauver la vie de la population vivant de ces eaux. Comme les virus ne se reproduisent pas en dehors d'un hôte, la quantité de virus dans l'environnement est normalement faible et décroît avec le temps après la contamination. Toutefois, même quelques virus sont suffisants pour infecter l'homme et causer une grande variété de maladies. Une méthode pour la détection de la concentration de virus est donc nécessaire pour révéler, même les faibles niveaux de virus.

Méthodes

La qualité des sources d'eau potable a été étudiée en analysant les contaminations virales des puits dans le triangle compris entre les villes de Parakou, Djougou et Bassila dans la région de l'Ouémé supérieur. Une méthode de la concentration virale a été établie avant les tests de différents virus (Adéno-, Entéro-, Noro- et Rotavirus, et l'hépatite A). Dix litres d'échantillons d'eau ont été filtrés avec des filtres spéciaux au Bénin, et ont ensuite été envoyés pour des investigations complémentaires à l'Institut de Virologie de Cologne, en Allemagne.

Validation

La validation de cette méthode a révélé que 10 litres d'échantillons d'eau dopés avec 1 ml de suspension d'Adénovirus de référence correspondant à la concentration de virus évacuée par les patients symptomatiques peut être détectée. Même la contamination de l'eau avec une suspension d'Adénovirus diluée au 1:1 000 pourrait être révélée par cette méthode. Les Entérovirus dans les contrôles positifs (une suspension d'1 ml d'Entérovirus + 10 l d'eau) pourraient également être systématiquement détectés.

Résultats

Nous avons détecté une contamination virale dans environ 8% des sources d'eau potable qui ont été étudiées. La majorité des virus détectés étaient des Adénovirus. Ces virus

provoquent divers symptômes chez les patients infectés. Les adultes et les enfants peuvent développer des maladies diarrhéiques après l'infection. Alors que la diarrhée chez les adultes est temporaire, mais compromet le travail quotidien, la diarrhée chez les enfants est un événement qui met leur vie en danger.

Un défi majeur est de divulguer les facteurs de risque de contamination virale des sources d'eau potable. Cet effort est toujours en cours avec la coopération des médecins, biologistes, ethnologues, géologues et météorologues.

Perspectives

En coopération avec le Centre Hospitalier Universitaire de Parakou, nous avons analysé les cas de maladies diarrhéiques avec une origine virale des symptômes, à savoir les Rotavirus et les Adénovirus, qui ont été traités à l'hôpital. Le nombre de cas pourrait aider à estimer la charge d'infections virales pour la santé publique et pourrait être utilisé comme un indicateur de l'efficacité des tentatives visant à améliorer les conditions d'hygiène.

Etant donné que les Adénovirus sont un indicateur approprié de la contamination virale des sources d'eau potable, des modifications de la méthode validée devraient permettre la détection au laboratoire d'IMPETUS à Parakou des graves contaminations virales.

Conclusion

La contamination virale des sources d'eau potable dans la Haute Vallée de l'Ouémé se produit et influence la santé publique. Une amélioration des conditions hygiéniques pourrait réduire la charge d'infections virales.



Fig. 1: Prise d'échantillons d'eau de pompe sur forage



Fig. 2: Filtrage d'échantillon pour l'analyse virale

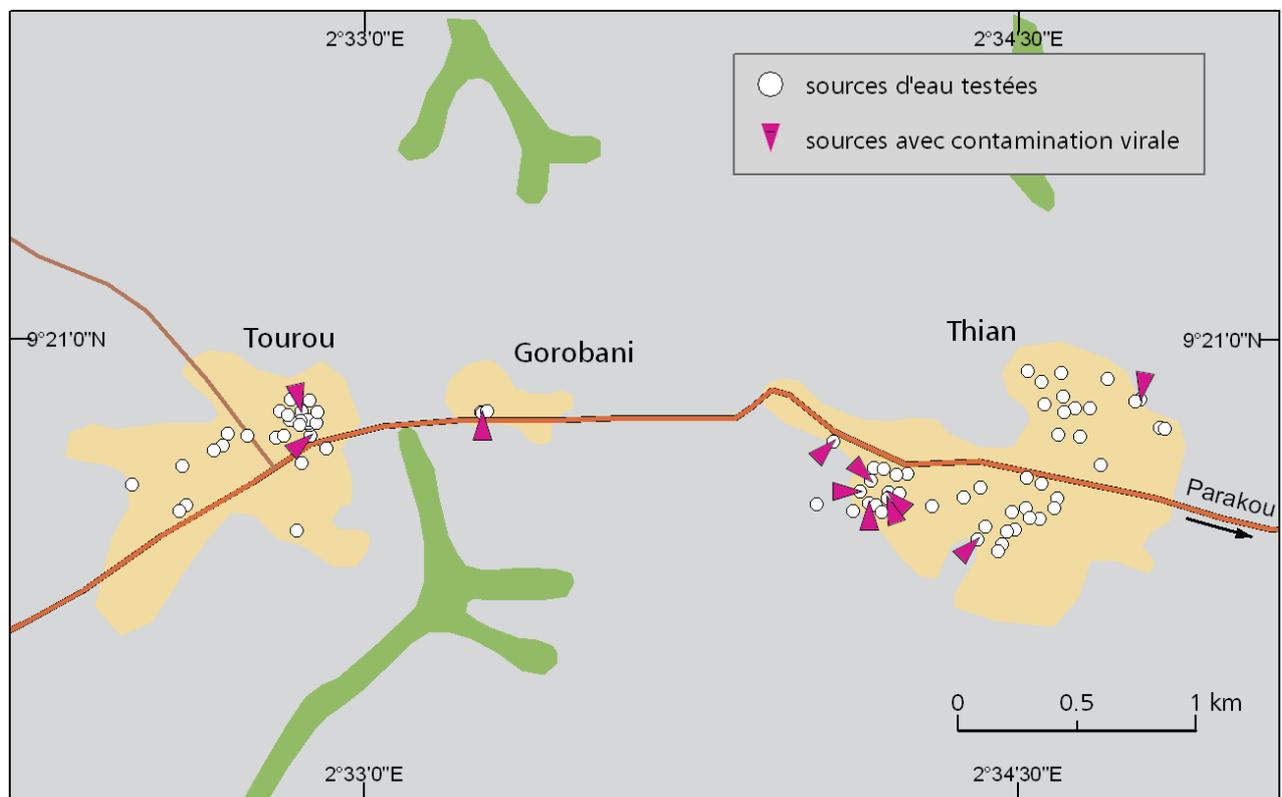


Fig. 3: Distribution des tests positifs et négatifs d'Adénovirus des sources d'eau potable des villages de Gorobani, Thian et Tourou en juin / juillet 2004

L'eau et la santé

Thamar Klein

L'eau est intimement liée à la santé de plusieurs manières. Les risques pour la santé découlent des maladies transmises par l'eau, des eaux usées, de la propagation des maladies tropicales par des insectes vecteurs (moustiques et mouches noires par exemple) dont les larves se développent dans l'eau, ainsi que des maladies d'origine alimentaire où de l'eau contaminée est utilisée pour préparer la nourriture. Les disparités dans l'assainissement et l'accès à l'eau potable sont cependant très grandes entre les zones urbaines et rurales au Bénin.

Le droit à l'eau

Le Bénin est encore loin de fournir de l'eau potable pour toute la population. Le « [...] droit à l'eau [...] dans le Commentaire Général N°15 du Pacte international sur les droits économiques, sociaux et culturels [...] autorise chaque être humain à l'accès à une eau en quantité suffisante, saine, acceptable, physiquement accessible et abordable pour son usage personnel et domestique. Le droit à l'eau comprend le droit à l'assainissement » (Dubreuil, 2006, p. VI). Même si le Bénin avait déjà ratifié ce droit, du moins pour les enfants, en 1990, grâce à la ratification de la Charte Africaine des Droits et du Bien-Être de l'enfant (Smets, 2006, p. 13), l'eau potable et l'assainissement ne sont pas encore accessibles à tous. La rareté de l'eau au Bénin est un problème essentiellement temporel, spatial et économique. La population rurale béninoise au centre et au nord du pays est particulièrement touchée par cette rareté.

L'accès à l'eau potable

L'accès à l'eau potable est très limité dans les zones rurales (↗ 19) du bassin versant de l'Ouémé. Ici, les puits et les marigots ainsi que les pompes constituent les principales sources d'eau. Le Tableau 1 est issu des données d'une enquête régionale réalisée en 2004 par Hadjer, Klein et Singer dans les départements du Borgou et de la Donga – avec un total de 839 personnes interrogées.

Les risques pour les puits et les marigots de s'assécher durant la saison sèche sont élevés et la qualité de l'eau est mauvaise. En effet, un pourcentage élevé de ces ressources en eau est contaminé par la flore fécale (↗ 21).

Les marigots sont une source importante pour ces infections telles que l'hépatite, les maladies amébiques, le choléra et la fièvre typhoïde. En outre, l'eau peut être aussi contaminée quand elle est stockée. La plupart des jarres sont très régulièrement nettoyées (Klein, 2005, p. 178). Cependant, une fois qu'elles sont contaminées, la plupart des procédures de nettoyage ne sont pas en mesure de les désinfecter (Fig. 2). En outre, il existe de nombreux moyens par lesquels l'eau est contaminée par des micro-organismes pathogènes dans les jarres (par exemple, les mains sales des enfants prenant une gorgée d'eau et les animaux essayant de boire directement des jarres), même si les femmes tentent de protéger

Tableau 1: obligation de boire l'eau des marigots : pourcentage des habitants, n = 839

Communes	Toujours	Saison sèche	Durant les travaux agricoles	Jamais
Tchaourou	25	11	1	63
Copargo	23	15	1	62
Djougou	18	7	–	75
N'Dali	6	5	–	89
Ouaké	6	2	–	92
Bassila	5	11	–	83
Parakou	3	–	1	97

soigneusement les réservoirs.

Toutefois, ce n'est pas seulement la qualité de l'eau, mais aussi la quantité d'eau qui constitue une préoccupation majeure pour la population rurale. Dans une étude comparative à long terme exécutée entre août 2001 et janvier 2002, portant sur un échantillon de 40 ménages de quatre villages et d'une petite ville, la consommation moyenne d'eau sur les sites était de 18,7 litres. Ceci est déjà en dessous de l'« Approvisionnement Standard en Eau par Habitant » de 20 litres (l/p/j), proposé par l'Organisation mondiale de la santé pour les villages. En saison sèche, la consommation moyenne par habitant diminue encore plus, à 15 litres, allant même jusqu'à seulement 5 litres (Hadjer et al., 2005) lorsqu'une partie des ressources locales sont à sec.



Fig. 1: Marigot



Klein 2001

Fig. 2: Nettoyage d'une jarre

Les maladies d'origine hydrique ne sont pas seulement transmises par la consommation d'eau ou une mauvaise alimentation – et par les pratiques d'assainissement de l'eau, mais aussi par les moustiques et les simuliés (par exemple, le paludisme, la filariose et l'onchocercose également connue sous le nom de cécité des rivières), qui utilisent les eaux pour se reproduire.

Femmes, soins de santé et moyens de subsistance

Non seulement la rareté de l'eau mais également sa mauvaise qualité augmentent la charge de travail des femmes. En plus de l'effort d'aller chercher l'eau, elles doivent également dispenser des soins infirmiers aux malades et faire face aux dépenses de santé.



Klein 2002



Klein 2002

Fig. 3 & 4: Eaux usées

Les femmes et les hommes dans les zones rurales du Bénin ont des budgets distincts. La mise en commun des ressources financières pour les questions liées à la santé n'est pas la norme et cela n'intervient généralement que dans les cas où la personne responsable de la dépense financière n'est pas en mesure de le faire.

Même si les hommes sont considérés comme les décideurs et les financiers des soins de santé dans les cas graves (et donc potentiellement coûteux, mais aussi plus rares), les hommes consacrent pour les soins de santé de leurs enfants exactement un tiers de moins que leurs épouses (Klein, 2007). Le revenu des hommes ruraux est saisonnier, alors

que le revenu des femmes varie moins d'une saison à l'autre puisqu'il dépend des produits qu'elles commercialisent ou fabriquent (exemples: savon, huile, beurre de karité). Par conséquent, leur budget contribue de manière substantielle aux soins de santé. Leur perte de revenu due aux soins médicaux apportés aux malades doit être considérée comme un aspect supplémentaire important.

Résumé

L'eau potable et un assainissement adéquat accroissent le bien-être individuel et améliorent la productivité économique. Prévenir et réduire les maladies liées à l'eau contribuent à atténuer la pauvreté.

Avec la pénurie croissante de l'eau et une diminution de sa qualité, la mortalité infantile ainsi que les cas d'infection grave (y compris celle du bétail) vont augmenter. Les circonstances qui en résultent, par exemple, des charges de travail plus élevées pour le reste des membres de la société en bonne santé, la perte de bétail et une plus grande charge financière en raison des frais de traitement, accroissent la vulnérabilité de l'individu, des ménages et de la société.

Références

- Dubreuil, C. (2006): The Right to Water: from concept to implementation. World Water Council. Disponible à : http://www.worldwatercouncil.org/fileadmin/wwc/Library/Publications_and_reports/RightToWater_FinalText_Cover.pdf, accès : Février 2009.
- Hadjer, K., Klein, Th. et Schopp, M. (2005): Water Consumption Embedded in its Social Context, North-Western Benin. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30 (6-7), 357–364.
- Klein, Th. (2005): Befindensweisen und therapeutische Wege in Dendougou, Benin. Thèse de doctorat à l'Institut d'Anthropologie Sociale et Culturelle, Université de Cologne.
- Klein, Th. (2007): Selecting Therapies in Benin: Making Choices between Informal, Formal, Private and Public Health Services. *Afrika Spectrum*, 42 (3), 461–481.
- Smets, H. (2006): The Right to Water at the 4th World Water Forum in Mexico. Available at: http://academie.oieau.fr/IMG/pdf/EPL_MEX.cwk_TEXTE_.pdf, accès : Février 2009

Enquête régionale : Dépendance économique de l'eau

Kerstin Hadjer

L'eau constitue une partie intégrante de la sécurité de la subsistance de l'être humain. Au centre du Bénin, de nombreuses activités économiques dépendent de l'utilisation de l'eau. Toutefois, l'accès à l'eau potable n'est pas équitablement réparti. De nombreuses personnes sont obligées d'acheter de l'eau complémentaire ou de boire de l'eau non potable. Sa consommation menace la santé de la population et il en résulte des congés maladie et une baisse de la capacité de travail.

L'accès à l'eau et l'achat de l'eau

Comme les états frontaliers, la partie centrale du Bénin est caractérisée par une forte saison sèche et des conditions très hétérogènes d'accès à l'eau. Les difficiles situations d'accès à l'eau contribuent au déficit d'approvisionnement en eau dans de nombreux milieux ruraux.

Selon les résultats de l'enquête régionale statistiquement représentative ($n = 52$), un quart de la population dépend de l'eau des marigots, dont 63 % durant chaque saison.

Environ 40 % de la population dépend de l'achat complémentaire d'eau, dont 17 % pendant toute l'année. Par exemple, dans la commune urbaine de Parakou, 90 % des sondés

ont déclaré dépenser de l'argent pour l'eau (Fig. 1). Quelles sont les raisons pour l'achat complémentaire d'eau?

L'eau comme un bien productif

En dehors de l'achat d'eau pour leurs besoins domestiques, un tiers de la population interviewée a besoin d'eau pour ses activités productives. Comme indiqué dans la Fig. 2, 70 % des personnes interrogées dans les deux communes de Tchaourou et Ouaké dépendent économiquement de l'eau.

Contrairement à l'agriculture, l'eau est fréquemment utilisée dans l'horticulture, où on retrouve un quart des 513 agriculteurs interrogés (22 % de femmes, 78 % d'hommes).

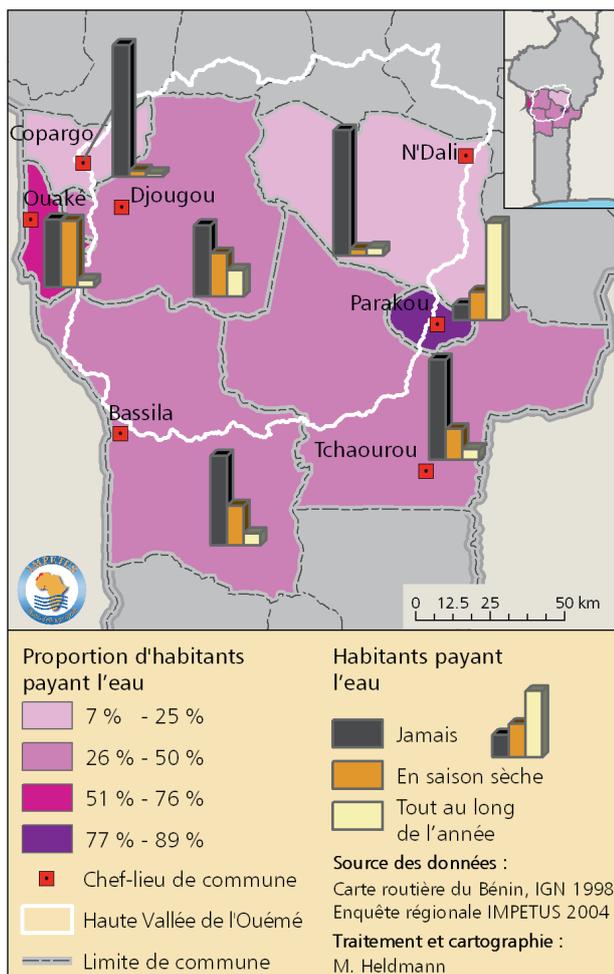


Fig. 1: Achat de l'eau

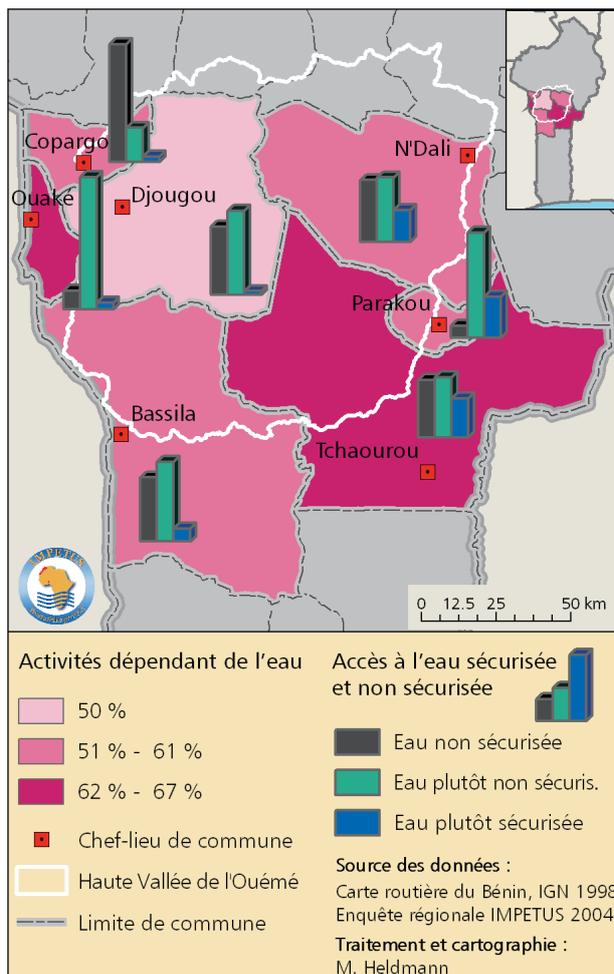


Fig. 2: Activités économiques dépendantes de l'eau



Fig. 3: Femmes puisant de l'eau

Les femmes, en particulier, dépendent de l'achat complémentaire d'eau en raison de leurs activités de transformation, comme la transformation de produits agricoles en repas et boissons. Les activités les moins dépendantes de l'eau sont, par exemple, dans le secteur de l'artisanat.

Une attention particulière devrait être accordée à la stratégie commune du risque d'entreprendre parallèlement plusieurs activités économiques (multi-tasking), à sa dépendance saisonnière par rapport à l'accès à l'eau, et au degré de rentabilité dans le cas de l'achat complémentaire d'eau. Une stratégie commune consiste à faire de l'horticulture durant la saison des pluies et du commerce durant la saison sèche. De plus, de nombreuses personnes interrogées ont entrepris plusieurs activités en parallèle. Par exemple, une femme produisait et vendait des boissons. Occasionnellement, elle vendait des chaussures. En période de pénurie d'eau, ce commerce devient pour elle une alternative de source de revenu.

Dans l'ensemble, 57% de toutes les activités économiques évoquées dépendent de l'eau. Près de 34% des activités nécessitent beaucoup d'eau à des intervalles réguliers. La dépendance économique de l'eau est nettement plus élevée dans les zones rurales.

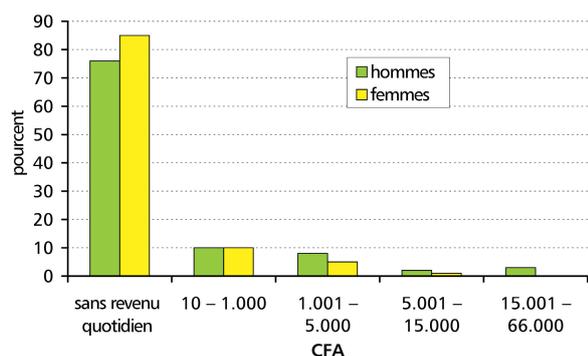


Fig. 4: Revenu journalier (n= 839, 2004)

Mettre l'accent sur la vulnérabilité

La situation la plus mauvaise de l'accès à l'eau prévaut dans le nord-ouest de la zone d'étude (communes de Copargo, Djougou, Ouaké).

En même temps, 58% de sa population prend part à des activités dépendantes de l'eau. Cette région est particulièrement à risque dans le cas de la sécheresse ou d'une taxation non différenciée de l'eau : avec le déclin de l'eau disponible, les capacités économiques diminuent et la vulnérabilité augmente.

Fond financier

En supposant une consommation d'eau de 18,7 litres par tête (Hadjer et al., 2005), les dépenses pour l'eau de pompe reviendraient à environ 1 000 CFA par mois/adulte. Comme figuré ci-dessus (Fig. 4), la valeur moyenne de revenus par jour se portent sur 1 200 CFA. Donc, théoriquement les structures de revenus permettent l'achat complémentaire de l'eau.

Toutefois, en réalité, les hommes gagnent plus d'argent sur des intervalles de temps plus long, alors que les femmes gagnent des montants moins élevés de façon régulière.

La corvée d'eau est traditionnellement du ressort de la femme. Dans les périodes de faible revenu, la nécessité d'acheter régulièrement de l'eau peut entraîner des troubles sociaux et des conflits, car souvent la question des responsabilités pour payer l'eau n'est pas résolue.

Références

Hadjer, K., Klein, Th. et Schopp, M. (2005): Water consumption embedded in its social context, north-western Benin. In: Physics and Chemistry of the Earth, 30 (6-7), 357-364.

La consommation d'eau interprétée en fonction du contexte social

Kerstin Hadjer, Thamar Klein et Marion Schopp

La consommation quotidienne de l'eau dépend de nombreux facteurs, tels que la saison, la taille du ménage, son accessibilité et son contexte social. Une étude de cas interdisciplinaire conduite dans la commune de Donga a montré que l'accès à l'eau n'est pas le même pour tous. Dans certains cas, la consommation quotidienne par personne est bien plus faible que le standard minimal de 20 litres stipulé par l'OMS.

Site étudié : la commune de Donga

La distribution unimodale des précipitations dans l'Ouémé supérieur est un facteur majeur qui influence les activités agricoles et l'utilisation des ressources d'eau, ce qui se traduit par une consommation d'eau très variable au cours de l'année. La commune de Donga au Bénin central a fait l'objet d'une étude détaillée sur la disponibilité, la quantité et la qualité de l'eau durant une période prolongée.

Approche méthodologique

Une étude interdisciplinaire a été conduite au niveau local pendant six mois entre août 2001 et janvier 2002. L'échantillon est constitué de 40 ménages répartis sur quatre villages (Bougou, Dendougou, Pélébina, Sérou) et une ville (Djougou). Les ménages étaient visités une fois par mois, avec l'aide de vingt assistants. Ceux-ci furent recrutés localement afin de minimiser les désagréments pour les ménages. Toutes les activités liées à l'eau ont été mises en corrélation avec les données socio-économiques des acteurs, y compris celles des invités des ménages.

La consommation d'eau par personne suit la définition donnée par les Nations Unies : « La consommation domestique en eau par personne est la quantité d'eau consommée par personne pour les besoins d'ingestion, d'hygiène, de cuisson, de vaisselle, et autres usages du ménage y compris le jardinage. Dans les lieux où il est de coutume que les animaux domestiques soient gardés près des habitations, leurs besoins sont aussi pris en compte dans l'estimation » (Nations Unies, 2003).

Un accès à l'eau hétérogène

L'accès à l'eau est très hétérogène. Les villages disposant de nombreux puits (ex : Bougou) sont très proches de villages où les habitants partagent un nombre très restreint de puits publics (ex : Pélébina). Cette hétérogénéité s'explique notamment par les conditions géologiques et pédologiques variables. À Pélébina, par exemple, les puits construits à moindre frais, s'écroulent très facilement.

Au cours de la saison sèche en particulier, les distances pour parvenir à un point d'eau peuvent augmenter considérablement lorsque des puits tarissent. Les conditions d'accès

à l'eau de chaque ménage peuvent être classées comme dans le Tableau 1. Dans chaque village étudié, et pendant la saison sèche, certains ménages peuvent être classés dans la catégorie « aucun accès » de l'OMS.

Disparités saisonnières et aspects sociaux de la consommation d'eau

La consommation d'eau par personne pour les ménages enquêtés est en moyenne de 18,7 litres. En ôtant la consommation d'eau des visiteurs (5%), la valeur est réduite à 17,2 litres par personne par jour. La plus faible consommation a été enregistrée pendant la saison sèche à Dendougou (5,2 l). En général, la consommation d'eau pour l'ensemble des 40 ménages décroît progressivement pendant la transition de la saison pluvieuse à la saison sèche (Fig. 1).

L'écart entre la consommation nationale (estimée 19,5 litres dans les ménages ruraux, obtenu par Gleick 1992) et celle des ménages interrogés s'explique en grande partie par l'influence des indicateurs suivants : saison, taille des ménages, et accessibilité de l'eau. Dans les régions urbaines on observe des différences non seulement dans la quantité d'eau consommée et dans l'usage qui en est fait mais également entre la consommation des riches et celle des pauvres. Tandis qu'en moyenne, les ménages riches utilisent deux fois plus d'eau que les ménages pauvres (21,9 l contre 11,2 l) en zone urbaine, les valeurs pour les ménages pauvres et riches dans les villages sont très proches (16,8 l contre 15,6 l). A la campagne, les ménages pauvres et riches ont tous

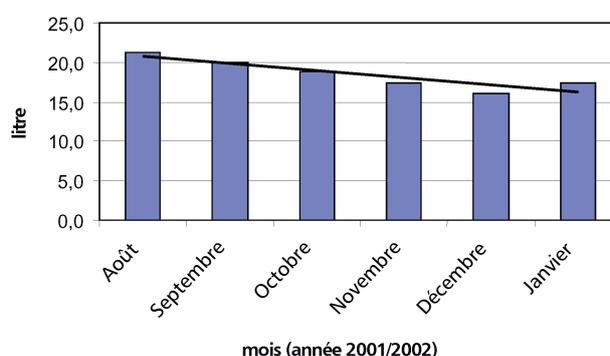


Fig. 1: Consommation d'eau par personne dans les régions rurales (année 2001/2002, n=720 personnes)

Tab. 1: Accès à l'eau par site d'enquête

Niveau d'accès par site étudié	Djougou	Dendougou	Sérou	Bougou	Pélébina
Aucun accès (plus d'1 km ou plus de 30 mn aller-retour)		X			X
Accès de base (moins d'1 km ou 30 mn aller-retour)	X	X	X	X	X
Accès moyen (eau accessible sur place par au moins 1 robinet)	X				
Accès optimal (eau accessible à plusieurs robinets au sein de l'habitation)					

deux un accès limité à l'eau, si bien que la prospérité ne constitue pas un facteur influençant de la consommation d'eau. Dans les villes, la consommation d'eau des ménages riches augmente proportionnellement aux biens possédés et aux activités associées à ces possessions comme par exemple laver sa voiture.

Il est intéressant de noter le fait social suivant: bien qu'il y ait de l'eau courante disponible à Djougou, beaucoup de gens ont préféré la consommation de l'eau du puits. Ce comportement a été expliqué par les participants à l'étude par les coûts excessifs de l'eau courante et son mauvais goût. En effet, le mauvais état des systèmes d'acheminement de l'eau entraîne des surcoûts liés aux fuites d'eau. De plus, l'eau exploitée à Djougou provient d'un lac artificiel, qui, selon l'opinion publique, contiendrait de nombreux organismes en décomposition et des mauvais esprits. Elle est par conséquent considérée par les populations comme étant impropre à la consommation.

En s'intéressant à « l'indicateur » religieux, il a été constaté que la consommation d'eau des musulmans pour les rituels atteint 3,7%. Dans le village à forte population musulmane de Bougou, environ 7% de la consommation d'eau totale est utilisée pour les lavages religieux (valeur maximale) alors que l'eau utilisée pour cet usage à Dendougou ne représente que 1,7% de la consommation totale (valeur minimum).

Bien que puiser de l'eau reste une tâche essentiellement féminine, 8% de la quantité totale d'eau est collectée par les hommes. Pour une analyse détaillée, consulter Hadjer et al. (2005).

Références

- Falkenmark, M. et Widstrand, C. (1992): Population and Water Resources: A Delicate Balance. Population Bulletin, 47/3 Washington D.C.
- Gleick, P. H. (1992): Basic Water Requirements for Human activities: Meeting Basic Needs, Water International, 21 (1996) 2.
- Hadjer, K., Klein, Th. et Schopp, M. (2005): Water consumption embedded in its social context, north-western Benin. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 20 (6-7), 357-364.
- Howard, G. et Bartram, J. (2003): Domestic Water Quantity, Service Level and Health. WHO, Geneva.
- United Nations (2003): Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies. Disponible à: <http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/indisd/english/chapt8e.htm> (Accès: Février 2009)

La demande en eau au niveau des ménages au Bénin

Marion Schopp et Eva Adams

Le Bénin – avec une disponibilité d'eau douce s'élevant à 2 938 m³ par habitant et par an – ne fait pas partie des pays du monde souffrant de « stress hydrique » ou de rareté d'eau (PAI, 2008). Toutefois, l'accès à l'eau potable varie fortement entre les saisons sèche et pluvieuse, ainsi qu'entre les zones rurale et urbaine ; ceci est dû aux différences au niveau des capacités technique et financière et aux conditions hydrogéologiques. Par conséquent, il est nécessaire d'analyser l'approvisionnement en eau et la demande en eau dans le contexte local (urbain / rural).

Zone d'enquête et méthodes utilisées

Partant de l'hypothèse que l'information sur l'utilisation de l'eau doit être obtenue à partir d'observations et de mesures et non seulement à partir d'interview, deux enquêtes ont été menées dans différentes régions du Bénin. Initialement, une étude interdisciplinaire a été menée dans quatre villages (Sérou, Dendougou, Pélébina, Bougou) et dans une ville (Djougou) dans la région de l'Ouémé supérieur au Bénin central.

Ensuite, un sondage représentatif a été effectué dans les villes de Parakou, Tchaourou, Djougou, Bassila, Savé, Glazoué, Klouékanmé, et Sô-Awa.

Les enquêtes ont eu lieu de décembre 2004 à février 2005 et ont porté sur près de 1 200 ménages. Le but de cette analyse représentative était de classer tous les systèmes urbains, selon un nouvel indice de l'eau. Cet indice indique la quantité d'eau consommée (la quantité d'eau livrée par la SONEB) et contient la quantité des connexions d'eau. Le but de cette recherche était d'examiner la consommation d'eau au niveau des ménages en milieu urbain et d'identifier les sources d'eau utilisées aussi bien pendant la saison pluvieuse que pendant la saison sèche. En outre, la taille de chaque famille a été déterminé sur une base mensuelle et toutes les factures d'eau à partir de janvier 2004 à décembre 2004 ont été recueillies.

Résultats

Dans le cadre de l'analyse interdisciplinaire, deux hypothèses ont été examinées :

1. La consommation d'eau est une fonction linéaire de la taille des ménages.
2. Il existe une corrélation entre les âges des membres du ménage et la consommation d'eau.

Les calculs des valeurs de référence étaient fondés sur deux critères métriques : la taille moyenne du ménage et l'âge moyen des membres du ménage.

Il existe une forte corrélation (0,726), significative de 1 %, entre la consommation d'eau et la taille du ménage, mais pas de corrélation significative concernant la consommation d'eau et l'âge des membres du ménage.

De plus, une forte saisonnalité des niveaux de consommation d'eau pouvait être observée. La consommation moyenne d'eau de 20,9 l/jour par habitant durant la saison des pluies a été beaucoup plus élevée que celle de la saison sèche qui est de 16,1 l/jour par habitant. Les résultats indiquent que la norme de l'OMS de 20 l n'est pas atteinte dans plusieurs régions (Fig. 1).

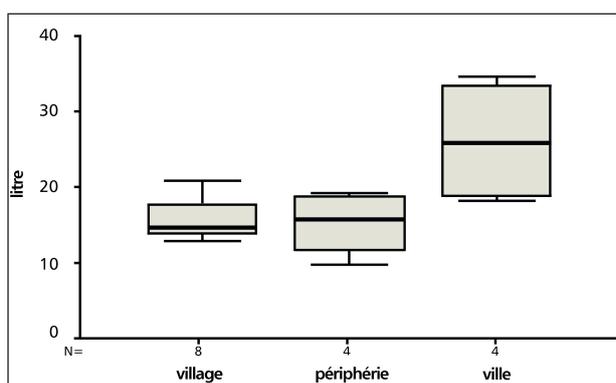


Fig. 1: Consommation d'eau selon l'accès à l'eau (ville, périphérie, village)

Selon les résultats d'un questionnaire de 2001/2002, qui a été adressé à 90 femmes durant les saisons pluvieuses et sèches dans les zones rurales et urbaines, les pénuries d'eau sont considérées comme une conséquence naturelle du climat (saisonnalité). Même s'il n'y a pas assez d'eau disponible pour la population, en particulier dans les zones rurales, cela ne constitue pas, pour de nombreuses familles, une raison pour émigrer. Cela peut aussi être expliqué par des raisons personnelles telles que les aspects sociaux (être proche de la famille) ou le fait d'être un propriétaire foncier.

L'eau du robinet est devenue de plus en plus importante pour la population du Bénin. La Figure 2 le confirme pour les huit villes concernées par cette analyse.

Contrairement à la consommation d'eau en milieu rural, la consommation d'eau du robinet en milieu urbain est beaucoup plus élevée pendant la saison sèche et réduite pendant la saison des pluies, car d'autres sources d'eau, telle que l'eau de pluie, deviennent plus importantes.

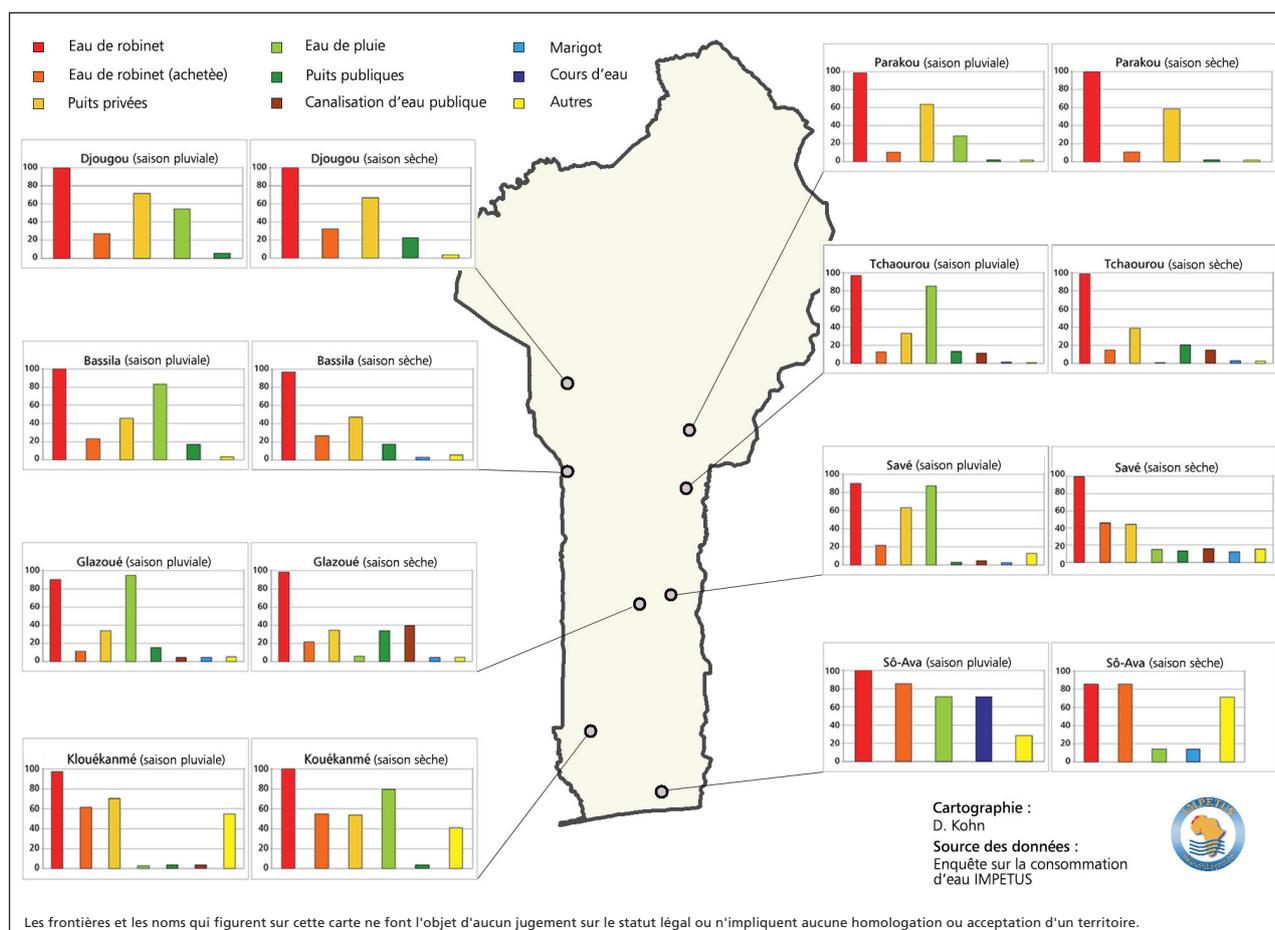


Fig. 2: Fréquence d'utilisation des différentes sources d'eau dans les villes de l'enquête (en % de l'ensemble des personnes interviewées; plusieurs réponses possibles). Dans toutes les villes, au moins 90 % de la population utilisent l'eau de robinet, et de 10 à 80 % achètent aussi l'eau de robinet.

En comparant toutes les sources d'eau (en valeur absolue, Fig. 2), l'eau du robinet a été la source la plus importante dans les régions enquêtées, suivie par l'eau de pluie et l'eau des puits. Les trous d'eau (puits) sont souvent utilisés dans les zones rurales contrairement à ce qui a été observé dans les zones urbaines.

Dans les villes où il y a une pénurie d'eau extrême en saison sèche (Glazoué par exemple), la population a construit des citernes pour recueillir l'eau de pluie pour combler le déficit des moments où il n'y a pas assez d'eau de robinet ou d'eau de puits.

A Parakou, par exemple, 48,3 % de l'ensemble des personnes interviewées ont mentionné l'usage de l'eau du robinet durant la saison des pluies, contre 57,5 % pendant la saison sèche. Partout, l'eau du robinet vendue joue un rôle important. De la saison des pluies à la saison sèche, l'importance des ventes d'eau augmente. La valeur la plus élevée au niveau des villes a été obtenue à Sô-Awa, une petite ville près de Cotonou. Les observations participatives confirment ces résultats et corroborent que la classification selon l'indice créé de l'eau confirme aussi la théorie sous-jacente. Pour une analyse détaillée, voir Hadjer et al. (2005).

Références

- Hadjer, K., Klein, Th. et Schopp, M. (2005): Water consumption embedded in its social context, north-western Benin. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30 (6–7), 357–364.
- PAI – Population Action International (2008): *People in the Balance Interactive Database – New Natural Resources and Population Data*. Disponible à : http://216.146.209.72/Publications/Reports/People_in_the_Balance/Interactive/peopleinthebalance/pages/?c=17e (accès : Février 2009).



Hommes préparant un champ d'igname. Les plantes seront mises dans les tas de terre.



Géologie,
géomorphologie et sols

27 Carte pédologique du Bénin

Simone Giertz et Claudia Hiepe

Une grande variété de sols peut être distinguée au Bénin. Les sols fersialitiques à forte dominance de concrétion recouvrent largement le socle cristallin, alors que les sols ferrallitiques et hydromorphes prédominent dans le bassin sédimentaire du sud Bénin. Globalement, la variabilité des sols à l'échelle locale est très forte et plusieurs catégories de sols sont associées à d'autres types de sols.

Méthodologie

Vers la fin des années 1980, des scientifiques Français de l'ORSTOM (actuel IRD) ont réalisé des cartes des sols du Bénin en se basant sur une carte géologique et des études de terrain. Ces scientifiques ont produit dix cartes des sols couvrant tout le pays. (Volkoff et al., 1976–78).

Dans le cadre des activités de IMPETUS, ces cartes ont été scannées, géoréférencées et numérisées puis fondues en une carte numérique des sols. Pour des raisons de présentation, la carte affichée sur la page suivante a été simplifiée en négligeant la différenciation des types de sols en fonction du substratum géologique. Les types de sols sont classés d'après les systèmes de classification français (CPCS). Traduire la classification des sols française en types de sols WRB ou FAO est une entreprise difficile car les critères de classification utilisés pour les sols ferrugineux (fersialitiques) et ferrallitiques ne sont pas les mêmes.

Distribution des sols au Bénin

En l'observant de près, la carte des sols du Bénin révèle que les sols ferrallitiques et les sols hydromorphes dominent dans la partie sud du pays. Le sous-sol cristallin du centre du Bénin est principalement caractérisé par des acrisols et lixisols (sols ferrugineux lessivés). Dans les montagnes de l'Atacora au nord-ouest du Bénin, il est courant d'observer des sols peu profonds (lithosols, des sols lithiques peu évolués).

Limites

La carte des sols présente plusieurs limites. En premier lieu, les couches de la carte des sols représentent seulement le type de sol dominant dans une région et ne peuvent ressortir les détails le long des pentes (↗ 33). Par conséquent, la carte des sols ne peut être utilisée pour des évaluations à petites échelles, notamment pour savoir si les sols supporteraient la production agricole. En outre, la carte des sols ne prend pas en compte les sols hydromorphes qui peuvent être trouvés dans les bas-fonds en amont des rivières. Comprendre la répartition de ces sols serait utile pour la modélisation hydrologique et pour prédire les potentialités agricoles des bas-fonds au Bénin.

Néanmoins, la carte des sols fournit des informations utiles sur la répartition des sols à l'échelle du pays.

Références

- Faure, P. et Volkoff, B. (1998): Some factors affecting regional differentiation of the soils in the Republic of Benin (West Africa). *Catena*, 32, 281–306.
- Volkoff, B. et al. (1976–78): Carte pédologique de reconnaissance à 1:200 000 de la République Populaire du Bénin. ORSTOM. Paris.z

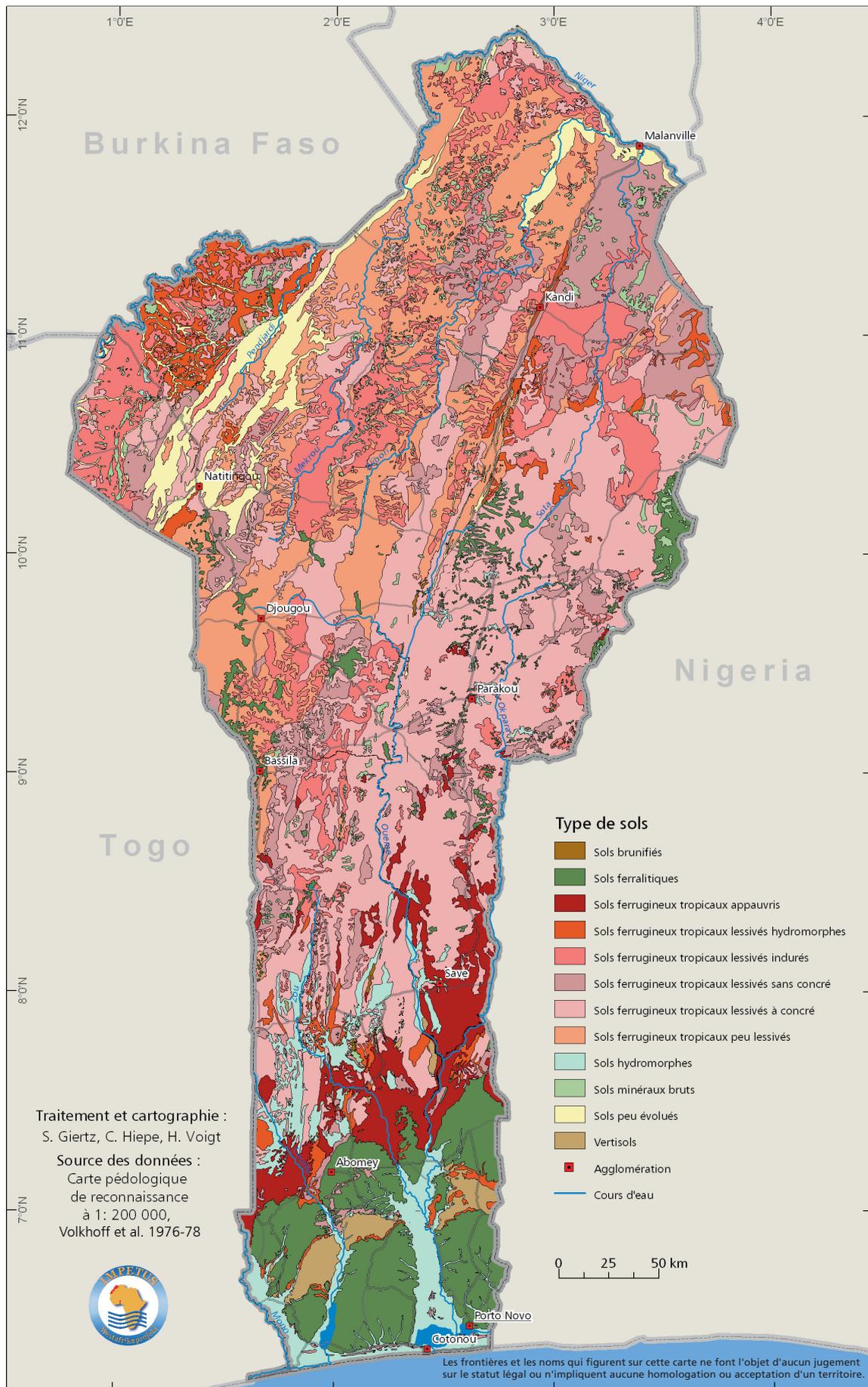


Fig. 1: Répartition des types de sols au Bénin

Géomorphologie du Bénin

Simone Giertz et Sarah Schönbrodt

La géomorphologie du Bénin est fortement liée à sa structure géologique. Les principales formations géologiques du Bénin sont : le complexe métamorphique du socle précambrien des séries du Dahomey et trois bassins sédimentaires dont deux sont localisés dans le nord (bassin de Kandi et bassin précambrien de la Volta) et un dans le sud du Bénin (bassin côtier).

Le relief du Bénin est plat : seuls quelques mètres d'altitude séparent la plaine côtière du point culminant de la chaîne de montagnes de l'Atacora, le Mont Sokbaro (658 m), situé au nord-ouest du pays. Le Bénin est subdivisé en trois unités géomorphologiques majeures au niveau des plateaux sédimentaires et en sept au niveau du socle cristallin (Fig. 2).

Les bassins sédimentaires côtier et de Kandi sont caractérisés par des paysages uniformes avec des plateaux peu accidentés. Leur développement résulte de la résistance variable des sédiments et dépôts face aux intempéries et à l'érosion (Faure et Volkoff, 1998). En plus de la « terre de barre » fertile, le bassin côtier du sud contient également des lagunes et des estuaires. L'érosion et les plaines d'inondation de la Pendjari sont caractéristiques du bassin de la Volta. Encadrée par ces bassins sédimentaires et légèrement reliée à eux, la pénéplaine cristalline est localisée au centre du Bénin. Elle est divisée par la faille de Kandi en un bloc ouest et un bloc est dont les roches-mères présentent des degrés de métamorphisme différents. Selon la roche-mère en place, les surfaces peuvent être légèrement ondulées, comme la pénéplaine granito-gneissique de Kouandé-Péhonco et le plateau de Parakou, ou fortement fracturées, comme la pénéplaine granitique de Pira qui forme la base inférieure du plateau de Djougou dans le bassin de l'Ouémé. Le paysage le plus jeune du socle est la pénéplaine de Nikki, résultant du drainage des bassins nigériens voisins. D'après Rohdenburg (1969), les ruptures de pente et le changement climatique sont les principaux facteurs d'évolution de ces pénéplaines, caractérisés par des inselbergs isolés ou des groupes d'inselbergs (Fig. 1).

Les dépressions plates et linéaires, inondées de façon saisonnière sans qu'il n'y ait de ruisseau clairement identifiable, constituent une autre forme morphologique typique au Bénin. Ces soi-disant « bas-fonds » constituent la forme de vallée la plus courante en Afrique sub-saharienne (superficie totale : 1,3 million km²). Ils apparaissent principalement sur les pédiplaines avec d'intenses altérations chimiques en profondeur qui débouchent sur une zone argileuse saproli-tique. Les bas-fonds présentent un profil concave avec des pentes douces, un fond de vallée plat et un profil longitudinal légèrement incliné (Fig. 2). Du fait de la grande quantité d'eau qui y est disponible, ils sont souvent utilisés pour la culture du riz (↗ 45).



Fig. 1: Un ensemble d'inselbergs à proximité de Savè

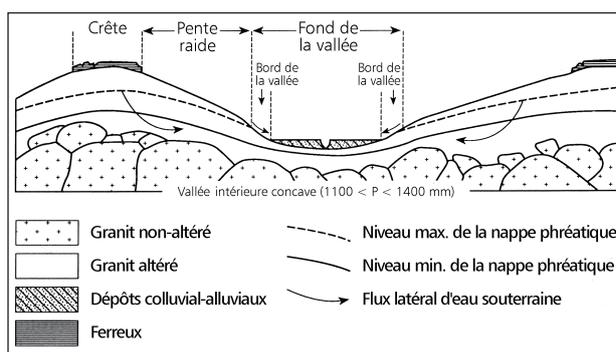


Fig. 2: Section croisée d'un bas-fond concave (d'après Windmeijer et Andriess, 1993).

Références

- Faure, P. et Volkoff, B. (1998): Some factors affecting regional differentiation of the soils in the Republic of Benin (West Africa). *Catena*, 32, 281–306.
- Rohdenburg, H. (1969): Hangpedimentation und Klimawechsel als wichtigste Faktoren der Flächen- und Stufenbildung in den wechselfeuchten Tropen an Beispielen aus Westafrika, besonders aus dem Schichtstufenland Südost-Nigerias. *Giessener Geographische Schriften*, 20, 57–152.
- Windmeijer, P. N. et Andriess, W. (1993): *Inland Valleys in West Africa: An Agro-ecological Characterization of Rice-Growing Environments*. ILRI Publication 52. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen.

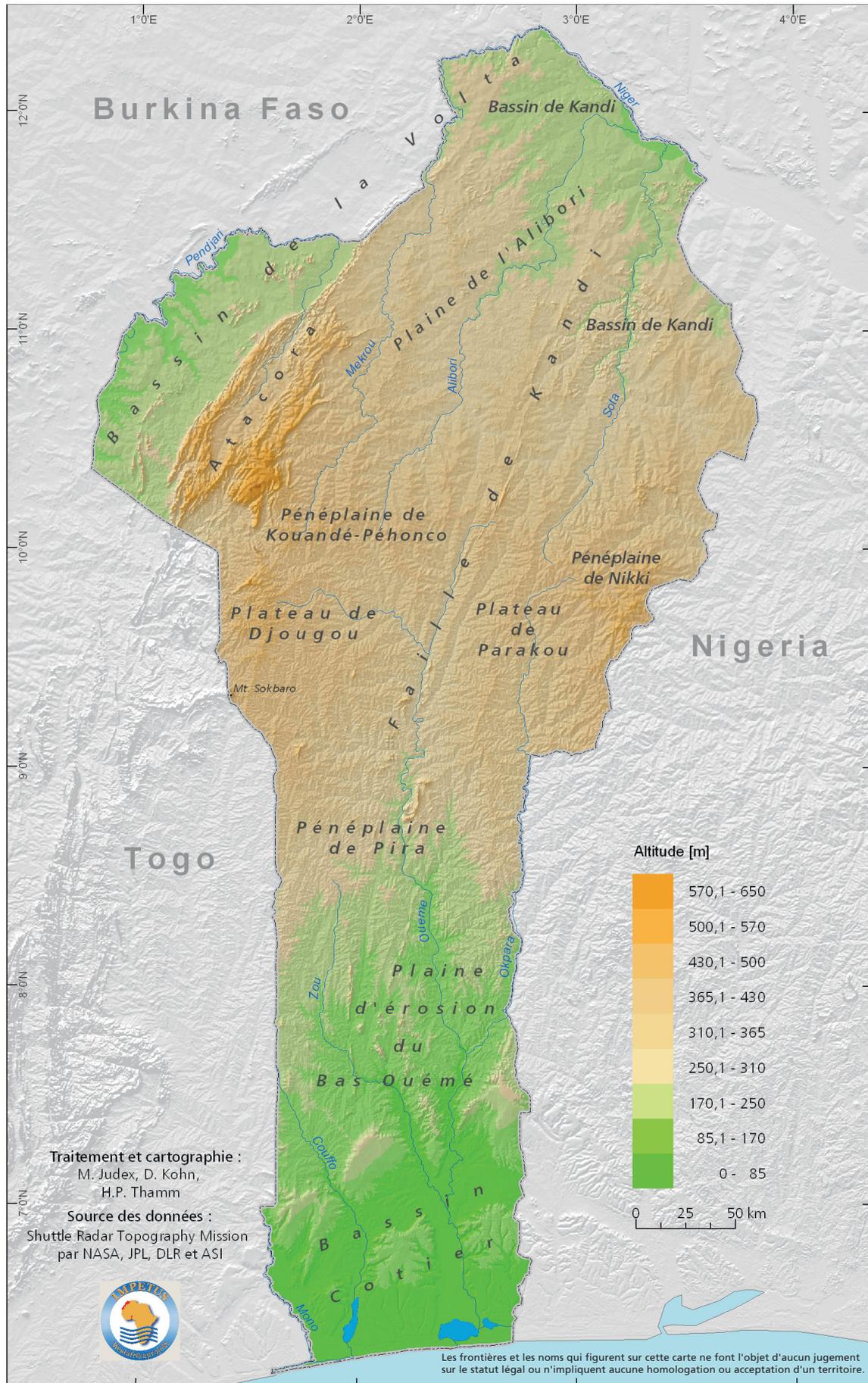


Fig. 3: Unités de paysages au Bénin

Géologie du bassin versant de l'Ouémé

Tobias El-Fahem et Antoine Kocher

Le Bénin repose largement sur un socle cristallin du Précambrien connu sous le nom de Dahoméen ou bouclier bénino-nigérian. Il est essentiellement constitué de granites, de gneiss granitoïdes et de gneiss. Les 20 % de terres béninoises restantes sont occupés par des bassins sédimentaires.

Géologie générale

Le Bénin est situé en bordure est du craton ouest africain qui est constitué de roches ignées comme le granite. Les formations Précambriennes ont par endroits subi d'importantes déformations. La superposition de différentes phases tectoniques est mise en lumière par l'existence de fractures de plusieurs kilomètres de long, ainsi que par la présence de roches correspondant à différents degrés de métamorphisme. Les fractures sont plus ou moins profondes et sont fréquemment accompagnées de zones d'ultramylonites.

Trois événements tectoniques majeurs caractérisent la région du Dahoméen et le craton ouest africain. Le premier de ces événements est l'orogénèse panafricaine (500 – 670 Ma), durant laquelle le craton ouest-africain est entré en collision avec le craton est-saharien et plusieurs micro-continentes agrégés. Pendant le Trias-Lias (180 – 245 Ma), l'Afrique de l'Ouest a généralement connu un régime de tensions accompagné par des événements éruptifs en relation avec l'ouverture de l'Atlantique. Pendant le Crétacé inférieur (120 Ma), le bassin sédimentaire côtier commence sa formation, avec le dépôt d'argile, de sables, de graviers, de grès ferrugineux et de dépôts fluviaux. Dès le Cénozoïque (65 Ma), un climat chaud et humide dominant en Afrique de l'Ouest provoque d'intenses processus d'altération de la roche.

Le socle cristallin se retrouve ainsi couvert par le produit de sa propre désagrégation, le régolithe, qui est très hétérogène au Bénin. L'altération des formations cristallines en Afrique de l'Ouest est le résultat de la désagrégation physico-chimique des roches magmatiques et métamorphiques dûe à deux facteurs climatiques : l'eau et la température. L'altération ferralitique du socle s'est produite en plusieurs étapes. Tout d'abord, la surface affleurante du socle d'origine est transformée. Le nouveau socle et fracturé tandis que le saprock (qui constitue la partie transitoire entre le socle d'origine et le régolithe) est également fissuré. La circulation de l'eau dans les fractures du sous-bassement diffuse le processus d'altération plus en profondeur, vers le cœur de la roche saine en isolant galets et roches dans une matrice de régolithe. Visuellement le saprock, constitue la partie transitoire entre la roche saine et la roche altérée, cependant le processus se poursuit plus en profondeur, dans le socle. Il est fréquent au Bénin que le régolithe dépasse 20 mètres de profondeur, mais il peut aussi être inexistant par endroit, et laisser affleurer la roche saine.

Références

- Bellion, Y. J.-C. (1987): Histoire géodynamique post-paléozoïque de l'Afrique de l'Ouest d'après l'étude de quelques bassins sédimentaires (Sénégal, Taoudeni, lullemeden, Tchad). Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, CIFEG, Paris, France.
- CEFIGRE (1990): Synthèse des connaissances sur l'hydrogéologie de l'Afrique de l'Ouest – Socle cristallin et cristallophyllien Sédimentaire ancien. Université d'Avignon, Ministère de la Coopération et du Développement, France.
- Engalenc, M. (1978): Méthode d'étude et de recherche de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'Ouest. CIEH, France.
- Wright, E. P., Hastings, J. B., Jones, W. B. et Williams, H. R. (1985): Geology and Mineral Resources of West Africa. George Allen & Unwin Ltd., London, UK.

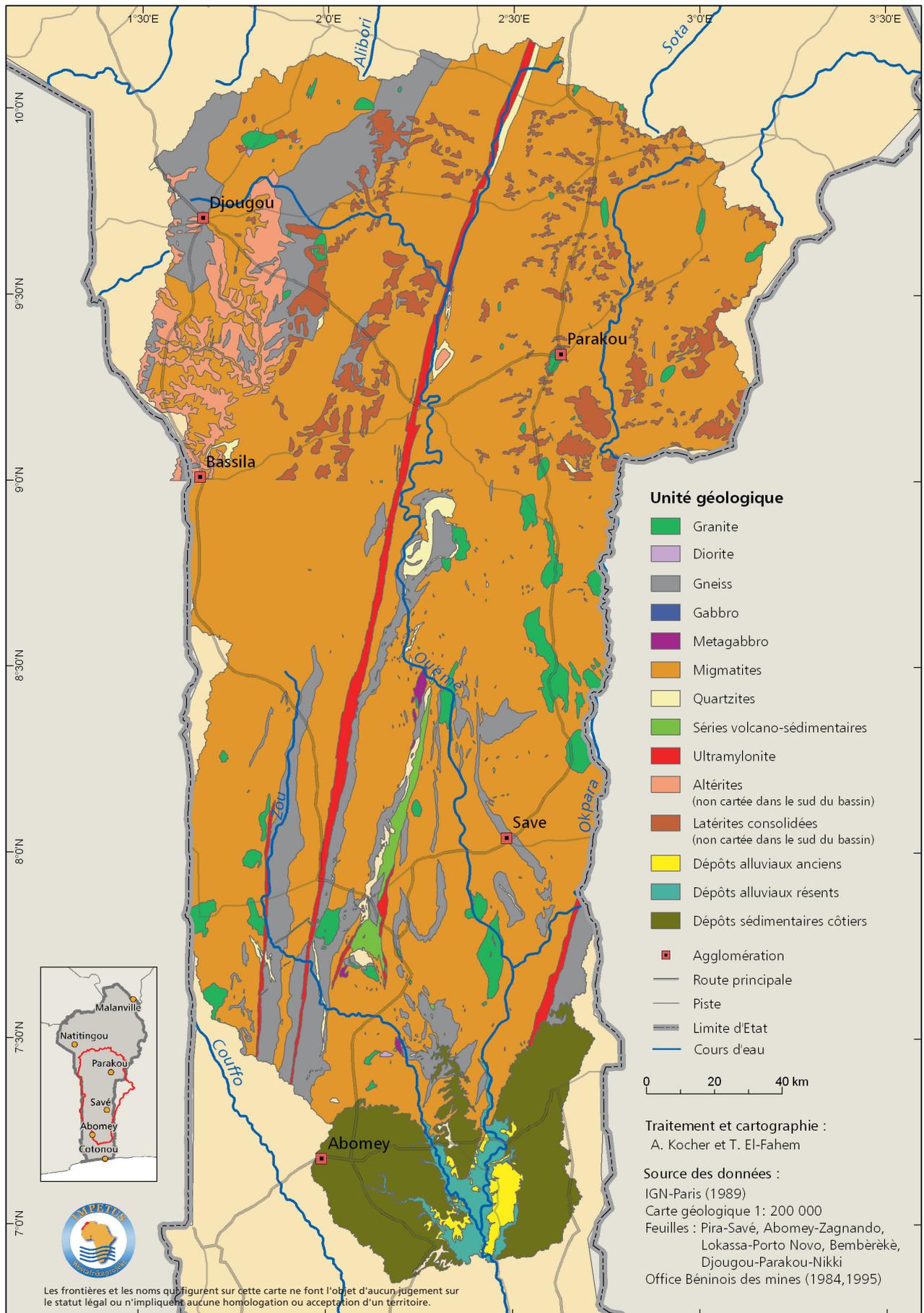


Fig. 1: Carte géologique du bassin de l'Ouémé

Carte des sols du bassin versant de l'Ouémé supérieur

Claudia Hiepe et Simone Giertz

Connaître la répartition spatiale des sols et leurs propriétés physiques et chimiques est un pré-requis pour l'application des modèles hydrologiques et pour l'analyse spatio-temporelle des processus hydrologiques et érosifs à l'échelle du bassin versant.

Méthodologie

La carte des sols du bassin versant de l'Ouémé supérieur au 1:200 000 est extraite de la carte des sols du Bénin établie par des scientifiques Français de l'ORSTOM (actuel IRD) à la fin des années 1980, basée sur la carte géologique et des études de terrain. A des fins de modélisation, nous avons réalisé une étude de terrain en vue d'établir un lien entre les types de sols et les propriétés physico-chimiques actuelles des sols.

Répartition des sols

La carte des sols montre que le groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés domine dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur et que des sous-groupes correspondants y sont étroitement associés. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés sont répandus uniquement dans la partie ouest du bassin, sur le plateau de Djougou et sur les collines résiduelles. La présence de sols minéraux bruts et de sols peu évolués reflète la répartition des Inselbergs. Les sols à faible éluviation argileuse, c'est-à-dire les sols dans lesquels l'argile est réparti de façon homogène en profondeur, se trouvent seulement à l'ouest du bassin où dominent les roches gneissiques. Les sols sans concrétions sont circonscrits aux régions migmatitiques. Presque tous les sols présentent en surface des matières limono-sablonneuses.

Les limites

Les polygones de la carte des sols représentent seulement les types de sols dominants et ne reflètent pas la variabilité, à petite échelle, des sols le long des ruptures de pente. Par conséquent, la carte des sols ne peut être utilisée pour réaliser des évaluations à petites échelles, notamment pour savoir si un sol est adapté à la production agricole. En outre, la carte des sols ne prend pas en compte les sols hydromorphes des bas-fonds en amont des cours d'eau. Ce facteur serait pertinent pour la modélisation hydrologique et la prédiction des potentialités agricoles des bas-fonds au Bénin.

La traduction des types de sols français dans le système de classification moderne WRB, plus adapté pour qui s'intéresse aux propriétés du sol plutôt qu'à la pédogenèse, consti-

tue un autre défi. Par exemple, des problèmes surgissent pour le groupe de sols ferrallitiques, qui peut être classé comme acrisols, lixisols ou ferralsols en fonction de la distribution verticale en argile et la saturation en base.

Références

- Faure, P. et Volkoff, B. (1998): Some factors affecting regional differentiation of the soils in the Republic of Benin (West Africa). *Catena*, 32, 281-306.
- Hiepe, C. (2008): Soil degradation by water erosion in a sub-humid West-African catchment - a modelling approach considering land use and climate change in Benin. Thèse de doctorat, Université de Bonn. http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/math_nat_fak/2008/hiepe_claudia/index.htm
- Junge, B. (2004): Die Boden im oberen Oueme-Einzugsgebiet: Pedogenese, Klassifikation, Nutzung und Degradierung. Thèse de doctorat, Université de Bonn.

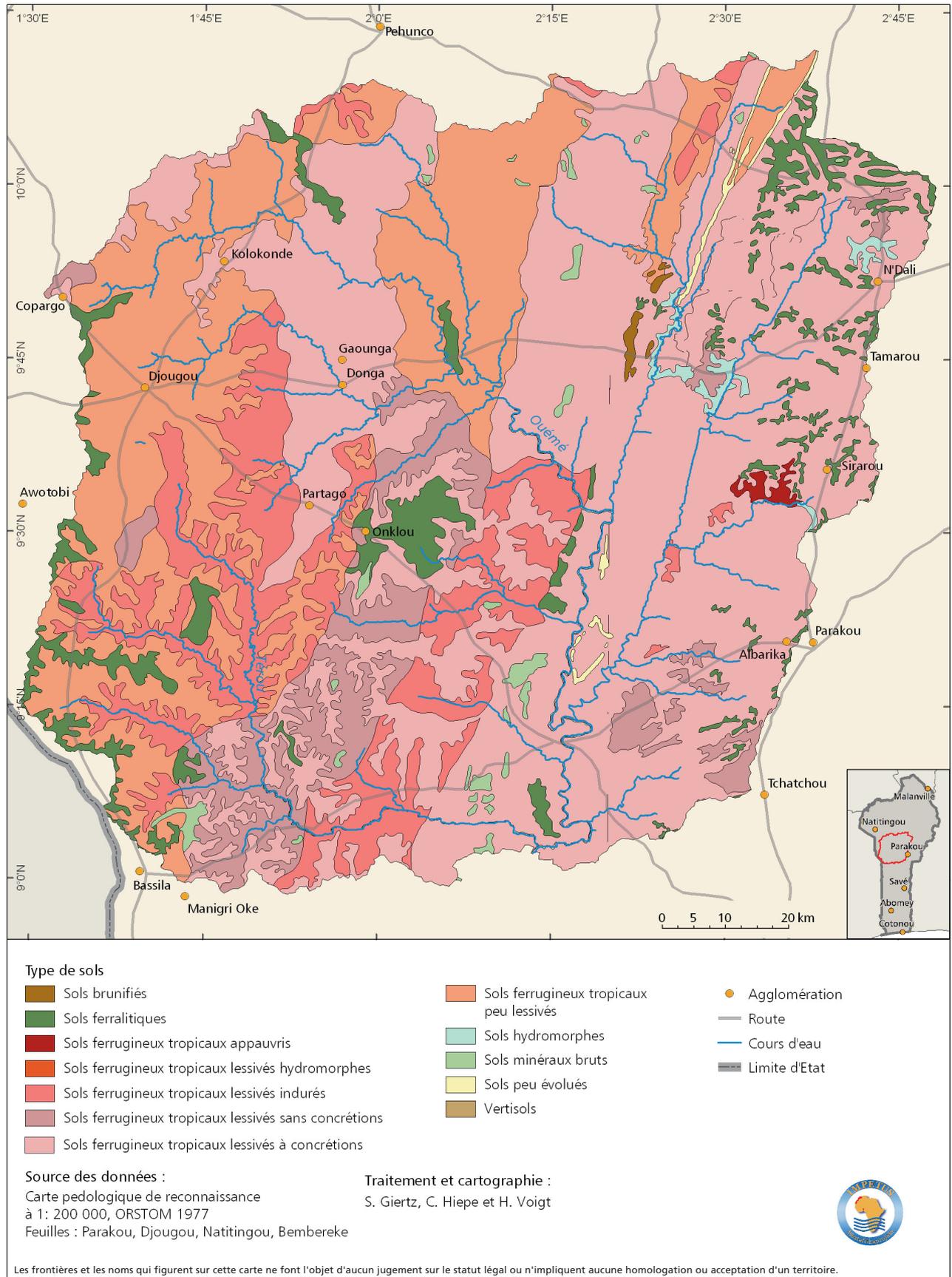


Fig. 1: Carte des sols du bassin versant de l'Ouémé supérieur

Modélisation de l'érosion dans le bassin de l'Ouémé supérieur – le statu quo

Claudia Hiepe

L'érosion du sol conduit à la détérioration des terres de surface et réduit considérablement la productivité agricole. Les modèles d'érosion sont de précieux outils pour étudier l'ampleur et les causes de l'érosion du sol à l'échelle régionale, extrapoler le futur et, par conséquent, identifier des régions d'intervention prioritaires pour des mesures de conservation du sol.

La motivation

Bien que le bassin de l'Ouémé supérieur soit caractérisé par un relief légèrement ondulé, l'érosion du sol est un problème important dans certaines parties du bassin. L'érosion du sol, participant à la dégradation générale du sol, (pertes d'éléments nutritifs et de matières organiques, compactage) sera probablement aggravée dans le futur du fait de l'extension rapide des superficies agricoles avec des périodes de jachère courtes voir aucune période de jachère, du manque de mesures de conservation du sol et d'une variabilité croissante des précipitations liée au changement climatique.

Méthodologie

Le modèle SWAT (Outil d'évaluation du sol et de l'eau) a été appliqué pour analyser des processus hydrologiques et érosifs dans le bassin versant. C'est un modèle semi-distribué, qui prend en considération la variabilité spatiale de l'utilisation de la terre et des sols (Fig. 1). Avant de calculer des scénarios de changement dans l'utilisation des terres et de changement climatique, le modèle a été testé pour la période 1998–2005. Il a été calibré au niveau des exutoires des sous-bassins versant de Terou-Igbomakoro et de Donga-Pont et validé au niveau de plusieurs autres exutoires. L'hydrologie a été calibrée pour la période 1998–2001. Ensuite, le budget sédimentaire a été calibré en utilisant les concentrations de sédiments en suspension obtenues à partir de mesures continues de la turbidité en 2004/05. Sur cette base, les grands courants d'érosion du sol ont été identifiés.

Le modèle SWAT
(Outil d'évaluation de l'eau du sol)

- Temps continu
- Espace différencié
- Processus de base en particulier
- Gestion des demandes et paramètres d'entrée
- Interface GIS
- Applicable aux bassins > 10000 km²
- Logiciel libre, groupe d'utilisateur répandu
- 121 sous-bassins
- 926 HRUs
- (combinaisons utilisation de terre - sol)

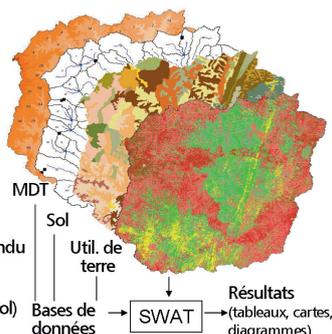


Fig. 1: Outil d'évaluation du sol et de l'eau

Calibrage et validation du modèle

Il est important de représenter correctement les processus hydrologiques afin de pouvoir simuler la production de sédiments de façon adéquate. Le débit mesuré et les composantes du débit aux exutoires des sous-bassins Terou-Igbomakoro et Donga-Pont ont été correctement reproduits par le modèle pour le calibrage et la période de validation (Fig. 3). Le calibrage du processus de sédimentation a également été réalisé avec succès (Fig. 2).

Ainsi, le modèle est applicable au bassin de l'Ouémé supérieur et peut être utilisé pour analyser des scénarios (↗ 32).

Résultats 1998–2005

Les résultats de modélisation sont, pour tout le bassin versant et deux sous-bassins versants pour la période 1998–2005, résumés dans le Tableau 1. Dans le bassin de l'Ouémé supérieur, la production moyenne de sédiments est de 0,22 t/ha/an.

Cependant, dans certains sous-bassins versants, la production de sédiments atteint 2,25 t/ha/an (Fig. 4). La plus forte production d'eau et de sédiments a été simulée pour 1998/99 et 2003. Les maxima de production mensuelle d'eau et de sédiments se situent en août et en septembre, période pendant laquelle on observe les maxima des totaux pluviométriques ainsi que de nombreuses chutes de pluies érosives.

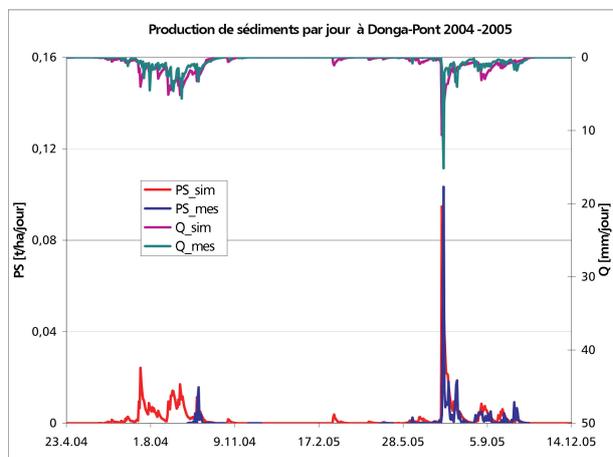


Fig. 2: Production de sédiments mesurée quotidiennement (SY_mes) et simulée (SY_sim) durant la période de calibrage

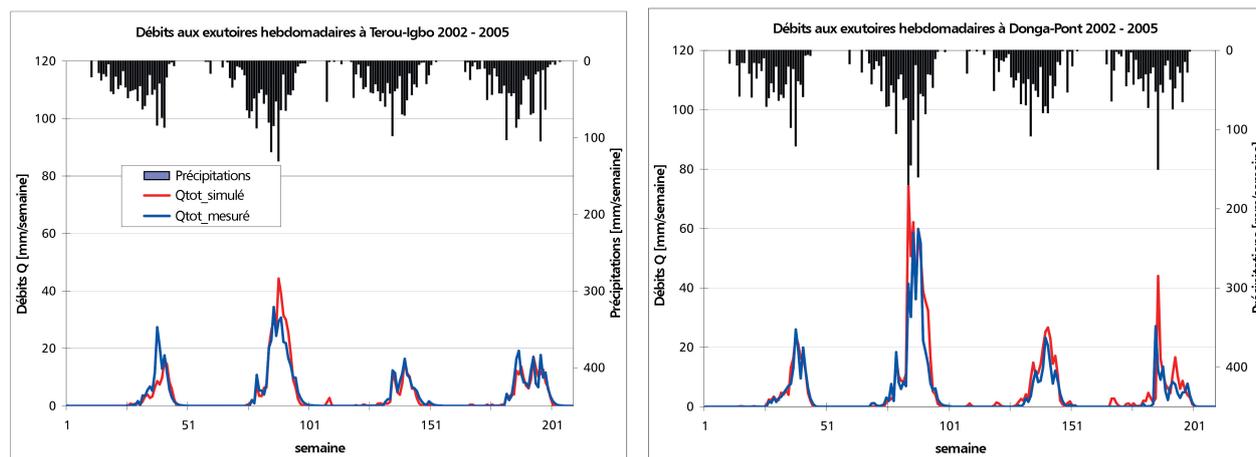


Fig. 3: Validation du modèle : comparaison des débits hebdomadaires simulés et mesurés aux exutoires de Terou-Igbomakoro et Donga-Pont; mesures de performance (efficience du modèle (ME), coefficient de détermination (R2), indice de concordance (IoA))

L'exemple d'un sous-bassin utilisé de façon intensive comme celui de Donga-Pont (près de 40 % d'espace cultivé), indique que 59 % du ruissellement d'eau entraîne une production de sédiments quasiment quatre fois plus grande que dans le bassin de Terou-Igbomakoro. Les champs sont de loin les principaux contributeurs à la présence de sédiments (96,9 %), suivis des terres herbeuses et de la savane herbeuse (2,4 %).

En résumé, les régions où les taux d'érosion traditionnellement forts sont localisées autour des villes de Djougou et de Parakou et le long des routes principales. Le principal facteur causant l'érosion est l'exploitation agricole des terres. Dans la région de Djougou, l'érosion est accentuée par les des précipitations plus nombreuses et plus violentes que dans le reste du bassin. Dans de grandes parties du bassin versant, les taux de l'érosion demeurent bas.

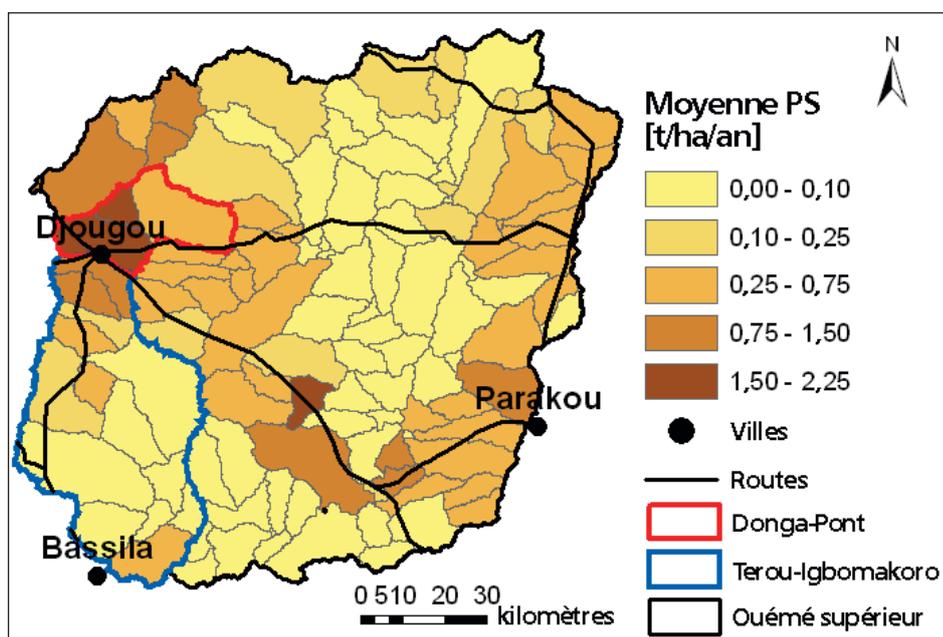


Fig. 4: Production moyenne de sédiments (PS) dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur (1998-2005)

Tab. 1: Résultats de modélisations 1998-2005. WY: production d'eau, SY: production de sédiments

	Champ [%]	Savane [%]	Forêt [%]	Pluviométrie [mm/yr]	WY [mm/yr]	Qsurf [mm/yr]	SY [t/ha/yr]
Donga-Pont	39	61	0	1 294	297	174	0,85
Terou-Igbomakoro	11	72	17	1 157	213	96	0,14
Upper Ouémé	14	78	8	1 184	219	107	0,22

Références

- Hiepe, C. (2008): Soil degradation by water erosion in a sub-humid West-African catchment. A modelling approach considering land use and climate change in Benin. Thèse de doctorat, Université de Bonn. http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/math_nat_fak/2008/hiepe_claudia/index.htm.
- Junge, B. (2004): Die Boden im oberen Oueme-Einzugsgebiet: Pedogenese, Klassifikation, Nutzung und Degradierung. Thèse de doctorat, Université de Bonn.

Modélisation de l'érosion dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur – Analyse de scénarii

Claudia Hiepe

L'érosion du sol par l'eau détériore la qualité du sol et peut gravement affecter le rendement agricole, surtout dans les systèmes d'agriculture à faible utilisation d'intrants agricoles. L'expansion rapide des superficies agricoles et une augmentation des événements pluviométriques extrêmes du fait du changement climatique accélérera dans l'avenir l'érosion du sol par l'eau au centre du Bénin. Par ailleurs, les précipitations moyennes annuelles pourraient diminuer. Les modèles d'érosion sont des outils précieux pour étudier les effets de l'utilisation du sol et du changement climatique sur les processus érosifs et hydrologiques à l'échelle régionale.

Méthodologie

Avant de pouvoir analyser les scénarii futurs, il fallait appliquer le modèle SWAT (Soil Water Assessment Tool) avec succès au bassin de l'Ouémé supérieur pour la période 1998–2005 (↗31). Deux scénarii climatiques et trois scénarii relatifs à l'utilisation des sols ont été appliqués séparément et en combinaison pour la période 2001–2050 (Fig. 1).

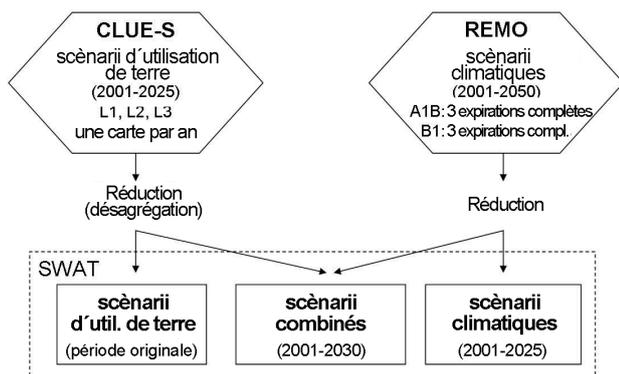


Fig. 1: Vue d'ensemble d'une analyse de scénarii

Les cartes d'occupation des sols de 2005, 2015 et 2025 (Lu05–Lu25) pour les trois scénarii d'utilisation des sols L1, L2, L3 ont été dérivées du modèle CLUE-S (↗40) et montrent une extension des espaces agricoles de 51 à 108 % d'ici 2025 en fonction d'hypothèses spécifiques des scénarii. Les scénarii climatique ont été dérivés du modèle climatique régional REMO (↗5). Les résultats de REMO (sous forme de grilles), fondés sur les scénarii du GIEC – RSSE A1B (globalement orienté vers l'économie) et B1 (globalement orienté vers la préservation sur le long terme) ont été pré-traités statistiquement et attribués aux stations climatiques individuelles. Les résultats des scénarii ont été comparés aux résultats du modèle original pour la période 1998–2005.

Scénarios d'utilisation des sols

Tous les scénarii d'utilisation des sols indiquent une augmentation importante des ruissellements de surface et de la production de sédiments, tandis que les changements obser-

vés pour la production totale de l'eau et toutes les autres composantes du bilan hydrique sont négligeables (Fig. 2).

En 2025, la production de sédiments augmente de 42 % à 95 % en fonction du scénario d'utilisation des sols. Ces tendances sont même plus prononcées pour le sous-bassin de Térou-Igbomakoro qui n'est pas encore utilisé de façon intensive. Cependant, les taux d'érosion dans ce sous-bassin n'ont pas encore atteint les forts taux actuellement relevés dans le sous-bassin de Donga-Pont.

Scénarii climatiques

Pour une légère augmentation de l'évapotranspiration potentielle et une baisse de 3 % des précipitations moyennes annuelles (scénario B1) pour la période 2001–2025, la production d'eau diminue de 5% et celle de sédiments de 12 %. Pour le scénario A1B (4 % de baisse des précipitations), les chiffres sont de -5 % (production d'eau) et -14 % (production de sédiments). Pour la période 2026–2050 et pour certaines parties du bassin versant (par exemple, Donga-Pont), les baisses sont même plus drastiques et peuvent aller jusqu'à 35 % (Fig. 3).

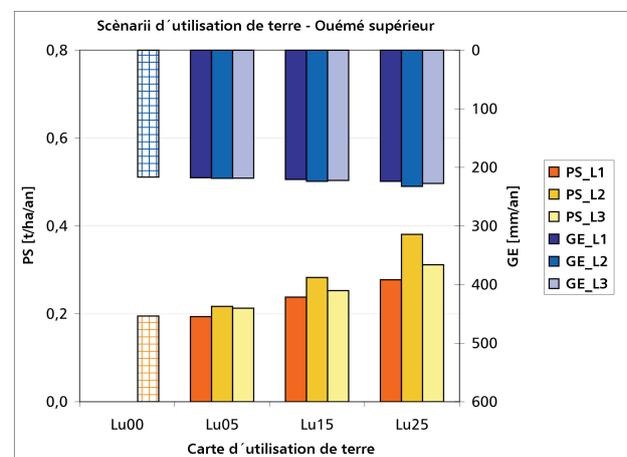


Fig. 2: Simulation de la production d'eau (GE) et de la production de sédiments (PS) pour les scénarii d'utilisation des sols L1-L3

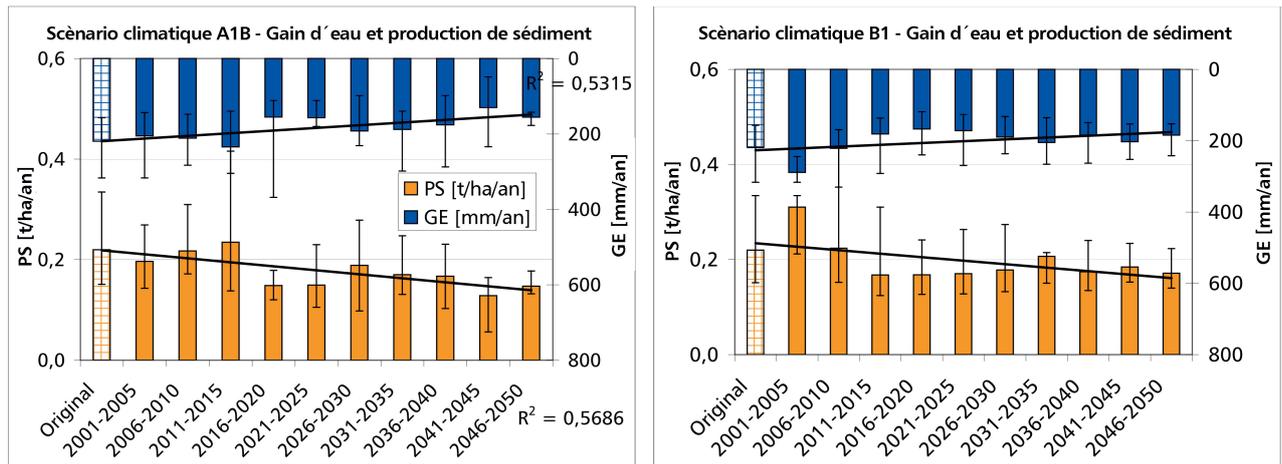


Fig. 3: Production d'eau moyenne (GE) et production de sédiments (PS) simulées pour les scénarii climatiques; les barres reflètent les variations entre les trois exécutions du modèle climatique REMO

Conclusions

Les scénarii d'utilisation des sols et du changement climatique montrent des effets opposés sur la production d'eau et de sédiments. Pour des scénarii combinés, la production d'eau moyenne diminue, d'après REMO, de 4 % à 12 % pour la période 2001 – 2025 à cause du changement climatique. La production de sédiments (augmentation ou diminution) dépend du scénario et de l'emplacement du sous-bassin. Tous les scénarii combinés varient entre -4 % et +17 % pour la production moyenne annuelle de sédiments pour la période 2001 – 2025 dans le bassin de l'Ouémé supérieur. Cependant, la production de sédiments atteint 25 % dans le sous-bassin de Terou-Igbomakoro. La répartition spatiale des taux d'érosion du sol reste similaire, indiquant un fort taux d'érosion dans le nord-ouest et l'est du bassin (Fig. 4).

De nouvelles zones soumises à de forts risques d'érosion du sol apparaissent dans le sud du bassin. Les activités visant à conserver le sol devraient être étendues à ces régions.

Références

- Hiepe, C. (2008): Soil degradation by water erosion in a sub-humid West-African catchment-a modelling approach considering land use and climate change in Benin, Thèse de doctorat, Université de Bonn. http://hss.ulb.unibonn.de/diss_online/math_nat_fak/2008/hiepe_claudia/index.htm
- Junge, B. (2004): Die Böden im oberen Ouémé-Einzugsgebiet: Pedogenese, Klassifikation, Nutzung und Degradierung. Thèse de doctorat, Université de Bonn.

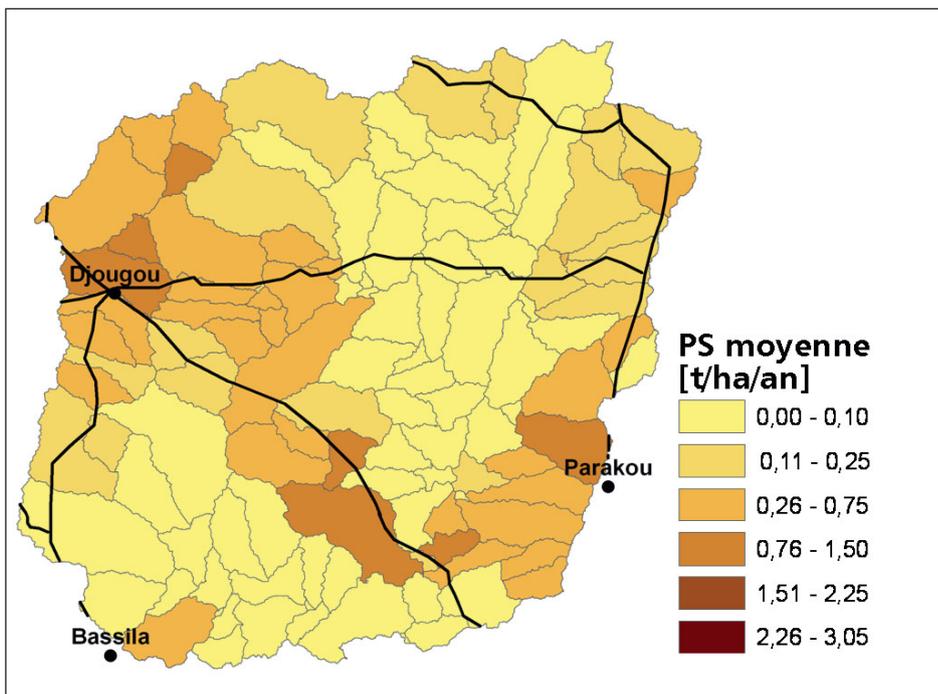


Fig. 4: Futures zones soumises à de forts risques d'érosion du sol – Résultats de scénarii combinés

Répartition des sols dans le bassin versant d'Aguima

Claudia Hiepe et Birte Junge

A petite échelle, la variabilité des sols au centre de Bénin est importante. Une connaissance détaillée de la répartition spatiale et des propriétés des sols est essentielle pour comprendre les processus hydrologiques locaux.

Méthodologie

La répartition des sols dans le bassin d'Aguima a été étudiée par Junge (2004) le long de 8 transects de 2001 à 2002. Au total, 522 sondages à la tarière et 56 profils représentatifs profonds d'environ 2 mètres ont été étudiés. Les profils ont été classés suivant les différents systèmes de classification (CPCS, WRB, FAO), et une séquence typique de types de sols a été identifiée le long des ruptures de pente. Dans la nouvelle carte (Fig. 2), les types de sols ont été déterminés aux moyens d'informations complémentaires dérivées des données de télédétection et d'une carte topographique au 1: 50 000.

Répartition des sols

La carte des sols réalisée par l'institut français « ORSTOM » montre que dans le bassin de l'Aguima, les seuls types de sols dominants sont les sols ferrugineux tropicaux lessivés subdivisés en sous-groupes : avec/sans concrétions et indurés. Cette carte grossière des sols ne suffit pas pour comprendre les

processus hydrologiques à l'échelle locale (↗ 18). La nouvelle carte détaillée de sols reflète la séquence typique des sols (Fig. 1) et inclut des sols présents de façon minoritaire dans le pays comme les fluvisols, lithosols et gleysols. Sur certains sommets et sur le bas des pentes, des sols à horizons plinthitiques, où affleure le socle, (plinthosols, 15 % du bassin) ont été trouvés. Au milieu et en haut des pentes, les lixisols et acrisols (60 %), plus profonds et plus fertiles que les plinthosols, dominent. Dans les bas-fonds, les gleysols (12 %) apparaissent ; il s'agit de sols hydromorphes avec une texture sableuse et une grande perméabilité en périphérie et plus riche en argile et éléments nutritifs vers le centre. Dans la plaine fluviale, les fluvisols (pH élevé et saturation en bases) prédominent. Les termites peuvent modifier la séquence de sol typique en produisant des terres de surface grasses avec une grande saturation en bases. Relativement jeunes et fertiles, les acrisols rouges sont présents autour de l'inselberg Mt. de Gaulle (4 %).

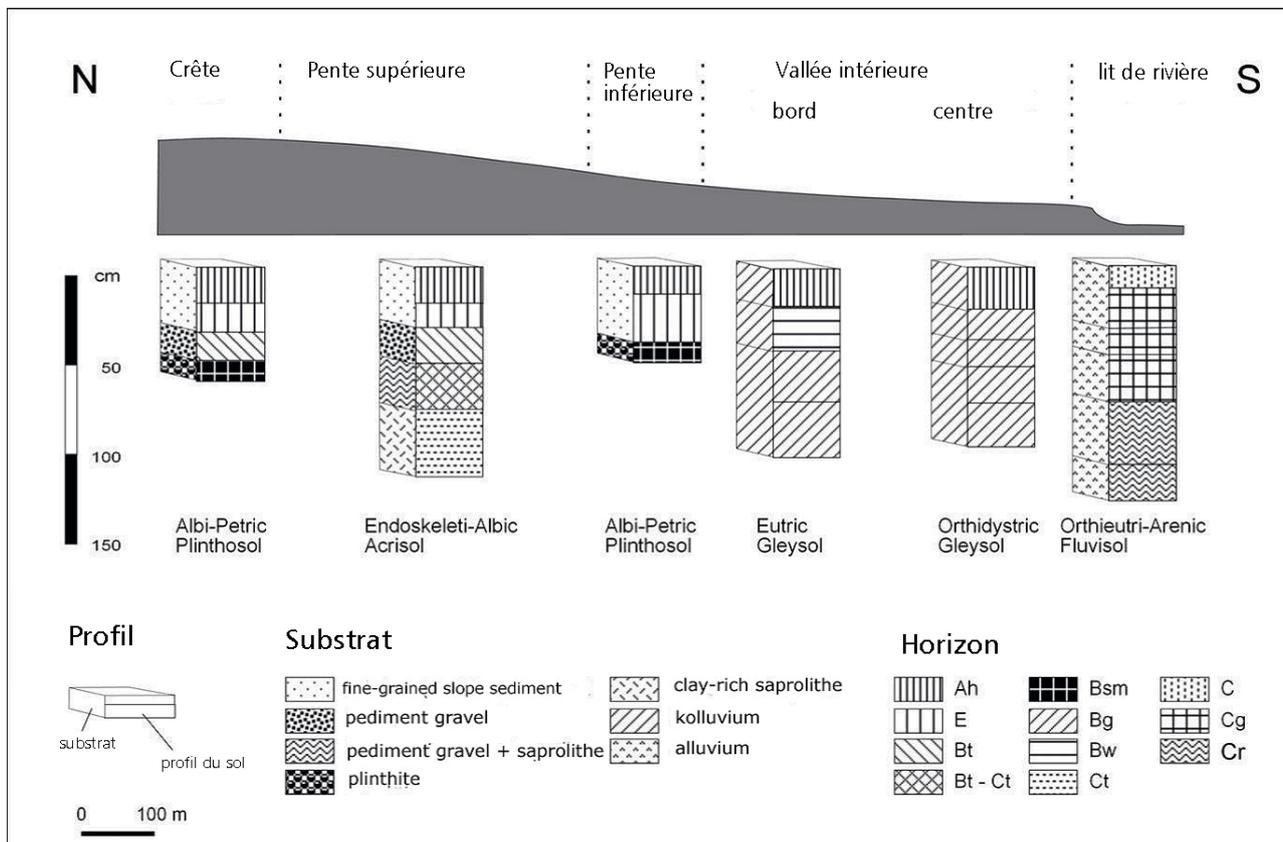


Fig. 1: Séquence typique de sol – bassin versant d'Aguima.

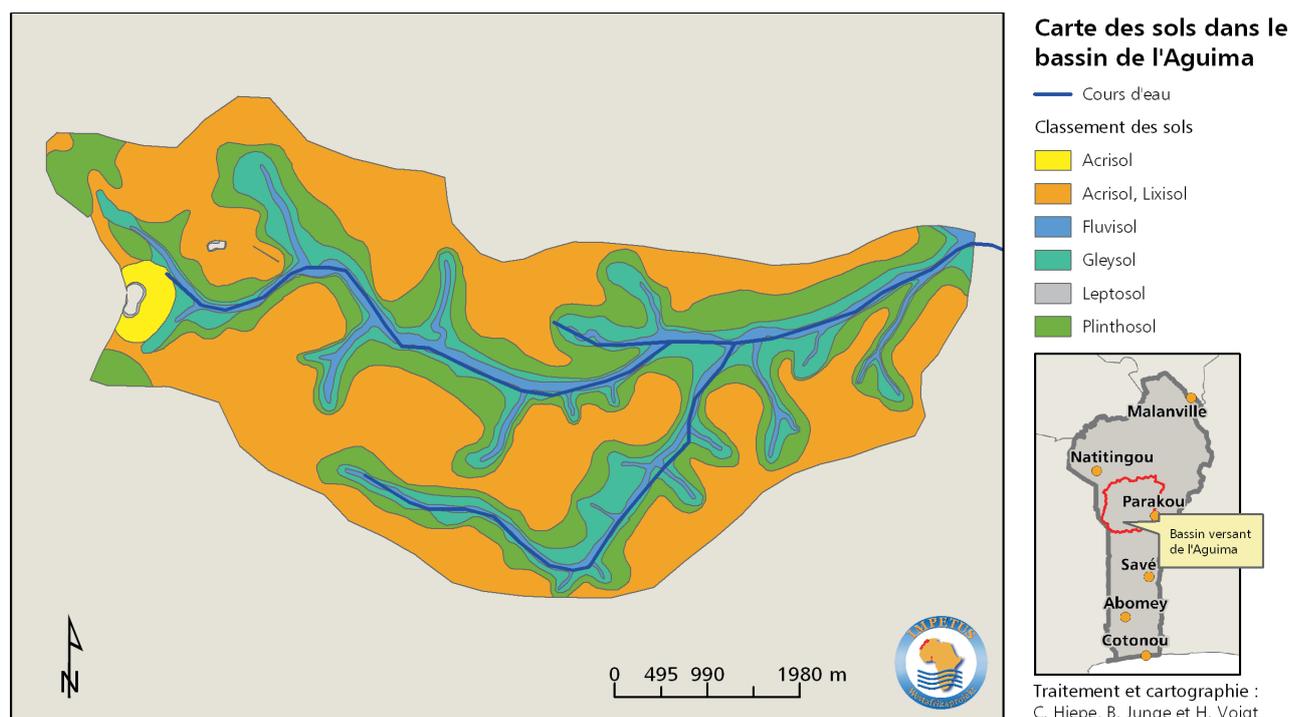


Fig. 2: Carte du sol du bassin versant d'Aguima

La classification de sols par les fermiers fait référence uniquement au premier horizon et distingue ilè odan (sols du champ sablonneux), ilè yibo (sols sablonneux en savane) et Yangari (terres de surface caillouteuses dégradées).

Fertilité des sols

La plupart des sols sont limités par une faible capacité en eau disponible due à de faibles profondeurs racinaires et à la présence d'une forte quantité de graviers et de matières sablonneuses. La présence d'argiles kaolinitiques et la faible teneur en carbone organique expliquent le faible contenu en éléments nutritifs des sols. Seuls les sols situés autour d'inselbergs et de termitières et les sols situés au fond des vallées et dans les dépressions intérieures, sont plus fertiles. Les sols sont, pour la plupart, moyennement adaptés à la production agricole.

Références

- Giertz, S., Junge, B. et Diekkrüger, B. (2005): Assessing the effects of land use change on soil physical properties and hydrological processes in a sub-humid tropical environment of West Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30 (8–10), 485–496.
- Junge, B. (2004): Die Böden im oberen Ouémé-Einzugsgebiet: Pedogenese, Klassifikation, Nutzung und Degradierung. Thèse de doctorat, Université de Bonn.

Erosion du sol dans le bassin versant de l'Aguima

Claudia Hiepe et Birte Junge

L'érosion du sol par l'eau est importante car la perte de la terre de surface peut considérablement accélérer la détérioration des propriétés physiques et chimiques du sol. Au centre du Bénin, où les paysans n'ont pas les moyens d'utiliser des engrais inorganiques, l'érosion du sol peut affecter lourdement la fertilité du sol et la production agricole.

Méthodologie

En 2002, Junge (2004) a installé des parcelles d'érosion (10 x 1.60 m²) dans les champs avec différentes cultures (coton, maïs, igname) et systèmes de labour (lignes, monticules), et dans des conditions de savane naturelle dans le but de mesurer l'écoulement de surface et la perte de terre. Les pentes sont inclinées entre 3,5 et 4,3 %. Après chaque événement pluvieux, les quantités d'eau et de sédiments de sol érodés collectées dans des réservoirs étaient mesurées et pesées. De plus, des pièges à sédiments munis de branches de collecte (2 x 0,2 m²), un piège à sédiments en boîte (0,5 m³) et des piquets d'érosion ont été installés (Fig. 1) et les modifications des formes de micro-relief et d'érosion ont été cartographiées. Un traceur expérimental identifie la distance de transport du matériel érodé.

Résultats sélectionnés

L'écoulement de surface et la perte de terre au niveau des piquets d'érosion diffèrent significativement entre les cultures et systèmes de labour (Figs. 2 et 3). Les plus grandes pertes de terres ont été observées au niveau des piquets installés dans les champs de coton plantés en ligne dans la direction de la pente (écoulement 229 mm/an, perte de terre 124 t/ha/an, données non affichées ici) et au niveau des piquets installés sur des monticules d'igname (168 mm/an d'écoulement, 41 t/ha/an de perte terre). Par contre, l'écoulement de surface et la perte de terre sont moins importants dans les champs installés parallèlement aux courbes de niveau (par exemple pour les champs de coton, l'écoulement est de 106 mm/an et la perte de terre s'élève à 13 t/ha/an), parce que le ruissellement du haut vers le bas de la pente a été ralenti. Au niveau des piquets installés dans la savane, l'écoulement (50 mm/an) et la perte de terre (4 t/ha/an) ont été 20 fois moindres. Les valeurs mensuelles pour l'érosion du sol et l'écoulement de surface dans le bassin atteignent leurs maximums en avril, août, et septembre (Fig. 3). Ce résultat peut être expliqué par le fait que la couverture végétale soit clairsemée et le sol sec pendant les premières pluies puis les sols complètement saturés en août et septembre (↗ 18).

En général, les plus forts taux d'érosion du sol dans les champs peuvent être expliqués comme étant une conséquence de la destruction mécanique de la structure du sol et de la couverture végétale qui protège le sol : l'activité biologique (par exemple, densité des vers de terre) diminue ce



Fig. 1: Parcelle d'érosion (a), piquet d'érosion (b) et piège à sédiment (c)

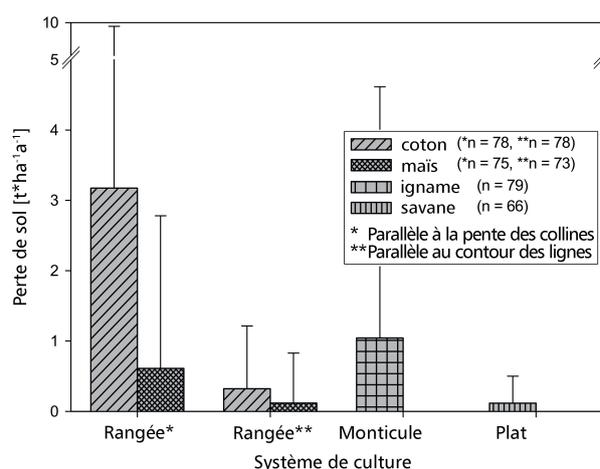


Fig. 2: Taux de perte du sol en 2002 pour différents systèmes de cultures

qui réduit la macro-porosité. La plus faible perméabilité de la surface du sol qui en résulte cause des écoulements de surface et une érosion du sol accru. De plus, la perte

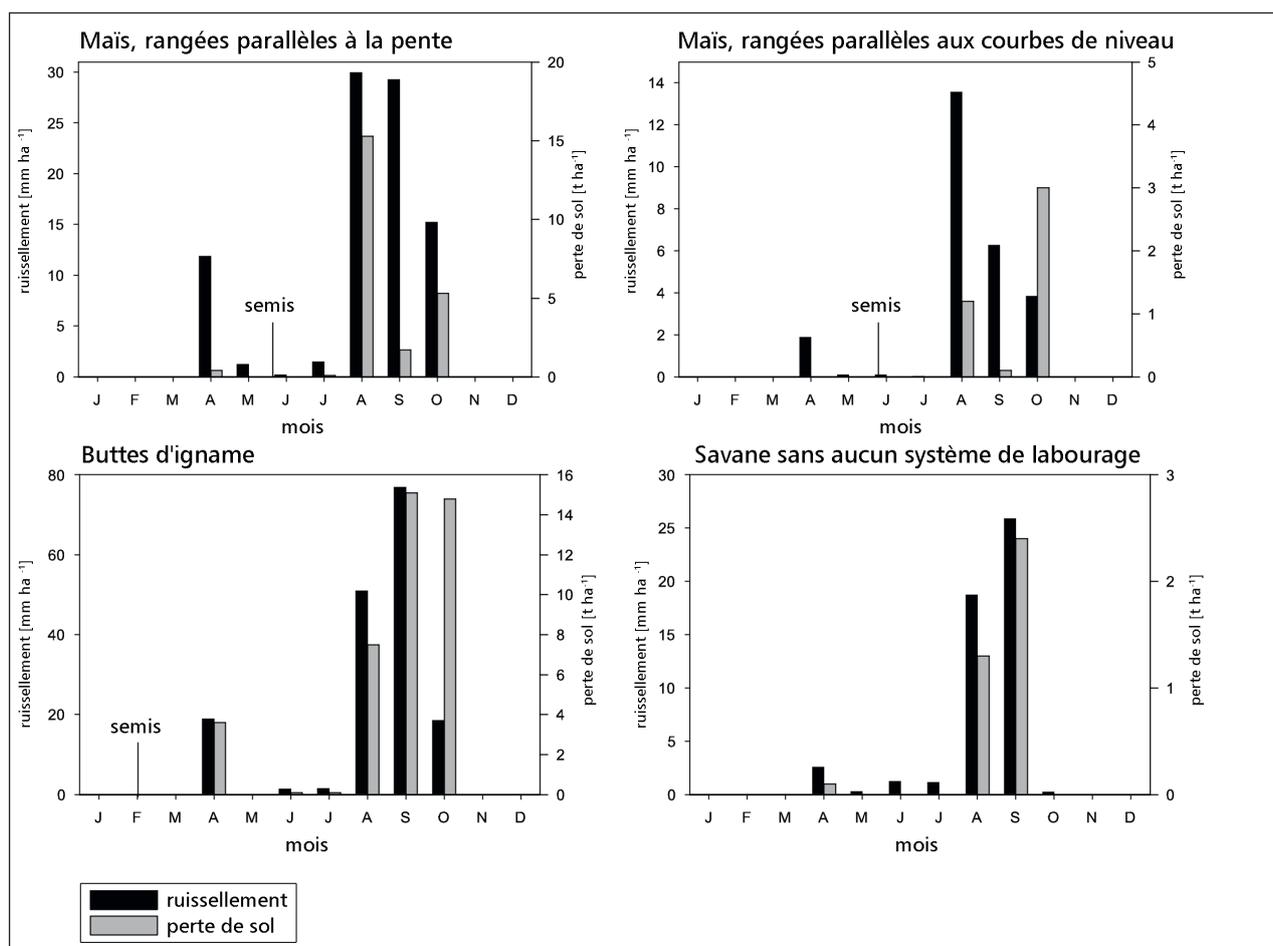


Fig. 3: Mesures mensuelles de l'écoulement et de l'érosion pour plusieurs utilisations des sols

sélective des particules les plus fines des sols entraîne une plus grande quantité de particules grossières à la surface du sol présente dans l'horizon B ainsi qu'une réduction du taux de carbone organique et une détérioration de la structure du sol dans le premier horizon. Avec l'équation de perte de terre unifiée (USLE), nous avons calculé une moyenne à long terme de 20–27 t/ha/an. Le bassin versant de l'Aguima est caractérisé par une grande érosivité due à l'eau de pluie (par exemple, 33 pluies érosives entre 1997–2002, principalement en août et septembre). A l'exception des gleysols dans les bas-fonds, les terres de surface sablonneuses de savane ne courent pas de risques d'érosion, entraînant ainsi un risque d'érosion moyen. L'analyse chimique des propriétés du sol a montré que la dégradation chimique n'est pas encore prononcée dans le bassin de l'Aguima, mais augmentera certainement du fait de l'expansion rapide des terres agricoles et de la diminution de la durée de jachère. Les mesures possibles pour la conservation du sol seraient la réduction des feux de végétation provoqués par l'homme, de développer des cultures perpendiculaires à la pente, et d'optimiser la rotation des avec des légumes et des engrais organiques.

Les limites

Les mesures locales de l'érosion ont été basées sur une seule saison pluvieuse. Pour obtenir de bons résultats, il est nécessaire d'effectuer une surveillance à long terme, prenant en compte l'extrême variabilité de la pluie sous les tropiques. Pour la même raison, il n'est pas forcément possible d'appliquer ces résultats aux autres régions et vice versa. Néanmoins, les résultats sont précieux pour comparer différentes utilisations du sol et systèmes de gestion et en pour interpréter des résultats de modélisation de l'érosion à l'échelle régionale (↗ 31, 32).

Références

- Giertz, S., Junge, B. et Diekkrüger, B. (2005): Assessing the effects of land use change on soil physical properties and hydrological processes in a sub-humid tropical environment of West Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30 (8–10), 485–496.
- Junge, B. (2004): Die Böden im oberen Ouémé-Einzugsgebiet: Pedogenese, Klassifikation, Nutzung und Degradierung. Thèse de doctorat, Université de Bonn.

Processus hydrologiques et répartition des sols dans le bassin versant de l'Ara

Gero Steup

Le bassin versant de l'Ara, couvrant une superficie de 13 km², est localisé dans le nord-ouest du bassin de l'Ouémé supérieur près de la ville de Djougou. Il a longtemps été exploité pour l'agriculture entraînant une disparition quasi-totale de la végétation naturelle et une forte dégradation de la plupart des sols. Une analyse des processus hydrologiques dans cette région permet de mieux comprendre les effets qu'une longue période de culture peut avoir sur le cycle hydrologique. Compte tenu de la forte croissance démographique de la région et des dynamiques migratoires au Bénin, l'étude à l'échelle du bassin de l'Ara peut être envisagée comme représentative de la situation future d'une grande partie du bassin de l'Ouémé Supérieur.

En 2002, un limnimètre et trois pluviomètres ont été installés par le Projet AMMA-Catch dans le bassin de l'Ara. Un poste météorologique automatique collecte les données climatiques additionnelles à Djougou.

Le total annuel des précipitations dans le bassin versant tourne autour de 1 200 mm. L'hydrogramme (Fig. 1) montre une dynamique d'écoulement caractérisée par des crues soudaines et des débits importants. Le coefficient de ruissellement varie entre 11 % au cours des années sèches à près de 30 % au cours des années humides comme en 2003 (Kamagaté, 2006). Des hydrogrammes semblables ont été observés dans le bassin supérieur de Niaou où les activités agricoles prédominent également.

Les débits maximums importants enregistrés sont principalement causés par une augmentation du ruissellement sur les terres cultivées où les taux d'infiltration sont réduits. La Figure 2 montre les résultats in situ des mesures d'infiltration sur différents types de sols et différents types d'utilisations des terres. Les données marquées de la même couleur

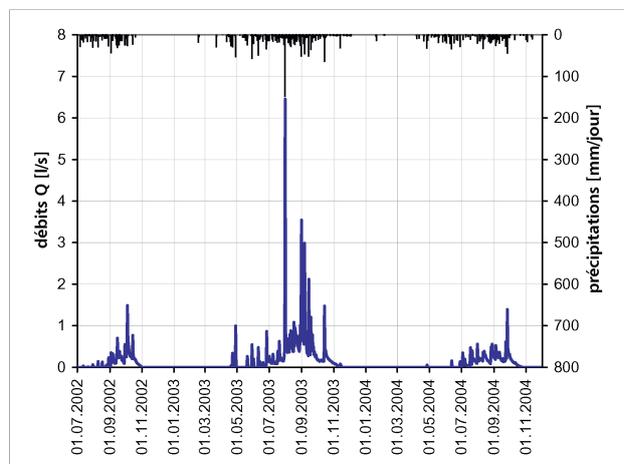


Fig. 1: Débit journalier du bassin versant de l'Ara

ont été mesurées sur une même parcelle d'une superficie de quelques mètres carrés, ayant un même type de sol, mais une couverture végétale différente.

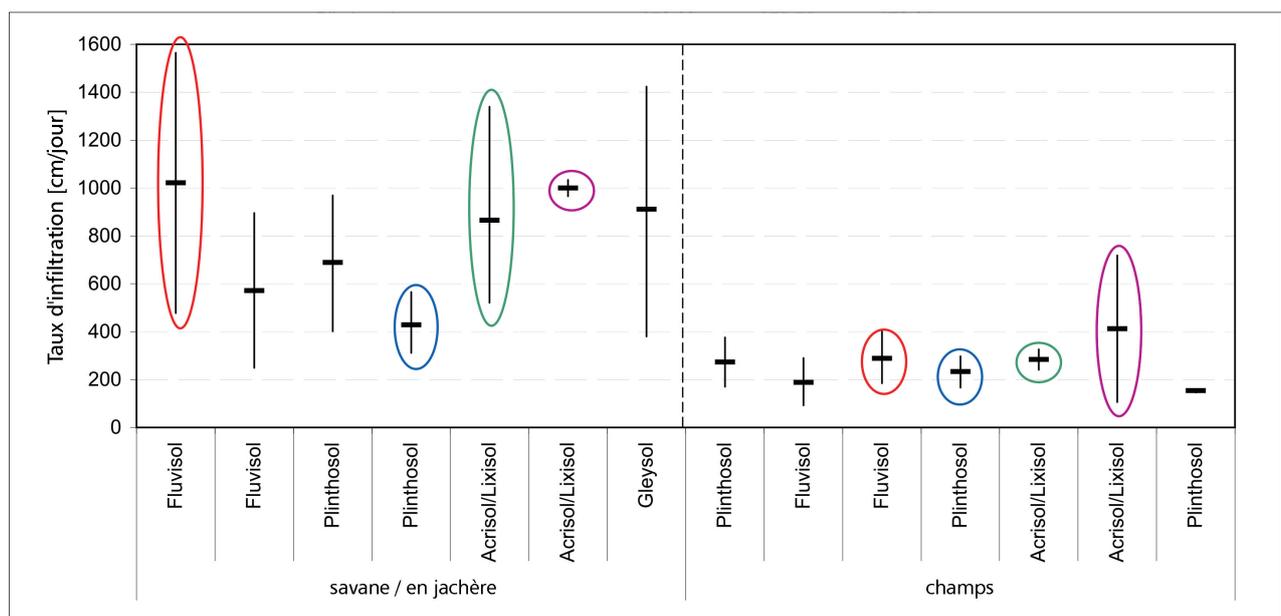


Fig. 2: Taux d'infiltration mesurés sur différents types de sols et différentes couvertures végétales; barre verticale: base = minimum, sommet = maximum, milieu = moyenne arithmétique, cercles: même parcelle

Afin de comprendre les processus hydrologiques à l'échelle locale et d'obtenir une base de données pour un modèle hydrologique à base physique, les sols du bassin versant ont été étudiés. Cent sondages et 30 profils pédologiques de 2 m de profondeur ont été prélevés le long de trois principaux transects. De plus, les propriétés physiques du sol, telles que la texture, la densité apparente, la conductivité verticalement et latéralement saturées, ont été mesurées au laboratoire.

Les sols ont été classés suivant la Base Mondiale de classification de Référence (WRB). La Figure 3 présente la carte de répartition des sols dans le bassin versant y correspondant. Contrairement au bassin versant de l'Aguima, le type de sol dominant est le plinthosol qui représente 46 % du

bassin versant. Ces sols sont peu profonds et fortement dégradés avec un horizon induré et une couche de surface fortement gravillonnaire résultant du ruissellement et de l'érosion du sol. Les acrisols/lixisols avec un horizon induré constituent 15 % des sols, tandis que les acrisols/licrisols plus profonds représentent 21 % des sols. Dans la plaine fluviale et les bas-fonds, des gleysols sablonneux et des fluvisols peuvent être trouvés.

References

Kamagaté, B. (2006): Fonctionnement hydrologique et origine des écoulements sur un bassin versant de milieu tropical de socle au Bénin : bassin versant de la Donga (Haute Vallée de l'Ouémé). PhD-Thesis, University of Montpellier II.

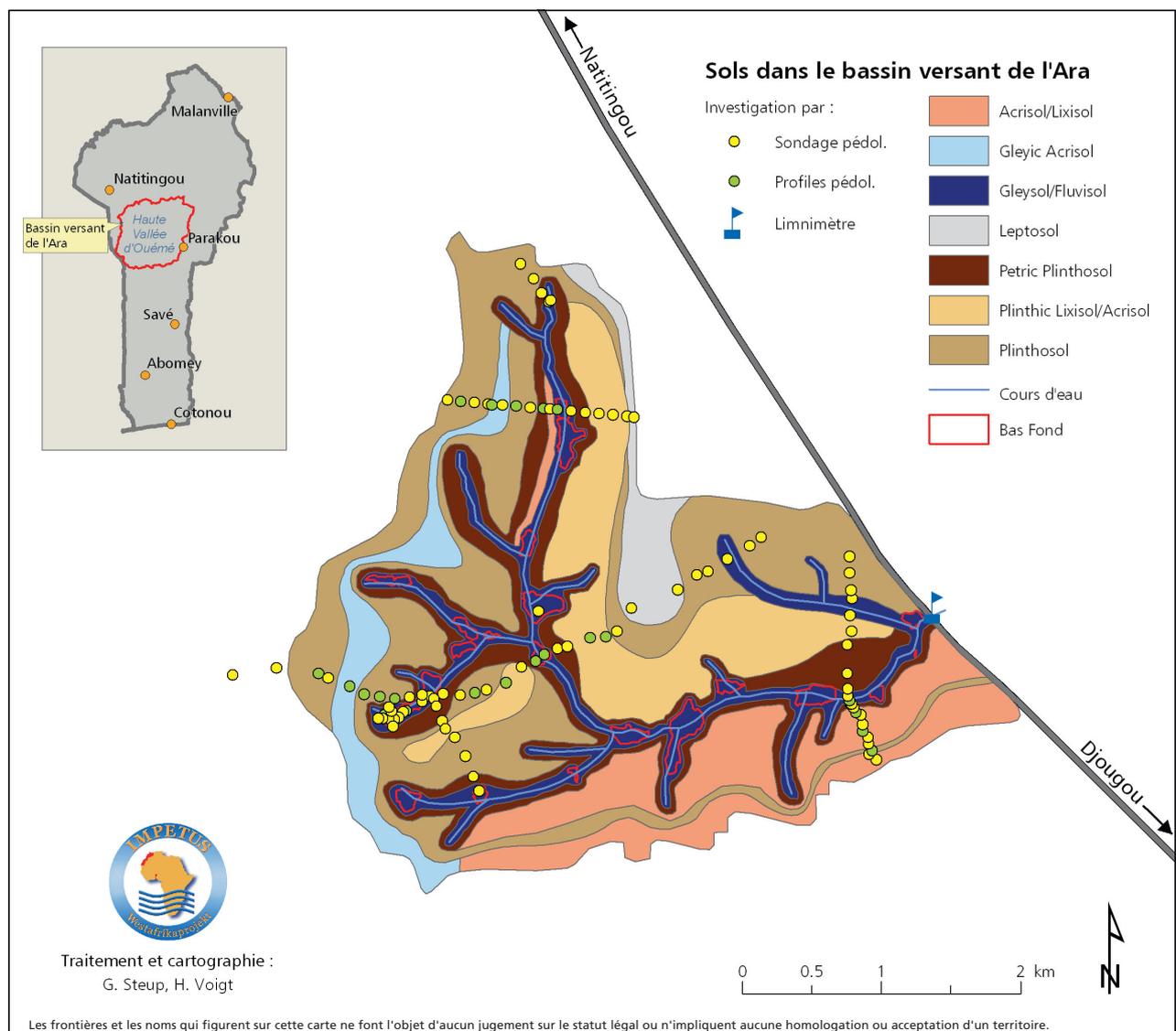


Fig. 3: Carte des sols du bassin versant de l'Ara



Jardinage dans la zone périurbaine près de Cotonou



Occupation et utilisation du sol

Utilisation du sol dans le bassin de l'Ouémé

Hans-Peter Thamm et Michael Judex

La couverture de végétation est le résultat d'un écosystème particulier et de sa modification par les activités humaines. Dans le bassin de l'Ouémé, l'utilisation du sol est en grande partie caractérisée par l'agriculture à petite échelle. Dans la partie nord du bassin versant, il est possible de trouver des activités d'agriculture intensive autour de vieilles agglomérations. La ceinture de forêt située au milieu du bassin versant est soumise à une pression croissante du fait des extensions agricoles. Le sud du bassin est caractérisé par de grandes plantations et une utilisation agricole intensive du sol.

Introduction

Le bassin du fleuve Ouémé, le plus grand fleuve au Bénin, s'étend entre 10° 09' 33 " N et 6° 20' 14 " N et couvre une superficie d'environ 51 000 km². Différents types de végétation peuvent être rencontrés dans ce bassin versant. La partie nord du bassin appartient à la zone soudanienne méridionale, avec une végétation caractérisée par des savanes boisées avec un sous-bois herbeux. Dans la partie sud, la végétation appartient à la zone de transition Guinéo-soudanienne (White, 1983).

La végétation naturelle, qui est le résultat des conditions écologiques, a été modifiée par les activités humaines. Dans les différentes parties du bassin versant, les formes d'utilisation et d'occupation des sols peuvent varier très fortement selon la densité locale de population.

Description détaillée de l'occupation et de l'utilisation du sol

La carte d'utilisation des sols (Fig.1) a été réalisée à partir de MODIS / Terra Land Cover Type L3 ayant une résolution d'1 km x 1 km (source : <http://edcdaac.usgs.gov/modis>). La classification a été définie et améliorée en prenant en compte les images LANDSAT. Il n'est pas possible de distinguer les différentes cultures du fait de l'insuffisance de la résolution spatiale et spectrale des données MODIS, de la taille des champs qui sont généralement petits, de la très grande hétérogénéité des formes d'utilisation et d'occupation des sols et de la couverture de nuages apparaissant fréquemment pendant la saison des pluies.

Dans la partie nord du bassin, on trouve de vieilles agglomérations avec des densités élevées de population comme, par exemple, autour de Djougou et de Parakou. La majeure partie des terres est utilisée pour des activités agricoles de petite échelle. Les forêts ont quasiment toutes disparu, conséquence du manque croissant de terres de culture contre lequel les agriculteurs luttent. Des reliques de forêts denses subsistent autour de quelques villages et constituent des endroits sacrés (appelés forêts sacrées) qui ont servi de lieu de refuge contre les chasseurs d'esclaves au cours des temps passés (par exemple, autour du village de Sérrou).

Entre Djougou et Parakou, il y a de vastes forêts protégées, propriété d'Etat (forêt classées) comme la Forêt de

l'Ouémé supérieur et la Forêt de Wari-Marou. Les espaces agricoles s'étendent le long de la route de Djougou-Ouberou-Parakou et peuvent empiéter parfois sur les forêts classées dont certaines parties ne sont plus respectées et converties en terre de culture.

Au sud de la ligne de Bassila-Wari-Marou se trouve une région à très faible densité de population avec de nombreuses forêts. De nouvelles colonies agricoles sont construites le long des quelques routes et pistes existantes. Les activités agricoles sont essentiellement destinées à nourrir les résidents locaux mais une partie de la production est vendue sur les marchés régionaux.

La zone centrale du bassin versant (entre 8° et 9° de latitude nord) enregistre le taux de croissance démographique le plus élevé du Bénin rural. Il en a résulté de forts taux de déforestation et, par conséquent, seuls quelques îlots de forêts subsistent. Le sol est utilisé dans cette zone par une mosaïque de champs, des jachères et quelques îlots de forêts. De grandes plantations de teck se rencontrent autour de Bohicon.

A la limite de la plaine d'érosion de l'Ouémé, les forêts denses qui restent bénéficient de la disponibilité permanente en eau souterraine (par exemple, forêt de Lokoli, forêt de la Lama). Des espèces d'arbres caractéristiques des tropiques humides peuvent même y être encore observées.

Plus au sud, de grandes plantations de palmiers à huile peuvent être rencontrées. Elles sont gérées par de grandes sociétés qui produisent de l'huile destinée à l'exportation.

Les superficies entre les plantations sont utilisées de façon intensive pour l'agriculture à petite échelle (agriculture familiale). Dans l'extrême sud, deux récoltes par an sont possibles en raison du régime bimodal de la mousson. Les quelques reliques de forêts subsistant se trouvent pour la plupart proches des villages et sont généralement des « forêts sacrées » qui n'ont pas été converties en terres agricoles. Dans le sud, à partir de Bohicon, les agglomérations se multiplient en raison de la densité élevée de population.

Références

White, F. (1983): The vegetation of Africa. UNESCO, Paris.
NASA (2008): <http://modis-land.gsfc.nasa.gov/landcover.htm>

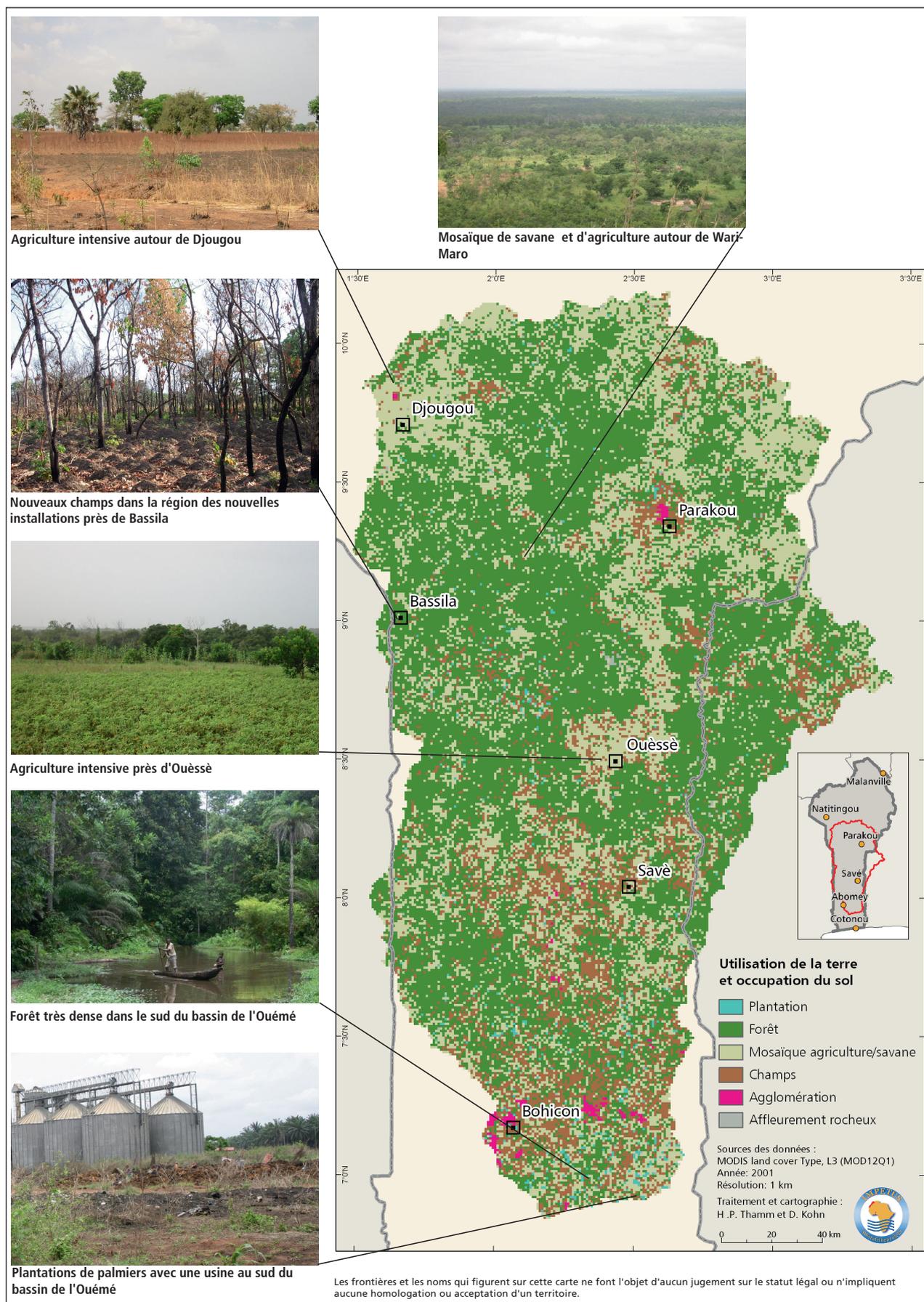


Fig. 1: Carte d'occupation du sol et de l'utilisation des terres dans le bassin de l'Ouémé supérieur avec quelques exemples illustrés par des photos

Imagerie satellitaire de l'Ouémé supérieur

Michael Judex, Hans-Peter Thamm et Gunter Menz

Des caméras spéciales à bord des satellites peuvent produire des images de grandes régions de la surface de la terre. Ces images cartographient la surface de la terre dans les différentes longueurs d'onde du visible et proches de l'infrarouge, faisant apparaître les divers aspects de la surface de la terre. Le projet IMPETUS utilise des images satellitaires pour produire des informations détaillées sur l'utilisation et l'occupation du sol et pour détecter les changements dans le temps.

Techniques d'une image satellitaire

L'observation de la surface de la terre par images satellitaires connaît un succès croissant depuis le début des années 70. Les domaines d'application concernent plusieurs disciplines scientifiques. Il s'agit d'observer l'utilisation des sols, l'occupation des sols ou la couverture végétale, d'étudier la géologie et les territoires occupés par l'homme ou encore de dériver des données biophysiques comme la biomasse ou l'indice foliaire, ou d'exploiter des données entrantes pour les prévisions météorologiques.

Des images sont prises par des systèmes de capteurs qui enregistrent les ondes électromagnétiques dans différentes longueurs d'onde (par exemple, visible, proche-infrarouge) qui sont réfléchies par la surface de la terre. Les différentes surfaces ont différentes réflectances et peuvent donc être différenciées par les techniques d'interprétation d'images (Fig. 1). L'acquisition d'images ressemble à de la photographie, sauf que des images supplémentaires sont prises dans les longueurs d'onde spectrales (par exemple, infrarouge et thermique) qui ne sont pas visibles par les êtres humains.

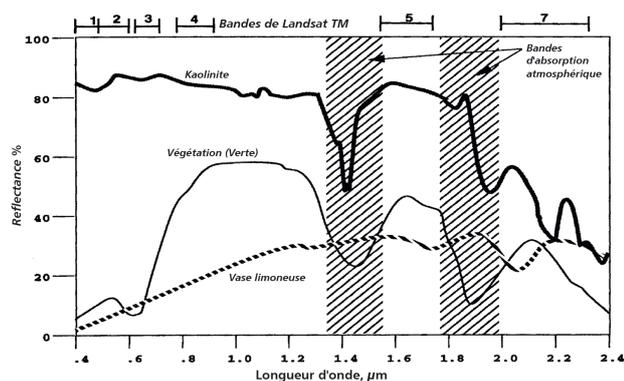


Fig. 1: Réflectances spectrales d'unités de couverture végétale typiques et longueurs d'ondes enregistrées par le satellite LANDSAT (Source : ERDAS IMAGINE, 1995).

L'occupation des sols sur l'image satellitaire

L'image satellitaire présentée dans la Fig 2 a été prise par LANDSAT 7, l'un des satellites les plus utilisés. Il a une résolution spatiale de 30 m x 30 m et une image couvrant une superficie de 180 km x 180 km. Cette image est montrée avec les vraies couleurs pour faciliter l'interprétation visuelle. L'image a été prise le 26 octobre, à la fin de la saison des

pluies, ce qui fournit des données facilement utilisables car les nuages ne voilent pas la vue et que les feux de brousse n'ont pas encore commencé.

À première vue, il est possible d'identifier la grande forêt dense et les savanes en vert foncé et les superficies cultivées dans des couleurs claires. Le « triangle » au centre est la forêt classée de l'Ouémé supérieur et au sud de l'image un coin de la forêt classée de Wari-Marou est visible.

En général, plus le vert est foncé, plus la végétation est dense : les forêts denses sont donc presque noires et les parties en vert clair correspondent aux zones où la végétation herbacée domine. Les taches claires au sein des savanes sont les inselbergs, les montagnes de granit qui surplombent le paysage environnant de plusieurs centaines de mètres.

La structure géologique de la « faille de Kandi », s'étendant du NNO au SSE (↗ 28), est clairement visible sur l'image satellitaire, car la végétation change. En raison des sols peu profonds et des quartzites, les forêts sèches (forêts claires) se développent sur cette structure et apparaissent sous la forme d'une longue ligne au centre-droit de l'image. Les forêts ne sont pas trop perturbées par les activités humaines car les sols ne sont pas assez profonds pour l'agriculture.

Les surfaces en rouge-violet, visibles surtout en haut de l'image, sont des surfaces couvertes d'herbes sèches et de quelques buissons. Cette végétation est la plupart du temps présente sur des crêtes de latérite aux sols très pauvres ou sur des affleurements rocheux.

Les superficies cultivées sont également indiquées par des couleurs claires, mais sont, dans la majorité des cas, situées autour des agglomérations et sont plus couramment représentées comme des mosaïques de champs et de la végétation en jachère. Les agglomérations apparaissent comme des taches blanches très claires, reconnaissables par les routes qui y mènent. Dans le nord-est et le sud-ouest, les petits nuages sont visibles sous forme de brouillards bleu-gris.

L'image satellitaire constitue la base pour réaliser les cartes d'occupation des sols et d'utilisation des terres, produites par les techniques de classification d'images (↗ 38).

Références

ERDAS IMAGINE (1995): Field Guide. Atlanta, Georgia.



Fig. 2: Image satellitaire du bassin de l'Ouémé supérieur

Utilisation des terres et occupation du sol dans le centre du Bénin

Michael Judex, Hans-Peter Thamm et Gunter Menz

L'occupation du sol et l'utilisation des terres influencent plusieurs aspects du cycle hydrologique, notamment le ruissellement superficiel et l'infiltration. C'est pourquoi il est important d'avoir des informations pertinentes sur l'occupation du sol et l'utilisation des terres pour bien comprendre le fonctionnement de l'écosystème. Nous décrivons ici comment ces informations sur l'occupation du sol et l'utilisation des terres peuvent être obtenues à partir des images satellitaires pour le centre du Bénin.

Obtenir des informations sur l'occupation du sol et l'utilisation des terres à partir des images satellitaires

Des cartes détaillées sur l'occupation du sol et l'utilisation des terres peuvent être dérivées des images satellitaires, car elles fournissent des informations détaillées même pour des régions difficilement accessibles. Pour évaluer l'occupation du sol et l'utilisation des terres dans le centre du Bénin, nous avons utilisé des images LANDSAT de 2000 et de 2001. Ces images comportent sept bandes spectrales et ont une résolution spatiale de 30 m x 30 m.

A partir d'une base de données détaillée, conforme à la réalité de terrain et constituée de centaines d'aires d'entraînement collectées par GPS, les données satellitaires ont été classées au moyen de la méthode « modified maximum likelihood ». Les différentes classes ont été déterminées selon une approche basée sur la connaissance. Douze classes ont été utilisées pour caractériser l'utilisation des terres et l'occupation du sol ; permettant d'identifier aussi bien les types de forêts et de savanes que les espaces cultivés et les agglomérations. Afin de différencier les forêts denses des forêts galeries et d'améliorer la précision de la classification des inselbergs, un modèle numérique de terrain a été utilisé (Judex et al., 2006). A partir de tests effectués sur des sites indépendants, le taux de précision total de la classification a pu être estimé à 80,3 %.

Utilisation des terres et occupation du sol dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur

La majorité des forêts est localisée dans la partie sud-ouest du bassin. Ces forêts forment, avec les savanes boisées, des surfaces quasi-naturelles ou des terres en jachère depuis longtemps. Cependant, la plus grande proportion de superficies non perturbées se trouve dans les régions protégées de « forêts classées ». L'utilisation des terres dans l'Ouémé supérieur est caractérisée par des systèmes de production agricole à petite échelle avec des cycles de jachère variables. En raison de densités de population plus élevées, les terres autour de Djougou et Parakou sont utilisées de façon intensive et seules de rares forêts subsistent. Les données concernant la répartition des types d'occupation du sol / utilisation des terres sont présentées à la Fig. 1.

Le Tableau 1 dresse la liste les proportions représentées par les différentes catégories agrégées d'occupation du sol dans les communes principales du centre du Bénin. La commune de Djougou détient la plus grande proportion d'utilisation agricole des terres (terres cultivées uniquement) : cette activité représente environ 22 % de la superficie totale, tandis que plus de 50 % des terres sont occupées par une végétation de savane. Puisqu'il n'est pas possible de distinguer les zones de jachère de la végétation nous considérons que la classe « végétation de savane » correspond également à la superficie représentée par les terres en jachère lors des rotations cycliques. Les résultats indiquent que presque toute la zone est utilisée (pour l'agriculture). Dans la commune de

Tableau 1: Superficies (%) recouvertes par types différents d'occupation du sol dans quatre communes

Commune	Forêt	Savane	Agriculture
Djougou	20,1 %	50,9 %	21,8 %
Bassila	72,0 %	23,0 %	4,8 %
N'Dali	56,2 %	34,3 %	9,3 %
Tchaourou	62,2 %	26,0 %	10,4 %

Forêt = forêt dense, forêt claire, savane boisée;
Savane = savane arborée I arbustive, savane saxicole

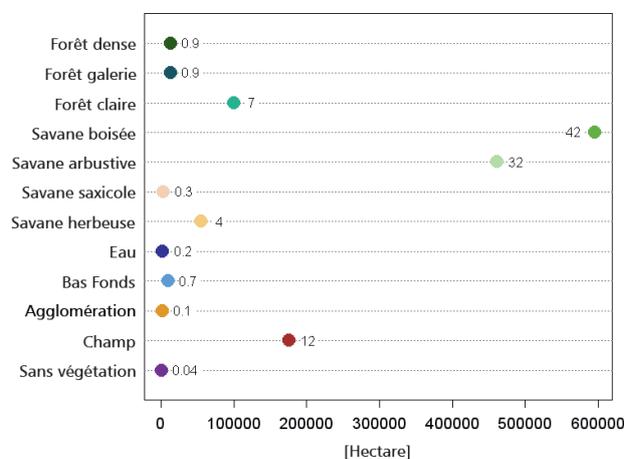


Fig. 1: Superficies recouvertes par types différents d'occupation du sol dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur. Les chiffres dans le graphique indiquent la proportion occupée par rapport à la superficie totale

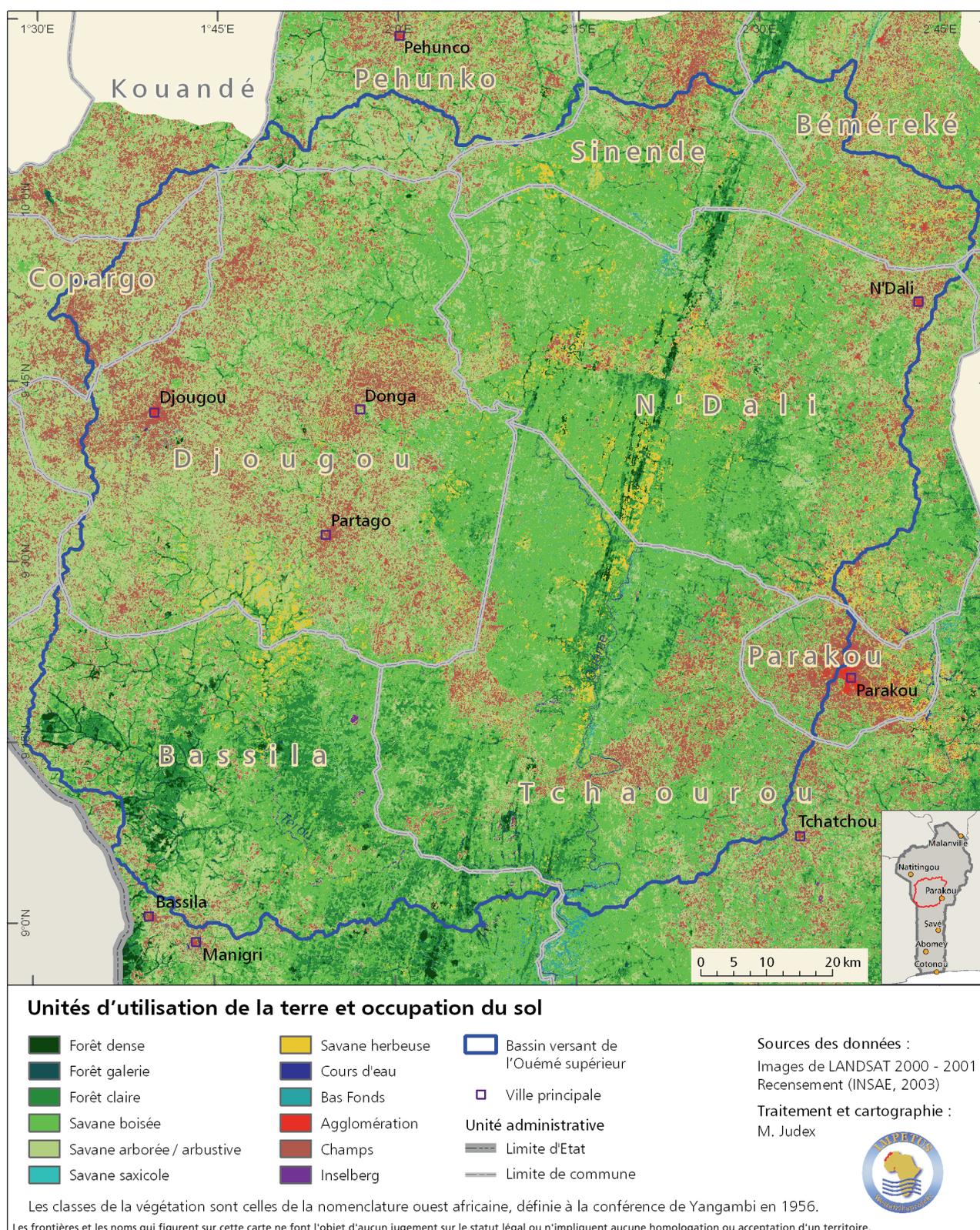


Fig. 2: Carte de l'occupation du sol et de l'utilisation des terres dans le centre du Bénin

Bassila, la situation est très différente : les superficies exploitées représentent moins de 5 % de la superficie totale et la forêt recouvre (toujours) plus de 70 % des terres. Le grand nombre de terres agricoles disponibles attire les populations rurales ; Bassila est donc une importante commune d'immigration rurale. Ces migrations se traduisent par des change-

ments rapides dans l'utilisation des terres et dans l'occupation du sol (↗ 51).

Références

Judex, M.; Thamm, H.-P. et Menz, G. (2006): Improving land-cover classification with a knowledge-based approach and ancillary data. In: Proceedings of EARSeL SIG LUCC 2006, Bonn.

Dynamiques d'utilisation des terres dans le centre du Bénin

Michael Judex, Hans-Peter Thamm et Gunter Menz

Dans le centre du Bénin, de profonds changements dans l'utilisation des terres et l'occupation du sol peuvent être observés en raison de l'augmentation rapide de la population et de l'extension des terres agricoles. Pour étudier ces changements, des informations sur l'utilisation et l'occupation du sol durant différentes périodes ont été obtenues à partir d'images satellitaires puis comparées. L'analyse met en lumière les dynamiques intra-annuelles de la végétation ainsi que la localisation et l'importance des changements dans l'utilisation du sol liées aux activités anthropiques.

Les données utilisées

Afin d'obtenir et d'analyser des informations relatives aux changements dans l'occupation et l'utilisation des terres, il est nécessaire d'observer ces phénomènes sur plusieurs périodes différentes. En plus de données sur l'occupation du sol de l'année 2000 (date d'acquisition : 26 octobre, voir page précédente), les données satellitaires de 1991 (date d'acquisition : 13 décembre) ont été classées dans les mêmes catégories d'utilisation des terres.

Changements dans l'utilisation des terres

Une comparaison des années 1991 et 2000 montre de véritables changements (Tableau 1). L'augmentation du nombre de terres agricoles et d'agglomérations est évidente. Les communes à forte croissance démographique comme Tchaourou et Djougou accusent une augmentation des terres agricoles de respectivement 36 % et 40 %. De plus, on note une forte dynamique intra-annuelle de la végétation. Cela est dû à un fort changement phénologique au cours des saisons humide et sèche. Au début de la saison sèche, la végétation herbacée devient sèche et beaucoup d'arbres perdent leurs feuilles, ce qui a facilité l'extension des feux de brousse qui ont affecté 35 % de la superficie de l'Ouémé supérieur en 1991 (jusqu'au 13 décembre). La Figure 1 montre des exemples de ces changements à partir des images satellitaires

LANDSAT. Ces effets rendent difficile de déduire les caractéristiques (et superficies) de la végétation à partir des images satellitaires prises à différentes dates et à différentes saisons.

Quelques unités de végétation, telles que les forêts galerie, changent leur forme et leur spécificité par rapport aux types de végétations voisins devient moins nette. D'autres types de végétation telles que les savanes arborées et arbustives sont affectées par les feux de brousse et ne sont plus facilement reconnaissables. Ces circonstances sont importantes à prendre en compte lors de l'interprétation du Tableau 1.

Les dynamiques régionales

Les changements dans l'utilisation du sol indiquent qu'il existe différentes dynamiques dans différentes régions. La Figure 2 (carte A) représente l'augmentation des terres agricoles par arrondissement. Dans chaque arrondissement, les terres agricoles augmentent, mais à des taux différents. Les taux les plus élevés se trouvent généralement dans les régions à forte croissance démographique (par exemple, Donga) ou dans les régions où il y a beaucoup de terres disponibles (par exemple, Bassila).

L'extension des terres agricoles se fait principalement aux dépens des savanes et forêts. Afin de détecter les zones les plus menacées par une telle déforestation, une analyse

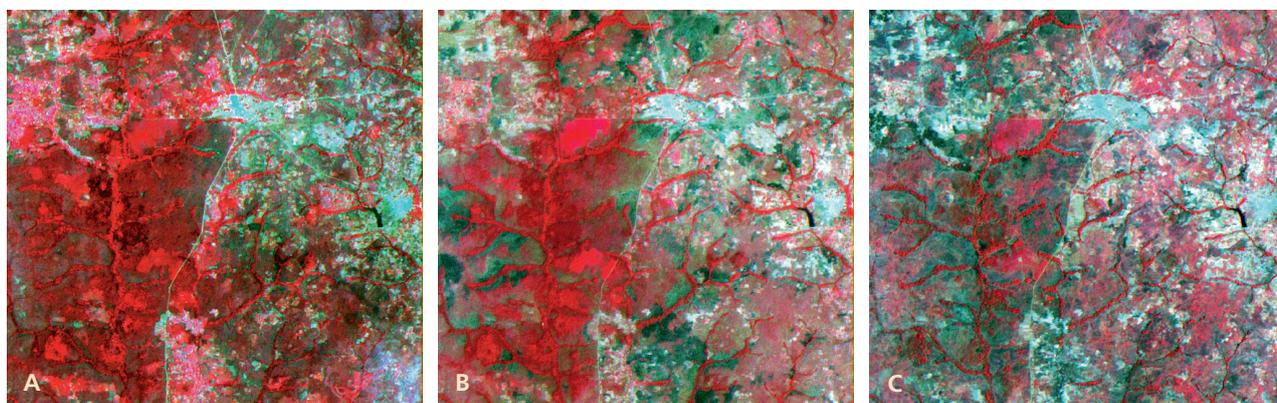


Fig. 1: Exemple de dynamiques intra-annuelles de la végétation dans la région de Bassila. Images LANDSAT en fausses couleurs pour : A) octobre ; B) décembre ; C) mars 2000/2001. La végétation verte est représentée en rouge et les zones brûlées en vert sombre

Tableau 1: Changements dans l'utilisation des terres de 1991 à 2000 en hectare pour certaines communes du centre du Bénin

	Tchaourou		N'Dali		Bassila		Djougou	
	1991	2000	1991	2000	1991	2000	1991	2000
Forêt et savane dense	351 219	431 782	221 881	225 521	377 605	431 917	100 955	99 625
Savane	54 965	159 293	37 391	119 470	23 213	116 089	71 270	213 653
Agglomération	139	424	106	289	68	135	237	672
Région agricole	38 838	60 452	24 046	30 363	16 843	23 918	47 706	79 483
Zones brûlées	208 603	0	92 595	0	154 793	0	173 403	0

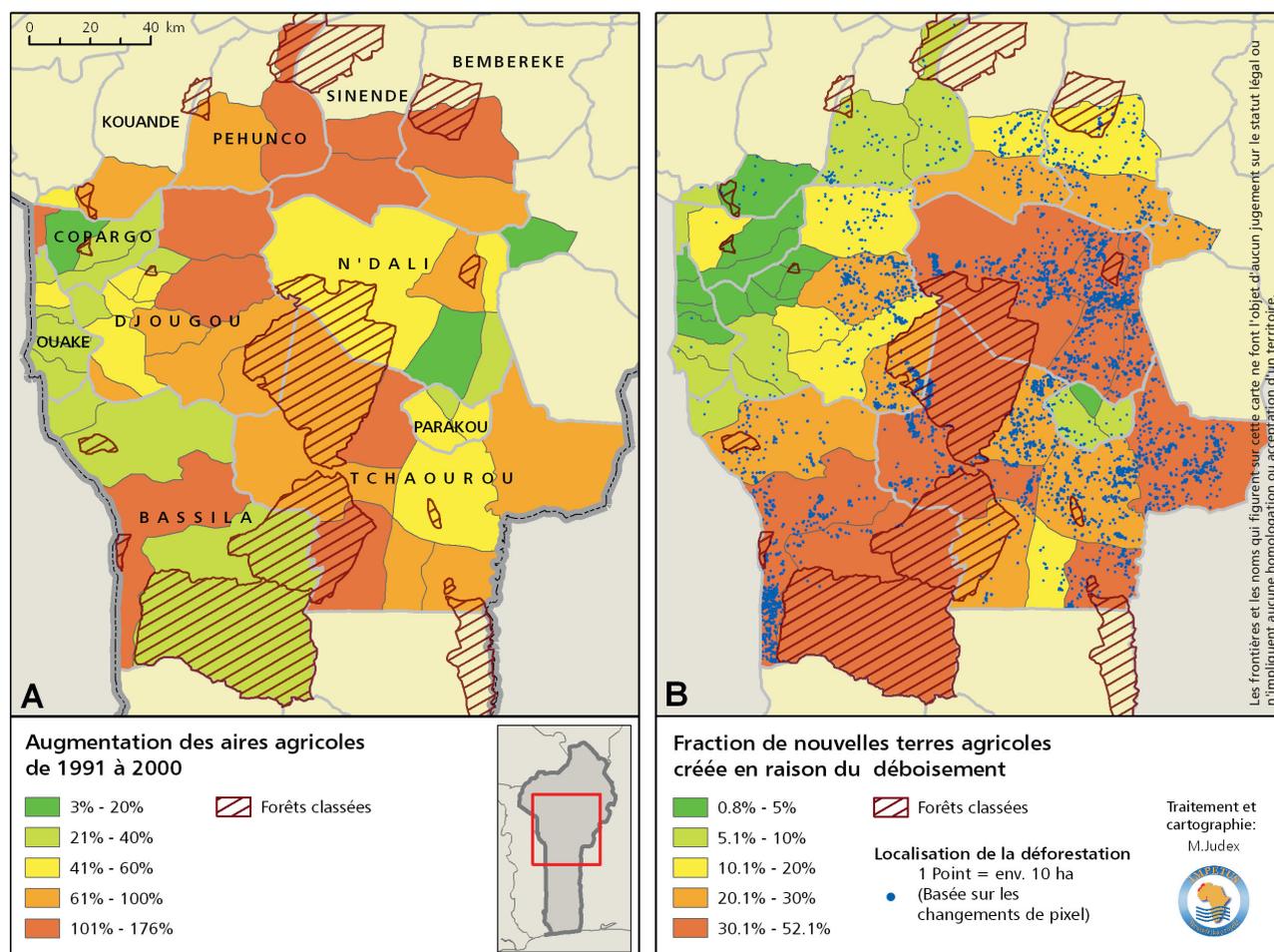


Fig. 2: Dynamiques de l'utilisation des terres dues à l'extension des régions agricoles. Les données sont dérivées d'images LANDSAT du 13.12.1991 et du 26.10.2000. Les régions de la forêt protégée sont incluses dans les statistiques données

de l'image pixel par pixel a été réalisée, dont les résultats sont indiqués à la Fig. 2 (carte B). Dans les zones densément peuplées comme Ouaké et Copargo, la proportion de nouvelles terres agricoles ayant nécessité un déboisement préalable est très faible puisqu'il ne reste que très peu de forêts. Dans ces régions, un système de rotation typique bois-jachère est appliqué (Judex, 2008). Par contre, de fortes activités de déforestation sont présentes aux lisières des forêts, loin des plus grandes villes. Les plus forts déboisements s'observent autour de la forêt classée de l'Ouémé supérieur, mais l'aire protégée est en grande partie respectée

à l'exception d'un emplacement à la lisière ouest. Cette analyse souligne ainsi les taux élevés de changements dans l'utilisation et l'occupation du sol dans cette région et est également l'occasion de souligner l'utilité des techniques de télédétection pour faire ressortir ces dynamiques.

Références

Judex (2008): Modellierung der Landnutzungsdynamik in Zentralbenin mit dem XULU-Framwork. Thèse de doctorat, Université de Bonn.

Scénarii de modélisation de la dynamique d'utilisation des terres

Michael Judex

Pour projeter le développement futur de la rapide utilisation et occupation du sol dans la région de l'Ouémé supérieur, un modèle de changement dans l'utilisation des terres est nécessaire. Nous avons utilisé CLUE-S, un modèle de changement dans l'utilisation et l'occupation des terres et avons paramétré les données relatives à l'utilisation et à l'occupation des terres obtenues à partir d'images satellitaires et de données socio-économiques. Avec cette approche, nous avons calculé plusieurs scénarii futurs de changements spatiaux dans l'utilisation et l'occupation des terres de la région de l'Ouémé supérieur.

L'approche du modèle

Parmi une large gamme d'approches de modèles d'utilisation des terres différents, nous avons choisi le modèle CLUE-S (Conversion of Land-Use and its Effects at Small regional extent, Verburg et al., 2002) pour sa performance, son potentiel multi-échelles, sa procédure spatialement explicite basée sur des données matricielles et le fait qu'il ait été appliqué de multiples fois avec succès dans les régions tropicales. Le modèle CLUE-S permet de simuler un ensemble de scénarii hypothétiques relatifs aux changements dans l'utilisation des terres. Les paramètres de départ les plus importants sont : un ensemble de forces motrices spatialement explicites pour (le changement dans) l'utilisation des terres, quelques règles de conversion, les restrictions spatiales et les changements attendus dans les différentes catégories d'utilisation des terres.

Pour modéliser les changements futurs dans l'utilisation des terres, il est indispensable de connaître quels sont les paramètres qui déterminent la répartition spatiale des différents types d'utilisation des sols. Dans cette étude, nous

avons utilisé les paramètres suivants : la densité de la population, la distance à la route, les principaux villages et villes, le régime foncier (droit de propriété), l'adéquation des sols pour la production agricole et des paramètres topographiques. Avec ces forces motrices, les cartes de probabilité spatiale ont été calculées pour chaque catégorie d'utilisation des sols avec la technique de régression logistique (Fig. 1). Les autres paramètres ont été déterminés grâce aux connaissances détaillées des utilisateurs sur les dynamiques d'utilisation des sols dans la région étudiée (Judex, 2008).

La résolution spatiale des données d'entrée était de 250 m x 250 m.

La performance du modèle

Le modèle a été calibré pour 1991 et 2000 sur la base des données disponibles sur l'utilisation des sols dérivées d'images satellitaires. Le calibrage vise à correspondre aussi précisément que possible aux changements observés dans l'utilisation du sol de 1991 à 2000. La performance du modèle a

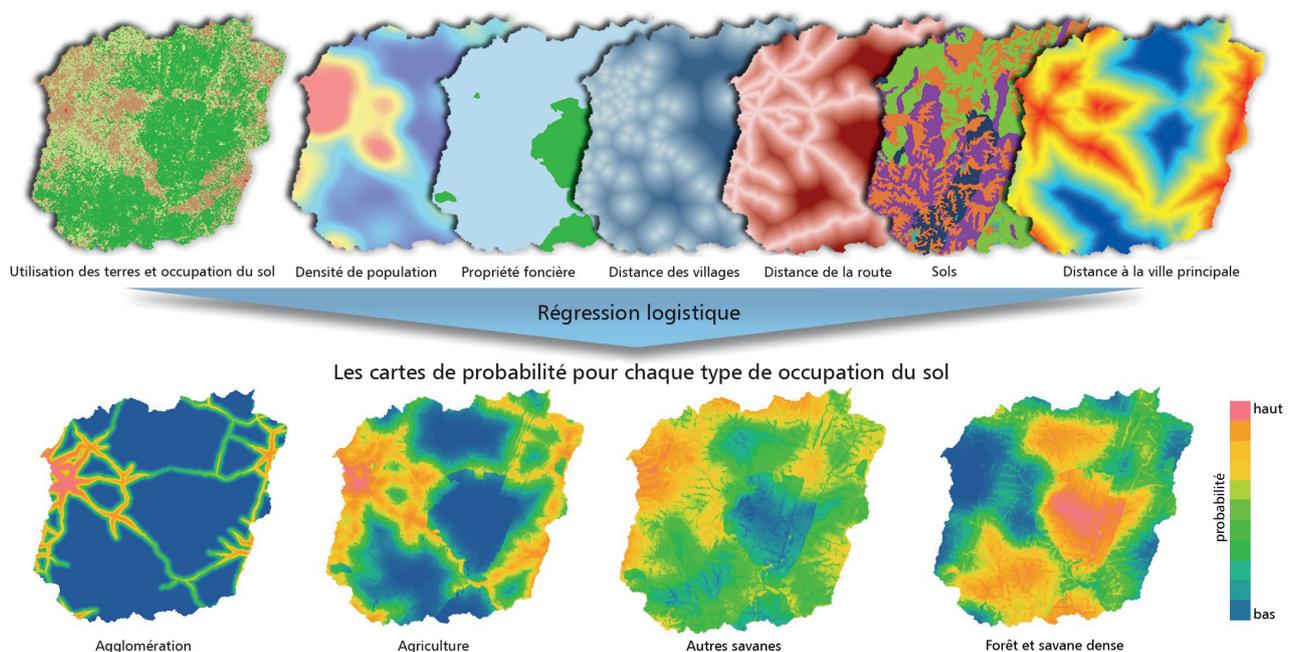


Fig. 1: Calcul des cartes de probabilité pour les catégories d'utilisation du sol utilisant la régression logistique et les forces motrices spatiales

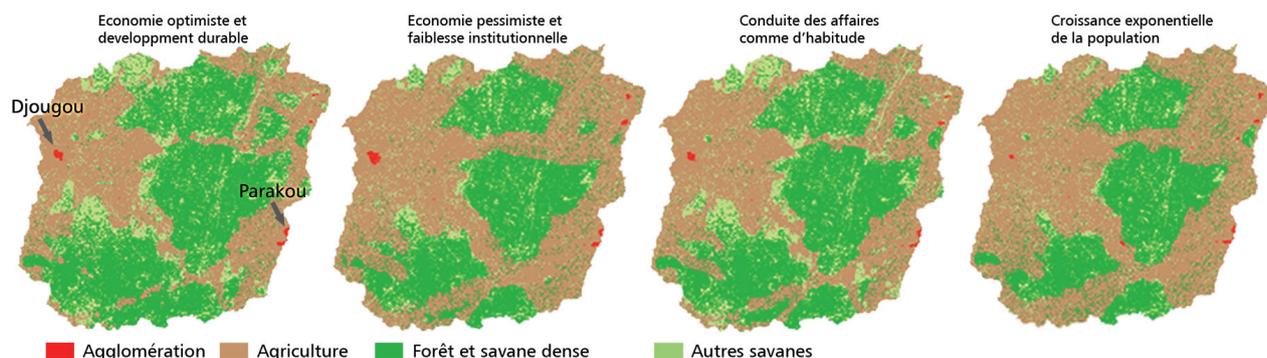


Fig. 2: Augmentation des superficies agricoles pour différents scénarii

été calculée avec les statistiques floues de kappa. La comparaison des résultats de modélisation de l'année 2000 avec les observations de l'utilisation du sol pour les catégories « utilisation des terres agricoles » et « autres utilisations du sol » donne un kappa de 0,36; pour 86 % de la région, le résultat du modèle confirme les résultats observés (Judex, 2008).

Scénarii des futurs changements

Les conditions cadres des scénarii modélisés sont adaptées aux scénarii de base d'IMPETUS qui ont pour horizon prévisionnel 2025. Par conséquent, nous avons défini un scénario économiquement optimiste avec des institutions fortes et une gestion économe des ressources, un scénario économiquement pessimiste avec des institutions faibles, et un scénario « maintien du statu quo ». En outre, le scénario « maintien du statu quo » a été calculé avec l'hypothèse d'une augmentation exponentielle de la population. Etant donné que le modèle CLUE-S n'a pas pu être lié à un modèle économique nous avons émis nos propres hypothèses pour quantifier la proportion des différentes catégories d'utilisation des sols (Judex, 2008).

La superficie de l'agglomération augmentera de 4 % par an (d'après des données historiques), sauf dans le scénario économiquement pessimiste qui prévoit un taux de croissance

de 6 % à l'horizon 2025. Les superficies agricoles sont calculées en fonction de l'augmentation de la population (projections démographiques), en supposant les superficies utilisées par personne, et en prenant en compte l'intensification des systèmes cultureux. Les résultats des différents scénarii sont montrés à la Fig. 2. Le taux de déforestation dû à l'extension des terres agricoles est calculé à partir d'observations passées sur l'analyse des images satellitaires : 47 % des nouvelles terres agricoles impliqueront une déforestation des forêts et des savanes denses. Dans le scénario économiquement optimiste, la baisse prévue se limite à environ 30 % en 2025.

Résultats de la modélisation

La Figure 3 présente un extrait des résultats annuels du modèle de simulation dynamique. Chaque scénario montre une augmentation des terres agricoles et une perte de végétation naturelle. Dans les régions à forte densité de population (généralement autour des villes), tout l'espace disponible sera converti à l'agriculture dans un futur proche. Les conversions ultérieures de l'utilisation des sols sont rencontrées le long des routes proches des forêts, aux endroits où la probabilité d'activité agricole est élevée. Cela aboutira à un fort taux de déforestation, surtout dans ces régions. Si les limites des forêts protégées (propriété publique) ne sont pas contrôlées, les petites forêts seront certainement converties en terres agricoles. C'est le cas dans le scénario économiquement pessimiste. Cependant, la meilleure manière de ralentir les modifications rapides de l'occupation des sols est de proposer une intensification adaptée de la production agricole, c'est-à-dire une augmentation dans le rendement par unité de terre, accompagnée d'une planification durable de l'utilisation des sols.

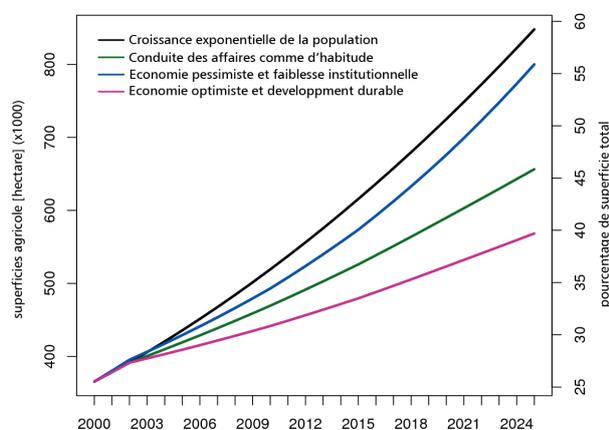


Fig. 3: Résultats de modèles d'utilisation des sols (région de l'Ouémé supérieur) pour l'année 2025 pour quatre scénarii hypothétiques différents (En vue de comparer avec les données sur l'utilisation du sol de 2000, voir la première image dans la Fig. 1)

Références

- Judex, M. (2008): Modellierung der Landnutzungsdynamik in Zentralbenin mit dem XULU-Framework. Thèse de doctorat, Université de Bonn.
- Thamm, H.-P., Judex, M., et Menz, G. (2005): Assessing and Modelling Land Use Land Cover Changes in Benin, *Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung*, 3/2005, 191–199.
- Verburg, P., Soepber, W., Veldkamp, A., Limpada, R., Espaldon, V. et Mastura, S. (2002): Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. *Environmental Management*, 30, 391–405.

Utilisation expérimentale d'un aéronef ultraléger (UAV) pour une télédétection à haute résolution

Hans-Peter Thamm

Pour satisfaire la demande en photographies aériennes à très haute résolution spatiale ou temporelle, un UAV télécommandé, bon marché et robuste, a été utilisé. Il a été expérimenté avec succès pour évaluer les dynamiques de la végétation, le développement des installations humaines, l'érosion et d'autres processus à la surface terrestre. C'est un outil intéressant, notamment pour les pays en développement.

Problème

Au Bénin, comme dans beaucoup d'autres pays en développement, il y a une demande croissante en photographies aériennes à très haute résolution spatiale et/ou temporelle (par exemple, pour étudier les dynamiques de la végétation ou des installations humaines, l'érosion du sol, les feux de brousse et d'autres processus).

Cependant, les avions spécialement équipés ne sont souvent indisponibles ou trop chers à la location. Ainsi, le besoin de disposer d'un système capable de prendre des photos aériennes à la résolution spatiale et temporelle voulue se fait de plus en plus sentir. Pour une utilisation aisée, un tel système doit être robuste, facile à transporter et pouvoir être manié en toute sécurité.

Le véhicule volant ultra léger

En guise de solution, un aéronef ultraléger (UAV- Ultra light Air Vehicle) télécommandé a été utilisé. Il est composé d'un châssis en tube avec un moteur de type 5,5 hp, à deux vitesses et est muni d'un parachute qui lui tient lieu d'ailes (Fig. 1). Cela permet un vol lent et stable et garantit une parfaite sécurité en cas de défaillance. Le système portant le capteur est équipé d'une monture à cardan dont la position est invariable malgré les mouvements du support. Les images sont donc toujours prises au nadir (Fig. 1). Pour faciliter le transport, le drone peut être démonté et emballé dans une caisse. Le poids total du système est approximativement de 12 kg avec une charge utile de 5 kg environ. Une vitesse maximale de vol de 30 km/h peut être atteinte, ce qui restreint l'emploi du drone qui ne peut être utilisé lorsque la vitesse du vent est inférieure à 6 m/s. La hauteur maximale de vol est de 4 000 m et peut être commandé jusqu'à une distance maximale de 5 km. La longueur de la piste d'envol dépend des conditions de circulation du vent et varie entre 5 m et 25 m (Fig. 2). Le système est très facile à commander si bien que l'opérateur n'a pas besoin d'un long entraînement.

Différents capteurs peuvent être utilisés pour le suivi de la surface terrestre. Pour les images optiques, des appareils photos numériques de haute qualité de consommation (10 Megapixels) sont utilisés, mais il est également possible d'utiliser des appareils photos multi-spectraux ou thermiques.

La transmission en temps réel de la position du GPS et en direct de l'image du champ d'observation de l'appareil photo à l'opérateur assure une navigation facile de l'UAV.

Champs d'utilisation

Au Bénin, l'UAV a été utilisé avec succès pour obtenir les données de vérité terrain pour la classification de l'occupation des sols et de l'utilisation des terres ainsi que pour distinguer les différentes espèces d'arbres. De plus, la dynamique des installations humaines et les caractéristiques des pistes ont été évaluées. La dérivation de modèles numériques à très grande résolution spatiale (jusqu'à 7 cm de résolution en hauteur) a été rendue possible (Fig. 5). Dans le cadre de la coopération avec la GTZ (Agence de coopération technique allemande pour le développement), une évaluation de mesures pour la conservation des terres a été menée. Des sites archéologiques ont même pu être cartographiés grâce à l'UAV.

Les images issues de l'UAV peuvent être assemblées en de grandes mosaïques (Fig. 3) et traitées avec des programmes de traitement d'images habituels. Si la précision photogrammétrique requise n'est pas très grande, il est même possible d'utiliser des programmes bon marché (shareware ou logiciel contributif). La capacité de l'UAV à évaluer les changements apparus entre deux moments donnés (timestamps) avec différentes techniques de détection du changement (Fig. 6) est particulièrement appréciable.

Résumé

L'UAV est un outil très utile pour obtenir des photographies aériennes à diverses fins dans les pays en développement. Il est, comparativement aux autres moyens, bon marché, robuste, facile à opérer et sécuritaire. Il peut se substituer aux travaux de terrain très consommateurs en temps matériel et aux images satellitaires qui coûtent très cher.

Lecture complémentaire

Thamm, H.-P. et Judex, M. (2005): Einsatz einer kleinen Drohne für hoch aufgelöste Fernerkundung. Strobl, J., Blaschke, T. et G. Griesebner (Editeurs): Angewandte Geoinformatik 2005. Beiträge zum 17. AGIT Symposium, Salzburg, 722–729.

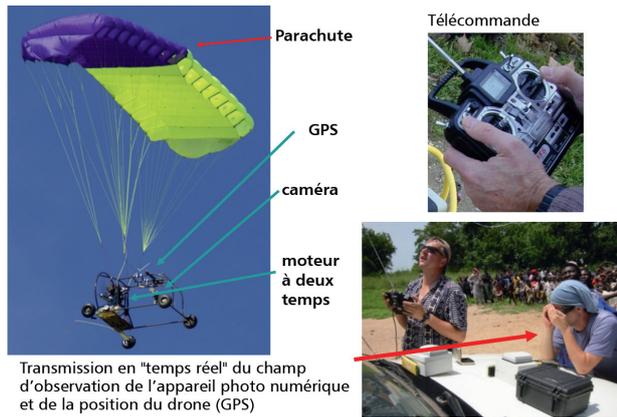


Fig. 1: Composantes du aéronef ultraléger



Fig. 2: UAV prêt pour le décollage; La piste peut être préparée facilement.

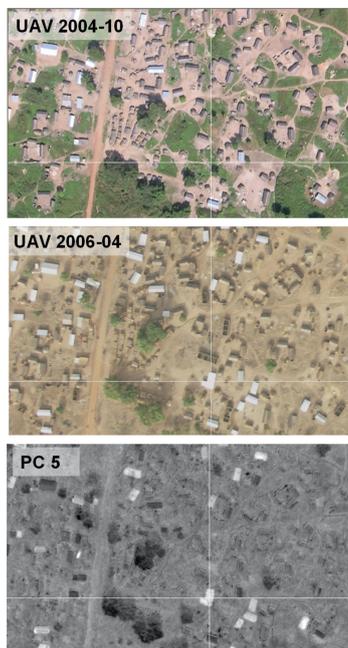


Fig. 6: La dynamique des installations humaines du village Kpawa entre Octobre 2004 et Avril 2006. L'image du haut montre le village en octobre 2004, l'image du milieu a été prise en Avril 2006. L'image du bas montre les changements entre les deux images. Les tâches claires représentent les nouvelles habitations avec des toitures en métal. Cette analyse a été réalisée à l'aide d'une technique spéciale de détection des changements (PCA).



Fig. 3: Vue d'ensemble d'un bas-fond près de Ouaké; Mosaïque d'images de plusieurs images UAV



Fig. 4: Orthophoto d'une aire rurale près de Ouaké. Des champs de riz et d'igname sont visibles. Les structures rondes sont des aires de battage du riz

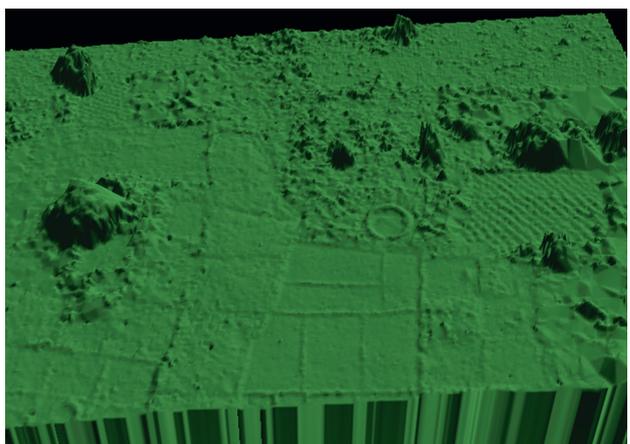


Fig. 5: Modèle numérique de terrain dérivé des images prises avec l'UAV. La précision de résolution en hauteur est de 7 cm. Cette figure couvre la même superficie que celle représentée à la Fig. 4.

Evolution de la végétation au Bénin (1982 – 2003)

Julia Röhrig

Les séries chronologiques de données NDVI de NOAA AVHRR sont comparées aux données relatives aux précipitations pour analyser l'état de la productivité de la végétation et dégager les tendances de la végétation entre 1982 et 2003. La télédétection est adaptée au suivi de la performance de la terre, car les indicateurs biophysiques peuvent être dérivés de manière efficiente en terme de temps et de coût à différentes échelles spatiales et temporelles.

Données et Méthodologie

La RUE (« rain use efficiency ») est un indicateur communément utilisé pour déterminer la dégradation de la terre et les évolutions de la végétation dans les paysages semi-arides et sub-humides (par exemple Hountoundji et al., 2006). L'indicateur s'appuie sur la forte relation existant entre les dynamiques de la végétation et les précipitations. Pour le Bénin, nous avons utilisé l'Indice de Différence Normalisée de Végétation (normalised difference vegetation index NDVI) de l'archive GIMMS (Global Inventory Monitoring and Modelling Studies) de NOAA AVHRR pour analyser la couverture et la productivité végétales entre 1982 et 2003. Pour l'Afrique de l'Ouest, le plus récent produit de NDVI de 1 km de SPOT VÉGÉTATION est moins approprié que les données AVHRR du fait d'une insuffisante reconnaissance des nuages par SPOT qui supprime les données des saisons pluvieuses (Klein et Röhrig, 2006; Fenshold et al., 2007). La résolution spatiale des données est de 8 km x 8 km. Pour calculer les quantités de précipitations, les résultats du modèle atmosphérique REMO ont été utilisés ($\neq 5$). Les sommes annuelles ont été calculées pour le NDVI (iNDVI) et les précipitations (yrain). Pour déterminer si cette méthode pouvait être utilisée pour des régions tropicales plus humides, nous avons avant tout analysé la corrélation entre yrain et iNDVI. Le Tableau 1 confirme une forte corrélation générale entre les précipitations et la végétation pour toutes les régions du Bénin (voir Klein et Röhrig, 2006). En outre, les images de iNDVI montrent de fortes valeurs pour les forêts et certaines parties du sud, qui indiquent que les données GIMMS ne posent pas de problèmes fondamentaux de saturation au Bénin. Cependant, cela peut influencer le résultat en indiquant de fausses tendances négatives.

Tableau 1: Coefficients de corrélation des iNDVI et sommes annuelles de précipitations (yrain).

	250 sites (aléatoire)	Le sud du Bénin	Le centre du Bénin	Le nord du Bénin
r	0,84	0,82	0,91	0,81

La « rain use efficiency » a été alors calculée pour chaque site et les tendances de 1982 à 2003 examinées. Nous avons utilisé le ratio annuel de iNDVI/yrain pour déterminer la RUE. Les grandes tendances de la végétation ont été déterminées

en retour par une régression linéaire du ratio (variable dépendante) et du temps (variable indépendante). Sur la base du Test T de Student, la régression de la pente peut être cartographiée en sept classes indiquant des tendances statistiquement significatives différentes (Eklundh et Olsson, 2003, Hountoundji et al., 2006). Pour le Bénin, nous avons créé les classes suivantes: « forte tendance » (positif ou négatif) si la valeur T de l'inclinaison dépasse la valeur p (0,025) à l'une ou l'autre limite de la répartition; si la valeur T se situe entre 0,025 et la valeur p de 0,05 ou entre 0,05 et 0,15, les tendances sont respectivement « moyenne » ou « faible ». Tous les autres sites ont été classés comme « aucune » tendance signifiant ainsi qu'il n'existe pas de développement statistiquement significatif pour cette période de temps.

Tendances de la productivité de la végétation au Bénin (1982 – 2003)

La Figure 1 montre que près de la moitié du pays ne montre aucune tendance statistiquement significative pour les ratios iNDVI/yrain (RUE) depuis 1982. Seuls des sites séparés dans le sud-est ont accusé des tendances positives significatives. Cependant, dans la moitié restante, la majorité des sites est caractérisée par de fortes tendances négatives. Nous avons déterminé de fortes tendances statistiquement négatives pour presque 10 % de tous les sites au Bénin. Ces régions ont subi une baisse continue de la productivité de la végétation qui n'est pas causée par une diminution des totaux pluviométriques. Il s'agit de régions principalement situées dans le Bénin central ou du nord, souvent caractérisées par une faible ou moyenne densité de population, mais des taux de croissance démographique élevés. Cela correspond très bien aux mouvements migratoires observables. Beaucoup de gens ont émigré des régions dégradées dans l'ouest et le sud vers des régions avec une densité de population plutôt faible. Ici, la végétation naturelle est continuellement transformée en de nouvelles installations humaines et en champs. Une telle expansion des activités agricoles sur des sites marginaux est particulièrement intéressant à regarder puisqu'elle s'accompagne d'un fort risque de dégradation des terres.

Curieusement, les tendances moyennes à fortes sont également calculées pour quelques aires protégées. Certaines de ces tendances peuvent être artificielles, résultant aussi

bien de la saturation ou des problèmes de nuages que de la résolution grossière des données. Néanmoins, des tendances statistiques réelles de la végétation peuvent également être observées dans ces régions comme par exemple la présence d'incendies réguliers qui sont déclenchés dans certaines parties du parc national de la Pendjari, le long de la frontière avec le Burkina Faso afin de garantir aux visiteurs de belles vues de la faune et de la flore. De plus, le nombre croissant d'animaux dans le parc pourrait influencer la couverture végétale.

Références

Eklundh, L. et Olsson, L. (2003): Vegetation index trends for the African Sahel 1982–1999. *Geophysical Research Letters*, 30 (8), 1430.
 Hountondji, Y.-C., Sokpon, N. et Ozer, P. (2006): Analysis of the vegetation trends using low resolution remote sensing data in Burkina Faso (1982–1999) for monitoring of desertification. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (5-6), 871–884.

Klein, D. et Röhrig, J. (2006): How does vegetation respond to rainfall variability in a semi-humid West African in comparison to a semi-arid East African environment? In: *Proceedings of Second Workshop of the EARSeL SIG on Remote Sensing of Land Use & Land Cover: Application and Development*. Bonn, 28–30 September. (M. Braun, ed.) 149–156.

Pinzon, J., Brown, M. E. et Tucker, C. J. (2004): Satellite time series correction of orbital drift artifacts using empirical mode decomposition. In: *Hilbert-Huang Transform: Introduction and Applications* (N. Huang, ed.) 167–186.

Tucker, C. J., Pinzon, J. E., Brown, M. E., Slayback, D., Pak, E. W., Mahoney, R., Vermote, E. et El Saleous, N. (2005): An extended AVHRR 8-km NDVI data set compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI data. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (20), 4485–5598.

UN (1994): United Nations convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. Disponible à : <http://www.unccd.int/convention/text/pdf/conv-eng.pdf>; accès: Février 2009.

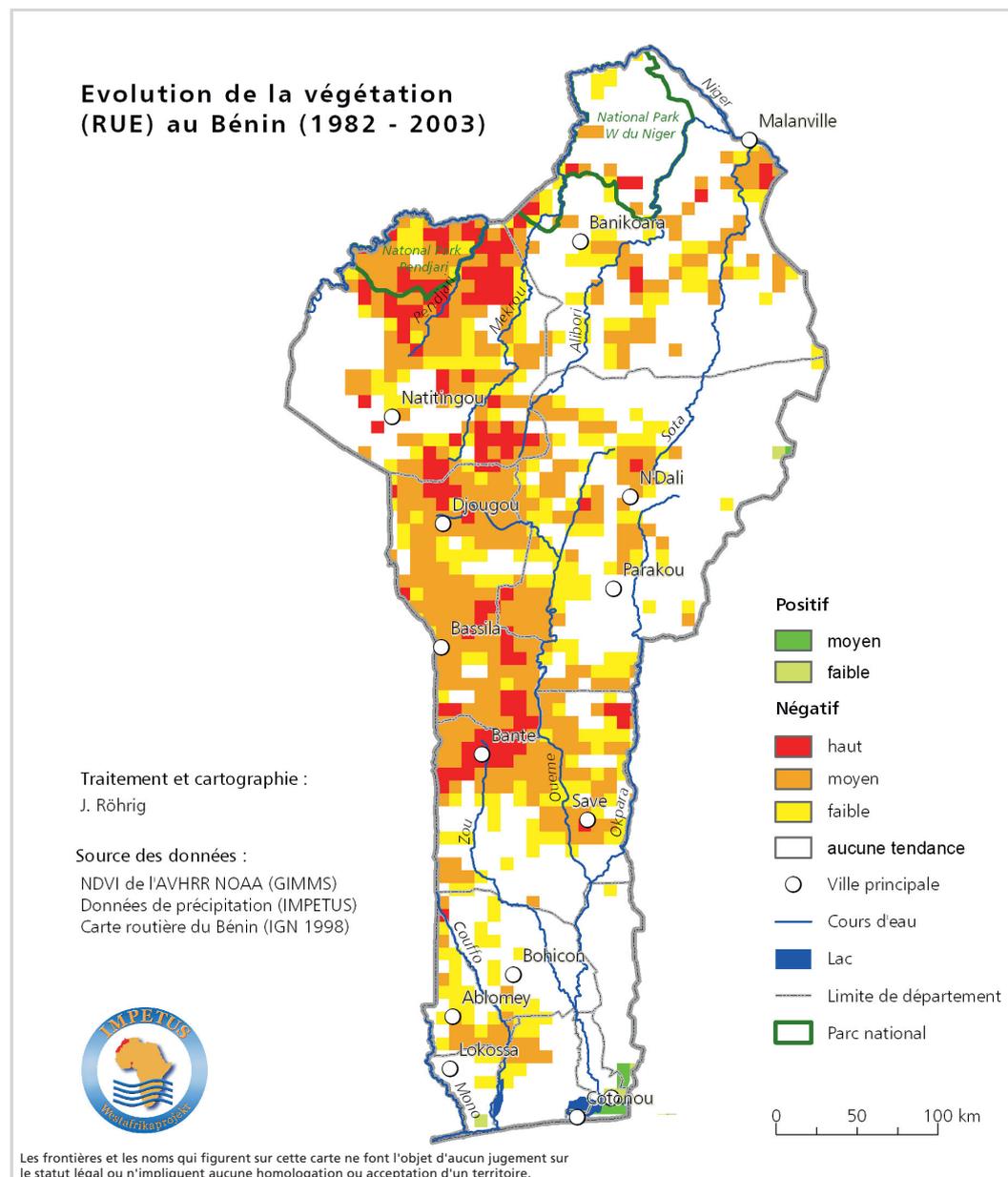


Fig. 1: Evolutions des ratios $iNDVI/yrain$ (RUE) entre 1982 et 2003

Marginalité agricole naturelle au Bénin

Julia Röhrig, Claudia Hiepe et Malte Diederich

Partout dans le monde les paysans sont contraints de cultiver les terres marginales lorsque la pression démographique augmente et que les alternatives manquent pour assurer la sécurité alimentaire. Cependant, les sites agricoles marginaux sont caractérisés par diverses contraintes environnementales qui limitent l'utilisation agricole des terres. En outre, les sites marginaux sont particulièrement prédisposés à la dégradation s'ils sont utilisés à des fins agricoles. Par conséquent, il est crucial d'identifier les sites marginaux pour l'utilisation durable de la terre et la conservation des ressources naturelles.

L'approche

Cassel-Gintz et al. (1997) ont introduit un indice de marginalité pour l'utilisation agricole des terres fonctionnant comme un indicateur d'alerte précoce pour détecter les sites agricoles naturellement marginaux. Dans ce contexte, les régions marginales sont caractérisées par une faible potentialité biophysique des terres et un environnement fragile. L'indice de marginalité agricole de la terre a été, à l'origine, développé à l'échelle mondiale. Cependant, les données générales, avec une résolution spatiale de 0,5° (soit environ 50 km à la latitude du Bénin), ne peuvent donner qu'une idée générale du risque de dégradation lié aux activités agricoles et ne fournissent donc que peu d'information aux décideurs nationaux. Ainsi, des enquêtes ont été menées pour régionaliser cette approche pour le Bénin à une résolution spatiale de 1 km x 1 km en utilisant des facteurs d'influence à une plus haute résolution spatiale et un algorithme adapté basé sur la logique floue (Fig. 1).

Les données

Pour évaluer l'indice de marginalité, plusieurs contraintes naturelles qui affectent l'agriculture ont été quantifiées et regroupées en un indice intégrateur.

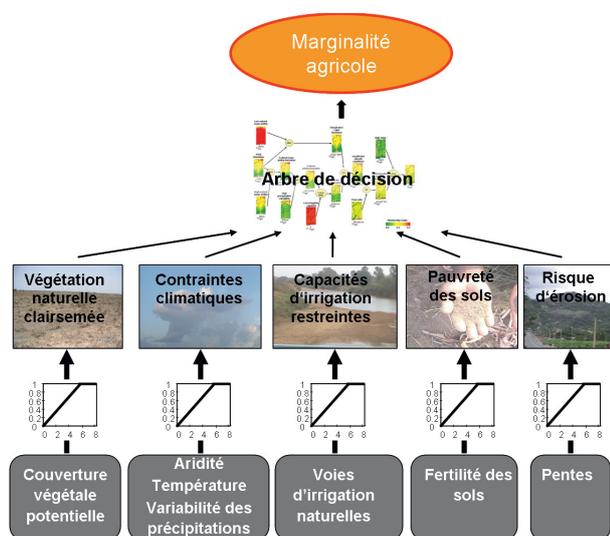


Fig. 1: Plate-forme conceptuelle pour déterminer un indice de marginalité pour le Bénin

Le Tableau 1 résume les indicateurs et les données choisis pour la régionalisation. De légères modifications ont été faites, tenant compte de la base de données disponible pour le Bénin et des besoins des utilisateurs potentiels.

Tableau 1: Indicateurs et données utilisés pour déterminer l'indice de marginalité pour le Bénin

Indicateurs	Données
Couverture végétale naturelle potentielle (PVEG)	Densité de biomasse potentielle (PBD) (Brown & Gaston, 1996)
Température et luminosité (TEMP)	Evapotranspiration réelle et potentielle (IMPETUS)
Durée de la période de croissance (LGP)	Données relatives aux précipitations (IMPETUS)
Variabilité des précipitations (RAINV)	Données relatives aux précipitations (IMPETUS)
Capacité d'irrigation potentielle (IC)	SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (Farr & Kobrick, 2000)
Fertilité des sols (SF)	Carte des sols du Bénin par ORSTOM (Volkoff, 1976)
Pente (SL)	SRTM (voir IC)

Méthodes

Pour le traitement des données entrantes et la détermination de l'indice, la logique floue a été utilisée. La première étape dans le calcul de l'indice de marginalité est de rendre les indicateurs flous (Fig. 1). Pour chaque site (pixel), un degré d'appartenance des catégories linguistiques (faible, élevé, etc.) est établi en fonction de sa contribution à l'indice de marginalité ($0 \leq \mu \leq 1$) (Cassel-Gintz et al., 1997, Zimmermann, 1991). Un degré 0 indique qu'il n'y a aucune limite à l'usage agricole de la terre, alors que le degré 1 indique en général que des contraintes naturelles importantes empêchent l'utilisation agricole des terres. Entre ces deux valeurs, une fonction d'appartenance grandement linéaire a été définie. La définition de la fonction d'appartenance a été exécutée de façon empirique. A l'étape suivante, ces variables « floues » ont été combinées en utilisant l'arbre de décision logique. Dans l'arbre de décision, tous les arguments pour ou contre la marginalité agricole ont été additionnés en utilisant des opérateurs de la logique floue.

Pour aider les décideurs locaux, les données entrantes et le calcul de l'algorithme ont été mis en service dans l'outil informatique SSPD (support spatial d'aide à la prise de décisions) « AGROLAND ». Avec le SSPD, l'utilisateur est capable de visualiser et d'analyser des ressources en terres agricoles en se basant sur l'indice de marginalité (Laudien et al., 2007).

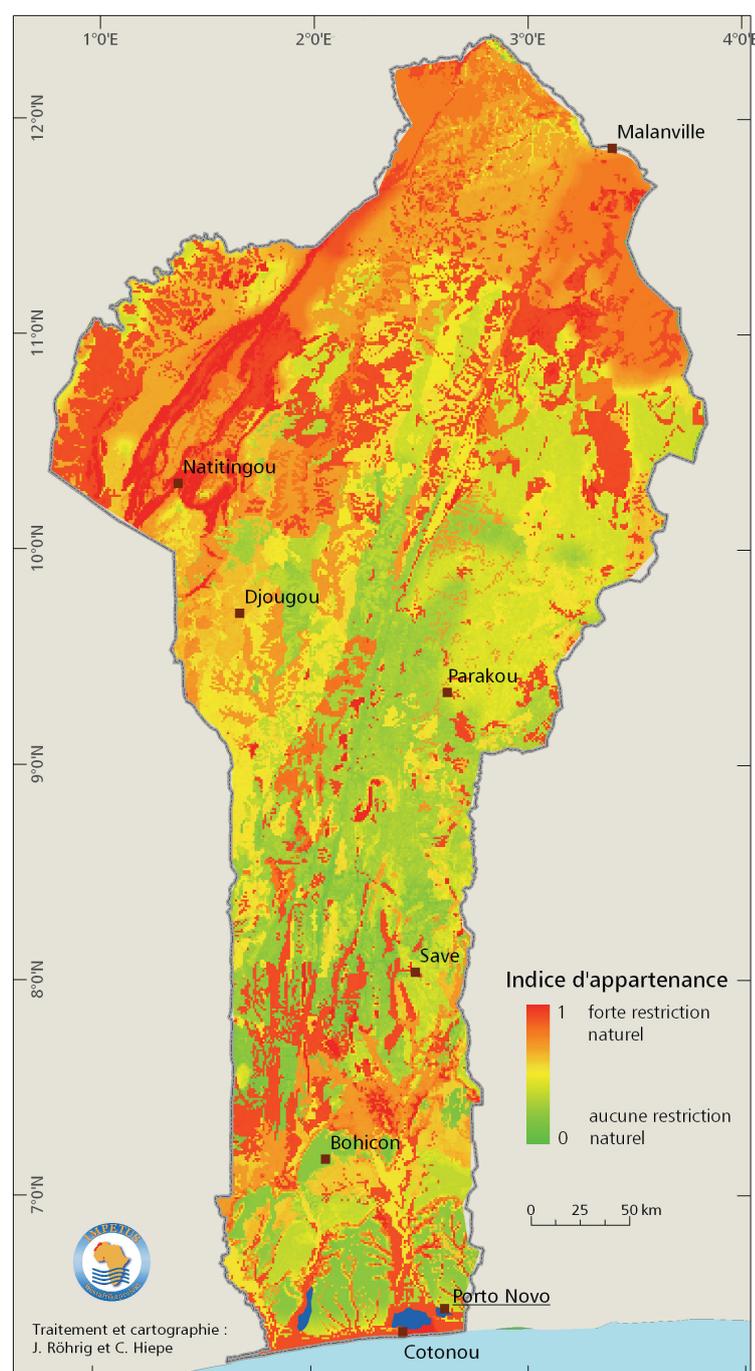
Marginalité agricole naturelle au Bénin

La carte de la Fig. 2 montre la répartition spatiale détaillée de l'indice de marginalité avec des valeurs comprises entre 0 à 1. Il existe donc au Bénin des sites avec de très bonnes conditions biophysiques pour l'usage agricole, mais il existe

également des régions où de fortes contraintes naturelles condamnent les terres à être très dégradées si elles étaient utilisées pour l'agriculture. 20 % de la superficie du Bénin subissent au moins de légères contraintes naturelles (les valeurs de la marginalité sont évaluées à 0,2), tandis que près de 40 % montrent des valeurs supérieures à 0,6. Le nord est spécialement caractérisé par de fortes valeurs de marginalité qui s'expliquent par une courte saison pluvieuse, des contraintes de température et surtout des sols pauvres. En général, les conditions sont modérées, comme le montre la valeur moyenne de 0,54, ce qui est principalement dû au fait que les sols soient plutôt pauvres au Bénin. Comme dans beaucoup de pays tropicaux, la fertilité chimique est faible d'où la nécessité du recours à des éléments nutritifs ou de la pratique de la jachère pour cultiver les sols. De plus, les caractéristiques du paysage naturel comme la région montagneuse de l'Atacora dans le nord-ouest, sont clairement observables. En général, les paramètres biophysiques principaux qui affectent la production agricole au Bénin sont la fertilité du sol et la durée de la période de croissance.

Références

- Brown, S. et Gaston, G. (1996): Tropical Africa: Land Use, Biomass, and Carbon Estimates for 1980. NDP-055. Carbon Dioxide Information Center. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge, Tennessee. Disponible à : <http://cdiac.esd.ornl.gov/epubs/ndp/ndp055/ndp055.html>.
- Cassel-Gintz, M. A., Lüdeke, M. K. B., Petschel-Held, G., Reusswig, F., Pöchl, M., Lammel, G. et Schellhuber, H. J. (1997): Fuzzy logic based global assessment of marginality of agricultural land use. *Climate Research. Interactions of Climate with Organism, Ecosystems, and Human Societies*, 8 (2), 135–150.
- Farr, T.G. et Kobrick, M. (2000): Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *American Geophysical Union Eos*, 81, 583–585.
- Laudien, R., Röhrig, J., Bareth, G. et Menz, G. (2007): Spatial Decision Support System zur Modellierung der agrarischen Marginalität in Benin (Westafrika). *Angewandte Geoinformatik* (Strobl, Blaschke et Griesebner, eds.) pp. 430–439, Wichmann, Heidelberg.
- Volkoff, B. (1976): Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin. ORSTOM. Paris.
- Zimmermann, H. J. (1991): *Fuzzy Set Theory and its applications*. Kluwer Academic Publishers.



Les frontières et les noms qui figurent sur cette carte ne font l'objet d'aucun jugement sur le statut légal ou n'impliquent aucune homologation ou acceptation d'un territoire.

Fig. 2: L'indice de marginalité du Bénin

44 Les feux de brousse au Bénin

Hans-Peter Thamm

Les feux de brousse constituent un facteur d'influence important des écosystèmes des régions de savane en Afrique de l'Ouest. Malgré le débat actuel sur le rôle des feux de brousse naturels et anthropiques, l'homme utilise le feu depuis des siècles et ce pour diverses raisons. La fréquence des feux de brousse augmente avec l'accroissement de la population. Ceci pourrait avoir d'importants impacts sur l'écosystème et conduire à la dégradation des sols et la perte de la biodiversité. Par conséquent, une gestion efficiente des feux de brousse s'avère nécessaire.

Introduction

Depuis des millénaires, les feux de brousse constituent une partie de l'écosystème naturel des savanes au Bénin. Chez les botanistes, le débat actuel consiste à déterminer si la végétation de savane au centre et au nord du Bénin correspond à un climax dû aux feux de brousse naturels.

Au Bénin, depuis que les hommes ont eu la capacité de contrôler le feu, ils ont utilisé le feu de brousse à des fins diverses. Les feux sont allumés pour préparer des champs, pour stimuler la croissance d'herbe fraîche pour le bétail, pour se débarrasser des ravageurs, pour chasser et pour plusieurs autres raisons.

La principale période des feux de brousse intervient durant la saison sèche allant d'octobre à mars/avril, mais quelques feux sont allumés même pendant la saison des pluies dès lors que de la matière sèche brûlable est disponible. Les feux brûlent principalement le tapis végétal et n'affectent pas la vitalité des arbres (Fig. 1).

L'usage du feu est une technique appropriée pour cultiver la terre avec une main-d'œuvre restreinte, mais la densité croissante de la population a abouti à une plus forte fréquence de feux touchant de plus grandes régions. Dans certaines régions du Bénin, plus de 70 % de l'espace cultivable sont brûlés pendant une saison de feu. La Figure 2 montre une répartition spatiale des feux provenant des données satellitaires de MODIS pour la saison sèche 2006 / 2007.

Les inconvénients des feux de brousse causent de sérieux problèmes. Les feux de brousse diminuent la qualité de l'air. La fertilité du sol baisse parce que la biomasse est brûlée et n'est donc pas intégrée au sol, ce qui limite la quantité d'humus. De plus, les éléments nutritifs contenus dans la cendre provenant de la végétation brûlée sont emportés par le vent ou l'eau. Les « feux tardifs » de la fin de la saison sèche ont des impacts particulièrement néfastes pour la fertilité du sol.

Un autre effet négatif est le fait que les feux peuvent échapper à tout contrôle et détruire des champs et des plantations.

Gestion des feux

Pour minimiser certains des effets négatifs des feux de brousse sur la fertilité du sol, la législation du Bénin interdit l'usage des feux de brousse après le 15 décembre (« feu tardif »).

Cependant, il est fréquent que les lois et règlements nationaux ne soient pas respectés dans les régions isolées du Bénin. C'est pourquoi il existe une demande d'informations solides au sujet des caractéristiques spatio-temporelles des feux de brousse au Bénin. Pour fournir ces informations, IMPETUS a établi un système de gestion des feux de brousse basé sur les images satellitaires MODIS quotidiennes (Fig. 2). Il favorise l'analyse de la fréquence des feux de brousse à une grande résolution temporelle et donne une base d'information saine aux décideurs.

Le succès de la gestion des feux de brousse a été prouvé dans un projet conjoint entre IMPETUS et la GTZ / ProCGRN dans la commune de Boukoumbé (Atacora). La Figure 3 montre la fréquence des feux à l'intérieur et autour d'une zone d'intervention (pointillés jaune et rouge) pour la période 2001 / 2002. Cette analyse est dérivée des images satellitaires LANDSAT. Les feux précoces intervenant avant mi-décembre sont matérialisés en vert et en jaune. Les feux plus tardifs sont marqués en rouge. Dans la zone où l'usage du feu a été interdit par des accords, seule une petite région a été affectée par le feu (zones rouges à l'ouest), alors que les feux ont été fréquents au-delà des frontières de cette zone. Cela montre qu'un contrôle efficace des feux de brousse est possible. IMPETUS est en train de mettre en place un suivi et un système d'aide au suivi et à la prise de décision pour faciliter la gestion des feux de brousse.



Fig.1: Feu de brousse dans la HVO. Normalement, le feu de brousse brûle seulement l'herbe sèche et le tapis végétal. Les arbres ne sont, pour la plupart, pas affectés par le feu.

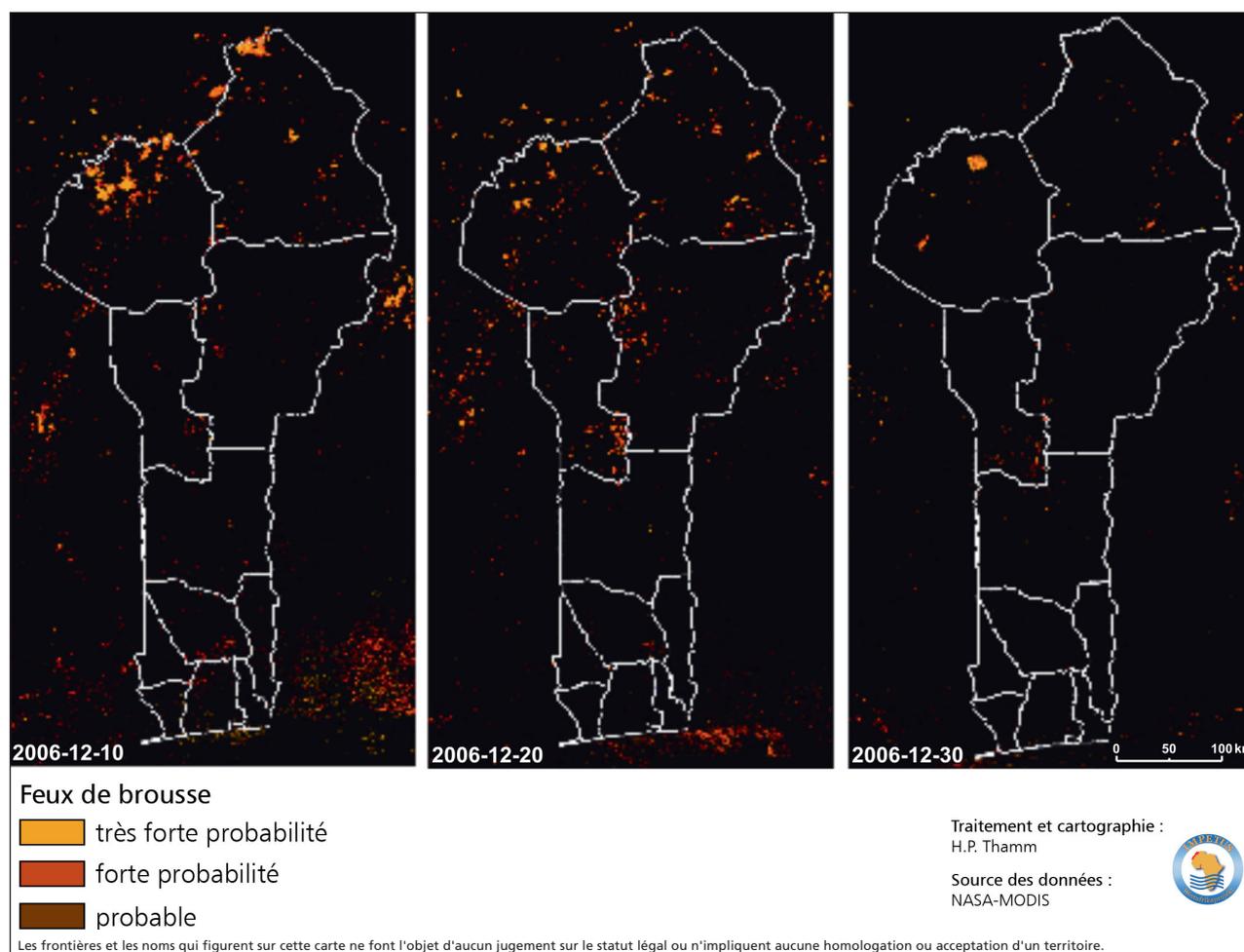


Fig. 2: Evolution des feux de brousse au Bénin durant trois périodes de 10 jours. Dérivée des données MODIS 250 m avec un traitement automatique des données

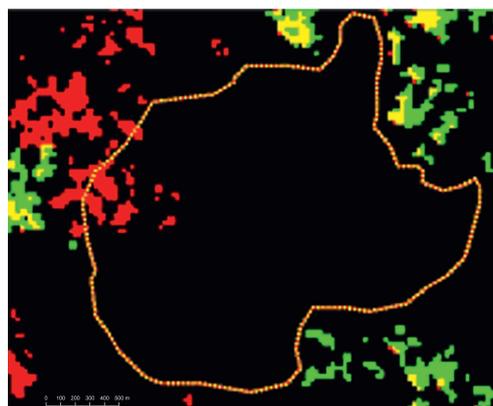


Fig. 3: Fréquence des feux dans une zone d'intervention à Boukoubé (Atacora, Nord-Ouest du Bénin), où les feux n'étaient pas autorisés pour la période des feux 2001–2002. Les plages colorées verte et jaune représentent les feux précoces (avant le 15 décembre); le rouge indique les feux tardifs (après le 15 décembre). Seule une petite partie de la zone a été touchée par les feux, alors qu'en dehors de l'aire de surveillance, de grandes zones ont été brûlées. Résultats d'une analyse d'images LANDSAT

Références

- Gillon, D. (1983): The fire problem in tropical savannahs. In *Tropical Savannahs* (F. Bourliere, ed.) pp. 617–641, Amsterdam.
- Oertel D., Zhukov, B., Thamm, H.-P., Röhrig, J. et Orthmann, B. (2004): Space-borne high resolution fire remote sensing in Benin, West-Africa. *International Journal of Remote Sensing* 25 (11), 2209–2216.
- Robert, S. J. (2000): Tropical fire ecology. *Progress in Physical Geography*, 24, 281–288.

- Thamm, H.-P.; Waldeier, M. et Mologue, C. (2003): Evaluation of Land Conservation Measures in West Africa with Remote Sensing, Possibilities and Limitations. *Proceedings of Deutscher Tropentag, "Technological and Institutional Innovations for Sustainable Rural Development"*, Göttingen.
- Thamm, H.-P. (2008): Evaluation of measures for land conservation and sustainable land use in developing countries with remote sensing – possibilities and limitations at the example of West-Africa. Soumis.

Inventaire des bas-fonds dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur

Simone Giertz, Gero Steup, Luc Sintondji, Felix Gbaguidi et Sarah Schönbrodt

La population de l'Afrique sub-saharienne, en croissance rapide, a besoin d'une production agricole accrue. Les bas-fonds, bien que sous-exploités, offrent un important potentiel agricole en raison de la grande quantité d'eau qui y est disponible, de la faible fragilité de leurs sols et de leur fertilité plus grande que celle des terres des plateaux. En raison de la forte croissance démographique et de la réduction des terres cultivables disponibles, l'exploitation des bas-fonds va se révéler très importante pour l'avenir de cette région. Afin d'évaluer le potentiel agricole des bas-fonds de cette région, nous avons mené des investigations de terrain détaillées sur les propriétés physiques et socio-économiques des bas-fonds dans les communes du bassin versant de l'Ouémé supérieur. Cet inventaire fait partie d'une approche multi-dimensionnelle utilisant les systèmes d'informations géographiques (SIG), la télédétection, des enquêtes de terrain et une modélisation interdisciplinaire pour évaluer le potentiel agricole des bas-fonds. Les résultats seront présentés sous forme d'un système d'information qui sera mis à la disposition des décideurs au Bénin.

L'inventaire

Comme aucune base de données adéquate n'existait concernant les bas-fonds du bassin versant de l'Ouémé supérieur, nous avons mené une investigation afin de déterminer les propriétés physiques et les situations socio-économiques de ces bas-fonds. Les études ont été réalisées en coopération avec la Cellule Bas-Fond, l'autorité locale en charge de la gestion des bas-fonds au Bénin.

Alors que les communes de N'Dali, Djougou, Parakou, Bassila et de Tchaourou ont été entièrement prospectées, seules les parties se trouvant à l'intérieur du bassin versant de l'Ouémé supérieur ont été prises en compte quant aux communes de Copargo, Sinendé et Bembèrèkè. Respectivement, les bas-fonds ont été identifiés par les agents de la Cellule Bas-Fond à travers des entretiens individuels avec les autorités locales (chefs de village, délégués) dans chaque village de la région-cible. Avec l'assistance des cultivateurs locaux, l'étendue de chaque bas-fond a pu être cartographiée à l'aide du GPS. Pour chaque bas-fond, un questionnaire détaillé a été rempli afin de déterminer les aspects relatifs à la géomorphologie, la pédologie, l'hydrologie, l'affiliation ethnique des cultivateurs, l'exploitation des bas-fonds, les structures de gestion, le caractère commercialisable des produits etc.

Les résultats

Au cours de l'étude, 817 bas-fonds ont été identifiés dans la région-cible couvrant une superficie totale de 5 563 ha. La Figure 2 montre les bas-fonds cartographiés. Parmi les bas-fonds étudiés, 536 étaient déjà exploités, mais le plus souvent sur une petite partie seulement (Fig.1). Le taux d'exploitation était surtout bas dans les communes les moins peuplées au sud de la H.V.O (Bassila, Tchaourou). Dans les communes à densité de population plus élevée et à fort degré de dégradation des sols comme Parakou, Copargo et Djougou, le taux d'exploitation était déjà situé au-dessus de 60 % de la super-

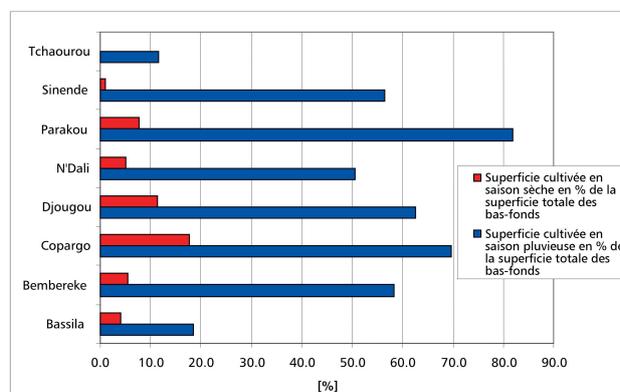


Fig. 1: Pourcentage de superficie cultivée des bas-fonds disponibles et prospectés, par saison et par commune

ficie du bas-fond potentiellement disponible, bien que la superficie cultivée pendant la saison sèche demeure en dessous de 20 %. Les principales cultures sont le riz (62 %), l'igname (17 %) et le maïs (6 %).

Les bas-fonds des zones isolées n'ont pas été prises en compte par la méthodologie appliquée. Lors des enquêtes, les villages ont été pris comme point de départ pour identifier les bas-fonds avec l'assistance de la population locale. Etant donné qu'il y a pas de villages dans les zones reculées (ex : les forêts classées), cette approche ne pouvait pas être appliquée. Une autre difficulté était lié au fait que ces régions sont difficilement accessibles puisqu'aucune route ou piste n'y mène et que la végétation y est très dense.

En conséquence, la superficie totale exploitable des bas-fonds dans la région cible est considérablement plus élevée que celle indiquée. Afin d'identifier les bas-fonds isolés, une analyse complémentaire basée sur des données obtenues par télédétection et SIG devra être réalisée.

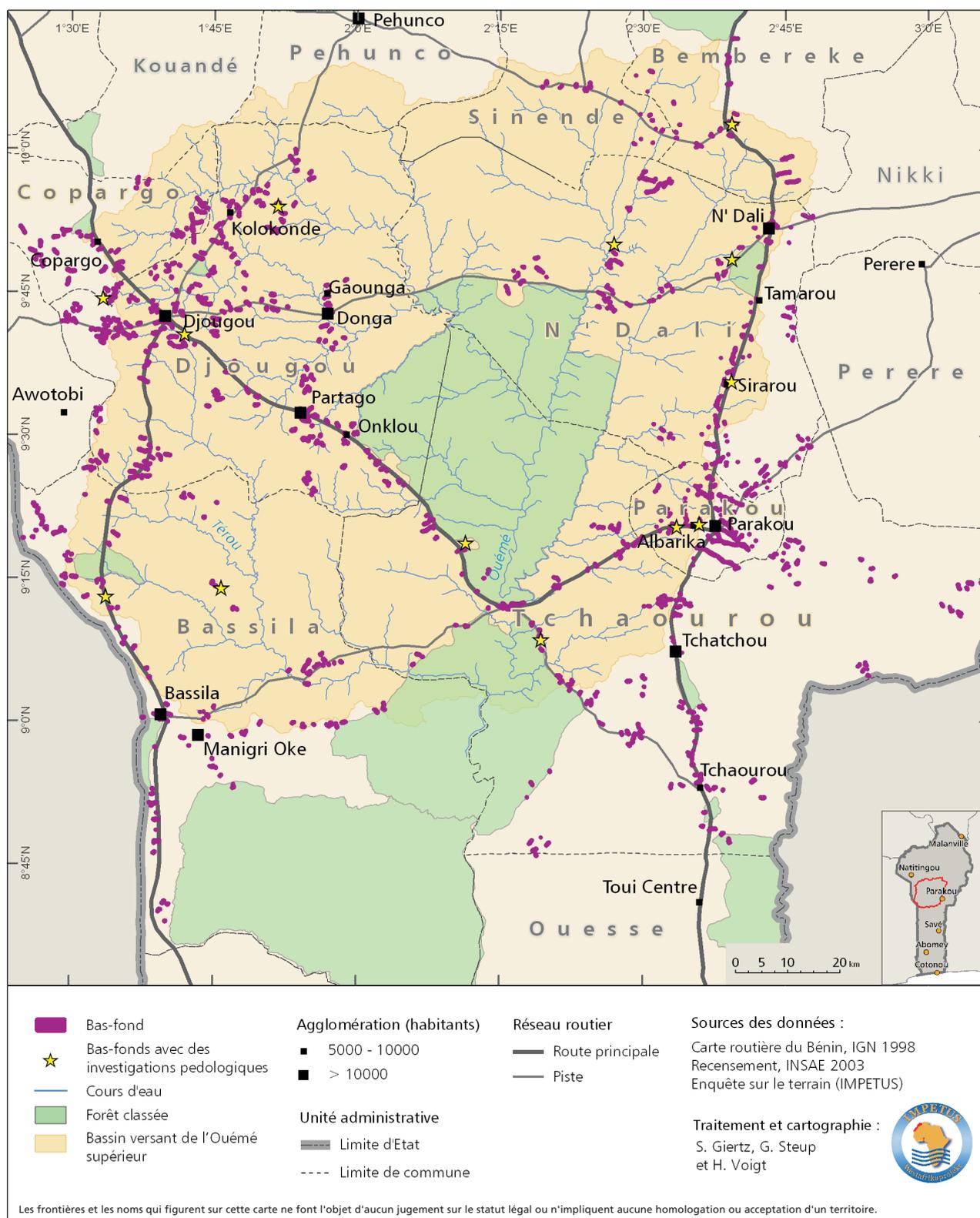


Fig. 2: Les bas-fonds prospectés dans les communes du Bassin versant de l'Ouémé supérieur

Références

- Giertz, S., Steup, S., Stadler, S., Schönbrodt, S., Diekkrüger, B. et Goldbach, H. (2006): Analysis and evaluation of the agro-potential of inland valleys in the Upper Ouémé catchment (Benin, West Africa). Proceedings of the Tropentag 2006 in Bonn.



Un des plus grands marchés en Afrique de l'Ouest :
Dantokpa à Cotonou



Société et économie – Aperçu
d'un phénomène complexe

Démographie : Disparités spatiales et taux de croissance élevés

Moritz Heldmann et Martin Doevenspeck

Les données démographiques pour le Bénin sont disponibles à travers trois recensements nationaux de 1979, de 1992 et de 2002. En 2002, le Bénin avait une population totale légèrement supérieure à 6 750 000 habitants (INSAE, 2003), avec une densité moyenne de 60 habitants/km² et un taux de croissance annuelle de 3,25 %. Cependant, ces chiffres à l'échelle nationale cachent des disparités géographiques et des dynamiques aux échelles régionales et locales, particulièrement entre le nord et le sud du pays.

Les tendances nationales

Depuis 1992, le taux de croissance annuelle atteint en moyenne 3,25 %, ce qui est légèrement plus élevé par rapport au taux observé entre 1979 et 1992 qui est de 2,8 %. Avec 5,5 %, le taux de fertilité a toujours un niveau élevé même s'il est légèrement en baisse. Cependant, il décroît beaucoup plus fortement dans les centres urbains qu'en campagne – un phénomène qui est bien connu en Afrique Subsaharienne. Les taux de natalité élevés au Bénin expliquent la répartition par âge de la population, qui est dominée par la tranche comprise entre 0 et 15 ans qui fait plus de la moitié des Béninois (Fig. 1).

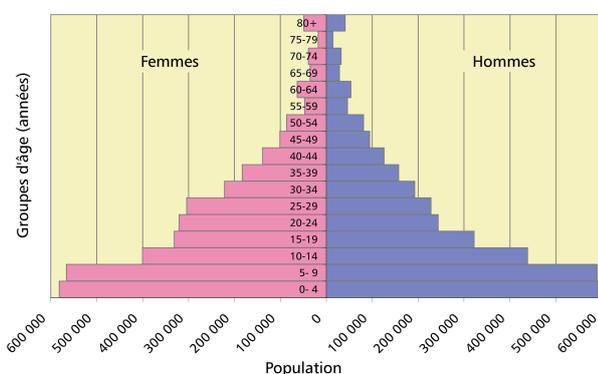


Fig. 1: Répartition par âge et par sexe au Bénin (2002)

La densité de population au Bénin est en moyenne de 60 habitants/km² mais la population est très inégalement répartie (Tableau 1). Au sud, la densité est de l'ordre de 238 habts/km² tandis qu'au centre et au nord elle est de 27 habts/km², où cependant les taux de croissance sont plus élevés.

Le sud du Bénin

Cotonou, où vit un cinquième de la population totale du Bénin, a la plus forte densité de population avec 8 100 habts/km². Les densités restent extrêmement élevées dans les zones périurbaines de la capitale économique, avec environ 950 habts/km². Par ailleurs, toute la région méridionale du Bénin est fortement peuplée : Plus de 60 % de la population s'y concentre sur approximativement 20 % du

territoire national (Tableau 1). Puisque les opportunités pour gagner de l'argent en dehors du secteur agricole sont rares, on peut au regard de la pression démographique affirmer que l'agriculture au sud du Bénin se déroule dans des « conditions asiatiques ». Il s'agit entre autres, de l'exploitation non durable des terres, de la réduction continue des terres cultivables par actif agricole, et aussi de la rareté des terres puis des conflits fonciers persistants (Edja, 2001).

Cependant, les taux de croissance au sud du Bénin sont généralement en dessous de la moyenne depuis 1992 – excepté les zones périurbaines de Cotonou, où les taux les plus élevés sont enregistrés avec 6 % à Sèmè-Kpodji et 9,5 % à Abomey-Calavi, la plus forte croissance au niveau national. Ces communes, limitrophes de Cotonou, sont en fait des villes dortoirs Béninoises, voire des banlieues grandissantes qui absorbent une grande partie des afflux des migrants de l'agglomération Cotonnoise.

Tableau 1: La distribution inégale de la population au Bénin

Département	Population 2002	Pourcentage
Littoral (Cotonou)	665 100	9,82 %
Atlantique	801 683	11,84 %
Mono	360 037	5,32 %
Couffou	524 586	7,75 %
Oueme	730 772	10,79 %
Plateau	407 116	6,01 %
Zou	599 954	8,86 %
Bénin du sud	4 089 248	60,40 %
Alibori	521 093	7,70 %
Atacora	549 417	8,12 %
Borgou	724 171	10,70 %
Donga	350 062	5,17 %
Collines	535 923	7,92 %
Bénin central et nord	2 680 666	39,60 %
Population totale	6 769 914	

Le Bénin du centre et du nord

Au centre et au nord du Bénin, la densité de population est partout en dessous de 70 habts/km², excepté à Parakou. On observe les plus faibles densités, moins de 10 habts/km², dans la commune la plus septentrionale Karimama et à l'ouest à Tanguiéta, où l'espace habité est restreint en raison des grands parcs nationaux. En revanche, les communes du nord-ouest comme Boukoumbé et Coblé ont des densités relativement fortes, mais également les plus bas taux d'accroissement, respectivement 0,4 % et 1,9 % par an.

Par opposition à ces faibles taux d'accroissement, certaines parties du centre et du nord Bénin ont des taux de croissance démographique qui figurent parmi les plus élevés du pays. C'est le cas des communes de Ouèssè, Bantè, Tchaourou et Bassila au centre, et de Péhunko et Ségbana au nord. La commune de Tchaourou, qui avait une faible densité de population jusqu'aux années 1970 a connu pendant trois décennies un taux d'accroissement élevé qui a atteint 4,9 % par an.

Dans la commune de Bassila, la forte augmentation de l'accroissement démographique est plus récent : Ici, la croissance démographique a doublé depuis les années 80, atteignant 4,8 % en 2002. Parakou est la plus grande ville dans le nord et continue de se développer avec des taux avoisinant 3,8 %.

Références

- Doevenspeck, M. (2004): Migrations rurales, accès au foncier et rapports interethniques au sud du Borgou. *Afrika Spectrum* 39.3, 359–379.
- Edja, H. (2001): *Land Rights under Pressure: Access to Resources in Southern Benin*. London.
- INSAE (1993): *Deuxième Recensement Général de la Population et de l'Habitation*. Cotonou.
- INSAE (2003): *Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation*. Cotonou.

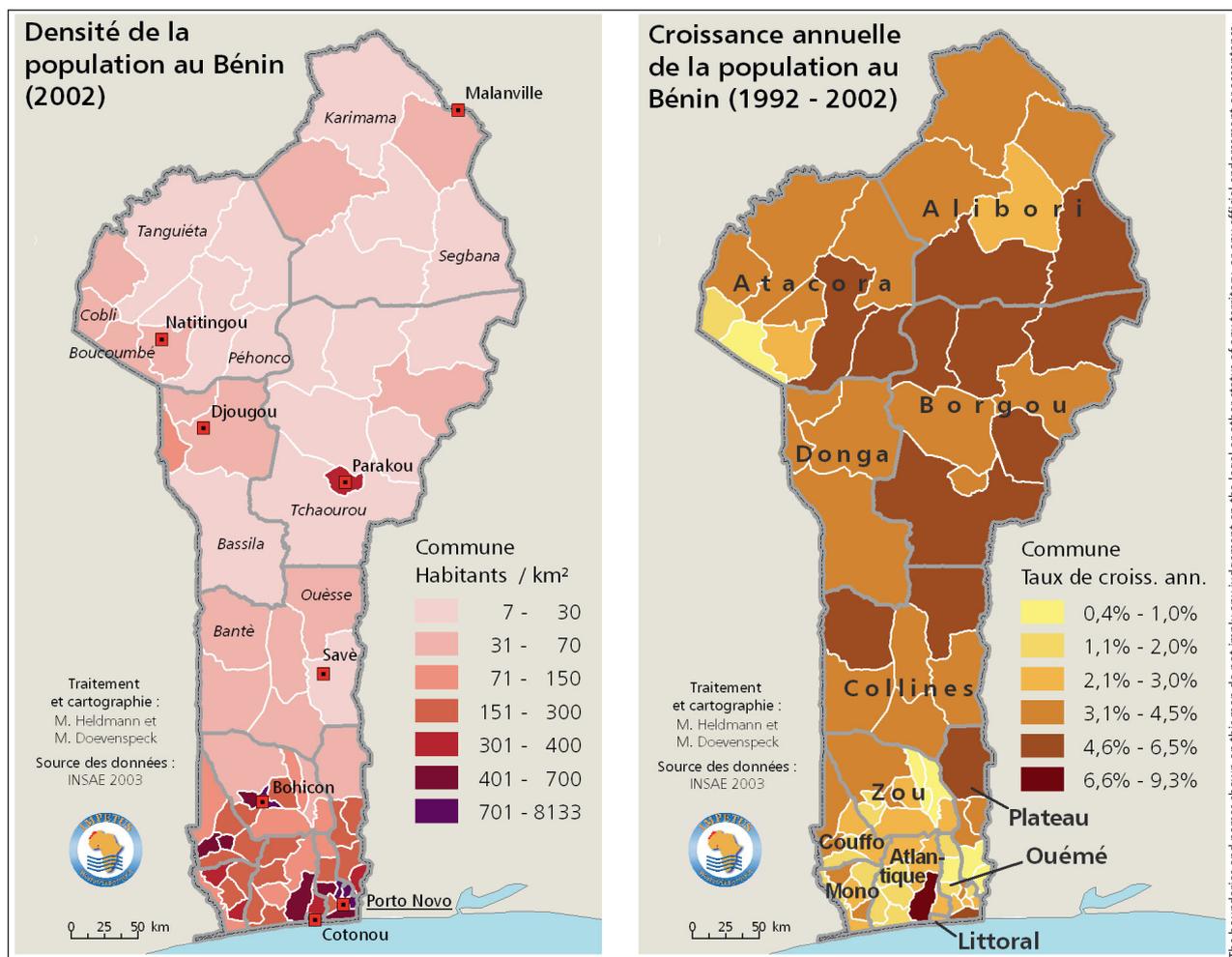


Fig. 2: Densité de la population (2002) et croissance annuelle (1992–2002) au Bénin

Projections démographiques pour le Bénin jusqu'en 2025

Moritz Heldmann et Martin Doevenspeck

Les projections démographiques sont importantes pour plusieurs raisons, en particulier comme base pour la planification. Le projet IMPETUS utilise ces projections par exemple pour connaître les futurs besoins d'infrastructures rurales d'approvisionnement en eau, ou pour évaluer la pression sur les ressources naturelles.

Projections démographiques pour le Bénin

Projeter la population est une tâche complexe qui exige aussi bien des informations sur l'effectif et le sexe pour l'année de référence, que sur les indicateurs suivants, dont il faut développer des hypothèses fiables pour le futur : Le taux de fécondité, la distribution de la fertilité par âge, l'espérance de vie à la naissance par sexe, les tables types de mortalité et la migration.

Le recensement de la population et de l'habitation de février 2002 effectué par l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE) fournit de telles données. Les hypothèses mentionnées ci-dessus ont été développées avec différents partenaires au Bénin, en tenant compte des données démographiques disponibles, des projections nationales, des objectifs des politiques de développement national, des tendances économiques et de divers autres indicateurs. Pour déterminer la gamme de projections plausibles, nous avons considéré trois variantes de chaque hypothèse : optimiste, moyenne et pessimiste .

Les trois scénarii démographiques illustrés dans la Fig. 1 suggèrent que la croissance de la population du Bénin demeure l'une des plus élevées dans le monde. En 2025, la population du Bénin sera comprise en moyenne entre 12,8 millions et 13,5 millions. La population va doubler en 28 ans, voire même en 23 ans, selon le scénario optimiste et pessimiste.

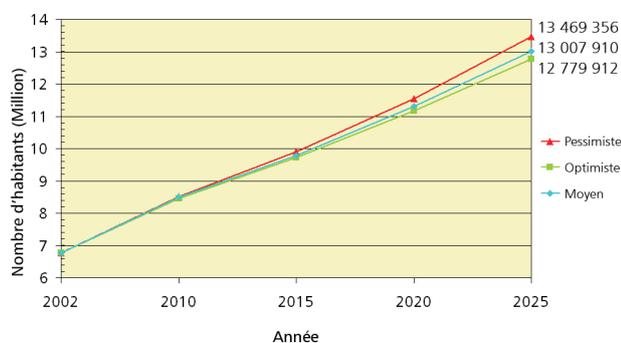


Fig. 1: Les scénarii (pessimiste, moyen, et optimiste) de projection de la population totale du Bénin en 2025

Disparités géographiques de la future population du Bénin

Selon le recensement de 2002, le Bénin est caractérisé par une répartition inégale de sa population, avec 60,4 % concentrés à peu près sur 20 % du territoire national situé au sud du pays.

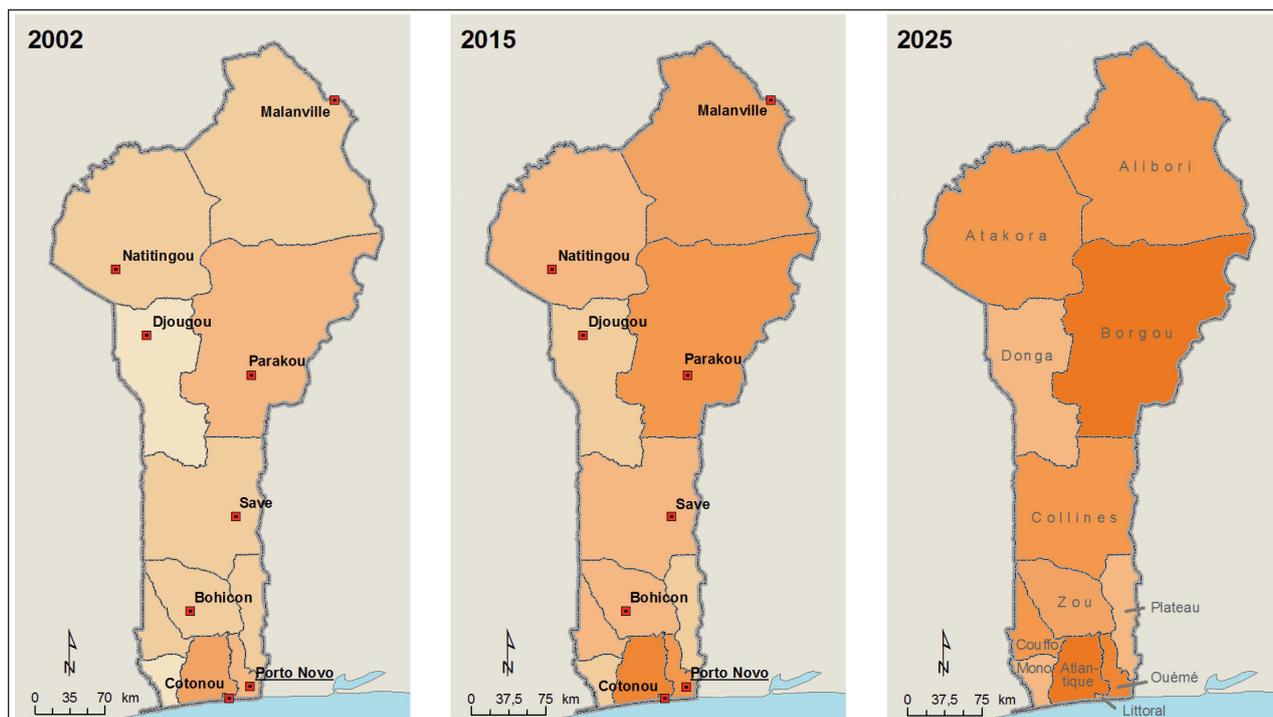
Cependant, dans les régions du centre et du nord Bénin, on rencontre, des taux de croissance beaucoup plus élevés que dans le sud, excepté les zones périurbaines de Cotonou où la population s'accroît très rapidement.

Selon le scénario moyen (Fig. 1) la répartition géographique de la population du Bénin changera jusqu'en 2025 bien que quelques disparités persistent. L'Atlantique reste le département le plus peuplé à cause de son attraction urbaine pour les migrants. Mais, il sera suivi du département du Borgou au centre, qui deviendra la région cible la plus importante pour la migration rurale.

La proportion d'habitants vivant dans le sud diminuera de 60,4 % en 2002 à 56,9 % en 2025. Cependant, l'anomalie démographique nord-sud dans la répartition de la densité de la population restera caractéristique du pays. Les fortes densités du sud du Bénin continueront à exercer une certaine pression sur la population rurale qui va émigrer vers les régions moins peuplées ou vers la nouvelle agglomération urbaines côtières s'étendant de Porto-Novo à Cotonou et à ses environs périurbains dans le département de l'Atlantique.

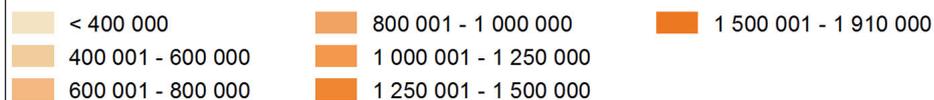
Références

- Doevenspeck, M. (2004): Migrations rurales, accès au foncier et rapports interethniques au sud du Borgou. *Afrika Spectrum*, 39.3, 359–379.
- INSAE (1993): Deuxième Recensement Général de la Population et de l'Habitation. Cotonou.
- INSAE (2003): Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation. Cotonou.

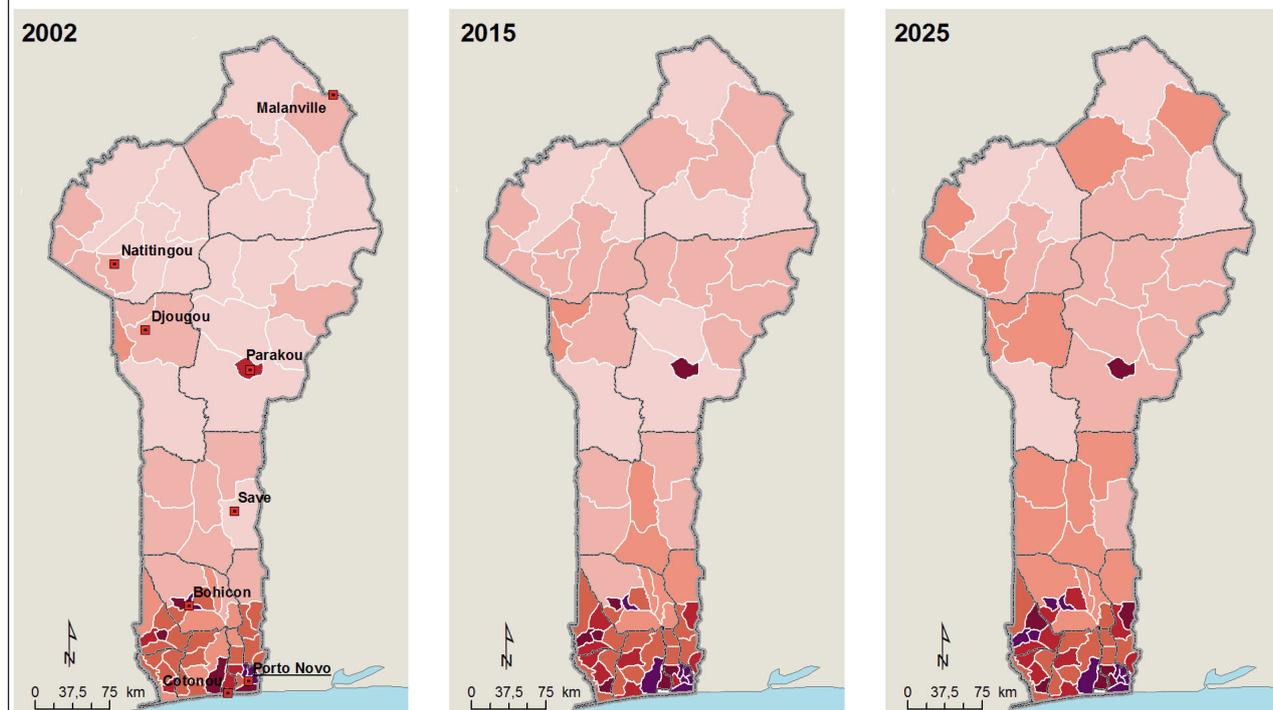


Population totale, projection jusqu'en 2025

Habitants au niveau des départements

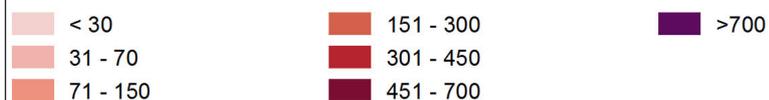


Traitement et cartographie :
M. Doevenspeck et
M. Heldmann
Source des données :
Carte routière du Bénin IGN 1998
INSAE 2003



Densité de la population, projection jusqu'en 2025

Hab./km² au niveau des communes



Traitement et cartographie :
M. Doevenspeck et
M. Heldmann
Source des données :
Carte routière du Bénin IGN 1998
INSAE 2003



Les frontières et les noms qui figurent sur cette carte ne font l'objet d'aucun jugement sur le statut légal ou n'impliquent aucune homologation ou acceptation d'un territoire.

Fig. 2: Projections de la population du Bénin (variante moyenne): Population totale et densité de population

Religion au Bénin

Kerstin Hadjer et Moritz Heldmann

Les données quantitatives et géographiques sur la religion au Bénin sont disponibles par le biais du recensement national de la population. Cependant, ces chiffres doivent être relativisés puisqu'au Bénin, les différentes croyances religieuses sont caractérisées par des synergies hybrides. À cet égard, les recherches d'IMPETUS offrent une vision plus différenciée sur les identités religieuses au Bénin.

Les dénominations

Selon le recensement de 2002, 42,7 % des Béninois sont chrétiens, suivis de 24,4 % de musulmans. Les chrétiens sont prédominants au sud, tandis que le nord est principalement habité par les musulmans. Les religions traditionnelles comptent 23,3 % de la population totale (17,3 % Vodoun, 6 % autres). Le Vodoun est principalement pratiqué au sud du Bénin.

Les chrétiens sont subdivisés sous de nombreuses dénominations. Le Catholicisme représente encore le groupe le plus important, mais différents groupes protestants et d'autres églises africaines, telles que l'église du Christianisme céleste, ont récemment gagné en importance.

Tableau 1: La population chrétienne de 1992 à 2002

Recensement	Chrétiens total	Catholiques	Protestants	Autres Chrétiens
1992	1 740 825	1 271 166 73 %	174 413 10 %	295 246 17 %
2002	2 892 593	1 833 283 63,4 %	360 246 12,5 %	699 064 24,1 %

Structures parallèles hybrides

Les données quantitatives officielles (InWEnt, ANB, CIA World Factbook etc.) n'expliquent qu'une partie des phénomènes religieux. L'affiliation religieuse y est décrite de manière unilinéaire : une personne, une religion. Des enquêtes quantita-



Fig. 1 : Invocation des génies et oracle impliquant miroir, cauri et encre qui sert à écrire des sourates du Coran

tifs réalisées par IMPETUS montrent la même tendance : au niveau des villages, par exemple dans le village de Bougou, 89 % des chefs de ménage ont répondu qu'ils étaient musulmans, 6 % d'être chrétiens et seulement 2 % d'avoir « d'autres croyances ». Par ailleurs, dans un village voisin, l'un des plus importants centres des sociétés secrètes, la réponse « autres croyances » y était plus ou moins absentes.

En revanche, des interviews qualitatives et d'autres techniques anthropologiques ouvrent la porte à un monde complexe et hybride de la coexistence des religions comme le Vodoun, l'Islam et le Christianisme avec des cultes des ancêtres, la croyance dans les génies, la sorcellerie, et d'autres pratiques occultes. En somme, il ne s'agit pas de syncrétismes, mais plutôt d'une coexistence fortement symbiotique de différentes croyances religieuses. En fin de compte, chaque personne interrogée dans les villages mentionnés a affirmé de croire à la puissance des ancêtres, aux génies et/ou à des pratiques magiques assurant fortune ou protection. Tout le monde est convaincu de l'existence dangereuse de la sorcellerie.

Occultisme : un monde secret et puissant

Au Bénin, le secret au sujet des pratiques occultes et des croyances liées est un phénomène récurrent. Les populations expliquent cette attitude souvent par des expériences négatives dans le contexte de sanglantes chasses aux sorcières pendant la période du marxisme-léninisme. D'ailleurs, la structure interne des sociétés secrètes et la crainte répandue de la jalousie impriment le secret. Des diverses techniques sont communes, par exemple l'évocation, l'invocation, la transe, la magie rituelle, la magie cérémoniale et les oracles (Fig. 1).

Les pratiques occultes ont un impact important sur la pensée quotidienne, sur l'action sociale et, finalement, aussi sur les investissements financiers – indépendamment de l'éducation et de l'origine des personnes (↗ 54).

Références

- INSAE (2003): Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Cotonou.
- Hadjer, K. (2006): *Geschlecht, Magie und Geld. Sozial eingebettete und okkulte Ökonomien in Benin, Westafrika*. Thèse de doctorat, Institut d'Anthropologie Sociale et Culturelle, Université de Cologne.

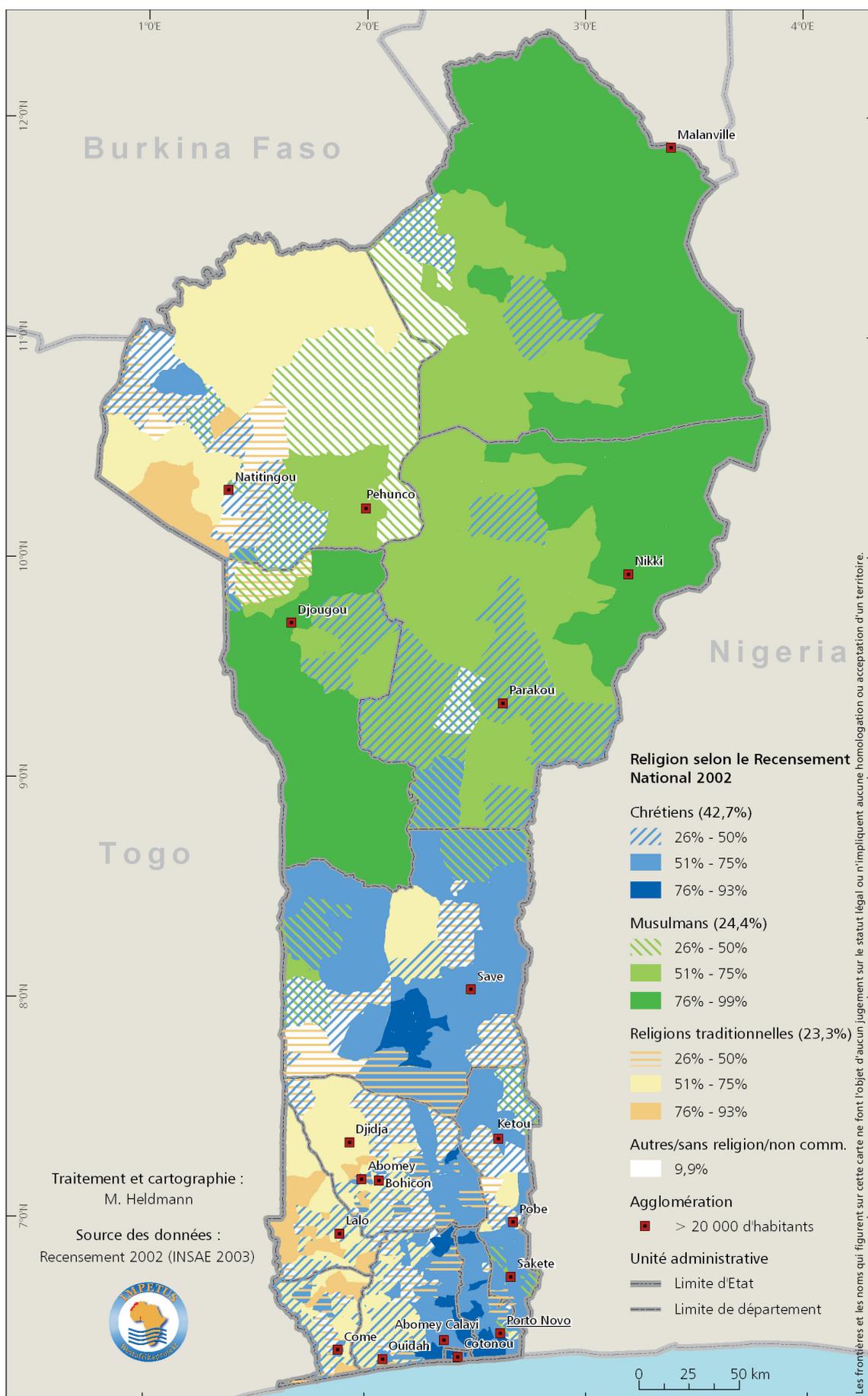


Fig. 2: Carte de la distribution spatiale des religions au Bénin

49 Groupes ethniques au Bénin

Moritz Heldmann

Le recensement national de la population de 2002 a enregistré 59 différents groupes ethniques au Bénin. Afin d'avoir un bon aperçu, toute représentation cartographique de ces ethnies nécessite un regroupement en de plus grandes catégories sur la base d'informations linguistiques ou historiques. Cependant, même les données du recensement sont déjà une simplification, puisqu'elles réduisent les identités multiethniques aux affiliations monoethniques.

La Cartographie des identités ethniques

Le mode de collecte des données du recensement général a conduit à une classification d'identités nettement monoethniques. En considérant que les mariages mixtes sont loin d'être exceptionnels et qu'il y a un nombre croissant d'identités multiethniques, la question est de savoir : « À quel groupe ethnique appartenez-vous? », ainsi posée dans le questionnaire du recensement de 2002, a obligé les personnes interrogées vivant dans des ménages multiethniques à opter pour une seule identité « officielle ».

En outre, il est impossible de cartographier les 59 groupes ethniques enregistrés sur une carte à une échelle « normale ». Certains de ces groupes ne représentent que des fractions de la population locale, tandis que d'autres constituent la majorité dans une vaste région. Il est ainsi nécessaire de simplifier la mosaïque ethnique par la classification de la grande variété de groupes ethniques en de grandes catégories pour une présentation cartographique appropriée. L'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE) a identifié 10 catégories de « groupes ethniques socio-culturels » : Adja et apparentés (et apr.), le Fon (et apr.), le Bariba (et apr.), le Dendi (et apr.), le Yom-Lokpa (et apr.), le Peulh, l'Ottamari, le Yoruba, autres groupes ethniques et les étrangers (INSAE, 2003). Ces catégories très larges, rassemblent des groupes ethnolinguistiques très distincts tels que le Yom et le Lokpa. Pour obtenir un aperçu plus détaillé mais visuellement compréhensible de la distribution géographique des ethnies, nous avons réparti les 59 ethnies enregistrées préalablement en 16 groupes plus larges (Fig. 1).

Distribution géographique des groupes ethniques

Ces 16 groupes ethniques sont principalement classifiés selon les caractéristiques linguistiques. Ils sont représentés en hachure lorsque les groupes ethniques représentent 25 % et plus, et en pleine couleur lorsqu'ils représentent plus de 50 % de la population au niveau de l'arrondissement. En fait, la plupart des Béninois parlent des langues appartenant aux sous-groupes de la famille nigéro-congolaise, tels que le gur, le kwa, le defoid-yoruboid, le mandé ou le sénégalien. Seuls les Dendi et les Djerma, qui habitent dans l'extrême nord du Bénin et autour de Djougou, appartiennent à la famille nilo-saharienne.

Les groupes appartenant au kwa vivent principalement au sud et au centre-sud du Bénin, qui sont historiquement liés aux royaumes de Danhomè et de Porto-Novo.

Les groupes Yoruboid sont subdivisés en plusieurs sous-groupes, tels que les Nagot, Idatcha ou Mokole. Ces derniers sont établis au nord autour de la ville Adjohoun. La plupart des groupes Yoruboid, cependant, habitent le centre et le sud-est du Bénin.

Le groupe parlant le gur comporte une multitude de groupes ethniques très différents, habitant au centre et au nord du Bénin : les Yom et les Lokpa se sont installés entre Djougou et les Bassila, les Otammari, les Gurma et autres dans la région de l'Atacora. Le plus grand groupe parlant une langue gur sont les Bariba, au nord et au nord-est du Bénin. Le même territoire est approximativement habité par les éleveurs peuls, qui parlent le pular une langue de la famille sénégalienne.

Les Boko, un groupe parlant une langue mandé, habitent au nord-est du Bénin, près de la frontière nigérienne.

Comme le montre clairement la carte, le Bénin ne présente pas de régions monolithiques mais plutôt une mosaïque d'unités locales hétérogènes. Ces unités sont beaucoup plus complexes que ce que montre la carte, et qui ne présente que les groupes représentant plus de 25 % de la population sur un territoire donné. En outre, le modèle ethnolinguistique du pays est dynamique et évolue constamment à travers la migration, le mariage, et autres influences.

Références

- INSAE (2003): Analyses des résultats. Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation. Cotonou.
Gordon, R.G. (2005): Ethnologue: Languages of the World, 15th edition. Dallas.

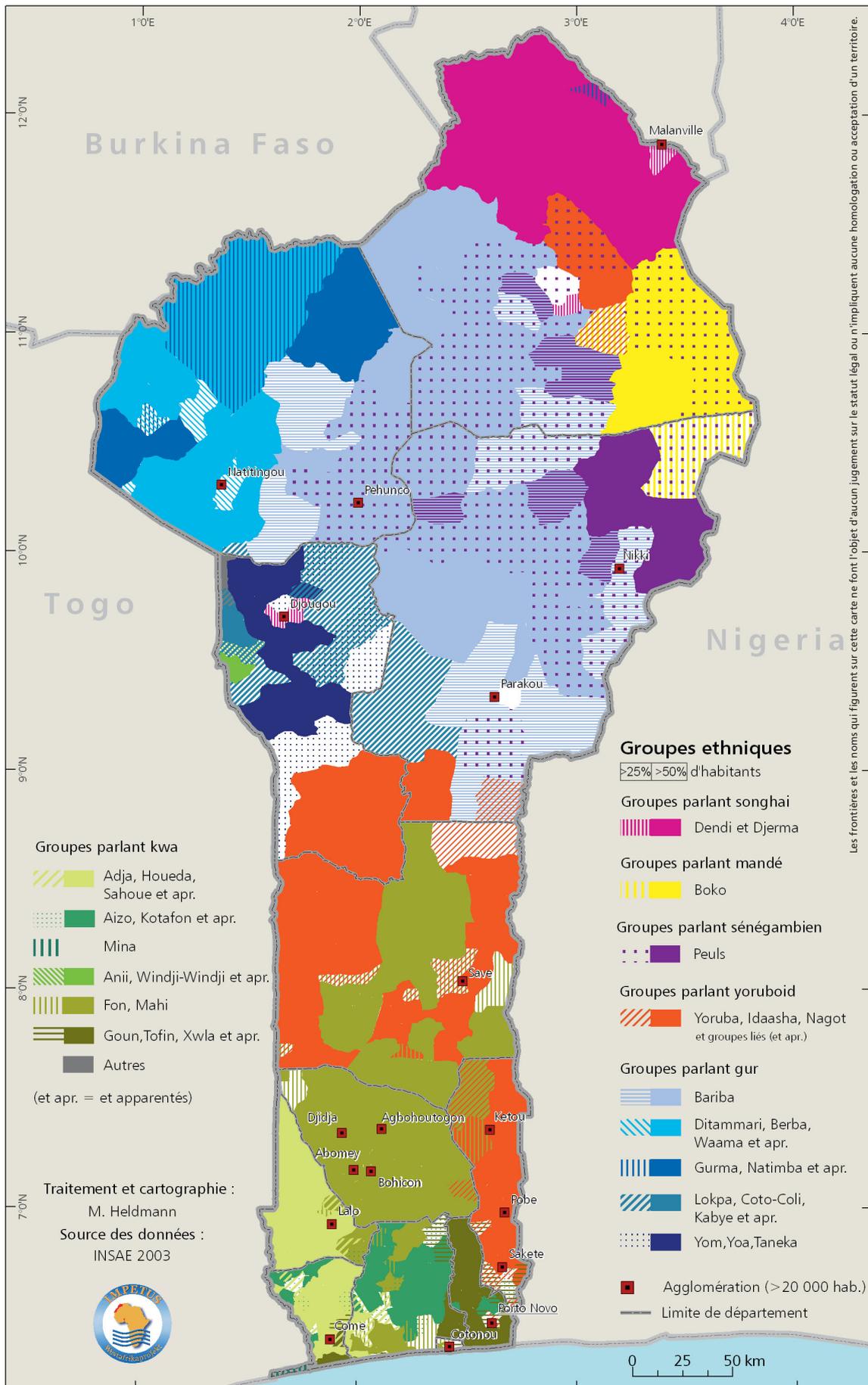


Fig. 1: Distribution des groupes ethniques au Bénin selon le recensement 2002

Analphabétisme et fréquentation scolaire

Moritz Heldmann et Martin Doevenspeck

L'éducation est un élément clé pour le développement économique de tout pays. Les données sur l'analphabétisme et la fréquentation scolaire qui sont disponibles à travers le recensement général (INSAE, 2003) illustrent des inégalités à la fois selon la géographie et selon le sexe de la population au Bénin.

Analphabétisme

Au Bénin, plus de 50 langues nationales existent (Gordon, 2005), et un grand nombre de citoyens parlent au moins deux ou trois d'entre elles. Le français est la langue officielle, mais en tant que langue « importée » d'Europe, il n'est pas souvent parlé avant l'école. A l'école, les cours sont donnés en français, bien qu'il existe quelques campagnes d'alphabétisation dans différentes langues béninoises. Ainsi, la majorité des Béninois instruits peuvent mieux écrire en français que dans leur langue maternelle (Tableau 1).

Les taux d'analphabétisme et de fréquentation scolaire montrés dans les cartes (Fig. 1) sont définis par les données du recensement de 2002. En dehors de la pauvreté et des maladies, l'analphabétisme est un facteur important qui entrave le progrès vers un développement durable. En dépit de certains progrès dans le secteur de l'éducation (aussi bien dans le système scolaire national qu'à travers les campagnes d'alphabétisation en langues béninoises) durant les dix dernières années, le Bénin reste un des pays avec un taux d'analphabétisme très élevé. Environ 59 % de la population ne peut ni lire ni écrire en langue française ou en langues vernaculaires.

Tableau 1: Analphabétisme au Bénin : population âgée de 6 ans ou plus (INSAE, 2003)

Population âgée de 6 ans ou plus	Total	Hommes	Femmes
Illettré	59 %	49 %	69 %
Lire et / ou écrire le français	33 %	42 %	25 %
Lire et / ou écrire une langue vernaculaire ou autres	4 %	6 %	4 %
Données manquantes	3 %	3 %	3 %

Le taux d'analphabétisme est au Bénin particulièrement élevé parmi les femmes, atteignant 69 % contre seulement 49 % pour les hommes. En outre, les taux d'analphabétisme sont beaucoup plus élevés au nord qu'au sud du pays.

Fréquentation scolaire

Les cartes sur la fréquentation scolaire montrent les mêmes disparités géographiques et des sexes que pour l'analphabétisme. En effet, le taux d'inscription en primaire pour les

filles est de 57 % (l'UNICEF, 2003); ce qui prouve que près de la moitié des filles en âge de scolarisation n'ont pas accès à l'éducation.

Le taux de disparités entre les sexes s'élève à 16 % au niveau du primaire (Tableau 2). En outre, la majorité des filles inscrites abandonnent l'école avant la fin du cycle primaire.

L'écart entre filles et garçons pour l'inscription à l'école connaît cependant une légère baisse: ainsi, le ratio des hommes aux femmes qui sont actuellement à l'école est de 58 % à 42 %, contre celui des hommes aux femmes qui ont fréquenté une fois l'école, qui est de 62 % à 38 %.

Tableau 2: Niveaux d'éducation de la population âgée de 3 ans ou plus (INSAE, 2003)

Niveau scolaire	Total	Hommes	Femmes
Primaire	1 699 516	58 %	42 %
Secondaire	639 003	65 %	35 %
Université	66 232	77 %	23 %

Il y a également des disparités géographiques relatives à l'analphabétisme et à la scolarisation. Le grand écart entre le nord et le sud constaté sur les cartes scolaires témoigne de la politique de l'éducation pratiquée sous la domination coloniale, qui s'est concentrée au sud du Bénin.

Références

- Gordon, R. G. (2005): *Ethnologue: Languages of the World*, 15th edition. Dallas.
- INSAE (2003): *Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat*. Cotonou.
- UNICEF (2003): *Girls Education in Benin*. Disponible à: <http://www.unicef.org/girlseducation/files/Benin.doc> (Accès: Février 2009).

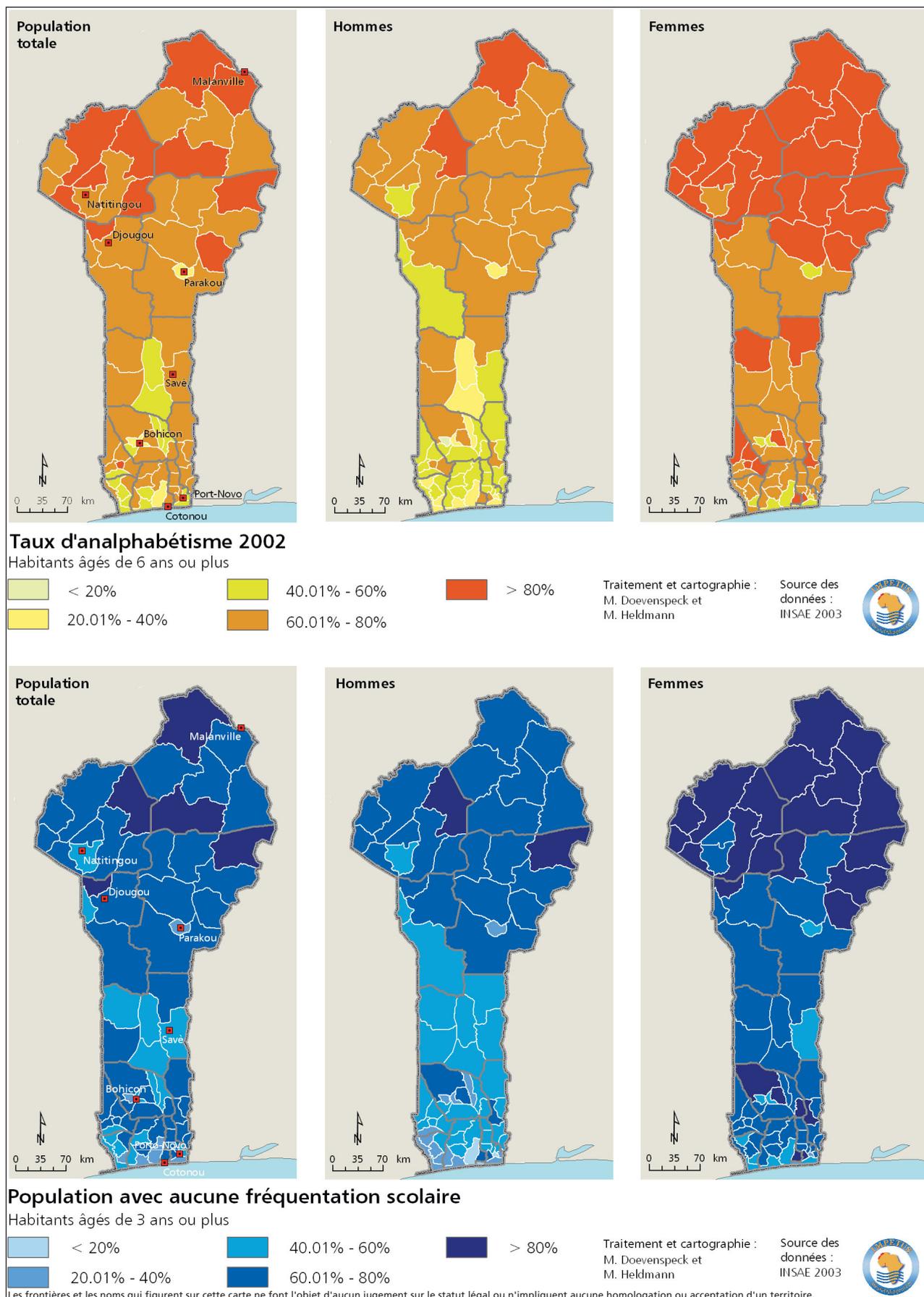


Fig. 1: L'analphabétisme et la scolarité au Bénin

Dynamique de peuplement au Bénin central

Martin Doevenspeck et Uwe Singer

Le Bénin central est marqué par des processus de migrations qui expliquent la structure diversifiée du peuplement. Des événements historiques, tels que l'immigration des guerriers « Wasangari » et des éleveurs Fulani ainsi que des processus récents tels que l'immigration des paysans venant du nord-ouest du pays sont étroitement interdépendant et ont abouti à un peuplement multiethnique complexe et à l'installation de la population.

Origines des Wasangari

Les cartes (Figs. 1 – 3) montrent les processus historiques et récents de la dynamique du peuplement dans le Bénin central. Les plus anciens peuples se sont installés, comme illustré par les deux cartes, lors du règne des Wasangari. Ces guerriers ont gouverné toute la région du Borgou et ses peuples jusqu'à la répression coloniale à la fin du 19^{ème} siècle. Leur gestion conflictuelle a été caractérisée, entre autres, par l'appropriation violente des marchandises de caravanes, des bétails, des esclaves (Gando) et des produits agricoles. C'est pourquoi beaucoup de mythes concernant la fondation des plus anciennes installations sur les trois cartes telles que Wari-Marou ou Tchatchou se réfèrent aux conséquences de ce genre de gouvernance, telle que l'évasion et la création des cachettes ou les conflits de succession entre guerriers. Dans les nouvelles agglomérations, ils détiennent le pouvoir politique, alors que les chasseurs et les fermiers autochtones, tels que les Bariba et les Nagot, détiennent le pouvoir spirituel et le contrôle sur les ressources naturelles.

Immigration des Fulani

L'immigration des Fulani des régions voisines remonte au milieu du 18^{ème} siècle. En tant qu'éleveurs salariés hebdomadaires, ils dépendent en priorité à la fois, économiquement et politiquement, des populations autochtones. À partir du début du 19^{ème} siècle, la domination coloniale française a conduit à l'arrêt de l'appropriation violente et a réduit la dépendance des Fulani et Gando vis-à-vis des Bariba et leurs guerriers. Il en résulte une autonomie économique, qui a été basée principalement sur l'élevage et l'agriculture et, dans une certaine mesure sur l'édification et la dispersion de leurs installations (Fig. 1).

Dynamique récente de peuplement

Le développement des infrastructures de transport, particulièrement la construction des voies ferroviaires et des principales voies (Fig. 1), a été basé sur le travail forcé. Le réseau de communication, ainsi que les nouvelles opportunités de marché après la deuxième guerre mondiale, ont conduit à la concentration des habitations le long des principales voies et à l'accroissement de la production agricole.

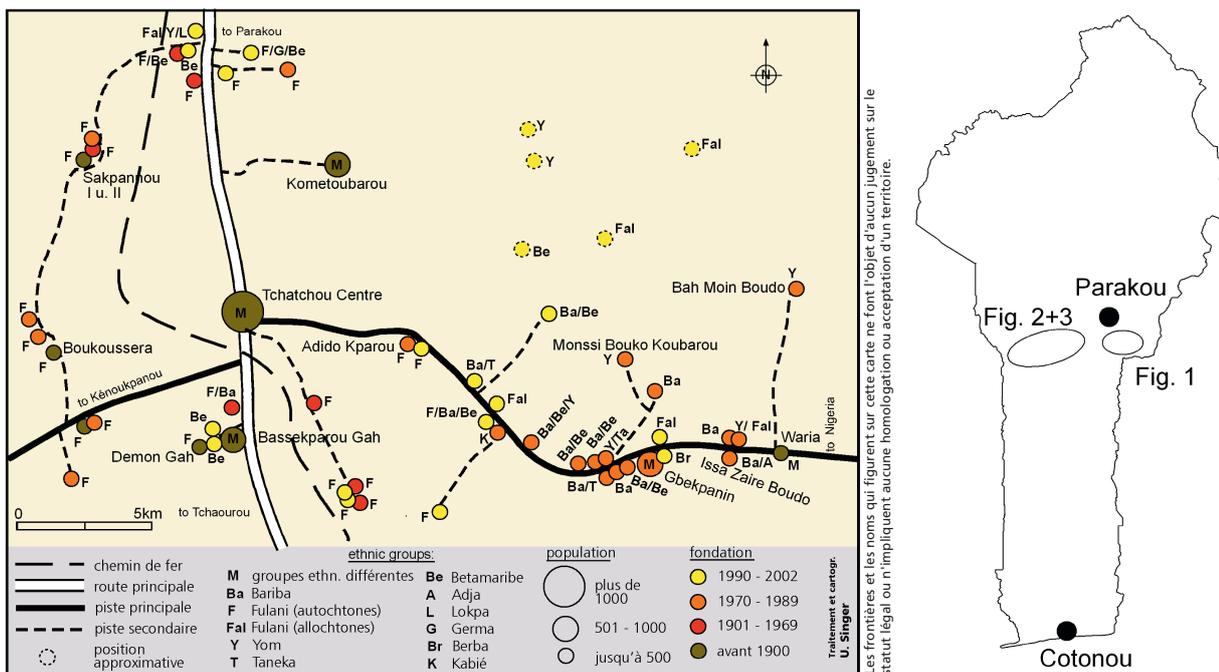


Fig. 1: Dynamique des agglomérations autour de Tchatchou

Dans les années 60, plusieurs nouvelles installations ont contribué à ces processus interdépendant de peuplement (Fig. 2). Une grande partie de la population a été contrainte d'abandonner son village dans les forêts, qui échappaient au contrôle des autorités, pour créer de nouvelles habitations aux abords des routes.

Etant donné que l'agriculture était principalement basée sur la culture itinérante, cela entraîna une expansion des champs et a ainsi accru la distance entre les villages et les champs. Les cabanes installées au cœur des champs, tel Gbékpané (Fig. 1) qui signifie « la cabane devenue maison » deviennent progressivement des villages permanents.

En dehors de la conquête des terres fertiles, les conflits entre et au sein des groupes apparentés ont aussi contribué à la création ultérieure et à la dispersion des habitations.

Depuis 1970, la dynamique du peuplement a été accéléré aux moyens de deux processus interdépendants d'immigration. Aussi bien les ouvriers agricoles saisonniers que les immigrants permanents venus des parties du nord-ouest du Bénin et des pays voisins sont attirés par les terres fertiles et les opportunités de revenu offertes par la région. Cette situation survint avec le marché de coton géré par l'Etat et la demande croissante en produits vivriers, tels que les ignames, sur les marchés nationaux et dans les pays voisins. Dans la région entre Djougou, Bassila, Tchaourou, et N'Dali, une colonisation agricole dynamique entreprise par des paysans a démarré à partir de 1970, et s'est renforcée par des programmes d'installation de l'Etat et des églises chrétiennes. Le secteur de l'étude entre Bétérou à l'est et Bassila à l'ouest est demeuré en grande partie non concerné par ce processus de colonisation jusqu'à la deuxième moitié des années 90 en raison de l'absence d'un véritable développement des infrastructures de transport. L'expansion de la voirie rurale dans la partie méridionale de la Haute vallée de l'Ouémé depuis 1997 a encouragé l'immigration des paysans et des éleveurs. Comme indiqué par la Fig. 3, le nombre d'agglomérations fondées par des migrants a depuis déjà dépassé celui des villages autochtones.

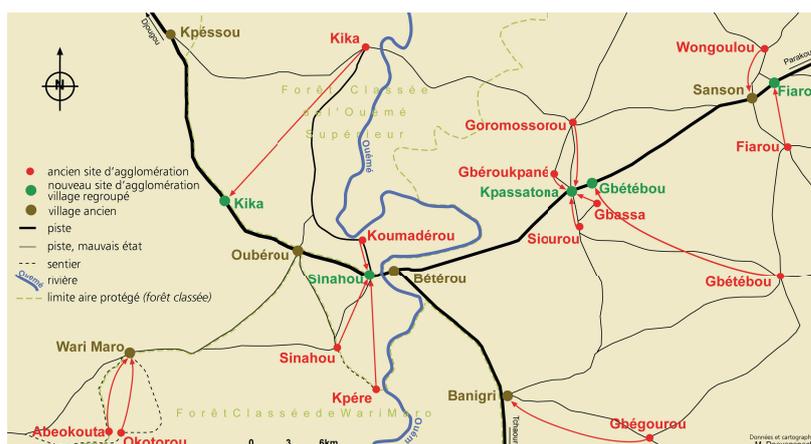


Fig. 2: Réinsertions obligatoires d'habitations dans la région de Bétérou

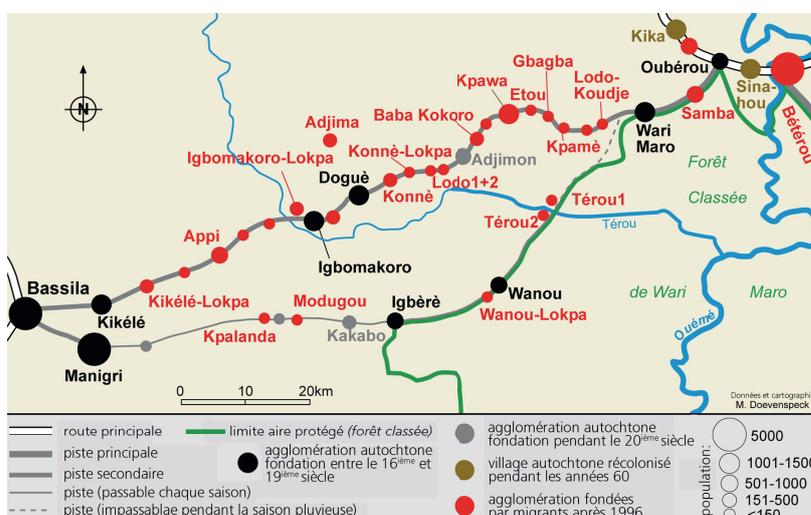


Fig. 3: Agglomérations des autochtones et de nouveaux migrants entre Bétérou et Bassila

Références

- Doevenspeck, M. (2005): Migration im ländlichen Benin - Sozialgeographische Untersuchungen an einer afrikanischen Frontier. Studien zur Geographischen Entwicklungsforschung 30.
- Doevenspeck, M. (2004): Migrations rurales, accès au foncier et rapports interethniques au sud du Borgou (Bénin) - Une approche méthodologique plurielle. *Afrika Spectrum* 39. 3, 359-379.
- Singer, U. (2006): Entwicklungsprojekte im ländlichen Benin im Kontext von Migration und Ressourcenverknappung. Eine sozialgeographische Analyse. Thèse de doctorat, Universität de Bayreuth. Disponible à : <http://opus.ub.uni-bayreuth.de/volltexte/2006/209> (Accès: Février 2009).

Enquête régionale sur la sécurité de la subsistance

Kerstin Hadjer, Thamar Klein et Uwe Singer

Comment les populations du Bénin central assurent-elles leur subsistance? Pour répondre à cette question, IMPETUS a réalisé une enquête statistiquement représentative focalisant l'acteur individuel. Les données ont été collectées en interviewant des hommes et des femmes de façon indépendante, car la gestion sociale et économique au niveau des ménages se produit sous des formes fortement individualisées. Donc, pour la première fois, il existe une base de données statistiquement représentative pour le Bénin, qui prend en compte équitablement les témoignages des femmes et ceux des hommes. Les résultats fournissent de nouvelles perspectives sur la gestion locale des risques dans un espace de 22 260 km².

Une approche innovatrice

Jusqu'à présent la plupart des études menées sur la sécurité de la subsistance au Bénin ont focalisé le ménage en unité de référence (p. ex. IFPRI, 2001 ; MAEP, 2001). Cette considération occulte les relations humaines complexes au Bénin, de même que leurs effets sur les moyens d'existence. En effet les membres d'un foyer et d'une famille au Bénin, contrairement à la plupart des pays asiatiques ou européens, gèrent séparément leurs revenus. A cela s'ajoute le fait que les hommes et les femmes gèrent leurs revenus souvent de manière très individuelle et la plupart du temps aucun des deux ne sait exactement combien gagne l'autre (Hadjer, 2006 ; Klein, 2005). Également au sein du ménage existent en partie de grandes différences de prospérité. Donc, le comportement social et économique ne peut être compris que si nous interrogeons ou observons les femmes et les hommes: l'approche centrée sur l'acteur se révèle être l'unique accès pertinent par rapport au sujet de la sécurité de la subsistance.

L'enquête envisage des particularités sociales, économiques, et culturelles – parmi elles, l'appartenance à plusieurs groupes ethniques, la migration intra-rurale, les différences du genre, l'accumulation individuelle de capital, ou les disparités urbaine et rurale.

Milieu d'étude et méthodologie de recherche

L'étude interdisciplinaire et statistiquement représentative a permis de fournir des données complexes sur la sécurité de la subsistance en milieu rural et urbain. Des entrevues avec 839 participants ont été effectuées dans sept communes situées dans les départements de la Donga et du Borgou, couvrant environ un cinquième de la superficie totale du Bénin (Fig. 1).

La densité de la population varie fortement selon les communes. Pour obtenir une moyenne représentative par le biais de la population, nous avons coopéré avec l'INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique) qui a aimablement mis à notre disposition le recensement de la population de 2004. L'échantillon, c'est-à-dire le groupe de personnes interrogées, est issu de ce recensement. Pour chacune des 7 communes nous avons ensuite

choisi par générateur aléatoire six zones de dénombrement.

Pour chacune des 42 zones de dénombrement résultantes nous avons reçu de l'INSAE une liste de 10 chefs de famille choisis au hasard. Nous avons rencontré ces hommes et nous les avons interrogés ainsi que leur (première) épouse. Au total nous avons interrogé 20 personnes bien définies dans chacune des 42 zones de dénombrement, ce qui nous donne un total de 840 interviews (dont une était erronée ramenant le résultat final à 839).

L'une des contraintes de l'étude est la multitude de langues parlées dans le secteur. En effet, 35 différentes langues sont parlées par la population échantillonnée. Par

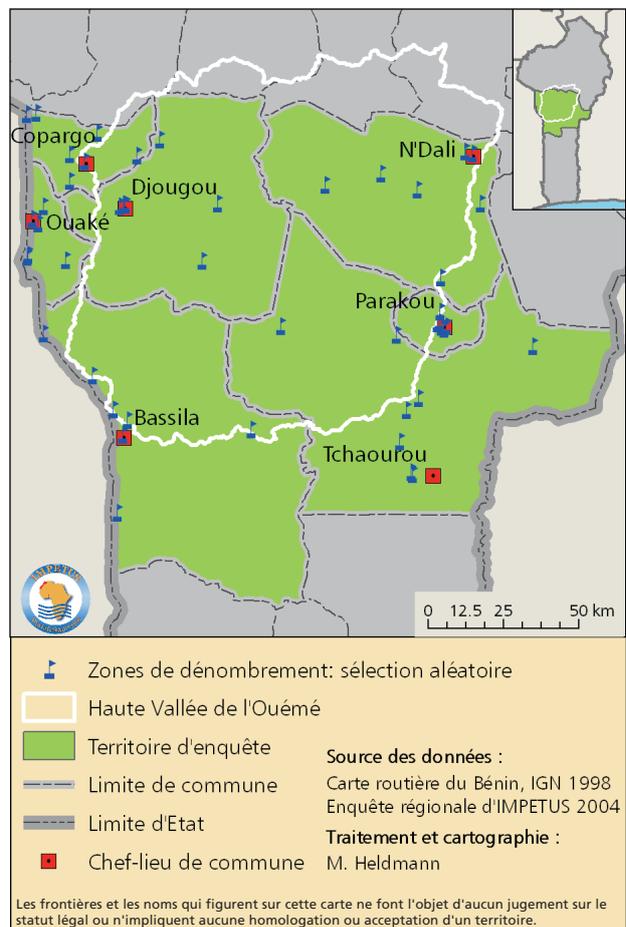


Fig. 1: Le territoire d'enquête

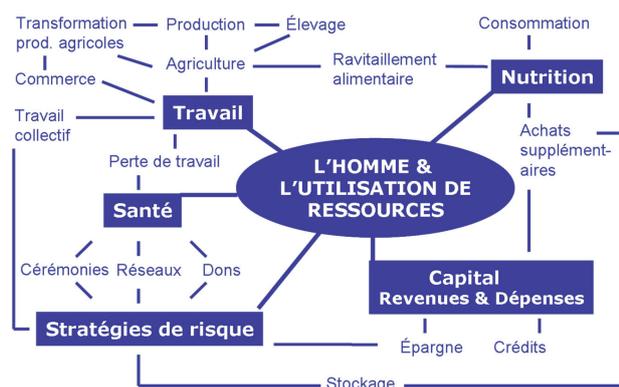


Fig. 2: Cadre conceptuel

conséquent, des enquêteurs féminins et masculins avec des capacités linguistiques différentes ont été employés dans le but de couvrir au moins les onze langues les plus fréquemment parlées. Le questionnaire standardisé a été traduit, suivi d'un pré-test, et actualisé dans les onze langues en question.

Focalisation sur la vulnérabilité sociale

La vulnérabilité peut être définie comme « [...] exposure to contingencies and stress, and difficulty in coping with them. Vulnerability thus has two sides: an external side of risks, shocks, and stress to which an individual or household is subjected, and an internal side that is defencelessness, meaning a lack of means to cope without damaging loss » (Chambers, 1989, p. 1).

Particulièrement dans le contexte de la décentralisation en cours, l'évaluation de la vulnérabilité constitue un facteur clé pour un développement durable et la lutte contre la pauvreté. Une approche holistique est nécessaire afin d'effectuer ces évaluations. Déduites des résultats de recherches approfondies en sciences sociales menées par les auteurs, 77 variables principales ont été définies et classifiées par thème (Tableau 1).

Tableau 1: Domaines principaux de la sécurité de la subsistance

Domaine	Contenu (exemples)
Eau potable	Accès, qualité, sources, critères de choix, gestion de crise, ...
Travail	Production, distribution, main d'oeuvre, coopération, ...
Santé	Maladies hydriques, mortalité infantile, taux de natalité, ...
Risque stratégiques	Troc, réseaux, réciprocité, cérémonies, ...
Gestion des ressource	utilisation des terres, propriétés, variétés de récolte, maniement de conflits, ...
Nutrition	production individuelle, achats, degré de satisfaction, kcal/p/jour, ...
Capital	Revenues, dépenses, crédits, stratégies d'épargne, investissements, ...

Cadre Conceptuel

Le cadre conceptuel des éléments étant en forte corrélation (Fig. 2) permet des analyses diverses et multivariates. En somme, le projet fournit des données au niveau personnel, communal, et départemental. En outre, il fournit des informations de base pour le renforcement de la capacité locale.

Références

- Chambers, R. (1989): Editorial Introduction: Vulnerability, Coping and Policy. *IDS Bulletin* 20 (2): 1-7.
- Hadjer, K. (2006): *Geschlecht, Magie und Geld. Sozial eingebettete und okkulte Ökonomien in Benin, Westafrika*. Thèse de doctorat, Université de Cologne.
- INSAE (2004): *Third general population and habitation census of Benin 2002. Synthesis of results*. Cotonou.
- IFPRI (2001): *Impact of Agricultural Market Reforms on Smallholder Farmers in Benin and Malawi, Vol. 1+2*. Hohenheim: IFPRI/GTZ
- Klein, Th. (2005): *Befindensweisen und therapeutische Wege in Dendougou, Benin*. Thèse de doctorat, Université de Cologne.
- MAEP (2001): *Etude sur les Conditions de Vie des ménages ruraux (ECVR2)*.

Traits fondamentaux du comportement social et économique

Kerstin Hadjer

Plusieurs études sur l'action sociale et économique au centre du Bénin ont été menées au niveau des ménages. Cette approche a du être requalifiée récemment par la recherche anthropologique, car des conséquences économiques fondamentales concernant des différences entre hommes et femmes et l'individualité y sont négligées. L'individualisation socialement encadrée atteint son paroxysme dans la stratégie de la conservation du secret concernant le revenu. Elle est étroitement liée à la crainte de susciter la jalousie et l'envie qui privilégient le recours aux pratiques occultes comme les maléfices.

Différences de genre

Dans la plupart des cas, les femmes et les hommes au centre du Bénin gagnent et gèrent leur revenu séparément. Cependant, les systèmes de production communautaire, la coopération ou la commercialisation ne sont pas exclus. Les différences de genre sont considérablement accentuées par la structure sociale: les règles de filiation, les successions d'héritage et la transmission du nom par exemple suivent la lignée masculine (patrilinéarité). Lors du mariage, la femme emménage chez son mari, souvent dans un nouvel environnement (virilocalité), et un homme peut être marié à plusieurs femmes (polygynie). Ces piliers d'organisation sociale sont liés à des stratégies d'héritage et de résidence favorisant une forte hétérogénéité de stratégies féminines et masculines ainsi que des différences de richesse au sein des ménages.

Répartition des activités économiques

D'une façon générale, ce sont des stratégies de sécurité de la subsistance plurilatérales qui dominent (polyactivité). Dans le cadre d'une enquête (n=52), nous avons demandé à 839 personnes leurs trois activités économiques principales au cours de l'année (Tableau 1). En effet, on constate que les hommes sont majoritaires dans l'agriculture, les femmes dominent le petit commerce et la transformation des vivres (beurre de karité, charbon de bois; Fig. 1). Particulièrement en milieu rural, les responsabilités au sein des ménages sont clairement réparties entre les sexes. Par exemple, la cuisine, la recherche de l'eau, ou le ramassage du bois sont des activités féminines. Le bétail, la construction d'abri, ou la fabrication de houe sont des activités réservées aux hommes.

Individualité et différences de prospérité

De nombreuses enquêtes réalisées sur le plan national et/ou international limitent leurs interrogations au niveau des chefs de ménage (qui sont surtout masculins), en supposant qu'ils sont bien informés sur les activités économiques des autres membres du ménage (par exemple les études IFPRI, 2001; MAEP, 2001; INSAE, 2004).

En revanche, Hadjer (2006) a fourni des résultats qui démentent sans équivoque l'hypothèse du pooling (partage

Tableau 1: Activités économiques par sexe (n=790), enquête régionale d'IMPETUS (2004)

Activités économiques	Hommes	Femmes	Total
Agriculture & Foresterie			
agriculture	256	122	378
horticulture	105	29	134
élevage	29	12	41
foresterie	6	0	6
<i>total</i>	396	163	559
Artisanat & Industrie			
Transformation et commercialisation des produits agricoles à petite échelle	0	101	101
industrie	3	0	3
artisanat	62	25	87
<i>total</i>	65	126	191
Services			
commerce	30	283	313
éducation	7	4	11
santé	18	2	20
autres	41	3	44
<i>total</i>	96	292	388
Total	557	581	1138

de revenu et biens) au sein des ménages. Elle accentue la stratégie du secret qui va de pair avec la division du capital. Pour les membres du ménage, la séparation individuelle de revenu et des prospérités va de pair avec un accès différent aux ressources (par exemple la terre) et aux différentes sortes de capital (par exemple l'argent, le prestige).

À première vue, la vie quotidienne à l'intérieur des unités de résidence semble fonctionner par une économie de la solidarité. Mais en fait, dans les coulisses des ménages nous pouvons observer une large gamme de stratégies d'acquisition individualisées et différents modes d'accumulation qui aboutissent à des différences remarquables au niveau du revenu. Les affaires économiques se produisent moins souvent entre les ménages, mais plutôt entre les individus.



Fig. 1: Domaines typiques d'activités des femmes et des hommes

Ainsi, les hommes achètent, par exemple, le sorgho de leurs épouses et le revendent à un meilleur prix. Une femme obtient un crédit de son mari et quelques mois plus tard, ce dernier lui demande de payer des intérêts. Un couple marié va ensemble aux cérémonies de mariage, mais femme et homme réalisent des dons de différentes valeurs – selon leur rapport personnel avec la jeune mariée ou le jeune marié. Au cours de la cérémonie, chacun des membres du couple met en place son réseau indépendamment de l'un et de l'autre.

En somme, nous identifions des relations de marché au sein du ménage. Elles sont associées à des différences de genre, donc au sexe des acteurs. Pourtant, les données détaillées sur le revenu et les dépenses des couples en Afrique de l'Ouest étaient indisponibles avant « l'étude sur le revenu journalier et les dépenses des deux sexes au cours d'un an » menée par IMPETUS (Hadjer, 2006). Cette étude détecte des différences significatives dans la répartition de la possession matérielle et monétaire au sein des ménages. De plus, le déroulement de l'étude donne un exemple frappant de l'omniprésence du secret : Pendant l'étude, le revenu et les dépenses des femmes et des hommes ont été enregistrés séparément dans un cahier et par personne. Les enquêtés ont refusé de garder leur cahier à la maison craignant que leurs conjoints puissent le lire.

Comme le montre la Fig. 2, le bilan du revenu indique que les rentrées d'argent des femmes sont plus stables, mais à un niveau plus bas. Les courbes de la consommation individuelle et des dépenses indiquent une progression analogue.

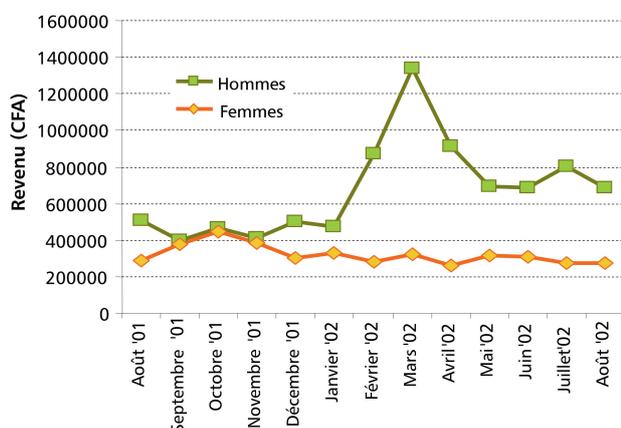


Fig. 2: Revenu/mois (n=16) par le sexe en 2001/2002, Bougou

Stratégies locales de gestion des risques

Là où le revenu est irrégulier et la dépendance à l'égard des facteurs externes comme la pluie (dans le cas d'une agriculture pluviale) très haute, des précautions rigoureuses doivent être prises pendant les périodes de pénurie. La stratégie la plus appropriée est maintenue également au niveau urbain et rural: des réseaux d'information et d'échange fortement différenciés par le genre. Par exemple, un échange actif de dons a lieu toute l'année. En temps de crise, 75 % des dons sont destinés aux parents (n = 839). En somme, les femmes échangent des montants plus élevés de dons dans des intervalles de temps plus courts et avec un taux de réciprocité plus élevé que les hommes. Elles font des économies plus fréquemment et régulièrement que des hommes. Tandis que les hommes possèdent souvent des comptes bancaires, les femmes participent plus fréquemment aux tontines.

Perspectives sur des impacts de la magie

Pour résumer, nous identifions les différences de genre et le degré élevé d'individualité comme des modes de fonctionnement clés de l'action sociale et économique. Le secret au sujet de (et la connaissance sur) l'argent et la prospérité est basé sur des efforts pour éviter la jalousie et l'envie (Hadjer, 2006).

D'ailleurs, l'envie et la jalousie peuvent amener à l'application des pratiques occultes. Ainsi, le secret au sujet de l'argent sert également de protection contre les attaques occultes, qui apparaissent à tous les niveaux du comportement humain. Les ignorer dans la conception des études et des interprétations de résultats conduit à des conclusions erronées (↗ 54 ; en détail : Hadjer, 2006).

Références

- Hadjer, K. (2006): *Geschlecht, Magie und Geld. Sozial eingebettete und okkulte Ökonomien in Benin, Westafrika*. Thèse de doctorat, Université de Cologne.
- IFPRI studies (2001): *Impact of Agricultural Market Reforms on Smallholder Farmers in Benin and Malawi*, Vol 1+2. Hohenheim: IFPRI/GTZ.
- INSAE (2004): *Third general population and habitation census of Benin 2002. Synthesis of results*. Cotonou.
- MAEP (2001): *Etude sur les Conditions de Vie des menages ruraux (ECVR2)*.

Influences des pratiques occultes sur le comportement économique

Kerstin Hadjer

Des politiciens Béninois se rendent au Ghana, où ils recourent à des soutiens occultes pour les prochaines élections. Des passagers investissent leur dernier salaire mensuel dans la fabrication des *gris-gris* afin d'être protégés contre les accidents. Les pratiques magiques ou occultes sont courantes à tous les niveaux de la société. Elles peuvent être exécutées pour contrecarrer la prospérité économique d'un frère ou d'une concubine. Elles peuvent servir à préserver la santé ou la prospérité et à apporter la protection ou la cohésion sociale. Pour résumer, l'occultisme coûte de l'argent.

Un univers puissant et secret

Au Bénin, les pratiques occultes sont omniprésentes. En même temps, la science prête rarement attention à leurs forts impacts sur les activités sociales et économiques. Cependant, à travers tout le pays, nous rencontrons une coexistence complexe et des effets hybrides de synergie entre les religions comme le Vodoun, l'Islam, ou le Christianisme avec les cultes des ancêtres, la croyance aux génies, à la sorcellerie et à d'autres pratiques occultes (↗ 48).

Des investissements financiers dans la protection (p. ex. contre les maladies) aussi bien que des dépenses pour acquérir de la puissance magique se font à tous les niveaux de la société. A l'instar des médecins spécialistes, les devins médiateurs ou les guérisseurs traditionnels sont souvent des spécialistes reconnus qui divulguent la connaissance secrète. En général, le domaine occulte est intercalé par des secrets et donne lieu à beaucoup de pratiques secrètes pour promouvoir la jalousie et la convoitise.

Néanmoins, l'approche de l'observation directe et des entretiens étendus mises en œuvre par IMPETUS au centre du pays ont permis de détecter un éventail de techniques occultes parmi lesquelles on note l'évocation, l'invocation, la transe, les rituels magiques, les cérémonies magiques et les oracles (Fig. 1). La sorcellerie destructive et les sociétés secrètes dangereuses ne constituent qu'une partie de l'univers



Fig. 1: Oracle et invocation de génies pour identifier les problèmes d'un client

occulte. Ceci est concurremment habité par des puissances cohésives (p. ex. des génies, Fig. 2) donnant la guérison ou jettant des sorts, des divinations de sages ou des sacrifices collectifs et cohésifs.

Pratiques occultes comme stratégies de protection

Au centre du Bénin, les pratiques occultes peuvent concerner notamment la protection, la fortune, les dommages, les tourments ou les possessions. Plus le prix est bas, plus il demande des réinvestissements.

Les investissements dans l'occultisme représentent des stratégies courantes de gestion des risques. Par exemple, un assistant de projet n'a pas eu le courage de continuer la construction de sa maison sans protection magique. Il a expliqué ceci par sa crainte de la convoitise, qui pourrait mener vers la magie ou la sorcellerie destructive. Un conducteur de taxi n'ose pas travailler sans une protection magique. Un village évoque collectivement des génies afin d'obtenir la pluie ou la protection. L'occultisme se révèle comme une composante importante des stratégies de survie et de la pratique sociale quotidienne.

Fardeau financier

Les cérémonies et les produits occultes exigent un capital de fonds. Les coûts impliqués peuvent excéder le revenu



Fig. 2: Flacons de parfum : Part d'un lieu de culte et domicile de génies



Fig. 3: Gris-gris de protection (21 €)

annuel moyen d'une vendeuse du marché. Les pratiques occultes peuvent être institutionnalisées, comme le transfert des personnes malades de l'hôpital.

Ils gagnent de l'argent et travaillent de manière à maximiser au mieux leurs profits. En revanche, les prétendues sorcières pratiquent le cannibalisme spirituel en se nourrissant par des sacrifices des âmes humaines.

Les rapports personnels, le degré de professionnalisme et la puissance des voyants ou des guérisseurs jouent un grand rôle dans le niveau des prix. Il est impossible d'indiquer le prix fixe et généralisé d'un produit spécifique : plus le client est riche et puissant, plus le prix de sa protection ou guérison augmente et donc, plus cher est le spécialiste.

Dépenses pour la prospérité et la fortune

Il est difficile de distinguer nettement entre les pratiques occultes qui établissent la protection et ceux qui causent des dommages, puisque la fortune d'une personne peut entraîner des dommages aux autres. D'ailleurs, dans des langues comme Yom, le mot *tiu* est employé aussi bien pour un remède magique que pour un médicament biomédical. Des pratiques rituelles sont, par exemple, l'utilisation de poudre, de savon, ou de boissons. Les prix enregistrés varient de 15 à 457 €. Par exemple, un élève du secondaire a payé 23 € pour une poudre qui devait l'aider à passer ses examens avec succès. Ce montant se rapproche du salaire mensuel d'un maître d'école du primaire.

Un bon nombre de gens porte un genre de *gris-gris* (Yom : *wurun*) sous leurs vêtements, qui correspond aux bijoux magiques (Fig. 3). Ils sont convaincus de ce que ce dernier les protégera eux-mêmes ou leurs fermes, champs, marchandises ou récoltes contre la sorcellerie, les voleurs, ou pratiques occultes.

Possessions, génies et sorcellerie

Les génies (*djin*) peuvent provoquer par exemple la bonne fortune, la convalescence, et la prospérité. Ils habitent souvent les forêts comme le montre la Fig. 4. Selon le prêtre féticheur, les gens viennent ici de divers pays afin d'obtenir des solutions à certains problèmes telle que la stérilité

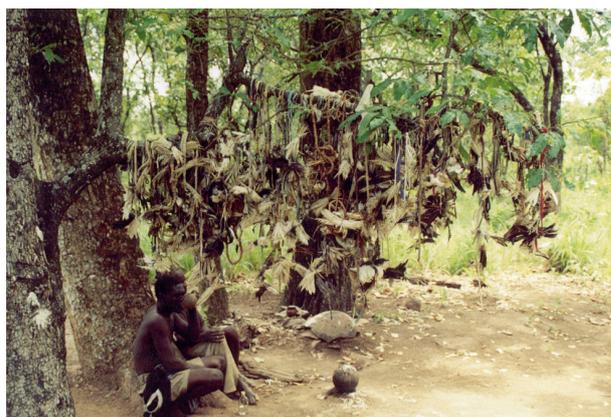


Fig. 4: Lieu de culte (hors du village Wagga)

féminine. Les femmes payent une deuxième contribution financière après un accouchement réussi. Mais, les génies peuvent également être mécontents ou dangereux. Le combat contre la possession par des génies englobe différentes formes de thérapie. Dans la plupart des cas, les traitements durent plusieurs mois. Pour les cas enregistrés, les familles concernées ont payés entre 33 et 280 €, sans compter les frais de voyage.

Par ailleurs, la crainte d'être sous le charme d'une sorcière ou d'un sorcier est souvent accompagnée d'une crainte moins spécifique des dommages à travers des pratiques occultes. En français local, les deux phénomènes sont désignés à tort par la « sorcellerie ».

Des produits vulgaires pour les envoûtements sont, par exemple, les poisons (partiellement mortels). Une devineresse puissante a fixé à 46 € le prix minimum des poisons dangereux. Les sorcières (en Yom: *soowa*) agissent souvent par l'intermédiaire des hiboux, des chiens, des araignées ou des serpents. Des mesures préventives populaires et des agents d'anéantissement sont des poudres ou des *gris-gris*. Elles sont disponibles à toutes les échelles de prix.

Cette brève introduction laisse certainement ouvertes de nombreuses questions sur le fondement et les détails. Cependant, une conclusion importante peut être tirée : les pratiques occultes ont un grand impact sur l'action sociale et économique quotidienne et pèsent assurément sur les budgets financiers de la population Béninoise.

Références

- Hadjer, K. (2006): *Geschlecht, Magie und Geld. Sozial eingebettete und okkulte Ökonomien in Benin, Westafrika*. Thèse de doctorat, Université de Cologne.

Droits de propriété foncière dans la Haute Vallée de l'Ouémé (HVO)

Moritz Heldmann, Kerstin Hadjer et Valens Mulindabigwi

Avant le contact avec les Européens, la propriété foncière privée dans le sens de biens accumulables n'existait pas au Bénin. La terre est plutôt vue comme moyen de survie d'un groupe de personnes comportant les ancêtres, les vivants et les futurs membres pas encore nés, et représente beaucoup plus qu'un facteur de production. Aujourd'hui, les droits de propriété coutumière sont confrontés au concept importé de propriété capitaliste.

Droits de propriété coutumière

La propriété collective au Bénin est basée sur le principe du « premier occupant ». La signification est que la personne qui défriche en premier une portion de terre et qui signe une convention avec les génies locaux peut prétendre être propriétaire d'une terre et l'utiliser avec toute sa famille (Degla, 1998). Ses descendants, comme les chefs de lignée, héritent de la fonction de *chef de terre* et – au moins théoriquement – le pouvoir de contrôler, distribuer et retirer les droits d'utilisation au sein du groupe et au-delà. Aujourd'hui, presque toutes les terres disponibles au Bénin sont réclamées par les descendants d'un « premier occupant » même si cette portion est restée, pendant longtemps en jachère.

Plus la première occupation remonte à loin dans le temps et moins une société locale est stratifiée, et plus il est probable que les droits de propriété effectifs sont dispersés au sein de larges groupes apparentés et éloignés. C'est également le cas dans une partie de la HVO, où certains chefs de terre ont seulement conservé leur rôle spirituel en tant que médiateurs entre les esprits de la terre et la population, mais ont perdu leur contrôle effectif sur la terre.

Le pouvoir de contrôle de la terre peut ainsi être fractionné entre différents acteurs allant d'un rôle symbolique à un réel pouvoir, mais qui ne comprend pas le droit d'aliénation monétaire.

Aujourd'hui, le concept de régime foncier coutumier est confronté au concept importé de propriété capitaliste et fait face à la pression démographique et à une rareté croissante de terres. L'aliénation commerciale de la terre – indépendamment de toutes fonctions sociales ou spirituelles – est l'élément principal de l'idée de la propriété capitaliste et la base pour des crédits, qui sont souvent vus comme l'élément clé du développement rural.

Le pluralisme juridique et institutionnel

La législation nationale en matière du foncier basée sur la loi agraire coloniale n'a pas pris en compte le régime foncier coutumier jusqu'aux récentes réformes de la propriété foncière. La situation actuelle du régime foncier est ainsi caractérisée par l'insécurité foncière et un pluralisme juridique et institutionnel à plusieurs niveaux: D'abord, entre la loi

nationale et les droits coutumiers, et en second lieu, à l'intérieur de ces droits coutumiers qui évoluent constamment dans les conditions décrites ci-dessus. En effet, l'insécurité foncière et juridique peut retarder les investissements durables et compliquer l'accès aux crédits nécessaires pour l'investissement agricole (Neef, 1999).

L'incertitude foncière constitue surtout un problème important au sud du Bénin où les terres sont rares avec une densité de population très élevée. Actuellement, plusieurs réformes visent à améliorer la situation de la propriété foncière au Bénin par l'harmonisation et la documentation sur les systèmes fonciers, et par la délégation de responsabilités. Le code foncier constitue la base juridique pour une harmonisation des droits fonciers coutumiers et modernes. Les nouveaux cadastres ruraux simplifiés (*Plan Foncier Rural*) visent à augmenter la sécurité juridique à travers une documentation de la propriété coutumière et des droits d'usage. L'exécution de ces cadastres est déléguée aux communes décentralisées dans le but de réduire les coûts d'acquisition des titres de propriété.

Titres de propriété dans la région de l'Ouémé supérieur

Les recherches conduites par IMPETUS confirment que l'information sur la propriété foncière n'est guère documentée dans l'Ouémé supérieur. Seulement 5% de la population enquêtée (sauf Parakou) ayant une propriété (n = 541, ↗ 52) détiennent des documents qui témoignent de leurs droits.

La vente et l'achat de la terre sont encore rares. Moins de 2% de la population d'enquête (n = 839) ont déjà vendu des parcelles. Cependant, 5% de la population ayant accès à la terre ont déclaré l'avoir achetée. Le taux d'achat est le plus élevé à Copargo et le plus bas à Tchaourou, où la densité de population est faible et la terre moins rare (Fig. 1).

L'accès à la terre dans la région de l'Ouémé supérieur est encore dominé par les régimes fonciers coutumiers. Les modes d'accès aux droits foncier sont dominés par l'héritage (60%), suivis par 34% qui ont avoué n'avoir que des droits d'utilisation, contre seulement 5% qui ont indiqué avoir acheté la terre.

La matérialisation des propriétés se fait par la plantation d'arbres. Comme la plantation d'arbres est généralement

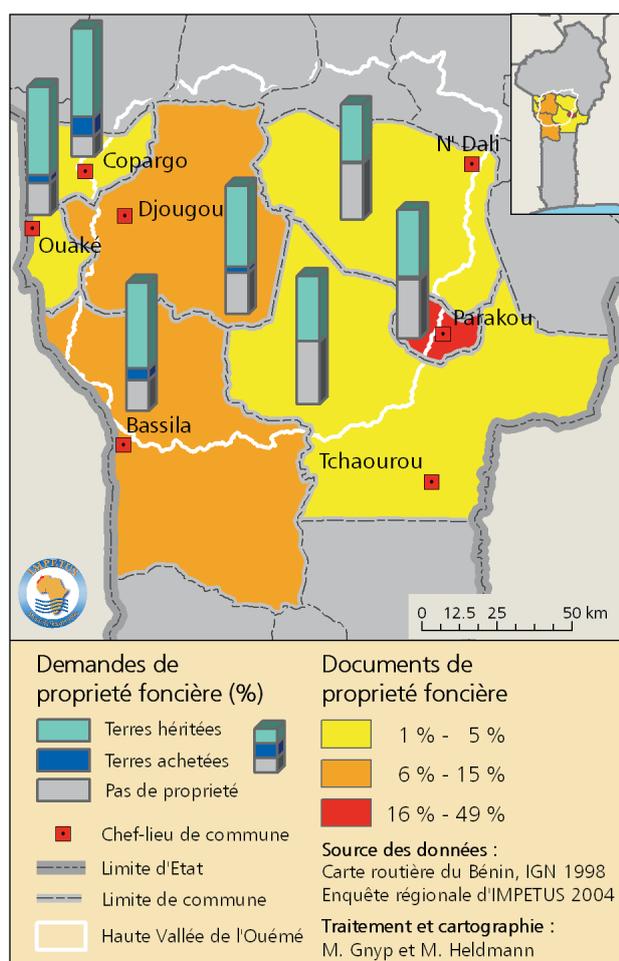


Fig. 1: Demands de propriété et documents de propriété foncière (n=541)

interdite aux non-proprétaires, les arbres sont considérés comme des signes de propriété.

Cependant, seulement 60% des propriétaires (par héritage) de terres ont déclaré avoir des arbres. A Tchaourou, leur taux a monté à 84%, étant donné que les plantations d'anacardier sont une source de revenu importante dans ce secteur. Ici la plantation d'arbres ne peut pas être comprise comme un signe de propriété. On permet parfois même à des non-proprétaires de planter des arbres.

Répartition inégale de la propriété foncière entre femmes et hommes

Il est donc impossible de documenter précisément les droits fonciers existants en raison du pluralisme juridique et

Tableau 1: Répartition de terres héritées entre femmes et hommes

Avez-vous hérité de la terre?	Hommes	Femmes	Total
Oui	50 %	10 %	60 %
Non	20 %	20 %	40 %
Total	70 %	30 %	100 %

Source: Etude régionale d'Impetus, n = 541

Tableau 2 : Superficie de terres héritées entre femmes et hommes (pourcentage dans les colonnes)

Superficie de terres héritées	Hommes (%)	Femmes (%)	Total (%)
moins de 1 ha	3 %	40 %	9 %
1,01 ha – 5,00 ha	28 %	53 %	32 %
5,01 ha – 10,00 ha	26 %	4 %	22 %
10,01 ha – 20,00 ha	21 %	3 %	18 %
> 20 ha	21 %	0 %	18 %
Total	100 %	100 %	100 %

Source: Etude régionale d'Impetus, n = 319

institutionnel et de l'insécurité foncière dans un contexte marqué par un changement continu des réalités foncières. Cependant, une tendance significative peut être dégagée.

Les femmes sont en particulier privées des droits de propriété foncière. Dans le droit coutumier, les femmes ne peuvent généralement pas hériter de la terre, mais doivent emprunter un morceau de terre à leur mari. Selon l'enquête régionale, seulement 10% de la terre héritée reviennent aux femmes (Tableau 1).

La répartition inégale de la propriété foncière entre femmes et hommes est également évidente en ce qui concerne les superficies. Les 10% de la minorité de femmes ayant hérité de la terre n'ont droit qu'à de petites terres de moins de 5 ha et parfois même moins de 1 ha (Tableau 2).

Dans un contexte de modification du droit coutumier et de l'individualisation croissante des droits à la terre, les femmes sont en grande partie privées de la propriété foncière. Au regard de cela, il est évident que les femmes en milieu rural développent des stratégies de survie différentes que les hommes, et sont moins actives dans les travaux champêtres (Hadjer, 2006).

Aujourd'hui, le droit coutumier est encore prédominant dans la région de l'Ouémé supérieur. Mais, la croissance de la population, la pénurie de terres, et l'investissement agricole des élites urbaines contribueront certainement davantage à des changements dans la réalité foncière au Bénin. Ce processus doit être géré par la politique foncière.

Références

- Degla, P. (1998): *Agrarverfassung in Südbenin*. Göttingen: Cuvillier.
- Hadjer, K. (2006): *Geschlecht, Magie und Geld. Sozial eingebettete und okkulte Ökonomien in Benin, Westafrika*. Thèse de doctorat, Université de Cologne.
- Neef, A. (1999): *Auswirkungen von Bodenrechtswandel auf Ressourcennutzung in Benin und Niger*. *Development Economics and Policy*, 12.

Droits d'utilisation des terres : Migrants et éleveurs étrangers

Valens Mulindabigwi, Moritz Heldmann et Kerstin Hadjer

La sécurité foncière dans le contexte du droit à la terre implique un accès et une utilisation de la terre ainsi que le droit des fermiers à jouir de leurs productions. Les résultats issus d'une étude régionale statistiquement représentative (↗ 54) en 2004 avec un échantillon de 839 femmes et hommes montrent, que les immigrés dans le bassin de l'Ouémé supérieur (Haute Vallée de l'Ouémé, HVO) se heurtent aux restrictions leur interdisant d'exercer pleinement certaines activités agro-pastorales. Ceci compromet leur sécurité alimentaire et l'utilisation durable des ressources naturelles.

Restrictions dans le droit d'usage des terres

Dans le bassin de l'Ouémé supérieur, en particulier dans les communes de Bassila et de Tchaourou, les migrants obtiennent encore des parcelles de terre où ils s'installent et s'investissent dans les activités agricoles (Doevenspeck, 2004; Mulindabigwi, 2006).

L'acquisition des terres est cependant accompagnée de restrictions interdisant à l'immigré de mener certaines activités agro-pastorales (Mulindabigwi, 2006). Ces activités peuvent être divisées en trois catégories : (1) utilisation des ressources naturelles, (2) plantation de cultures pérennes et reboisement, (3) élevage.

Exploitation des ressources naturelles

Pour ce qui concerne l'exploitation des ressources naturelles, les colons agricoles et les pasteurs (en particulier les peuls transhumants) n'ont généralement ni le droit de couper le néré (*Parkia biglobosa*) et le karité (*Vitellaria paradoxa*), ni d'exploiter le bois (Tableau 1, Fig. 1). Cependant, le karité représente un arbre important dans le contexte de la sécurité de la subsistance, particulièrement pour les femmes qui produisent et commercialisent le beurre de karité. Selon les résultats, l'exploitation de la forêt est strictement interdite pour les immigrés dans toutes les communes. A Ouaké et Parakou, il n'existe plus de forêts naturelles offrant du bois pour l'exploitation. Pêcher dans les étangs sacrés (marigots) est une autre activité strictement interdite. En général, la pêche dans les étangs ordinaires, l'exploitation des terres avec des points d'eau et l'accès libre aux points d'eau pour la pêche sont moins interdits. Cependant, dans les communes de N'Dali et de Tchaourou, il est assez difficile aux immigrés de mener des activités autour des ressources en eau ou de se les approprier et d'exploiter les basses fonds (Tableau 1, Fig. 1).

Cultures pérennes et reboisement

La prohibition des plantations pérennes concerne les plantations des manguiers d'anacardier ou des agrumes, du teck, etc. L'interdiction de l'agro-sylviculture et des plantations pérennes place les immigrés dans une situation économique et

alimentaire précaire et compromet les efforts de protection et de conservation des ressources naturelles.

Elevage

Prenant en compte l'importance des conflits qui existent entre éleveurs et agriculteurs, l'interdiction de l'élevage du gros bétail pour les immigrés est paradoxalement mentionnée dans seulement 4,6 % des cas. Aussi longtemps que le bétail ne détruit pas les cultures, les éleveurs sont la plupart du temps libres de se déplacer avec leurs animaux sur les terres des autochtones. Pendant que ces terres sont mises en valeur, cette liberté devient cependant théorique. En effet, ni les éleveurs, ni les agriculteurs ne respectent les couloirs de transhumance et les conditions d'utilisation des retenues d'eau, ce qui engendre par conséquent la destruction des cultures et entraîne des conflits entre les deux communautés.

Conclusion

Les restrictions imposées aux immigrés dans l'utilisation des ressources naturelles constituent un facteur important d'exclusion socio-économique en milieu rural au Bénin. Plusieurs facteurs peuvent expliquer l'évolution de l'exclusion : a) l'absence des structures formelles régissant la gestion des droits d'utilisation des ressources, b) l'incertitude quant à la capacité d'adaptation des immigrés à se conformer immédiatement aux règles parfois compliquées régissant l'utilisation des ressources au sein des communautés autochtones, et c) les atouts qu'ont les autochtones à la conservation de leurs intérêts dans le patrimoine naturel commun (par exemple plantation des arbres, préservation des étangs).

Cependant, deux autres facteurs allègent l'impact négatif de l'exclusion sur les immigrés : a) l'exclusion ne dure pas pour toujours ; elle est allégée après un certain temps, selon le degré d'intégration des immigrés dans les communautés locales et l'internalisation de leurs règles, et b) l'apparition d'institutions formelles et de marchés pour l'exploitation des ressources (par exemple des titres fonciers et la monétisation des transactions des terres) fournissent la certitude accrue aux propriétaires autochtones que les immigrés peuvent être forcés de respecter les règles.

Tableau 1: Activités interdites aux colons agricoles et aux agro-éleveurs (cas en %)

Commune	Bassila	Copargo	Djougou	N'Dali	Ouaké	Parakou	Tchaourou	HVO
Cueillette de noix karité	64,0	47,6	61,4	78,0	70,9	63,1	71,2	65,3
Cueillette de néré	21,8	8,7	11,6	63,6	11,7	51,2	67,2	32,8
Exploitation forestière	60,9	76,8	68,8	87,0	42,3	54,7	82,7	68,1
Agro-sylviculture	67,3	98,2	89,3	92,5	58,7	83,3	72,5	80,7
Plantation d'anacardiens	64,3	30,2	42,1	85,2	67,9	83,5	67,6	62,2
Plantation de manguiers	60,0	31,3	40,9	85,2	67,9	83,7	67,0	61,5
Plantation de teck	70,5	39,3	54,1	86,0	75,0	87,8	68,5	67,9
Elevage de bovins	6,1	—	4,5	0,9	13,0	3,5	3,7	4,6
Pêche dans les mares sacrées	78,2	96,6	92,0	96,3	73,7	90,7	94,0	89,3
Pêche dans les mares ordinaires	22,7	3,4	4,4	45,5	21,1	12,1	68,7	24,8
Utilisation des bas-fonds	30,6	7,9	13,9	75,2	31,5	30,2	49,0	33,9
Terres avec ressources en eau	18,0	—	9,8	84,2	8,8	19,5	48,5	31,1

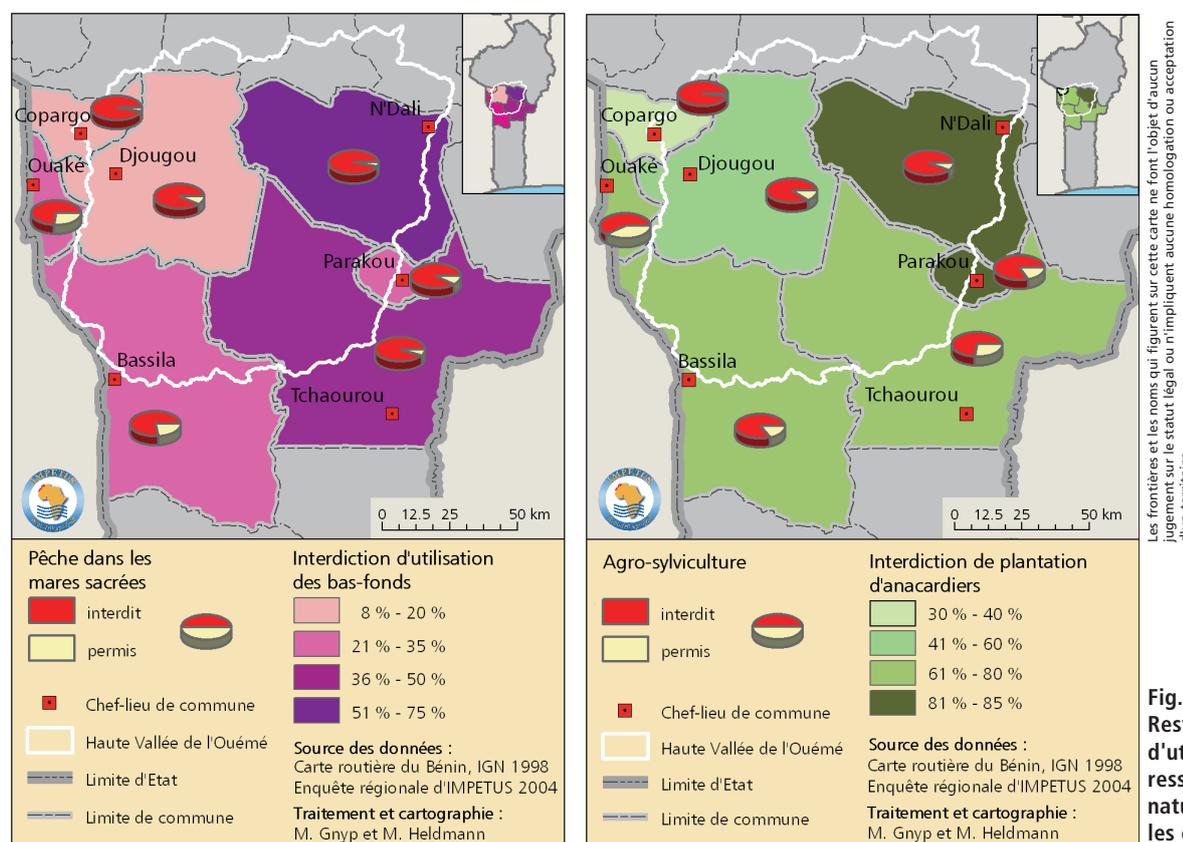
Source : Enquête Régionale d'IMPETUS, 2004 (n = 839) ; HVO = Haute Vallée de l'Ouémé

Bien que certaines interdictions (exploitation de bois, pêche dans les étangs, emprunt de terre avec des points d'eau, accès libre aux points d'eau de pêche) soient motivés par des intérêts socioculturels et économiques plutôt que par des considérations environnementales, elles constituent un cadre important pour protéger la biodiversité et les investissements dans les ressources naturelles. Cependant, elles augmentent l'incertitude des droits d'utilisation pour les immigrants et ainsi, freinent leur intérêt d'investissement et de conservation des ressources naturelles. Sous leur forme traditionnelle, ces interdictions sont susceptibles de nourrir des conflits au sein des lignées ethniques quand la pression démographique sur les terres amplifiée par l'immigration va s'accroître

dans les prochaines décennies. Une mise en œuvre équitable et durable d'une loi foncière au Bénin, particulièrement par les communes, pourrait contribuer à assurer la sécurité de la subsistance et la protection des ressources naturelles.

Références

- Doevenspeck, M. (2005): Migration im ländlichen Benin: sozialgeographische Untersuchungen an einer afrikanischen Frontier. Studien zur Geographischen Entwicklungsforschung, 30.
- Mulindabigwi, V. (2006): Influence des systèmes agraires sur l'utilisation des terroirs, la séquestration du carbone et la sécurité alimentaire dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur au Bénin. Göttingen: Cuvillier.



Modes de conduite de l'élevage et utilisation des ressources au Bénin

Ina Gruber

L'élevage au Bénin est caractérisé par l'utilisation de méthodes de production extensives et les objectifs assignés à cette activité sont multiples. Le mode de conduite extensif est répandu surtout parce que les éleveurs ont un libre accès aux ressources naturelles. En raison du fort taux de croissance démographique, ces ressources deviennent rares, mettant le mode actuel de conduite de l'élevage sous pression.

Méthodologie

En 2005, deux enquêtes formelles ont été conduites pour montrer les trajectoires de développement du secteur de l'élevage dans le futur. Pour la première étude, 34 experts locaux ont été consultés. Pour la deuxième étude, 75 éleveurs ont été interviewés dans trois différentes régions (Gogounou, Tchaourou, Ouidah). Une partie des résultats de ces enquêtes, concernant les problèmes, les défis et les tendances futures du secteur de l'élevage, est présentée ici.

Modes de conduite de l'élevage : situation actuelle

Au sein du système de production agricole, l'élevage apparaît comme un sous-système indépendant, ayant des interactions peu probantes avec la production végétale. La production est extensive, avec peu de main d'œuvre et de capital. L'adoption du mode de production extensif dépend intimement du degré d'accès aux ressources naturelles (eau, savane et forêt). La migration saisonnière des ruminants suivant la disponibilité de l'eau et des pâturages sur les terres non-cultivées s'appelle la transhumance. En général, la productivité (mesurée en termes de production de viande par animal) est faible et, dans certains cas, elle est même plus faible que la moyenne de l'Afrique sub-saharienne. L'élevage est pratiqué pour plusieurs raisons : autoconsommation, source de revenus monétaires, traction animale, fumier, épargne, et utilisation à l'occasion des festivités et des cérémonies religieuses.

La production a lieu principalement dans le Nord où les pâturages sont encore largement disponibles alors que la consommation est concentrée dans les centres urbains du Sud. Pour approvisionner les marchés en viande, on transporte du Nord vers le Sud les animaux vivants parce que l'usage des conteneurs réfrigérés demeure très coûteux.

Défis pour les éleveurs

Actuellement, l'élevage est confronté à plusieurs défis et problèmes (Tableau 1). La plupart de ces problèmes trouvent leurs racines dans le fait que les éleveurs/pastoralistes jouissent rarement de droits de propriété sur la terre et par conséquent leur accès aux ressources naturelles est de moins en moins sécurisé. Par ailleurs, les problèmes liés à l'état des infrastructures (par exemple les routes, l'aménagement des

places de marchés) au degré d'organisation au sein des éleveurs sont importants.

Ces problèmes sont aggravés par des facteurs externes. Le changement climatique et l'extension des superficies emblavées, ayant comme corollaire une réduction de la part des terres en jachère, sont susceptibles de réduire la disponibilité en pâturages. En outre, lorsque le revenu s'accroît, on assiste nécessairement à une augmentation de la demande des produits à base de viande et de lait.

Trajectoires de développement probables

La réaction la plus répandue face à une demande croissante de produits à base de viande ou de lait est d'augmenter la taille des troupeaux. Cette pratique n'est pas durable dans un contexte où les pâturages se raréfient continuellement, mettant en danger la ressource principale sur laquelle reposent les méthodes de production extensives. Néanmoins, la Fig. 1 indique que la majorité des experts interviewés supposent toujours que les taux de croissance de la taille des troupeaux resteront égaux voire supérieurs au taux de croissance démographique dans le futur.

Tableau 1: Difficultés liées à l'élevage selon les éleveurs et les experts

	Éleveurs en % (n=169)	Experts en % (n=129)
Accès au fourrage	33,9	25,6
Prévalence des maladies	24,0	14,7
Accès à l'eau	19,3	10,9
Conflits autour des ressources	7,0	1,6
Vols des animaux	5,3	—
Marketing des produits	—	10,9
Production extensive	—	8,5
Consultation manquante / recherche	—	7,8
Connaissance absente de gardes animaux	—	6,2
D'autres aspects	10,5	13,8

Source: adapté de Gruber et al. (2009)

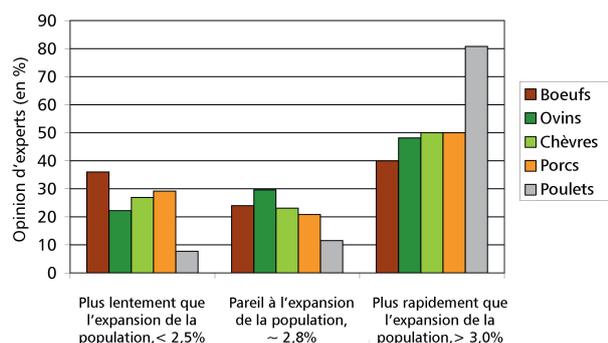


Fig. 1: Projections des taux de croissance des troupeaux d'ici à 2025

Pour les poulets, en particulier, la position affichée par les enquêtés est sans équivoque. La majorité des experts estiment que le troupeau de volailles va croître plus rapidement que la population totale. Cette augmentation disproportionnée est également prévue par la moitié des experts pour les troupeaux de porcs et de petits ruminants. Pour les bovins, les projections sont plus incertaines parce que les méthodes de production devraient changer.

D'autres réactions possibles, face à la dégradation de l'environnement en cours, pourraient être une réduction de la taille des troupeaux, l'extension de la production sur les terres marginales où les ressources sont encore disponibles, une modification dans la composition des espèces animales élevées, l'intensification de la production, ou une amélioration de la coopération entre les éleveurs et les agriculteurs.

En particulier, la ressource principale sur laquelle repose la transhumance risque de disparaître si les terres non-cultivées deviennent rares du fait de l'expansion de la production végétale. Sur la Fig. 2, les points de vue des experts en ce qui concerne le développement (de la grande) transhumance sont présentés.

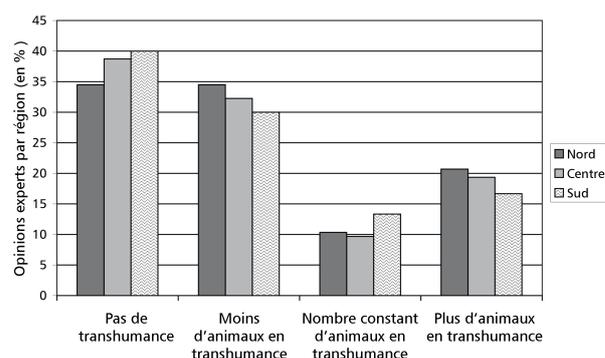


Fig. 2: Evolution de la transhumance d'ici à 2025

Selon les experts, l'effectif des troupeaux en transhumance va certainement être réduit dans le futur. Très probablement on assistera à l'émergence de stratégies de production qui prennent en compte les effets combinés de l'accroissement de la demande des produits animaux et la faible disponibilité des ressources naturelles.

Références

- Enquête d'expert (2005): Etude de terrain non publiée de l'auteur.
 Gruber, I., Kloos, J. et Schopp, M. (2009): Seasonal water demand in Benin's agriculture. *Journal of Environmental management*. 90(1), 196–205.

Niveau et formation du prix de la terre agricole au Bénin

Arnim Kuhn, Mousseratou Saliou et Ina Gruber

Les prix de la terre agricole varient selon les régions et ils influencent de manière significative le rythme de conversion des forêts et des savanes en espaces cultivés. Lorsque les terres sont abondantes, les espaces cultivés s'accroissent régulièrement en fonction du rythme d'accroissement de la population rurale qui cherche, avant tout, à augmenter les surfaces consacrées aux denrées de base. Avec l'augmentation de la densité de la population, la terre devient rare, son prix augmente et ceci limite l'extension des espaces cultivés.

Introduction

La terre et la main d'œuvre sont encore les deux facteurs de production les plus importants dans le secteur agricole au Bénin. Alors que le prix de la main d'œuvre agricole peut être exprimé plus aisément en se basant sur le salaire quotidien payé aux ouvriers agricoles, les coûts d'exploitation des terres (coûts d'opportunité des terres) sont déterminés en prenant en compte les coûts monétaires et non-monétaires liés à l'acquisition des terres. Plus les prix de ces deux facteurs de production essentiels augmentent, du fait de la croissance démographique et du développement économique, plus ils seront remplacés par de nouvelles technologies (variétés améliorées, utilisation des engrais minéraux) et des investissements en capital (machines) dans le secteur agricole. Si ces adaptations sont mises en oeuvre l'épuisement des terres agricoles peut être ralenti. Dans une région où la rente foncière s'accroît, l'extension des espaces cultivés sera probablement limitée dans le futur.

Collecte des données

Pour collecter les données sur les coûts d'acquisition des terres à l'échelle de la commune, au Bénin, une enquête téléphonique a été conduite auprès des experts, choisis surtout au sein du personnel des structures décentralisées du Ministère de l'Agriculture (CeRPA), chargées de l'appui-conseil aux paysans et du suivi du secteur agricole. Les coûts d'acquisition des terres leur ont été demandés, pour le régime foncier traditionnel, selon le type de terres : terres situées en milieu rural et en milieu péri-urbain (autour des villes).

Les données ont été collectées sur les prix de vente et les prix de location des terres. Une relation moyenne peut être déduite entre ces deux prix, et on peut l'utiliser pour exprimer

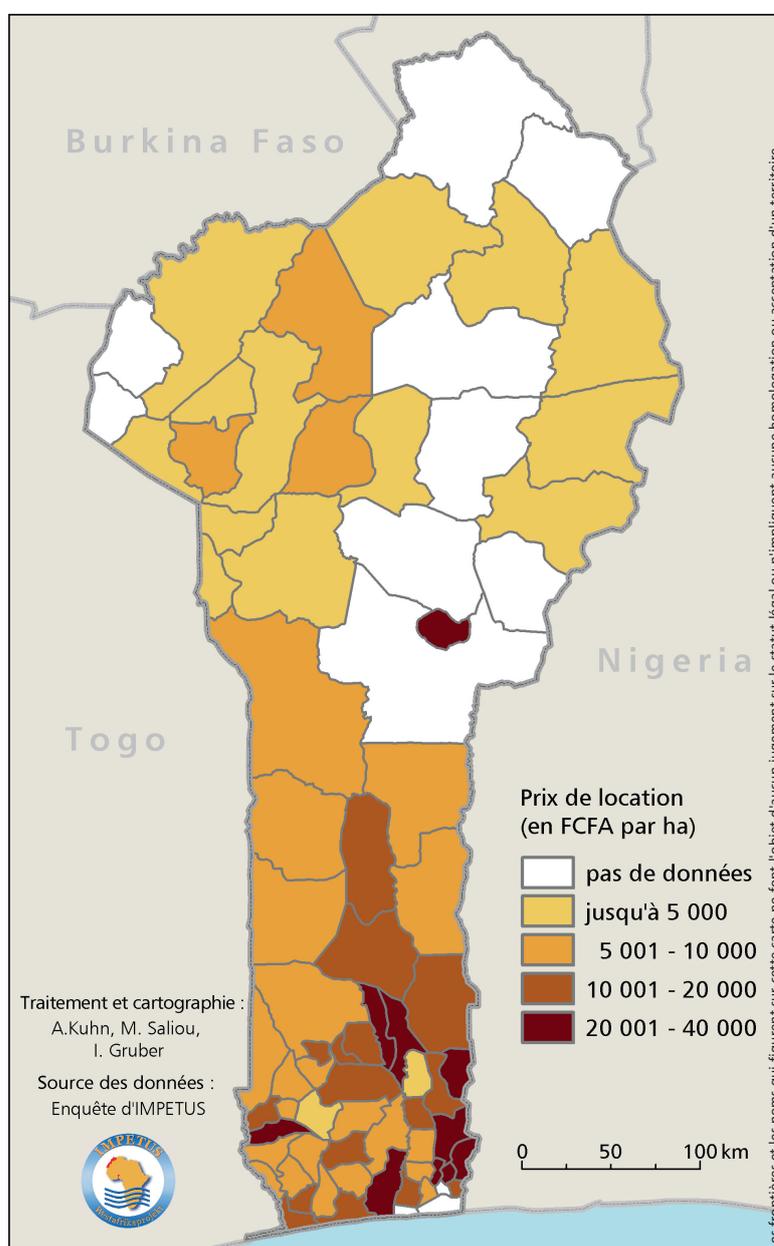


Fig. 1: Prix de location de la terre agricole selon les régions au Bénin (Enquête auprès des experts, 2007)

le taux d'actualisation ou le taux d'intérêt à long terme pratiqué par ceux qui ont été impliqués dans les transactions foncières. Si un expert ne connaît pas le prix de location de la terre dans une commune, on estime ce prix en multipliant le prix de vente déclaré par le taux d'actualisation moyen.

Les données collectées montrent que les prix de location de la terre varient entre 3 000 FCFA (commune de Ouinhi) à 40 000 FCFA (commune d'Abomey-Calavi) par ha. La carte indique clairement un accroissement du prix de location de la terre au fur et à mesure qu'on s'éloigne du Nord du pays, ce qui montre que le prix s'accroît avec l'augmentation de la densité de la population qui induit une raréfaction des ressources en terres.

Les prix n'ont pas pu être collectés dans certaines localités du Nord parce que les échanges de terres y sont peu pratiqués.

Approche analytique

Le prix de location de la terre est un indicateur de la rareté des terres agricoles. Sa formation est déterminée par les facteurs tels que le niveau potentiel des rendements des cultures, le coût de conversion des forêts et des savanes en espaces cultivés, la densité de la population et le taux de croissance démographique au niveau local, le degré d'enclavement de la localité. Les méthodes statistiques ont été appliquées pour analyser la variation des prix de la terre et identifier les facteurs qui les déterminent au Bénin, sur la base des données collectées à l'échelle de la commune. Les résultats peuvent être utilisés pour produire des projections sur les prix régionaux des terres.

Résultats

Le Tableau 1 montre la matrice de corrélation entre les variables suivantes : prix de location des terres, densité de la population, indice de marginalité des terres, part des terres cultivées dans la superficie totale de la commune qu'on peut encore appeler intensité d'utilisation de la terre (on considère que les trois derniers facteurs déterminent les prix de location des terres). Il est à noter que les variables explicatives du prix de la terre sont également corrélées entre elles ; ce qui est à prendre aussi en compte. Il convient aussi de noter qu'une densité élevée de la population réduit la disponibilité en terres cultivables, étant donné qu'on a besoin d'es-

Tableau 1: Matrice de corrélation

	Prix de location des terres	Densité de la population	Indice de marginalité des terres
Densité de la population	0,524**		
Indice de marginalité	-0,448**	-0,405**	
Part des terres cultivées dans la superficie totale	0,517**	0,625**	-0,414**

** Corrélation significative au seuil de 1 %

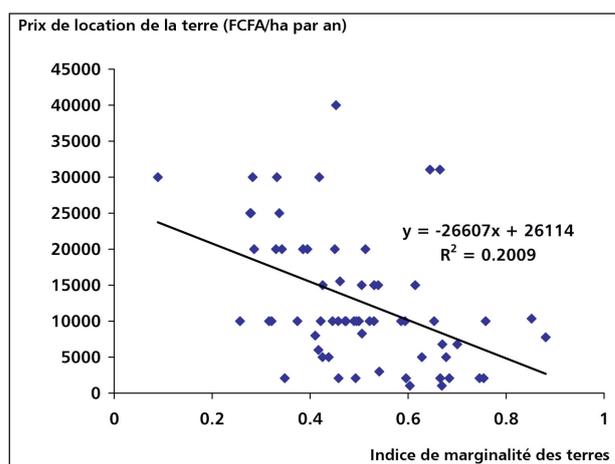


Fig. 2: Indice de marginalité et prix des terres

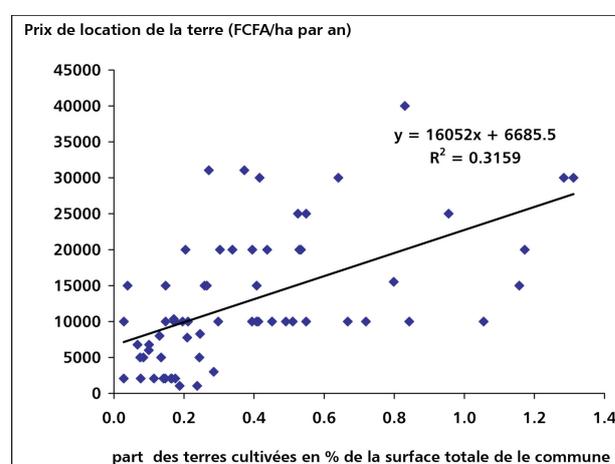


Fig. 3: Intensité d'utilisation et prix de location des terres

paces pour la construction des habitations ou des routes.

Sur les deux nuages de points, on montre avec un peu plus de détails la relation entre le prix de location des terres, l'indice de marginalité des terres (voir aussi Röhrig et Menz, 2005) et l'intensité d'utilisation de la terre. Un indice de marginalité des terres élevé signifie que les terres sont en moyenne de mauvaise qualité dans la commune, ce qui réduit le prix de la terre (Fig. 2). Cependant, la relation n'est pas très étroite ; dans les localités densément peuplées, la relation entre la qualité et le prix de la terre est moins pertinente, étant entendu que les opportunités d'affectation de la terre à d'autres usages se multiplient.

En conclusion, les données confirment que le prix de la terre augmente avec la part des terres agricoles dans la superficie totale disponible, ce qui reflète l'effet de la pénurie des terres (Fig. 3). Cependant, dans les localités densément peuplées, les facteurs liés à l'utilisation agricole de la terre perdent de leur importance.

Références

Röhrig, J. et Menz, G. (2005): The determination of natural agricultural potential in Western Africa using the fuzzy logic based marginality index. EARSel eProceedings, 4 (1), 9–17.

Abréviations

A1B	Scénario de changement climatique sur la base de RSSE, défini par le GIEC	FOOT3DK	Flow Over Orographically structured Terrain - 3 Dimensional Köln (Modèle à trois dimensions non-hydrostatique sur la méso-échelle)
ACMAD	African Centre of Meteorological Application for Development (Le Centre Africain pour les Applications de la Météorologie au Développement)	GCM	General Circulation Model (Modèle Général de Circulation)
AGRHYMET	Centre Regional de Formation et d'Application en Agrométéorologie et Hydrologie Opérationnelle	GHCN	Global Historical Climatology Network (Réseau Historique et Global de Climatologie)
AMMA	Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine	GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
ANB	African News Bulletin (Bulletin Africain de Nouvelles)	GIMMS	Global Inventory Monitoring and Modelling Studies (Etudes du suivi de l'inventaire et de la modélisation globale)
B1	Scénario de changement climatique sur la base du RSSE, défini par le GIEC	GLCC	Global Land Cover Change (Caractérisation de la couverture terrestre mondiale)
CATCH	Couplage de l'Atmosphère Tropicale et du Cycle Hydrologique	GPS	Système de Positionnement Global
CEFIGRE	Centre de Formation Internationale pour la Gestion et de la Recherche en Eau	GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Agence de coopération technique allemande pour le développement)
CeRPA	Centre Régional pour la Promotion de l'Agriculture	HELVETAS	Association suisse pour la coopération internationale
CFA	Communauté Financière Africaine	HVO	Haute Vallée du Ouémé
CILSS	Comité Permanent Inter Etats de lutte contre la Sécheresse dans le Sahel	IFPRI	International Food Policy Research Institute (Institut international de recherche sur les politiques alimentaires)
CLINO	Normales climatologiques	IMMIH	Institute of Medical Microbiology, Immunology and Hygiene (Cologne) (Institut de Microbiologie Médicale, d'Immunologie et d'Hygiène)
CLUE-S	Conversion of Land Use and its Effects at Small regional extend (Changement d'utilisation de la terre et ses effets à l'échelle local)	IMPETUS	Integratives Management-Projekt für einen effizienten und tragfähigen Umgang mit Süßwasser in Westafrika
COTEB	Complexe Textile du Bénin		Approche Intégrée pour la Gestion Efficente des Ressources Hydriques Limitées en Afrique de l'Ouest
CPCS	Commission de Pédologie et Cartographie des Sols	INSAE	L'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
DGEau	Direction Générale de l'Eau	InWEnt	Internationale Weiterbildung und Entwicklung gGmbH (Renforcement des Capacités et Développement International, Allemagne)
DH	Direction de l'Hydrolique	IRD	Institut de Recherche pour le Développement
DMN	Direction Météorologique Nationale	LCC	Land Cover Change (Dynamique de l'occupation du sol)
ECHAM	European Centre Hamburg Model (Modèle général de circulation atmosphérique)	LM	Lokal-Modell (Modèle Local)
ECHAM5	5ème génération de l'ECHAM	LMM	Liverpool Malaria Model (Modèle de Malaria Liverpool)
EIU	The Economist Intelligence Unit (Entreprise de recherche et de consultation qui appartient à la maison d'édition «The Economist»)		
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)		
FCFA	Franc de la Communauté Financière Africaine		
FIT	Frontière Intertropicale		

LUCC	Land Use and Cover Change (la dynamique de l'occupation et de l'utilisation du sol)	UNICEF	United Nations International Children's Emergency Fund (Fonds des Nations unies pour l'enfance)
MAEP	Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche	USGS	U.S. Geological Survey (Institut de surveillance géologique des Etats-Unis)
MNT	Modèle Numérique de Terrain	USLE	L'équation universelle des pertes en terre
MODIS	Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (Spectromètre imageur à résolution moyenne)	UTC	Temps universel coordonné
NDVI	Normalised Difference Vegetation Index (Indice de Végétation par Différence Normalisée)	WHO	World Health Organization (Organisation mondiale de la santé)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Administration Nationale de l'Océan et de l'Atmosphère)	WMO	World Meteorological Organization (Organisation météorologique mondiale)
ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer	ZCIT	Zone de convergence intertropical
PIB	Produit Intérieur Brut		
PNUD	Programme des Nations Unies pour le développement		
ProCGRN	Programme de Conservation et de Gestion des Ressources Naturelles		
REMO	Regional Climate Model (Modèle Régional de Climat)		
RSSE	Rapport spécial sur les scénarios d'émissions		
RUE	Rain Use Efficiency (Efficacité de l'utilisation des pluies)		
SBEE	Société Béninoise d'Electricité et d'Eau		
SCS	Service de Conservation des Sols		
SHAB	Service de l'Hygiène et Assainissement de Base		
SI	Système d'Information		
SIG	Système d'Information Géographique		
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission (Mission spatiale pour l'établissement de modèle d'élévation numérique utilisant l'interférométrie radar)		
SSPD	Système Spatiale de Support à la Prise de Décision		
SWAT	Soil Water Assessment Tool (Outil d'évaluation du sol et de l'eau)		
TDR-probes	Sondes TDR, les sondes fonctionnant en réflectométrie dans le domaine temporel		
UAV	Ultra light Air Vehicle (Aéronef ultraléger)		
UNDP	United Nations Development Program (Programme des Nations Unies pour le développement, PNUD)		

