

Cotonou du 4 au 6 octobre 2004



**bmb+f**

# Conference Proceedings

## Actes de la Conférence

La gestion intégrée des ressources hydriques  
des bassins versants tropicaux

Integrated Water Resource Management  
of Tropical River Basins



CONFERENCE INTERNATIONALE A COTONOU  
DU 4. AU 6. OCTOBRE 2004 A INFOSEC

La gestion intégrée des ressources hydriques des  
bassins versants tropicaux

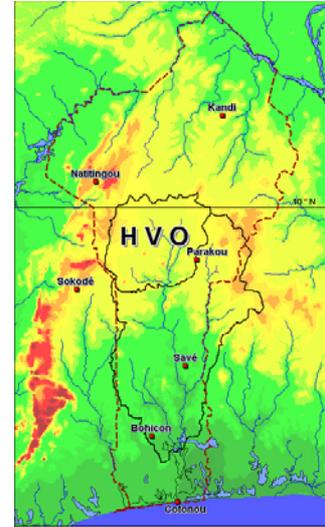
*Integrated Water Resource Management of  
Tropical River Basins*

Sommaire / *Contents*

Contexte / <i>Context</i> .....	2
Programme / <i>Program</i> .....	3
Résumés des présentations / <i>Abstracts of Presentations</i> .....	12
Résumés des posters / <i>Abstract of Posters</i> .....	43
Liste des auteurs / <i>List of authors</i> .....	58

## Contexte

La disponibilité en eau à moyen et long terme n'est pas seulement remise en question en raison de la croissance continue de la population mondiale et de l'utilisation excessive des ressources hydriques dans certaines régions mais elle est aussi de plus en plus influencée par le changement global de l'environnement. Comme ces modifications altèrent les conditions de vie actuelles et futures des populations, il s'avère de plus en plus nécessaire d'orienter la recherche actuelle vers des applications plus adaptées afin de fournir des réponses aux questions soulevées par les parties prenantes et les décideurs. Le Ministère fédéral allemand de l'Education et de la Recherche a grandement contribué à cet effort en lançant le programme GLOWA (Modification globale du cycle hydrologique / [www.glowa.org](http://www.glowa.org)).



Le sigle IMPETUS signifie «Approche Intégrée pour la Gestion Efficace des Ressources Hydriques Limitées en Afrique de l'Ouest». Ce programme de recherche constitue l'un des cinq grands programmes communs qui ont été entrepris dans le cadre de GLOWA. En collaboration avec des institutions nationales (DGH, DMN, UAC, INRAB, CENATEL, etc.) et internationales (IRD/CATCH, GTZ, etc.), IMPETUS effectue des études portant sur tous les aspects du cycle hydrologique dans deux bassins versants: l'oued Drâa au sud-est du Maroc et l'Ouémé au Bénin, notamment la Haute Vallée de l'Ouémé (HVO).



L'objectif d'IMPETUS au Bénin est de mettre au point des outils de simulation et des instruments qui permettront de développer et de mettre en œuvre des stratégies pour une gestion des ressources en eau dans la Haute Vallée de l'Ouémé qui soit durable et tournée vers l'avenir. Afin de pouvoir aborder de manière efficace le cycle hydrologique et ses impacts, IMPETUS propose une approche interdisciplinaire, qui se traduit par une étroite coopération entre les sciences sociales et les sciences naturelles, tout en prenant également en compte les aspects médicaux.

Après une première phase de trois ans focalisée sur l'identification et l'analyse des facteurs d'influence en considérant différents aspects du régime hydrique, les recherches menées dans le cadre de la seconde phase de trois ans actuellement en cours portent sur la mise au point de méthodes permettant de prévoir les changements futurs.

## Objectifs principaux de la conférence

La conférence, qui rassemblera les scientifiques et les parties prenantes intéressés par la gestion des bassins versants, se veut un lieu d'échange d'expériences, d'idées et d'informations. Les résultats du programme de recherche IMPETUS y seront exposés en détail. La définition des futurs besoins pour la gestion interdisciplinaire des bassins versants tropicaux sera au cœur des préoccupations.



Lundi, 04 octobre 2004

Monday 4th October 2004

**Thème 1 : Analyse des processus**

**Theme 1 : Process analysis**

Heure / time	Thème / topic	Nom / name	Institution
13.30-14.30	Discours de bienvenue / welcome addresses  Discours d'ouverture Photo de famille	M. Ahokossi, Directeur Général de l'Hydraulique P. Wienand, Ambassadeur de l'Allemagne M. Rieland, Représentant BMBF K. Fassassi, Ministre du MMEH	
14.30-14.50	Présentation de GLOWA et d'IMPETUS / Presentation of GLOWA and IMPETUS	P. Speth	IMPETUS, UC
14.50-15.10	Climate change impacts, adaptations and vulnerabilities of regions – methodological framework for the IMPETUS project	G. Menz	IMPETUS, UB
15.10-15.30	Recherches sur le terrain dans le cadre d'IMPETUS au Bénin / IMPETUS field research in Benin	M. Janssens	IMPETUS, UB
15.30-16.00	pause café / coffee break		
Président/Chair : A. Afouda et M. Christoph			
16.00-16.20	Mousson africaine et interaction avec la convection. étude de cas et orientations futures dans le cadre de AMMA	<u>F. Didé</u> * C. Babadjihou** E. Ahouangan***	* DMN Bénin ** UAC *** CMP
16.20-16.40	Détection des facteurs significatifs du changement climatique en Afrique tropicale et construction d'un scénario réaliste par une approche interdisciplinaire	H. Paeth	IMPETUS, UB
16.40-17.00	Caractérisation de la distribution spatio-temporelle des pluies sur le haut bassin de l'Ouémé	E. A. Lawin* ** A. Afouda* T. Lebel**	* UAC **LTHE/IRD, Grenoble
17.00-17.20	The types of rainfall in Benin and their relation to rainfall variability	<u>A. Fink</u> *, E. D. Ahlonsou**, M. Christoph*, P. Speth*	* IMPETUS, UC ** DMN Bénin
17.20-17.40	Dynamique de la mousson ouest africaine, régime hydrologique et gestion de l'eau dans la Haute Vallée de l'Ouémé	H. S. V. Totin M. Boko E. Ogouwale	UAC
17.40-18.00	Impact de la distribution des pluies sur les ressources en eaux du Haut Bassin de l'Ouémé (Bénin)	M. le Lay* S. Galle** <u>C. Peugeot</u> *** L. Séguis***	* LTHE/IRD, Grenoble ** LTHE/IRD, Cotonou *** IRD/HSM, Cotonou
18.30	Inauguration de nouveau bâtiment commun de la DGH, IRD et IMPETUS dédié à la recherche pour la gestion intégrée de ressources en eau		

Mardi 05 octobre 2004, matin

Tuesday 5<sup>th</sup> October 2004, morning

**Thème 2 : Mise au point et analyse de scénarios pour la gestion des bassins versants**

***Theme 2 : Scenario development and scenario analysis for river basin management***

Heure / time	Thème / topic	Nom / name	Institution
Président/Chair : E. Agbossou et S. Galle			
09.00-09.20	Etude du régime des basses eaux du fleuve Ouémé dans son bassin supérieur	O. F. Lanhoussi	SH/DGH, Cotonou
09.20-09.40	Les besoins en eau et le renouvellement de la nappe phréatique dans la cuvette du fleuve Ouham, République Centrafricaine	<u>A. Borgstedt</u> P. Udluft	UW
09.40-10.00	Water use efficiency and maize productivity in the Upper Ouémé Valley" in central Benin	<u>G. Dagbenonbakin</u> * H. Goldbach** J. Burkhardt**	* IMPETUS, INRAB ** IMPETUS, UB
10.00-10.20	Contribution agronomique à la validation des scénarios hydrologiques du bassin de l'Ouémé	<u>M. Janssens</u> Z. Deng V. Mulindabigwi	IMPETUS, UB
10.20-10.40	Impact of grazing and logging on the vegetation in the Upper Ouémé catchment: developing a modelling approach for management strategies based on local data	B. Orthmann* J. Wotto** B. Sinsin** S. Porembski*	* IMPETUS, UR ** UAC
10.40-11.10	pause café / coffee break		
11.10-11.30	Modelling land use and land cover in the Ouémé catchment	<u>H. P. Thamm</u> , M. Judex, J. Borgwardt, V. Orékan, G. Menz	IMPETUS, UB
11.30-11.50	Integrated scenarios for strategic planning of water resources in river basins - experiences from tropical and subtropical regions	<u>T. Gaiser</u> * V. Dukhovny**	* RIVERTWIN, UH ** ICWC
11.50-12.10	Integrated, GIS based modeling in WAVES and RIVERTWIN	A. Printz	TU, Munich
12.10-12.30	Assessing the effects of land use change on the hydrological processes in the upper Ouémé catchment . Field investigations and model application	<u>S. Giertz</u> B. Diekkrüger	IMPETUS, UB
12.30-12.50	Model for the groundwater flow in the aquifers of the "Continental Terminal" and the littoral Quaternary of the coastal sedimentary basin of Benin (West Africa)	M. Boukari* O. Moussa** F. Azonsi** P. Viaene***	* UAC ** DGH *** Danish Water Environment
12.50-14.30	déjeuner / lunch		

Mardi 05 octobre 2004, après-midi

Tuesday 5<sup>th</sup> October 2004, afternoon

**Thème 3 : Questions liées à la gestion**

**Theme 3 : Management aspects**

Heure / time	Thème / topic	Nom / name	Institution
Président/Chair : N. Bako-Arifari et R. M'barek			
14.30-14.50	Scénarios de l'utilisation des terres agricoles au Bénin en tenant compte d'un environnement socio-économique et climatique changeant	R. M'barek* T. Jansson* J. Adanguidi** T. Heckelei*	* IMPETUS, UB ** IMPETUS, UAC
14.50-15.10	Impact du changement climatique sur la productivité agricole au Bénin	J. Adanguidi	IMPETUS, UAC
15.10-15.30	Présentation d'un outil de Gestion intégrée des ressources en Eau: "La base de données intégrée (BDI)" de la Direction Générale de l'Hydraulique	A. A. Y. Tossa	DGH
15.30-15.50	L'approvisionnement en eau au Bénin en tenant compte des structures socioéconomiques et sociodémographiques	M. Schopp	IMPETUS, UB
15.50-16.20	Bacterial and viral pollution of water sources in the Upper Ouémé Basin, analysis of bio-hazards and steps towards infection control	R. Baginski A. Uesbeck J. Verheyen F. Mazou	IMPETUS, UC
16.20-16.50	pause café / coffee break		
16.50-17.10	Le défi de l'approvisionnement en eau face à l'évolution de la population	E. Gomez* B. Nouatin* M. Doevenspeck**	*INSAE, Cotonou ** IMPETUS, UB
17.10-17.30	Gender et budget: regards anthropologiques sur l'assurance de l'existence dans la région Haut Ouémé	K. Hadjer	IMPETUS, UC
17.30-17.50	La négociation quotidienne du droit sur l'eau et le foncier dans le bassin supérieur du fleuve Ouémé.	N. Bako-Arifari	IMPETUS, UAC
17.50	Présentation de posters / poster session		

Mercredi 06 octobre 2004, matin

Wednesday 6<sup>th</sup> October 2004, morning

**Thème 4 : Cadre institutionnel et participation des parties prenantes**

*Theme 4 : Institutional framework and stakeholder participation*

Heure / Time	Thème / Topic	Nom / name	Institution
Président/Chair : I. Allagnon			
09.00-09.20	Vue d'ensemble de GLOWA-Volta / Overview of GLOWA-Volta	P. Vlek	GLOWA-Volta, UB
09.20-09.40	Le processus de décentralisation et les Programmes d'Appui aux Communes dans le secteur eau, hygiène et assainissement au Bénin.	P. van den Eynde	PROTOS, Cotonou
09.40-10.00	Gestion durable des ressources naturelles pour le développement économique	P. Mutlu A. Matthes	GTZ, Cotonou
10.00-10.20	Importance des résultats de la recherche scientifique pour la coopération dans le domaine de la gestion des ressources naturelles	H. U. Wiberg-Wagner	SAD/DWH
10.20-10.40	Processus de gestion intégrée des ressources en eau au Bénin: implication pour la recherche scientifique	G. Alé* F. Azonsi* G. Cougny**	* DGH ** DHI Water and Environment
10.40-11.10	pause café / coffee break		
11.10-12.00	Integrated scenarios for assessing possible future regional development in Benin	A. Jaeger	IMPETUS, UB
12.00-12.30	Remarques finales	NN	IMPETUS
12.30	déjeuner / lunch		

**Analyse des processus**

**12**

L'accent sera mis sur les aspects expérimentaux, méthodologiques et modélisateurs de l'analyse de l'eau et du transport des sédiments dans les bassins versants en tenant compte des processus se déroulant dans l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère.

**Mousson Africaine et Interaction avec la Convection : Etude de Cas et Orientations futures dans le Cadre de AMMA**

**12**

*Didé, F.; Babadjihou, C. et Ahouangan, E.*

**Détection des facteurs significatifs du changement climatique en Afrique tropicale et construction d'un scénario réaliste par une approche interdisciplinaire**

**13**

*Paeth, H.*

**Caractérisation de la distribution spatio-temporelle des pluies sur le haut bassin de l'Ouémé**

**14**

*Lawin, E. A.; Afouda, A. et Lebel, T.*

**Les types de précipitations au Bénin et leurs relations avec la variabilité des précipitations**

**15**

*Fink, A.; Ahlonsou, E. D.; Christoph, M. et Speth, P.*

**Dynamique de la mousson, régime hydrologique et gestion de l'eau dans le Bassin Supérieur de l'Ouémé**

**16**

*Totin, H. S. V.; Boko, M. et Ogouwale, E.*

**Impact de la distribution des pluies sur les ressources en eaux du Haut Bassin de l'Ouémé (Bénin)**

**17**

*Le Lay, M.; Galle, S.; Peugeot, C. et Séguis, L.*

**Mise au point et analyse de scénarios pour la gestion des bassins versants** 18

Dans le cadre de ce thème, on examinera des concepts intégrés destinés à l'analyse de scénarios et à leur réalisation afin de mettre au point des stratégies de gestion. Une importance particulière sera accordée aux approches interdisciplinaires.

**Etude du régime des basses eaux du fleuve Ouémé dans son bassin supérieur** 18  
*Lanhoussi, O. F.*

**Les besoins en eau et le renouvellement de la nappe phréatique dans la cuvette du fleuve Ouham, République Centrafricaine** 19  
*Borgstedt, A. et Udluft, P.*

**Water use efficiency and maize productivity in Upper Ouémé Valley, North of Bénin** 20  
*Dagbenonbakin, G.; Goldbach, H. et Burkhardt, J.*

**Contribution agronomique à la validation des scénarios hydrologiques du bassin de l'Ouémé** 21  
*Janssens, M.; Deng, Z. et Mulindabigwi, V.*

**Impact du pâturage et de l'exploitation forestière sur la végétation de la Haute Vallée de l'Ouémé : mise au point d'une approche destinée à modéliser les stratégies de gestion sur la base des données locales.** 22  
*Orthmann, B.; Wotto, J.; Sinsin, B. et Porembski, S.*

**Modélisation de l'utilisation des terres et de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Ouémé** 23  
*Thamm, H.-P.; Judex, M.; Borgwardt, J.; Orékan, V. et Menz, G.*

**Integrated scenarios for strategic planning of water resources in river basins - experiences from tropical and subtropical regions** 25  
*Gaiser, T. et Dukhovny, V.*

**Integrated, GIS based modeling in WAVES and RIVERTWIN** 26  
*Printz, A.*

**Evaluation des effets du changement de l'occupation du sol sur les processus hydrologiques dans la Haute Vallée de l'Ouémé** 27  
*Giertz, S. et Dieckrüger, B.*

**Model for the groundwater flow in the aquifers of the "Continental Terminal" and the littoral Quaternary of the coastal sedimentary basin of Benin (West Africa)** 28  
*Boukari, M.; Moussa, O.; Azonsi, F. et Viaene, P.*

**Questions liées à la gestion**

**29**

Les contributions de scientifiques, ainsi que de membres d'administrations, d'institutions et d'agences de développement concernés par les problèmes de gestion dans le secteur de l'eau sont attendues. On insistera particulièrement sur les thèmes de l'approvisionnement et de la demande en eau ainsi que sur les aspects médicaux.

**Scénarios de l'utilisation des terres agricoles au Bénin en tenant compte d'un environnement socio-économique et climatique changeant** 29

*M'barek, R.; Jansson, T.; Adanguidi, J. et Heckelei, T.*

**Impact du changement climatique sur la productivité agricole au Bénin** 30

*Adanguidi, J. et M'Barek, R.*

**Présentation d'un outil de gestion intégrée des ressources en eau: La base de données intégrée (BDI) de la Direction Générale de l'Hydraulique** 31

*Tossa, A. A. Y.*

**L'approvisionnement en eau au Bénin en tenant compte des structures socioéconomiques et sociodémographiques - une analyse de la demande d'eau dans les sites sélectionnés du Haut Ouémé** 32

*Schopp, M.*

**Bacterial and viral pollution of water sources in the Upper Ouémè Basin (UOB), analysis of biohazards and steps towards infection control** 33

*Baginski, R.; Uesbeck, A.; Verheyen, J. et Mazou, F.*

**Le défi de l'approvisionnement en eau face à l'évolution de la population** 34

*Nouatin, B.; Gomez, E. Y. et Doevenspeck, M.*

**Genre et budget: regards anthropologiques sur l'assurance de l'existence dans la région du Haut Ouémé, Bénin** 35

*Hadjer, K.*

**La négociation quotidienne du droit sur l'eau et le foncier dans le bassin supérieur du fleuve Ouémé** 36

*Bako-Arifari, N.*

**Cadre institutionnel et participation des parties prenantes 37**

L'un des objectifs de cette conférence est d'identifier les impacts du cadre institutionnel et les processus supervisés par ce dernier, tels que la décentralisation en cours ou les différentes politiques de développement consacrées aux potentiels de la gestion des bassins versants. En outre, les questions relatives à l'orientation pratique des recherches menées dans le cadre de programmes comme IMPETUS seront examinées par les parties prenantes et par d'autres acteurs intéressés par ce thème.

**Vue d'ensemble de GLOWA-Volta 37**  
*Vlek, P.*

**Le processus de décentralisation et les Programmes d'Appui aux Communes dans le secteur Eau, hygiène et Assainissement au Bénin 38**  
*van den Eynde, P.*

**ProCGRN : Cadre institutionnel et innovations agricoles pour la gestion durable des ressources naturelles 39**  
*Mutlu, P. et Matthes, A.*

**Importance des résultats de la recherche scientifique pour la coopération dans le domaine de la gestion des ressources naturelles 40**  
*Wiberg-Wagner, H.-U.*

**Processus de gestion intégrée des ressources en eau au Bénin : implication pour la recherche scientifique 41**  
*Alé, G.; Azonsi, F. et Cougny, G.*

**Integrated scenarios for assessing possible future regional development in Benin 42**  
*Jaeger, A.*

<b>Posters</b>	<b>43</b>
<b>Migration rurale et colonisation agricole dans le bassin versant de l’Ouémé Supérieur</b>	<b>43</b>
<i>Doevenspeck, M.</i>	
<b>Generation of a DEM for the Upper Ouémé Catchment in Benin using ASTER and SRTM Data</b>	<b>44</b>
<i>Drey, T.; Thamm, H.-P. et Menz, G.</i>	
<b>Cours d’eau souterraine dans le bassin versant tropical de la vallée d’Ouémé supérieur (Centre Bénin)</b>	<b>45</b>
<i>El-Fahem, T.; Fass, T. et Reichert, B.</i>	
<b>A radar based experiment to observe rainfall small scale variability and its impact on the hydrological response - Donga catchment, Oueme river Upper Basin, Benin.</b>	<b>46</b>
<i>Cazenave, F.; Dide, F. et Gosset, M.</i>	
<b>Livestock and Resources in Benin</b>	<b>47</b>
<i>Gruber, I. et M’barek, R.</i>	
<b>Modelling Soil Degradation in the Upper Ouémé Catchment</b>	<b>48</b>
<i>Hiepe, C. et Diekkrüger, B.</i>	
<b>Assessment of land-cover and land-use changes in the upper Oueme catchment and their driving forces.</b>	<b>49</b>
<i>Judex, M. et Thamm, H.-P.</i>	
<b>Modelling the rainfall-runoff processes in the Upper “Ouémé” catchment by using SWAT 2000: case of Terou basin</b>	<b>50</b>
<i>Sintondji, L.; Diekkrüger, B. et Agbossou, E.</i>	
<b>Indice de Pauvreté en Eau pour le Bénin à base régionale</b>	<b>51</b>
<i>M’barek, R. et Heidecke, C.</i>	
<b>Extension des superficies agricoles dans le bassin versant de l’Ouémé supérieur: possibilités, conséquences et alternatives</b>	<b>52</b>
<i>Mulindabigwi, V. et Janssens, M. J. J.</i>	
<b>La litière: un important paramètre pour les modèles écologiques</b>	<b>53</b>
<i>Mulindabigwi, V. et Janssens, M. J. J.</i>	
<b>Modélisation de la dynamique du couvert végétal et de l’utilisation des terres dans le bassin de l’Ouémé Supérieur au Bénin à partir du modèle CLUE-S: Quoi retenir ?</b>	<b>54</b>
<i>Orékan, V.; Thamm, H.-P.; Menz, G. et Sinsin, B.</i>	
<b>L’Observatoire Hydro-Météorologique de la Haute vallée de l’Ouémé : une composante du système d’observations AMMA- CATCH-pour l’étude de la variabilité climatique et des impacts hydrologique en Afrique de l’Ouest.</b>	<b>56</b>
<i>Peugeot, C.; Lebel, T.; Adisso, P.; Afouda, S.; Arjounin, M.; Boubkraoui, S.; Bouchez, J.-M.; Fink, A.; Galle, S.; Giertz, S.; Gohoungossou, A.; Jacquin, F.; Lanhoussi, F.; Le Barbé, L.; Malinur, F.; Ouani, T. et Séguis, L.</i>	
<b>Determination of the natural agricultural potential in Benin</b>	<b>57</b>
<i>Röhrig, J.; Menz, G. et Thamm, H.-P.</i>	
<b>Liste des Auteurs / List of Authors</b>	<b>58</b>

## **Moussoun Africaine et Interaction avec la Convection : Etude de Cas et Orientations futures dans le Cadre de AMMA**

*Didé, F.\*; Babadjihou, C.\*\* et Ahouangan, E.\*\*\**

*\* Direction de la Météorologie Nationale du Bénin*

*\*\* Université d'Abomey-Calavi*

*\*\*\* Centre Météorologique Principal du Bénin*

Dans les régions tropicales, le vortex cyclonique favorise ou accentue les pluies orageuses ou stratiformes. Cette assertion est valable sous certaines conditions. Ce sujet limitera aux cas particuliers des 22 avril et 10 mai 1998. Le dernier cas est beaucoup plus illustratif. Il confirme que le centre du vortex cyclonique de basses couches, localisé à une altitude de 2100 mètres et à la latitude de 7° 30' N environ sur le Bénin, a bel et bien à l'origine de la pluie convective enregistrée dans l'après-midi à la station synoptique de Bohicon. Le 10 mai 1998 à 0600TU, les conditions supplémentaires préalablement observées étaient: 1°) des valeurs assez fortes de l'humidité spécifique (14 à 17g / kg) dans la basse troposphère au Sud du Bénin dues à un ciel assez couvert de nuages stratiformes (Stratocumulus et Altostratus) laissant apparaître localement de faibles pluies intermittentes au lever du jour ; 2°)- un gradient méridien de température assez forte (environ 2°C/100km) entre la latitude de Bohicon et celle de Parakou; 3°) – une accélération du flux du mousson avec un cisaillement vertical du vent fort (entre 600 et 900 mètres) provoqué par la présence d'un amas pluvio-orageux non loin des côtes béninoises. Le thème ici présenté débouche sur des orientations futures dans le cadre du Programme International AMMA afin d'étudier de façon plus détaillée la Couche Limite Tropicale Humide (CLTH) et les processus d'interface sol-atmosphère.

**Détection des facteurs significatifs du changement climatique en  
Afrique tropicale et construction d'un scénario réaliste  
par une approche interdisciplinaire**

*Paeth, H.*

*IMPETUS, Université de Bonn*

La variabilité climatique représente un facteur important dans les systèmes socio-économiques en Afrique occidentale. Une multitude d'études de sensibilité avec des modèles climatiques à différentes échelles a démontré que le changement du climat africain n'est pas seulement lié à l'augmentation du gaz carbonique qui est probablement responsable d'une intensification des précipitations, mais aussi à la modification de la surface terrestre. En particulier, il est évident que la dégradation de la végétation et du sol causeront une réduction notable des pluies saisonnières, surtout dans le Sahel, la région littorale du Golf du Guinée et le Bassin du Congo. Puisque le climat jouera un rôle important dans les scénarios socio-économiques d'IMPETUS, il est indispensable de prévoir le changement climatique pour les années et décennies à venir. Dans le cadre de la modélisation météorologique d'IMPETUS, on utilise une chaîne de modèles allant de l'échelle globale à l'échelle locale afin de détecter les influences individuelles sur le climat africain à toute échelle spatiale et temporelle. Le modèle climatique global permet de simuler l'effet du forçage par les températures de surface de la mer, l'augmentation des gaz présents à l'état de traces et l'interaction entre l'atmosphère et la végétation exercée sur les pluies en Afrique. Les données réalisées par ces expériences sont elles-mêmes utilisées pour forcer le modèle régional REMO qui tient également compte du changement de la surface terrestre par rapport à la couche végétale et aux propriétés du sol. Par contre, les résultats de REMO sont destinés à forcer un autre modèle régional à la résolution encore plus fine, qui lui-même force finalement un modèle local sur la région HVO. Par cette approche, on peut répondre aux différentes exigences des autres participants d'IMPETUS qui demandent des données climatiques à échelle variable pour leurs scénarios individuels. Les travaux préparatoires à des scénarios réalistes dans les modèles climatologiques font partie d'une approche interdisciplinaire se référant à une estimation de la dégradation végétale en 2025 fournie par les collègues géographes. La présentation à Cotonou décrira les travaux dans la chaîne météorologique relatifs aux futurs changements climatiques ainsi que l'approche interdisciplinaire indispensable au développement de scénarios climatiques réalistes.

## **Caractérisation de la distribution spatio-temporelle des pluies sur le haut bassin de l'Ouémé**

*Lawin, E. A. \*/\*\*; Afouda, A. \* et Lebel, T. \*\**

*\* Université d'Abomey-Calavi*

*\*\* LTHE/IRD*

Depuis le début des années 70, le climat ouest africain est sujet à une forte péjoration hydro-pluviométrique régionale. Dans le but de documenter la variabilité des systèmes précipitants dans la région, des observations à haute résolution des champs de pluies ont été initiées sur certains sites pilotes dans le cadre de l'Observatoire de Recherche en Environnement dénommé ORE-AMMA-CATCH ; notamment l'Observatoire Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé : OHHVO et le site d'EPSAT-Niger. Les données recueillies à de petits pas de temps sur le site de l'Ouémé au Bénin, situé en climat soudanien, ont servi de base à une analyse des propriétés statistiques des événements pluvieux et à une étude de la distribution spatio-temporelle des pluies de cette région. On présente ici les caractéristiques intrinsèques des systèmes pluvieux mises en évidence dans cette zone et l'on compare ces propriétés à celles observées plus au Nord sur les pluies au Sahel. Cette comparaison fait apparaître des propriétés caractéristiques similaires entre les systèmes pluvieux soudaniens et sahéliens, notamment en ce qui concerne la stationnarité temporelle des cumuls événementiels et la forme exponentielle des lois d'ajustement. L'étude permet ainsi de montrer que certains résultats déjà obtenus sur les données d'EPSAT-NIGER pour les cumuls événementiels s'étendent aux données de l'OHHVO, tandis que la distribution des intensités de pluies montre une nette séparation entre les stations les plus arrosées et les stations les moins arrosées. Ces résultats peuvent contribuer à améliorer la compréhension de l'impact de la variabilité spatiale et temporelle des précipitations sur les ressources en eau et l'agriculture.

## **Les types de précipitations au Bénin et leurs relations avec la variabilité des précipitations**

*Fink, A. \* ; Ahlonsou, E. D. \*\* ; Christoph, M. \* et Speth, P. \**

*\* IMPETUS, Université de Cologne*

*\*\* Service Météorologique National*

Cinq principaux types de systèmes vecteurs de précipitations coexistent au Bénin et diffèrent l'un de l'autre par leur climatologie saisonnière et diurne ainsi que par leur dynamique: (1) systèmes convectifs organisés se déplaçant rapidement, incluant des lignes de grains ; (2) convection d'après-midi isolée et inorganisée (par exemple, orages et averses); (3) événements de précipitations durables associés à des perturbations atmosphériques de basse altitude (vortex); (4) averses et orages associés à la circulation de la brise terre-mer dans les zones côtières; et (5) événements de précipitations de pré-mousson, de post-mousson et de saison sèche associés à des perturbations d'altitude intégrées dans un flux d'ouest. Des exemples et des climatologies (prenant en compte l'importance des variations spatiales et temporelles) de ces cinq types d'événements pluvieux seront présentés.

La compréhension des principaux types d'événements pluvieux est essentielle pour expliquer la variabilité des précipitations au Bénin d'une année à l'autre et à long terme, ainsi que pour évaluer la crédibilité des projections pour l'avenir concernant les changements des précipitations basés sur des modèles météorologiques. La présente contribution permettra d'examiner les tendances régionales des chutes de pluie au Bénin pour la période 1921-2003 et de les mettre en relation avec les tendances des précipitations sur l'intégralité du sous-continent ouest africain. On montrera laquelle de ces cinq tendances des précipitations a contribué à la variabilité observée dans les quantités annuelles de pluie.

## **Dynamique de la mousson, régime hydrologique et gestion de l'eau dans le Bassin Supérieur de l'Ouémé**

*Totin, H. S. V.; Boko, M. et Ogouwale, E.*

*Université d'Abomey-Calavi*

La relation pluie-débit, mise en évidence sur la période 1954-2000, à travers les analyses de corrélation dans le bassin du fleuve Ouémé, montre que son régime hydrologique est commandé par la dynamique de la mousson ouest africaine. Le fonctionnement hydrologique du bassin supérieur de l'Ouémé dépend en grande partie du rythme saisonnier des précipitations associées aux migrations sud-nord et nord-sud de la mousson. Le dynamisme de la mousson et la durée de son stationnement vers 10° latitude Nord sont ainsi les déterminants du régime hydrologique, avec comme facteur d'intermédiation le profil en long du fleuve et l'importance du ruissellement sur le socle.

Le débit moyen atteint son optimum de 248 m<sup>3</sup>/s en septembre à Bétérou dans le domaine climat de type soudanien et de 518 m<sup>3</sup>/s à Savè dans le domaine du climat de transition, par suite de l'effet cumulatif des lames d'eau précipitée et récupérée par le bassin en saison pluvieuse. La variation saisonnière et interannuelle du régime hydrologique du fleuve régi par la dynamique de la Mousson permet ainsi de déterminer la disponibilité en eau dans le sous bassin du fleuve Ouémé à Bétérou et à Savè afin de planifier l'approvisionnement et la demande en eau domestique, agricole, etc.

## **Impact de la distribution des pluies sur les ressources en eaux du Haut Bassin de l'Ouémé (Bénin)**

*Le Lay, M.\* ; Galle, S.\*\* ; Peugeot, C.\*\*\* et Séguis, L.\*\*\**

*\* IRD/LTHE, Université de Grenoble*

*\*\* IRD/LTHE, Direction de l'Hydraulique*

*\*\*\* IRD/HSM, Direction de l'Hydraulique*

L'Afrique de l'Ouest est soumise à une forte variabilité interannuelle de la pluie. Notre objectif est de mieux comprendre l'impact hydrologique d'une telle variabilité en région soudanienne. Pour cela le modèle hydrologique GR4j est utilisé. Ce modèle journalier résolument simple comprend deux réservoirs et 4 paramètres qui doivent être identifiés pour chaque bassin. La base de données disponible est celle du projet AMMA-CATCH qui dispose d'un observatoire hydrométéorologique au Bénin depuis 1997. Les résultats du modèle sur l'ensemble des 14 bassins instrumentés sont satisfaisants en calage comme en validation. L'impact hydrologique d'une diminution du cumul pluviométrique annuel est ensuite simulé sur ces mêmes bassins. Trois scénarios sont envisagés : (1) une diminution du nombre d'événements pluvieux, (2) une réduction de la hauteur de chaque événement pluvieux et (3) une réduction de la durée de la saison des pluies. Pour ces trois scénarios une diminution du cumul pluviométrique annuel entraîne une diminution environ deux fois plus importante des débits. Ce résultat est en accord avec les observations faites en comparant les années humides (1952-1969) et les années sèches (1970-2002) sur cette région. Cependant il existe des différences significatives entre ces réponses suivant la taille du bassin et le scénario considéré. Ces résultats confirment que pour estimer l'impact hydrologique de la variabilité climatique il est nécessaire de prendre en compte non seulement le cumul annuel mais aussi la distribution des pluies au cours de la saison. L'année 2000, dont la pluviométrie est nettement déficitaire (-16%) par rapport à la moyenne de la période 1952-1996 est plus particulièrement commenté.

## **Etude du régime des basses eaux du fleuve Ouémé dans son bassin supérieur**

*Lanhoussi, O. F.*

*Service de l'Hydrologie, Direction Générale de l'Hydraulique*

Cette étude tente d'abord de mettre en balance la répartition temporelle des pluies mensuelles aux postes représentatifs du bassin d'une part et la variation des coefficients de débits moyens mensuels d'autre part, avant de faire observer la tendance de la chronique des nombres de jours annuels sans écoulement. Elle vise par conséquent à apprécier la sécheresse hydrologique sur le bassin.

## **Les besoins en eau et le renouvellement de la nappe phréatique dans la cuvette du fleuve Ouham, République Centrafricaine**

*Borgstedt, A. et Udluft, P.*

*Université de Würzburg*

L'Ouham est un fleuve situé dans le nord-ouest de la République Centrafricaine avec une cuvette d'environ 44.00 km<sup>2</sup>. Il fait partie de la grande cuvette de Chari et draine dans le bassin du Lac Tchad. La région se trouve entre 5,5° et 8°N sous les tropiques humides alternés, par conséquent de Novembre à Mars – Avril, des vents secs venant du nord-est y prédominent. L'écoulement de surface est limité aux rivières. De Mai à Octobre, des vents humides venant du sud-ouest dominant. L'écoulement spécifique de surface est plus grand à l'ouest qu'à l'est. La quantité maximale d'écoulement est mesurée en septembre et en octobre suivant les précipitations qui diminuent du sud-ouest au nord-est sauf dans la région montagneuse de « Bakoré ».

La zone d'enquête constituée d'un socle protérozoïque de granite et gneiss dans la partie sud-ouest couvert par des grès mésozoïque. Le socle est caractérisé par des nombreuses failles d'orientation nord-ouest – sud-est ou perpendiculaire. Dans les zones faillées et dans les zones des intrusions, les roches sont fortement fissurées. L'épaisseur de la zone d'altération varie entre 0 et presque 40 m. La cuvette de l'Ouham constitue par conséquent de deux types d'aquifère différents, une formation aquifère poreuse qui n'existe pas toute l'année et une formation aquifère diaclasée. Tous les calculs sont fait par rapport à la nappe profonde (aquifère diaclasé).

Le renouvellement de la nappe phréatique est calculé à base des données d'écoulement, et par le logiciel « MODBIL ». Le calcul à base de données d'écoulement est fait selon les méthodes de WUNDT, KILLE et MAILLET. Dans les résultats obtenus, il y a une nette différence, mais la tendance de tout les calculs différents est la même : La recharge de la nappe phréatique baisse de l'ouest vers l'est en raison d'une diminution de la pluviométrie. A l'ouest elle atteint 150 mm/an au cours des années pluvieuses tandis qu'à l'est elle est de 79 mm/an (calcul selon KILLE). Le logiciel « MODBIL » transforme les données ponctuelles comme les données de précipitation, de température et d'évaporation, en données d'espace. Sur la base d'un bilan hydrique du sol le logiciel détermine l'évaporation actuelle, l'écoulement et la recharge de la nappe phréatique en espace. Les moyennes calculées de la pluviosité effective et l'évaporation potentielle et actuelle de chaque partie de la cuvette esquissent une forte tendance Ouest – Est. La moyenne d'écoulement ne suit pas une tendance visible, par contre la recharge de la nappe phréatique diminue en allant de l'ouest vers l'est.

La population de la Préfecture de l'Ouham-Pendé approvisionne ses besoins en eaux par des forages, des puits modernes avec ou sans pompe motrice humaine, des puits traditionnels et des marigots. La consommation actuelle par des forages et des puits modernes atteint 1.258.000 m<sup>3</sup>/an (= 53,6 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>) (supposition 300 personnes par points d'eau avec une consommation de 20 l/jour). Supposant que les besoins en points d'eau sont satisfait, c'est-à-dire une taux de couverture de 100%, la consommation et par suite le prélèvement de l'eau de la nappe phréatique augmentera à 2.003.850 m<sup>3</sup>/an (= 62,43 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>).

Le logiciel « MODBIL » sert à mieux gérer les ressources en eau particulièrement pour des nappes phréatiques étendues irrégulièrement. Même si le prélèvement actuel ne semble pas beaucoup, il y a déjà des villages où c'est difficile de puiser une telle quantité.

## Water use efficiency and maize productivity in Upper Ouémé Valley, North of Bénin

*Dagbenonbakin, G.\*; Goldbach, H.\*\* et Burkhardt, J.\*\**

*\* IMPETUS, Institut National de la Recherche Agricole au Bénin*

*\*\* IMPETUS, University of Bonn*

Over the last 10 years; there has been a marked decrease in precipitation in the Ouémé Supérieur Valley, North of Benin. Agriculture in this region is rain fed and dominated by small scale farmers practicing shifting cultivation and applying no fertilizer. Maize is one of the most important crops grown and yields are generally low. There is, therefore, a need to improve yields through increasing the water use efficiency (WUE) of crops and the use of either inorganic and/or organic fertilizer.

Field experiments were carried out in 2001 and 2002 using a randomized complete block design with four treatments and eleven replicates at in three sites; Doguè, Wèwè and Bétérou. Treatments were: farmer's practice (T0); 10 t.ha<sup>-1</sup> of mulch or farmyard manure (T1), 75 kg.ha<sup>-1</sup> of N, 40 kg.ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 24 kg.ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O (T2) and 10 t.ha<sup>-1</sup> of mulch or farmyard manure with 75 kg.ha<sup>-1</sup> of N, 40 kg.ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 24 kg.ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O (T3). In 2002 no manure was applied, but its residual effect was tested. Water use efficiency was determined as the ratio between grain yield or above ground biomass and rainfall. A preliminary analysis allowed grouping of farmers into homogenous classes according to the preceding crop cultivated and whose residue was applied as mulch and used in making farmyard manure. As result of this analysis, water use efficiency was not significantly affected by crop residues in 2001 and 2002 at Wewe, farmyard manure in 2001 and its residual effects in 2002. In Bétérou and Doguè water use efficiency was not affected by the type of organic matter applied in 2001. Higher yield and water use efficiency were obtained by treatments with mineral fertilizer application (T2, T3). The agronomic water use efficiency was thus positively influenced by fertilizer application. The agronomic WUE varied between years, sites, and treatments.

## **Contribution agronomique à la validation des scénarios hydrologiques du bassin de l'Ouémé**

*Janssens, M.; Deng, Z. et Mulindabigwi, V.*

*IMPETUS, Université de Bonn*

L'applicabilité d'un scénario repose en grande partie sur sa validation. Celle-ci dépend d'une part, de la pertinence des hypothèses de travail interdisciplinaires et d'autre part, de la nature intégrante, voire interdisciplinaire des variables ou indicateurs retenus. Il est fait appel à la notion d'agro-climax par opposition à celle d'éco-climax. Au niveau de chacun de ces deux repères, la photosynthèse globale peut être approchée par la mesure des chutes de litière. L'utilisation de l'indicateur intégrateur «éco-volume» permet de mieux discriminer les associations végétales et les systèmes agraires. L'éco-volume est générateur de pluies supplémentaires de nature écologique. Finalement, l'éco-volume se prête aisément à la validation de modèles hydrologiques plus complexes.

**Impact du pâturage et de l'exploitation forestière sur la végétation de la Haute Vallée de l'Ouémé : mise au point d'une approche destinée à modéliser les stratégies de gestion sur la base des données locales.**

*Orthmann, B.\*; Wotto, J.\*\*; Sinsin, B.\*\* et Porembski, S.\**

*\* IMPETUS, Université de Rostock*

*\*\* Université d'Abomey-Calavi*

En l'espace de trois ans, nous avons recueilli des données détaillées sur la structure et la composition de la végétation ainsi que sur les paramètres environnementaux et les paramètres de l'impact anthropique tels que l'exploitation forestière et le pâturage dans une mosaïque de savane et de forêt. L'approche que nous présentons permet de voir comment extraire des paramètres clés à l'aide de méthodes statistiques (par exemple avec des modèles multi variables ou linéaires généralisés) qui décrivent de manière suffisante le système étudié. Ces analyses contribueront à optimiser d'autres études effectuées sur le terrain afin de régionaliser les données et d'intégrer les données recueillies dans une approche destinée à modéliser les stratégies de gestion.

## **Modélisation de l'utilisation des terres et de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Ouémé**

*Thamm, H.-P.; Judex, M.; Borgwardt, J.; Orékan, V. et Menz, G.*

*IMPETUS, University of Bonn*

L'utilisation des terres et le couvert végétal constituent des paramètres clés au sein du cycle hydrologique. D'un point de vue socio-économique, l'utilisation des terres et le couvert végétal d'une zone donnée sont à la base de l'agriculture et de la sylviculture. Mais l'utilisation des terres et le couvert végétal ne sont pas stables. Elles peuvent changer soit du fait aussi bien des changements climatiques que des activités humaines telles que la colonisation agricole ou la déforestation. A cause de fortes interactions entre utilisation des terres/couvert végétal et la vie humaine aussi bien qu'avec le système climatique, les connaissances concernant le futur développement de l'utilisation des terres/couvert végétal s'avèrent importantes pour les décideurs, les politiciens, les organisations de développement et les scientifiques.

Au cours de la première phase du projet IMPETUS, l'un des objectifs principaux consistait à évaluer la dynamique de l'utilisation des terres/couvert végétal et celle du couvert végétal dans la Haute Vallée de l'Ouémé à l'aide d'un système d'imagerie satellitale ayant différentes résolutions spatiales. Cette analyse a été renforcée par des campagnes intensives de vérité-terrain et des investigations détaillées sur la stabilité de l'écosystème. Ces travaux ont permis d'établir des cartes précises du couvert végétal et de l'utilisation des terres pour la Haute Vallée de l'Ouémé avec une résolution de 30 m x 30 m.

Au cours d'une étape suivante, on a pu déduire la dynamique d'utilisation des terres et de le couvert végétal (LUCC) à différents intervalles de temps en partant du milieu des années 1980. Pour ce faire, des méthodes approfondies qui s'adaptent aux conditions spécifiques de la zone test ont été mises au point. Il s'est avéré difficile de distinguer les changements produits par l'alternance entre saison humide et saison sèche de ceux à long terme affectant la couverture végétale.

Pour modéliser la dynamique du couvert végétal et de l'utilisation des terres, il est important de comprendre le processus sous-jacent à l'origine des changements. Cela a été effectué par une analyse statistique approfondie prenant en compte des informations supplémentaires telles que des paramètres liés à l'écosystème (par exemple le sol, le sous-sol géologique,...) ou des données socio-économiques (notamment la population, les systèmes agricoles,...). On a ainsi pu identifier le déclencheur des LUCC, les acteurs ainsi que leurs motivations. Sur la base des résultats de cette analyse, on a mis au point des « scénarii » relatifs aux changements dans l'utilisation des terres et du couvert végétal; ceux-ci ont été examinés par des experts de différents domaines afin de déterminer les lignes directrices pour l'élaboration du modèle.

La construction d'un modèle décrivant un processus complexe tel que les LUCC dans un système varié alliant les sciences sociales aux sciences naturelles avec de fortes interactions et réactions constitue un grand défi scientifique et méthodologique. Après avoir étudié en détail plus de 19 modèles décrits dans la littérature pour savoir s'ils présentaient les conditions requises, on a développé une chaîne de modèles pour modéliser les LUCC dans le bassin versant de l'Ouémé à différentes échelles spatiales. Cette approche a été choisie pour surmonter le problème du manque d'informations concernant certains paramètres socio-économiques pour l'ensemble du site test. A l'échelle locale, le long de la route de Wouberou à Bassila, nous avons recueilli des informations très détaillées sur tous les paramètres nécessaires et

nous sommes en mesure de modéliser l'évolution future de la dynamique de l'utilisation des terres et du couvert végétal avec une résolution de 30 m x 30 m à l'aide du modèle CLUE-S. Sur la base de ces résultats, il est possible de modéliser les LUCC de la Haute Vallée de l'Ouémé avec une résolution de 90 m x 90 m. Pour l'ensemble du bassin versant de l'Ouémé, la résolution sera de 500 m x 500 m. Cette chaîne de modèles donnera à la sortie la configuration spatiale explicite des changements d'utilisation des terres et du couvert végétal pour chaque année de 2004 à 2020 en tenant compte de différentes conditions limites définies dans les scénarios. On a pu calibrer le modèle en l'exécutant avec les paramètres d'entrée de 1991 et en comparant ses résultats pour différentes tranches de temps avec la situation réelle obtenue grâce aux données de télédétection.

Une autre activité importante est le calcul de la marginalité agricole pour l'ensemble du Bénin à une échelle spatiale de 1 km x 1 km d'après l'approche de l'Institut de recherche sur les conséquences climatiques de Potsdam (PIK). En outre, on peut obtenir une évaluation des risques pour différentes régions en ce qui concerne la productivité agricole dans différentes conditions limites.

Les résultats du modèle revêtent une grande importance pour les décideurs tels que les aménageurs ou les politiciens ainsi que pour les agences de développement. On peut définir les régions dans lesquelles il y aura une pénurie de terres et mettre au point un aménagement foncier adapté, durable et efficace en se basant sur les résultats du modèle. En y intégrant des informations supplémentaires concernant chaque type d'utilisation de terres/couvert végétal telles que la production de biomasse, l'exploitation forestière possible (forêts et savane arborée) ou les taux de transpiration, les résultats issus de ce modèle s'avèrent importants pour un grand nombre de scientifiques, même dans un contexte global.

## **Integrated scenarios for strategic planning of water resources in river basins - experiences from tropical and subtropical regions**

*Gaiser, T.\* et Dukhovny, V.\*\**

*\* Université de Hohenheim*

*\*\* Scientific Information Center of the Interstate Committee for  
Water Coordination in Central Asia*

Integrated scenario development is of increasing interest for sustainable river basin management in differing environments. This is due to both political and ecological pressure as in the European Union or in other countries in semiarid and arid regions. Different methodologies are used to develop integrated scenarios, but all agree about the necessity of the inclusion of so-called "stakeholders". Examples of scenario development and use in three different river basins under contrasting ecological and socio-economic conditions are presented:

1. Jaguaribe river basin (semiarid Northeast of Brazil)
2. Syrdarya river basin (Central Asia)
3. Neckar river basin (Central Europe)

The potential and problems of integrated scenarios for the strategic planning of water management will be discussed. The contribution will also be used to present the RIVERTWIN project ([www.rivertwin.de](http://www.rivertwin.de)) and to propose cooperation with the IMPETUS project for a joint scenario development methodology in the Oueme basin.

## **Integrated, GIS based modeling in WAVES and RIVERTWIN**

*Printz, A.*

*Technical University of Munic; PPC – Printz Planning and Consulting*

WAVES (Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society of Northeastern Brazil) was an interdisciplinary German-Brazilian research programme. It was financed by the respective German and Brazilian Research Ministries and Funding Organizations during the years 1995-2001.

As a contribution to the 'Global Climate Change' research, the main goal of WAVES was to develop preventive strategies for sustainable life quality in the semi arid Northeastern Brazil.

In the WAVES programme the pyramid approach of the MAB – research programme (Man and Biosphere) Berchtesgaden was adapted as an overall integration concept. The Pyramid model has three integration levels: spatial, temporal and strategic. The Landscape Ecology group developed for the first (=spatial) level an integrated regional simulation model: MOSDEL.

MOSDEL (Model for Sustainable Development of Land Use) is based on a Geographic Information System (GIS). In spite of low data availability a valid homogenous spatial database at a regional scale - 1:100,000 with a grid cell size of 1 ha was created. At this scale, acre sized plots and landscape mosaic patches are represented with sufficient spatial resolution. The regional scale offers also best options for both up and down scalings and enables better understanding of important man-environment system features that can be represented on maps.

The model implemented causal links between site potential, agricultural productivity, economic benefits and ecological impacts. Assessments concerning the degree of local self-sufficiency and natural resources management can be more fairly represented. Three classes of sustainability can be queried and allocated as results of a model run: economic, hydrological and ecological sustainability and/or risk.

It has been shown, that the integrative approach of MOSDEL can lead to a new dimension of land use analysis and planning in the Northeastern Brazil. As the database was increased, numerous land use queries, optimized for both singular and multi-dimensional constraints could be performed. Through MOSDEL, the ecological and economic consequences of different land use options for the entire region can be simulated. Current ecological conditions, effects of future climate change and/or human intervention can be thoroughly investigated. Resulting sustainability and risk potential are easy to identify and allocate with high accuracy. Due to its capability, MOSDEL could, potentially, become a major planning and decision making tool in rural areas, by meeting the needs of local and state institutions to develop monitoring techniques and to assess the impacts of alternative development scenarios or intervention programs.

The integration concept of MOSDEL is used in the recent EU research programme RIVERTWIN (2004-2007). Actually it is adapted to MOSDEW (Model for Sustainable Development of Watersheds) with the goal to develop a strategic planning tool for integrated watershed management. Thus, it should correspond to the European Water Framework Directive, that demands integrated management concepts from 2006 on. Pilot area at the beginning is the Neckar basin. A close cooperation with the respective authorities is already agreed. As a second step, the approach will be transferred to the Ouémé basin (Benin, West-Afrika) and to the Chirchik basin (Uzbequistan, Central Asia).

## **Evaluation des effets du changement de l'occupation du sol sur les processus hydrologiques dans la Haute Vallée de l'Ouémé**

*Giertz, S. et Diekkrüger, B.*

*IMPETUS, Université de Bonn*

Afin d'examiner les effets du changement global et régional sur le cycle de l'eau dans le bassin versant de l'Ouémé, ce qui constitue l'objectif du projet IMPETUS au Bénin, il faut comprendre les processus de formation des écoulements et leurs facteurs déterminants dans la région. Il s'agit d'une condition préalable à l'évaluation de l'évolution future du bilan hydrique et de la disponibilité de l'eau.

La zone de savane tropicale sub-humide, dans laquelle se trouve la région d'étude du projet IMPETUS (Haute Vallée de l'Ouémé), n'a été que peu étudiée en termes de processus hydrologiques et d'impacts sur le cycle de l'eau.

Les recherches entreprises dans le cadre du projet IMPETUS ont révélé que la Haute Vallée de l'Ouémé est actuellement sujette à d'importants changements de l'occupation du sol. Les causes de ces changements sont d'une part l'exploitation forestière et d'autre part l'expansion des zones agricoles en raison de la pratique de culture itinérante sur brûlis due à la forte croissance de la population.

Pour analyser les effets des changements de l'occupation du sol sur le bilan hydrique et sur la disponibilité future de l'eau dans la Haute Vallée de l'Ouémé, il est nécessaire de procéder à des études détaillées concernant l'impact de l'occupation du sol sur les processus hydrologiques. Afin d'examiner ces impacts, on effectue des mesures du débit, de la dynamique de l'eau dans le sol, de la capacité d'infiltration et d'autres propriétés physiques du sol dans deux sous-bassins versants de bassin versant de l'Aguima de 3 km<sup>2</sup> présentant des occupations du sol différentes (Niaou supérieure: agriculture et jachère, Aguima supérieure: végétation naturelle (savane et forêt)).

Pour simuler les futurs scénarios des effets du changement global sur le cycle et la disponibilité de l'eau, il faut des modèles hydrologiques applicables dans un environnement tropical sub-humide. Comme l'on ne dispose que d'une faible expérience en matière de modélisation hydrologique dans les tropiques, différents concepts de modélisation sont utilisés dans les bassins versants étudiés en vue d'évaluer les modèles pour des analyses de processus ainsi que leur applicabilité afin de mettre au point les futurs scénarios.

Après une brève description des processus hydrologiques prépondérants dans les bassins versants étudiés et de leur dépendance par rapport à l'occupation du sol, on mettra l'accent sur l'évaluation des concepts de modélisation présentés. On abordera les incertitudes y étant afférentes, surtout en ce qui concerne l'élaboration des scénarios et les caractéristiques spécifiques liées aux sites dans la zone étudiée.

## **Model for the groundwater flow in the aquifers of the "Continental Terminal" and the littoral Quaternary of the coastal sedimentary basin of Benin (West Africa)**

*Boukari, M.\*; Moussa, O.\*\*; Azonsi, F.\*\* et Viaene, P.\*\*\**

*\* University of Abomey-Calavi*

*\*\* Directorate-General of Hydraulics Cotonou*

*\*\*\* DHI Water and Environment, Hosholm*

The groundwater movement in the aquifers of the Continental Terminal and the littoral Quaternary of the site of Godomey (Municipality of Abomey-Calavi, southern Benin), where there is a major water supply pumping station (30 000 to 45 000 m<sup>3</sup>/day) which provides drinking water to the city of Cotonou (1 000 000 inhabitants) has been modelled. The aim of this study is to gain a better understanding of the functioning of the involved groundwater system so that appropriate measures can be taken to avoid aggravation of the salt water intrusion which already has been observed at the site.

The identification of the hydrogeologic formations, and consequently that of the aquifers, based on lithological differentiations, was carried out with the GeoEditor software. The 3D geological model thus built and validated was used for setting up a three-dimensional Modflow model.

The site of Godomey is characterized by the vicinity of brackish and salt water and an overlap of layers or lenses made up of deposits of varying lithology of both homogeneous and heterogeneous nature. The resulting aquifer system is hydrodynamically complex. It is primarily a one-layered water table aquifer in the North of the plateau area. But in the South, on the edge of this plateau and in the littoral plain, up to seven layers can be distinguished, including four aquifers, within the limits of the 200 first meters of depth.

In what follows essentially the results of the steady state calculations are reported, the results of the transient and variable density flow simulations being in hand.

The model in its current state describes the overall observed average groundwater heads reasonably well. Transient runs however indicate that the recharge towards the north of the area of interest still requires closer scrutiny as the model does not (yet) correctly capture the dynamics of the system.

These results also reveal that groundwater flows in the area of interest primarily originate from the north (Calavi's plateau) and the south (littoral plain), where a groundwater divide exists between the sector of the field and the ocean.

The water arriving from the side of lake Nokoué is, under the conditions of the calibration, limited. The drawdown induced by the intensive pumping is approximately 4 m for the water table aquifer and 5 m for the lower aquifer from which most of the water is being pumped. The horizontal extension of the superficial drawdown cone is evaluated to be approximately 88 km<sup>2</sup> (based on the drawdown contour at the limit  $\geq 0.5$ m). The water balance for this zone confirms that the lateral recharge preferentially comes from the northern zone (7 770 m<sup>3</sup>/d), followed by the southern zone (2 281 m<sup>3</sup>/d) and then the side of the lake (1512 m<sup>3</sup>/d), with an average pumping rate of 22 613 m<sup>3</sup>/d for the period of calculation.

The various exploitation scenarios simulated with this steady state model indicate however that the lateral recharge from the lake Nokoué zone becomes significant if one appreciably increases the pumping yields compared to the current yields. This situation is thus likely to result in an invasion of the well field by the brackish water of the lake. But this conclusion will have to be corroborated later on by the results of simulations of the flow with variable density and/or isotopic hydrogeochemistry.

## Scénarios de l'utilisation des terres agricoles au Bénin en tenant compte d'un environnement socio-économique et climatique changeant

*M'barek, R. \*; Jansson, T. \*; Adanguidi, J. \*\* et Heckelei, T. \**

*\* IMPETUS, Université de Bonn*

*\*\* IMPETUS, Université d'Abomey-Calavi*

Le système d'aide à la prise de décision BenIMPACT (Benin Integrated Modeling System for Policy Analysis, Climate and Technological Change) a pour but d'analyser l'existence de ressources rares ainsi que la mise au point de stratégies d'orientation future au Bénin.

BenIMPACT couvre une large gamme de données socio-économiques et permet d'analyser principalement le secteur agricole. Différents modèles simulent les effets des changements démographiques, climatiques et technologiques et leur impact sur le secteur agricole au niveau communal.

Le **BenIMPACT** fait appel à un certain nombre d'outils de modélisation :

- un Modèle Sectoriel Agricole
- un Estimateur du Besoin en Eau de la Plante
- un Indice de Pauvreté en Eau
- un système de base de données, qui est à la fois un logiciel pour montrer les résultats (BenMap)

Le **Modèle Sectoriel Agricole** est un outil de programmation mathématique qui permet la reproduction du secteur agricole béninois sur la base de différentes caractéristiques économiques tout en respectant les contraintes naturelles. Le modèle couvre les principaux produits agricoles du Bénin (maïs, manioc, igname, niébé, arachide, coton, sorgho et riz) au niveau communal. L'introduction de la production animale sera faite dès que les données nécessaires seront collectées. Les données utilisées sont des données secondaires, de nombreuses études et des données d'enquête de terrain relatives aux coûts de production et au temps de réalisation des différentes opérations culturales. L'objectif principal du modèle sectoriel agricole est de faire des scénarios sur le développement de l'agriculture en rapport avec la sécurité alimentaire, l'évolution des cours mondiaux de coton etc.

L'**Estimateur du Besoin en Eau de la plante** (EB-Eau) définit les précipitations réelles et l'évapotranspiration de référence par culture et par région en fonction du climat, des techniques culturales et des variétés sur la base d'une grande quantité de données climatiques régionales et d'ingénieries, fournies par les autres équipes de recherche d'IMEPTUS. EB-Eau emploie principalement les mécanismes de CROPWAT (FAO) qui sont internationalement reconnus comme standard en la matière.

Quant on observe par contre le « Water Poverty Index » (l'**Indice de Pauvreté en Eau**, IPE) du Centre of Ecology & Hydrology de Grande Bretagne, on se rend compte que le Bénin occupe la 137e position sur 144 pays avec un IPE de 39,3 (à comparer à la Finlande 78,0 points). En raison des zones climatiques différentes du Nord au Sud, on constate qu'il y a des différences régionales et temporelles en ce qui concerne la disponibilité d'eau. Un IPE régional peut contribuer afin d'identifier les problèmes et opportunités liés à l'offre et la demande de l'eau.

Le **BenMap** est un système d'information géographique développé pour le Bénin en vue de visualiser plusieurs informations sur des sujets variés. La carte est interactive et sa manipulation peut se faire à l'aide d'une souris lorsque l'on a accès au paquet technologique.

## **Impact du changement climatique sur la productivité agricole au Bénin**

*Adanguidi, J.\* et M'Barek, R.\*\**

*\* IMPETUS, Université d'Abomey-Calavi*

*\*\* IMPETUS, Université de Bonn*

Parmi les facteurs qui limitent de nos jours la production agricole au Bénin, on cite entre autre les facteurs climatiques. Mais quand on observe les statistiques agricoles, avec bien entendu toutes les réserves que nous avons sur la fiabilité des données, on constate qu'il y a une évolution tendancielle à la hausse des principales productions au cours des 40 dernières années. Or, nous savons que l'augmentation de la production agricole peut se faire soit par le biais d'une augmentation des emblavures (extensification) et/ou d'une intensification de la production (main-d'œuvre, engrais chimiques, traitements phytosanitaires, variétés améliorées, etc.).

De nos jours, la pratique d'une agriculture extensive devient de plus en plus problématique du fait de la croissance démographique de nos villes et de nos campagnes. En dehors de quelques régions du centre et du nord du Bénin où une extensification de la production est encore possible dans "un horizon temporel limité", l'intensification de la production, donc l'amélioration des rendements devient l'ultime recours pouvant garantir de façon durable la sécurité alimentaire au Bénin. Un tel objectif ne pouvait être atteint sans une analyse de l'évolution des rendements des principales cultures ainsi que des facteurs susceptibles de les influencer au cours de ces dernières décennies.

Le présent article veut contribuer à cette réflexion en analysant l'impact du changement climatique et démographique sur la productivité agricole au Bénin en général et dans une certaine mesure, dans les différentes zones agro-écologiques du Bénin.

## **Présentation d'un outil de gestion intégrée des ressources en eau: La base de données intégrée (BDI) de la Direction Générale de l'Hydraulique**

*Tossa, A. A. Y.*

*Direction Générale de l'Hydraulique du Bénin*

La Direction générale de l'Hydraulique du Ministère des Mines de l'Energie et de l'Hydraulique est l'institution en charge de la gestion des ressources en eau et de l'Approvisionnement en eau potable en milieux rural et semi-urbain au Bénin.

Pour s'acquitter résolument de cette mission régalienne, l'institution se dote progressivement depuis l'an 2002 d'un outil d'intégration des données nécessaires à la gestion des ressources en eau sous tous ses différents aspects.

L'objectif de ce travail est de présenter ce système d'information sur l'eau dont l'ambition est de mettre à la disposition des analystes des données pouvant permettre l'élaboration d'outils d'aide à la décision en matière de gestion des ressources en eau.

La présentation va s'articuler autour des points suivants:

1. Présentation de la Direction Générale de l'Hydraulique et des Directions spéciales
2. Présentation de la structure Base de Données intégrée
3. Présentation des données disponibles et des formalités de cession
4. Perspectives

## **L’approvisionnement en eau au Bénin en tenant compte des structures socioéconomiques et sociodémographiques - une analyse de la demande d’eau dans les sites sélectionnés du Haut Ouémé**

*Schopp, M.*

*IMPETUS, Université de Bonn*

Le but de cette étude est, à partir d’une analyse critique de la littérature actuelle sur le sujet de l’alimentation en eau au Bénin, d’effectuer une expertise de la demande d’eau au niveau local. A l’aide des recherches empiriques, la consommation d’eau est analysée surtout au niveau des ménages (privés). Dans ce contexte, les questions suivantes sont prioritaires :

- Comment peut-on classer la situation de l’accès à l’eau au niveau local ?  
Comment s’exprime la pénurie d’eau en corrélation avec la saisonnalité ?
- Quel rôle joue la saisonnalité par rapport à la demande d’eau ?
- Quel est le volume de la consommation d’eau effective dans la région analysée et de quoi dépend-elle ?
- Dans quelle mesure les types de consommation urbains et ruraux sont-ils en corrélation ou au contraire se distinguent-ils ?

La recherche sur le terrain a été divisée en différentes unités :

Recherche sur le terrain en 2001-2002 : une enquête avec des questions mi-structurées et standardisées a été effectuée dans 180 ménages. Le but de cette enquête était de découvrir les habitudes concernant l’eau et les conditions économiques et sociodémographiques pendant la saison sèche et la saison des pluies. En outre, dans le cadre d’une recherche interdisciplinaire, une observation à plein temps a été effectuée dans 40 ménages afin d’analyser les habitudes concernant l’eau, son utilisation prévue en pourcentage et la consommation par personne. Une analyse du temps passé aux puits et aux pompes a complété la recherche.

Recherche sur le terrain en 2002 : Le deuxième point capital de la recherche a été consacré aux experts dans le domaine de l’eau au niveau national. Par le biais d’une enquête menée auprès des experts selon la méthode Delphi, on a pu obtenir des résultats intéressants sur la consommation d’eau, le niveau de vie, l’irrigation et l’approvisionnement en eau.

Les résultats de la recherche empirique prouvent que le niveau de consommation d’eau par personne se trouve souvent au-dessous du minimum de 20 litres par personne préconisé par l’OMS. De même, on peut voir des fluctuations saisonnières dépendant des conditions d’accès variables. Cependant, pour beaucoup d’habitants, la manque d’eau n’est pas une raison justifiant une migration. Pour avoir suffisamment d’eau en permanence même pendant la saison sèche, un grand nombre de personnes interrogées seraient prêtes à verser une contrepartie financière.

## **Bacterial and viral pollution of water sources in the Upper Ouémè Basin (UOB), analysis of biohazards and steps towards infection control**

*Baginski, R.; Uesbeck, A.; Verheyen, J. et Mazou, F.*

*IMPETUS, University of Cologne*

Waterborne diseases caused by bacteria or viruses as Cholera, severe diarrhea or hepatitis are wide spread in developing countries and have a deep impact on public health. The water quality of drinking water sources was investigated by analysing wells in the triangle between the cities of Parakou, Bassila und Djougou for bacterial and viral contaminations. A data base of ~1250 water sources in the area of interest has been established containing GPS-coordinates, descriptions of surroundings and information about the construction of the sources. So far ~800 watering places have been analysed bacteriologically and a smaller part also virologically. With regard to climatic/hydrologic changes, water sources of four chosen villages are analysed once a month.

Bacteriologic analysis showed that almost 70 % of surface water sources are contaminated by bacteria of fecal flora, whereas no contaminations could be determined in pump water from bore holes. In 57 watering places noticeable contaminations by rare serotypes of non-typhoid Salmonella could be observed. These Salmonella which may be responsible for enteric fevers, gastroenteritis and septicemia serve as indicator organisms for the evaluation of epidemiologic data. To estimate their health risk the pathogenicity has to be determined by molecular analysis of virulence factors.

Due to the low viral concentration in environmental samples, we established a method of concentration before testing for different viruses (Adeno-, Noro-, Entero- and Hepatitis-A-Viruses). Ten liters of water samples were filtrated with special Virosorb<sup>®</sup> Cuno filters in Benin, which were send for further investigation to the virology of Cologne. Only in a small minority of samples Enteroviruses were detected, stressing the temporary nature of viral contamination. Analysing stool samples of patients with diarrhea symptoms and matching these results with the water quality of used wells, should improve the risk management of viral infectious diseases.

In Kaki Koka, as a representative village, investigations on stool samples were made. Two percent of the inhabitants were carriers of Salmonella, but no relationship could be found between contaminated water sources and typical symptoms of infections by Salmonella.

The health risk of water contaminations will be evaluated by further correlation between environmental results and clinical data.

## Le défi de l'approvisionnement en eau face à l'évolution de la population

*Nouatin, B.\*; Gomez, E. Y.\* et Doevenspeck, M.\*\**

*\*INSAE, Cotonou*

*\*\* IMPETUS, Université de Bonn*

L'un des facteurs concourant au calcul de l'indice du développement humain est la proportion de la population ayant accès l'eau potable. De plus l'un des objectifs du Millénaire est (objectif 7) est d'assurer un environnement durable et sa cible 10 est de réduire de moitié d'ici à 2015, le pourcentage de la population qui n'a pas accès de façon durable à un approvisionnement en eau potable. Enfin le Gouvernement a fait sien cette recommandation des Objectifs du Millénaire pour le Développement à travers le Programme d'Action du Gouvernement II (PAG II).

Le troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation de février 2002 a dénombré une population de 6.769.914 habitants dont seulement 58,6% ont accès à l'eau potable. La non disponibilité de l'eau potable est plus crucial en milieu rural (50,4% de la population a accès à l'eau potable contre 71,6% en milieu urbain

La maîtrise du développement économique d'une nation passe par la maîtrise de sa situation démographique actuelle et future. La projection est un élément des perspectives démographiques qui conditionne le développement d'un pays ou d'une nation. Elle permet de mettre à la disposition des décideurs et des planificateurs, des statistiques nécessaires à la mise en place des politiques et programmes de population permettant de satisfaire la demande sociale. Le troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation a dénombré 6.769.914 habitants dont 3.284.119 hommes contre 3.485.795 femmes. Elle est composée à 38,85% de la population urbaine et de 61,15% de la population rurale. Quand on observe la croissance de cette population de 1992 à 2002, on observe que la population totale s'accroît annuellement à 3,25% et la population urbaine s'accroît à un rythme de 4,12% contre 2,74% pour le milieu rural. La mise en œuvres des différents indicateurs nous permet d'évaluer la population béninoise de 2002 (6.769.914 habitants) à 2025 (12.794.155 habitants).

En ce qui concerne l'impact de l'accroissement de la population sur l'approvisionnement en eau au Bénin, la population urbaine s'approvisionne en eau de la SBEE (55,1%). Seulement 20,4% de cette population qui est abonnée à la SBEE et 34,6% de la population urbaine paie de l'eau en dehors du domicile.

En milieu rural, pour la distribution de l'eau potable, il est envisagé au Bénin de faire un forage ou de creuser un puits protégé pour 250 habitants. Ainsi, les besoins en forage ou puits évoluent avec l'effectif de population. Ainsi la population rurale avait besoin de 20.699 forages en 2002 et ces besoins s'accroissent en moyenne de 1,5% par an pour atteindre 28.000 forages ou puits protégés.

Notons que la charge de travail à accomplir pour satisfaire toute la population en eau potable est énorme et elle est d'autant titanesque que la population ne cesse de croître.

## **Genre et budget: regards anthropologiques sur l'assurance de l'existence dans la région du Haut Ouémé, Bénin**

*Hadjer, K.*

*IMPETUS, Université de Bonn*

Dans le monde entier, être né homme ou femme joue un rôle essentiel dans la société, le Bénin ne fait pas exception. Bien au contraire, la différenciation des sexes y est très distincte.

En effet, hommes et femmes coopèrent quotidiennement. Cependant, cela n'empêche pas le fait que leurs droits, leurs devoirs, l'organisation de leur travail et d'autres domaines sociaux leur appartenant soient structurés selon une certaine division des sexes. L'importance du genre y compris celle des rôles des différents sexes se manifeste sur le plan translocal et inter-ethnique. Ces rôles présentent une influence considérable sur les transactions économiques, l'apparence des espaces sociaux et des arènes de conflit.

A titre d'exemple, il s'agit d'analyser des stratégies d'assurance de l'existence en tenant compte de la gestion du budget financier des hommes et des femmes dans le contexte d'une forte interdépendance entre la production de subsistance, le quotidien et l'économie de marché. Les questions suivantes se posent : quelles stratégies de revenus sont pratiquées par les femmes et les hommes dans le Haut Ouémé ? Quels activités et systèmes d'échanges dominent leur quotidien ? Quelles stratégies de production choisissent-ils ? Comment se déroule la gestion du budget financier chez l'un et chez l'autre ?

Nos réponses se réfèrent aux résultats de données qualitatives et quantitatives. Il s'agit en particulier d'une enquête quantitative effectuée à l'échelle régionale (10.000km<sup>2</sup>) en interrogeant 835 femmes et hommes au sujet des stratégies de risque, de l'assurance de l'existence et de l'utilisation des sols.

## **La négociation quotidienne du droit sur l'eau et le foncier dans le bassin supérieur du fleuve Ouémé**

*Bako-Arifari, N.*

*IMPETUS, Université d'Abomey-Calavi*

La pluralité des normes, les arrangements institutionnels et autres phénomènes d'empilement des règles et des institutions ont été largement documentés dans la littérature socio-anthropologique sur les sociétés africaines, en traitant notamment du foncier ou d'autres ressources naturelles. Par contre la perspective génétique autour de la production des normes en rapport avec les ressources naturelles demande à être davantage documentée. C'est ce que cette communication envisage de faire en partant des rapports qui existent entre droits sur l'eau et droits sur le foncier (bas-fonds essentiellement) dans un contexte socioculturel pluriel et de relations plus ou moins tendues entre populations anciennement établies et populations plus ou moins nouvellement arrivées. Je pars du postulat que le contrôle sur les points d'eau constitue dans une large mesure le principal fondement des droits sur le foncier dans le bassin supérieur du fleuve Ouémé. Comment l'enjeu de l'eau ou la référence au point d'eau sont-ils utilisés dans les revendications de droits fonciers ? Comment le contrôle des points d'eau et des bas-fonds constitue-t-il un enjeu symbolique fort dans les relations entre «populations antérieurement établies» et «populations arrivées plus tard» ? Comment la référence à l'eau sert-elle à créer de nouveaux droits fonciers ? Quelles implications induit-elle en termes de changement institutionnel et social dans les sociétés concernées ? Tels sont les points que nous nous proposons d'aborder.

## **Vue d'ensemble de GLOWA-Volta**

*Vlek, P.*

*GLOWA Volta, Université de Bonn*

## **Le processus de décentralisation et les Programmes d'Appui aux Communes dans le secteur Eau, hygiène et Assainissement au Bénin**

*van den Eynde, P.*

*PROTOS Cotonou*

Aux premiers jours de la décentralisation au Bénin, la loi transférant maîtrise d'ouvrage aux communes est votée mais ses textes de mise en application ne sont pas finalisés. Afin que lors de l'écriture de ces textes de mise en application, une première expérience d'application soit déjà disponible pour montrer les points d'attentions et les facteurs de blocage, un programme d'hydraulique et d'assainissement est mis en place dans 1 commune sur 7 au Bénin, en appliquant le jeu de rôle de la décentralisation. Les maires sont de ce fait maîtres d'ouvrage et passent des marchés avec les bureaux d'étude, les ONG d'intermédiation sociale et les entrepreneurs. Ils peuvent établir également des conventions avec les comités de suivis prévus par la loi.

Malgré des difficultés relatives aux capacités des mairies et au caractère récent de ces institutions, le programme montre que le schéma décentralisé permet la réalisation d'ouvrages hydrauliques et de dispositifs d'assainissement, moyennant un appui variable auprès des maîtres d'ouvrage et des ONG d'intermédiation sociale. L'expérience de contractualisation pour une articulation entre les intervenants a permis de mettre en évidence quelques questions et défis.

Il est ressorti que les comités de suivi tels que prévus dans les textes ne permettent pas de transposer au contexte décentralisé l'acquis de la stratégie actuelle PADEAR en termes d'implication des bénéficiaires. Il y aura donc lieu de définir plus clairement l'implication des bénéficiaires à travers tout le processus de maîtrise d'ouvrage.

La participation de ceux-ci à l'investissement impose une participation monétaire, alors que dans certains cas, une participation en main d'œuvre pourrait constituer une alternative qui garantisse une bonne connaissance de l'installation par ses usagers.

Ces premières équipes communales ne ressentent pas toujours de lien direct entre les réalisations qu'ils mettent en œuvre sur leur terroir et leur popularité pour des réélections éventuelles ce qui crée parfois des problèmes de motivation des mairies. Les défis pour demain consistent à ouvrir la notion de groupements de bénéficiaires pour la gestion des points d'eau à une structure villageoise englobant les aspects variés d'usagers de la ressource en eau dans une vision GIRE. Les modes de gestion des ouvrages ainsi réalisés sont variés et devront être testés dans le contexte décentralisé. Par ailleurs, l'articulation entre les services techniques déconcentrés et les maîtres d'ouvrage devra être mieux définie et opérationnalisée.

## **ProCGRN : Cadre institutionnel et innovations agricoles pour la gestion durable des ressources naturelles**

*Mutlu, P. et Matthes, A.*

*GTZ Cotonou*

Le Programme de Conservation et de Gestion des Ressources Naturelles (ProCGRN Bénin) a démarré en janvier 2004. L'objectif poursuivi pendant sa durée allant de 2004 à 2014 est de contribuer à la mise en valeur durable des ressources naturelles par la population rurale.

Après un aperçu des composantes du programme et de son montage institutionnel, l'appui à la gestion de la recherche agricole nationale est présenté en tant que fonction transversale du ProCGRN. Dans ce contexte, l'appui - débuté en 1999 à travers le projet « Appui à la Gestion de la Recherche Agricole Nationale » - au développement des capacités scientifiques et de communication avec les groupes cibles et ainsi que de modèles de gestion et du cadre institutionnel pour la recherche agricole appliquée se poursuit. Des perspectives de coopération entre Impetus et ProCGRN se dégagent à partir :

- du cadre de concertation de la recherche agricole nationale développé ;
- des modalités de communication, de capitalisation et de dissémination de résultats de recherche ainsi qu'à partir
- de la banque de données de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin et sur les acquis du Système national de recherche agricole (SNRA) pour le développement et
- de l'état d'avancement du système d'information de suivi environnemental (SISE) mis en œuvre par l'Agence Béninoise de l'Environnement ;
- des activités du ProCGRN dans la région focale Atacora / Donga au niveau national .

## **Importance des résultats de la recherche scientifique pour la coopération dans le domaine de la gestion des ressources naturelles**

*Wiberg-Wagner, H.-U.*

*Programme Agro Ecologique Bénin Nord; Service Allemand de Développement (SAD); Agro-Action Allemand, Deutsche Welthungerhilfe (DWHH)*

La disponibilité en eau potable de bonne qualité pendant toute l'année, demeure dans certaines régions de l'Afrique de l'Ouest un problème majeur limitant l'amélioration des conditions de vie et le développement rural.

Souvent une construction de puits à grand diamètre pouvant être gérée de façon autonome et durable au niveau local, constitue une étape essentielle pour le travail de coopération dans le domaine de l'appui aux populations.

Une sédentarisation et immigration de populations tout à fait évidente autour de sources en eau potable, sont difficilement concevables sans une démarche de planification préliminaire globale prenant en compte la gestion des ressources naturelles environnantes.

En effet, l'utilisation des ressources hydriques et les activités humaines ont une incidence inéluctable sur les phénomènes de circulation d'eau au niveau quantitatif et qualitatif (exploitation des ressources en eau potable et en eau d'irrigation, modification des phénomènes d'infiltration et d'écoulement par la mise en culture de parcelles et l'installation de voies de communication, érosion des sols dénudés et travaillés, importation d'intrants agricoles et d'autres polluants dans les eaux d'infiltration et de ruissellement, risques de contamination de l'eau par des agents pathogènes ...).

Les résultats de la recherche scientifique comme ceux produits par le Programme IMPETUS s'avèrent indispensables. Le caractère global des cycles naturels dépassant souvent le niveau géographique local, demande une approche concertée et participative pour l'élaboration de plans d'occupation et de structuration des sols tenant compte des différents potentiels au niveau local, communal, départemental et régional.

Le faux débat sur la nécessité de la recherche scientifique et sur son utilité est régulièrement relancé à différents niveaux. Face aux problèmes écologiques de plus en plus accentués prenant rapidement un caractère irréversible, la question urgente qui devrait être posée serait plutôt de savoir, par quel moyen et sous quelle forme les résultats de la recherche scientifique peuvent appuyer les initiatives de gestion des ressources naturelles.

Dans la pratique, les acteurs du développement rural et de la gestion des ressources naturelles nécessitent une cartographie systématique des ressources naturelles, des sols et sous sols, ainsi que des phénomènes d'infiltration, de circulation et d'écoulement des eaux de pluie. En raison de la complexité des phénomènes et des interventions humaines sur les milieux, une modélisation et projection de scénarios suivant une démarche tenant compte de la variabilité géographique, quantitative et temporelle de la pluviométrie est de grande utilité.

Le plus grand problème réside souvent dans la vulgarisation et dans l'accessibilité des acquis scientifiques pour les différents acteurs. Pour une bonne efficacité, théoriciens et praticiens doivent être réunis autour d'une même table afin de se concerter sur le travail autour de paramètres définis en commun accord.

**Processus de gestion intégrée des ressources en eau au Bénin :  
implication pour la recherche scientifique**

*Alé, G.\*; Azonsi, F.\* et Cougny, G.\*\**

*\* Direction Générale de l'Hydraulique du Bénin*

*\*\* DHI Water and Environment*

## **Integrated scenarios for assessing possible future regional development in Benin**

*Jaeger, A.*

*IMPETUS, University of Bonn*

Scenarios are useful tools for evaluating possible long-term future economic, societal and environmental developments, but also for assessing the effects and effectiveness of related policies. Therefore, they are qualified for supporting sustainability-oriented regional planning. Scenarios are neither predictions nor forecasts, but can be best understood, in the words of the IPCC, as alternative images of how the future might unfold (Nakicenovic et al. 2000). Scenarios follow storylines, that highlight the scenario's main features and describe the driving forces and their main features and interrelations. They also provide an analysis of possible impact of certain policy measures.

Scenarios can be designed both in a qualitative way, e.g. as pure narrative texts of alternative futures, or in a quantitative way, e.g. in form of numerical modelling output. Also, a combination of both approaches is possible. Drawing back on other project experience (e.g. WAVES project), we followed a step-by-step approach to derive qualitative-quantitative scenarios, which starts with an analysis of the system and the problem structure, the definition of qualitative scenario storylines and the definition of indicators for describing the system state. The next step is the quantification of driving forces and computation of indicators which will be followed by an interdisciplinary analysis and will be finalised by an evaluation of scenarios. In IMPETUS, we develop three scenarios for regional development, on the basis of close collaboration of several disciplines and in cooperation with stakeholders. The scenarios delineate three different directions of future development of economy, society and the environment:

Economic growth and consolidation of decentralisation ("on pousse")

Economic stagnation, political destabilisation and increase of societal conflicts ("on se débrouille")

Business as usual, e.g. extrapolation of current trends ("on fait avec")

The scenario storylines can be characterised further as follows. The first scenario acts on the assumption of a stable growth, an increase in prosperity and welfare and a consolidation of political stability. Living conditions improve in most regions of Benin. Technical innovation lead to a decrease in resource depletion.

The second scenario depicts a self-energising spiral of political destabilisation, pauperisation and economic depression. Falling world market prices, a decline in development aid and a deterioration in regional economic cooperation lead to a worsening of overall economic development. Living conditions worsen and resource overexploitation increases, leading to a rise in societal conflicts and political instability.

The third scenario describes a extrapolation of current trends. There is neither a real improvement in growth nor societal welfare. Political stability maintains, but economic integration and international competitiveness remain low.

Models are applied for to compute the temporal development of relevant system indicators with regard to the overall economic development, the agricultural sector, political-institutional framework conditions, demographic development and societal trends and environment and resource depletion. For each scenario, the effects and effectiveness of several policy options will be then evaluated.

The lecture will deal with the overall procedure and methodological questions of qualitative-quantitative scenario construction, will describe the main storylines of each scenario, e.g. their basic characteristics and the main driving forces as well as the degree of their mutual interaction.

## **Migration rurale et colonisation agricole dans le bassin versant de l'Ouémé Supérieur**

*Doevenspeck, M.*

*IMPETUS, Université de Bonn*

La recherche présentée dans ce poster était consacrée à la colonisation agricole dans le bassin versant de l'Ouémé Supérieur. L'amélioration des infrastructures de transport intervenue au milieu des années 90 et qui a conduit à une migration croissante des petits exploitants agricoles et des éleveurs vers la région de transition au centre et au nord du Bénin, a offert l'opportunité d'examiner les différents aspects des processus de mobilité spatiale dans le Bénin rural. On a identifié les caractéristiques et les structures de la migration interne et analysé la mise en place initiale des systèmes politiques et sociaux dans les nouvelles localités de migrants ainsi que les processus de changement engendrés par la migration dans la société d'accueil. La recherche s'est concentrée sur les questions suivantes:

- Quelles structures sociales en dehors des approches prédominantes basées sur les processus de dégradation environnementale peuvent être prises en compte pour comprendre la migration ?
- Quels facteurs permettant à la migration de se perpétuer peut-on identifier ?
- Comment des processus sociaux ou politiques locaux dus à la migration peuvent-ils être liés aux changements spatiaux dans les zones d'accueil des migrants?
- Quels effets la migration a-t-elle sur les institutions politiques et sociales des régions de destination ?

L'espace de transition entre le Centre et le Nord du Bénin montre une forte dynamique migratoire. Il s'agit en l'occurrence de la région située entre Djougou, Bassila, Tchaourou et Ndali où les politiques d'installation de l'Etat et des églises chrétiennes des années 1960-1970 ont déclenché une colonisation agricole impliquant surtout des petits paysans. Ce processus a par endroit abouti à une domination démographique des migrants et à une reconfiguration profonde du paysage ethnique.

Près de 430 des migrants ayant participé à la colonisation croissante de la région étudiée ont été contactés pour examiner les motifs et les structures de la migration. Dans ce cadre, la migration en provenance des régions d'origine et les processus de transmigration ont été abordés à parts égales. Les résultats de la recherche ont montré que les migrants interrogés provenaient du nord-ouest, ce qui correspondait au macro-modèle de la migration intrarurale au Bénin. Il a cependant été intéressant de constater qu'il ne s'agissait pas d'un processus unidirectionnel puisque les nouveaux colons étaient souvent passés par plusieurs stations de migration et provenaient d'autres régions de destination de la migration intrarurale. Ces processus de transmigration ont été à peine pris en compte dans les études antérieures mais ils constituent pourtant des caractéristiques essentielles de la migration intrarurale et leur analyse s'avère indispensable à la compréhension des processus de mobilité régionale.

On a pu identifier des aspects démographiques et spatiaux de la colonisation agricole dans la région située entre Bétérou et Bassila et analyser l'influence des relations sociales sur la migration ainsi que l'utilisation sociale différenciée des ressources naturelles dans les régions de destination.

Le boom économique régional provoqué par l'amélioration de la piste et la migration qui s'en est suivie a entraîné une concurrence entre différents acteurs individuels et collectifs pour le pouvoir local et le contrôle de l'accès à la terre. C'est pourquoi on a identifié au cours de la dernière étape de l'étude les groupes stratégiques et les structures institutionnelles impliqués dans les différends politiques locaux.

## **Generation of a DEM for the Upper Ouémé Catchment in Benin using ASTER and SRTM Data**

*Drey, T.; Thamm, H.-P. et Menz, G.*

*IMPETUS, University of Bonn*

Digital elevation models (DEM) are used for a broad range of applications, e.g. to analyse topography, landscapes or relief visually or mathematically, to model hydrological parameters and generate orthophotos. The new DEM for the upper Ouémé catchment will serve as an important input for further calculations and modellings which are going to be accomplished within the IMPETUS-Project.

The optical sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) on board the Terra satellite offers the possibility to generate a stereo image pair with two near-infrared spectral bands with a resolution of 15 meters. Therefore, the along track sensor allows an extraction of surface elevation.

To cover the HVO fourteen ASTER Level 1A images were needed. The elevation models of each scene were calculated by determining tiepoints in both scenes. No ground control points were collected in the field. Therefore, the resulting DEMs are representing a relative and not an absolute elevation model. Nevertheless, a first evaluation indicates a satisfying accuracy. The DEMs were checked by calculating sinks, flow directions and flow accumulations, comparing the generated orthoimages and contour lines with 1:50.000 and 1:200.000 topographical maps. Additionally, the DEMs were compared to the freely available SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) data with a coarser resolution of 90 meters. This was done by overlaying techniques.

The DEM of each ASTER image or stitched image tiles, respectively, was extracted with OrthoEngine of PCIs Geomatica 9.1. This had to be done in different steps as ASTER images from different dates and therefore with different orbital parameters were used to cover the area. In a next step the DEMs were edited manually and areas with no proper height information were masked, e.g. cloudy areas. These holes were then filled with SRTM data, which was resampled to the DEM output resolution of 30 meters. Finally, the different DEMs were mosaiced. It can be stated, that the generation of DEMs with ASTER Data is as accurate as well as a time and money saving procedure from which many further applications can benefit. Due to the integration of SRTM data it is now a valuable method for tropical regions as the frequently occurring cloud coverage can be masked out.

## **Cours d'eau souterraine dans le bassin versant tropical de la vallée d'Ouémé supérieur (Centre Bénin)**

*El-Fahem, T.; Fass, T. et Reichert, B.*

*IMPETUS, Université de Bonn*

L'objectif du Projet IMPETUS Afrique de l'Ouest est la détermination des ressources en eau souterraine exploitable dans le bassin versant d'Ouémé Supérieur. Lors des périodes sèches, la demande en eau dans les zones rurales est principalement dépendante de l'eau souterraine. Les villes à forte croissance comme Parakou, Djougou ou Bassila doivent pour subvenir à l'accroissement des besoins, augmenter leur approvisionnement en eau à partir des barrages et inclure les forages pompés pour gérer la demande public.

Dans ce sens la gestion de l'eau souterraine deviendra de plus en plus importante dans les prochaines années. L'hydrogéologie régionale doit être bien connue, tout comme l'exploitation des ressources en eau souterraine existante doit être évaluée. C'est pourquoi un modèle numérique pour la détermination des mouvements d'eau souterraine est développé pour obtenir un outil pour la prédiction qui facilitera les décisions en ce qui concerne la gestion de l'eau souterrain dans l'avenir. Les études se sont concentrées sur la région du centre de la République du Bénin. Cette région est importante non seulement à cause de son potentiel agricole mais aussi parce qu'elle est l'objet d'attraction d'immigrants. Le modèle couvre le bassin versant d'Ouémé Supérieur d'une superficie d'environ 14.000 km<sup>2</sup>. Les limites choisies pour le modèle sont les lignes de partage des eaux de surface liées à la morphologie. La structure hydrogéologique du bassin versant est généralement homogène. À la base on trouve l'aquifère fissuré du socle cristallin recouvert par un aquifère développé dans les couches altérites. À la surface, cette séquence est couverte par des seuils latéritiques ou sableux. L'hydraulique des deux aquifères est lié et est dépendant des différentes formes de recharge.

La description du système de l'hydrogéologie est fournie par un échantillonnage régional de l'eau. Sont inclus les investigations d'hydrochimie, d'isotopes stables et également des analyses de Tritium. Pour la description on utilise le logiciel FeFlow<sup>®</sup> (WASY Inc.), un modèle numérique à éléments finis. Ce modèle est développé au fur et à mesure sur la base des données venant du Bénin.

**A radar based experiment to observe rainfall small scale variability and its impact on the hydrological response - Donga catchment, Oueme river Upper Basin, Benin.**

*Cazenave, F.\*; Dide, F.\*\* et Gosset, M.\**

*\* Institut de Recherche pour le Développement*

*\*\* Direction de la Météorologie Nationale du Bénin*

As part of the African Monsoon Multidisciplinary Analysis (AMMA) program, hydrological and meteorological observations are being carried in several places in West Africa and particularly in northern Benin, in the Oueme River upper Basin. The Donga catchment (600km<sup>2</sup>) and its subbasins have been equipped with an extensive set of hydrological sensors including a network of about 15 rain gages, measurements of river outflow, ground water levels and also geochemical techniques to trace water. To complement these installations a meteorological radar will be installed in Djougou, a good location for the monitoring of the rain systems crossing the Donga Basin. The radar will be gathering data for the 3 years of the AMMA Extensive Observing Period (EOP), from 2005 to 2007.

Xport is an X-band, polarimetric radar developed in our laboratory for hydrometeorological applications. The use of polarimetric technics allows for a better quantitative estimate of precipitation and helps correcting for attenuation effect which can be strong in tropical rain and X-band frequencies. With its configuration the spatial resolution of the radar is better than 1km. It will be scanning at high speed, with a full 3D protocol and a typical time of 3 to 5 mn between volume scans. The objectives are to provide detailed maps of the precipitation falling on the Donga basin. The details of the spatial structure of the precipitation field together with the hydrological measurements should lead to a better understanding of the processes at stake and help quantifying the different terms of the water budget, at catchment scale.

In the longer term, the statistics on rainfall structure derived over 3 years thanks to the radar measurements will be useful for other applications, such as downscaling technics - a necessary step to feed hydrological models with the outputs of atmospheric models- improve our understanding of the local meteorology and also tune locally satellite based rain estimators.

Our presentation will describe the experimental setup and the radar site in Djougou. We will also discuss the expected performances of our instrument and will present results from preliminary studies.

## **Livestock and Resources in Benin**

*Gruber, I. et M'barek, R.*

*IMPETUS, University of Bonn*

Livestock husbandry is continuously expanding in Benin. Although the animal sector has not the same importance as crop production, for some groups animal production is the main source of income, as animal keepers and farmers often belong to different ethnic and social groups.

Earning income is not the only purpose for keeping animals, the reasons diverge widely from consumption and draught power over manure to capital formation, even the use for religious purposes and ceremonies can be mentioned in this context. The prices for animal products depend on the season, the finesse of the negotiators, the date of festivities and the region, but not on meat quality. It is expected that the demand for animal products will rise with increasing income.

The increasing demand in the last ten years is responded by a growth of the number of animals but not by a rise in productivity. With an average annual growth rate between 2,6 % (pigs) and 4,5 % (goats) the number of animals increased considerably. Due to the fact, that in northern Benin mainly cattle and in the south small ruminants are kept, the constant growth of Tropical Livestock Units (TLU = 250 kg live weight) is bigger in the north.

Nowadays livestock husbandry in Benin is mainly characterised by an extensive production and a low productivity. For example, the average milk performance is 200 kg milk per cow and year. Another attribute is that production and the consumption of meat take place at different locations. While the main production site is in the north, the centre of consumption is in the south. Therefore transport streams are mainly from north to south. Live animals are imported above all from Niger and Burkina Faso, the exportations of live animals head to Togo but mainly to Nigeria.

The Beninese livestock sector faces many challenges: animal diseases, feeding and continuous availability of forage, sufficient availability of water, trade and transportation or the organisation of markets. The dimension of these challenges can be illustrated by considering the consequences of the African swine fever in 1997: The numbers of pigs were declined to one third of the original pig stock.

With an augmentation of the number of animals and an extensive production, which is based on the natural resources pasture and water, the resources become scarce. Already ten years ago a study showed that in some regions the availability of forage and water is not sufficient anymore in the dry season. In a rough calculation for the years 2001 and 2020 on a regional level this estimation was confirmed. The absence of forage and water will occur more regularly in case the variability of rainfall increases.

Outlook: The integration of the livestock into the decision support system BenIMPACT will be done soon. The products which will be included to the model are beef, mutton, goat, pork, chicken, milk and eggs. The connections between crop and animal production in the model are the use of crop residues for forage, the requirement of land and availability of labour. The link between husbandry and climate is the yield and the availability of pasture.

## **Modelling Soil Degradation in the Upper Ouémé Catchment**

*Hiepe, C. et Diekkrüger, B.*

*IMPETUS, University of Bonn*

In the first phase of the IMPETUS project investigations concerning soil degradation were focused on the local scale (Aguima catchment, 5-30 km<sup>2</sup>). Soil surveys and erosion plots showed that soil erosion by water and nutrient depletion are significant problems in Central Benin which are promoted by high rainfall intensity and specific land use-systems (e.g. cotton or yam planted in the direction of the slope).

In the current second phase of the project the challenge is to transfer the understanding of processes obtained at the local scale to the regional scale to calculate soil degradation for the whole Upper Ouémé catchment (14000 km<sup>2</sup>) for different scenarios considering possible future climate and land use changes. Therefore the physically based continuous erosion model SWAT ([www.brc.tamus.edu/swat](http://www.brc.tamus.edu/swat)) has been chosen to quantify sediment yield and runoff processes. The calibration of runoff processes has been performed with discharge measurements at catchments of different sizes, the validation of the model results will be carried out with continuous measurements of suspended sediment concentration at four outlets of the catchment. The combination of the modelling results for soil erosion with indicators for soil fertility (e.g. fertility capability classification) will enable spatial conclusions about the future development of soil fertility under the different scenarios. If the parameterisation of a crop model for all dominant crop types is successful a coupling with the erosion model would allow to study the effects of changes in soil fertility to crop yield considering different agrarian management strategies.

For model parameterisation the 38 soil types of the existing soil map at the scale of 1:200.000 (Faure 1977) must be related to physical and chemical soil properties derived from representative profiles or using geostatistical methods. Furthermore efforts are made to refine the delineation of soil types in the soil map using information from remote sensing (landuse map derived from Landsat/TM), a digital elevation model, a catena approach and transect-like soil surveys. Special attention has been given to the delineation of the hydromorphic soils in the inland valleys because of their high relevance for hydrological modelling. Concepts and first results for the improvement of the soil map and the erosion modelling are presented.

## **Assessment of land-cover and land-use changes in the upper Oueme catchment and their driving forces.**

*Judex, M. et Thamm, H.-P.*

*IMPETUS, University of Bonn*

Land-cover change is one of the most important consequence of global change. Growing demand for high-input agricultural products in industrialized countries and fast growing population in developing countries are some of the reasons for land-cover change. The assessment of past changes and their driving forces are important for understanding future developments.

The study area, which is located in central Benin belongs to the Guinean savannah zone and is exposed to dramatic changes in population growth and therefore also to land-cover and land-use change. According to census data the annual population growth rate between 1992 and 2002 is 4%, which is not only caused by natural growth but also by (regionally differing and mostly internal) migration. Nearly 50% of the population is working in the primary sector and a large part of the production is used for subsistence. Therefore natural resources play a very important role for the domestic economy. Land-use and in consequence land-cover changes alter the potential of these resources, which could have negative effects. Therefore assessment of the land-cover and land-use changes is an important task in regard to planning issues and food security for the study area.

To assess the expected changes, detailed statistical data are needed but not available in the favored quality. Therefore satellite data from LANDSAT are used for analyzation. In a first step the land-cover is extracted by an maximum likelihood classification from satellite images from December 1991 and October 2000. Problems during the classification evolve because of two facts: high interannual variability of vegetation cover and difficulties in separating spectral similar classes. Mainly the fact, that up to 80% of the savannah areas are burned during the dry season lead to problems in the interpretation of different savannah types. Only the satellite data from October are nearly free of clouds and not affected by bush fire. The second point, the separation of similar classes, could be solved by integrating additional data. Two classes with high spectral overlap are field areas and inselbergs, who occur in some parts of the study area. With the help of a newly published digital elevation model in a 90m resolution, the quality of the class "field area" could be substantially improved. The accuracy of the classification was proved for the researched agricultural areas and was nearly 80%. The accuracy assessment of the savannah areas are still in process with additional aerial photos.

Comparing the land-cover and land-use between 1991 and 2000, the socio-demographic evolution mentioned above is clearly visible in its consequence for the land-cover. The agricultural used areas has nearly increased of 90% at the expense of savannah and forest areas. These changes have different faces according to their occurrence. In those parts, where available land is scarce, agricultural land-use is distributed equally and additional fields are set up at the expense of fallow time. In the large remaining forest and savannah areas (which are not under protection), agriculture is rapidly evolving along of roads in a visible pattern caused by migrating settlers.

In this study the relevant driving factors of these changes have been identified and their contribution to the observed changes was analyzed. Though one of the most difficult parts was the derivation and representation of the potential driving forces, because of the limited availability of socio-economic data. The results show, that a high percentage of the changes due to agricultural expansion is explainable with the factors population growth and distance to roads. Natural factors like soil quality doesn't seems to have such a dominant influence on agricultural expansion like the other parameters. Other changes, i.e enlargement of settled areas are directly related to population growth, but regionally different by diverse migration patterns. In this study, some main driving factors of change have been identified, some others may also be conductive, but will be analyzed in future if more data is going to be available.

## **Modelling the rainfall-runoff processes in the Upper “Ouémé” catchment by using SWAT 2000: case of Terou basin**

*Sintondji, L.\*; Diekkrüger, B.\* et Agbossou, E.\*\**

*\*IMPETUS, Université de Bonn*

*\*\* Université d'Abomey-Calavi*

“Scarcity and misuse of fresh water pose a serious and growing threat to sustainable development and protection of the environment. Human health and welfare, food security, industrial development and the ecosystems on which they depend, are all at risk, unless water and land resources are managed more effectively in the present decade and beyond than they have been in the past”. That is a remark made at the International Conference on Water and the Environment in Dublin .

For Africa some estimates suggest that fresh water supply could become problematic especially in West Africa, where about 30 years of drought have been observed.

Therefore, it is pressing to assess for this area the availability of fresh water.

The aim of this study, executed on the framework of IMPETUS hydrologic sub-project A2, is to analyse and to predict the discharge and the quantity of surface water available at different temporal scales at the Terou-Igbomakro basin (2305 km<sup>2</sup>), a sub basin of upper Oueme Catchment, by using a suitable model.

The study area is located in the central and north-south part of Benin between the longitudes 1°25 and 2°10 E and the latitudes 9° and 9°50 N. The average annual rainfall is 1100 mm (from April-Mai to October) and the average temperature is about 26°C. The vegetation is composed of savanna, woodland and patches of dry forests. The soils are in majority lixisol and acrisol; then gleysol in the Inland Valley.

To achieve this purpose the SWAT 2000 (Soil and Water Assessment Tool, version 2000) model was chosen, which is a continuous model working at daily time steps. It has been developed at the Blackland Research Center in Texas for the USDA Agricultural Research Service. Some of the key strength's of the tool lies in modelling the impacts of changes in management practices, climate and vegetation on water quantity and quality.

SWAT requires spatial information concerning the distribution of soils and land cover/land use. Furthermore, related properties concerning soils and vegetation as well as land management practices occurring in the watershed are required in addition to weather data.

After setting up the database, 122 Hydrologic Response Units (homogenous area at the point of view of soil physic properties and land use) are obtained for the study area. The model has been calibrated by minimizing the deviation between observed and simulated discharge at the catchment outlet. The model provides evapotranspiration, surface runoff, interflow as well as base flow on a daily time step. After calibration the model will be applied to simulate water and sediment transport in the investigated catchment in order to study the effects of landuse change and climate variability.

## **Indice de Pauvreté en Eau pour le Bénin à base régionale**

*M'barek, R. et Heidecke, C.*

*IMPETUS, Université de Bonn*

Ce poster présente le calcul d'un Indice de Pauvreté en Eau (IPE) pour le Bénin sur une base régionale. Cet indice a été développé à l'origine par le CEH (Centre for Ecology and Hydrology, Angleterre) pour comparer les différentes situations de la disponibilité en eau potable dans le monde. Le Bénin obtient la 137<sup>ème</sup> place sur 144 pays, bien que la quantité totale de ressources en eau renouvelables au Bénin soit considérée comme suffisante.

L'IPE se compose de 5 variables : l'accès, les ressources, l'environnement, l'utilisation et la capacité. L'obtention de différentes valeurs pour un IPE à base régionale aide à classifier les zones les plus vulnérables et pourrait ainsi contribuer à gérer mieux les ressources en eau potable et à prendre certaines mesures.

## **Extension des superficies agricoles dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur: possibilités, conséquences et alternatives**

*Mulindabigwi, V. et Janssens, M. J. J.*

*IMPETUS, Université de Bonn*

Dans les régions tropicales, l'agriculture reste le principal facteur anthropique de dégradation des formations naturelles (IPCC, 2001) et des sols (RUTHENBERG, 1980 ; GREENLAND, 1974). L'importance de cette dégradation augmente avec la croissance démographique (FAO, 1996). Déjà à partir d'une densité de 10 habitants au km<sup>2</sup> (BISHOP, J., 1978), les systèmes de production agricole itinérants ne sont plus en mesure de maintenir l'équilibre écologique tant au niveau végétal (BROWN, S. et GASTON, G., 1996) qu'au niveau édaphique (NYE, P.H. et GREENLAND, D.J., 1959). Alors que la biomasse potentielle pour le bassin versant de l'Ouémé supérieur est estimée à 100-200 t/ha, déjà en 1980, elle n'atteignait que 50-100 t/ha (BROWN, S. et GASTON, G., 1996). Au niveau de la matière organique du sol, NYE, P.H. et GREENLAND, D.J. (1959) ainsi que MICHEL, R. (2001) ont constaté que l'exploitation agricole accélérât la perte de matière organique du sol. L'extension des superficies agricoles résulte de l'accroissement démographique (BISHOP, J., 1978) mais aussi des conditions climatiques, notamment la variabilité des précipitations (EDJA, A. H., 1999 ; KER, A. 1995).

La superficie agricole (y comprises les jachères de courte et moyenne durée) du bassin versant de l'Ouémé supérieur actuellement estimée à 36 % pourrait atteindre 77 % de la superficie totale cultivable si les systèmes de production agricole et la croissance démographique restent inchangés d'ici 2020. La biomasse totale passerait de 59 t/ha en 2000 à 31 t/ha en 2020 ; le stock de carbone de 52 t/ha à 39 t/ha. En cas de raccourcissement de la saison des pluies (de deux semaines à la fin de celle-ci), cette superficie agricole atteindrait 88 % de la superficie totale cultivable, la biomasse totale 17 t/ha, le stock de carbone 32 t/ha (principalement dans le sol) et la superficie agricole par habitant passerait de 0,41 à 0,44 ha/habitant (dont 0,15 ha/habitant pour les cultures d'exportation). Par contre, en intensifiant progressivement l'agriculture et particulièrement les céréales, la superficie agricole totale par habitant serait de 0,35 ha/habitant (dont 0,15 ha/habitant de cultures d'exportation). La superficie agricole totale correspondrait à 52 % de la superficie totale cultivable, la biomasse totale atteindrait 57 t/ha et le stock de carbone 51 t/ha. Toutefois, l'intensification agricole non appuyée par une politique de développement rural intégré permettant notamment la création d'emplois non agricoles ne pourrait pas non plus garantir durablement la sécurité alimentaire de la population croissante sans porter atteinte à la préservation des ressources naturelles. Le mécanisme de développement propre prévu dans le protocole de Kyoto constitue un principal atout à l'appui de ce genre de développement rural.

## La litière: un important paramètre pour les modèles écologiques

*Mulindabigwi, V. et Janssens, M. J. J.*

*IMPETUS, Université de Bonn*

Plusieurs recherches ont été réalisées autour de la litière afin d'étudier notamment son rôle dans la restitution au sol de la matière organique (OLSON, J.S., 1963 ; NYE, P.H. et GREENLAND, D.J., 1959 ; JENNY et al. 1949) ou d'autres éléments biogènes (DUVIGNEAUD, P et al. 1968), son importance dans l'amélioration des rendements agricoles (JURION et HENRY, 1969) et sa contribution à la protection des sols contre l'érosion (FALKENMARK, M. et CHAPMAN, T.; 1989). La litière est également utilisée pour estimer la production primaire nette (ZHONG LI et al. 2001; WEBB et al. 1983) ou la biomasse totale (IPCC, 2001; RAKOTOMARO, N.J. 2002).

Suite à nos recherches au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur, la formule suivante a été développée :  $LAI = 10 * L_f / P_{fs}$  où LAI représente l'indice foliaire ( $m^2/m^2$ ) ;  $L_f$ , la litière foliaire (t/ha) ;  $P_{fs}$ , le poids spécifique foliaire ( $mg/cm^2$ ). L'avantage de cette formule n'est pas seulement l'estimation moins onéreuse du LAI mais également la conversion de la litière au sol en LAI objectivement utilisable dans les différents modèles écologiques. De plus, en cas de connaissance des valeurs du LAI, l'estimation de la production en biomasse foliaire  $L_f$  est également possible et moins laborieuse.

La biomasse foliaire sert à son tour à déterminer rapidement la production primaire nette (NPP) grâce p.ex. à l'équation de Webb et al. (1983),  $\ln(NPP) = 0.76 + 0.93 * \ln(\text{biomasse foliaire})$  où  $\ln(NPP)$  est le logarithme naturel de la production primaire nette aérienne ( $g/m^2\text{-an}$ );  $\ln(\text{biomasse foliaire})$ , le logarithme naturel de la production en biomasse foliaire ( $g/m^2\text{-an}$ ). L'accroissement annuel de la biomasse ( $\Delta B$ ) est obtenu à partir de la relation de Zhong Li et al. (2001) :  $NPP = \Delta B + L_t$  où  $L_t$  est la chute annuelle de la litière totale (t/ha-an). Quant aux estimations de la biomasse totale d'un écosystème forestier à partir de la litière, le rapport litière/biomasse totale estimé à 0,07 et utilisé par l'IPCC (2001) est remis en question par nos résultats et nécessite plus d'études approfondies.

## **Modélisation de la dynamique du couvert végétal et de l'utilisation des terres dans le bassin de l'Ouémé Supérieur au Bénin à partir du modèle CLUE-S: Quoi retenir ?**

*Orékan, V.\*; Thamm, H.-P.\*; Menz, G.\* et Sinsin, B.\*\**

*\* IMPETUS, Université de Bonn*

*\*\* Université d'Abomey-Calavi*

Le bassin de l'Ouémé Supérieur au Bénin fait l'objet d'une remarquable dynamique de l'occupation du sol et de l'utilisation des terres due notamment aux facteurs anthropiques (agriculture, feux de végétation, exploitation abusive des ressources végétales). La pression sur les ressources naturelles est renforcée par une forte croissance démographique (allant de 3,21 à 4,37% respectivement dans l'Atacora et le Borgou) avec pour conséquence un effectif croissant des migrants venus des régions affectées par la détérioration des sols fertiles.

Pour mieux comprendre et analyser ce phénomène, le volet 'Télédétection' du sous-projet 'Biosphère' du programme de recherche IMPETUS, à travers l'analyse des images satellites LANDSAT TM, avait déjà réalisé que les terres agricoles ont accru de plus 15% entre 1986 et 2001 dans le bassin de l'Ouémé Supérieur. En outre, les installations humaines croissent vertigineusement le long de l'axe Oubérou-Kikélé. En conséquence, l'hypothèse selon laquelle les activités anthropiques contribuent à la dégradation du couvert végétal se confirme.

L'objectif du présent travail est d'analyser le phénomène sur le long terme et d'en déduire ses impacts sur les ressources végétales, étant donné leurs interactions avec le cycle hydrologique. Pour ce faire, des scénarii seront développés en adaptant le modèle CLUE-S (*Conversion of Land-Use and its Effects at Small regional extent*) à la situation actuelle dans le secteur d'étude Oubérou-Kikélé en utilisant des données socio-économiques et de télédétection.

La présente communication se focalise sur l'état d'avancement de cette adaptation du modèle CLUE-S, les leçons et les perspectives à retenir.

Secteur d'étude (Oubérou-Kikélé): La piste Oubérou-Kikélé est située au sud du bassin de l'Ouémé Supérieur ; limitée au nord-est et au sud-est respectivement par les forêts classées de l'Ouémé Supérieur et de Wari-Marou. Le secteur traversé comporte quatre villages administratifs: Wari-Marou, Dogué, Igbomacro et Kikélé et couvre une superficie d'environ 900 km<sup>2</sup>. Les terres fertiles du secteur constituent l'attrait fondamental des immigrants à la recherche de terres agricoles. Le couvert végétal est dominé par des forêts claires, savanes boisées et arborées et quelques îlots de forêts denses qui sont l'objet de destruction permanente de la part de ces immigrants en nombre croissant.

Méthodes: La dynamique du couvert végétal et de l'utilisation des terres est évaluée à partir de l'analyse des classifications des images Landsat TM de 1986/89, 1991 et 2000 (par Remote Sensing Research Group) grâce au logiciel Erdas Imagine.

Les installations humaines (villages, hameaux et campements) ont été recensées en 2003 (le recensement continue en 2004 pour les campements). Puis des enquêtes socio-économiques ont été conduites dans ces villages et hameaux de janvier à mars 2003. Un effectif de 200 chefs de ménages agricoles (migrants et autochtones) et 36 autres (uniquement migrants) ont été sélectionnés par échantillonnage stratifié et interrogés sur la base de deux questionnaires distincts. Les questionnaires ont été dépouillés, une base de données socio-économiques construite au moyen du logiciel MS ACCESS et le traitement en cours avec SPSS.

Des points de limites de terroirs des principaux villages (encore provisoire) ont été identifiés avec la collaboration des autorités locales et des personnes ressources. Les données GPS recueillies ont servi à délimiter l'aire d'étude et à calculer la densité de population au moyen de ArcView.

Pour l'exécution du modèle CLUE-S, les variables telles l'occupation du sol et utilisation des terres, la densité moyenne de population, les données géographiques telles que distances par rapport aux villages, aux routes, aux cours d'eau, aux points d'eau et le Modèle Numérique de Terrain, etc. ont été construites à partir des données existantes (RGPH1, 2 et 3), satellitaires et de terrain. Ces données ont été spatialisées et converties en grilles puis au format ASCII utilisable par le modèle.

Etant donné que le modèle CLUE-S utilise des analyses statistiques pour définir la localisation adéquate des différents types d'utilisation des terres (variable dépendante), et ce en fonction des divers facteurs explicatifs (variables indépendantes), le modèle logistique binaire est mis à contribution pour déterminer le poids de chaque variable dans l'équation de régression. La probabilité de prédiction qui en est issue permet de construire automatiquement la courbe ROC et son coefficient en vue d'évaluer les variables test du modèle. Les résultats obtenus à l'instar de toutes les autres variables sont ensuite intégrés au modèle avant toute simulation.

Résultats et perspectives: Les analyses statistiques en cours présentent des résultats assez satisfaisants quant aux facteurs socio-économiques (poids des diverses installations humaines dans l'évolution démographique du secteur d'étude depuis 1979 à 2004, les divers groupes socio-culturels en présence, les diverses activités menées et leur rôle dans la dynamique spatiale du couvert végétal). Une corrélation des données socio-économiques avec les données images permettra de déterminer la part de responsabilité de chaque facteur explicatif.

A partir des limites administratives, les diverses variables spatialisées sont comptées au rang des paramètres nécessaires à la simulation du modèle. L'exécution du modèle révélera à terme les variables pertinentes influençant la dynamique réelle du couvert végétal dans un proche futur et à long terme aussi bien dans le secteur d'étude que dans le bassin de l'Ouémé Supérieur.

Mots clés: modèle CLUE-S, végétation, dynamique, secteur Ouberou-Kikele, données socio-économiques, télédétection

## **L'Observatoire Hydro-Météorologique de la Haute vallée de l'Ouémé : une composante du système d'observations AMMA- CATCH-pour l'étude de la variabilité climatique et des impacts hydrologique en Afrique de l'Ouest.**

*Peugeot, C. \*; Lebel, T. \*\*; Adisso, P. \*\*\*; Afouda, S. \*; Arjounin, M. \*; Boubkraoui, S. \*; Bouché, J.-M. \*; Fink, A. \*\*\*\*; Galle, S. \*; Giertz, S. \*\*\*\*\*; Gohoungossou, A. \*\*\*; Jacquin, F. \*; Lanhoussi, F. \*\*\*; Le Barbé, L. \*; Malinur, F. \*; Ouani, T. \* et Séguis, L. \**

*\* IRD, Direction de l'Hydraulique*

*\*\* IRD/LTHE, Université de Grenoble*

*\*\*\* Service de l'Hydrologie/Direction Générale de l'Hydraulique*

*\*\*\*\* IMPETUS, Université de Cologne*

*\*\*\*\*\* IMPETUS, Université de Bonn*

Dans le cadre du programme AMMA ([www.medias.obs-mip.fr/amma](http://www.medias.obs-mip.fr/amma)), le système d'observation CATCH-AMMA vise à documenter la variabilité climatique et hydrologique associée à la mousson Ouest-Africaine. Il s'appuie sur 3 sites expérimentaux de méso-échelle (10 000 km<sup>2</sup>), constitués eux-mêmes de super-sites, répartis le long du gradient climatique au Centre-nord Bénin (Ouémé supérieur), au Niger (degré carré de Niamey), et au Mali (région du gourma). Les données acquises alimenteront des études d'impact sur la ressource en eau et la productivité agricole, de changements climatiques d'origine naturelle ou anthropique. Les observations concernent l'hydrométéorologie, le suivi du cycle hydrologique continental et la végétation. L'observatoire CATCH constitue le noyau de la composante d'observation à long terme du projet d'Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine (AMMA).

Le système fonctionne en tant que tel depuis 1997, mais intègre des observations réalisées sur la région depuis 1950, soit par le biais de réseaux opérationnels, soit à l'occasion de campagnes de recherche (HAPEX-Sahel notamment). La stratégie d'observation mise en oeuvre est multi-échelle, tant dans l'espace - de quelques km<sup>2</sup> jusqu'à une fenêtre régionale couvrant 5° en longitude et 9° en latitude - que dans le temps et combine des réseaux de mesures durables et des actions ponctuelles au cours de périodes d'observation renforcée.

Au Bénin, le site AMMA-CATCH est situé sur le haut bassin de l'Ouémé (14600 km<sup>2</sup>) et est équipé d'un réseau de pluviographes, limnigraphes et piézographes. Des observations spécifiques (chimie des eaux, géophysique, etc...) sont également réalisées. L'objectif est de comprendre les interactions entre les processus atmosphériques et la surface continentale en milieu soudanien. Cet observatoire est exploité par l'Institut de Recherche pour le Développement, en collaboration avec la Direction Générale de l'Hydraulique du Bénin et le projet allemand IMPETUS (<http://www.impetus.uni-koeln.de/>).

## **Determination of the natural agricultural potential in Benin**

*Röhrig, J.; Menz, G. et Thamm, H.-P.*

*IMPETUS, University of Bonn*

A precise knowledge and the identification of naturally agricultural marginal areas as well as of agricultural high potential previously uncultivated land sites are very important considering issues of climatic change, increasing population and food security. In order to develop and implement preventive measures, it is necessary to understand the complex interplay between nature and anthroposphere and to identify marginal, which means vulnerable sites within the agricultural system on a local scale. Due to the serious consequences expected especially for Africa, as detailed current information has to be gathered and early warning systems and indicators established to identify vulnerable sites (FISCHER ET AL. 1994, IPCC 2001). Hence, a marginality index for agricultural land use have been defined on a global scale by the Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) in cooperation with the Max Planck Institute for Meteorology (CASSEL-GINTZ ET AL. 1997). The marginality index has been developed as the indicator for natural marginality analysing several environmental factors limiting agricultural production under low capital input. Using distribution and level of the marginality index, the natural agricultural marginality of a region can be identified as well as its agricultural potential. Beyond, the index reflects where increase and intensification of agricultural land use would damage the natural production basis, leading to a decrease in yield resulting in further impoverishment and accordingly where the natural agricultural potential is high. But global data with a spatial resolution of  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  can give only a very general idea about distribution and degree of agricultural marginality attaining merely little information for national decision makers.

Thus, investigations has been undertaken whether the approach with very embolden results on a global scale is feasible on a national scale, too, using same but spatially higher resolved influencing factors and an adapted fuzzy logic based algorithm. Broad knowledge has been gathered within the interdisciplinary IMPETUS-Project (An integrated approach to the efficient management of scarce water resources in West Africa) over several years in Benin.

A focus of this regionalization is on the suitability of the input data, the fuzzy-logic based algorithm and the implementation of socio-economic data like population growth. Therefore, high temporal and spatial resolved data achieved from remote sensing are interesting and embolden tools increasing the spatial resolution, impeding a reflection of actual processes and trends like desertification or climatic change and make the calculation of future scenarios easier.

### Liste des Auteurs / *List of Authors*

---

<b>Adanguidi, J.</b>	Université d'Abomey-Calavi Faculté des Sciences Economiques et de Gestion 03 B. P. 0984 Abomey-Calavi République du Bénin
<b>Adisso, P.</b>	Service de l'Hydrologie/Direction Générale de l'Hydraulique 01 B. P. 385 Cotonou République du Bénin Cotonou
<b>Afouda, A.</b>	Université d'Abomey-Calavi Abomey-Calavi République du Bénin
<b>Agbossou, E.</b>	Université d'Abomey-Calavi 03 B. P. 0350 Abomey-Calavi République du Bénin
<b>Ahlonsou, E. D.</b>	Service Météorologique National B.P 379 Cotonou République du Bénin
<b>Ahouangan, E.</b>	Centre Météorologique Principal du Bénin B.P 379 Cotonou République du Bénin
<b>Alé, G.</b>	Direction Générale de l'Hydraulique du Bénin 01 B. P. 385 Cotonou République du Bénin
<b>Arjounin, M.</b>	IRD, Direction de l'Hydraulique 01 B. P. 385 Cotonou République du Bénin
<b>Azonsi, F.</b>	Direction Générale de l'Hydraulique du Bénin 01 B. P. 385 Cotonou République du Bénin
<b>Babadjihou, C.</b>	Université d'Abomey-Calavi 03 B. P. 0350 Abomey-Calavi République du Bénin

---

<b>Baginski, R.</b>	IMPETUS, Université de Cologne Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene Universität zu Köln Goldenfelsstr. 21 50935 Köln Allemagne
<b>Bako-Arifari, N.</b>	IMPETUS, Université d'Abomey-Calavi 03 B. P. 0350 Abomey-Calavi République du Bénin
<b>Boko, M.</b>	Université d'Abomey-Calavi Laboratoire d'étude des climats, des ressources en eau et de la dynamique des écosystèmes 03 B.P. 0350 Cotonou République du Bénin
<b>Borgstedt, A.</b>	Université de Würzburg Institut für Geologie Pleicherwall 1 97070 Würzburg
<b>Borgwardt, J.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Geographische Institute Meckenheimer Allee 166 53115 Bonn Allemagne
<b>Boubkraoui, S.</b>	IRD, Direction de l'Hydraulique
<b>Bouchez, J.-M.</b>	IRD, Direction de l'Hydraulique
<b>Boukari, M.</b>	Université d'Abomey-Calavi FAST 01 B. P. 526 Abomey-Calavi République du Bénin
<b>Burkhardt, J.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Agrikulturchemisches Institut, Universität Bonn Karlrobert-Kreiten-Str. 13 53115 Bonn Allemagne
<b>Cazenave, F.</b>	Institut de Recherche pour le Développement
<b>Christoph, M.</b>	IMPETUS, Université de Cologne Institut für Geophysik und Meteorologie Kerpener Str. 13 50937 Köln Allemagne
<b>Couigny, G.</b>	DHI Water and Environment
<b>Dagbenonbakin, G.</b>	IMPETUS, Institut National de la Recherche Agricole au Bénin 04 B. P. 1556 Cotonou République du Bénin

<b>Deng, Z.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Institut für Obstbau und Gemüsebau Auf dem Hügel 6 53121 Bonn Allemagne
<b>Didé, F.</b>	Direction de la Météorologie Nationale du Bénin
<b>Diekkrüger, B.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Geographische Institute Meckenheimer Allee 166 53115 Bonn Allemagne
<b>Doevenspeck, M.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Geographische Institute Meckenheimer Allee 166 53115 Bonn Allemagne
<b>Drey, T.</b>	IMPETUS, Université de Bonn RSRG Arbeitsgruppe Fernerkundung Geographische Institute Meckenheimer Allee 166 53115 Bonn Allemagne
<b>Dukhovny, V.</b>	Scientific Information Center of the Interstate Committee for Water Coordination in Central Asia
<b>El-Fahem, T.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Geologisches Institut Nussallee 8 53115 Bonn Allemagne
<b>Fass, T.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Geologisches Institut Nussallee 8 53115 Bonn Allemagne
<b>Fink, A.</b>	IMPETUS, Université de Cologne Institut für Geophysik und Meteorologie Kerpener Str. 13 50937 Köln Allemagne
<b>Gaiser, T.</b>	RIVERTWIN, Université de Hohenheim Institut für Bodenkunde und Standortslehre Emil-Wolff-Str. 27 (Schloss, Westhof-Süd) 70599 Stuttgart Allemagne
<b>Galle, S.</b>	IRD/LTHE, Direction de l'Hydraulique

<b>Giertz, S.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Geographische Institute Meckenheimer Allee 166 53115 Bonn Allemagne
<b>Gohoungossou, A.</b>	Service de l'Hydrologie/Direction Générale de l'Hydraulique 01 B. P. 385 Cotonou République du Bénin
<b>Goldbach, H.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Agrikulturchemisches Institut, Universität Bonn Karlrobert-Kreiten-Str. 13 53115 Bonn Allemagne
<b>Gomez, E. Y.</b>	INSAE, Cotonou
<b>Gosset, M.</b>	Institut de Recherche pour le Développement
<b>Gruber, I.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie Nussallee 21 53115 Bonn Allemagne
<b>Hadjer, K.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Institut für Völkerkunde Albertus-Magnus-Platz 50923 Köln Allemagne
<b>Heckelei, T.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie Nussallee 21 53115 Bonn
<b>Heidecke, C.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie Nussallee 21 53115 Bonn
<b>Hiepe, C.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Geographische Institute Meckenheimer Allee 166 53115 Bonn Allemagne
<b>Jacquin, F.</b>	IRD, Direction de l'Hydraulique
<b>Jaeger, A.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Geographische Institute Meckenheimer Allee 166 53115 Bonn Allemagne

<b>Janssens, M. J. J.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Institut für Obstbau und Gemüsebau Auf dem Hügel 6 53121 Bonn Allemagne
<b>Jansson, T.</b>	IMPETUS, Université de Bonn
<b>Judex, M.</b>	IMPETUS, Université de Bonn RSRG Arbeitsgruppe Fernerkundung Geographische Institute Meckenheimer Allee 166 53115 Bonn Allemagne
<b>Lanhoussi, O. F.</b>	Service de l'Hydrologie, Direction Générale de l'Hydraulique du Bénin Cotonou République du Bénin
<b>Lawin, E. A.</b>	Université d'Abomey-Calavi; LTHE/IRD
<b>Le Barbé, L.</b>	IRD, Direction de l'Hydraulique
<b>Le Lay, M.</b>	IRD/LTHE, Université de Grenoble
<b>Lebel, T.</b>	LTHE/IRD
<b>M'barek, R.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie Nussallee 21 53115 Bonn Allemagne
<b>Malinur, F.</b>	IRD, Direction de l'Hydraulique
<b>Matthess, A.</b>	AGRAN / GTZ Cotonou
<b>Mazou, F.</b>	IMPETUS, Université de Cologne Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene Universität zu Köln Goldenfelsstr. 21 50935 Köln Allemagne
<b>Menz, G.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Geographische Institute Meckenheimer Allee 166 53115 Bonn Allemagne
<b>Moussa, O.</b>	Direction Générale de l'Hydraulique du Bénin 01 B. P. 385 Cotonou République du Bénin

<b>Mulindabigwi, V.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Institut für Obstbau und Gemüsebau Auf dem Hügel 6 53121 Bonn Allemagne
<b>Mutlu, P.</b>	ProCGRN / GTZ Cotonou
<b>Nouatin, B.</b>	INSAE, Cotonou
<b>Ogouwale, E.</b>	Université d'Abomey-Calavi
<b>Orékan, V.</b>	IMPETUS, Université de Bonn RSRG Arbeitsgruppe Fernerkundung Geographische Institute Meckenheimer Allee 166 53115 Bonn Allemagne
<b>Orthmann, B.</b>	IMPETUS, Université de Rostock Institut für Biodiversitätsforschung Wismarsche Str. 8 18055 Rostock Allemagne
<b>Ouani, T.</b>	IRD, Direction de l'Hydraulique
<b>Paeth, H.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Meteorologisches Institut Auf dem Hügel 20 53121 Bonn Allemagne
<b>Peugeot, C.</b>	IRD/HSM, Direction de l'Hydraulique
<b>Porembski, S.</b>	IMPETUS, Université de Rostock Institut für Biodiversitätsforschung Wismarsche Str. 8 18055 Rostock Allemagne
<b>Printz, A.</b>	Technical University of Munic; PPC – Printz Planning and Consulting
<b>Reichert, B.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Geologisches Institut Nussallee 8 53115 Bonn Allemagne
<b>Röhrig, J.</b>	IMPETUS, Université de Bonn RSRG Arbeitsgruppe Fernerkundung Geographische Institute Meckenheimer Allee 166 53115 Bonn Allemagne

<b>Schopp, M.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie Nussallee 21 53115 Bonn Allemagne
<b>Séguis, L.</b>	IRD/HSM, Direction de l'Hydraulique
<b>Sinsin, B.</b>	Université d'Abomey-Calavi 03 B. P. 0350 Abomey-Calavi République du Bénin
<b>Sintondji, L.</b>	IMPETUS, Université de Bonn Geographische Institute Meckenheimer Allee 166 53115 Bonn Allemagne
<b>Speth, P.</b>	IMPETUS, Université de Cologne Institut für Geophysik und Meteorologie Kerpener Str. 13 50937 Köln Allemagne
<b>Thamm, H.-P.</b>	IMPETUS, Université de Bonn RSRG Arbeitsgruppe Fernerkundung Geographische Institute Meckenheimer Allee 166 53115 Bonn Allemagne
<b>Tossa, A. A. Y.</b>	Direction Générale de l'Hydraulique du Bénin 01 B. P. 385 Cotonou République du Bénin
<b>Totin, H. S. V.</b>	Université d'Abomey-Calavi 03 B. P. 0350 Abomey-Calavi République du Bénin
<b>Udluft, P.</b>	Université de Würzburg Institut für Geologie Pleicherwall 1 97070 Würzburg
<b>Uesbeck, A.</b>	IMPETUS, Université de Cologne Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene Universität zu Köln Goldenfelsstr. 21 50935 Köln Allemagne
<b>van den Eynde, P.</b>	PROTOS Cotonou

<b>Verheyen, J.</b>	IMPETUS, Université de Cologne Institut für Virologie der Universität zu Köln Fürst-Pückler-Str. 56 50935 Köln Allemagne
<b>Viaene, P.</b>	DHI Water and Environment, Hosholm
<b>Vlek, P.</b>	GLOWA Volta, Université de Bonn
<b>Wiberg-Wagner, H.-U.</b>	Programme Agro Ecologique Bénin Nord; Service Allemand de Développement (SAD); Agro-Action Allemand, Deutsche Wel- thungerhilfe (DWHH)
<b>Wotto, J.</b>	Université d'Abomey-Calavi 03 B. P. 0350 Abomey-Calavi République du Bénin